



# WIADOMOŚCI KONSERWATORSKIE

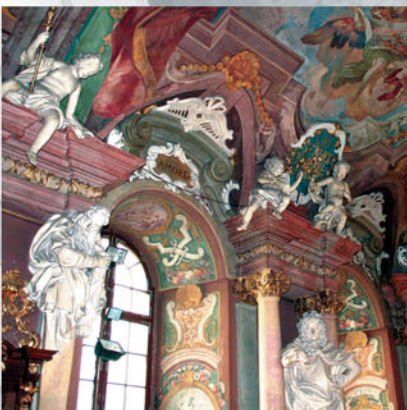
PISMO STOWARZYSZENIA KONSERWATORÓW ZABYTKÓW  
CONSERVATION NEWS - JOURNAL OF THE ASSOCIATION OF MONUMENT CONSERVATORS



XIII Konferencja  
Naukowo - Techniczna

**REMO**  
2009

The 13<sup>th</sup> Scientific-Technical  
Conference





Nr 26/2009

ISSN 0860-2395

# WIADOMOŚCI KONSERWATORSKIE

PISMO STOWARZYSZENIA KONSERWATORÓW ZABYTKÓW

Pismo Stowarzyszenia Konserwatorów Zabytków  
Journal of the Association of Monument Conservators

WIADOMOŚCI KONSERWATORSKIE • CONSERVATION NEWS • nr 26/2009

## Rada Programowa

### Programme Board

Prof. dr hab. inż. Jerzy Jasieńko – przewodniczący  
Dr inż. Lech J. Engel  
Dr inż. arch. Marcin Gawlicki  
Dr inż. Mariusz Jackiewicz  
Prof. zw. dr hab. inż. arch. Andrzej Kadłuczka  
Prof. zw. dr hab. inż. arch. Kazimierz Kuśnierz  
Dr inż. Zygmunt Matkowski  
Mgr inż. Piotr Napierała  
Dr inż. Piotr Rapp  
Prof. zw. dr hab. inż. arch. Andrzej Tomaszewski  
Mgr Jacek Rulewicz

## Redaktor Naczelny

### Editor in Chief

Prof. zw. dr hab. inż. arch. Kazimierz Kuśnierz

## Z-ca Redaktora Naczelnego

### Assistant Editor

Mgr inż. arch. Maria Sarnik-Konieczny

## Sekretarze Redakcji

### Editorial Secretary

Dr inż. arch. Marek Barański  
Mgr inż. arch. Dominika Kuśnierz-Krupa

## Biuro Redakcji

### Editorial Office

Dr Maria Stępińska  
00-464 Warszawa, ul. Szwolęzerów 9  
tel. (022) 629-21-31, e-mail: info@skz.pl

## Tłumaczenie

### Translation

Mgr Leonard Garczyński, ACR Centrum (Zespół),  
Mgr Violetta Marzec

## Projekt okładki

### Cover design

Mgr inż. arch. Dominika Kuśnierz-Krupa  
Mgr inż. arch. Michał Krupa

Do projektu okładki wykorzystano zdjęcia z archiwum prywatnego J. Jasieńki, K. Kuśnierza.

*Photographs for the cover design from the private archive of J. Jasieńko, K. Kuśnierz.*

## Opracowanie graficzne i DTP:

### Graphic design and DTP

Zdzisław Majewski i Sławomir Pęczek  
EDITUS, tel. (071) 793-15-00, 502 23-43-43

## Redaktor techniczny

### Technical Editor

Dr inż. Tomasz Nowak

## Realizacja wydawnicza

### Publishing

Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne  
53-204 Wrocław, ul. Ojca Beyzyma 20/b  
tel./fax (071) 363-26-85, 345-19-44  
www.dwe.wroc.pl

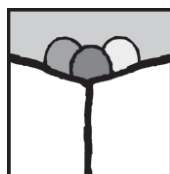
## Wydawca

### Publisher

Zarząd Główny Stowarzyszenia  
Konserwatorów Zabytków  
00-464 Warszawa, ul. Szwolęzerów 9  
tel. (022) 621-54-77, fax (022) 622-65-95

Nakład: 1000 egz. Edition 1000 copies

Druk ukończono w 2009 r. Printed in 2009.



**DOLNY  
ŚLĄSK**

WIADOMOŚCI KONSERWATORSKIE 26/2009 dofinansowano ze środków Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego w ramach programu operacyjnego: Promocja Czytelnictwa, Priorytet 3 „Rozwój Czasopism Kulturalnych”, Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków oraz Samorządu Województwa Dolnośląskiego.

CONSERVATION NEWS 26/2009 was subsidised by: the Minister of Culture and National Heritage within the operative programme: Popularising Reading, Priority 3 “Development of Cultural Periodicals”, National Heritage Board of Poland and Local Government of Lower Silesia.

Warunki publikacji w W.K. zamieszczono na stronie internetowej: [www.skz.pl](http://www.skz.pl)

Regulations concerning articles to be published in Conservation News can be found on: [www.skz.pl](http://www.skz.pl)

Nr 26/2009

ISSN 0860-2395



# WIADOMOŚCI KONSERWATORSKIE

PISMO STOWARZYSZENIA KONSERWATORÓW ZABYTKÓW  
CONSERVATION NEWS - JOURNAL OF THE ASSOCIATION OF MONUMENT CONSERVATORS



XIII Konferencja  
Naukowo - Techniczna

**REMO**  
2009

The 13<sup>th</sup> Scientific-Technical  
Conference



## Od redakcji

W minionym półroczu odbyły się m.in. dwa ważne wydarzenia współorganizowane przez Stowarzyszenie Konserwatorów Zabytków: Konferencja „OCHRONA I KONSERWACJA ZABYTKÓW SAKRALNYCH” (współorganizatorzy: Krajowy Ośrodek Badań i Dokumentacji Zabytków, Rada ds. Kultury i Ochrony Dziedzictwa Kulturalnego Konferencji Episkopatu Polski) oraz Konferencja Naukowa REMO 2009: „Naprawa, Konserwacja i Wzmacnianie Obiektów Wzniesionych Metodami Tradycyjnymi i Obiektów Zabytkowych”.

Pierwsza Konferencja z udziałem Podsekretarza Stanu w Ministerstwie Kultury i Dziedzictwa Narodowego, Generalnego Konserwatora Zabytków, Pana Tomasza Merty oraz J. E. Ks. Bpa Wiesława Merlinga, Przewodniczącego Rady ds. Kultury i Ochrony Dziedzictwa Kulturalnego Konferencji Episkopatu Polski, poświęcona była wymianie wzajemnych doświadczeń konserwatorów świeckich i kościelnych, prezentacji nowych technik i technologii konserwatorskich, omówieniu problemów muzeów diecezjalnych. W Konferencji uczestniczyli także wojewódzcy i diecezjalni konserwatorzy zabytków. Konferencja odbyła się w Ciechocinku, a materiały konferencyjne spodziewane są w lutym 2010 roku.

Konferencję Naukową REMO 2009 poświęcono tematyce badań i analiz teoretycznych w zakresie konserwacji i wzmacniania konstrukcji historycznych, badań materiałów i obiektów zabytkowych, analizie realizacji i projektów konserwatorskich oraz specyficznym problemom towarzyszącym pracom na obiektach zabytkowych i wzniesionych metodami tradycyjnymi, problemom, które determinują bezpieczeństwo konstrukcji i bezpieczeństwo użytkowników. W Konferencji udział wzięli naukowcy z Polski, Włoch, Hiszpanii, Portugalii, Niemiec, Anglii i Stanów Zjednoczonych, członkowie Komitetu Naukowego International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage (ISCARSAH – ICOMOS) oraz członkowie International Scientific Wood Committee (ISWC – ICOMOS). Ważnym elementem Konferencji była Sesja „Lasery w Skanowaniu w Technologii HDS” omawiająca najnowsze osiągnięcia technologii HDS, której obecność w konser-

## From the Editor

In the last half of the year the Association of Monument Conservators organized two distinguishing events: “The Protection and Conservation of Sacral Monument Conference” (co-organized by The National Heritage Board of Poland and The Board for Culture and Protection of Cultural Heritage of Polish Episcopal Conference) and “The Scientific-Technical Conference REMO 2009: Repair, conservation and strengthening of traditionally erected and historic buildings”.

The first Conference hosted the Undersecretary of State at the Ministry of Culture and National Heritage, the General Monument Conservator of Poland – Tomasz Merta and His Excellence Bishop Wiesław Merling – the Chairman of The Board for Culture and Protection of Cultural Heritage of Polish Episcopal Conference. Its main topics were the exchange of experience between the secular and church monument protection services, presentation of new conservatory techniques, technologies and a discussion over the diocesan museums.

Provincial and diocesan monument conservators also participated in the Conference which was held in Ciechocinek, and the conference materials are due to appear in February 2010.

The Scientific-Technical Conference REMO 2009 was attended by scientists from Poland, Italy, Spain, Germany, Great Britain and the USA, as well as members of the International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage (ISCARSAH – ICOMOS) and members of the International Scientific Wood Committee (ISWC – ICOMOS). The key subjects of the Conference were the research and theoretical analysis of historic constructions concerning their conservation and strengthening, research of materials and historic monuments, the analysis of conservatory projects and their realizations, as well as specific construction safety problems of monuments built by traditional means and historic monuments, which therefore determine safety of their users. An important part of the Conference was the session “ Laser Scan in the HDS

wacji zabytków jest już dzisiaj konieczna. W Sesji udział wzięli wybitni znawcy tematyki. Konferencja odbyła się na Dolnym Śląsku w Pałacach, parkach i ogrodach Kotliny Jeleniogórskiej, stanowiąc promocję Kultury w Polsce i na arenie międzynarodowej, także w grupie członków ICOMOS, co jest szczególnie ważne dla przygotowywanego właśnie wniosku o wpis Pałaców, Zamków i Ogródów Kotliny Jeleniogórskiej na listę Pomników Historii oraz na listę Światowego Dziedzictwa Kulturalnego i Przyrodniczego UNESCO, w przeszłości.

Ważnym wydarzeniem minionego półrocza był Kongres Kultury Polskiej, który odbył się w Krakowie, we wrześniu. Miejscem obrad Kongresu było Auditorium Maximum Uniwersytetu Jagiellońskiego. W trakcie obrad Kongresu odbył się pokaz zatytułowany „W stronę systemu Ochrony Dziedzictwa Kulturowego w Polsce”. Szczegółowe informacje zawarto w Dziale: „INFORMACJE”.

Przekazywany Państwu numer „Wiadomości Konserwatorskich” zawiera jednak, przede wszystkim, artykuły z obszaru badań konstrukcji historycznych, metodyki i technik pomiarowych, badań materiałów i obiektów zabytkowych, przykładów realizacji konserwatorskich. Redakcja pozyskała wiele wartościowych prac autorów polskich i zagranicznych, które obejmują zagadnienia trudne, specyficzne, których rozpoznawalność i świadomość wagi ma podstawowe znaczenie dla prawidłowego przebiegu procesów konserwatorskich rozumianych jak procesy interdyscyplinarne, a także dla bezpiecznego trwania obiektów dziedzictwa.

**Redaktor Naczelny**  
*Editor in Chief*



Kazimierz Kuśnierz

technology”, which unveiled new findings of the HDS technology that has nowadays become a necessity. The session was attended by the most prominent experts on the subject.

The Conference was held in palaces, parks and gardens of the Jeleniogórska Valley in Lower Silesia – as a part of a project to promote Polish Culture locally and internationally (ICOMOS members), which is especially significant due to the fact that preparations are being made to have the Valley recognized as a Monument of History, and in future listed as a UNESCO World Heritage Site.

Another important event of the past half of the year was the 6<sup>th</sup> Congress of Polish Culture, hosted in Cracow (23<sup>rd</sup>-25<sup>th</sup> September 2009). The conference was held in the Auditorium Maximum of the Jagiellonian University. During the Congress a plenary panel “Towards a system of Cultural Heritage Protection in Poland” was presented. For more details see INFORMATION section.

The current “Conservation News” contains above all articles on the research of historic construction, measurement methodology and techniques, research of materials and historic monuments and examples of conservatory realizations. There are valuable articles of Polish and foreign authors, addressing difficult and specific issues the awareness of which is of essential importance for the conservatory processes treated as interdisciplinary, and a key factor for cultural heritage safekeeping.

**Prezes Stowarzyszenia Konserwatorów Zabytków**  
*President of the Association of Monument Conservators*



Jerzy Jasieńko

**NAUKA • SCIENCE****Piotr Napierała**

Ochrona krajobrazu kulturowego Sudetów Zachodnich na przykładzie gmin Mysłakowice i Bogatynia  
*Protection of the cultural landscape of the Western Sudetes using the example of the Mysłakowice and Bogatynia communities* ..... 13

**Ireneusz Płuska**

800 lat cegielnictwa na ziemiach polskich – rozwój historyczny w aspekcie technologicznym i estetycznym  
*800 years of brickmaking in Poland – historic development in its technological and aesthetic aspects* ..... 26

**Howell G.M. Edwards**

Raman spectroscopic analysis of art and archaeological artefacts of relevance to the preservation of cultural heritage: the illumination of ancient mysteries  
*Spektroskopowa analiza ramanowska obiektów archeologicznych istotnych dla ochrony dziedzictwa kulturowego: oświecenie starożytnych tajemnic* ..... 55

**Jan Marczak, Andrzej Koss**

Fizyka we współczesnych badaniach i konserwacji dzieł sztuki  
*Physics in modern investigations and conservation of works of art* ..... 65

**Henryk Szela, Aleksandra Skorek**

Przeszłość i przyszłość cementu romańskiego  
*The past and the future of Roman cement* ..... 77

**Danuta WALA, Genowefa ROSIEK**

Synteza spoiw wapiennych z zastosowaniem różnych minerałów ilastych w kontekście zapraw historycznych  
*Synthesis of lime binders using different clayey minerals in the context of binders used in the history* ..... 86

**Piotr Targowski, Bogumiła J. Rouba, Paweł Karaszkiwicz, Magdalena Iwanicka, Ludmiła Tymińska-Widmer, Teresa Łekawa-Wysłouch, Ewa A. Kwiatkowska, Marcin Sylwestrzak**

Optyczna koherentna tomografia OCT – nowe narzędzie do działań konserwatorskich i inwentaryzacyjnych  
*Optical coherence tomography OCT – a novel tool for art conservation and cataloguing* ..... 94

**Andrzej Moczko, Grzegorz Dmochowski, Piotr Berkowski**

Badania żelbetowej konstrukcji basenu z lat 30. XX wieku  
*Examination of swimming pool concrete structure from beginnings of the 20<sup>th</sup> century* ..... 108

**Maria Wesołowska**

O podatności na wykwyty współczesnych murów licowych  
*The susceptibility to efflorescence of contemporary facing walls* ..... 115

**Maciej Rokiel, Cezariusz Magott**

Tynki renowacyjne w świetle normy PN-EN 998-1:2004 Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 1. Zaprawa tynkarska oraz instrukcji WTA nr 2-9-04 Sanierputzsysteme.  
*Renovation plasters in the light of the standard PN-EN 998-1:2004 Requirements concerning mortars for walls. Part 1. Plaster mortar and WTA instruction No 2-9-04 Sanierputzsysteme* ..... 125

**Luigi Barazzetti, Luigia Binda, Marco Scaioni, Paolo Taranto**

Importance of the geometrical survey for structural analyses and design for intervention on c.h. buildings: application to a My Son temple in Vietnam  
*Znaczenie badań geometrycznych dla analiz strukturalnych i planowania interwencji w budynkach historycznych: zastosowanie w świątyni w My Son w Wietnamie* ..... 135

<b>Antonio Borri, Marco Corradi, Emanuela Speranzini, Antonella Giannantoni</b> Rubble stone masonry strengthened using "reticolatus" system <i>Mury z kamienia łamanego wzmocnione za pomocą systemu „reticolatus”</i> .....	147
<b>Giovanni Mantegazza</b> Efficacy of FRM in earthquake – proofing of the Church of Madonna di Centurelle <i>Efektywność materiałów FRM w przypadku trzęsień ziemi – zabezpieczenie Kościoła Madonna di Centurelle</i> .....	159
<b>Jerzy Jasieńko, Lech Engel, Adam Kondolewicz</b> Problemy konstrukcyjno-konserwatorskie w stabilizacji i ekspozycji ruin obiektów kamiennych na przykładzie zamku „Lenno” we Włeniu <i>Structure and reconstruction problems during stabilization and presentation of ruins of stone structures with an example of "Lenno" castle in Wleń</i> .....	166
<b>Angelo Di Tommaso</b> Injured architectural heritage in L'aquila after the earthquake 2009: some general remarks <i>Uszkodzone obiekty dziedzictwa architektonicznego w L'aquili po trzęsieniu ziemi w roku 2009: kilka ogólnych spostrzeżeń</i> .....	177
<b>Claudio Modena, Maria Rosa Valluzzi, Francesca da Porto, Filippo Casarin, Enrico Garbin, Marco Munari, Nicola Mazzon, Matteo Panizza, Massimo Dalla Benetta, Giulia Bettiol</b> Intervention criteria for historic masonry constructions subjected to seismic actions <i>Kryteria interwencji dla historycznych konstrukcji murowanych podlegających oddziaływaniom sejsmicznym</i> .....	186
<b>Federica Ottoni, Eva Coisson, Carlo Blasi</b> Empiricism reappraisal in ancient buildings structural analysis. the masonry domes, from historical debates to numerical models <i>Analiza konstrukcyjna budowli historycznych z perspektywy badań empirycznych. Kopyty murowane, od historycznych dysput do modeli numerycznych</i> .....	197
<b>Pere Roca</b> Contribution of numerical modeling to the study of historical structures <i>Znaczenie modelowania numerycznego dla badań konstrukcji historycznych</i> .....	207
<b>Kazimierz Czaplński, Krzysztof Gawron</b> O technikach wykonania ceglanych konstrukcji murowych <i>The techniques of erection of brick masonry constructions</i> .....	218
<b>Miloš Drdáký, Pavel Beran, Zuzana Slížková, Irena Kucerová</b> Man made hazards in conservation practice – case studies <i>Ryzyko spowodowane przez człowieka w praktyce konserwacji – studia przypadków</i> .....	224
<b>Arkadiusz Kwiecień</b> Polimerowe złącze podatne – innowacyjna metoda naprawy i konserwacji obiektów zabytkowych <i>Polymer flexible joint – innovative method of repair and conservation of heritage objects</i> .....	234
<b>Piotr Bilko, Leszek Małyszko, Roman Orłowicz</b> Ocena wytrzymałości muru podczas modernizacji kamienic komunalnych <i>Evaluation of the compressive strength of masonry during modernization of municipal houses</i> .....	245
<b>Rafał Nowak, Romuald Orłowicz</b> Mechanizmy uszkodzeń ceglanych nadproży łukowych <i>Mechanisms of brick arched lintels damage</i> .....	253
<b>Andrzej Rzeszotarski, Romuald Orłowicz, Rafał Nowak</b> Przyczyny uszkodzeń i naprawa wybranych zabytkowych sklepień ceglanych <i>Causes of damages and repairs in antique brick vaults</i> .....	260

## **Yoshinori Iwasaki**

Problems caused by excavation by conservation and archaeological study in Angkor monuments, Cambodia  
*Problemy wywołane wykopalkami w ramach konserwacji i badań archeologicznych zabytków w Angkor w Kambodży* ..... 270

## **Görün Arun**

Ancient building foundation systems in seismic areas  
*Fundamenty budowli starożytnych położonych na obszarach sejsmicznych* ..... 279

## **Maurizio Piazza, Mariapaola Riggio, Roberto Tomasi, Albino Angeli**

Operational stages and criteria in the rehabilitation of timber floors in the Belasi Castle (Trentino, Italy)  
*Etapy działania i kryteria w odnawianiu podłóg drewnianych w Pałacu Belasi (Trydent we Włoszech)* ..... 289

## **Jerzy Jasieńko, Łukasz Bednarz, Tomasz Nowak**

Analiza stanu zachowania drewnianych stropów w Auli Leopoldyńskiej Uniwersytetu Wrocławskiego oraz w budynku głównego dworca kolejowego we Wrocławiu  
*Analysis of the condition of preservation of wooden ceilings in the Leopoldina Assembly Hall at Wrocław University and in the building of the main railway station in Wrocław* ..... 300

## **Jerzy Jasieńko, Tomasz Nowak, Piotr Rapp**

Analiza pracy statycznej belek drewnianych wzmocnionych taśmami CFRP  
*Analysis of static work of wooden beams strengthened with CFRP strips* ..... 314

## **Elżbieta Trocka-Leszczyńska, Elżbieta Rdzawska**

Przystosowanie domów przysłupowych do współczesnych potrzeb na terenie Górnych Łużyc  
*Adaptation of post-supported houses to the present-day needs at the area of Upper Łużyce* ..... 325

## **Barbara Misztal**

Wpływ degradacji matrycy na nośność krytyczną ściskanych prętów drewnianych  
*Influence of degradation of matrix on critical carrying capacity of compressed wooden rods* ..... 336

## **Janusz Broł**

Wzmacnianie zginanych belek z drewna klejonego taśmami GARP na etapie produkcji  
*Strengthening of bent glued laminated (GLULAM) beams with GARP tapes at the stage of production* ..... 345

## **Tomasz Tomaszek**

Ikonostas cerkwi z Miększa Starego (krótka analiza konserwatorska)  
*The iconostasis from the ceriew in Miększ Stary (a brief conservational analysis)* ..... 354

## **Ryszard Antonowicz, Adam Klimek**

Wzmocnienie dachu z drewna klejonego poprzez zmianę schematu statycznego  
*Glulam timber roof strengthening by changing its static scheme* ..... 365

## **Leszek Konarzewski**

Renowacja elewacji Hali Stulecia we Wrocławiu – projekt a realizacja  
*Renovation of the facade of Centennial Hall in Wrocław – design versus its accomplishment* ..... 369

## **Andrzej Kadłuczka**

Modernizacja Galerii Sztuki Polskiej XIX wieku Muzeum Narodowego w Sukiennicach w Krakowie; wybrana problematyka projektowo-konserwatorska  
*Modernisation of the Gallery of the Polish Art of the 19th Century in Sukiennice (Cloth Hall) in Cracow; select design and conservation problems and their solutions* ..... 381

## **Paweł Jaskanis**

Prace konserwatorskie w Muzeum Pałacu w Wilanowie po 2003 roku  
*Conservator's works in the Museum Palace in Wilanów after 2003* ..... 390

## **Andrzej Gaczoł**

Krypta pod Kaplicą Morstinów w Wieliczce. Rekonstrukcja, konserwacja, adaptacja  
*The crypt under the Morstins' Chapel in Wieliczka. Reconstruction, conservation, adaptation* ..... 404



## **Elżbieta Przesmycka**

Problemy konserwacji architektury modernistycznej w Polsce  
*Problems of conservation of modernist architecture in Poland* ..... 415

## **Jerzy Jasieńko, Andrzej Kadłuczka, Jolanta Sroczyńska, Katarzyna Kadłuczka, Tomasz Nowak**

Kolegiata św. Trójcy w Otyce na Wołyniu (Ukraina) – rejestracja stanu zachowania, problemy konserwatorskie  
*The holy trinity collegiate church in Otyka in Volhynia (Ukraine) – records of preserved condition and maintenance problems* ..... 427

## **Łukasz Drobiec**

Remont konserwatorski elewacji kościoła mariackiego w Katowicach  
*Conservatory rebuilding of the elevation of the Mariacki Church in Katowice* ..... 437

## **Jerzy Skarbek, Andrzej Peszko**

Kamienica mieszczańska w Brzegu. Geneza, formy rozwoju oraz sposoby dekoracji fasad i elewacji na podstawie wyników badań i prac konserwatorskich przeprowadzonych w latach 1998-2009  
*Tenement houses of burgesses in Brzeg. The origin, forms of development and ways of decorating facades and elevations on the basis of research results and conservation work conducted in the years 1998-2009* ..... 447

## **Marzena Lipiec, Beata Ogrodnik, Małgorzata Sieniawska, Jan Lech Zioberski**

Konstrukcje szklane w ekspozycjach elementów obiektów zabytkowych – przykłady krajowe  
*Glass constructions in exposition of elements of antique objects – domestic examples* ..... 463

## **Grzegorz Dmochowski, Piotr Berkowski**

Wpływ głębokich wykopów na stan techniczny historycznej zabudowy  
*Influence of deep excavations on technical condition of historical buildings* ..... 471

## **Joanna Pieczyńska, Jarosław Rybak**

Perspektywy rozwoju aktywnego projektowania w oparciu o badania drgań w trakcie prowadzenia robót geotechnicznych  
*Prospects for active design expansion owing to investigation of vibrations caused by geotechnical works* ..... 481

## **Olgierd Puła, Wojciech Puła**

Realizacja nowych obiektów usytuowanych w zwartej zabudowie miejskiej i ich wpływ otoczenie  
*Construction of new buildings in vicinity of old structures and their impact on the surrounding* ..... 492

## **Tadeusz Chyży, Krzysztof Robert Czech, Mikołaj Malesza, Czesław Miedziałowski**

Badania i ocena wpływów drgań drogowych w zespole budynków zabytkowych  
*Investigations and evaluation of road vibrations influence in historic buildings complex* ..... 499

## **Tomasz Kania, Stanisław Kania, Piotr Pietraszek**

Rewitalizacja budynków przemysłowych z wykorzystaniem bloków gipsowych na przykładzie loftów w Tallinnie  
*Revitalization of post-industrial buildings with use of gypsum blocks by example of lofts in Tallinn* ..... 510

## **Karolina Kurtz, Zbigniew Paszkowski**

Problemy energetyczne przy przebudowie obiektu zabytkowego na przykładzie budynku Starej Dany w Szczecinie  
*Problems of energy consumption in the rebuild of an antique building – the case of Old Dana's building in Szczecin* ..... 518

## **Paula Szczepaniak, Maria Wesołowska**

Problemy ciepło-wilgotnościowe współczesnego obiektu sakralnego  
*The hygrothermal problems of contemporary sacred buildings* ..... 529

## **Józef Adamowski, Zygmunt Matkowski**

Analiza wybranych uszkodzeń pawilonu czterech kopuł Hansa Poelziga we Wrocławiu  
*Analysis of the chosen damages of Hans Poelzig's four domes pavilion in Wrocław* ..... 538

**Bronisław Gosowski, Maciej Gosowski, Tomasz Kasprzak**

Odbudowa po katastrofie sufitu sali gimnastycznej zabytkowej szkoły poddanej termomodernizacji  
*Reconstruction of the ceiling of a gymnasium at the historic school after the catastrophic failure during thermal efficiency improvement* ..... 547

**Kazimierz Czapliński**

Obliczanie dawnych konstrukcji z żeliwa i stali  
*Calculation of old cast iron and steel constructions* ..... 559

**Zbigniew Kowal**

O przyczynach zmniejszenia niezawodności stalowych konstrukcji wielkopowierzchniowych hal  
*On the causes of lower reliability of steel structures of large surface halls* ..... 565

**Zbigniew Pająk**

Stan zachowania sklepień "Rabitz" w wybranych obiektach zabytkowych  
*The condition of the 'Rabitz' vaults in the selected historic objects* ..... 574

**Mieczysław Kamiński, Michał Musiał**

Badania i koncepcja modernizacji schronu przy Dworcu Głównym PKP we Wrocławiu  
*Studies and the conception of modernization of the bunker by Wrocław Railway Station* ..... 584

**Grzegorz Słówek, Jacek Ścigałło**

Analiza uszkodzeń i diagnostyka konstrukcji realizowanego budynku mieszkalnego  
*Damage analysis and diagnostics of the structure of a residential building under construction* ..... 592

**Jacek Ścigałło**

Modernizacja magazynu książek w budynku biblioteki uniwersyteckiej UAM w Poznaniu  
*Modernisation of a book storehouse in a building of the Poznan University library* ..... 601

**Krzysztof Atykow, Magdalena Napiórkowska-Atykow**

Renowacja tarasów i balkonu zabytkowego głównego budynku zespołu szkół ponadgimnazjalnych w Biedrzychowicach  
*Renovation of the terraces and the balcony in the historic main building of the secondary schools complex in Biedrzychowice* ..... 609

**Dariusz Bajno**

Typowe problemy związane z ratowaniem zabytków nieruchomych, na przykładzie wybranych obiektów Opola  
*Typical problems related to saving the historical monuments, on the example of selected buildings in Opole* ..... 617

**Maciej Dobrowolski, Stanisław Medeksza**

Współczesne materiały konstrukcyjne w rekonstrukcji zabytków na przykładzie wieży kościoła św. Jana Chrzciciela w Legnicy  
*The Contemporary Construction Materials Applied in the Reconstruction of Historic Monuments and Sights The Tower of St. John the Baptist Church in Legnica* ..... 627

**Piotr Kuleta, Michał Pikos, Grzegorz Słówek**

Problemy konstrukcyjne remontowanego budynku zabytkowego  
*Structural problems related to a monumental building under repair* ..... 637

**Krzysztof Atykow, Magdalena Napiórkowska-Atykow**

Proces inwestycyjny przy realizacji remontów obiektów zabytkowych – problemy i zagrożenia oraz propozycja dodatkowych wymogów w świetle obecnych przepisów prawnych  
*Investments process for structure repair of monumental buildings – problems and hazards and a proposition of additional requirements in the light of present law regulations* ..... 646

**Meltem Vatan, M. Oguz Selbesoglu, Bülent Bayram**

The use of 3D laser scanning technology in preservation of historical structures  
*Wykorzystanie technologii skanowania 3D w konserwacji obiektów zabytkowych* ..... 659

<b>Michał Kędzierski, Anna Fryškowska, Rafał Dąbrowski, Michalina Willńska</b> Naziemne skanowanie laserowe obiektów sakralnych z zastosowaniem technologii HDS <i>Terrestrial laser scanning of sacred buildings in HDS technology</i> .....	670
<b>Leszek Koźmiński, Marzena Brzozowska, Jacek Kościuk, Waldemar Kubisz</b> Wykorzystanie możliwości nowoczesnego skanowania 3D w oględzinach miejsca zdarzenia i ich dokumentowania <i>Possibilities of using modern 3D scanning in the crime scene investigation and its documentation</i> .....	679
<b>Krzysztof Maksymowicz, Magdalena Kobielarz, Tomasz Jurek</b> Skanowanie 3D jako metoda obrazowania złożonych i rozległych relacji przestrzennych dla potrzeb medycyny sądowej i kryminalistyki – ocena przydatności <i>3D laser scanning as a method of registration of large and complex spatial relations for the needs of forensic medicine and crime detection – assessment of applicability</i> .....	689
<b>Tomasz Waligórski</b> Pomiary w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie z wykorzystaniem skanowania laserowego 3D <i>Survey in the Bear Cave in Kletno with the use of the 3D laser scanner</i> .....	697
<b>Jacek Kościuk</b> 3D scanning and modeling of the upper terrace of the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari as an example of architectural heritage documentation for restoration purposes <i>Skanowanie i modelowanie 3D górnego tarasu świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari jako przykład dokumentacji dla celów konserwatorskich</i> .....	705
<b>Bartłomiej Ćmielewski, Krzysztof Mąkowski</b> Porównanie geodezyjnych metod klasycznych oraz technologii HDS do określenia odkształceń kratowej konstrukcji masztu <i>Comparison of classic geodetic methods and HDS technology for determination of strains in truss construction mast</i> .....	718
<b>Bjorn Van Genechten, Luc Schueremans</b> Laserscanning for heritage documentation <i>Skanowanie laserem dla dokumentacji dziedzictwa kulturowego</i> .....	727
<b><u>PREZENTACJE – RAPORTY • PRESENTATIONS AND REPORTS</u></b>	
<b>Marek Baścik, Paweł Dudek</b> Generowanie ortofotoplanów w programie Pointools – zastosowanie skanera laserowego 3D <i>Creating cost-effective orthophotoplans with Pointools software – one innovative application of 3D laser scanning</i> .....	738
<b><u>INFORMACJE • INFORMATION</u></b>	
Kongres Kultury Polskiej <i>Congress of Polish Culture</i> .....	743
<b>Indeks autorów</b> .....	744
<b>Author index</b>	

Piotr Napierała \*

## Ochrona krajobrazu kulturowego Sudetów Zachodnich na przykładzie gmin Mysłakowice i Bogatynia

### Protection of the cultural landscape of the Western Sudetes using the example of the Mysłakowice and Bogatynia communities

#### 1. Wstęp

Ochrona krajobrazu kulturowego coraz częściej postrzegana jest jako jedno z najważniejszych zagadnień konserwatorskich nie tylko w Polsce ale i w całej Europie. Dotychczasowe podejście do zabytków, często ograniczało się do samego obiektu i jego najbliższego otoczenia. Ale prawie zawsze brakowało jasnego i precyzyjnego określenia co najbliższe otoczenie ma chronić. Czy jest to widok na zabytek, czy z zabytku, czy obszar pomiędzy obiektami zabytkowymi występującymi w pewnej grupie, czy może połączenie zabytku z wartościami przyrodniczymi okolicy itp. Jasne i precyzyjne określenie obszaru chronionego wokół zabytku jest zatem bardzo wieloznaczne. Najlepszym rozwiązaniem dla tych wszystkich problemów jest więc ochrona jak największego otoczenia i krajobrazu w którym występuje zespół zabytkowy.

Takiemu podejściu sprzyjała ostatnia nowelizacja ustawy o ochronie zabytków, która wprowadziła nową kategorię ochrony czyli park kulturowy. W świetle przepisów z 2004 r., ochrona krajobrazu kulturowego stała się nie tylko jedną z form ochrony, ale dodatkowo taki obowiązek stał się domeną samorządu lokalnego na poziomie gminy. Wydawać by się mogło, że taka formuła prawna w krótkim czasie przyniesie dobre rezultaty, że lokalne społeczności, najlepiej znające swój teren i jego walory kulturowe, szybko przystąpią do

#### 1. Introduction

Protection of the cultural landscape is more and more often perceived as one of the most important conservator's issues not only in Poland but all over Europe. Until now, the approach to historic monuments was often constrained to the facility itself and its immediate neighbourhood. However, almost always there has not been any clear and precise identification of the immediate environment to protect. Whether this is a view to the monument, or from the monument, or the area between historic monuments appearing in a certain group, or maybe a combination of the monument with natural values of the environment etc. Therefore, the clear and precise identification of a protected area around a monument is very ambiguous. Hence the best solution to all those problems is protection of as much of the environment and landscape in which the monumental facility appears as possible.

Such an approach is supported by a recent amendment of the historic monument protection act which has introduced a new category of protection, the cultural park. In light of the 2004 regulations, protection of the cultural landscape has become not only one of the forms of protection but additionally this obligation has become the responsibility of local government at the level of the community. It might have seemed that this legal form would bring good results within a short time, that local communities knowing their area and its cultural values the best

powoływania parków kulturowych i w ten sposób poszerzą formę i obszar ochrony. Tak się jednak nie stało. Po ponad 5 latach obowiązywania ustawy parki kulturowe na Dolnym Śląsku można policzyć na palcach jednej ręki. Zresztą podobnie jest w całej Polsce. Już dziś można jednoznacznie stwierdzić, że władze lokalne nie stanęły na wysokości zadania. Czy to z obawy przed odpowiedzialnością za skuteczną ochronę, czy z niewiedzy o wartościach kulturowych w najbliższym otoczeniu, czy wreszcie z poczucia braku kompetencji w tym zakresie, nie zwiększono tej formy ochrony dolnośląskich zabytków. Czy może to oznaczać, że nie mamy w tym zakresie czego chronić? Czy dotychczasowe formy ochrony są wystarczające? Jest wręcz odwrotnie. Niezwykle nasycenie zabytkami obszaru Dolnego Śląska, połączone z procesem ich degradacji przez niemal cały okres trwania PRL-u, spowodował ogromne wyzwanie konserwatorskie w naszym województwie.

Co zatem wymaga szczególnej ochrony w krajobrazie kulturowym obszaru Dolnego Śląska? Przez ostatnie stulecia powstawały tu budowle, które nawiązywały do tradycji i wartości wielu narodów: pruskiego, saskiego, austriackiego, czeskiego, łużyckiego i oczywiście polskiego. Powstała unikalna zabudowa nie tylko miast i miasteczek, ale również wsi, osad i przysiółków. Dodatkowym czynnikiem, który niewątpliwie wzmacnia wartości kulturowe Dolnego Śląska jest naturalny, górzysty, urozmaicony krajobraz. Sudety Zachodnie pod względem przyrodniczym są jednym z najciekawszych obszarów w kraju. Karkonosze, Góry Izerskie, Góry Kaczawskie, Rudawy Janowickie i całe Przedgórze Sudeckie oraz stosunkowo ograniczona urbanizacja, infrastruktura i intensyfikacja rolnictwa tego obszaru sprawiają, że pomimo wieloletnich zaniedbań, zubożenia regionu, braku ciągłości kulturowej możemy uratować to niezwykle połączenie walorów krajobrazu naturalnego i wciąż zachowanych obiektów historycznych. Jednymi z najciekawszych obszarów w województwie są niewątpliwie gmina Mysłakowice położona pomiędzy Jelenią Górą a Karpaczem oraz gmina Bogatynia znajdująca się w kotlinie turosszowskiej pomiędzy Niemcami i Czechami. W obu gminach występuje rzadko spotykana na obszarach wiejskich ilość zabytków. Co więcej nie tylko ilość ale i jakość obiektów zabytkowych spowodowały powstanie nowych pojęć kulturowych w obu gminach. O okolicach Mysłakowic coraz częściej mówi się Dolina Pałaców i Ogrodów, a o obszarze otaczającym m.in. Bogatynię – Kraina Domów Przysłupowych. Obie nazwy ma-

would quickly begin to set up cultural parks and in this way would extend the form and area of protection. However, this did not happen. After more than five years during which the act has been in force, the cultural parks in the Lower Silesia can be counted on the fingers of one hand. In any case, the situation is similar all over Poland. Even today it can be clearly stated that local authorities did not rise to the challenge. Whether because of a fear of responsibility for effective protection or lack of knowledge about cultural value in the immediate environment, or finally the sense of missing competencies in this scope, this form of protection has not been increased for Lower Silesian monuments. Can it mean that we do not have anything to protect in this area? Are existing forms of protection sufficient? It is just the other way round. Extreme saturation of the Lower Silesian area with historic monuments combined with the process of their degradation almost throughout the entire duration of the PRL (People's Republic of Poland) created enormous challenges to conservators in our district. Furthermore, traditional relations connected with the system of passing on cultural values and patterns from one generation to another were lost here which can be seen especially in the approach to property-based culture.

Therefore, what requires particular protection in the cultural landscape of the Lower Silesian area? traditions and values of many nations – Prussian, Saxon, Austrian, Czech, Lusatian and of course Polish – were erected here. A unique development of not only cities and towns, but also villages, settlements and hamlets was created here. One additional factor which undoubtedly reinforces the cultural values of Lower Silesia is the mountainous diversified natural landscape. As far as nature is concerned, the Western Sudetes are one of the most interesting areas in the country. In the Karkonosze, Izera mountains, Kaczawskie Mountains, Rudawy Janowickie and the entire Przedgórze Sudeckie, the relatively limited urban development, infrastructure and farming intensification of this area are the reasons why in spite of many years of neglect, impoverishment of the region and lack of cultural continuity, we can save this unique combination of the values of natural landscape and still maintained historical objects. One of the most interesting areas in the district is certainly the community of Mysłakowice located between Jelenia Góra and Karpacz, and the community of Bogatynia situated in the Turosszów Valley between Germany and Czech. Both communities contain historical monuments in numbers rarely encountered in countryside areas. What is more, not only the number but also the quality of such objects resulted in the appearance of new cultural terms in both communities. The neighbourhood of Mysłakowice is more and more often called the Valley of Palaces

ją raczej promocyjny, a nie historyczny charakter, ale obie świadczą o niezwykłości i unikalności zachowanej architektury. W różnych gremiach specjalistów pojawiają się wręcz opinie, że właśnie romantyczne rezydencje wokół Jeleniej Góry i budownictwo łużyckie zlokalizowane na terenach przygranicznych Polski, Czech i Niemiec mogą być, w najbliższym czasie, jedynymi możliwymi w Polsce wpisami na Listę Światowego Dziedzictwa Kulturalnego i Przyrodniczego UNESCO. Ale w ślad za takimi możliwościami pojawia się pytanie: czy władze lokalne, czy społeczności lokalne to niezwykle i unikalne dziedzictwo dostrzegają? Czy potrafią je chronić i wykorzystać? Wydaje się, że podejście do wartości kulturowych w obu gminach jest różne.

## **2. Gmina Mysłakowice – Dolina Pałaców i Ogrodów**

Środowisko kulturowe gminy, kształtowane przez stulecia, jest pod względem bogactwa i różnorodności reprezentatywne dla całego Śląska, co dodatkowo podkreśla zagęszczenie na tak małym obszarze tak ogromnej liczby zabytków. W średniowieczu na terenie przedgórze Karkonoszy bardzo intensywnie rozwijało się osadnictwo. Wykształciła się tu gęsta sieć wsi i dóbr lennych już we wczesnym średniowieczu. W dzisiejszej gminie Mysłakowice powstały jeszcze w XIII w. Wojanów, Bukowiec, Łomnica, Karpniki i Mysłakowice. We wsiach tworzone parafie obejmujące jedną lub dwie miejscowości. Już w XIII i XIV w. wzniesiono murowane, gotyckie kościoły w Łomnicy, Karpnikach, Bukowcu i Wojanowie. Wojny husyckie spustoszyły okolicę i na dziesięciolecia zatrzymały rozwój średniowiecznych wsi u podnóża Karkonoszy. Późniejszy okres względnego pokoju oraz wpływ reformacji, którą na tereny swoich dóbr przynieśli przedstawiciele najpotężniejszych rodów: Schaffgotschowie i Zedlitzowie, szczególnie w XVI w., spowodował wielkie zmiany jakościowe i ogromny wzrost gospodarczy. Zaowocowało to nowymi budowlami sakralnymi i rezydencjonalnymi. Powstawały nowe kościoły, budowano i kaplice, wznoszono nowe renesansowe dwory, często wciąż warowne, folwarki, a także gospody i nowe osady.

Wojna trzydziestoletnia ponownie zahamowała rozwój regionu. Większość dworów i folwarków została całkowicie zniszczona, wsie były wyludnione, zahamował się rozwój rzemiosła. To wszystko spowodowało długotrwały kryzys gospodarczy. Wielkie zmiany przyniosła również kontrreformacja. W 1654 r. luteranie i kalwini utracili

and Gardens, and the area surrounding Bogatynia, among others, the Land of Lusatian Half-Timbered Houses. Both names are more promotional than historical in their nature, but both indicate the rarity and uniqueness of the preserved architecture. Among various assemblies of specialists there are even opinions that it is just these romantic residences around Jelenia Góra and the Lusatian building industry located in the border areas of Poland, Czech and Germany that can be in the immediate future the only possible Polish entries in the UNESCO World Cultural and Natural Heritage List. However, such opportunities are connected with a question: can the local authorities or local communities see this rare and unique heritage? Can they protect and use it? It seems that the approach to cultural values in the two communities varies.

## **2. Mysłakowice community – Palace and Garden Valley**

The cultural environment of the community, which has been developed for centuries, is representative of the whole of Silesia with respect to richness and variety, which is additionally emphasized by the presence of such enormous number of monuments in such a small area. In the Middle Ages, in the foothills of the Karkonosze, settlements were developing very intensely. A dense network of villages and manorial properties was developed here already by the early Middle Ages. In the existing Mysłakowice community, Wojanów, Bukowiec, Łomnica, Karpniki and Mysłakowice. Parishes covering one or two villages were created in villages. Already in the 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> century, bricked gothic churches were erected in Łomnica, Karpniki, Bukowiec and Wojanów. The Hussite Wars ruined the neighbourhood and for decades stopped the development of Middle Age villages in the foothills of the Karkonosze Mountains. Later a period of relative peace and the effect of the Reformation which was brought by the Schaffgotsches and Zedlitzes to the area of their properties, particularly in the 16<sup>th</sup> century, caused considerable quality changes and enormous economic growth. This resulted in new sacral and residential buildings. New churches, vaults and chapels were erected, new renaissance manor houses, often still fortified, folwarks, as well as inns, new settlements and hamlets were constructed.

The Thirty Years' Wars again withheld development from the region for decades. Most of the manor houses and folwarks were completely destroyed, villages were depopulated, the development of handicrafts slowed. All this caused a long-term economic crisis. Huge changes were brought also by the Counter-Reformation. In 1654, the Lu-

swoje kościoły. Zostały one przejęte przez kościół katolicki, ale niewielka liczba wiernych sprawiła, że wiele z nich było opuszczonych. Po aneksji Śląska przez Prusy niemal wszystkie środowiska ewangelickie rozpoczęły budowę nowych zborów, sal modlitw, kościołów, szkół, pastorówek. Protestantka architektura sakralna zmieniła wygląd wielu miejscowości. Druga połowa XVIII w. to czas rozbudowy pruskiej administracji na Śląsku. Nowi osiedleńcy przynieśli nowe wzorce neoklasycyzmu. Przebudowywano w tym duchu nie tylko rezydencje, ale i folwarki, zakładano parki, budowano szkoły.

XIX wiek to niewątpliwie okres świetności Kotliny Jeleniogórskiej. Największa zmiana nastąpiła wówczas, gdy pruska rodzina królewska nabyła swoje posiadłości w Karpnikach, Mysłakowicach i Wojanowie. Zafascynowani krajobrazem, urzeczeni kultem natury, zaczęli przekształcać swoje nowe majątki w duchu romantycznym. Takie możliwości działania dawało niewątpliwie przedgórze Karkonoszy oraz Rudawy Janowickie. Pruska rodzina królewska i przedstawiciele innych arystokratycznych rodów europejskich nie szczędzili środków, aby przekształcić swoje majątki w imponujące założenia pałacowo-parkowe i centra życia kulturalnego ówczesnego Królestwa Pruskiego. Działali tu w tym czasie najlepsi architekci i twórcy ogrodów dworskich: Friedrich Gilly, Carl Gotthard Langhans, Karl Friedrich Schinkel, August Stüler, Peter Joseph Lenné, Gerhard Koeber, Eduard Petzold. Bliskie koneksje rodzinne właścicieli poszczególnych pałaców i dworów oraz wspólne idee i wizje tworzenia krajobrazu idealnego spowodowały powstanie wielkiego założenia krajobrazowego, które obejmowało obszar nie tylko poszczególnych majątków czy wsi, ale całych gmin. Dotyczy to przede wszystkim gminy Mysłakowice, ale również Kowar czy Podgórzyna. Nowi przybysze stworzyli tu miejsca do idylliczno-rustykalnego życia, letniego wypoczynku, tworzyli ośrodki towarzyskich spotkań, z formalną oprawą rezydencji i towarzyszących im parków angielskich, które nadały całej okolicy miano Doliny Pałaców i Ogrodów. To wówczas w okolice przybywali artyści, podróżnicy, arystokraci poszukujący w okresie romantyzmu krajobrazu idealnego. Znajdowali go właśnie tutaj. W ten sposób zrodziło się pojęcie śląskiego Elizjum, tu inspiracji poszukiwali twórcy wielu dziedzin. Ówczesni poeci, malarze, architekci, ogrodnicy, rytownicy nie tylko szukali tu natchnienia, ale zakładali kolonie artystyczne, szkoły i przenosili tu swoje pracownie.

therans and the Calvinists lost their churches. They were taken over by the Catholic church, but the small number of worshipers caused many of them to be deserted. After the annexation of Silesia by Prussia, almost all Evangelic communities began to construct new temples, prayer halls, churches, schools and pastor houses. Protestant sacral architecture changed the appearance of many villages. The second half of the 18<sup>th</sup> century is the time of the extension of Prussian administration to Silesia. New settlers brought new standards of Neoclassicism. In this spirit they not only reconstructed residencies but also folwarks, established parks, constructed schools.

The 19<sup>th</sup> century was undoubtedly the period of greatest prosperity for the Jeleniogórska Valley. The biggest change took place when the Prussian royal family acquired its properties in Karpniki, Mysłakowice and Wojanów. Fascinated by the landscape, enchanted by the cult of nature, with their eyes fixed on the estates of Count von Reden in Bukowiec, they began to transform their new properties in the romantic spirit. Such opportunities for action were certainly provided by the foothill of the Karkonosze Mountains and Rudawy Janowickie. The Prussian royal family and representatives of other aristocratic European families related to it did not lavish means to convert their estates into impressive palace and park developments and centres of the cultural life of the Kingdom of Prussia. At that time, the best architects and creators of court gardens were working here: Friedrich Gilly, Carl Gotthard Langhans, Karl Friedrich Schinkel, August Stüler, Peter Joseph Lenné, Gerhard Koeber, Eduard Petzold. Close family relations between owners of individual palaces and manor houses, as well as common ideas and visions of creating an ideal landscape, resulted in the establishment of large-scale landscape development which encompassed not only individual estates or villages but entire communities. This concerns mainly the community of Mysłakowice, but also Kowary or Podgórzyn. The newcomers created here places for idyllic and rustic life, summer vacations, they arranged centres for social gatherings, with formal scenery and English gardens accompanying them which gave the name of the Valley of Palaces and Gardens to the entire neighbourhood. It was then that artists, travellers, aristocrats looking in the period of Romanticism for an ideal landscape were arriving in the region. They found it here. In this way the term 'the Silesian Elysium' was invented, creators in many fields were looking here for inspiration. Contemporary poets, painters, architects, gardeners, engravers were not only looking for inspiration but set up artistic colonies and schools, and moved their studios here. At the order of the most prominent

Na zlecenie najświetniejszych rodów Europejskich przemieniali i idealizowali zastany krajobraz.

Pierwsze założenia parkowe powstały w Bukowcu i Mysłakowicach, przy neoklasycystycznych pałacach. Kolejne w Karpnikach, Wojanowie, Łomnicy i Dąbrowicy. Tworzone w duchu romantyzmu parki łączono ze sobą przestrzennie lub drogami dojazdowymi kształtowanymi jako aleje. W tych rozległych ogrodach powstawały świątynie, amfiteatry, wieże widokowe, sztuczne ruiny zamków i opactw, domy ogrodnika, rybaka, myśliwego, małe farmy w stylu angielskim itp. Ale nie tylko rezydencje arystokracji pruskiej i ich najbliższe otoczenie zmieniały oblicze gminy Mysłakowice

Jeszcze większa zmiana w wyglądzie wsi nastąpiła w połowie XIX w., gdy za namową hrabiny von Reden z Bukowca, do królewskich dóbr w Mysłakowicach przybyli ewangelicy z miejscowości Zillerthal w Tyrolu. Gdy poddani Habsburgów nie chcieli przejść na katolicyzm, zostali wygnani ze swoich ziem, a król pruski oddał im część swoich dóbr u stóp Karkonoszy. Osiedlono ich w koloniach założonych na południe od wsi Mysłakowice. Tak powstała jedyna w Polsce osada tyrolska, która wniosła trwały ślad do architektury śląskiej, typ prostego domu tyrolskiego. Chłopskie domy, rodem z Alp, stały się inspiracją dla niemieckich architektów dla nowego budownictwa w tych okolicach. Z tyrolskiego budownictwa zagrodowego wzięto galerie, balkony, spłaszczone dachy z wysuniętymi

European families, they were changing and idealizing the landscape they had found.

The first park developments were established in Bukowiec and Mysłakowice, near neoclassicistic palaces. The next were Karpniki, Wojanów, Łomnica and Dąbrowica. The parks created in the Romantic spirit were connected with each other spatially or by means of access roads shaped as alleys. In those extensive gardens temples, amphitheatres, viewing towers, artificial ruins of castles and abbeys, gardener's and fisherman's and hunter's cabins, small farms in the English style etc. were erected. However, not only the residences of Prussian aristocracy and their immediate environment were changing the image of the Mysłakowice community.

An even bigger change in appearance of the village took place in the middle of the 19<sup>th</sup> century when, persuaded by countess von Reden from Bukowiec, Protestants from Zillerthal in Tyrol came to the royal property in Mysłakowice. When the subjects of the Habsburgs did not want to convert to Catholicism, they were expelled from their lands and the Prussian king gave them a part of his properties at the foot of the Karkonosze Mountains. They were settled in colonies established to the south from the Mysłakowice village. That is how the only Tyrol settlement which brought a permanent sign to the Silesian architecture, a type of a simple Tyrol house, was created in Poland. Peasant houses coming from the Alps became an inspiration for German architects, thus contributing to new countryside building industry in this area. The



Rys.1. Zamki, pałace i dwory Kotliny Jeleniogórskiej  
Fig. 1. Castels, palaces and mansions of Jelenia Góra Valley



okapami i motywy zdobnicze. W tak formowanym stylu wzniesiono w Mysłakowicach i Łomnicy szereg budynków. Były to nie tylko chłopskie zagrody, ale również reprezentacyjne budowle dworskie. W takim stylu wzniesiono willę dla księżnej Leignitz, wdowy po królu Fryderyku Wilhelmie III, dom kawalerski dla straży królewskiej, folwark, hotel dla gości Hohenzollernów czy wreszcie willę hrabiego Christiana von Rother, tzw. Czerwony Dworek. Inspirowani Tyrolem architekci projektowali również stacje kolejowe, gospody i domy dla robotników przędzalni. Zmiany w architekturze i obyczajach na tym terenie były tak duże, że z czasem zmieniono nazwę Mysłakowic (po niemiecku Erdmannsdorf) na Erdmannsdorf-Zillerthal i Zillerthal. Ale nie tylko austriacka architektura była inspiracją dla nowych budowli. Wkrótce do projektów domów rodem z Alp dołączyła architektura górską Szwajcarii. Jednym z pierwszych jej przykładów było schronisko wzniesione dla księcia pruskiego nieopodal Karpnik tzw. Szwajcarka na stoku Krzyżnej Góry w Rudawach Janowickich. Ale później z alpejskich, austriackich i szwajcarskich inspiracji powstawały wille i pensjonaty, które nadały karkonoskim kurortom swoisty charakter.

Ale styl życia arystokracji pruskiej był daleki do problemów bytowych ludności wsi przedgórza Karkonoszy. Aby ulżyć ogromnej biedzie jaka dotknęła zarówno dotychczasowych mieszkańców jak i nowo przybyłych Tyrolczyków zdecydowano o budowie na terenie dawnego folwarku dużego zakładu włókienniczego. W połowie XIX wieku wzniesiono bardzo nowoczesną mechaniczną przędzalnię, zaprojektowaną w nawiązaniu do najlepszych wzorców angielskich. Niezależnie od przemysłowego charakteru budynków na teren fabryki wprowadzano ogrody ozdobne i zielńce, nawiązując pośrednio do parkowych założeń rezydencji i otaczającego fabrykę krajobrazu naturalnego. Obok przędzalni w Mysłakowicach na terenie gminy powstawały tym czasie inne zakłady przemysłowe, jak chociażby młyny papiernicze w Łomnicy i Dąbrowicy.

elements borrowed from the Tyrol farmhouse building include galleries, balconies, flattened roofs with protruding eaves and decorative themes. A series of buildings were erected in the style formed in this way in Mysłakowice and Łomnica. They were not only peasant farmhouses but also representative manor structures. In this style a villa for Duchess Leignitz, widow after king Frederick William III, cavalry house for the royal guard, folwark, hotels for the guests of the Hohenzollerns or finally a villa for Count Christian von Rother, so called Red Manor House, were constructed. The architects inspired by Tyrol designed also railway stations, inns and houses for workers of the spinning mill. Changes in the architecture and customs in this area were so big that after a time the name Mysłakowice (in German Erdmannsdorf) was changed to Erdmannsdorf-Zillerthal and Zillerthal. However, not only the Austrian architecture was the inspiration for new structures. Soon the designs of houses coming from the Alps were joined by mountain architecture of Switzerland. One of the first examples of it was a hostel erected for a Prussian prince near Karpniki, so called Szwajcarka, on the slope of Krzyżna Mountain in Rudawy Janowickie. At a later stage, villas and guest houses were constructed based on the Alpine, Austrian and Swiss inspirations, which gave a specific character to the Karkonosze resorts.

However, the style of living of the Prussian aristocracy was different from existential problems of people in the foothills of the Karkonosze Mountains. In order to relieve the enormous poverty which was experienced both by the existing inhabitants and the Tyrol newcomers, it was decided to build big textile works in the area of the former folwark. In the middle of the 19<sup>th</sup> century, a very modern mechanical spinning mills was erected, designed in relation to the best English standards. Independently of industrial nature of the buildings, decorative gardens and parks were introduced in the area of the factory, referring directly to park developments of the residence and natural landscape surrounding the factory. Apart from the spinning mill in Mysłakowice, other industrial sites, such as paper mills in Łomnica and Dąbrowica, were appearing in the area of the community.



Rys.2. Dwór w Karpnikach, pałace w Łomnicy i Wojanowie  
 Fig.2. Karpniki Mansjon, palaces in Łomnica and Wojanów

Obok znakomitych budowli należących do ziemiaństwa czy patrycjusza wyrosłych z rozdającego się przemysłu we wsiach przedgórze karkonoskiego dominowała tradycyjna zabudowa uzależniona od zamożności mieszkańców i zwyczajów budowlanych. Dominowała tu najczęściej zabudowa parterowa o konstrukcji przysłupowej lub szkieletowej. Ale w połowie XIX w. oraz na początku XX w. nastąpiła wymiana starszej zabudowy wsi. Pojawiły się w wielu miejscowościach dwukondygnacyjne murowane domy lub też budynki z murowanym przyziemem i szkieletowym piętrzem, według projektów typowych, nawiązujących do architektury tyrolskiej i prostego neoklasycyzmu. W początkach XX w. pojawiły się tu również wille, a w Mysłakowicach i Łomnicy osiedla robotnicze.

Po ostatniej wojnie najbardziej rozbudowano osiedla na terenie Mysłakowic. Zbudowano tu wielorodzinne bloki mieszkalne, nowe osiedla domów jednorodzinnych, pozbawione kompowanych układów przestrzennych.

### **3. Zachowane wartości kulturowe i sposób ich ochrony**

Rok temu, po kilku latach starań różnych środowisk i organizacji, po przygotowaniu wielu różnorodnych dokumentów i wieloletniej kampanii informacyjnej, Rada Gminy Mysłakowice podjęła uchwałę o powołaniu największego parku kulturowego w Polsce, obejmującego znaczną część gminy. W bieżącym roku Fundacja Doliny Pałaców i Ogrodów złożyła do Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego wniosek o wpis historycznych rezydencji na Listę Pomników Historii. To niewątpliwie wielkie kroki na drodze ratowania niezwykłego dziedzictwa gminy, ale czy wystarczający?

Trudno jednoznacznie stwierdzić, które z zachowanych zabytków są największą wartością gminy Mysłakowice. Czy są to rezydencje pruskiej rodziny królewskiej i arystokracji berlińskiej, czy może otaczające je wspaniałe i rozległe parki krajobrazowe? A może największą wartością jest bogata i różnorodna architektura sakralna? Katolickie i ewangelickie świątynie z licznymi tablicami nagrobnymi, kaplice i cmentarze, swymi korzeniami sięgają przecież często wczesnego średniowiecza. Nie można też zapominać o wspaniałej i unikatowej architekturze tyrolskiej, która zmieniła oblicze wielu okolicznych wsi. Ale bez względu na to, który typ zabudowy uznamy za najważniejszy dla gminy, to w każdym przypadku mamy do czynienia ze wspaniałym otoczeniem Karkonoszy i Rudaw Janowickich. I właśnie to po-

In addition to prominent buildings belonging to the gentry or patricians resulting from growing industry, in villages of the Karkonosze foothills traditional buildings dominated depending on wealth of the inhabitants and building customs. Most often the dominant style was a one-storeyed building with Lusatian half-timbered or framing design. However, in the middle of the 19<sup>th</sup> century and early 20<sup>th</sup> century, the older buildings in the countryside were replaced. In many villages, two-storeyed bricked houses or buildings with bricked ground floor and framed storey appeared, according to typical designs referring to the Tyrol architecture and simple Neoclassicism. At the beginning of the 20<sup>th</sup> century, also small villas, and in Mysłakowice and Łomnica workers' settlements were built.

After the last war, the settlements in the area of Mysłakowice were the most extended. Multi-family blocks of flats with typical rectangular bodies were also constructed here. New quarters of single-family houses, deprived of any composed spatial systems, were also appearing.

### **3. Preserved cultural values and the method of protecting them**

One year ago, after several years of efforts of various environments and organisations, after preparation of many various documents and many year long campaign promoting historical values of the region, the Council of the Mysłakowice community passed a resolution about establishing of the biggest cultural park in Poland, covering a significant area of the community. This is undoubtedly a milestone on the way to saving the unique heritage of the community but is it sufficient? Can it protect the most precious values?

It is difficult to say clearly which of the preserved monuments are the biggest values of the Mysłakowice community. Are they the residencies of the Prussian royal family and Berlin aristocracy, or maybe beautiful and extensive landscape parks surrounding them? Or maybe the biggest value is the rich and differentiated sacral architecture? The roots of catholic and evangelic temples with numerous gravestones, chapels and cemeteries often reach early Middle Ages. We cannot forget also about beautiful and unique Tyrol architecture which changed the imagine of many neighbouring villages. But regardless of what type of buildings we will assume to be the most important for the community, in any case we have to do with a wonderful environment of the Karkonosze and Rudawy Janowickie Mountains. And it is just

łączenie naturalnego krajobrazu i dzieł architektury wznoszonej przez ówczesnych mieszkańców jest największym skarbem Mysłakowic.

W spisie Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków istnieje łącznie ponad 50 obiektów zabytkowych, a opracowane w 2004 r. studium historyczne gminy postuluje wpis kolejnych 48 obiektów. Jak na gminę wiejską, liczącą niewiele ponad 10 tys. mieszkańców i 8 wsi, jest to liczba imponująca. Ale nie tylko ilość i jakość zabytków architektury gminy jest tu niezwykła, ale również ich różnorodność. W tej liczbie znajduje się 11 pałaców i dworów, 7 założeń parkowych, 8 kościołów, 7 folwarków, a także młyny, leśniczówki, schroniska, domy mieszkalne, cmentarze, pastorkówki, gospody, kaplice, wille. Taka różnorodność, co prawda jest świadectwem wielkiego kulturowego bogactwa regionu, ale nie sprzyja skutecznej ochronie. Różna własność i przeznaczenie, różna wielkość i stan zachowania, różne możliwości adaptacji i zmiany funkcji – to wszystko ogranicza możliwości jednorodnych działań. Ale na niezwykłość tego miejsca wpływ mają nie pojedyncze typy obiektów i nawet ich niezwykłość, ale przede wszystkim ich różnorodność i otoczenie w jakim występują.

W ostatnich kilku latach proces konserwacji czy rewaloryzacji nabral szczególne przyspieszenia. Pałace w Łomnicy, Wojanowie i Karpnikach zmieniły swoje funkcje i poddane staranym konserwacjom wpisane zostały w sieć hoteli historycznych. Otaczające je folwarki podobnie zaczynają służyć turystom. Pałace w Mysłakowicach i w Bukowcu służą funkcjom edukacyjnym i biurowym. Rezydencja księcia pruskiego w Karpnikach poddawana jest właśnie pracom adaptacyjnym i konserwatorskim. Tylko stan zachowania pałacu w Dąbrowicy czy w Wojanowie Bobrowie budzić dziś może poważne obawy. Jeżeli chodzi o zachowane domy tyrolskie, to tu również okres najgorszy mamy za sobą. Powstałe kilka lat temu stowarzyszenie Tyrolczyków w dolinie Ziller w Austrii pomogło mieszkańcom zdewastowanych zagród w ich konserwacji i często rekonstrukcji. Dziś stanowią wielką atrakcję gminy. Stan zachowania kościołów i świątyń jest również bardzo zróżnicowany. W najlepszym stanie są użytkowane kościoły katolickie, choć z całą pewnością wymagają konserwacji najstarsze elementy wyposażenia: ołtarze, ambony, loże czy epitafia. Gorzej przedstawia się sytuacja nieużytkowanych kościołów ewangelickich. Również zabytkowe chałupy wiejskie w atrakcyjnych miejscowościach Kotliny Jeleniogórskiej znajdują no-

the combination of the natural landscape and works of architecture erected by the former inhabitants which is the greatest treasure of Mysłakowice.

The inventory of the District Building Conservation Officer includes in total more than 50 historical monuments, and the historical study for the community developed in 2004 recommends adding another 48 objects. As for a countryside community, covering slightly more than 10 thousand inhabitants and 8 villages, this is an impressive number. However, not only the number and quality of architectural monuments of the community but also their variety is incredible. This quantity includes 11 palaces and manor houses, 7 park developments, 8 churches, 7 folwarks, as well as mills, foresters lodges, hostels, residential houses, cemeteries, pastor houses, inns, chapels, villas. Although such variety is the evidence of great cultural richness of the region, it does not make the effective protection easier. Different ownership and intended use, different size and condition of preservation, different options of adaptation and changing of functions – all this constrains the possibilities of uniform actions. However, the uniqueness of this place results not from individual types of objects or even their uniqueness but most of all from their diversity and environment in which they exist.

During the last several years the process of conservation or revalorization has been particularly accelerated. The palaces in Łomnica, Wojanów and Karpniki changed their functions, underwent careful preservation and were included in the chain of historical hotels. Similarly, the folwarks surrounding them begin to be used by tourists. The palaces in Mysłakowice and Bukowiec, even though their former magnificence has not been recovered, are used for educational and office purposes. The residence of the Prussian prince in Karpniki is now the subject of adaptation and conservation work. Only the condition of preservation of the palaces in Dąbrowica or Wojanów Bobrów may cause serious concerns at this moment. As far as the preserved Tyrol houses are concerned, the worst period is also behind us. The Tyrol Association set up in the Ziller Valley in Austria a few years ago helped inhabitants of the devastated farmhouses to conserve and often reconstruct them. Today they are great attractions of the community. The condition of church and temple preservation also varies considerably. Generally, the Catholic churches which are used are in the best condition. Although the oldest elements of the furnishing: altars, pulpits, lodges or epitaphs as well as elevations certainly require conservation, the condition of their preservation is good. The situation of unused evangelic churches is worse. The historical peasant huts in the attractive places of the Jeleniogórská Valley also find new owners who

wych właściciele, którzy dostrzegają ich urok i próbują w starą oryginalną substancję wpisać współczesne rozwiązania techniczne i użytkowe. Ale jak powstrzymać budowę nowych osiedli i domów, które swą obcą formą zacierają charakter miejscowości?

#### **4. Gmina Bogatynia – Kraina Domów Przysłupowych**

Leżąca w powiecie zgorzeleckim gmina Bogatynia różni się od Mysłakowic wieloma wskaźnikami ekonomicznymi i demograficznymi. Jest znacznie większa obszarowo, ma dwukrotnie więcej mieszkańców, jest znacznie zasobniejsza (jedna z najbogatszych gmin w Polsce), jest gminą miejsko-wiejską o znaczącym udziale przemysłu. Na jej terenie znajdują się dwa wielkie zakłady przemysłowe: Kopalnia Węgla Brunatnego Turów i Elektrownia Turów, które zatrudniają ponad 7 tys. osób, co w praktyce oznacza prawie zerowe bezrobocie. Z całą pewnością można znaleźć jeszcze wiele innych różnic, ale w kilku obszarach obie gminy są do siebie bardzo podobne. Obie leżą w obszarze Sudetów Zachodnich i to góry kształtują ich naturalny krajobraz. Zarówno Mysłakowice jak i Bogatynia były lokowane już we wczesnym średniowieczu i najstarsze ich zabudunki właśnie tak są datowane. Lokacjom wsi towarzyszyły nadania lenne, książąt śląskich, które ukształtowały strukturę majątków ziemskich i obszarów wiejskich. Podobna jest również ich historia. Jedyną poważniejszą różnicą dziejową związaną jest z zakończeniem wojny trzydziestoletniej. W przeciwieństwie do Mysłakowic, które stały się po wojnie domeną katolickich Habsburgów, Bogatynia znalazła się pod panowaniem elektorów Saskich i do czasu kongresu wiedeńskiego w 1815 r. historia gminy związana była z protestancką Saksonią. Później, podobnie jak okolice Jeleniej Góry, znalazła się w granicach państwa pruskiego. Ale ta krótką, z historycznego punktu widzenia, zmiana dziejowa zaowocowała nieco innym charakterem zabudowy gminy, szczególnie w XVIII w. Innym powodem różnicującym zabudowę obszarów wiejskich Bogatyni jest sposób w jaki kształtowało się osadnictwo na tych terenach. Wsie karkonoskie zaludniali głównie przybysze z Saksonii, Szwabii czy Brandenburgii, tereny w kotlinie turoszowskiej od X w. zamieszkiwali Łużyczanie i Serbołużyczanie. I to oni przez całe stulecia byli mieszkańcami tych ziem. Te dwie historyczne

appreciate their charm and try to incorporate contemporary technical and operating solutions in the old original substance. However, how to stop construction of new quarters, houses, shops and craft workshops which cover up the nature of these places with their strange forms?

#### **4. The Bogatynia community – Land of Half-timbered Houses**

The Bogatynia community situated in the Zgorzelec district is differentiated from Mysłakowice by many economic and demographic factors. It is much bigger as far as its surface area is concerned, it has twice as large a population, it is much wealthier (one of the richest communities in Poland), it is a municipal and countryside community with a considerable share of industry. Two enormous industrial sites are located in its environs: Turów Brown Coal Mine and Turów Power Station employing more than seven thousand people which in practice means almost zero unemployment. Certainly many other differences can be found but in several areas these two communities are very similar to each other. They are both situated in the area of the Western Sudetes and the mountains form their natural landscape. Both Mysłakowice and Bogatynia were established in the early Middle Ages and their oldest historical monuments reach back to that time. The establishment of the villages was accompanied by fiefdom assignments by the Silesian princes which had an effect on the structure of land properties and countryside areas. Their history is also similar. The only significant historical difference is connected with the end of the Thirty Years Wars. Contrary to Mysłakowice which after the war became a domain of the Catholic Habsburgs, Bogatynia was under the control of the Saxon electors and till the time of the Congress of Vienna in 1815, its community history was connected with Protestant Saxony. Later, like the areas near Jelenia Góra, it was located within the borders of the Prussian state. However, this brief change from the historical point of view resulted in a slightly different nature of community building development, particularly in the 18<sup>th</sup> century. Another factor differentiating the building development of the Bogatynia countryside areas is the way in which settlement was carried out in these areas. The Karkonosze villages were populated mainly by people coming from Saxony, Swabia or Brandenburg, lands in the Turossów valley from the 10<sup>th</sup> century were the living place of the Lusatians and Lusatian Serbs. And it was they who were inhabitants of these lands for entire centuries. They developed their own culture on their lands. These two historical changes resulted in slightly different



Rys. 3. Domy przysłupowe w Zgorzelcu i Wojanowie  
*Fig.3. Upper Lusatian Half-timbered House in Zgorzelec and Wojanów*

zmiany zaowocowały nieco inną zabudową wiejską na stosunkowo nieodległych terenach.

Podstawowym wyróżnikiem architektury całej gminy Bogatynia jest wspólna architektura łużycka. Tzw. domy przysłupowe, charakterystyczne dla polsko-czesko-niemieckiego pogranicza występują w Polsce prawie wyłącznie w Sudetach Zachodnich. Budownictwo to powszechnie traktowane jest jako połączenie słowiańskiego budownictwa drewnianego i architektury frankońskiej. Jej oryginalność polega przede wszystkim na charakterystycznym opasaniu zrębowej budowli izb parteru niezależną konstrukcją nośną wykonaną z pionowych słupów podtrzymujących dach, ścianę ryglową lub kolankową piętra. Architektura ta charakterystyczna dla wsi łużyckich występuje również w zabudowie miejskiej. Związana jest zasadniczo z przemysłem lniarskim (domy tkaczy, przędzalnie, bielarnie płótna). Budynki z okolic Bogatyni miały często jasne pasy (gliniane spoiny między balami), niekiedy części zrębowe były malowane. Większość zachowanych domów pochodzi z XVIII i XIX w., choć bywają i starsze. Budowano je do początku II wojny światowej. Choć szacuje się, że na Łużycach i Dolnym Śląsku powstało ich łącznie ponad 30 000 to na terenie Polski zachowało się ich zaledwie kilkaset. Oprócz okolic Bogatyni powstały również w okolicach Jeleniej Góry, Zgorzelca i Lwówka Śląskiego. Ale najcenniejsze przykłady tej zabudowy można odnaleźć właśnie w gminie Bogatynia. Mamy tu do czynienia nie tylko z wzorcowymi przykładami architektury łużyckiej o zróżnicowanej formie i detalach, ale mamy przykłady jednorodnej zabudowy całych wsi. Te unikalne przykłady kultury łużyckiej na naszych terenach, owocowały nie tylko samą zabudową, ale również rozwojem wielu rzemiosł budowlanych.

building structures, especially in the country, and different way in which the villages were developed in relatively close regions.

The basic distinguishing factor of architecture in the entire Bogatynia community is the wonderful Lusatian architecture. So called half-timbered houses, characteristic of the Polish-Czech-German borderland, appear in Poland almost solely in the Western Sudetes. This building style is commonly regarded as a combination of the Slavic wooden building and Frankonian architecture. Its uniqueness consists mainly in characteristic encircling of the horst and graben structure of the ground floor rooms with an independent carrying structure made of vertical pillars supporting the roof, timbered wall or knee wall of the first floor. This architecture, characteristic of Lusatian villages, is present also in municipal building development. Basically, it is connected with the linen industry (weavers' houses, spinning mills, linen bleaching plants). Buildings in the neighbourhood of Bogatynia often had bright stripes (clay joints between logs), sometimes the timbered parts were painted. Most of the preserved houses come from the 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> centuries, although even older ones are available. They were constructed until the beginning of the 2<sup>nd</sup> World War. Although it is estimated that in Lusatia and Lower Silesia in total more than 30 000 of them were erected, only several hundred remain within the area of Poland. Apart from the areas surrounding Bogatynia, they were also built near Jelenia Góra, Zgorzelec and Lwówek Śląski. However, the most valuable examples of these structures can be found solely in the Bogatynia community. We find here not only model examples of Lusatian architecture with differentiated form and details, but also examples of the uniform development of entire villages. These unique examples of Lusatian culture in our areas resulted not only in the building structures themselves but also in the development of many buildings crafts.

## 5. Ochrona zabudowy łużyckiej

Dom przysłupowy bardzo często jest przez gminę wykorzystywany jako jej wizytówka. Na stronach promujących gminę można odnaleźć liczne informacje o kulturze i architekturze łużyckiej. Ale to promocyjne wykorzystywanie symboliki łużyckiej nie idzie w parze z konkretnymi decyzjami czy działaniami, które mogłyby tę architekturę chronić. Poza samym miastem Bogatynia niewiele domów przysłupowych wpisano do rejestru zabytków. Pomijano nie tylko pojedyncze obiekty, ale całe zwarte zabudowy wsi. W 2000 r. na skutek rozwoju kopalni Turów, zlikwidowano całą wieś Wigancice z jednolitą zabudową przysłupową. Później podjęto podobną decyzję w sprawie wsi Wyszków. Gdy zmieniono decyzję o rozbudowie kopalni i zatrzymano wydobycie w ich kierunku w Wigancicach nie pozostał żaden budynek. Tylko jeden został translokowany do Zgorzelca. I to nie z inicjatywy gminy czy kopalni, ale osoby prywatnej, dla której kultura łużycka i architektura domów przysłupowych są prawdziwą pasją. Wszystkie inne budynki rozebrano i przeznaczono na opał lub jako odzysk materiałów budowlanych. Tylko przypadkowi można zawdzięczać fakt, że podobny los nie spotkał Wyszkowa, choć mieszkańcy opuścili już wieś. Została ona zasiedlona ponownie. Ale nowi „osadnicy” bez pomocy merytorycznej i finansowej nie są w stanie uratować swoich domów, których stan techniczny jest często fatalny. Dziś, gdy hałdy powydobywcze są zalesione, gdy utworzono wokół wyrobiska wały odcinające zabudowę wsi od kopalni, można dostrzec nie tylko wspaniałą architekturę, ale naturalne górskie otoczenie.

Pomimo licznych inicjatyw polsko-czesko-niemieckich, zmierzających do ratowania łużyckiego dziedzictwa, pomimo utworzenia specjalnych programów ratowania tej architektury brak jest po stronie polskiej rzeczywistych w skutecznych działaniach ratunkowych. Taki program z powodzeniem działa u naszych zachodnich sąsiadów. Powstał tam nie tylko program pomocy materialnej dla konkretnych obiektów, ale specjalne programy zachęcają mieszkańców zarówno do konserwacji istniejących budynków, jak i do wznoszenia nowych wg starych wzorów. W ten sposób ratowane są nie pojedyncze budynki ale cały krajobraz kulturowy wsi łużyckich. Takiego podejścia do ochrony zabytków kultury łużyckiej wciąż u nas brakuje. Szkoda tego tym bardziej, że zarówno kopalnia, jak i elektrownia są potężnymi podmiotami gospodar-

## 5. Protection of the Lusatian buildings

The half-timbered house is very often used by the community as its showpiece. On the pages promoting the community, you can find a lot of information about Lusatian culture and architecture. But this promotional utilisation of Lusatian symbols is not accompanied by specific decisions or actions which could protect this architecture. Except for the town of Bogatynia itself, few half-timbered houses were entered in the registry of historical monuments. Not only single objects, but entire compacted village complexes were omitted. In 2000, as a result of growth of the Turów mine, the entire village of Wigancice with uniform half-timbered structures was liquidated. Later a similar decision was made with respect to the village of Wyszków. By the time the decision about the mine expansion was changed and excavation in this direction was terminated, no building was left in Wigancice. Only one of them was relocated to Zgorzelec. And this was not an initiative of the community or the mine, but of a private person for whom Lusatian culture and the architecture of the half-timbered house are real passions. All other buildings were demolished and used for fuel or recovery of building materials. Only by accident was a similar fate avoided in Wyszków, even though the inhabitants had already left the village; it was subsequently repopulated. However, the new ‘settlers’, without factual and financial support, are not able to save their houses, the technical condition of which is often disastrous. Today, when the mine waste dumps are covered with forests, where embankments separating the village structures from the mine were created around the pit, it is possible to see not only the beautiful architecture but also the natural mountainous environment.

In spite of numerous Polish-Czech-German initiatives aiming at rescue of the Lusatian heritage, in spite of the creation of special programs in order to save this architecture, there are no real and effective rescue actions on the Polish side. Such programs have been successfully working with our western neighbours. They created not only a program of material support for specific objects, but also special programs encouraging the inhabitants to preserve existing buildings and to erect new ones according to old designs. In this way, not single buildings but the entire cultural landscape of Lusatian villages is saved. We still do not follow such an approach to the protection of Lusatian cultural monuments. It is a shame, the more so because both the mine and the power station are powerful business entities which in some sense are

czymi, które w pewnym sensie odpowiadając za unicestwienie Wigancice i tamtejszej zabudowy, mogłyby teraz stać się prawdziwymi mecenasami regionu, w którym działają. Byłby to doskonały przykład połączenia wielkiego, ciężkiego przemysłu z konserwacją, ochroną i promocją kultury łużyckiej.

## 6. Podsumowanie

Ochrona tak szerokiego obszaru jak powierzchnia całej czy nawet części gminy wydaje się w dzisiejszych warunkach bardzo trudna. Możemy sobie dość łatwo wyobrazić jak ochraniać poszczególne zabytki i ich najbliższe otoczenie, ale w jaki sposób zapewnić ochronę obszarów w których one nie występują, a są jedynie naturalnym otoczeniem zabudowy dworskiej, czy wiejskiej. Jak nie hamując rozwoju gminy i jej aspiracji do nowoczesnych rozwiązań urbanistycznych zapewnić skuteczną ochronę jak najszerszego obszaru, który stanowi unikat na skalę wręcz europejską. Jak zahamować zabudowy atrakcyjnych terenów, które zamykają panoramy i osie widokowe? Jak ochronić tradycyjną i unikalną zabudowę wsi od obcych stylistycznie i ideowo nowych domów? Jak przekonać mieszkańców zaniedbanych i zdekapitalizowanych ale architektonicznie cennych budynków wiejskich, że warto je ratować, remontować i użytkować? Z całą pewnością warunkiem dalece niewystarczającym jest tworzenie sztywnych regulacji prawnych, które taką ochronę powinny zapewniać. Wpisy do rejestru zabytków, szczegółowe zapisy w planach zagospodarowania przestrzennego, czy nawet tworzenie wielkoobszarowych parków kulturowych wydają się niewystarczające. Trzeba przekonać mieszkańców, że żyją wśród wartości, które bezwzględnie należy ochraniać, gdyż w przyszłości będą ich atutem rozwojowym. W obu prezentowanych tu gminach podjęto wiele lat temu próby „odkrywania” walorów kulturowych gmin. Ale i w jednym i drugim przypadku oddziaływanie płynące z zamkniętych seminariów, spotkań i konferencji było niewystarczające. Te inicjatywy muszą mieć znacznie szerszy odbiór. Muszą wchodzić do szkół, lokalnych stowarzyszeń, władz samorządowych. Powinny się stać tematem debat i dyskusji samych mieszkańców. Bez takiego szerokiego podejścia będziemy skazani niepowodzenie.

responsible for the destruction of Wigancice and its buildings, they could become now real patrons of the region in which they operate. It would be an excellent example of combining huge heavy industry with conservation, protection and promotion of Lusatian culture.

## 6. Summary

Protection of such a broad region as the area of the entirety or even a part of a community seems very difficult under existing conditions. We can quite easily imagine how to protect individual monuments and their immediate environments, but how to ensure protection for areas in which they are not present and they are only a natural environment of manor house or village building development? How, not obstructing development of the community and its aspirations for modern town planning solutions, to ensure effective protection for an extensive area which is a unique case plainly on a European scale? How to slow down development of attractive lands which close panoramas and viewing axes? How to protect the traditional and unique building development of villages from stylistically and conceptually strange new houses? How to convince inhabitants of neglected and decapitalised, but architecturally valuable countryside buildings that they are worth saving, renovating and utilising? Certainly, it is far too little to constitute rigid legal regulations which should ensure such protection. Entries in the register of historical monuments, detailed specifications in land development plans protecting the landscape or even the creation of large-sized cultural parks seem insufficient. The real protection must be connected with the building of social awareness in the area of a village, settlement or community. It is necessary to be able to convince the inhabitants that these are valuables which must be absolutely protected because in the future they will be their developmental assets. In both communities presented here, many years ago attempts were made to ‘discover’ the cultural values of the communities. However, in both cases the effect obtained from closed seminars, meetings and conferences was insufficient. Such initiatives must have a much wider perception. They must come from schools, local associations, local government authorities. They must become a subject of debate and discussion among the inhabitants themselves. Without such a broad approach, we will be always condemned to failure.

## Literatura • References

- [1] Kapalczyński W., Napierała P., *Zamki, pałace i dwory Kotliny Jeleniogórskiej*, Wrocław 2005.
- [2] Krosigk K., *Peter Joseph Lenne i ogrodowy krajobraz Kotliny Jeleniogórskiej*, *Studia i Materiały. Krajobrazy*, 2000 27 (39), s. 73-82.
- [3] Łuczyński R., *Zamki dwory i pałace w Sudetach*, Legnica 2008.
- [4] Marsch A., *Kotlina Jeleniogórska dawniej i dziś*, Jelenia Góra 2007.
- [5] Trocka-Leszczyńska E., Rdzawska E., *Domy łżyckie w Polsce*, *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria: konferencje*, 2002, vol.82 (31), s. 439-447.

---

\* Castellum sp. z o.o., Wrocław, Polska  
Castellum Co. Ltd., Wrocław, Poland

---

## Streszczenie

Jednymi z najbardziej interesujących regionów w Sudetach Zachodnich, które wymagają bezwzględnie obszarowej ochrony konserwatorskiej, są gminy Mysłakowice w powiecie jeleniogórskim i Bogatynia w powiecie zgorzeleckim. W obu gminach występuje, niezwykła jak na gminy wiejskie, ilość obiektów zabytkowych. Pomimo różnego stanu ich zachowania już dziś okolica Mysłakowic nazywana jest Doliną Pałaców i Ogrodów, a rejon Bogatyni Krainą Domów Przysłupowych. Już same nazwy wskazują, że obie gminy mogą stać się najpoważniejszymi polskimi kandydatami na wpis na Listę Światowego Dziedzictwa Kulturalnego i Przyrodniczego UNESCO. Aby jednak takie plany mogły się urzeczywistnić potrzebne ponad standardowe działania chroniące ten unikalny krajobraz kulturowy.

## Abstract

One of the most interesting areas in the district is certainly the community of Mysłakowice located between Jelenia Góra and Karpacz, and the community of Bogatynia situated in the Turoszów Valley. Both communities contain historical monuments in numbers rarely encountered in countryside areas. The neighbourhood of Mysłakowic is more and more often called the Valley of Palaces and Gardens, and the area surrounding Bogatynia, among others, the Land of Lusatian Half-Timbered Houses. Among various assemblies of specialists there are even opinions that it is just these romantic residences around Jelenia Góra and the Lusatian building industry located in the border areas of Poland, Czech and Germany that can be in the immediate future the only possible Polish entries in the UNESCO World Cultural and Natural Heritage List.



Ireneusz Płuska\*

## 800 lat cegielnictwa na ziemiach polskich – rozwój historyczny w aspekcie technologicznym i estetycznym

## 800 years of brickmaking in Poland – historic development in its technological and aesthetic aspects

*Rok 2009 inauguruje obchody 800-lecia ceramiki budowlanej na ziemiach polskich. To piękny jubileusz, którego obchody rozpoczęto w dniu 7 października konferencją z okazji „Dnia Budowlanych” w Muzeum Porczyńskich im. Jana Pawła II w Warszawie zorganizowaną przez Związek Pracowników Ceramiki Budowlanej i Silikatów wraz z Konfederacją Budownictwa i Nieruchomości. Ustalono bogaty program obchodów, które trwać będą przez 2010 rok, a zakończą się w 2011 roku. Za początkową datę powstania cegielnictwa polskiego przyjęto rok 1210 tj. rozpoczęcia budowy kościoła cystersów w Kołbacz, który uważany jest przez większość historyków sztuki i architektury za pierwszą u nas budowlę monumentalną całkowicie ceglana.*

*Niniejszy artykuł upamiętnia ten jubileusz.*

### 1. Wprowadzenie

Do najstarszych materiałów budowlanych, oprócz drewna i kamieni naturalnych, i to już od początków bytowania człowieka na naszym globie, należy zaliczyć glinę. Gлина stała się już w czasach neolitu podstawowym materiałem budowlanym, służącym do wylepienia szalaszów mieszkalnych, głównie w części naziemnej. Po zarobieniu wodą stawała się plastyczna, łatwo urabialna i prosta w użyciu.

Od przełomu wieków XI i XII na ziemiach polskich wały piastowskich kasztelanii, czyli grodów i podgrodzi, budowano z drewna z dodatkiem kamieni, a przede wszystkim z gliny, którą dla ochrony przed ogniem wylepiano ich lico zewnę-

*The year 2009 inaugurates the celebrations of 800 years of building ceramics in Poland. It is a jubilee, the celebrations of which commenced on October 7 – “Builders’ Day” – in the Porczyński Museum in Warsaw, with a conference organised by the Union of Building Ceramics and Silicate Workers in cooperation with the Confederation of Building and Property. A rich programme of the celebrations has been set up, lasting throughout 2010 to be finished in 2011. The year 1210, when the construction of the Cistercian church in Kołbacz commenced, has been accepted as the initial date for Polish brickmaking, since the majority of historians regard the church as the first monumental fully brick building.*

*This article is to commemorate the jubilee.*

### 1. Introduction

Clay has been considered one of the oldest building materials, besides wood and natural stone, since the very beginnings of human existence on our planet. Already in the Neolithic era clay became the basic building material used for lining dwelling huts, mainly in the above-ground section. After mixing with water it became plastic, easily workable and easy to use.

Since the turn of the 11<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> century, in the Polish territories the ramparts of the Piast dynasty castellanies, namely hill forts and suburbia, were built from wood and stone, but mainly from clay which was pasted on their outer face to protect

trzne. Były to początki tzw. budownictwa glinobitego [1]. Nie była to jeszcze wypalana ceramika budowlana, ale doceniano już wtedy zalety plastycznej w obróbce gliny do szerokiego zastosowania w budownictwie mieszkalnym i obronnym. Jednak w czasie wysychania glina kurczyła się i pękała. Zaczęto więc formować z niej kształtki – surówki, będące prototypem współczesnych cegieł. Z kształtek tych, łączonych rzadkim iłem wznoszono ściany nawet o dużych powierzchniach [2].

Pierwszy etap chrystianizacji Polski kończy zjazd gnieźnieński w 1000 roku. Ustala się wówczas ostatecznie organizacja polskiego kościoła z metropolią w Gnieźnie. Tu też w pierwszej ćwierci wieku XI (zapewne przed 1018 r.) powstaje na podgrodzium olbrzymia katedra, której resztki ze wspaniałą, wypalaną, dekoracyjną posadzką w wielkie różnobarwne gwiazdy zostały odkryte w latach 70. ubiegłego wieku<sup>1</sup>. Co prawda na ziemiach etnicznie polskich najstarsze znalezisko budownictwa ceglanego odkryto w kolegiacie w Tumie pod Łęczycą, pochodzące przypuszczalnie z XII wieku, ale niewielki watek muru ceglanego wymaga dalszych badań i doprecyzowania naukowego<sup>2</sup>.

W Polsce cegła palona weszła w użycie na szerszą skalę w XIII wieku. Początkowo w okresie romańskim, a szczególnie w czasie rozkwitu architektury gotyckiej odgrywała dominującą rolę, stała się podstawowym materiałem budowlanym, wykonywano z niej również elementy dekoracyjne. Łatwość pozyskiwania gliny i łupków niskotopliwych oraz stosunkowo prosty sposób wytwarzania kształtek ceramicznych decydowały o powszechności stosowania cegieł. Odpadały problemy z wykuwaniem ciężkich bloków skał w kamieniołomach, ich obróbką, transportem i podniesieniem na elewacje.

Z punktu widzenia estetycznego „gorący materiał” [3], jak nazywali cegłę mediolańczycy, zaspokajał w zupełności gusty estetyczne ówczesnych muratorów.

Właściwości plastyczne ceramiki są wyjątkowe. Barwa, charakterystyczny wygląd powierzchni i kształt cegieł sprawiły, że ceramika była jednym z najbardziej cenionych materiałów budowlanych i wykończeniowych. Łatwość formowania gliny w różne kształty, trwała naturalna barwa po wypaleniu i możliwość szkliwienia oraz faktura powierzchni powstała w wyniku stosowania różnorodnych elementów ceramicznych, to najważniejsze cechy wykorzystywane dla uzyskania odpowiedniego estetycznego wyrazu architektonicznego fasad, charakterystycznego tylko dla materiałów ceramicznych.

them from fire. Those were the beginnings of the so called packed-clay building [1]. It was not fired building ceramics yet, but the virtues of easily workable clay were already widely appreciated and used in dwelling and defensive constructions. However, clay shrank and cracked while drying. Therefore, it was used to form prefabricated elements – green bricks, which were the prototypes of modern bricks. Those ceramic shapes bonded with rare silt were used for erecting walls, even of large dimensions [2].

The first stage of Christianisation of Poland ends with the Congress of Gniezno in the year 1000. The organisation of the Polish church with its metropolis in Gniezno had finally been established by then. It is also there that a huge cathedral was erected in the suburbia in the first twenty five years of the 11<sup>th</sup> century (probably before 1018), the remains of which with its magnificent, fired, decorative floor of huge multi-coloured stars were discovered in the 1970s<sup>1</sup>. It should be mentioned, however, that the oldest brick structure in the ethnically Polish lands, which might have been erected in the 13<sup>th</sup> century, was found in the collegiate church in Tum near Łęczycza, but the fragment of a brick wall bond requires further research scientific specification<sup>2</sup>.

Fired brick became more widely used in Poland in the 13<sup>th</sup> century. Initially in the Romanesque period, and particularly when the Gothic architecture flourished, it played a vital part and became an essential building material, from which decorative elements were also made. The ease with which clay and low-melting slate could be obtained, as well as a relatively simple process of manufacturing ceramic shapes, popularized the use of bricks. Hewing heavy blocks of stone in a quarry, dressing them, their transport and lifting up to the elevation were no longer a problem.

From the esthetic point of view the “hot material” [3], as brick was called by the Milanese, fully satisfied the esthetic tastes of the contemporary bricklayers.

The malleable properties of ceramics are unique. The colour, characteristic appearance of the surface and the shape of bricks caused ceramics to become one of the most appreciated building and finishing materials. The ease of forming clay into various shapes, its permanent natural hue after firing, the possibility of glazing it and the texture of the surface obtained as a result of applying various ceramic elements, are the most important properties used for achieving a suitable aesthetic architectonic appearance of the façades, characteristic solely for ceramic materials.

Również bogactwo form przestrzennych, mocno profilowane gzymsy, obramowania otworów okiennych i drzwiowych, pilastry, filary i żebrwania sklepień, czarna ornamentyka zendrówkowa pokrywająca geometryczną siatką powierzchnie ścian oraz kształt i faktura dachów krytych dachówką – to główne zalety pełnego wykorzystania własności plastycznych ceramiki stosowanej w architekturze ubiegłych stuleci.

Początkowo, w XII i XIII wieku, na naszych ziemiach wyrobem cegieł, dachówek i płytek posadzkowych trudnili się najprawdopodobniej zwykli garncarze. Mieli oni zamiłowanie do formowania i wypalania w glinie różnych kształtów i profili, które stopniowo przenosili na elewacje. Znane są też związane z tą wytwórczością średniowieczne nazwy miejscowości, jak Zduny czy Garncarsko. Wśród rzemieślników nadanych w 1204 r. przez Henryka Brodatego klasztorowi cystersów we Wrocławiu, również znajdowali się garncarze. Bolesław Rogatka, w dokumencie wystawionym dla rozpoczętej w 1244 r. przebudowy katedry św. Jana Chrzciciela, zwalnia z podatków jej wykonawców, a wśród nich ceglarny – „laterarii” [4].

## 2. Pojawienie się cegły na historycznych ziemiach polskich

W XIII wieku krajobraz architektoniczny ziem Polski zaczął się wyraziście przekształcać. W znacznej mierze wskutek upowszechnienia się nowego u nas materiału budowlanego – cegły, mającej wpływ nie tylko na zwiększenie skali barw, ale też na zmiany wyglądu budowli monumentalnych. Wprawdzie sporadycznie posługiwano się w budownictwie materiałami ceramicznymi już w pierwszej połowie XI w.; z płytek ceramicznych, pokrytych barwnymi polewami ułożono wtedy np. posadzkę katedry w Gnieźnie. Jednakże płytki ceramiczne to jeszcze nie cegły.

Cegły pojawiły się po raz pierwszy około połowy XII w. w Tumie pod Łęczycą oraz posłużyły one, wraz z ciosami kamiennymi, do wykonania niektórych arkad w kościele opackim w Czerwińsku. Wielobarwność arkad, uzyskana dzięki zastosowaniu ciosów i cegieł, wskazuje na związki z północną Italią, Lombardią. Być może strzechy budowlane, poszukujące pracy w chrześcijańskiej Polsce, przywędrowały z południa Europy, gdzie lombardzkie tradycje cegielnicze należy wiązać z początkami cegielnictwa europejskiego w ogóle.

Na przełomie XII i XIII wieku z cegieł i z ciosów granitowych wymurowano kościoły osady targowej w Inowrocławiu i opactwa w Strzelnie,

Variety of spatial forms, heavily profiled cornices, window and door frames, pilasters, pillars and vault ribs, black ornaments made from well-fired brick called ‘zendrówka’ covering walls in geometrical patterns, and the shape and texture of tile-covered roofs – are the main advantages of fully exploiting the plastic properties of the ceramic used in the architecture of the past centuries.

Initially, in the 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> century, bricks, roof and floor tiles seem to have been produced by ordinary potters in our land. They had a passion for forming and firing various clay shapes and profiles, which they gradually transferred to elevations. There are known medieval names of places, such as Zduny (Stove-fitters) or Garncarsko (Pottersfield), associated with that kind of manufacture. Potters could also be found among the artisans granted to the Cistercian monastery in Wrocław in 1204 by Henryk Brodaty (Henry the Bearded). Bolesław Rogatka (the Horned), in a document issued for the conversion of the cathedral of St. John the Baptist, started in 1244, declared its contractors exempt from taxation including brick makers – “laterarii” [4].

## 2. Appearance of brick in historic Polish territories

In the 13<sup>th</sup> century, the architectonic landscape of Poland distinctly started to transform, to a great extent because of popularisation of the new building material – brick, which not only increased the range of colours, but also changed the appearance of the erected monumental buildings. Admittedly, ceramic materials were sporadically used in construction work already in the first half of the 11<sup>th</sup> century, e.g. the floor of the cathedral in Gniezno was laid with ceramic tiles covered with colourful glazing; nevertheless, ceramic tiles are not bricks.

Bricks appeared for the first time about the mid-12<sup>th</sup> century in Tum near Łęczycą and were used, together with stone blocks, for building some of the arcades in the abbey church in Czerwińsk. The multi-coloured arcades obtained by the use of stone blocks and bricks indicate the connection with northern Italy, Lombardy. It is possible that building guilds, looking for work in Christian Poland travelled from the southern Europe, where Lombardian brick-making traditions should be associated with the beginnings of European brick making in general.

At the turn of the 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> century, the churches in the trade settlement in and the abbey in Strzelno were built from brick and granite blocks, which might have referred to the contem-

nawiązując zapewne do ówczesnego budownictwa w Brandenburgii. Oba te kościoły wzniesiono głównie z ciosów, jednakże w Inowrocławiu górne partie wież, a w Strzelnie m.in. północne ramie transeptu wykonano w całości z cegieł. W dalszym ciągu czerpano ze wzorców zachodnich muratorów, w tym ceglarzy.

Gwałtowna zmiana tworzywa nastąpiła w początkach XIII wieku podczas budowania katedry w Kamieniu Pomorskim. W ostatniej ćwierci XII w. wykonano z kostek granitowych dolną część ścian północnego ramienia transeptu, natomiast kontynuując budowę w pierwszej połowie XIII w. posługiwano się wyłącznie już tylko ceglami. Również na Pomorzu Zachodnim, w opactwie cystersów w Kołbaczu, tylko głowice kolumn kapitułarza są z kamienia, zaś wszystkie budynki ze sklepieniami wykonano wyłącznie z cegieł. Kościół tego opactwa wznoszony od 1210 roku jest uważany przez historyków sztuki i architektury za pierwszą u nas budowlę monumentalną całkowicie ceglana [5].

Na Śląsku, między 1203 a 1240 r. postawiono kościół w Trzebnicy, ufundowany przez Henryka Brodatego dla zakonu cysterek. Była to murowana z cegieł, mocno rozbudowana bazylika z transeptem, dużym prezbiterium i przylegającymi do naw bocznych kaplicami. Jeszcze w czasie budowy w 1214 r. zachęcono wiernych i pielgrzymów do odwiedzania świątyni, w zamian przyznawszy im specjalne odpusty. Podobnie jak w Trzebnicy budowanie murów i wysklepek z cegieł, spotykane i w innych obiektach fundowanych przez księcia Henryka Brodatego, bywa uważane za kontynuację doświadczeń warsztatów budowlanych, w tym ceglarzy, pracujących dla cystersów przede wszystkim na terenie Saksonii. Nawet niektóre miejskie kościoły parafialne na Śląsku zaczęto budować już stosując w większości cegłę. Należą do nich m.in. kościoły w Nysie, Złotorzy, Środzie Śląskiej i pierwszy kościół św. Elżbiety we Wrocławiu. Należy przypuszczać, że koloniści z Zachodu, budując w miastach śląskich swe kościoły parafialne, przeszczepiali umiejętność wykonywania i wypalania cegieł oraz wznoszenia z nich budowli z terenów północnych Niemiec i z Niderlandów.

Jednak największą perłą wczesnośredniowiecznej architektury ceglanej jest kościół św. Jakuba w Sandomierzu, wybudowany w drugiej ćwierci XIII wieku. Wykonany jest w zasadzie tylko z cegieł, chociaż są w nim drobne elementy kamienne, to w całości budowli zarówno z zewnątrz, jak i wewnątrz nie mają one roli tak istotnej, jak jeszcze w kręgu wczesnego budownictwa cystersów saskich i śląskich. Elementy zdobnicze są w kościele

porary constructions in Brandenburg. Both churches were erected mainly from stone blocks, however the upper sections of towers in Inowrocław and the northern arm of the transept in Strzelno were made entirely from bricks, still drawing on the patterns of western builders and bricklayers.

A dramatic change in material occurred at the beginning of the 13<sup>th</sup> century, while building the cathedral in Kamień Pomorski. In the last quarter of the 12<sup>th</sup> century, the lower part of the north arm of the transept was built from granite sett, whereas only bricks were used to complete the construction in the first half of the 13<sup>th</sup> c. Similarly in Western Pomerania, in the Cistercian monastery in Kołbacz only capitals of columns in the chapterhouse were built from stone, while all the buildings with vaults were built exclusively from brick. The abbey church, constructed since 1210, is regarded by art and architecture historians as the first monumental building in our country built entirely from bricks [5].

In Silesia, between 1203 and 1240, a church in Trzebnica was erected, which was founded for the Cistercian convent by Henryk Brodaty (Henry the Bearded). It was a brick, vastly expanded basilica with a transept, a large presbytery and chapels adjoining side aisles. Already during the construction work in 1214, the faithful and pilgrims were encouraged to visit the church, and granted a special indulgence in return. Similarly to Trzebnica, building walls and vaults from brick, encountered also in other objects founded by Duke Henryk Brodaty, tends to be regarded as a continuation of the traditions of building workshops, including those of brick-makers who worked for the Cistercians mainly in Saxony. Even some town parish churches in Silesia were erected using mostly brick, including e.g. the churches in Nysa, Złotoryja, Środa Śląska and the first church of St. Elizabeth in Wrocław. It can be assumed that settlers from western Europe, when building their parish churches in towns in Silesia, transplanted their ability of producing and firing bricks and using them for erecting buildings resembling those in northern Germany or the Netherlands.

However, the most precious jewel of the early medieval brick architecture is the church of St. James in Sandomierz, erected in the second quarter of the 13<sup>th</sup> century. It was built basically from brick, but although it contains tiny stone elements, they do not play such a significant part in the whole building, either outside or inside, as they did in the times of early buildings of the Saxon and Silesian Cistercians. Decorative elements in

sandomierskich dominikanów wykonane z cegieł zwykłych, układanych ozdobnie w kratownicowe fryzy oraz z profilowanych cegieł – kształtek dekorowanych rzeźbiarsko bądź odciskanych z form o motywach wałków, sznurów, rantów, guzów, plecionek i motywów zoomorficznych. Estetykę tych ceramicznych elementów potęgowały nawarstwienia żółtych, brunatnych lub zielonkawych szkliwień. Analiza motywów zdobiących kościoł św. Jakuba skłania do przypuszczeń, że był on wykonany przez cegielników przybyłych bezpośrednio z Lombardii. Obco brzmiące imiona odcisnięte w znakach ceglarskich sandomierskiej świątyni każą potwierdzić te przypuszczenia.

Początkowo więc, budownictwo ceglane na ziemiach Polski było importem z różnych terenów. Umiejętności wytwarzania cegieł i murowania budowli przenosiły wędrujące strzechy cegielników – może z Niderlandów i Danii, a na pewno z Brandenburgii, Saksonii i z północnych Włoch. Jednakże biorąc najogólniej – kolebkę naszego budownictwa ceglano stanowią północne Włochy. W jednych przypadkach – jak np. w Sandomierzu – mógł to być import bezpośredni, w innych natomiast formy włoskiego budownictwa ceglano docierały do nas z Zachodu, poprzez różne kraje w postaci już zmodyfikowanej. Duży udział należy przypisać również rodzimym cegielnikom, którzy szybko przyswajali sobie sposoby i metody wytwarzania oraz wypalania kształtek ceglanych.

Równocześnie z murowaniem ścian z cegły pojawiły się także dachówki. Krycie dachów nad budowlami monumentalnymi nie płatami drogiej blachy ołowianej, lecz dachówkami, poszerzyło asortyment ówczesnych wyrobów ceramicznych. Dachówki początkowo były płaskie (karpiówki) i często pokryte barwną glazurą.

Znaczącym symbolem średniowiecznych miast i ich niezawisłości prawnej były otaczające je mury obronne. Budowa muru stanowiła inwestycję nader kosztowną, toteż nie wszystkie miasta mogły się na nią zdobyć i nawet w szybko rozwijających się metropoliach następowała ona w kilkadziesiąt lat po lokacji. Dla potanienia inwestycji, stopniowo ciosy kamienne zastępowano ceglami, znacznie tańszymi do wytwarzania i transportu. Pierwsze mury miejskie pojawiły się na ziemiach polskich po 1260 r. we Wrocławiu, a w końcu wieku XIII ponadto w Poznaniu (ok. 1280), Krakowie (po 1291) oraz w paru największych miastach Śląska. Mur ceglany poza trwałością, niepalnością i innymi zaletami miał jeszcze tę przewagę nad wcześniejszymi wałami drewniano-ziemnymi, że przy wielokrotnie mniejszej grubości

the Dominican Church in Sandomierz were made from ordinary bricks, arranged into ornamental grated friezes, and profiled bricks – shapes decorated with sculpture or pressed from moulds in the form of rolls, ropes, borders, knobs, plaiting or zoomorphic motifs. The esthetic of such ceramic elements was enhanced by layers of yellow, brownish or greenish glazing. Analysis of the motifs used for decorating St. James' Church allows for assuming that it may have been built by brick makers who had arrived directly from Lombardy. The alien-sounding names imprinted on brickmakers' stamps found in the church in Sandomierz seem to confirm those assumptions.

Therefore, initially brick building in Poland was the result of imports from various regions. The ability to manufacture bricks and erect buildings was transferred by wandering brickmakers – probably from the Netherlands and Denmark, and certainly from Brandenburg, Saxony and northern Italy. Generally, however, northern Italy is regarded as the cradle of our brick building industry. In some cases, as e.g. in Sandomierz, it could have been imported directly, while in others the Italian patterns of brick building arrived to Poland from the west through various countries, in an already modified form. The significant contribution of native brickmakers should also be acknowledged, since they quickly adopted new methods of manufacturing and firing the shaped bricks.

Roof tiles appeared simultaneously with the walls built from brick. Covering the roofs over monumental buildings with roof tiles instead of expensive sheets of lead, broadened the assortment of the then ceramic products. Initially, the tiles were flat (beaver-tail roof tiles) and frequently covered with colourful glaze.

Defensive walls, surrounding medieval cities were an important symbol of their legal independence. The construction of a defensive wall was an extremely expensive investment, so not all cities could have afforded it, and even in rapidly developing metropolises it might have taken place several dozen years after the city had been granted its charter. To make it cheaper, the stone blocks were gradually replaced with bricks which were much less expensive to manufacture and transport. The first city walls in Poland appeared in Wrocław after 1260, at the end of the 13<sup>th</sup> century in Poznań (around 1280), Kraków (after 1291) and in a few largest cities in Silesia. A brick wall, besides its endurance, non-flammability and other assets, had one more advantage over the previously used wood-and-earth ramparts: because of several times reduced thickness it did not occupy much of the

nie zabierał wewnętrznej powierzchni grodu lub zamku i dawał się elastycznie wpasowywać w teren (zamki w Sieradzu, Bolesławcu, Kruszwicy i Kole).

Polska Kazimierza Wielkiego była już feudalną monarchią stanową, doskonale zorganizowaną i sprężysto kierowaną. Wewnętrzna stabilizacja kraju spowodowała nowe ożywienie ruchu budowlanego, któremu patronował sam król. Nie ma wiele przesady w powiedzeniu, że Kazimierz Wielki zastał Polskę drewnianą, a zostawił murowaną. Chociaż budownictwo drewniane nadal przeważało w Polsce, niemniej przeszło 120 budowli powstałych z inicjatywy króla na ok. 200 ówczesnie zbudowanych głównie z cegły, stanowi imponujące świadectwo rozwoju budownictwa, ale i kulturalnych aspiracji, godnych największych monarchów europejskich. Większość tych fundacji przypadła na trzecią ćwierć wieku XIV. Ilościowo przeważały budowle warowne: przeszło 80 zamków i fortyfikacji miejskich, tworzyły szkielet obrony kraju. Wszystkie te zamki i miejskie warownie, zadowolające dziś nasz zmysł estetyczny kubicznymi zestawami masywnych wież i murów, zdradzały również zdobnicze zamiłowania swych twórców profilowaniem ostrołuku bramy czy układem czarno wypalanych cegieł – zendrówek – dekoracyjnie wplecionych w wątek ściany.

Było charakterystycznym zjawiskiem, że w przeciwieństwie do budownictwa warownego, planowanego w skali całego państwa, fundacje sakralne króla – poza kilkoma wyjątkami – nie przekroczyły granic „królewskiej” dzielnicy Małopolski, koncentrując się szczególnie na najludniejszych i najbogatszych ziemiach między Krakowem a Sandomierzem. Do najlepszych przykładów wielkich ceglanych halowych fundacji Kazimierza Wielkiego należy zaliczyć dziś bazylikę w Sandomierzu (1360 do 1382 r.), kościół św. Katarzyny na podkrakowskim Kazimierzu, wybudowany w latach 1343-1378 przez przybyłych z Pragi augustianów czy główna fara Krakowa – kościół Mariacki, a szczególnie jego prezbiterium powstałe około 1360 r., jako fundacja Mikołaja Wierzyńka.

W ciągu wieku XV rycerstwo zaczęło w sposób coraz bardziej bezpośredni eksploatować dobra ziemskie, przemieniając się w ziemiańską szlachtę, a ich skromne dwory rozrastały się stopniowo w okazałe ceglane budowle obwarowane wałem bądź ogrodem. Przybывало izb i komnat, pojawiały się sale czy „izby wielkie”. W wieku XVI wśród takiego zespołu wyrastał jeden dom „pański”, mieszczący parę ważniejszych wnętrz mieszkalnych i zazwyczaj skarbiec. Był na ogół murowany z cegły, przybierając zwykle kształt wieży mieszkalnej, bądź jej pocho-

inside area of a hill fort or castle, and could be flexibly fitted into the surrounding area (castles in Sieradz, Bolesławiec, Kruszwica and Koło).

In the times of King Kazimierz Wielki (Casimir the Great) Poland was a feudal parliamentary monarchy, perfectly organised and efficiently ruled. Internal stability in the country caused a revival of building industry under the patronage of the king himself. The proverb saying that Kazimierz Wielki found Poland built of wood but left it built of brick is not much of an exaggeration. Although wooden buildings were still predominant in Poland, nevertheless over 120 buildings erected on the king's orders, out of the total 200 built then mostly from brick, provides convincing evidence not only of the building development but also of the cultural aspirations worthy of the greatest European monarchs. The majority of those buildings were founded during the third quarter of the 14th century. As far as numbers are concerned, fortified buildings were predominant: over 80 castles and city fortifications constituted the skeleton of the country defence system. All those castles and city fortresses, which today so appeal to our esthetic sense with their cubic sets of massive towers and walls, betray the decorative preferences of their creators with their profiled ogee-arched gates or an arrangement of the black well-fired bricks ('zendrówki') decoratively woven into a wall bond.

It was a specific phenomenon that, in contrast to fortified buildings planned for the whole country, the king's church foundations – with a few exceptions – did not reach beyond the borders of the “royal” district of Lesser Poland, concentrating particularly in the most densely populated and the richest lands between Krakow and Sandomierz. The basilica in Sandomierz (1360 to 1382), the church of St. Katharine in Kazimierz near Krakow, erected in the years 1343-1378 by the Augustinians who had arrived from Prague, or the main parish church of Krakow – St. Mary's Church, and particularly its presbytery founded around 1360 by Mikołaj Wierzynek, can be regarded as the best examples of enormous brick halls founded by King Kazimierz Wielki.

During the 15<sup>th</sup> century, knights began to exploit their estates more and more directly, gradually turning into landed gentry, whose humble manors expanded into imposing brick buildings surrounded with walls or gardens. The number of rooms and chambers increased, the “great halls” were added. In the 16<sup>th</sup> century, one “lordly” house encompassing more important living quarters and usually a treasury sprang up among such a complex. It was usually built from brick, in the

dnych. Był wydzielony fosą od reszty dworu, jako dostateczna obrona przed „złym sąsiadem” czy tatarskim zagonem.

Lokowano wiele nowych miast, rozrastały się i coraz gęściej zabudowywały się stare. Rozpowszechniła się i normalizowała zabudowa miejskiego typu, zwarcie obrzeżająca rynki, a również i dalsze ulice. Potrzeba było dużo cegły – powstawały cegielnie królewskie, książęce, miejskie i parafialne. Cegielnicy organizowali się w cechy. Domy powiększały się w głąb i rosły w górę, przekształcając się w XVII wieku coraz częściej w wielomieszkańciami kamienicę czynszową bądź w reprezentacyjną siedzibę patrycjusza.

Powszechnemu ożywieniu ruchu cegielniczego towarzyszył wzrost wymagań w stosunku do formy, materiałów i wykonania budynku. Wysoko wykwalifikowani cegielnicy i murarze poszukiwani byli w miastach i na wsi. Nasilenie ruchu budowlanego umożliwiło wędrownym dotychczas ekipom budowniczym stałe zajęcie w większych miastach i doprowadziło do powolnego przekształcania ich w warsztaty miejskie – cegielnie. Długi zazwyczaj proces stabilizacji miejskich warsztatów kończył się ujęciem w nową formę organizacyjną, której od dawna poddane były w miastach inne rzemiosła. W 1512 r. konstituuje się w Krakowie cech ciesielski i murarsko-kamieniarski, w którego ramy organizacyjne wchodzi również cegielnicy. Cech ingerował w produkcję cegieł, kontrolował jej jakość, wyznaczał ceny, czuwał nad nauką czeladników i po wykonaniu tzw. majstersztyku wyzwał ich na samodzielnych mistrzów.

W XVI wieku cegła przestała być tylko wypełnieniem ścian czy pól sklepiennych i zaczęła się ugruntowywać tradycja budownictwa ceglanego. Na jej popularność zasłużyli sobie również współpracujący z cegielnikami murarze – twórcy bogatych ceglanych szczytów, zendrówkowej dekoracji ścian czy bardziej skomplikowanych sklepień o ceglanych żebrach.

Co ciekawe, że Warszawa niczym nadzwyczajnym nie zaznaczyła się uprzednio w dziejach architektury ceglanej. Nigdy nie miała własnego cechu murarsko-kamieniarskiego i cegielników, ale ruch budowlany, wzmagający się szczególnie już w nowej stolicy od początków wieku XVII, przyciągał tu wielu cechowych muratorów z innych środowisk kraju.

W XVIII wieku, u podłoża większych akcji budowlanych leżały ekonomiczne i społeczne teorie budowlane, wymagające, by niższe warstwy, które przynoszą swą pracą dochód właścicielowi wsi czy miasteczka, mieszkały zdrowo i wygodnie. Bu-

shape of a dwelling tower or its variations, and separated from the rest of the mansion by a moat, which seemed sufficient defence against a “bad neighbour” or a Tartar raid.

Many new cities were granted their charter, while the old cities developed and grew. The urban type of building development, densely surrounding the market square as well as further street, popularised and normalised. Bricks were very much in demand, so royal, princely, city and parish brickyards were established, and brickmakers’ guilds were organized. Houses expanded inside and grew taller, in the 17<sup>th</sup> century transforming frequently into a tenement house or a formal patrician’s residence.

A revival in brickmaking was accompanied by higher requirements concerning the form, materials used and workmanship of the building. Highly qualified brickmakers and bricklayers were in demand both in cities and in the countryside. This intensification of building activity allowed the so far wandering teams of builders to find permanent job in bigger cities, and consequently led to their slow transformation into city workshops – brickyards. The usually lengthy process of city workshops’ stabilization ended in a new form of organisation, which had long supervised other crafts in cities. In 1512, the carpenters’ and the stone – masons’ guild was established in Krakow, which also encompassed brickmakers in its organizational framework. The guild interfered into brick manufacturing, controlled its quality, determined prices, supervised the apprentices’ schooling and after they had done their masterpiece had them qualified as independent masters.

In the 16<sup>th</sup> century, brick ceased to be used merely for filling in walls or vaults and the tradition of brick building started to consolidate. The bricklayers, cooperating with brickmakers, who created the rich brick gables, the black ‘zendrówka’ brick wall decorations or more complicated vaults with brick ribs also contributed to its popularity.

It seems curious that Warszawa had not previously made any outstanding contribution to the history of brick architecture. Never did it have its own stone-masons’ and brickmakers’ guild, but the building activity intensified particularly in the new capital since the beginning of the 17<sup>th</sup> century, attracted numerous guild builders from other parts of the country.

In the 18<sup>th</sup> century, the reasons underlying larger building activities were the economic and social building theories requiring the lower classes, who provided income for the owner of the village or town, to live healthily and comfortably. Buildings

dynki miały być tanie, lecz trwałe, miały odpowiadać gustowi epoki zarówno w regularności kształtów, jak i w powielaniu ich bez większych zmian we wszystkich domach osiedla. Takie domy dla warstw pracujących – chłopów, drobnych kupców, rzemieślników, robotników manufaktur, a później również fabrycznych – powstawały dalej aż przez cały wiek XIX. Budowniczowie Oświecenia sięgali po cegłę, materiał tańszy, a zarazem ogniotrwały. Szereg prób robiono z wypalaniem gliny, co znalazło m.in. wyraz w wydawnictwach propagujących ceglane ściany, zwłaszcza na wsi. „Wiek rozumu” bowiem, budowany dla chłopów i robotników folwarcznych, na równi z dworskim budownictwem gospodarskim dźwignął się na piedestał nauki. W drugiej połowie wieku XVIII zaczęło ono wchodzić do podręczników budowlanych i było wykładane w szkołach wyższych. Posługiwano się w cegielnictwie zarówno literaturą obcą, jak i poradnikami polskimi, wśród których pierwszym było *Budowanie miejskie* ks. Piotra Świtkowskiego (1782). Powoli cegłę stosowano prawie wyłącznie jako materiał konstrukcyjny, mniej zaś jako wykończeniowo-dekoracyjny.

Od XIX wieku, po wprowadzeniu produkcji maszynowej, kształty i wymiary cegły ustalane były przez normy przemysłowe i znormalizowane wymiary, chociaż asortyment co do przeznaczenia wyrobów ceglarskich znacznie się poszerzył.

Dzięki rozwojowi polskiej historii sztuki i jednoczesnemu poznawaniu dawnego budownictwa z okazji prac konserwatorskich, architekci dysponowali już na przełomie XIX i XX wieku dostatecznym materiałem by wzbogacić swą historyzującą twórczość o dekoracyjne motywy polskie, wykonywane z ceramiki budowlanej. Narodowej architektury żądali już teraz nie tylko krytycy i projektujący architekci<sup>3</sup>, ale ogół inteligencji, która wobec braku niepodległości i wskutek istnienia ucisku politycznego widziała w rodzimych formach, nawiązujących do świetnej przeszłości, jeszcze jeden oręż w walce o polskość. Szczególnie „Gotyck nadwiślański” zapożyczał swe formy zwykle z ceglanych kościołów „Szkoły Krakowskiej”, gdzie w najbardziej skrajnym wydaniu reprezentuje go niemal szopkowa architektura na podkrakowskim Podgórzu<sup>4</sup>. W Warszawie znaczącym przykładem takiej ceglanej architektury jest kościół św. Floriana na Pradze<sup>5</sup>.

Architektem, który pierwszy pragnął wyzwolić się z dotychczasowych klasycznych konwencji układania cegieł na elewacjach, był Teodor Talowski (1837-1910). Obdarzony wielką fantazją, malowniczo zestawiał asymetryczne i nieformatowe kształtki ceramiczne, wypalane indywidualnie przez

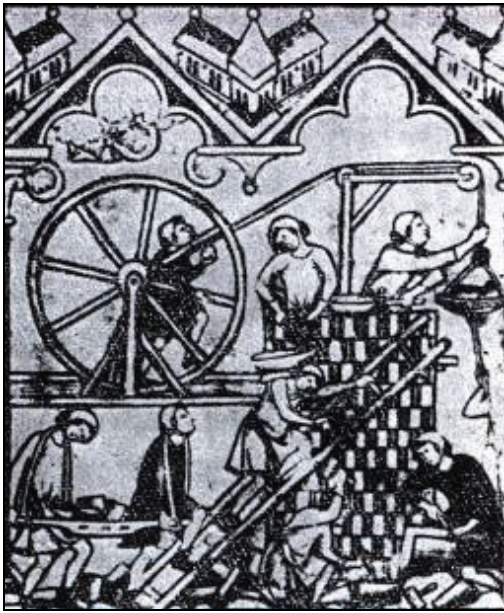
were to be cheap but durable, they were to reflect the taste of the epoch by the regularity of their shape, as well as the possibility of copying them without any major changes in all the houses of an estate. Such houses for the working classes i.e. peasants, tradesmen, craftsmen, manufacture workers, and later also factory workers, were built throughout the 19<sup>th</sup> century. The builders of the Enlightenment epoch used brick since it was both cheaper and fireproof material. Several tests were conducted on how to bake clay, which was reflected e.g. in publications recommending brick walls, particularly in the countryside. During “the Age of Reason” housing intended for peasant and farm labourers, together with manor house building, rose to the rank of science. In the second half of the 18<sup>th</sup> century, it was to be found in building manuals and was lectured on in high schools. Both foreign literature and Polish builder’s guidebooks, the first of which was *Urban building* by rev. Piotr Świtkowski (1782), were referred to in brickmaking. Slowly brick became used almost solely as construction material, and to a lesser extent as finishing and decorative material.

Since the 19<sup>th</sup> century, after machine production had been introduced, the shape and size of bricks was determined by industrial standards and standardized measurements, although the assortment of brickmaker’s products became more varied.

Owing to the development of Polish art history, as well as discoveries concerning old building methods made during conservation work, at the turn of the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century architects had already collected sufficient material to add Polish decorative motifs, made from building ceramics, to their scope of historical designs. National architecture was demanded not only by critics or designing architects<sup>3</sup>, but by the whole intelligentsia who, because of lost independence and the existing political oppression, perceived native forms reflecting the glorious past as one more weapon to use in their struggle for national identity. Particularly “Vistula Gothic” borrowed its design from the usually brick churches of the “Krakow School”, where its most extreme variation is represented by the almost crib-like architecture in the Podgórze<sup>4</sup> district of Krakow. A significant example of such brick architecture in Warszawa is the church of St. Florian in Praga<sup>5</sup>.

Teodor Talowski (1837-1910) was the first architect who wished to free himself from the previously binding classical convention of laying bricks on facades. Endowed with vivid imagination, he picturesquely put together asymmetric and non-standard ceramic shapes baked individually by brickmakers





Rys. 1. Murowanie z cegieł, technika średniowieczna. J. Gimpel „Jak budowano w średniowieczu”, W-wa 1968; repr. I. Płuska  
 Fig. 1. Brick laying in medieval times. J. Gimpel „Jak budowano w średniowieczu”, Warszawa 1968; photo I. Płuska



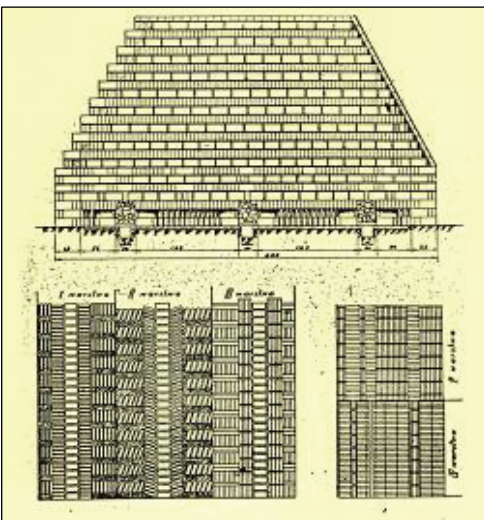
Rys. 2. Budowa ceglanych kościoła cysterskiej w Trzebnicy. Fragment kwatery tryptyku (1430-1440); repr. I. Płuska  
 Fig. 2. Construction of the Cistercian Order brick church in Trzebnica (Poland). Detail of the triptych (1430-1440; photo I. Płuska



Rys. 3. Średniowieczna cegielnia. J. Gimpel „Jak budowano w średniowieczu”, W-wa 1968, repr. I. Płuska  
 Fig. 3. Medieval brickyard J. Gimpel „Jak budowano w średniowieczu”, Warszawa 1968; photo I. Płuska



Rys. 4. Romańska dachówka karpiówka, ze zbiorów ASP Kraków; fot. I. Płuska  
 Fig. 4. Romanesque beaver-tail roof tile. Collection of the ASP Krakow; photo I. Płuska



Rys. 5. Rozłożenie cegieł w dawnym piecu mielerzowym. J. Galer „Nowoczesne cegielnictwo”, 1927 r., repr. I. Płuska  
 Fig. 5. Arrangement of bricks in an ancient brick clamp J. Galer „Nowoczesne cegielnictwo”, 1927; photo I. Płuska



Rys. 6. Gotycka cegła palcówka, ze zbiorów ASP Kraków, fot. I. Płuska  
 Fig. 6. Gothic brick with a frog made with fingers (Pol. palcówka) Collection of the ASP Krakow; photo I. Płuska

podkrakowskich cegielników, urągając wszelkiej harmonii akcentował różnice faktur i dążył do wydobywania w ceramice budowlanej maksimum ekspresji z detalu i ornamentu elewacyjnego<sup>6</sup>.

### 3. Wytwarzanie cegieł

Właściwą porą kopania gliny był początek zimy, chociaż często spotykało się cegielnie, które przerabiałały glinę „z pnia”, czyli wprost z wyrobiska, wtedy oczywiście kopanie odbywało się równoległe z wytwarzaniem kształtek, więc albo tylko w lecie, albo też przez cały rok.

Najczęściej jednak glinę wykopywano w zimie, w zamrzniętym wyrobisku kopanie było łatwiejsze, odbywało się bowiem sposobem zbliżonym, jaki stosowano przy łamaniu skał. Wbijano ostro zakończone grube kliny drewniane między dwiema pionowymi szczelinami, wskutek czego klocek gliny odrywał się od pokładu i upadając rozбивał się na drobniejsze bryły.

Przy zakładaniu dużych cegielni np. książęcych, miejskich czy klasztornych, dokładnie rozpoznawano zasoby pokładów w miarę dobrych glin niskotopliwych. Zakładano jeszcze w XVI wieku, że okres pracy dla mniejszych cegielni powinien wynosić co najmniej 30 lat, dla średnich najmniej 50 lat, dla większych od 50 lat wzwyż. Za podstawę do obliczania rocznego zapotrzebowania gliny przyjmowało się, że na 1000 cegieł potrzeba 3 m<sup>3</sup> gliny w pokładzie, a dla dachówek przeciętnie 1½ m<sup>3</sup> [6]. Nie dziwi więc postawa rajców miasta Brzegu, którzy wydzierżawiając miejscowemu młynarzowi w 1344 roku nieużytki nad Odrą zastrzegali sobie prawo kopania na tym terenie gliny do produkcji cegieł<sup>7</sup>.

Dawni ceglarze intuicyjnie szukali glin najlepszych – bo przecież nauki geologiczne nie istniały – ale dziś wiemy, że były to pokłady trzeciorzędowe miocenne ostatniej kenozoicznej ery geologicznej. Charakter mineralogiczny okolicy również nie pozostawał bez wpływu na rodzaj ubocznych składników gliny. Dawni cegielnicy wiedzieli, że w pobliżu skał wapiennych występują najczęściej gliny ze znaczną zawartością węgla wapnia, podczas gdy w nizinach, zwłaszcza moczarowatych, z bujną roślinnością, przeważają gliny żelaziste i bitumiczne. Pierwsze odznaczają się tym, że zawierają więcej wapnia niż żelaza, a po wypaleniu dają czerep mocno porowaty, słabszy technicznie, barwy żółtawej lub białawej. Najgorszą domieszką w glinach był margiel. Znajduje się on w glinie w postaci płaskich lub zaokrąglonych kamyków, jak dawniej nazywano „lalek” lub „figurek”. Po wypaleniu zmienia się on w tlenek wapnia

from around Krakow, with total disregard for all harmony he emphasised the differences in texture, and tried to achieve maximum expression from building ceramic details and elevation ornaments<sup>6</sup>.

### 3. Brickmaking

The beginning of winter was appropriate time for mining clay, although brickyards which processed clay directly on site were fairly common, in which case clay could be mined at the same time as manufacturing shapes, so either only during the summer or all the year round.

However, most frequently clay was mined in winter, since digging was easier in the frozen soil as the method applied was similar to that used when crushing rocks. Thick, sharp wooden wedges were rammed in between two vertical cracks, which caused a block of clay to separate from the deposit, and the fall made it break into smaller lumps.

When a huge brickyard was established e.g. one belonging to a duke, a city or a monastery, the deposits of relatively good low-melting clay were carefully examined. In the 16<sup>th</sup> century, it was assumed that a small brickyard should be able to operate for at least 30 years, for a medium-sized one at least 50 years, and for a bigger one over 50 years. The basis for the calculation of annual demand for clay was the assumption that 3 m<sup>3</sup> of clay in the deposit is needed to produce 1000 bricks, while for roof tiles 1½ m<sup>3</sup> is needed on average [6]. Therefore, the attitude of the magistrates of the city of Brzeg who, when leasing the wasteland on the Odra banks to a local miller in 1344, reserved the right to mine clay for making bricks in that area, should not be surprising<sup>7</sup>.

The old brickmakers intuitively sought for the best quality clay – after all geological science did not exist then – but now we know that they were Tertiary Miocene layers from the last Cenozoic geological era. Mineralogical character of the area also influenced the type of additional ingredients of clay. The old brickmakers knew that clay with a significant content of calcium carbonate could be found most frequently in the vicinity of limestone rocks, while ferrous and bituminous clay is predominant in the lowlands, especially marshy areas overgrown with lush vegetation. The former are characterized by a higher content of calcium than iron, so after firing they have a highly porous, technically weaker body, yellowish or whitish in colour. Marl was the most undesirable additive in clays. It occurs in clay in the form of flat or rounded pebbles, called ‘dolls’ or ‘figurines’ in the old times. After firing marl changes into calcium oxide (burnt lime),

(wapno palone), który już na fasadzie łączy się z wodą powodując rozsądzanie i kruszenie cegieł. Natomiast w glinach żelazistych przeważają tlenki żelazowe, które po wypaleniu dawały czerep zwięzły, barwy mocno czerwonej. Wszystkie gruboziarniste zanieczyszczenia cząstkami grubego piasku i żwirku również znacznie obniżały parametry techniczne wyrobów ceglarskich.

Rzadko, ale niekiedy cegłę sprowadzano – jeżeli drogą wodną, to import był możliwy nawet na znaczną odległość. Na ogół jednak korzystano z wyrobów cegielni miejscowych, nastawionych na zaspokojenie potrzeb szerszego kręgu odbiorców bądź zakładanych w celu realizacji konkretnej budowl w jej pobliżu. Różnice techniczne między tymi cegielniami nie były znaczne, z tym, że w cegielniach okresowych, związanych z konkretną budowlą najczęściej produkowano tylko cegły podstawowe prostopadłościenne bez możliwości odciskania bardziej wymyślnych dekoracyjnych kształtek.

Glinę lub cegłę transportowano zaprzęgami konnymi lub parą wołów. Glinę sypano w zwaly wielokrotnie przetrucane do dołów, gdzie przekopywano ją, poddając wpływow czynników atmosferycznych – przemarzaniu. Bezpośrednie przygotowanie do produkcji polegało na moczeniu, wysezonowaniu gliny w dołach i jej starannym rozdrobieniu drągami i łopatami. Niekiedy ją deptano.

Surowce schudzające, obok gliny, stanowiły składniki wyjściowe do produkcji wyrobów ceglarskich. Zapobiegają one skurczowi i pękaniu gliny w czasie suszenia (strychowania) i wypalania. Surowce schudzające wpływają również na porowatość cegły po wypaleniu. Najlepszymi dodatkami schudzającymi w czerepie ceglanym były: glinka piaszczysta, piasek kwarcowy, mączka ceglana pozyskiwana ze złomu ceglarskiego, a później regionalnie stosowano również rozdrobniony łupek przywęglowy. Gorszymi schudzacami, rzadko występującymi w zabytkowych ceglach, były trociny, igliwie, a nawet torf. Jednak w czasie wypalania składniki te spalają się i pozostawiają w cegle bardzo wiele dużych porów wypełnionych popiołem. Spotyka się przypadki schudzenia gliny mączką kamienia wapiennego, pozyskiwanego na placu budowy z prac kamieniarskich lub rzeźbiarskich. Cegły takie były z oczywistych powodów mało odporne, szczególnie na zewnętrznych elewacjach budowli.

Cegły do wypału formowano wyłącznie ręcznie na drewnianych stołach, przesypanych piaskiem. Robotników, którzy formowali glinę w odpowiednie kształty nazywano strycharzami. W prostych, drewnianych skrzynkach ubijano glinę, a następnie jej nadmiar z płaskiej otwartej krawędzi,

which combines with water after being applied to the facade thus causing the bricks to blast and crumble. On the other hand, iron oxides, which are predominant in ferrous clays, after firing resulted in a compact body, dark red in colour. All the rudaceous pollutants, like particles of coarse sand and gravel, also significantly lowered the technical parameters of brickmaking products.

Brick was rarely imported – if along a waterway then it could have been transported for long distances. Generally, however, products were provided by local brickyards which were geared towards fulfilling the needs of a wider circle of consumers, or set up in order to realize a concrete building nearby. Technological differences between those brickyards were not significant, although the temporary brickyards connected with a concrete construction site most frequently manufactured only basic cuboid bricks, and had no possibility of making more sophisticated decorative shapes.

Clay or brick was transported in horse-drawn or oxen-drawn carts. Clay was heaped into mounds and repeatedly shovelled into pits, where it was re-shovelled and left to the influence of atmospheric elements – particularly freezing. Direct preparations for manufacturing involved soaking clay in water, seasoning it in pits and careful crushing with bars and shovels; sometimes clay was kneaded with feet.

Besides clay, weakening raw materials constituted main ingredients for the brickmaking production. They prevent shrinking and cracking of clay during drying (Polish: strychowanie) and firing. Weakening raw materials also influence brick porosity after firing. The best weakening additives in the brick body were: sand clay, quartz sand, brick powder obtained from brick rubble, and later crushed carbonaceous shale which was used locally. Worse weakening additives, rarely occurring in historic bricks, were wood shavings, conifer needles, and even peat. These ingredients burn out during the firing process, leaving numerous huge pores filled with ashes in bricks. Cases have been known of weakening clay with limestone powder, obtained on the building site from masonry or sculpting work. For obvious reasons such bricks were not very resistant, especially on the outside elevations of buildings.

Bricks for firing were moulded by hand on wooden tables sprinkled with sand. The workers who formed clay into suitable shapes were called brick moulders. Clay was pressed into simple, wooden boxes, and then its excess was removed with Finders from the flat open edge of the mould,

tw. podstawy, zgarniano palcami dłoni. Odznaczonych wyraźnie śladów palców na płaskiej powierzchni przyjęła się nazwa – cegła palcówka.

Ręczne formowanie cegieł odbywało się na piasku lub wodzie i stosownie do tego nazywano cegłę „piaskową” względnie „wodzianką”. Pierwszy sposób polegał na tym, że formę w kształcie skrzynki z dnem przesypywało się każdorazowo piaskiem, przy drugim zaś, formę bez dna moczyło się każdorazowo w wodzie. Przy formowaniu piaskowym zaroba gliniana mogła być twardsza i bardziej chuda, podczas gdy na wodę można było formować cegły z gliny tłustej. Zaroba musiała być jednak bardziej rzadka.

Współczesne cegły (od XIX wieku), ze względu na maszynowy proces wytwarzania, określa się w cegielnictwie jako maszynowe. Ciekawsze walory wizualne w zabytkowych budowlach przeważają oczywiście na korzyść palcówek.

Przed wypałem kształtki ceglane suszono na nasłonecznionym placu, ale pod zadaszeniem w rodzaju otwartych drewnianych szop. Cegły profilowane, tzw. gzymśówki lub fazowane, formowano z podsuszonych uprzednio prostokątnych cegieł, odcinając drutem lub deseczką zbędne partie wg przystawionego szablonu [7]. Cechą charakterystyczną np. średniowiecznych kształtek ceglanych jest częste „kamieniarskie” opracowanie lica cegieł przez rytowanie dłutem lub rylcem odpowiednich ornamentów i nadanie im form dekoracyjnych, zwłaszcza na wystających elementach portali, glicyfów okiennych lub pilastrów. Specjalnymi formami i odciskowymi stemplami posługiwano się kształtując płytki posadzkowe oraz niektóre cegły ozdobne.

W ciągu dnia jeden strycharz wraz z trzema pomocnikami kształtował nawet do 5 tysięcy cegieł, tzw. surówki. Wytwarzanie więc cegieł było czasochłonne. Szanowano materiał zarówno w całym cyklu produkcyjnym, jak i na placu budowy. Wiemy np., że rozbudowując kościół św. Jana w Toruniu spożytkowano wtórnie cegły pochodzące z rozbiórki zamku Władysława Jagiełły w Złotorzy, zdobytego przez Krzyżaków w 1409 roku [5].

W cegielniach strycharskich musiało być pod dostatkiem wody. Często zakładano głębokie stawy, które w zimie napełniano śniegiem, a w czasie letnim wykorzystywano wszelkie pochyłości gruntu, aby w porze deszczowej zasilić stawy deszczówką, sprowadzoną do nich za pomocą całej sieci płytkich rowów.

Wytwarzanie cegieł zmuszało również do szczegółowego planowania materiałowego. Ze względu na długi cykl technologiczny, cegły nie można

so called base. Because of the shape of fingers clearly visible on the flat surface it was given the name of “palcówka” (‘finger brick’) in Polish.

Bricks were moulded by hand on sand or water, and subsequently they were called “sand struck” or “watery” bricks. In the first method a mould in the shape of a box with a bottom was sanded each time to prevent clay from sticking to it, in the second a bottomless frame was soaked in water each time. For sand moulding clay the mixture should have been harder and leaner, while water moulding could have been used to make bricks from fat clay, however the mixture must have been rare.

Because of the machine process of brickmaking, contemporary bricks (since the 19th century) are called machine-made bricks. Naturally, the more interesting visual effects in historical buildings were obtained with the use of ‘finger bricks’.

Before firing, brick shapes were left to dry in a sunny place, but under a roofing in the form of an open wooden shed. Profiled bricks, so called cornices or bevelled, were formed from previously half-dried rectangular bricks from which excess clay had been cut off with a wire or stick according to a template [7]. A characteristic feature of e.g. medieval brick shapes was frequent “masonry” processing of the brick face by engraving it with a chisel or a burin into suitable ornaments to give them a decorative form, especially on protruding elements of portals, window glyphs or pilasters. Special moulds and stamps to make imprints were used to shape floor tiles and some decorative bricks.

During one day, one brick-moulder with three assistants was able to mould up to even 5 thousand bricks, so called ‘raw’, therefore manufacturing bricks was a time-consuming and laborious process. Materials were looked after during the whole production cycle, and on the building site. We know e.g. that bricks obtained from the demolition of Władysław Jagiełło’s castle in Złotorzy, which was seized by the Teutonic Knights in 1409, were re-used for expanding the church of St. John in Toruń [5].

There must have been sufficient supply of water in moulding brickyards. Therefore, deep ponds were often prepared which were filled with snow in winter, while in the summer all the slopes were used to supply the ponds with rainwater channelled to them with a network of shallow ditches during the rainy season.

Brickmaking also required detailed material planning. Because of the long technological process, bricks could not have been additionally

było dorobić w toku murowania określonej budowli. Trzeba ją było wytwarzać z rocznym wyprzedzeniem.

Zabytkowy materiał ceramiczny, wypalany był wyłącznie w prostych i mało ekonomicznych, jednorazowych piecach mielerzowych lub polowych. Sposób ten przypomina zwęglanie drewna w mielerzach i stąd pochodzi nazwa. Piec mielerzowy układało się z surowych kształtek w formie piramidy z całą siecią kanałów paleniskowych i szczylin tworzących rodzaj rusztu. Cegły ułożone między paleniskami przekładało się drewnem, rzadziej np. torfem. Gdy już mielerz był zupełnie gotowy, rozniecało się ogień we wszystkich paleniskach i od tej chwili pozostawiało się piec jego własnemu losowi. Układanie, wypalanie i studzenie mielerza trwało zależnie od jego wielkości od 4 do 6 tygodni. W średniowieczu pojemność takich pieców była różna. W największych wypalano nawet do 30 tysięcy cegieł. Jest oczywiste, że nie cały wypalony materiał ceramiczny można było wykorzystać do murowania. Środek pieca był zawsze najlepiej wypalony i stąd wychodziły cegły bez zarzutu, najlepszego gatunku. Im bliżej ścian zewnętrznych, tym cegły były coraz słabiej wypalone lub nawet (bezpośrednio przy ścianach) na wpół surowe.

Stałe piece polowe różniły się tym od mielerzowych, że ściany pieca zbudowane były na stałe z dobrego gatunku wypalonych cegieł. Były to piece do wielorazowego wypalania i stałego zapotrzebowania cegieł na miejscu.

Najczęściej pod budowę kościoła lub innej budowli architektonicznej dostarczano zawartość kilku pieców, w zależności od wielkości budowy. Stąd obserwuje się na jednej elewacji różnego rodzaju cegły pod względem barwy i stopnia wypału, a tym samym jakości technicznej.

#### 4. Rodzaje historycznych cegieł

Większość elewacji w średniowieczu była pozostawiona w fakturze ceglanej i dopiero od około połowy XVI wieku zaczęły przeważać elewacje tynkowe. Ceglane i spoinowane lico elewacji pozostawało w naturalnym stanie, zwłaszcza wtedy, gdy stosowano dekorowaną ornamentykę z „rzeźbiarskich” kształtek lub gdy stosowano dekoracyjne układy z czarnej cegły zendrówki. Kolorystykę i „mozaikowość” płaszczyzn ścian uzyskiwano dość przypadkowo, stosując cegły w zależności od stopnia wypału. Takie zróżnicowanie odcieniami kolorystycznymi cegły dzielono wtedy na kilka rodzajów.

„Niedopałka” – to cegła niedopалona barwy jasnej, słabsza technicznie i na fasadzie ulega znisz-

manufactured during the construction of a given building; they had to be made one year ahead.

Historical ceramic material was fired exclusively in simple and not very economical, single-use clamp kilns or field kilns. This method resembles burning charcoal in charcoal kilns and hence its name. Clamp kiln was stacked with raw bricks in the shape of the pyramid with a whole network of heating flues and fire holes creating a sort of grill. Bricks were stacked between hearths and interleaved with wood or, more rarely, peat. When the clamp kiln was ready, fire was started in all the hearths and since then the kiln was left to its fate. Stacking, firing and cooling the clamp kiln lasted from 4 to 6 weeks, depending on the kiln size. In the medieval period, the capacity of such kilns varied; even up to 30 thousand bricks could have been fired in the biggest ones. It seems obvious that not the whole fired ceramic material could have been used for building. The centre of the kiln was always best heated, so it was where the flawless bricks of the highest quality were fired. The closer to the outer walls, the more underfired the bricks became, or even half raw (directly at the walls).

The permanent field kilns were different from the clamp kilns because the walls of the former were permanently built from good quality fired bricks. They were multi-firing kilns to provide for constant demand for bricks on site.

Most frequently, the contents of several kilns had to be delivered to the building site of a church or another architectonic structure, depending on its size. That is why, various kinds of bricks can be observed in one elevation as far as their colour and degree of firing i.e. technological quality are concerned.

#### 4. Kinds of historical bricks

The majority of medieval elevations were left their original brick texture, since plastered elevations became predominant as late as the mid-16<sup>th</sup> century. Brick and bonded face of the elevation was left in its natural state, particularly when the decorated ornamentation from “sculptured” shapes or decorative arrangements from black “zendrówka” brick had been used. The colouring and “mosaic” appearance of wall surfaces was achieved quite incidentally, by using bricks depending on their degree of firing. Because of such colour differences, bricks were then divided into several kinds.

“Underfired” – is an underfired brick, light in colour, technically weaker, so gets damaged first

czeniu w pierwszej kolejności. Często niedopałkę można pomylić z dobrze wypaloną cegłą o dużej zawartości węglanów wapnia. Rozróżnienie w budowlu obu rodzajów cegieł jest stosunkowo łatwe. Cegła niedopałka występuje sporadycznie, rozmieszczona nieregularnie i przypadkowo w murze budowli, zaś z cegły z zawartością wapnia zbudowane są całe fragmenty murów, gdyż pochodzi ona z całej zawartości pieca i z konkretnego terenu.

„Kopciałka” – w wiekach średnich nazywana w Małopolsce „kopiuchą”, to również cegła niedopalona, barwy ciemnej. Pozyskiwano ją od zawietrznej strony pieca mielerzowego, tam gdzie powstawało największe dymienie. Jej nierównomierna, szaro-czerwona barwa jest wynikiem niedostatecznego spieczenia czerepu, jak również osadzenia się w strukturze cegły produktów spalania drewna (sadzy). Na fasadzie jest łatwo rozpoznawalna ze względu na ciemny kolor oraz porowaty i matowy charakter powierzchni. Również szybko ulega zniszczeniu.

„Wiśniówka” – jest najlepszą gatunkowo cegłą, barwy wiśniowo-czerwonej. Pozyskiwano ją ze środkowych partii pieca, gdzie osiągnano najwyższą temperaturę wypału. Wiśniówka po wypaleniu posiadała niezwykle twardy i zbity czerep, przy stukaniu dający metaliczny dźwięk. Cegła ta wykazuje w budowlu najlepszy stan zachowania.

W wyjątkowo wysokich temperaturach (1100 – 1300°C) uzyskiwano cegłę „klinkierową”. Wyrobiana była z glin wapienno-magnezytowych, zmieszanych z żelazistymi. Dawne cegły klinkierowe miały czerep silnie spieczony, o barwie szaro-stalowej. Używana była prawie zawsze na posadzki, rzadziej występuje na zabytkowych fasadach, jako materiał budowlany.

W połowie XIV wieku pojawia się powszechnie stosowane, dekoracyjne zróżnicowanie kolorystyczne wątku, wykorzystujące różnice wypalenia cegły i polegające na zestawieniu spieczonej, ciemnobrazowej „zendrówki” z normalnie wypaloną, czerwoną „wiśniówką”. Zendrówki używano jako sięgaczy do zapewnienia im lepszej przyczepności na zeszlonej powierzchni, widocznej w licu muru w formie samych główek, a normalna cegła była układana jako wozówki. W ten sposób nadawano elewacjom budowli dekoracyjny układ lśniących główek lub wzory układane w formie rombów, szachownicy, poziomych pasów lub krzyży.

Wybitnie dekoracyjny charakter uzyskiwano przez glazurowanie powierzchni wyrobów ceramicznych. Cegłę taką lub bardzo często dachówkę nazywano „polewaną”, obecnie „glazurowaną”. Używano glazury czarnej, żółtej, zielonej lub bezbarwnej, którą pokrywano przed wypaleniem boki

when put in the façade. Underfired brick could frequently be confused with the well-fired brick with a high content of calcium carbonate. However, distinguishing between the two kinds of bricks in an edifice is relatively easy. Underfired bricks occur sporadically, are arranged irregularly and casually in the edifice wall, while bricks with lime content used to build whole fragments of walls, since the bricks constituted the whole content of a kiln from a concrete area.

“Smoky” – in the medieval period also called “sooty” in Lesser Poland, is an underfired brick, dark in colour. It was obtained from the leeward side of the clamp kiln, where most smoke was produced. Its uneven, grey and red colouring is the result of insufficient baking of the body, as well as of wood-burning products (soot) depositing in the brick structure. It is easily recognizable in the façade because of its dark colour and porous and matt texture of the surface, and it also quickly deteriorates.

“Cherry” – is the best quality brick, cherry-red in colour. It was obtained from the central part of the kiln, where the highest temperature of firing was achieved. After firing cherry had an extremely hard and compact body, which gives out a metallic ring when tapped. In an edifice this brick shows the highest degree of preservation.

At exceptionally high temperatures (1100 – 1300°C) “clinker” brick was obtained. It was made from lime-magnesite clays, mixed with ferrous clay. Old clinker bricks had a well-baked body, steel-gray in colour. They were used almost always for floors, but can be found in historical facades as building material though fairly rarely.

Halfway through the 14<sup>th</sup> century, the decorative colour differentiation in the bond became popular, which used the difference in the degree of brick firing and juxtaposed the well-fired, dark brown “zendrówka” with the properly fired red “cherry”. “Zendrówka” was used as tie-bricks to ensure better adhesion to the glazed surface visible in the wall in the form of headers only, and ordinary brick was laid as stretchers. In this way building elevations acquired decorative arrangements of shiny headers or patterns arranged in the form of rhomboids, chessboards, horizontal strips or crosses.

Glazing the surface of ceramic products gave them a uniquely decorative character. Such brick or frequently tile was called “coated”, nowadays “glazed”. Black, yellow, green or colourless glazing was used to coat the sides of bricks, and especially of various ceramic shapes,

cegiele, a szczególnie różnorodnie kształtki. Glazura stosowana była częściej, głównie w północnej części kraju.

W dekoracji fasad występuje również cegła „angobowana” – raczej rzadka na naszych terenach. Jest to kształtka ceramiczna z polewą ze szlachetniejszej glinki, nanoszonej cienką warstwą na powierzchnię wyrobu ceramicznego, wykonanego z gliny gorszego gatunku i innej barwy. Oba rodzaje cegieł dekoracyjnych, zarówno glazurowane, jak i angobowane używane były głównie w formie okładzin.

Kształt, wymiar i ciężar cegieł dostosowane były do przeznaczenia wyrobów oraz ze względu na murowanie przy pomocy rąk ludzkich, do budowy ergonomicznej dłoni. Szerokość cegły dopasowano do przeciętnego uchwytu dłonią przez murarza, którego rozpiętość wynosi około 13 cm. Ponadto stwierdzono doświadczalnie, że dla osiągnięcia największej wydajności przy najmniejszym zmęczeniu, ciężar cegły powinien wynosić 3 do 4,5 kg. Warunki te z pewnością intuicyjnie wpłynęły na ogólne ustalenie w poszczególnych okresach historycznych obowiązujących powszechnie wymiarów cegieł.

Wymiary wozówki, główki i podstawy cegły umożliwiały uzyskiwanie różnych grubości ścian zewnętrznych, zależnie od warunków klimatycznych, z zachowaniem wymaganego również współczynnika przenikania ciepła. Stosunek szerokości do długości pozwalał należycie wiązać (zastrępić) cegły w murze.

Przeciętne wymiary cegieł romańskich wynosiły: 26 – 28 × 12 – 13 × 8 – 9 cm. W Polsce najstarsze cegły romańskie z początku XIII wieku miały wymiary: 24 × 12,6 × 7,4 cm i 26 – 26,5 × 13 – 13,5 × 7,8 cm. Cegły gotyckie najczęściej posiadały wymiary: 28 – 30 × 13 – 14 × 8,5 – 9 cm lub 28,5 – 29 × 13 × 9,5 cm. Od połowy XVII wieku powszechnie stosowana była mniejszego formatu cegła (zwana powszechnie „saską”) o wymiarach 25 × 13,3 × 4,5 cm. W XIX wieku wymiary cegieł były zróżnicowane, zawsze jednak stosunek grubości do szerokości i długości wynosił 1 : 2 : 4; obecnie obowiązuje znormalizowany wymiar 25 × 12 × 6,5 cm.

Na przykładach wątków ceglanych najstarszych budowli Polski widać różnorodność i rangę estetyczną, jaką w historii odgrywały odpowiednie kształtki ceramiczne. Niektóre z nich do dzisiaj zachowały swoje historyczne nazwy. Są to:

- normalna, czyli pełna,
- trzywierzciówka, albo dziewiątka (3/4 normalnej),
- połówka, albo szóstka (1/2 normalnej),
- trójka (1/3 normalnej),
- kwatka albo ćwiartówka (1/4 normalnej),

before firing. Glazing was more frequently used in the northern part of the country.

“Engobed” brick can also be found in the facade decorations, though it is quite rare in our land. It is a ceramic shape with a coating from a higher quality clay, a thin layer of which is spread over the surface of the ceramic product made from worse quality and different colour clay. Both glazed and engobed decorative bricks were used mainly as facing.

The shape, size and weight of bricks were suited to the products’ use and, because brick-laying was done by hand, to the ergonomic build of human hand. The width of brick fitted the average grip of a bricklayer, which has the span of approximately 13 cm. Moreover, it has been experimentally proved that a brick should weigh between 3 to 4.5 kg in order to achieve the highest productivity with the least fatigue. These conditions must have intuitively influenced the general standards concerning the commonly accepted brick measurements in particular historical periods.

The size of the stretcher, header and base of brick allowed for achieving various thickness of outer walls, depending on climatic conditions while maintaining the required overall heat-transfer coefficient. The ratio of width and length allowed for proper bonding (toothing) of bricks in a wall.

Average size of Romanesque bricks equalled: 26 – 28 × 12 – 13 × 8 – 9 cm. In Poland the oldest Romanesque bricks from the beginning of the 13<sup>th</sup> century measured: 24 × 12,6 × 7,4 cm and 26 – 26,5 × 13 – 13,5 × 7,8 cm. Gothic bricks most frequently measured: 28 – 30 × 13 – 14 × 8,5 – 9 cm or 28,5 – 29 × 13 × 9,5 cm. Since the mid-17<sup>th</sup> century, bricks of smaller size were commonly used (popularly called “Saxon”) which measured 25 × 13,3 × 4,5 cm. In the 19<sup>th</sup> century brick sizes varied, but the ratio of brick thickness to its width and length always equalled 1 : 2 : 4; nowadays the standard size brick measures 25 × 12 × 6,5 cm.

The samples of brick bonds found in the oldest buildings in Poland can demonstrate the variety and esthetic value of suitable ceramic shapes throughout history. Some of them have maintained their historical names. Those are:

- ordinary, or full,
- three quarters or a nine (3/4 of the ordinary one),
- a half or a six (1/2 of the ordinary one),
- a three (1/3 of the ordinary one),
- a quarter (1/4 of the ordinary one),

– rzemyczek (1/2 uzyskana przez przepołowienie wzdłuż).

Inne, bardziej fantazyjne, to: profilówka, fasonówka, formowana, fazowana – ścięta w krótszym boku, o jednostronnym profilu w postaci wałka, ćwierćwałka, ćwierćłobnika lub simy, używane głównie do węgarów okiennych i drzwiowych, gzymsówka, żebrówka.

Na Pomorzu i zachodnich ziemiach Polski, gdzie cegielnictwo stało na wysokim poziomie, poszczególne kształtki wypalano jako gotowe na zamówienie, niezwykle dokładnie wymodelowane elementy ceramiczne. Na terenach obecnej Małopolski – poza małymi wyjątkami kościołów dominikańskich – takiego bogactwa form kształtek ceramicznych raczej się nie spotyka. W gotyckich kościołach Krakowa można zauważyć większą prostotę form i zdobień architektonicznych, a odpowiednie kształtki i profile cegieł uzyskiwano przez mechaniczną, ręczną obróbkę normalnej cegły, wykonywaną już przez murarza na rusztowaniu.

W połowie XIII wieku pojawiają się bogate zestawy czysto dekoracyjnych elementów ceramicznych, odciskanych z drewnianych form i pieczęci. Nieco później pojawiają się formy gipsowe zbrojone, szczególnie przydatne do tłoczenia lub odciskania cienkościennych kształtek np. dachówek. Ażurowe kształtki stosowane były przede wszystkim do dekoracji ścian szczytowych i balustrad wież kościelnych<sup>8</sup>.

Niezwykłą finezję w stosowaniu dekorowanej ceramiki prezentowały warsztaty dominikańskie. Należy do nich m.in. tzw. fryz liliowy, złożony na elewacji z czterech elementów. Ten charakterystyczny i powtarzalny detal, stanowiący swoisty znak firmowy budowli dominikańskich występuje równocześnie w kilku polskich ośrodkach dominikańskich, m.in. w Krakowie, Poznaniu i Wrocławiu.

Niektóre detale wypalanej ceramiki przypominały wyroby czysto rzeźbiarskie. Jedynym w swoim rodzaju jest ceramiczny zwornik sklepienia w prezbiterium kościoła św. Wojciecha we Wrocławiu z przełomu XIII i XIV w., przedstawiający biskupa w tiarze [4].

Wyrafinowanym i bogatym przykładem ceramicznej ornamentyki późnogotyckiej elewacji stanowią detale wschodniej ściany Ratusza we Wrocławiu. Występują tam niezwykle zróżnicowane detale w formie poetyckiej dekoracji, jak pinakle, pilastry, bazy, głowice, arkady, kwiatony i maswerki. Są one dowodem wielkiego kunsztu ceglarzy późnogotyckiego Wrocławia.

Mury z cegieł wznoszono aż do XVI w., podobnie jak mury z ciosów kamiennych. Oprócz fragmentów, w których cegły układano dekoracyjnie, stawiając mur z cegieł wyprowadzano starannie

– a thong (1/2 obtained by cutting a brick lengthwise).

Other, more fanciful were: profiled, fashioned, formed, bevelled – cut off on the shorter side, with one-sided profile in the form of a roll, quarter round, quarter flute or sima, used mainly for window and door jambs, cornice and ribbed.

In Pomerania and the western regions of Poland, where brickmaking reached high standards, individual shapes were fired as custom-made, extremely precisely modelled ceramic elements. In the area of the present-day Lesser Poland – with the rare exception of Dominican churches – such a variety of forms of ceramic shapes is not encountered. In the Gothic churches in Krakow greater simplicity of form and architectonic ornaments can be observed, and appropriate shapes and brick profiles were obtained by mechanical, manual processing of ordinary brick performed by the bricklayer on the scaffolding.

In the mid-13<sup>th</sup> century there appear lavish sets of purely decorative ceramic elements, obtained by pressing of wooden forms or stamps. Later, strengthened plaster forms appeared, especially useful for embossing or pressing thin-walled shapes e.g. roof tiles. Openwork shapes were used primarily for decorating gable walls and church tower balustrades<sup>8</sup>.

Dominican workshops represented unique finesse in using decorated ceramics. One example was the so called fleur-de-lis frieze, consisting of four elements on the elevation. That characteristic and repetitive detail, constituting a specific trademark of Dominican edifices, occurs simultaneously in several Polish Dominican centres, e.g. in Krakow, Poznan and Wrocław.

Some details of the fired ceramics resembled pure sculptures. The ceramic keystone in the vault of the presbytery in St. Wojciech's Church in Wrocław from the turn of the 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> century, depicting a bishop in a tiara is the only one of its kind [4].

The details of the eastern wall of the Town hall in Wrocław constitute a sophisticated and lavish example of ceramic ornamentation on late-Gothic elevation. There are extremely varied details in the form of a poetic decoration, such as pinnacles, pilasters, bases, capitals, arcades, fleurons and tracery which confirm the craftsmanship of the bricklayers in late-Gothic Wrocław.

Brick walls, similarly to stone block walls, were built until the 16<sup>th</sup> century. Besides fragments in which bricks were laid decoratively, when putting up a brick wall its face was carefully smoothed and



jego lico, nadając od razu ostateczny kształt spoinom. Natomiast środek muru wypełniano gruzem zalany zaprawą wapienną. Aby zastrzeżyć cegły lica w murze, poszczególne warstwy układano w taki sposób, aby regularnie niektóre dłuższe krawędzie skierowane były do wnętrza muru.

Poszczególne wiązania różnią się między sobą układem główek i wozówek cegieł w obrębie warstw. Najstarsze, do schyłku XIII wieku, spotyka się na naszych ziemiach wiązanie wendyjskie lub słowiańskie. Powszechne od XIV do końca XVI wieku było wiązanie polskie, nazywane również gotyckim. Po tym okresie, od XVI wieku często stosowano wiązanie kowadełkowe, zwane również blokowym. W XVII wieku modne stało się wiązanie krzyżowe, rzadziej w tym okresie stosuje się natomiast układ tzw. holenderski. Powszechnie w XIX wieku i współcześnie znalazło zastosowanie wiązanie tylko główkowe lub wozóvkowe.

W różnych okresach historycznych, głównie dla wzmocnienia murów stosowano wążek „opus maximum”, gdzie warstwy ciosów kamiennych „przewiązywano” poziomo warstwami cegieł. Oprócz podstawowych wiązań cegieł stosowano nieraz wążki fantazyjne, służące głównie do dekoracji murów, jak np. układ cegieł w „jodełkę”, tzw. „opus spicatum” lub do odsadzek i gzymsów – rąb skośny.

W epoce nowożytnej cegła powoli traciła swą różnorodność i rangę artystyczną, jaką posiadała w średniowieczu i stała się niemal wyłącznie materiałem konstrukcyjnym, szczególnie w wieku XX, kiedy pojawiła się cegła wytwarzana maszynowo.

the joints were given their final shape. The inside of the wall was filled in with rubble and lime mortar. To obtain brick toothings in the face of the wall, individual layers were laid in such a way as to make some longer edges regularly point towards the inside of the wall.

Particular bonds vary in their arrangement of brick headers and stretchers within each layer. Until the end of the 13<sup>th</sup> century, the oldest bonds encountered in Poland was the Wendish or Slavic bond. The Polish bond, also known as Gothic, was popular since the 14<sup>th</sup> century till the end of the 16<sup>th</sup> century. After that period, since the 16<sup>th</sup> century the anvil bond, also known as block bond, was commonly used. In the 17<sup>th</sup> century, the cross bond became fashionable, while the so called Flemish bond became rather rare during that time. Since the 19<sup>th</sup> century until the present times only the header or stretcher bonds have been commonly applied.

In various periods of history, mainly for strengthening the walls, the “opus maximum” bond was applied where layers of stone blocks were interleaved horizontally with layers of brick. Apart from the basic brick bonds sometimes fanciful bonds were applied, which served mostly to decorate the walls, as e.g. the herringbone brick bond known as “opus spicatum” or diagonal rhomb used for off-sets and cornices.

In modern times, brick gradually started to lose its variety and artistic importance it possessed in the medieval period, and became almost exclusively construction material, particularly in the 20<sup>th</sup> century when the machine-produced brick appeared.



Rys. 7. Znak ceglarski cegielni Potockich w Zatorze (XIX w.), ze zbiorów ASP Kraków; fot. I. Płuska

Fig. 7. Brand mark of 19th c. brickyard of the Potocki family in Zator (Poland). Collection of the ASP Krakow; photo I. Płuska



Rys. 8. Forma drewniana dwuceglowa (XIX), ze zbiorów ASP Kraków; fot. I. Płuska

Fig. 8. Two-brick wooden mould (19th c.). Collection of the ASP Krakow; photo I. Płuska



Rys. 9. Widok placu strycharskiego dawnej cegielni (ok. 1920 r.), J. Galer „Nowoczesne cegielnictwo”, 1927 r.; repr. I. Płuska  
 Fig. 9. The view of the striking yard of old brickyard (c. 1920) J. Galer „Nowoczesne cegielnictwo”, 1927; photo I. Płuska



Rys. 10. Główne wejście do kościoła św. Jakuba w Sandomierzu (XIII w.); fot. I. Płuska  
 Fig. 10. Main entrance to the 13th c. St. Jacob's Church in Sandomierz (Poland); photo I. Płuska



Rys. 11. Plecionka ceramiczna z fryzju kościoła św. Jakuba w Sandomierzu (XIII w.); fot. I. Płuska

Fig. 11. Ceramic weave from the frieze in the 13<sup>th</sup> c. St. Jacob's Church in Sandomierz (Poland); photo I. Płuska



Rys. 12. Ceramiczny kapitel z kościoła św. Jakuba w Sandomierzu z ornamentem roślinnym i ukoronowaną głową mężczyzny; fot. I. Płuska

Fig. 12. Ceramic capital from the 13<sup>th</sup> c. St. Jacob's Church in Sandomierz (Poland) with plant ornament and crowned man's head; photo I. Płuska



Rys. 13. Znak ceglarski na węgarku portalu kościoła św. Jakuba w Sandomierzu (XIII w.); fot. I. Płuska  
 Fig. 13. Maker's mark on the jamb of the 13<sup>th</sup> c. St. Jacob's Church in Sandomierz (Poland) portal; photo I. Płuska



Rys. 14. Gotyckie cegły „palcówki” z odzysku w trakcie prac konserwatorskich; fot. I. Płuska  
 Fig. 14. Gothic bricks (palcówka) recovered during conservation works; photo I. Płuska

Integralną częścią wątków ceglanych jest spoinowanie. Zaprawa piaskowo-wapienna była, obok cegły, głównym materiałem mającym zastosowanie w budownictwie ceglany. Obok funkcji spajającej cegły, pełniła również rolę dekoracyjnego wypełnienia fug i nadawała specyficzny wygląd estetyczny całości fasady. Zaprawie wypełniającej spoiny, jako materiałowi mniej zwięzłemu niż cegła i bardziej porowatemu, przypisuje się również rolę odwadniająca i przewietrzająca ściany. Dla zwiększenia porowatości i higroskopijności takich zapraw, często dodawano okruchy węgla drzewnego i pyłu ceglano. Należy przypuszczać, że nie marnowano żadnego materiału „odpadowego”, pozostałego na placu budowy. Węgiel drzewny pozyskiwano po wypale wapna i cegły w piecach mielerzowych, a stłuczki i odpady cegieł mielono i stosowano do zapraw wiążących jako domieszkę wypełniaczy.

Zdarzały się również zaprawy barwione, przy czym właściwy odcień koloru uzyskiwano odpowiednimi wypełniaczami, np. ugrowy od koloru piasku kopalnego, różowy od koloru pyłu ceglano lub szary od węgla drzewnego.

Spoiny pomiędzy sąsiednimi ceglami odpowiedni pomocnik murarza zwany „gracownikiem” wypełniał całkowicie lub częściowo łącząc je zaprawą. Wymodelowanie odpowiedniego kształtu spoiny osiągnięto w dwojaki sposób; albo przez wygładzanie lub formowanie nadmiaru zaprawy użytej do murowania, albo nanoszono specjalnie sporządzoną zaprawę i formowano ją w spoinie odpowiednim narzędziem – szpachelką, szablonem fugówką lub „żelazkiem” (nazwa historyczna). Najczęściej w średniowieczu stosowano fugowanie o kształcie jednostronnie lub dwustronnie skośnym. W wiekach późniejszych kształtowano spoiny bardziej dekoracyjnie w formie wałeczka, tasiemki lub listewki.

Porowate zaprawy w spoinach miały na celu szybkie odparowywanie i przewietrzanie murów z wody konstrukcyjnej lub opadowej, a wypukłe kształty fug pozwalały na sprawne odprowadzanie wody deszczowej z powierzchni elewacji. Obróbce spoin przypisuje się również uzyskanie efektów estetycznych światłocieniowych oraz podkreślenie geometrycznego rytmu spoin poziomych i pionowych.

## 5. Cegielnicy

Nie bardzo wiadomo, kto w okresie romańskim budował świątynie i jak organizowany był plac budowy. Pierwsze cegły zapewne wypalali garncarze skupieni wokół klasztorów. Architekt romański był również z zasady duchownym, a i w wieku XIII wczesne formy gotyckie wprowadzały w Polsce warsztaty zakonne. Dopiero gotyk wieku XIV od-

Jointing is an integral part of brick bonds. Sand and lime mortar was, besides brick, the main material used in brick building. Apart from its brick binding function, it also served as decorative filling of joints and lent specific esthetic appearance to the whole facade. Since mortar which filled the joint was less compact than brick and more porous, it was believed to dehydrate and air the walls. To increase the porosity and hygroscopicity of such mortars, charcoal pieces and brick powder were frequently added. It must be assumed that no “scrap” material, left on the construction site, was wasted. Charcoal was obtained after burning lime and firing brick in clamp kilns, while breakages and brick scraps were ground and used for binding mortar as filler mixture.

There occurred also tinted mortars, where the proper colour tinge was achieved by the use of appropriate fillers, e.g. ochre from the colour of fossil sand, pink from the colour of brick powder or gray from charcoal.

Joints between adjacent bricks were fully or partially filled with binding mortar by a builder’s assistant called “bricklayer’s mate”. The joints were modelled to a suitable shape in two ways: either by smoothing or forming of the excess mortar used for building, or by adding specially prepared mortar and forming it in the joint with an appropriate tool – a spatula, joint template or an “iron” (a historical name). During the medieval period, the most frequently used was one-sided or two-sided diagonal jointing. In the centuries to come, joints were more decoratively modelled in the form of a roll, tape or a trim.

Porous mortars in joints were meant to help quick evaporation and airing the walls from construction water or precipitation, and convex joints allowed for efficient drainage of rainwater from the elevation surface. Processing of joints also contributed to obtaining esthetic chiaroscuro effects and emphasising the geometric rhythm of horizontal and vertical joints.

## 5. Brickmakers

It is not really known who built churches during the Romanesque period or how the building site was organised. The first bricks may have been fired by potters gathered round monasteries. A Romanesque architect was also usually a clergyman, and in the 13th century the early Gothic forms in Poland were introduced by monastic work-

szedł już daleko od stylu poprzedniego. Inne też środowiska go teraz wytwarzały i rozpowszechniały. Produkcja budowlana zależała teraz jedynie od pieniądza, a państwo i miasta zaczęły przyćmiewać mecenat kościelny. Zarówno projektowanie budynków, jak i ich wykonawstwo przechodziło w ręce fachowców świeckich. Pozbawieni dyscypliny zakonnej, organizowali się oni w tzw. strzechy, a nieco później w cechy, zrzeszające murarzy, kamieniarzy, cieśli, w tym również cegielników pracujących pod kierunkiem głównego mistrza, w pewnym sensie odpowiednika dzisiejszego architekta. Byli to ludzie „wolni” rozmaitych narodowości i środowisk, którzy odbywali często dalekie wędrówki, przyjmując czasowo prace przy różnych budowach. Cegielnicy szukali pokładów gliny i możliwie blisko posadowienia budowli stawiali piece mielerzowe lub polowe. Liczebność strzech każdorazowo dostosowywała się do skali przedsięwzięcia. Strzechy służyły przede wszystkim kościołom, monarchii i gminie miejskiej – głównym podporom ówczesnego świata feudalnego. Same jednak, jak każda grupa zawodowa, miały określone miejsce i zajmowały pozycję wyjątkową. Były instytucją samodzielną o własnych prawach i tradycjach, nieprzypisaną często do jakiegokolwiek miejscowości, ani kraju i egzystującą poza organizacją społeczną i państwową. Np. analiza motywów zdobiących kościół św. Jakuba w Sandomierzu skłania do przypuszczeń, że był on wykonany przez cegielników przybyłych bezpośrednio z Lombardii. Być może to ich imiona *Joannes*, *Nicolaus* i *Daniel* widnieją na ceramicznych elementach sandomierskiej świątyni [5].

Najstarszy znak ceglarski pochodzi z XII-wiecznej ołbińskiej cegły płytowej. Znak ten, ułożony z dwu prostopadłe ustawionych klinów może identyfikować warsztat lub mistrza. Nie można też wykluczyć liternictwa cyrylicy, co świadczyłoby o cegielniku przybyłym zza wschodnich granic<sup>9</sup> [4]. Znaki ceglarskie, stemple, znaki wytwórcy i znaki właściciela cegielni mogą świadczyć o wielkiej randze i znaczeniu cegielnika w całej społeczności wykonawców budowy. Oznaczanie cegieł utrzymywało się od średniowiecza poprzez renesans i trwa nieprzerwanie do naszych czasów.

Co zastanawiające, budowniczowie na ogół nie firmowali podpisem swoich dzieł. W rzadkich przypadkach, gdy podpis istnieje i odczytujemy imię z napisem *me fecit*, nie wiemy czy oznacza to *wykonał* czy *zlecił wykonać*. Czasem w dokumentach czytamy *magister operis*, mistrz robót. Kto to jest? Budowniczy, który jest wykonawcą, czy może

shops. It was the 14<sup>th</sup> century Gothic which left the previous style far behind, and was produced and popularized by other groups. Building production depended then on money only, so the state and cities began to outshine the church patronage. Both designing and construction of buildings was transferred into the hands of lay professionals. Deprived of monastic discipline, they formed the so called confraternities, which were later transformed into guilds, organisations of builders, stone-masons, carpenters, and including brickmakers working under the supervision of the master who was in a way an equivalent of the present-day architect. They were “free” people representing various nationalities and social status, who often undertook long journeys and accepted temporary work on various construction sites. Brickmakers sought for clay deposits and built clamp kilns or field kilns as close to the building site as possible. The number of confraternities adjusted each time to the scale of the enterprise. Primarily confraternities served the church, monarchy and town communities – the basic pillars of the then feudal world. By themselves, however, as every professional group, they had a definite place in the hierarchy although their position was unique. They were independent institutions with their own laws and traditions, not ascribed to any town or country, and existing outside the community or state structure. For instance, the analysis of motifs decorating the church of St. James in Sandomierz allows for assuming that it may have been built by brickmakers who had arrived directly from Lombardy. May be those are their names: *Joannes*, *Nicolaus* and *Daniel* visible on the ceramic elements of the Sandomierz church [5].

The oldest brickmaker’s mark was found on the 12<sup>th</sup> century slab brick in Ołbin. The sign made of two perpendicular wedges could identify the workshop of the master. The possibility of Cyrillic alphabet used cannot be excluded either, which would suggest a brickmaker arriving from beyond the eastern frontier<sup>9</sup> [4]. Brickmaker’s marks, stamps, manufacturer’s marks and the brickyard owner’s marks could confirm the high rank and importance of the brickmakers in the whole community of construction workers. The tradition of marking bricks has been maintained since the medieval period, throughout the Renaissance until the modern times.

What is surprising, is the fact that builders did not usually sign their works. In those rare cases when the signature exists and we can actually read the name with the inscription *me fecit*, we do not know whether it means *made it* or *had it made*. Sometimes we can read in the documents *magister operis*, work master. Who was he? Was he the builder

kanonik, zakonnik, który uzyskał fundusze, zakupił materiał, zapłacił robotnikom? [3]. Wiadomo tylko, że we wszystkich wielkich katedrach to właśnie kapituła sprawowała kontrolę nad „fabryką”. Średniowieczna *fabrica ecclesiae* była rodzajem instytucji zajmującej się budową i sprawowaniem ogólnej pieczy nad budową. Do jej kompetencji należały sprawy wykonawstwa, pozyskiwania środków finansowych na ten cel oraz administrowanie tymi środkami. Rolę kapituły przy opracowaniu planów i wykonywaniu robót można porównać z tą, jaką dziś spełnia biuro do spraw odbudowy i urbanistyki.

Cegielnicy wyspecjalizowani, np. strycharze zawodowi, trzymali przy sobie pewną liczbę robotników do pomocy w pracy. Nazywano ich pomocnikami, podręcznymi, towarzyszymi, a później, po przyuczeniu do zawodu, czeladnikami. Byli to często zbiegli poddani szukający schronienia w miastach oddalonych od rodzinnych stron. Istniało prawo, że jeśli w przeciągu jednego roku i jednego dnia nikt nie upomniał się o nich, uzyskiwali wolność i stawali się obywatelami miasta. Wyrobnicy rekrutowali się zapewne również wśród synów wielodzietnych rodzin chłopskich, którzy wyruszyli w poszukiwaniu przygód i wolności. Pracujący na placach budowy lub cegielniach byli wolną siłą roboczą. Dzienna płaca wyrobników (np. we Francji) była rzędu 7 denarów; robotnicy wykwalifikowani, jak rzemieślnicy, przygotowujący glinę otrzymywali 10 lub 11 denarów, a specjaliści jak strycharze czy budownicowie pieców – około 20 lub 22 denarów<sup>10</sup>.

Życie wyrobników było ciężkie, ponieważ ciężkie były warunki ich pracy, dokuczala im wilgoć panująca w wyrobiskach glinianych. Cegielnie zabierały im również młodość i zdrowie.

Robotnicy spali i żywili się w *loges*, drewnianych lub murowanych pomieszczeniach w pobliżu cegielni, gdzie dyskutowano również na tematy zawodowe. Tam chronili się podczas złej pogody, tam składali narzędzia. Latem pracowali dwanaście godzin, zimą, jeśli umożliwiały to warunki atmosferyczne, dziewięć. Podczas roku korzystali, poza niedzielami, z około trzydziestu dni świątecznych, natomiast w soboty pracowali do południa. Za dni świąteczne robotnikom nie płacono [8].

W dobrze zorganizowanych średniowiecznych cegielniach wykorzystywano dla ułatwienia pracy trzy główne źródła energii: energię wodną, energię wiatru i energię konia. Wiemy dziś, że bez energii elektrycznej życie gospodarcze zostaje zahamowane; życie w średniowieczu jest nie do pomyślenia bez energii wodnej. Młynami wodnymi, dzięki zastosowaniu prostego wału rozrządowego, można

who executed the work, or perhaps a cannon, a monk who obtained the funds, purchased the material and paid the labourers? [3]. The one known fact is that in all the great cathedrals it was the chapter that supervised the “factory”. The medieval *fabrica ecclesiae* was a sort of institution which managed the building site and exercised general control over the building process. The issues of workmanship, obtaining funds for the purpose and administering the funds also lay within its authority. The role of the chapter when designing the plans or performing the work could be compared with the part that is nowadays played by the office of restoration and urban development.

Specialised brickmakers e.g. professional brickmoulders, kept a certain number of assistants to help them with the work. They were called helpers, handymen, companions, and later after they had learned the trade, journeymen. They were frequently escaped serfs who were looking for shelter in remote towns away from their homeland. There existed a law stating that if nobody sought them during one year and a day, they were given their freedom and became burghers. Labourers may also have recruited from among sons of numerous peasant families, who set off to look for adventure and freedom. Working on building sites or in brickyards they became free workforce. A daily pay for a labourer (e.g. in France) equalled 7 deniers; qualified workers such as temperers – craftsmen preparing clay – could earn 10 or 11 deniers, and specialists like strikers or kiln builders – would earn about 20 or 22 deniers<sup>10</sup>.

Life of labourers was harsh because such were their working conditions, they suffered from damp on clay excavation sites, while brickyards deprived them of their youth and health.

Workers used to sleep and eat in the *loges*, wooden or masonry buildings situated close to the brickyard, where professional subjects were also discussed. They took shelter there during spells of bad weather, or left their tools. In summer they worked twelve hours a day, in winter nine if made possible by the weather conditions. Besides Sundays, they had about thirty holidays during the year, and worked till noon on Saturdays. Workers were not paid for holidays [8].

Three main sources of energy were used to facilitate work in well-organised medieval brickyards: water, wind and horse – power. We know nowadays that without electric power our economic life would stop; life in the medieval period would be unthinkable without water power. Water mills, thanks to the use of a simple camshaft, could have converted rotational mo-

było przekształcić ruch obrotowy na ruch innego rodzaju i w ten sposób mieszano np. szlamowaną glinę, dźwigano i przemieszczano korce gliny oraz sztaple cegieł.

Począwszy od XIII wieku budowano liczne wiatraki wykorzystujące niewyczerpaną energię wiatru. Koń stanowił w wiekach średnich nader ważne źródło energii. Korzystały z niego również cegielnie. Po raz pierwszy w dziejach wykorzystano wówczas maksymalnie siłę konia, a to dzięki łącznemu spożytkowaniu wielu wynalazków. Dla ochrony kopyt wynaleziono podkowy. Zmiana uprzęży, polegająca na zastąpieniu popręgu umieszczonego pod szyją końską przez chomać, pozwoliła na lepsze wykorzystanie siły zwierzęcia. Zaczęto rezygnować z używania do zaprzęgów wołów, jako zwierząt zbyt powolnych i niewygodnych do kierowania. Postęp w jednym rzemiośle pociągał za sobą postęp w innych. Kowale kują lepsze narzędzia; cieśle sporządzili niewielki, ale godny podziwu sprzęt – taczkę, która pozwalała jednemu człowiekowi wykonywać pracę dwóch tragarzy; kościoły pokrywano zamiast drogą blachą ołowianą, płaską i lekką dachówką.

Jak wyglądało planowanie i praca cegielni na potrzeby wielkiej budowy? Prześledźmy dobrze udokumentowany przykład budowy zamku w Bolesławiu nad Prosną [9]. Całe królewskie przedsięwzięcie budowlane potrzebowało przygotowania około 430 000 cegieł, wymagało to zaplanowania takiej ilości cegły i przygotowania jej w rocznym cyklu twórczym. Wiemy skądinąd, że średniowieczne piece strycharskie wytwarzały w jednym wsadzie około 10 000 sztuk cegieł, czyli materiał na 50 m<sup>3</sup> muru. Wykonanie cegły potrzebnej na budowę zamku bolesławieckiego wymagało zatem wypalenia ponad 40 wkładów w piecach strycharskich lub w stertach na polu. Nie wydaje się, by trzeba ich było więcej, ponieważ w murze wykorzystywano nie tylko połówki, ale także okruchy cegieł. Przedsięwzięcie wydaje się ogromne. Można jednak wyobrazić sobie jego realizację w toku jednorocznej kampanii strycharskiej. Mówimy o jednorocznej kampanii przygotowania cegły na budowę muru, ponieważ zachowane w nim ślady procesu technologicznego wskazują na jedną jednosezonową kampanię budowlaną z udziałem dużej masy ludzi bezpośrednio na budowie i znacznych środków transportu, bo wychodnie gliny znajdowały się w oddalonym o 6 km w dół rzeki Proсны Mieleśzynie<sup>11</sup>.

Pozostaje jeszcze kwestia solidności i poprawności technologicznej wytwarzania wyrobów ceramicznych w wielkich cegielniach. Należy przypuszczać, że starano się przestrzegać poprawnie ówczesnych norm technologicznych, o czym

tion into other kinds of motion and in this way e.g. sludge clay was mixed, baskets of clay or stacks of bricks were lifted or transported.

Since the 13<sup>th</sup> century, numerous windmills were built to harness the inexhaustible wind power. A horse also constituted an important power source in the Middle Ages, and was used in brickyards. For the first time in history horsepower was maximally used then, owing to the combined use of many inventions. Horseshoes were invented to protect horse hooves, the change of harness from the girth fastened under the horse's neck to the horse collar allowed for better use of the animal strength. Teams of oxen were given up, since the animals proved too slow and difficult to manage. Progress in one kind of craft was followed by progress in other fields. Blacksmiths forged better tools; carpenters made a small device but worthy of admiration – a wheelbarrow, which allowed one person to do the work of two carriers; churches were covered with flat and light roof tiles, instead of expensive sheets of lead.

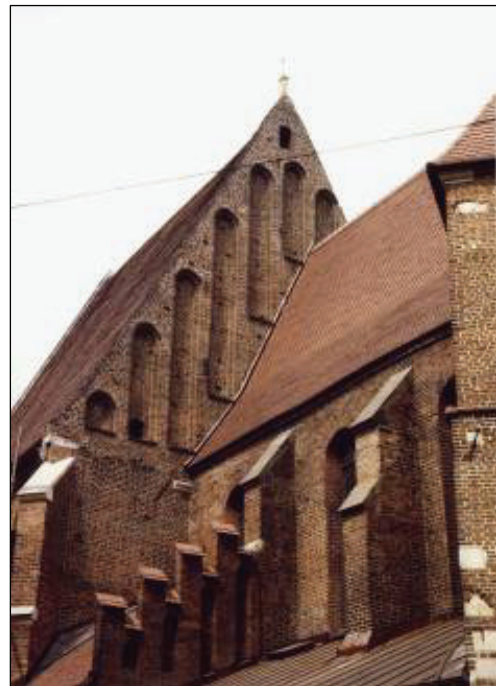
What did planning and work in a brickyard serving the needs of a huge building site look like? Let us examine the well-documented example of the construction site of the castle in Bolesław on the river Proсна [9]. The whole royal building enterprises required preparing approximately 430 000 bricks, which in turn meant planning for such amount of bricks and preparing it during the yearly cycle of brick making. We know that medieval brick kilns produced about 10 000 bricks in one batch, so material for 50 m<sup>3</sup> of wall. Therefore, manufacturing bricks needed for the building of the castle required firing over 40 batches in striking kilns or in field stacks. It seems unlikely that more were needed since not only halves but also brick rubble was used in the walls. The enterprise seems to have been enormous, nevertheless it is possible to imagine its realization in the course of one-year striking campaign. We are talking about one-year campaign preparing bricks for the construction of walls, because the preserved traces of technological process indicate one-season building campaign with participation of a large number of people directly on site and engaging numerous means of transport, since clay outcrops were located in Mieleśzyn, 6 km away down the Proсна river<sup>11</sup>.

There remains the question of solidity and technological precision of ceramic elements production in large brickyards. It should be assumed that it was attempted to obey the technological standards applied then, which is confirmed by the centuries



Rys. 15. Ceramiczny ornament liliowy, fryz kościoła oo. Dominikanów w Krakowie (XIII w.); fot. I. Pluska  
 Fig. 15. Ceramic fleur-de-lis ornament from the frieze of 13th c. Dominican Order Church in Cracow (Poland); photo I. Pluska

Rys. 16. Gotyckie elewacje kościoła św. Marka w Krakowie. Widoczna przewaga ciemnych cegieł „kopciałek”; fot. I. Pluska  
 Fig. 16. Gothic façade of St. Mark's Church in Cracow (Poland), with predominance of dark underfired bricks (Pol. kopciałka); photo I. Pluska



świadczą do dziś zachowane wielowiekowe budowle zabytkowe. Choć Zygmun August 12 marca 1554 roku na sejmie w Lublinie napomina rajców miejskich *by większą uwagę zwracali na jakość cegły wyrabianej w miejskich cegielniach, gdyż nachodzą go skargi co do dobroci tych cegieł, używanych także na budowę zamku krakowskiego*<sup>12</sup> [10].

## 6. Koszty wytwarzania cegieł

Na koszty budowy i ewentualne naprawy budynków murowanych składały się przede wszystkim wydatki na cegłę, ich transport, płace dla cegielników i innych zatrudnionych robotników. Prawdopodobnie sporządzano wcześniej kosztorysy budowy, w których znajdowały się ceny budulca, transportu i płace. Na planowane roboty wielki wpływ miały zapewne wielkości angażowanych środków finansowych. Z zachowanych archiwalnych rachunków możemy wnioskować, że często roboty nie były prowadzone rytmicznie, lecz etapami, co wynikało zapewne ze stanu posiadanych funduszy. Znaczne ułatwienie i planowanie prac należy przypisać wykorzystywaniu budulca pochodzącego z własnych miejskich cegielni, wapiennika, kamieniołomu czy lasu. Cegielnie i piece do wypalania kształtek znajdowały się we wszystkich większych miastach i przynosiły znaczne dochody ze sprzedaży swych wyrobów [11].

Ogólny widok placu budowy w Polsce drugiej połowy XIV w. przedstawił w swojej kronice Jan z Czarnkowa. Zanotował on mianowicie, że przy wznoszeniu zamku we Włodzimierzu Wołyńskim przez 2 lata było zatrudnionych 300 ludzi i wiele

old historic buildings preserved until today. Although Sigismund Augustus on March 12, 1554, at the sejm session in Lublin admonished the town councillors *to pay more attention to the quality of brick manufactured in the town brickyards, as he received complaints about the bricks goodness, which were also used for the construction of the castle in Krakow*<sup>12</sup> [10].

## 6. Costs of making bricks

The costs of construction and of possible repairs of brick buildings included primarily costs of bricks, their transport, payment for brickmakers and other employed workers. A building estimate may have been prepared before, which included prices of building material, transport and wages. Planned work may have been seriously influenced by the amounts of invested financial resources. From the preserved archive accounts we can conclude that the work was not rhythmically carried out but in stages, which may have resulted from the possessed funds. The use of building materials provided by own municipal brickyards, lime kilns, quarry or forest contributed significantly to facilitating and planning of work. Brickyards and kilns for firing ceramic shapes were located in all the major towns and the sale of their products brought considerable profits [11].

A general view of a construction site in Poland during the second half of the 14<sup>th</sup> century was presented in his chronicle by Jan from Czarnkow, who recorded that 300 people and numerous teams of oxen and horses for bringing in brick, stone, lime

sprężajnych wołów oraz koni dla zwożenia cegły, kamienia, wapna i drewna. W tym czasie ze skarbcza królewskiego wydano ponad 3 000 grzywien, a tuż przed śmiercią Kazimierz Wielki kazał zawieźć dalsze 600 grzywien<sup>13</sup>.

Mury miejskie, obwarowania zamkowe oraz znajdujące się w ich obrębie budowle, murowane były najczęściej z cegieł i kamienia. W końcu XIV w. w Krakowie tysiąc sztuk cegieł kosztowało od 20 do 24 groszy, w pierwszej połowie następnego stulecia jego cena wzrosła do ok. 30 groszy, od połowy XV w. wahała się ona od 48 do 60 groszy i na tym poziomie utrzymywała się aż do trzeciej ćwierci XVI wieku<sup>14</sup>.

Wiadomo, że kopę groszy płacono za każdy tysiąc sztuk cegieł potrzebnych do naprawy zamku królewskiego w 1461 r. i tyleż samo kosztowała ona prawie sto lat później w 1558 roku<sup>15</sup>. Za taką samą ilość cegły w Poznaniu w 1465 r. płacono 36 groszy, a zatem mniej niż w Krakowie<sup>16</sup>. Jeśli chodzi o Lwów, to relacje cenowe nie odbiegały w zasadzie od panujących na rynku krakowskim. W 1440 r. ustalono kwotę 30 groszy, w pierwszej połowie XVI w. płacono od 35 do 48 groszy, ale już w następnych kilkudziesięciu latach tysiąc sztuk cegieł kosztował 60 groszy. Taka była m.in. cena cegły wykorzystywanej w 1570 r. na Niskim Zamku we Lwowie<sup>17</sup>. W tym czasie w Lublinie kupowano ją po 68 groszy, zaś 2 lata później zarówno w Lublinie, jak i w Warszawie cena wzrosła do 90 groszy<sup>18</sup>. Należy jednocześnie dodać, że na przestrzeni od XIV do XVI w. zmieniły się znacznie rozmiary cegieł, które wraz z upływem czasu stawały się coraz mniejsze. Jeśli cegieł gotyckich wchodziło 200 sztuk na 1 m<sup>3</sup> muru, to wyprodukowanych w połowie XVI w. trzeba było aż 290 i to znacznie droższych.

Zgodnie z umową zawartą w 1391 roku w Braniewie, strycharz miejski miał otrzymywać za 1 tys. cegieł 1 wiardunek<sup>19</sup>, zaś za taką samą ilość dachówek 8 skojców<sup>20</sup> – i było to zapewne tylko wynagrodzenie za jego pracę<sup>21</sup>.

Produkcja cegły nie zawsze odbywała się w pobliżu placu budowy i koszty obiektów wznoszonych z tego materiału podrażał jej transport, nieraz z odległych miejscowości. Cegła użyta do budowy zamku warszawskiego kosztowała 66 groszy za każdy tysiąc sztuk, strychelnego płacono po 2 grosze, zaś woźnicy za przewóz 12 groszy, co stanowi 18% wartości cegły. Wiadomo też, że inny wozak brał po 18 groszy za tysiąc sztuk, czyli aż 27% jej wartości<sup>22</sup>. Jeśli chodzi o Kraków, to przy stałej w zasadzie cenie cegły w XVI w. rosły koszty jej transportu. W rachunkach budowy zamku wawelskiego z 1535 r. znajdujemy wydatki od

and wood were employed for two years at the construction site of the castle in Włodzimirz Wołyński. At that time, the royal treasury spent over 3 000 grzywnas, and just before his death Kazimierz Wielki ordered further 600 grzywnas to be sent<sup>13</sup>.

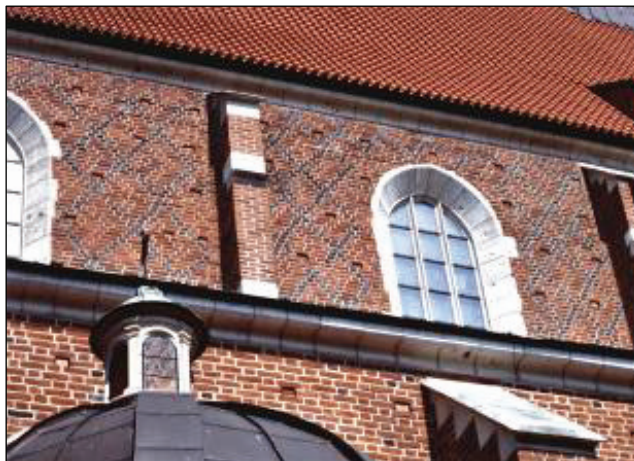
Town's defensive walls, castle fortifications as well as buildings encompassed within were, most frequently, built from brick and stone. At the end of the 14<sup>th</sup> century, in Krakow a thousand bricks cost between 20 and 24 grosz, in the first half of the next century their cost rose to app. 30 grosz, since the mid-15<sup>th</sup> century it varied from 48 up to 60 grosz and kept at this level until the third quarter of the 16<sup>th</sup> century<sup>14</sup>.

It is known that threescore grosz was paid for each thousand bricks needed for the repairs of the royal castle in 1461, and that the cost remained the same almost an hundred years later in 1558<sup>15</sup>. The same amount of bricks in Poznan in 1465 cost 36 grosz, so less than in Krakow<sup>16</sup>. As far as Lviv was concerned, prices did not differ much from those in Krakow. In 1440 the cost was established at 30 grosz, in the first half of the 16<sup>th</sup> century at 35 to 48 grosz, but during the next several dozen years a thousand bricks cost 60 grosz. Such was e.g. the price of brick used in 1570 in the Lower Castle in Lviv<sup>17</sup>. At the same time in Lublin it could be bought for 68 grosz, whereas 2 years later both in Lublin and in Warszawa the price rose up to 90 grosz<sup>18</sup>. It has to be added, that during the period from the 14<sup>th</sup> to the 16<sup>th</sup> century the size of brick changed significantly, which grew smaller with the passing time. If 1 m<sup>3</sup> of wall consisted of 200 Gothic bricks, then in the mid-16<sup>th</sup> century it required 290 bricks considerably more expensive.

According to the agreement concluded in 1391 in Braniewo, a town striker was to receive 1 wiardunek<sup>19</sup> for 1 thousand bricks, and 8 skojec<sup>20</sup> for the same amount of roof tiles – which most probably was wages merely for his work<sup>21</sup>.

Production of bricks did not always take place in the vicinity of the building site so the cost of the objects erected from that material was increased by the cost of its transport, sometimes from fairly remote places. The brick used for construction of the castle in Warszawa cost 66 grosz for each thousand pieces, striking cost 2 grosz, and the waggoner was paid 12 grosz for transport, which constituted 18% of the brick value. It is also known that another carter charged 18 grosz for a thousand pieces, which constituted as much as 27% of its value<sup>22</sup>. In case of Krakow, with the generally stable price of brick in the 16<sup>th</sup> century, the costs of its transport were





Rys. 18. Dekoracja rombowa na elewacjach gotyckiego kościoła Bożego Ciała w Krakowie utworzona z czarnych cegieł „zendrówek”; fot. I. Płuska

Fig. 18. Rhombic decoration on the façade of the Corpus Christi Church in Cracow (Poland) made of black well fired bricks (Pol. zendrówka); photo I. Płuska

Rys. 17. Renesansowy ceglany ratusz w Sandomierzu, dzieło miejscowych cegielników i muratorów; fot. I. Płuska

Fig. 17. Renaissance brick town hall in Sandomierz (Poland), the work of local brickmakers and masons; photo I. Płuska

12 do 15 groszy za dostarczenie tysiąca cegieł, a w 1558 r. pozycja ta wzrosła do 18 groszy, czyli do 30% wartości przewożonego materiału<sup>23</sup>. Z podobnym zjawiskiem spotykamy się w wielu innych krajach Europy, nie jest to więc żadną specyfiką stosunków w polskim transporcie. Nawet każdy kilometr w dowozie cegły podnosił jej cenę, stąd dążność do zaopatrywania się w nią w cegielniach położonych najbliższej placu budowy lub nawet do wypalania jej na miejscu.

Znacznie droższa była dachówka polewana (*tegula invitreata*), za którą płacono aż 10 florenów, czyli prawie 3 razy więcej niż za zwykłą płaską. Co ciekawe, za jej przewóz liczone 9-10 groszy, czyli tylko 3% wartości przewożonego towaru.

Trudno przeliczyć i porównywać tamtejszą walutę do dzisiejszych wielkości finansowania materiałów i robót budowlanych. Nie ulega jednak wątpliwości, że zawsze obowiązywała zasada cen wolnorynkowych przy zachowaniu jak najbardziej oszczędnej ekonomii pracy.

## 7. Ceglarstwo w czasach nowożytnych

Stopniowy rozwój cegielnianych manufaktur, wprowadzenie urządzeń technicznych, początkowo opartych na konnych kieratach, potem napędzanych siłą energii wodnej, wiatru i w końcu elektryczności, doprowadziło w połowie XIX wieku do masowej fabrykacji cegieł i innych ceramicznych wyrobów budowlanych i dekoracyjnych.

growing. In the construction accounts of the Wawel Castle from 1535, we can find expenses from 12 to 15 grosz for delivering a thousand bricks, while in 1558 this entry amounted to 18 grosz, i.e. to 30% of the value of transported material<sup>23</sup>. A similar phenomenon could be observed in many other European countries, so it was not something specific only for transport conditions in Poland. Since practically each kilometer the brick had to be transported increased its price, there was an understandable tendency to have it delivered from brickyards located close to the construction site, or even to have it fired on the spot.

The glazed roof tile (*tegula invitreata*) was more expensive, as it cost as much as 10 florins, i.e. almost 3 times as much as for the ordinary flat one. It is interesting that only 9-10 grosz was charged for its transport, which constituted merely 3% of the value of the transported load.

It is difficult to calculate and compare the currency then with today's figures reflecting financing materials construction work. There is no doubt, however, that the rule of free market prices always applied, while the most effective work economics was maintained.

## 7. Contemporary brickmaking

Gradual development of brick manufactures and introduction of technological machinery, initially based on horse-powered treadwheels, then water- or wind-powered, and finally powered by electricity, led in the mid-19<sup>th</sup> century to mass production of bricks and other ceramic building or decorative elements.

Aż do końca XIX wieku cegła ciągle pozostawała najważniejszym materiałem budowlanym. Pod koniec I połowy XIX w. w USA i Wielkiej Brytanii zaczęto stosować maszynową produkcję cegieł rozwiniętą do gigantycznych rozmiarów. Wielkie znaczenie miało też wprowadzenie do wypalania cegieł pieca tunelowego (po raz pierwszy w Danii w 1835 r.), który znalazł szerokie zastosowanie pod koniec XIX wieku również w Polsce. Na poważne przyspieszenie produkcji cegieł pozwolił ciągły kręgowy piec opatentowany przez F. Hoffmana w 1858 r. (pracujący nieprzerwanie). W końcu XIX w. w związku z powstaniem budynków szkieletowych, pojawiło się zapotrzebowanie na lekką cegłę o niewielkiej wytrzymałości, służącą tylko do wznoszenia ścian i przepierzeń na poszczególnych kondygnacjach. Uzyskuje się to produkując cegłę z lekkich materiałów albo stosując cegły puste w środku tzw. pustaki. Pomimo coraz szerszego stosowania nowoczesnych materiałów budowlanych, cegła nadal ma poważne znaczenie w budownictwie, zwłaszcza mieszkaniowym.

Wiele budynków dawnych cegielni i ich urządzeń uległo zniszczeniom wojennym lub zostało całkowicie przebudowane na skutek różnych innowacji i przekształceń funkcjonalnych. Jedynie dziewiętnasto- i dwudziestowieczne nagłówki listów firmowych przedstawiające cegielnie, stanowią dzisiaj ważne źródło do gospodarczej historii cegielnictwa. Często są one jedynymi źródłami informacji o wyglądzie dawnych cegielni, zwłaszcza jeśli chodzi o budynki i urządzenia. Dzięki drobiazgowemu odwzorowaniu na rysunkach firmówek budynków, magazynów, urządzeń, a także ulic i kolei, nagłówki listów mają znaczenie nie tylko dla historii przemysłu cegielniczego, lecz stanowią one jednocześnie świadectwa historii architektury fabrycznej i kultury, odzwierciedlające typowy wygląd fabryk, jak również ducha czasów i modę.

W połowie XIX wieku architekturę cegielni determinują formy eklektyczne i pseudohistoryczne. Z powodu bliskości złóż gliny cegielnie były sytuowane zazwyczaj na równinach lub obrzeżach miast, a z racji silniejszego zróżnicowania urządzeń fabrycznych, takich jak kolejki polowe i maszynowe do wstępnej obróbki gliny, jednopiętrowe piece pierścieniowe z dwuspadowymi dachami oraz wielopiętrowe piece i suszarnie z decentralnie usytuowanymi kominami, ich wygląd siłą rzeczy jest bardziej zeterminowany przez funkcjonalność niż przez historyzm.

Until the end of the 19<sup>th</sup> century brick remained the most important building material. Towards the end of the second half of the 19<sup>th</sup> century, the USA and Great Britain developed mass production of bricks on a gigantic scale. The introduction of a tunnel kiln for firing bricks (first time used in Denmark in 1835), which became widely used also in Poland towards the end of the 19<sup>th</sup> century, had also been an important factor. Brick production was significantly speeded up by the invention of the continuous firing kiln patented by F. Hoffman in 1858. At the end of the 19<sup>th</sup> century, when skeleton buildings appeared, demand grew for light and not very durable brick used only for building walls and partitions on particular floors. It was obtained by producing brick from light materials or by using bricks empty inside, so called hollow bricks. However, despite the continuously growing use of modern building materials, brick is still very important for building, particularly for housing industry.

Many buildings housing old brickyards and their machinery were destroyed during wars, or were completely refurbished as a result of various innovations or functional transformations. Only the nineteenth- and twentieth-century letterheads representing the brickyards remained, and are now an important source for the economic history of brickmaking. They are frequently the only source of information concerning the appearance of the old brickyards, particularly regarding their buildings and machinery. Owing to the detailed copies of the buildings, storehouses, machinery, as well as street and railways in the letterhead drawings, they have their significance not only for the history of brickmaking industry, but constitute evidence of history of industrial architecture and culture, reflecting the typical appearance of factories, the spirit of the time and fashion.

In the middle of the 19<sup>th</sup> century, brickyard architecture was determined by eclectic and pseudo-historic forms. Brickyards were generally located in the vicinity of clay deposits, so in the lowlands or on the outskirts of cities, and because of a greater variety of factory machinery such as narrow-gauge railways for initial processing of clay, one-floor ring kilns with gabled roofs and multi-storey kilns and drying rooms with chimneys placed off-centre, their appearance was naturally more determined by functionality than by historicism.

*Translation  
Violetta Marzec*



Rys. 19. Widok nowożytnej cegielni w nagłówku papieru firmowego spółki akcyjnej Rethorn (ok. 1920 r.); repr. I. Płuska  
 Fig. 19. The view of a brickyard (about 1920) on the letterhead of Rethorn Ltd; photo I. Płuska

Biuro techniczne dla urządzeń  
 fabryk i zakładów ceramicznych  
**Inż. Wacław Gašior i Ska**  
 Kraków, Karmielka 14. Tel. 40-70  
 Skrót telegraficzny: „VAPOR” KRAKÓW

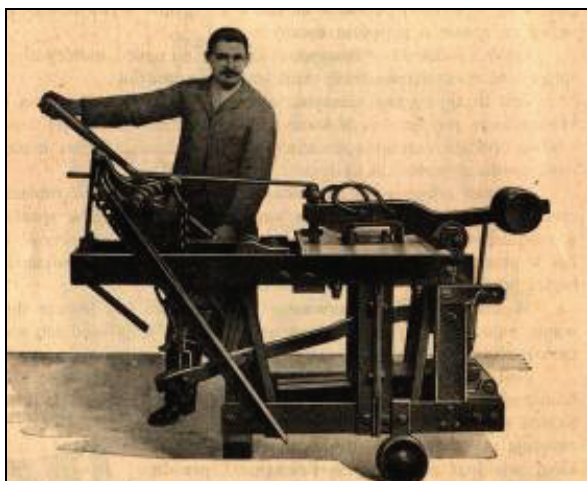
Dostarczają:  
 Maszyny cegielniane dla cegieł maszyno-  
 wych, szamotów i kamieniołomów z firmy  
 Ryszard Raupach w Zagrzebiu i w Hucie  
 Haberia w Łagiewnikach na Polskim Śląsku.  
 Aparaty kontrolne dla cegieł.  
 Lokomobile stałe i przewoźne, motory ropne,  
 Diesle, wałce i traktery z firmy R. Wolf A.-G.  
 Magdeburg-Buckau i H. Lantz A.-G. Mannheim.

Projektują i wykonują:  
 Ogrzewania centralne, wodne i parowe, wentylacje, wyzyskanie  
 gazów spalenia dla suszni wszelkiego rodzaju i dla zakładów  
 ceramicznych.

Urządząją: Wodociągi, paleniska ze sztucznym podmuchem,  
 kuchnie, pralnie parowe.

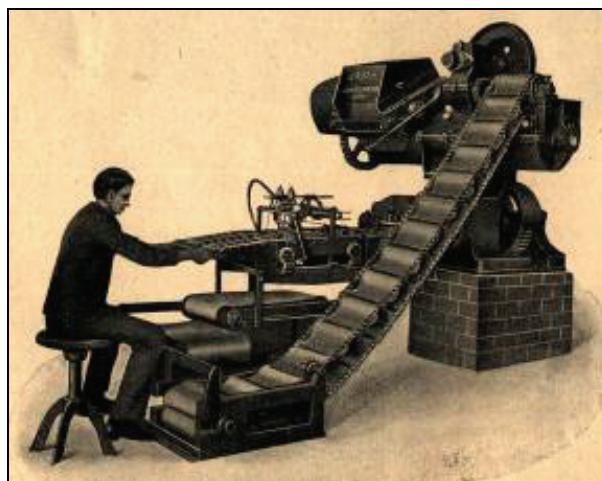
Porada techniczna i oszczędności w sprawach maszynowych.

Rys. 20. Reklama krakowskiego biura technicznego zaopatrującego cegielnie  
 w różnego rodzaju oprzyrządowanie maszynowe (ok. 1920 r.); repr. I. Płuska  
 Fig. 20. The advertisement of Cracow's Technical Office providing various  
 machinery for brickyards (c. 1920); photo I. Płuska



Rys. 21. Międzywojenna prasa do formowania cegieł, J. Galer  
 „Nowoczesne cegielnictwo”; 1927 r.; repr. I. Płuska

Fig. 21. Brick press J. Galer „Nowoczesne cegielnictwo”,  
 1927 r.; photo I. Płuska



Rys. 22. Międzywojenna dachówczarka z automatycznym krajaczem  
 i kombinowanym elewateorem do usuwania okrawków, J. Galer „No-  
 woczesne cegielnictwo”, 1927 r.; repr. I. Płuska  
 Fig. 22. Roof tile machine with automatic cutter and combined  
 conveyor belt for removal of trimmings. J. Galer „Nowoczesne  
 cegielnictwo”, 1927; photo I. Płuska

## Literatura • References

- [1] Miłobędzki A., *Zarys dziejów architektury w Polsce*, Warszawa 1978.
- [2] Wirska-Parachoniak M., *Wybrane zagadnienia z historii materiałów wiążących*, AGH, Kraków 1974.
- [3] Marchi C., *Wielkie katedry i wielcy grzesznicy*, Warszawa 1996.
- [4] Małachowicz M., *Ceramika budowlana średniowiecznego Wrocławia [w:] Wschodnia Strefa Staro-  
 rego Miasta we Wrocławiu*, Uniwersytet Wrocławski, Instytut Archeologii, Wrocław 2005.
- [5] Krassowski W., *Dzieje budownictwa i architektury na ziemiach polskich*, t. 2, Warszawa 1990.
- [6] Galer J., *Nowoczesne cegielnictwo*, Lwów – Warszawa – Kraków, 1927.
- [7] Łużnińska E., *Gotyckie świątynie Wrocławia*, Wrocław 1999.
- [8] Gimpel J., *Jak budowano w średniowieczu*, Warszawa 1968.

- [9] Poklewski-Kozieł T., *Dogodności i niedogodności budowy zamków w późnym średniowieczu (Petit Koenigsbourg w Alzacji i Bolesławiec nad Prosną w Polsce w ziemi wieluńskiej)* [w:] *Studia Mariano Arszyński septuagenario dedicata „Architectura at historia”*, Toruń 1999.
- [10] Chmiel A., *Materiały archiwalne do budowy zamku Wawel*, Teka Grona Kons. Galicji Zach., t. II, 1913.
- [11] Kaczmarczyk Z., *Organizacja obrony kraju w czasach Kazimierza Wielkiego*, t. II, Kraków 1938.
- [12] Jan z Czarnkowa, *Chronicon Polonorum*, wyd. J. Szlachetowski, MPH, t. II, Lwów 1872.
- [13] Szymczak J., *Koszty murowanego budownictwa obronnego w Polsce do XVI w.* [w:] *Kwartalnik Historii Kultury Materialnej*, PAN, nr 2, Warszawa 1988.

\* Akademia Sztuk Pięknych, Kraków, Polska

\* Academy of Fine Arts, Cracow, Poland

<sup>1</sup> Gruntowną naprawę i konserwację ceramiczną posadzki przeprowadził wraz z zespołem w latach 80. ubiegłego wieku prof. dr W. Zalewski.

<sup>2</sup> Prace konserwatorskie w Tumie prowadzi obecnie prof. A. Koss z Międzywydziałowego Instytutu Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki, Warszawa – Kraków. W bezpośredniej rozmowie profesor poinformował mnie o planowanych w najbliższym czasie badaniach nad elementami ceramicznymi, odkrytymi w badaniach archeologicznych i ostatecznym rozstrzygnięciu problemów technologicznych i ew. datowania cegieł w wątkach wczesnoromańskich kolegiaty.

<sup>3</sup> Np. pisma Jana Sasa-Zubrzyckiego lub album *Renesans w Polsce* Sławomira Odrzywolskiego z 1899.

<sup>4</sup> Projekt J. Sasa-Zubrzyckiego z 1894 r., zrealizowany po roku 1900, kościół św. Józefa.

<sup>5</sup> Projekt Józefa Dziekońskiego z 1888 r., zrealizowany ok. 1901 r.

<sup>6</sup> Kamienice przy ul. Retoryka w Krakowie, budowane w latach 1887-91.

<sup>7</sup> *Regesty Śląskie*, t. 1, nr 168, wyd. K. Bobrowski, J. Gilewska-Dubis, W. Korta, B. Tureń, Wrocław 1975.

<sup>8</sup> Np. wieże kościołów św. Wojciecha (ok. 1395) i Bożego Ciała (1350-1390) we Wrocławiu.

<sup>9</sup> Podobne, ruskie znaki ceglarskie publikuje M. Wolicki, *Cerkiew św. Borysa i Gleba na Koloży pod Grodnem*, Warszawa 1929.

<sup>10</sup> J. Gimpel, *Jak budowano w średniowieczu*, Warszawa 1968, s. 72.

<sup>11</sup> T. Poklewski-Kozieł, *Dogodności i niedogodności budowy zamków w późnym średniowieczu (Petit Koenigsbourg w Alzacji i Bolesławiec nad Prosną w Polsce w ziemi wieluńskiej)*, [w:] *Studia Mariano Arszyński septuagenario dedicata Architectura et historia*, Toruń 1999.

<sup>12</sup> A. Chmiel, *Materiały archiwalne do budowy zamku Wawel*, Teka Grona Kons. Galicji Zach. T. II, 1913, s. 773.

<sup>13</sup> Jan z Czarnkowa, *Chronicon Polonorum*, wyd. J. Szlachetowski, MPH, t. II. Lwów 1872, za J. Szymczak, *Koszty murowanego budownictwa obronnego w Polsce do XVI w.*, KHKM PAN, nr 2, 1988, s. 251.

<sup>14</sup> J. Pelc, *Ceny w Krakowie w latach 1369-1600*, Lwów 1935, s. 59.

<sup>15</sup> *Rejestr wydatków na naprawę zamku krakowskiego z XV wieku*, wyd. S. Krzyżanowski, Sprawozdania Komisji do Badania Historii Sztuki w Polsce, t. V, Kraków 1892, z. 2, szp. XXIX, Rachunki wielkorządowe, s. 146-147, za J. Szymczak, op. cit.

<sup>16</sup> S. Paternowski, *Finanse miasta Poznania w wiekach średnich*, Poznań 1937, s. 55, za J. Szymczak, op. cit.

<sup>17</sup> K. Bielecki, *Zaginione księgi średniowiecznego Lwowa*, Kwart. Hist., t. XLI, 1927, z. 3-4, s. 559, za J. Szymczak, op. cit.

<sup>1</sup> A complete restoration and ceramic conservation of the floor was conducted by Professor dr W. Zalewski and his team in the 1980s.

<sup>2</sup> Conservation work in Tum is currently being carried out by Professor A. Koss from an Inter-departmental Institute of Art Conservation and Restoration, Warszawa – Kraków. In a conversation, Professor informed me about the research on ceramic elements, discovered during archaeological excavations, a definite solution of technological problems and a possible dating of bricks in the early-Romanesque bonds of the collegiate church, planned for the nearest future.

<sup>3</sup> E.g. the writings of Jan Sas-Zubrzycki or an album *Renaissance in Poland* by Sławomir Odrzywolski from 1899.

<sup>4</sup> Project by J. Sas-Zubrzycki from 1894, realised after 1900, St. Joseph's Church.

<sup>5</sup> Project by Józef Dziekoński from 1888, realised about 1901.

<sup>6</sup> Tenement houses in Retoryka Street in Krakow, built in the years 1887-91.

<sup>7</sup> *Regesty Śląskie*, t. 1, no 168, publ. K. Bobrowski, J. Gilewska-Dubis, W. Korta, B. Tureń, Wrocław 1975.

<sup>8</sup> For example the towers of St. Adalbert (about 1395) and Corpus Christi (1350-1390) in Wrocław.

<sup>9</sup> Similar, Russian brickmaker's marks were published by M. Wolicki, *Cerkiew św. Borysa i Gleba na Koloży pod Grodnem*, Warszawa 1929.

<sup>10</sup> J. Gimpel, „*Jak budowano w średniowieczu*”, Warszawa 1968, p. 72.

<sup>11</sup> T. Poklewski-Kozieł, *Advantages and disadvantages of castle building in the late medieval period (Petit Koenigsbourg in Alsatia and Bolesławiec on the Proсна in Poland in the Wielun region)*, [in:] *Studia Mariano Arszyński septuagenario dedicata Architectura et historia*, Toruń 1999.

<sup>12</sup> A. Chmiel, *Materiały archiwalne do budowy zamku Wawel*, Teka Grona Kons. Galicji Zach. T. II, 1913, s. 773.

<sup>13</sup> Jan from Czarnkow, *Chronicon Polonorum*, publ. J. Szlachetowski, MPH, vol. II. Lwów 1872, after J. Szymczak, *Koszty murowanego budownictwa obronnego w Polsce do XVI w.*, KHKM PAN, no 2, 1988, p. 251.

<sup>14</sup> J. Pelc, *Prices in Krakow in the years 1369-1600*, Lwów 1935, p. 59.

<sup>15</sup> *Register of expenditure for the repairs of the Krakow castle from the 15<sup>th</sup> century*, publ. S. Krzyżanowski, Sprawozdania Komisji do Badania Historii Sztuki w Polsce, vol. V, Kraków 1892, z. 2, szp. XXIX, Rachunki wielkorządowe, s. 146-147, after J. Szymczak, op. cit.

<sup>16</sup> S. Paternowski, *Finances of the city of Poznan during the Middle Ages*, Poznań 1937, p. 55, after J. Szymczak, op. cit.

<sup>17</sup> K. Bielecki, *The Lost Books of Medieval Lviv*, Kwart. Hist., vol. XLI, 1927, z. 3-4, p. 559, after J. Szymczak, op. cit.

<sup>18</sup> W. Adamczyk, *Ceny w Lublinie od XVI do końca XVIII wieku*, Lwów 1935, s. 96, tenże *Ceny w Warszawie w XVI i XVII wieku*, Lwów 1938, s. 61, za J. Szymczak, op. cit.

<sup>19</sup> Wiardunek – czwarta część dawnej grzywny, równa 12 groszom szerokim Kazimierza Wielkiego. Stąd i miedle 12-snopowe na polu nazywano wiardunkami, a dziesięciny snopowe wiardunkowymi, [w:] Z. Gloger, *Encyklopedia Staropolska*, Warszawa 1985, t. IV, s. 244.

<sup>20</sup> Skojec – znaczyl 24-tą część grzywny liczalnej krakowskiej, czyli dwa grosze srebrne, [w:] Z. Gloger, *Encyklopedia Staropolska*, Warszawa 1985, t. IV, s. 244.

<sup>21</sup> *Codex diplomaticus Warmiensesis*, wyd. P. Woelky i in. Braniewo-Mainz, 1860-1935, t. III, s. 224, za J. Szymczak, op. cit.

<sup>22</sup> M. Małówna, J. Senkowski, *Materiały archiwalne do budowy zamku warszawskiego. Rachunki budowy z lat 1569-1572*, z. 1, Studia Warszawskie, t. XX, Warszawa 1974, s. 222, za J. Szymczak, op. cit.

<sup>23</sup> *Rachunki budowy zamku krakowskiego*, 1535, wyd. O. Łaszczyńska [w:] *Źródła do dziejów Wawelu*, t. I, Kraków 1952, s. 83.

<sup>18</sup> W. Adamczyk, *Prices in Lublin since the 16<sup>th</sup> till the end of the 18<sup>th</sup> century*, Lwów 1935, p. 96, there *Prices in Warszawa in the 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup> century*, Lwów 1938, p. 61, after J. Szymczak, op. cit.

<sup>19</sup> Wiardunek – one fourth of the old grzywna, equal to 12 broad grosz of Kazimierz Wielki. Therefore, also 12-sheaf shocks in fields were called ‘wiardunek’, or predial ‘wiardunek’ tithes [in:] Z. Gloger, *Encyklopedia Staropolska*, Warszawa 1985, vol. IV, p. 244.

<sup>20</sup> Skojec – meant 24<sup>th</sup> part of countable Krakow grzywna, that is two silver grosz, [in:] Z. Gloger, *Encyklopedia Staropolska*, Warszawa 1985, vol. IV, p. 244.

<sup>21</sup> *Codex diplomaticus Warmiensesis*, publ. P. Woelky et al. Braniewo-Mainz, 1860-1935, vol. III, p. 224, after J. Szymczak, op. cit.

<sup>22</sup> M. Małówna, J. Senkowski, *Archive materials for the building of the castle in Warszawa. Building accounts from the years 1569-1572*, z. 1, Studia Warszawskie, vol. XX, Warszawa 1974, p. 222, after J. Szymczak, op. cit.

<sup>23</sup> *Accounts for the building of the castle in Krakow*, 1535, publ. O. Łaszczyńska [in:] *Źródła do dziejów Wawelu*, vol. I, Kraków 1952, p. 83.

## Streszczenie

Rok 2009 inauguruje obchody 800-lecia ceramiki budowlanej na ziemiach polskich. To piękny jubileusz, którego obchody rozpoczęto w dniu 7 października konferencją z okazji „Dnia Budowlanych.”

Za początkową datę powstania cegielnictwa polskiego przyjęto rok 1210 tj. rozpoczęcia budowy kościoła cystersów w Kołbaczu, który uważany jest przez większość historyków sztuki i architektury za pierwszą u nas budowlę monumentalną całkowicie ceglana.

Niniejszy artykuł upamiętnia jubileusz powstania cegielnictwa i budownictwa ceglano w Polsce. Opisuje rodzaje historycznej cegły, organizację pracy w średniowiecznych cegielniach z dawną, prawie zapomnianą terminologią dotyczącą szczegółowych czynności związanych z wyrobem płytek ceramicznych i cegieł.

Szczególnie interesująca dla odbiorcy może wydać się problematyka związana z produkcją cegły i kosztami budowy ceglanych obiektów w Polsce, w porównaniu do podobnych realizacji we Francji czy Niemczech.

Artykuł kończy krótki szkic dotyczący rozwoju cegielnictwa w czasach współczesnych.

## Abstract

The 2009 year inaugurates the celebration of 800 years of building ceramics in Poland. This is a wonderful jubilee, launched by a conference on occasion of the “Builders' Day” on October 7<sup>th</sup> in Warsaw.

The accepted date of arise of Polish brickmaking is 1210, i.e. when the construction of the Cistercian Church in Kołbacz began, considered by the majority of art and architecture historians as the first monumental full brick building.

The article informs about beginnings of brickmaking and development of architecture made of ceramic shapes in Poland.

The kinds of historic bricks, work organization in medieval brickyards together with old, frequently already forgotten terminology of individual activities for making ceramic shapes and bricks, are described.

It may be interesting for the reader to learn about brick production and building costs in Poland, compared with similar in France and Germany. The article is concluded with a short sketch on the development of brickmaking in modern times.

Howell G.M. Edwards\*

## Raman spectroscopic analysis of art and archaeological artefacts of relevance to the preservation of cultural heritage: the illumination of ancient mysteries

## Spektroskopowa analiza ramanowska obiektów archeologicznych istotnych dla ochrony dziedzictwa kulturowego: oświecenie starożytnych tajemnic

### 1. Introduction

The degradation of materials exposed to the environment or in a burial context can affect the observed Raman bands in predictable and recognisable ways, which can assist in the interpretation of the deteriorative processes through characteristic or key spectral biomarkers. The degradation processes by which archaeological materials undergo chemical and physical changes are diverse and include desiccation, absorption of chemical species from the soil, waterlogging of artefacts, radiation damage through excessive insolation exposure, bacterial attack and oxidative fission at unsaturated chemical sites. Raman spectra can provide a potentially unique source of data on the historical environmental conditions to which artwork or specimens have been subjected and can give archaeologists, restoration specialists and scientific conservators a new perspective on excavated artefacts and materials as well as the preservation of the monuments and art works that are being subjected to deterioration through human and environmental intervention. This is particularly important for archaeological biomaterials because of their relative fragility and sensitivity to chemical, biological and environmental deterioration [1].

The application of chemical analysis to archaeological specimens can be traced back to the late 18th and early 19th Century; in 1815, Sir Humphry Davy read a paper entitled “*Some Experiments*

### 1. Wstęp

Degradacja materiałów narażonych na wpływy środowiskowe lub zakopanych może mieć przewidywalny i rozpoznawalny wpływ na pasma w widmie ramanowskim, co jest pomocne w interpretacji procesów uszkodzeń za pomocą charakterystycznych lub kluczowych biomarkerów. Procesy degradacji, w których materiały archeologiczne podlegają zmianom chemicznym i fizycznym, są różnicowane. Do tych procesów należą: odwadnianie, absorpcja substancji chemicznych z podłoża, nasiąkanie obiektów, uszkodzenia wskutek nadmiernego narażenia na promieniowanie słoneczne, atak bakterii i procesy utleniające. Spektroskopia ramanowska może stanowić niezastąpione źródło danych o historycznych warunkach środowiskowych, jakim podlegały dzieła sztuki i obiekty archeologiczne. Daje ona archeologom, specjalistom od restauracji i naukowcom-konserwatorom nowe spojrzenie na wydobyte obiekty i materiały oraz na ochronę zabytków i dzieł sztuki, które niszczą z przyczyn środowiskowych lub z powodu działań człowieka. To szczególnie ważne w przypadku biomateriałów archeologicznych z powodu ich względnej delikatności i wrażliwości na zniszczenia chemiczne, biologiczne i środowiskowe [1].

Analizę chemiczną stosowano do obiektów archeologicznych już pod koniec XVIII i na początku XIX w.; w 1815 r. Sir Humphry Davy odczytał Towarzystwu Królewskiemu artykuł zatytułowany „*Eksperymenty i uwagi na temat kolorów stosowanych w ma-*

and Observations on the Colours used in Painting by the Ancients” to the Royal Society and thereby probably laid claim to the first publication [2] in this field. Davy’s analytical work comprised an extensive study of the pigments on wall-paintings excavated at Pompeii and palaces in Rome using classical chemical methods. In his paper, Davy refers to previously unpublished analytical studies made by savants and communicated verbally to him, and tantalisingly refers to his minimal sampling of these precious archaeological specimens which were in the care of his friend, Canova. Hence, the recognition that destructive sampling for the provision of analytical chemical information, although undesirable, was fundamentally necessary. For example, the classic chemical analytical work of Eccles and Rackham [3] on porcelains in museums required the destruction of whole items for the gravimetric determination of ceramic body compositions.

The renaissance in chemical analysis applied to archaeological and historical specimens in the last decade has hence focused on non-destructive microsampling spectroscopic techniques [4,5]. Combinations of several analytical techniques, which now frequently include Raman spectroscopy or microspectroscopy, are now being advocated for the scientific provenancing of artefacts; the spectroscopic data are interpreted with reference to compositions of minerals, dyes and pigments which were known to have been used in recipes at the time of creation of the artwork. This *forensic* application for spectroscopic data analysis is now accepted as a rigorous exercise for Raman spectroscopy and art provenancing [1]. The close relationship between Raman spectroscopic applications in art history, archaeology and forensic science is illustrated in fig. 1.

The major features of Raman spectroscopy in its application to the analysis of art historical and archaeological works can be summarised as follows:

- *Microsampling*; requiring only pg or ng of material at the focal volume of a laser beam.
- *Nondestructive analysis*; no sample pretreatment of a chemical or mechanical nature is necessary i.e. no surface grinding, polishing or deposition of coatings.
- *In situ applications*; using remote sensing probes, particularly for inaccessible or very large objects.
- *Organic and inorganic compositions*; of qualitative and possibly quantitative nature – simultaneously acquired from the same specimens and over a much extended wavenumber range than is normally achievable using infrared instruments.
- *Early warning*; the identification of areas of potential interest for further analytical study relat-

larstwie starożytnym”, przedstawiając tym samym pierwszą zapewne publikację [2] w tej dziedzinie. Praca analityczna Davy’ego składała się z rozległego studium pigmentów z malowideł ściennych wykopanych w Pompejach i pałacach rzymskich, oparte na klasycznych metodach chemicznych. W swoim artykule Davy odnosił się do wcześniejszych niepublikowanych badań, o których ich autorzy mu opowiedzieli oraz skromnie wspominał o swoich minimalnych próbkach tych cennych materiałów archeologicznych, które były pod opieką jego przyjaciela o nazwisku Canova. Destrukcyjne próbkowanie okazało się niezbędne jako metoda uzyskania informacji chemicznych do analizy, choć jest niepożądane. Na przykład do powstania klasycznej pracy z dziedziny analizy chemicznej napisanej przez Ecclesa i Rackhama [3] i poświęconej porcelanie w muzeach konieczne było zniszczenie całych przedmiotów w celu ustalenia za pomocą grawimetrii składu ceramiki.

Dlatego właśnie renesans stosowania analizy chemicznej w badaniach archeologicznych i historycznych, widoczny w ostatniej dekadzie, koncentrował się na spektroskopowych technikach niedestrukcyjnego mikropróbkowania [4,5]. Połączenia różnych technik analitycznych, wśród których często pojawia się obecnie spektroskopia lub mikro-spektroskopia ramanowska, są obecnie szeroko polecane do naukowej oceny pochodzenia przedmiotów; dane spektroskopowe są interpretowane w odniesieniu do składu minerałów, barwników i pigmentów, o których wiadomo, że były używane w recepturach z czasów powstania danego dzieła sztuki. To *detektywistyczne* zastosowanie analizy danych spektroskopowych jest obecnie uznawane za sformalizowane postępowania w spektroskopii ramanowskiej i ocenie pochodzenia przedmiotów [1]. Bliskie powiązania zastosowań spektroskopii ramanowskiej w historii sztuki, archeologii i kryminalistyce są przedstawione na rys. 1.

Główne cechy spektroskopii ramanowskiej ważne dla jej stosowania w analizie w historii sztuki i archeologii można podsumować tak:

- *Mikropróbkowanie*; potrzeba tylko pg lub ng materiału o objętości ogniskowego promienia laserowego;
- *Niedestrukcyjna analiza*; nie jest potrzebne żadne chemiczne ani mechaniczne preparowanie materiału, np. mielenie, polerowanie lub ściąganie powłok.
- *Aplikacja na miejscu*; za pomocą zdalnych sond sensorycznych, szczególnie w przypadku obiektów niedostępnych lub bardzo dużych.
- *Skład organiczny i nieorganiczny*; analiza jakościowa, możliwa jest również ilościowa – wykonywane jednocześnie na tych samych prób-

ing to serious decay scenarios which as yet are not visible.

- *Deterioration and degradation studies*; this is of critical importance for the preservation of art and cultural heritage of monuments and of the art works painted on them.

Some examples of a range of archaeological and art historical materials which illustrate the application of Raman spectroscopy to the identification, sourcing and biodeterioration of speci-

kach i w o wiele szerszym zakresie niż to jest osiągalne dla zwykłych narzędzi na podczerveniu.

- *Wczesne ostrzeżenie*; identyfikacja obszarów, które mogą być istotne w dalszych badaniach analitycznych nad poważnymi scenariuszami zniszczeń, które na razie nie są widoczne.
- *Badania nad uszkodzeniami i niszczeniem*; jest to kluczowe zagadnienie dla ochrony zabytków sztuki i dziedzictwa kulturalnego oraz namalowanych na nich obrazów.

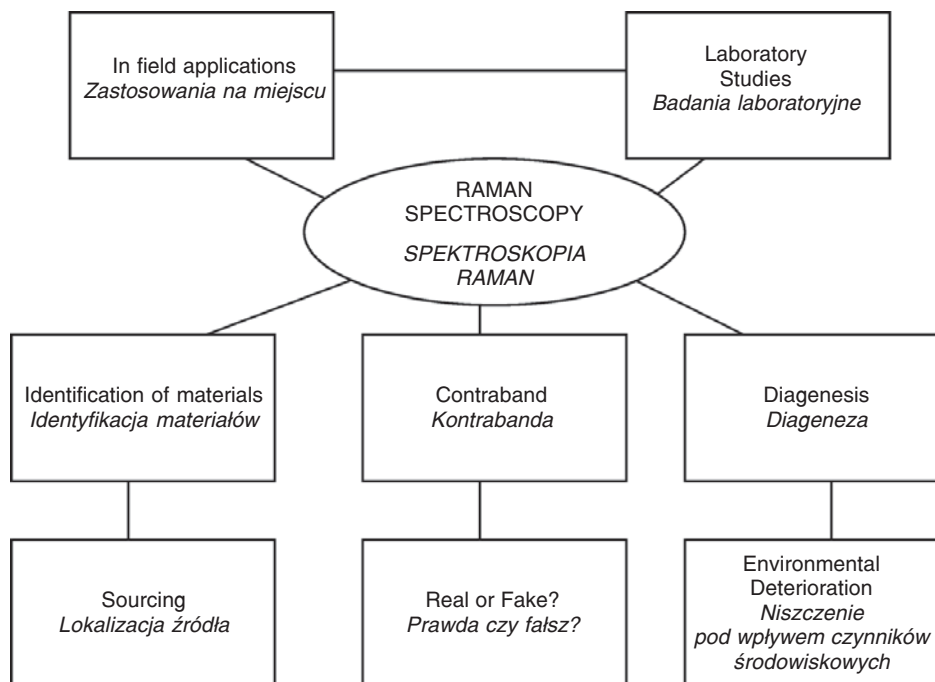


Fig. 1. The close relationship between Raman spectroscopic applications in art history, archaeology, heritage conservation and forensic science  
 Rys. 1. Bliskie relacje między zastosowaniami spektroskopii ramanowskiej w historii sztuki, archeologii, konserwacji dziedzictwa i kryminalistyce

mens in museum collections, in archaeological excavations, in heritage conservation and in the environment will include a selection of the following case studies:

- Rock art spanning some 25,000 years of human prehistoric habitation from the Altamira Cave complex, through to the meso-American Pecos culture dating from 9000 years BC.
- Roman villa wall-paintings from the north of Spain (Castille y Leon, 1<sup>st</sup> Century AD) to the early invasion of Britain and the Boudiccan Revolt at Verulamium of 60 AD.
- Egyptian Dynastic painted sarcophagi from the 18<sup>th</sup> Dynasty (1400 BC) to the Graeco-Roman period (300 BC).
- Mediaeval wall-paintings from English and Spanish churches (1175-1350 AD) in Winchester Cathedral, Sahagun, Basconcillos del Tozo; illustrating the hierarchical use of pigments and their adulteration.

Wśród szeregu obiektów z zakresu archeologii i historii sztuki, których badania ilustrują zastosowanie spektroskopii Ramana do identyfikacji, oceny źródeł i niszczenia biologicznego próbek z kolekcji muzealnych oraz w wykopaliskach archeologicznych i konserwacji dziedzictwa można wymienić następujące przypadki:

- Malarstwo naskalne znane już około 25,000 lat temu, kiedy prehistoryczni ludzie zamieszkivali kompleks jaskiń Altamira aż po środkowoamerykańską kulturę Pecos z okresu 9000 lat p.n.e.
- Rzymskie malowidła ściennie w willach na północy Hiszpanii (Castille y Leon, I w. n.e.) aż do wczesnej inwazji na Brytanię i buntu Boudiccaną w Verulamium w 60 r. n.e.
- Malowane sarkofagi egipskich władców z XVIII dynastii (1400 r. p.n.e.) aż po okres grecko-rzymski (300 r. p.n.e.).
- Średniowieczne malowidła ściennie w kościołach Anglii i Hiszpanii (1175-1350 r. n. e.) w kate-



- Biodegraded frescoes at the Palazzo Farnese, Italy, dating from 1550 AD.
- The restoration of an important Renaissance ceiling fresco which was badly damaged by modern weaponry in the Spanish Civil War in 1936.
- Archaeological excavations of skeletal remains from burial sites during urban developments.
- Sourcing of biomaterials for the attribution of fragmented artefacts and selection of modern substitutes for sympathetic restoration; the *HMS Victory* Trafalgar sail project.

## 2. Experimental

Specimens were obtained from museum collections and archaeological sites as indicated. They were analysed non-destructively and returned after the Raman spectra were recorded using two instruments:

*1064 nm excitation* with a Nd<sup>3+</sup>/YAG laser, a Bruker IFS 66/FRA 106 instrument and Ramanscope attachment. Wavenumber range 3500-100 cm<sup>-1</sup>; spectral resolution 4 cm<sup>-1</sup>. Spectral footprint, 8-10 μm with 100x lens objective.

*785 nm excitation* with a diode laser, Renishaw "In Via" microscope system. Wavenumber range 3400-100 cm<sup>-1</sup>; spectral resolution 2 cm<sup>-1</sup>. Spectral footprint, 2 μm with 100x lens objective.

Multiple scans were collected for each system to improve signal-to-noise ratios; generally, this required some 2000-4000 scans at 1064 nm (total time ~ 30-75 minutes.) and 20 scans at 785 nm (total time ~ 10 minutes).

For the biomaterials and deteriorated specimens studied in this work, the accessibility of Raman spectra recorded at shorter wavelength was normally prevented by fluorescence emission which swamped the weaker Raman spectra which made the longer wavelength recording of the spectra critically important.

## 3. Results and Discussion

In these applications, in addition to the identification of the pigments and materials used in the art works it was possible to provide novel information about the sourcing of raw materials of use in art historical research. The characteristic bi-

drze Winchester, Sahagun, Basconcillos del Tozo; które ilustrują hierarchię stosowania pigmentów i ich podróbki.

- Biodegradacja fresków w Palazzo Farnese we Włoszech, pochodzących z 1550 r. n.e.
- Restauracja ważnych renesansowych fresków sufitowych, które zostały zniszczone przez nowoczesną broń w czasie hiszpańskiej wojny domowej w 1936 r.
- Archeologiczne wykopaliska pozostałości szkieletołów z miejsc pochówku w osadach.
- Ocena źródeł biomateriałów w celu przyporządkowania artefaktów, które uległy rozpadowi oraz wyboru nowoczesnych substytutów umożliwiających kompatybilną restaurację: projekt renowacji żagla *HMS Victory* z czasów bitwy Trafalgarskiej.

## 2. Eksperymenty

Próbki do badań uzyskano ze wskazanych kolekcji muzealnych i miejsc wykopalisk. Następnie zostały one poddane nie-destrukcyjnej analizie i zwrócone po zarejestrowaniu widm ramanowskich za pomocą dwóch spektrofotometrów:

*Z linią wzbudzającą 1064 nm* lasera Nd<sup>3+</sup>/YAG, instrument Bruker IFS 66/FRA 106 z przystawką Ramanscope. Zakres liczb falowych wynosił 3500-100 cm<sup>-1</sup>; rozdzielczość spektralna 4 cm<sup>-1</sup>, rozdzielczość przestrzenna 8-10 μm z obiektywem 100x.

*Z linią wzbudzającą 785 nm* lasera diodowego, Z system mikroskopowym Renishaw "In Via". Zakres liczb falowych wynosił 3400-100 cm<sup>-1</sup>; rozdzielczość spektralna 2 cm<sup>-1</sup>, rozdzielczość przestrzenna 2 μm z obiektywem 100x.

Widma za pomocą każdego systemu rejestrowane były z dużą liczbą skanów, żeby poprawić współczynnik sygnału do hałasu; wymagało to łącznie około 2000-4000 skanów przy 1064 nm (całkowity czas ~ 30-75 minut) oraz 20 skanów przy 785 nm (całkowity czas ~ 10 minut).

W przypadku badanych biomateriałów i próbek zdegradowanych, fluorescencja występująca w widmach ramanowskich rejestrowanych z zastosowaniem niższej długości fali uniemożliwiała detekcję słabszych pasm w widmie ramanowskim, przez co zastosowanie większej długości fal do rejestracji widm stało się kluczowe.

## 3. Wyniki i dyskusja

W badaniach obiektów historycznych możliwe było nie tylko identyfikowanie pigmentów i materiałów używanych w dziele sztuki, ale także uzyskanie nowatorskich informacji o źródłach zastosowanych surowców. Charakterystyczne biologiczne „podpisy”

osignatures of lichens and cyanobacterial colonisation found in the Raman spectra of biodeteriorated wall paintings and their substrates is an excellent early warning device for conservators of painted murals on which a particular directed conservation strategy can be formulated. The discovery of unusual pigments on stone statuary is another example of this application, such as *mosaic gold* on a polychrome statue of Santa Ana and *lazurite* in a Romano-Spanish wall-painting. In a restoration project with the Portsmouth Historic Dockyard to celebrate the bicentenary of the Battle of Trafalgar in 1805, the restoration of the only surviving sail from the battle, the foretop-sail of *HMS Victory*, was accomplished successfully using Raman spectroscopic interrogation of artificially aged linen samples from simulated marine stressed environments.

*Mummified tissue*: Raman spectroscopy has provided some important novel information on the characterisation of degraded biodeteriorated tissue from archaeological environments. The height of mummification in Ancient Egypt occurred in the Middle Kingdom; the mummy of Nekht-Ankh (12<sup>th</sup> Dynasty; ca 2000 BC) has been analysed – this mummy, from the “Tomb of the Two Brothers” excavated by Flinders Petrie in 1906, is now in the Manchester Museum. The mummy is of significance for analytical science as it was the first to be subjected to a scientific unwrapping, by Margaret Murray in the University of Manchester in 1906. The skin of the mummy is shown from Raman spectroscopy to be in a variable state of preservation [1,6] – spectral stackplots show that in some specimens the skin is well preserved as evidenced by the clearly defined amide I and associated modes of skin proteins, whereas in others the degradation of the proteins is shown by the broad, diffuse spectra. It is interesting that in the region where residual bands of the mummification chemicals still remain, *viz* those of sodium sulfate from the natron used, the skin protein bands indicate a very badly preserved skin structure. Specimens of textiles from the mummy wrappings have also been analysed and information about their deterioration obtained from the Raman spectra.

Hair provides another example of the use of Raman spectroscopy for assessment of biodeterioration; hair consists of keratinous proteins and can survive for considerable times in adverse burial conditions. The hair from a waterlogged skeletal burial (fig. 2) from the late 18th Century shows evidence of broad protein bands and significant deterioration, despite its apparent survival when all other soft tissue had been degraded [7]. The pres-

porostów i kolonii cyjanobakterii wykryte w widmach ramanowskich zniszczonych malowideł ściennych i ich podkładów stanowią doskonały system wczesnego ostrzegania dla konserwatorów malowideł ściennych, dzięki którym możliwe jest zaplanowanie specyficznej strategii konserwacji. Odkrycie nietypowych pigmentów w rzeźbach kamiennych to kolejny przypadek tego zastosowania, np. *złoto mozaikowe* w polichromowanej statui św. Anny i *lazuryt* w rzymsko-hiszpańskim malowidle ściennym. W projekcie restauracji historycznych doków w Portsmouth Historic Dockyard jako uczczenia dwusetnej rocznicy bitwy Trafalgarskiej z 1805 r.: restauracji ostatniego zachowanego żagla z bitwy, żagla fokmarsu *HMS Victory*, sukces był możliwy dzięki zastosowaniu spektroskopii ramanowskiej do zbadania sztucznie postarzonych próbek płótna w symulowanych warunkach obciążeń na morzu.

*Zmumifikowana tkanka*: spektroskopia ramanowska była źródłem cennych i nowych informacji na temat cech zdegradowanych i biologicznie uszkodzonych tkanek z terenów badań archeologicznych. Szczyt okresu mumifikowania w starożytnym Egipcie przypadł na czasy Środkowego Królestwa. Zbadana mumia Nekht-Ankha (XII Dynastia; około 2000 r. p. n. e.) – pochodząca z „Grobowca Dwóch Braci”, odkopanego przez Flindersa Petrie w 1906 r. – znajduje się obecnie w muzeum w Manchesterze. Mumia jest ciekawa jako przedmiot analizy, ponieważ była pierwszą, którą poddano naukowemu procesowi rozwijania: dokonała tego Margaret Murray na Uniwersytecie w Manchesterze w 1906 r. Spektroskopia ramanowska pokazała, że stan zachowania skóry mumii jest zróżnicowany [1,6] – widma dowodzą, że w niektórych próbkach skóra jest dobrze zachowana, co widać przez obecność wyraźnych pasm odpowiadających obecności amidów I i białek występujących w skórze, natomiast w innych miejscach degradacja białek jest widoczna, o czym świadczą szerokie pasma w widmach. Ciekawe jest, że obszarze gdzie obecne są resztki chemikali mumifikujących, np. siarczaniu sodu z użytego natrytu, pasma przypisane do białek obecnych w skórze wskazują na bardzo źle zachowaną strukturę skóry. Zbadano także za pomocą spektroskopii ramanowskiej próbki materiałów, którymi owinięta była mumia i uzyskano informacje na temat ich degradacji.

Włosy to kolejny przykład zastosowania spektroskopii ramanowskiej do oceny biodegradacji: włosy zawierają białka keratyny i mogą przetrwać długo mimo niekorzystnych warunków pochówku. Widmo ramanowskie włosów z kośćca pochowanego w podmokłym miejscu (rys. 2), pochodzących z końca XVIII w. wykazuje obecność szerokich pasm białek i zaawansowaną degradację, pomimo iż pozornie przetrwały

ence of a spectral signature for basic lead carbonate in the hair specimen from the skeletal remains shown in fig. 3 indicate its association with a lead coffin found elsewhere on site. In comparison, the hair specimen belonging to engineer Robert Stephenson, who died in 1859, shows an excellent state of preservation as it had been kept in an archive (fig. 4). The difference in the spectra is significant and the presence of sharper protein features in the 19th Century specimen is striking; perhaps, the most significant spectral feature possessed by Stephenson's hair, however, is that of the  $\nu$  (S-S) stretching mode near  $500\text{ cm}^{-1}$  which has disappeared from the archaeological specimen. Other features in the Raman spectrum of Stephenson's hair are ascribed to proprietary additives and cosmetics in use at that time.

one najdłużej, po degradacji innych tkanek miękkich [7]. Obecność zasadowego węglanu ołowiu w próbce włosów ze szczątków potwierdzona jest obecnością charakterystycznych pasm w zamieszczonym poniżej na rys.3 widmie ramanowskim, dowodzi związku z ołowianą trumną znaną z innego miejsca wykopalisk. Dla porównania, próbka włosów inżyniera Roberta Stephensona, który zmarł w 1859 r., jest doskonale zachowana, ponieważ przechowywana była w archiwum (rys. 4). Różnica w widmach jest znaczna, uderzająca jest także obecność wyraźnych pasm białek w próbce z XIX w.; najbardziej charakterystyczną cechą spektralną widoczną we włosach Stephensona jest jednak fakt, że występowanie drgania rozciągającego  $\nu$  (S-S) się przy ok.  $500\text{ cm}^{-1}$ , podczas gdy w próbce archeologicznej właściwie zaniknęło. Inne cechy widma ramanowskiego włosów Stephensona przypisano dodatkom i kosmetykom używanym w jego czasach.

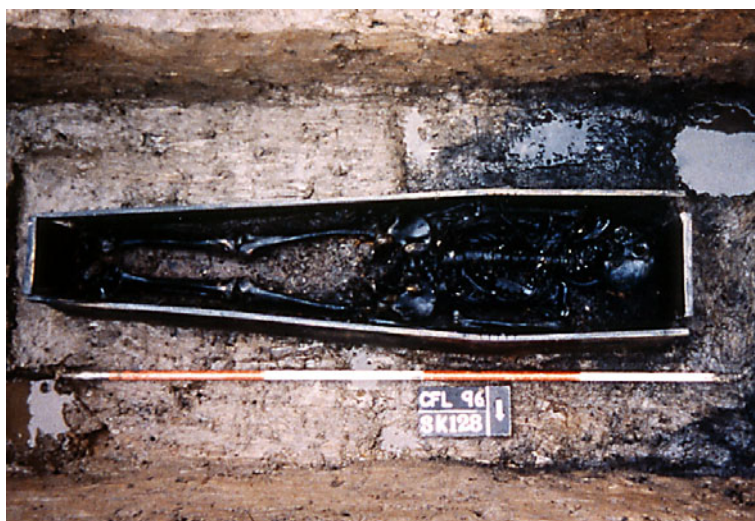


Fig. 2. 18<sup>th</sup> Century burial, found in extension to Newcastle Infirmary  
Rys. 2. XVIII-wieczny pochówek, odkryty w pobliżu infirmerii w Newcastle

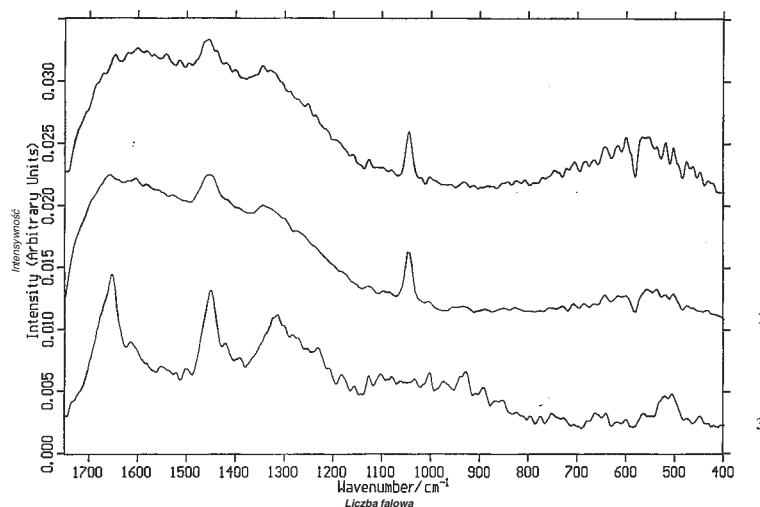


Fig. 3. Raman spectra of archaeological hair specimens 1 & 2 = showing a band at ca.  $1050\text{ cm}^{-1}$  characteristic of basic lead carbonate and 3 = modern contemporary hair specimen  
Rys. 3. Widma ramanowskie archeologicznych próbek włosów: 1 i 2 = widoczne charakterystyczne pasmo zasadowego węglanu ołowiu ok.  $1050\text{ cm}^{-1}$  oraz 3 = współczesna próbka włosów

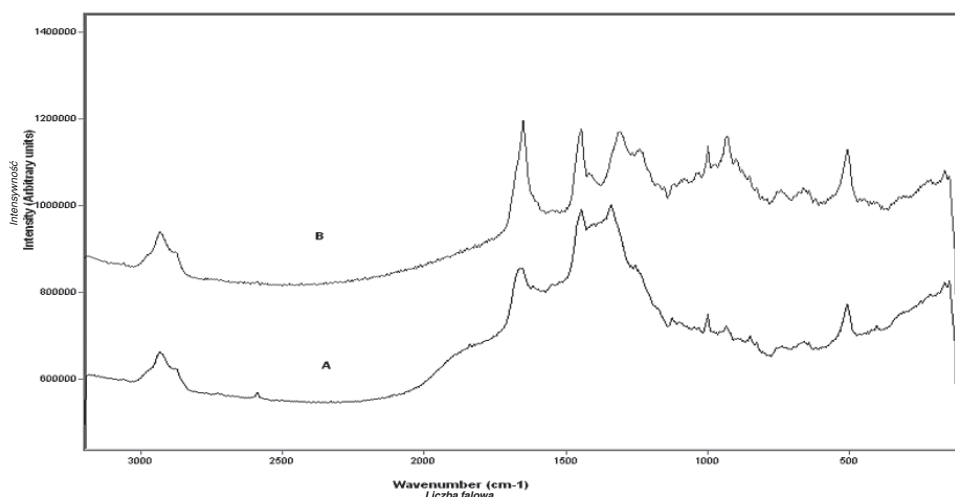


Fig. 4. Robert Stephenson's Hair A: Modern grey hair, B: Robert Stephenson's grey hair  
 Rys. 4. Włosy Roberta Stephensona A: Współczesne siwe włosy, B: Siwe włosy Roberta Stephensona



Fig. 5. Eye-bead from an Egyptian 18<sup>th</sup> Dynasty cat's head  
 Rys. 5. Koralek-oko z mumii głowy kota z czasów egipskiej XVIII Dynastii

A unique specimen of an eye-bead from an Egyptian 18<sup>th</sup> Dynasty cat mummy (fig. 5) was believed to be either amber or brown glass; it was neither, as the Raman spectrum shows – the eye-bead spectrum is characteristic of keratin and is closely matched with that of a claw or horn, which suggested the possibility of a hitherto unrecognised funerary practice was perhaps being operated [8].

The *Mary Rose* (fig. 6) flagship of King Henry VIII's navy, was sunk in the English Church in 1545 with the loss of 345 lives in an engagement with a French naval force. Excavation of the wreck has revealed much information about Tudor life. The surgeon-barber's medicine chest contained several sealed ceramic jars and wooden containers for inorganic and organic molecules used for medicinal potions and for the treatment of wounds. Raman analysis of several of these correspond with known texts of *materia medica* of the 16<sup>th</sup> Century and can be attributed to aromatic resins such as frankincense and myrrh. Inorganic materials found include gypsum, carbon, sulfur and haematite.

Wyjątkową próbkę – paciorka umieszczonego w oczodole mumii kota z czasów egipskiej XVIII Dynastii (rys. 5) uznawano za wykonaną z bursztynu lub brązowego szkła; nie było tak, czego dowodzi spektroskopia ramanowska – widmo próbki jest charakterystyczne dla keratyny i ściśle pasuje do szponu lub rogu, co wskazuje być może na zastosowanie nieznaną dotąd praktyki pogrzebowej [8].

Okręt flagowy marynarki króla Henryka VIII *Mary Rose* (rys. 6) zatonął w miejscowości English Church w 1545 r., tracąc 345 zabitych w walce z siłami morskimi Francji. Wydobycie wraku przyniosło wiele informacji o życiu w epoce Tudorów. Skrzynia medyczna chirurga i fryzjera zawierała kilka zapieczętowanych słoików ceramicznych i drewnianych pojemników na substancje organiczne i nieorganiczne stosowane do dawkowania i leczenia ran. Analiza ramanowska kilku z nich pozwala na przypisanie ich aromatycznym żywicom, takim jak żywica oliibanowa i mirra co odpowiada medykamentom opisanym w tekstach o *materia medica* z XVI w. Wśród znalezionych materiałów nieorganicznych były: gips, węgiel, siarka i hematyt.

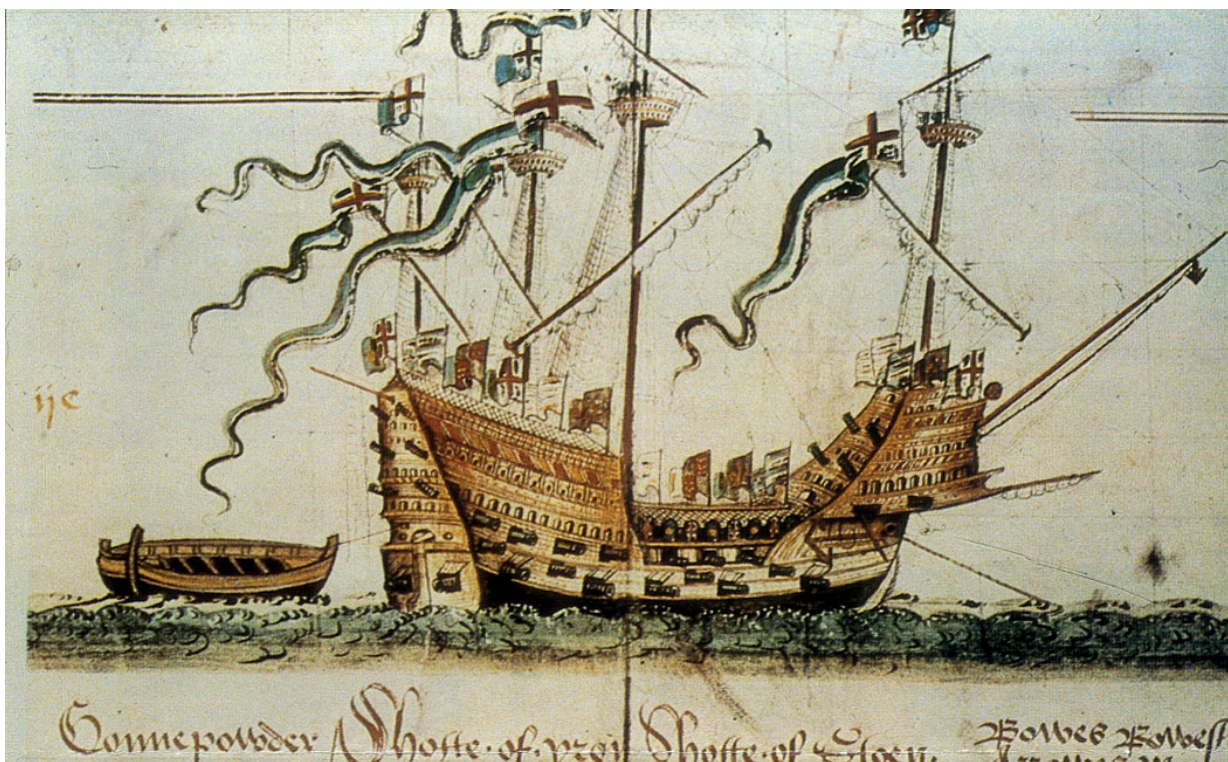


Fig. 6. The Mary Rose, flagship of King Henry VIII, sunk in a battle with the French, 1545.  
Rys. 6. „Mary Rose”, okręt flagowy Henryka VIII zatopiony w bitwie z Francuzami w 1545 r.

### Wall-paintings/frescoes

The damage caused by lichen hyphal penetration of mediaeval and Renaissance artwork can be illustrated by the wall paintings in ancient churches in Spain – where damage to the 14th Century artwork has been attributed to lichen colonisation, despite high concentrations of lead, antimony and mercury in the mineral pigments of the wall-paintings. Lichens have successfully invaded the artwork and caused problems for archaeologists responsible for their preservation. Although the integrity of the substrate has been compromised it is clear that Raman spectroscopic analysis have identified areas most “at risk” from the biosignatures of lichen chemicals present – hence the analyses represent an *early warning* method for conservators. An interesting point relates to the hierarchical use of expensive pigments in mediaeval artwork; at Basconcillos del Tozo, *cinnabar* was used for Christ and *lapis lazuli* for the Virgin Mary whereas St. Peter was painted in *minium*.

In the Palazzo Farnese, a 16th Century palace at Caprarola some 60 miles North of Rome, the frescoes painted in 1560 by Zuccari are very significantly damaged by the invasion of aggressive lichen colonies of *Dirina massiliensis* forma *sorediata*, an organism which can produce up to 50% of its biomass as hydrated calcium oxalate. With some 80% of the paintings covered by lichen, Ra-

### Malowidła ściennie/freski

Szkody, jakie dziełom sztuki z epoki średniowiecza i renesansu wyrządzają strzępki porostów, można omówić na przykładzie malowideł ściennych ze starożytnych kościołów w Hiszpanii, gdzie zniszczenie dzieł w XIV w. przypisano kolonii porostów, pomimo dużego stężenia ołowiu, antymonu i rtęci w pigmentach mineralnych w malowidłach. Porosty zajęły dzieła sztuki, stanowiąc problem dla archeologów zajmujących się konserwacją. Pomimo zagrożenia integralności podkładu, jasne jest, że spektroskopia ramanowska umożliwiła identyfikację obszarów najbardziej zagrożonych na podstawie śladów obecnych tam substancji z porostów – dlatego analizy te mogą stanowić metodę wczesnego ostrzegania dla konserwatorów. Istotną kwestią to hierarchiczne stosowanie kosztownych pigmentów w średniowieczu; w Basconcillos del Tozo, zastosowano cynober w obrazie Chrystusa i *lazuryt* w wizerunku Matki Bożej, natomiast św. Piotra namalowano *minią*.

W Palazzo Farnese, XVI-wiecznym pałacu w Caprarola, około 60 mil na północ od Rzymu znajdowały się freski namalowane w 1560 r. przez Zuccari, które były wyraźnie uszkodzone wskutek rozrostu agresywnych kolonii porostów z grupy *Dirina massiliensis* forma *sorediata*. Organizm ten może wytworzyć nawet 50% swojej biomasy w formie uwodnionego szczawianu wapnia. Około 80% ma-

man analyses have indicated that approximately 1 kg of calcite substrate per sq. metre has been converted into fragile calcium oxalate, so destroying the platform on which the artwork is based. Raman analytical studies on cored samples have also shown that lichen hyphae are present up to 10 mm inside the basal calcite – hence, the mere removal of surface growths for restorative procedures will not cure the problem.

#### 4. Conclusions

The use of analytical Raman spectroscopic techniques for the non-destructive characterisation of a range of archaeological artefacts has provided some novel information for art historians and suggested the use of ancient technologies for the production and treatment of materials and skeletal remains. The advantages of the molecular spectroscopic identification of minerals, resins and additives proves to be a powerful addition to analysts working at the interfaces of art history, museum science, chemistry and biology. In particular, curators and archaeological conservators are alerted to the need for directed conservation of specimens and artworks at risk from environmental damage in the preservation of cultural heritage from the identification of key spectral biomarkers ascribed to hyphal penetration of wall paintings at risk from stressed environmental changes.

#### 5. Acknowledgements

Manchester Museum, National Museum of Scotland, National Maritime Museum, Greenwich, The London Museum, Maritime Museums of Merseyside, Liverpool, Humberside Museum, Metropolitan Museum of Art, New York, Museum of Archaeology and Ethnography, Sao Paulo, Textile Conservation Centre, Winchester, National Museum of Denmark, Copenhagen, The Queensland Museum, Brisbane.

lowideł było pokrytych porostami, zaś analiza ramanowska wykazała, że ok. 1 kg podłoża z kalcytu na m<sup>2</sup> zmieniło się w wrażliwy szczawian wapnia, przez co zniszczeniu uległa platforma, na której opierało się dzieło sztuki. Badania wydrążonych próbek spektroskopią ramanowska wykazały, że strzępki porostów sięgały do 10 mm w głąb podłoża z kalcytu – co dowodzi, że usunięcie porostów z powierzchni w ramach restauracji malowideł nie rozwiąże w pełni problemu.

#### 4. Wnioski

Zastosowanie technik spektroskopii ramanowskiej dla niedestrukcyjnej charakterystyki bardzo wielu różnych obiektów archeologicznych przyniosło wiele nowych informacji dla historyków sztuki, pozwalając na ocenę starożytnych technologii produkcji i ochrony materiałów i szczątek. Okazuje się, że zalety molekularnej identyfikacji spektroskopowej minerałów, żywic i dodatków są doskonałym dodatkowym narzędziem dla analityków pracujących na granicy historii sztuki, muzealnictwa, chemii i biologii. Zwłaszcza kuratorzy i konserwatorzy obiektów archeologicznych są zainteresowani problemem specyficznej ich konserwacji i dzieł sztuki zagrożonych przez czynniki środowiskowe w celu ochrony dziedzictwa kulturowego, a w tej kwestii pomocna może być identyfikacja kluczowych biomarkerów spektralnych przypisanych obecności strzępków w zagrożonych malowidłach.

#### 5. Podziękowania

Muzeum w Manchesterze, Narodowe Muzeum Szkocji, Narodowe Muzeum Morskie, Greenwich, Muzeum Londyńskie, Muzeum Morskie Merseyside w Liverpoolu, Muzeum Humberside, Metropolitan Museum of Art w Nowym Jorku, Muzeum Archeologii i Etnografii w Sao Paulo, Centrum Konserwacji Tkanin w Winchester, Narodowe Muzeum Duńskie w Kopenhadze, Muzeum Queensland w Brisbane.

#### References • Literatura

- [1] Edwards H.G.M., Chalmers J.M. eds. *Raman Spectroscopy in Art History and Archaeology*, Royal Society of Chemistry, London 2005.
- [2] Davy H., *Some experiments and observations on the colours used in paintings by the Ancients*. Phil. Trans. Roy. Soc. London 1815, 105: 97-114.
- [3] Eccles H., Rackham, B., *Analysed Specimens of English Porcelain*, V & A Museum, London 1922.
- [4] Edwards, H.G.M., *Artworks Studied using IR and Raman spectroscopy*, In: *Encyclopaedia of Spectroscopy and Spectrometry*, eds. Lindon J.C., Tranter G. E., Holmes J. L., Academic Press, London 1999, pp. 2-17.

- [5] Ciliberto E., Spoto G. eds. *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology, Chemical Analysis Series*, 155, J. Wiley and Sons, Chichester, 2005.
- [6] Petersen S, Faurskov Nielson O., Christensen D. H., Edwards H. G. M., Farwell D. W., David A. R., Lambert P., Gniadecka M, Hart Hansen J. P., Wulf H. C., *NIR FT Raman spectroscopy of skin samples from the Tomb of the Two Brothers, Khnum Nakht and Nekht Ankh, XII<sup>th</sup> Dynasty Egyptian Mummies*. *J. Raman. Spectroscopy* 34: 375-379, 2003.
- [7] Edwards H. G. M., Wilson A. S., Farwell D. W., Janaway R.C., *FT Raman spectroscopy: evaluation as a non-destructive technique for studying the degradation of human hair from archaeological and forensic environments*. *J. Raman. Spectroscopy* 30: 378-383, 1999.
- [8] Edwards H. G. M., Farwell D. W., Heron C. P., Croft H., David A. R., *Cat's eyes in a new light: FT Raman spectroscopic and GCMS study of Egyptian mummies*. *J. Raman. Spectroscopy* 30: 139-146, 1999.

---

\* Division of Chemical and Forensic Sciences, School of Life Sciences, University of Bradford, UK.  
Wydział Nauk Chemicznych i Sądowych, Szkoła Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Bradford, Wielka Brytania.

---

## Abstract

This paper reviews the contributions of Raman spectroscopy to the non-destructive characterisation of biological materials, including the sourcing of resins and the identification of biodegradation of art and archaeological artefacts. The advantages of Raman spectroscopy for non-destructive analysis are well-appreciated. However, the ability to record molecular information about organic and inorganic species present in a heterogeneous specimen at the same time, the insensitivity of the Raman scattering process to water and hydroxyl groups which removes the necessity for sample desiccation, and the ease of illumination for samples of very small and very large sizes and unusual shapes are also apparent. Several examples are used to illustrate the application of Raman spectroscopic techniques to the characterisation of biomaterials and for the preservation of cultural heritage through case studies in the following areas: wall-paintings and rock art, human and animal tissues and skeletal remains, fabrics, resins and ivories.

## Streszczenie

W artykule omówiono przydatność spektroskopii ramanowskiej dla niedestrukcyjnej charakterystyki materiałów biologicznych, np. badanie źródeł żywic i identyfikacja biodegradacji dzieł sztuki i obiektów archeologicznych. Zalety spektroskopii ramanowskiej w niedestrukcyjnej analizie są powszechnie uznawane. Jednakże badania dowodzą także możliwości uzyskiwania informacji molekularnych o formach organicznych i nieorganicznych obecnych równocześnie w heterogenicznych próbkach, na braku wpływu wody i grupy hydroksylowej na rozproszenia ramanowskiego co likwiduje konieczność osuszania próbek oraz łatwość analizowania próbek o bardzo małych lub bardzo dużych rozmiarach albo nietypowych kształtach. W artykule przedstawiono kilka przykładów zastosowania spektroskopii ramanowskiej do charakterystyki biomateriałów i ochrony dziedzictwa kulturalnego. Studia przypadków dotyczyły następujących obszarów: malowidła ścienne i naskalne, tkanki ludzkie i zwierzęce oraz szczątki kości, tkaniny, żywice i kość słoniowa.

Jan Marczak\*  
Andrzej Koss\*\*

## Fizyka we współczesnych badaniach i konserwacji dzieł sztuki

## Physics in modern investigations and conservation of works of art

### 1. Wstęp

Od początków ludzkości, najpierw przez poznanie, a następnie przez świadome poznawanie i rozwijanie wiedzy, nauki zawsze towarzyszyły sztuce. Działy nauki takie, jak chemia, fizyka czy matematyka, w mniejszym lub większym stopniu, mniej lub bardziej świadomie, związane były i są do dnia dzisiejszego ze sztuką stworzoną i tworzoną. O ile przed kilkoma tysiącami lat była to wiedza znana nielicznym, o czym dowiadujemy się dziś z równie niewielu przekazów, to od średnio-wieczna chemia, fizyka a zwłaszcza optyka towarzyszą sztuce. Wiedza w wielu przypadkach traktowana była jako wiedza tajemna, znana tylko nielicznym artystom.

Zachowanie dziedzictwa kulturowego dla przyszłych pokoleń jest jednym z najważniejszych obowiązków i zadań każdego społeczeństwa. Jest to zadanie wymagające ścisłej, interdyscyplinarnej współpracy między konserwatorami, archeologami, historykami sztuki, kuratorami muzeów z jednej strony a chemikami, fizykami i architektami uczestniczącymi w tym wyjątkowo interesującym obszarze zagadnień. Szczególnie ważne dla zrozumienia dziedzictwa kultury są badania naukowe, a bardzo istotny jest wkład nauk fizycznych i chemicznych w odkrywaniu bogatej informacji zawartej w dziełach. Współcześnie dla celów diagnostycznych dzieł sztuki opracowano wiele specjalistycznych nieniszczących metod badawczych

### 1. Introduction

Since the beginnings of the mankind, first by cognition, and then by conscious learning and developing knowledge, science has been accompanying fine arts. Such branches of science as chemistry, physics or mathematics, more or less consciously, to smaller or bigger extent, have been connected with the art as created in the past and being created contemporarily. In contrary to the fact that in the past, thousands years ago, knowledge was the privilege of the few, which we can today find out from equally scarce lore, chemistry, physics and especially optics have been accompanying the art since Middle Ages. Knowledge in many cases was treated as something secret, well-known only to few artists.

Preservation of the cultural heritage for the future generations is one of the most important duties and tasks for every society. This task requires close interdisciplinary co-operation between conservators, archaeologists, the historians of the art, the museum curators from the one side and chemists, physicists and architects participating in this exceptionally interesting area of questions from the other side. Particularly important for understanding the cultural heritage are scientific investigations, and the input of physical and chemical sciences is absolutely essential in uncovering vast information enclosed in the works of art. Many specialistic non-destructive investigative methods have been worked out nowadays on the basis of laser techniques for the purpose of



w oparciu o technikę laserową. Głównym celem nieniszczących analiz fizyko-chemicznych jest identyfikacja warstw wierzchnich dzieł sztuki oraz określenie stanu ich zachowania i struktury. Z kolei głównym celem procesu oczyszczania jest jak najmniejsza ingerencja w materię zabytkową – podłoże. Zastosowanie techniki laserowej i optoelektroniki daje możliwość nieniszczących analiz i pełnej kontroli procesu przy usuwaniu nawarstwień obcych z powierzchni dzieł sztuki [1-6]. Selektywne i precyzyjne działania wiązki światła stanowi podstawową zaletę bezinwazyjnego działania na nawarstwienia mniej lub bardziej przylegającego do powierzchni dzieła [7]. W artykule przedstawiono i omówiono obszary zastosowań laserów w konserwacji, ze szczególnym uwzględnieniem nieniszczących fizyko-chemicznych i strukturalnych metod analizy dzieł sztuki, a także zalety i wady wykorzystania impulsowego promieniowania laserowego w renowacji (w usuwaniu warstw wierzchnich: brudu, zanieczyszczeń atmosferycznych, przemalówek, itp. nawarstwień). Omówiono je na podstawie doświadczeń zdobytych w okresie prawie dziesięciu lat i oczyszczeniu kilkudziesięciu bezcennych obiektów w kraju jak i za granicą [6,8].

## **2. Obszary zastosowań techniki laserowej w konserwacji**

### **2.1. Nieniszczące fizyko-chemiczne i strukturalne metody analizy dzieł sztuki**

Do analiz fizyko-chemicznych i strukturalnych dzieł sztuki i obiektów zabytkowych opracowano wiele specjalistycznych metod badawczych wykorzystujących technikę laserową. Najbardziej popularne stały się metody spektroskopowe z uwagi na ich wysoką czułość, elastyczność i metodologię postępowania – Tabela 1. Metody te oparte są na oddziaływaniu z materią (substancją zabytkową) różnego rodzaju promieniowania laserowego (różne długości fal, gęstości energii) [9-11].

Najważniejszą zaletą tych metod jest fakt, iż są one całkowicie nieniszczące lub mikro niszczące (LIBS). Analizy mogą być realizowane *in situ* oraz *on line* i nie wymagają pobierania próbek z obiektów.

### **Analiza współczynnika odbicia – rozproszenia i absorpcji światła od nawarstwienia**

Jednym z nielicznych parametrów fizycznych za pomocą którego jesteśmy w stanie opisać właściwość nawarstwienia, jest uśredniony współczynnik

diagnostics of works of art. The main objective of non-destructive physical-chemical analyses is identification of surface layers of works of art and assessment of the condition of their preservation and their structure. In turn, the main aim of the process of cleaning is as little as possible interference in the antique matter – the substrate. Application of laser techniques and optoelectronics gives the possibility of non-destructive analyses and full control of the process when removing accumulated foreign layers from the surface of the works of art [1-6]. Selective and precise operation of the light beam makes the principal advantage of non-invasive acting on the layers of accumulations more or less closely adhered to the surface of the work of art [7]. In the paper the areas of application of lasers in preservation have been presented and discussed, with special regard to the non-destructive physical-chemical and structural methods of analysis of the works of art, and also advantages and disadvantages of utilization of the impulse laser radiation for the renovation (removing top layers, dirt, atmospheric contamination, over-painted pieces, and other similar accumulations). They have been discussed on the basis of experience acquired in the period of almost ten years by having cleaned dozens priceless objects both in the country and abroad [6,8].

## **2. Areas of application of laser technique in conservation**

### **2.1. The non-destructive physical-chemical and structural methods of analysis of works of art**

For the purposes of the physical-chemical and structural analyses of works of art and antique objects there have been worked out many specialistic investigative methods using laser techniques. The spectroscopic methods became most popular due to their high sensitivity, flexibility and the methodology of proceeding – Tab. 1. These methods are based on the interaction various kinds of laser radiation (various lengths of waves, energy density) with the matter (antique substance) [9-11].

The most important advantage of these methods is the fact that they are entirely non-destructive or micro-destructive (LIBS). Analyses can be realized *in situ* and *on-line* and they do not require taking samples from the objects.

### **Analysis of the coefficient of reflection – dispersion and absorption of light from the accumulation**

One of few physical parameters to help us describe the properties of the accumulation is the averaged coefficient of reflection-dispersion of white

Tab. 1. Laser w nieniszczącej analizie i restauracji dzieł sztuki i obiektów zabytkowych  
*Laser in the non-destructive analysis and renovation of the works of art and antique objects*

ANALIZA I DIAGNOSTYKA ANALYSIS AND DIAGNOSTICS	RESTAURACJA RENOVATION
<p><b>BUDOWA OBIEKTU</b> <i>BUILDING OF THE OBJECT</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Skład chemiczny – analiza warstw wierzchnich:</b> <i>Chemical analysis of top layers:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Odbicie/Rozpraszanie <i>Reflection / Dissipation</i></li> <li>– Absorpcja/Transmisja <i>Absorption / Transmission</i></li> <li>– Laserowo indukowana fluorescencja (LIF) <i>Laser Induced Fluorescence (LIF)</i></li> <li>– Laserowo indukowana spektroskopia emisyjna (LIBS) <i>Laser Induced breakdown spectroscopy (LIBS)</i></li> <li>– Spektroskopia Ramana <i>Raman's spectroscopy</i></li> </ul> </li> <li>• <b>Struktura fizyczna (np. lokalizacja defektów)</b> <i>Physical structure (e.g. location of faults)</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Wielo-spektralne obrazowanie <i>Multi-spectral imaging</i></li> <li>– Interferometria, interferometria plamkowa <i>Interferometry, spot interferometry</i></li> <li>– Holografia, interferometria holograficzna <i>Holography, holographic interferometry</i></li> <li>– Wibrometria <i>Vibrometry</i></li> <li>– Termografia <i>Thermography</i></li> <li>– Tomografia laserowa (OCT) <i>Laser scanning (OCT)</i></li> </ul> </li> </ul> <p><b>MORFOLOGIA OBIEKTU</b> <i>MORPHOLOGY OF THE OBJECT</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Skanowanie 3D – metodą czasu przelotu (Time of Flight) <i>3D Scanning – by the method of time-of-flight</i></li> <li>– Skanowanie triangulacyjne <i>Triangulation scanning</i></li> <li>– Profilometria powierzchni <i>Profilometry of the surface</i></li> <li>– Skaterometr laserowy <i>Laser Scatterometer</i></li> <li>– Tomografia laserowa (OCT) <i>Laser scanning (OCT)</i></li> </ul>	<p><b>OCZYSZCZANIE</b> <i>CLEANING</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ablacja laserowa – usuwanie: <i>Laser ablation – removing:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– nawarstwień z kamienia <i>accumulations from stone</i></li> <li>– werniksu z malowideł <i>varnish from paintings</i></li> <li>– zabrudzeń powierzchniowych <i>superficial stains from fabric</i></li> <li>– z tkaniny, papieru i pergaminu <i>paper and parchment</i></li> <li>– tlenków z metali <i>oxides from metals</i></li> <li>– i innych warstw wierzchnich <i>other top layers</i></li> </ul> </li> <li>• Efekty towarzyszące procesowi ablacji: <i>Effects concurrent with the ablation process:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– formowanie plazmy <i>plasma molding</i></li> <li>– detonacja optyczna <i>optical detonation</i></li> <li>– naprężenia wewnętrzne <i>internal strains</i></li> <li>– chropowatość powierzchni <i>surface roughness</i></li> </ul> </li> <li>• Oddziaływanie termiczne: <i>Thermal influence:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– nagrzewanie <i>warming</i></li> <li>– topienie <i>melting</i></li> <li>– spawanie <i>welding</i></li> <li>– zgrzewanie <i>spot-welding</i></li> </ul> </li> </ul>

odbicia-rozproszenia światła białego lub laserowego od powierzchni badanego obiektu. Do tego celu zwykle używa się kolorymetru lub spektrofotometru. Stosując spektrofotometr otrzymamy zależność współczynnika odbicia dla danej długości fali. Ta analiza służy głównie do „dopasowania” długości fali promieniowania laserowego do współczynnika pochłaniania nawarstwienia, przed przystąpieniem do jego usuwania za pomocą promieniowania laserowego [8,12].

#### **Laserowo indukowana fluorescencja (LIF)**

Istnieje wiele schematów eksperymentalnych w celu przeprowadzania analizy widma fluorescencji badanej próbki lub warstw malarskich indukowanej laserem. Widmo fluorescencji wzbudzone laserem dostarcza informacji o pigmentach, warstwach ma-

light or laser beam from the surface of the studied object. Usually this is done with the use of chromometer or spectrophotometer. Applying a spectrophotometer we will obtain the dependence of the coefficient of reflection for a given wave length. This analysis serves mainly for ‘adjustment’ the length of wave of the laser radiation to the accumulation’s coefficient of absorption, before attempting to removing thereof, using the laser radiation [8,12].

#### **Laser induced fluorescence (LIF)**

There are many experimental patterns applied in order to carry out the laser induced analysis of fluorescence spectrum of the studied sample or painters’ layers. The fluorescence spectrum excited by laser beam provides information about pigments,

larskich i rodzajach werniksów. Informację uzyskaną z widma fluorescencji wykorzystuje się do identyfikacji pigmentów i ich mieszanin, aby rozróżnić liczne rodzaje użytych farb, stare i świeże werniksy. LIF jest nieniszczącą techniką stosowaną *in situ* i jest w stanie diagnozować zarówno organiczne i nieorganiczne rodzaje materiałów wykazujące fluorescencję pod wpływem oświetlenia promieniowaniem wzbudzającym w zakresie UV i VIS.

#### **Laserowo indukowana spektroskopia emisyjna (LIBS)**

Technika ta służy do identyfikacji pigmentów (atomów) zarówno w modelowych próbkach, jak i w warstwach malarskich [9-11]. Charakteryzuje się wysoką czułością i selektywnością i może być przeprowadzana *in situ*. W tej analizie minimalna ilość badanego materiału ulega zniszczeniu w procesie atomizacji (w wyniku zogniskowania impulsowej wiązki lasera dużej mocy na powierzchni próbki), stąd technika ta nazywana jest jako mikro destrukcyjna). Wpływ na powierzchnię dzieła sztuki jest praktycznie niewidzialny gołym okiem. Szczególnie obiecującym aspektem tej techniki jest możliwość prowadzenia analiz w przekroju poprzecznym – stratygrafia (w głąb np., warstw malarskich).

#### **Laserowa spektroskopia Ramana**

Ta technika wykorzystuje zjawisko Ramana dostarczając ważnych informacji dotyczącej identyfikacji pigmentów (molekuł) na manuskryptach, warstwach malarskich, szklistych wyrobach garncarskich, fajansach i innych dziełach sztuki [13]. Taka informacja analityczna prowadzi do znajdowania ważnych cech artystycznych dotyczących typów np. pigmentów użytych przez artystę w pewnym okresie, technologii wytwarzania pigmentów i wyjaśnienia wpływu środowiska naturalnego na pigmenty. Cząsteczka pobudzona promieniowaniem laserowym emituje charakterystyczne dla danej molekuly promieniowanie. Na tej podstawie następuje jej identyfikacja nawet w bardziej złożonych substancjach. Laserowa spektroskopia Ramana jest techniką nieniszczącą. Może być przeprowadzana *in situ*, charakteryzuje się bardzo dużą czułością, selektywnością i bardzo dużą rozdzielczością przestrzenną jeśli użyta jest łącznie z mikroskopem.

#### **Holografia i interferometria holograficzna**

Metoda sporządzania i wykorzystywania zapisu o amplitudzie i fazie promieniowania spójnego pochodzącego (odbitego) od badanego obiektu. Holografia to inny sposób rejestracji i odtwarzania obrazu z wykorzystaniem światła koherentnego odbitego od przedmiotu. W holografii optycznej w proce-

painters' layers and kinds of varnishes. The information acquired from the fluorescence spectrum is used for identification of pigments and their mixtures to distinguish numerous types of used paints, old and fresh varnishes. LIF is a non-destructive technique applied *in situ* and it can diagnose both organic and inorganic kinds of materials showing fluorescence under the influence of lighting with the radiation exciting in the UV and VIS range.

#### **Laser Induced emission spectroscopy (LIBS)**

This technique serves for the identification of pigments (atoms) both in model samples and in painters' layers [9-11]. It features high sensitivity and selectivity and can be carried out *in situ*. In this analysis only minimum quantity of the studied material undergoes destruction in the process of atomization (as the result of focusing impulse laser beam of large power on the surface of the sample), therefore this technique is called micro-destructive. The influence on the surface of the work of art is practically invisible with the naked eye. The possibility to carry out analyses in the transverse section – stratigraphy (in-depth e.g., painters' layers) is a particularly promising aspect of this technique.

#### **Raman's laser spectroscopy**

This technique uses the Raman's effect to provide important information relating identification of pigments (molecules) on manuscripts, painters' layers, glassy pottery articles, faience and different works of art [13]. Such analytic information leads to finding important artistic features relating to e.g. the types of pigments used by the artist in certain period, the technology of production of pigments and explanation of the influence of the natural environment on pigments. A molecule excited by the laser beam emits radiation, characteristic for the given molecule. On this basis it can be identified even in more complex substances. Raman's laser spectroscopy is a non-destructive technique. It can be carried out *in situ*, it features very high sensitivity, selectivity and very high spatial resolution if it is used together with a microscope.

#### **Holography and holographic interferometry**

The method of making and using the record of the amplitude and the phase of the coherent radiation coming (reflected) from the studied object. Holography is a different way of registration and reproduction of an image with utilization of coherent light reflected from the object. In the optical holography in the process of recording the information the beam of coherent radiation (e.g. from a laser) reflected

się zapisywania informacji wiązka promieniowania spójnego (np. z lasera) odbita od badanego obiektu interferuje z wiązką odniesienia w płaszczyźnie detektora np., płyty fotograficznej. Uzyskany hologram zawiera zakodowaną w postaci obrazu interferencyjną informację o wyglądzie holografowanego przedmiotu. W interferometrze holograficznym nierówna powierzchnia obiektu rozprasza światło w różnych kierunkach, z których każdy można wykorzystać do trójwymiarowego podglądu. Powstały hologram – obraz w pełnym polu pozwala na całkowitą jakościową i ilościową ocenę testowanego obiektu i jednoczesną detekcję defektów z bezpośrednim wskazaniem miejsca i wymiarów. Proces jest wyjątkowo wygodny przy badaniach bezcennych obiektów muzealnych wizualizując naprężenia zewnętrzne i obnażając obszary ukrytych wad obiektów. Interferometria holograficzna stała się popularną, nieinwazyjną i bezkontaktową techniką detekcji odspojień i pęknięć pod powierzchnią różnych złożonych obiektów, charakteryzując się wysoką czułością dla przemieszczeń leżących w płaszczyźnie i poza nią. Rozwój przenośnego oprzyrządowania umożliwia w ostatnim okresie stosowanie tej techniki poza laboratorium.

#### **Laserowa wibrometria dopplerowska**

Laserowa wibrometria dopplerowska jest nieniszczącą techniką badawczą wykorzystującą pomiar drgań powierzchni obiektu, aby stwierdzić istnienie ukrytych defektów, a w szczególności luk i odspojień. Standardowy laserowy wibrometr Dopplera jest bezkontaktowym przetwornikiem prędkości, który mierzy przesunięcie częstotliwości Dopplera w wiązce laserowej rozproszonej od drgającego – poruszającego się obiektu (warstwy) w układzie interferometru. Odspojona warstwa np. fresku, a pobudzona falą dźwiękową z głośnika powoduje jej drgania analizowane następnie przez urządzenie. Technika ta idealnie nadaje się do bezkontaktowych, zdalnych badań odległych i bezcennych skarbów dziedzictwa kulturalnego.

#### **Termografia**

Termowizyjne metody pomiarów są metodami biernymi, co oznacza, że urządzenia stosowane do pomiarów nie emitują promieniowania, rejestrują jedynie promieniowanie własne obiektu. Odróżnia to termowizję od fotografii w podczerwieni, w której jest wymagane oświetlenie obiektu promieniowaniem zewnętrznym (obcym). Badania termowizyjne wykorzystuje się wszędzie tam, gdzie określenie rozkładu temperatury lub emisyjności obiektu można wykorzystać do oceny lub prognozowania danego zjawiska lub też wykrycia

from the studied object interferes with the reference beam in the plane of crystal detector e.g. a photographic plate. The obtained hologram contains encoded therein, in the form of the interference image, information about the appearance of the holographed object. In the holographic interferometer uneven surface of the object disperses light in various directions out of which each can be used for three-dimensional monitoring. They created hologram – the image in the full field enables to make complete qualitative and quantitative assessment of the tested object and simultaneously to detect its faults (damages) with direct indication of the place and dimensions. The process is exceptionally convenient for the investigations of priceless museum objects as it visualizes external stresses and exposes the areas of hidden defects of the objects. Holographic interferometry has become a popular, non-invasive and non-contact technique of detection of detachments and breaks under the surface of various complex objects, being characterized by high sensitivity to dislocations lying in the plane and beyond it. Development of mobile equipment has recently made it possible to apply this technique beyond the laboratory.

#### **Doppler's laser vibrometry**

Doppler's laser vibrometry is a non-destructive investigative technique using the measurement of the vibrations of the surface of the object in order to find the existence of hidden faults, and especially caverns and detachments. A standard Doppler's laser vibrometer is a non-contact velocity converter which measures the Doppler's shift in the frequency in the laser beam dispersed by vibrating – moving object (layer) in the arrangement of the interferometer. A detached layer e.g. of a fresco, stimulated by the sound wave from a loudspeaker causes vibration thereof, then analyzed by the device. This technique is perfectly suitable for non-contact, remote investigations of distant and priceless treasures of cultural heritage.

#### **Thermography**

Thermovision methods of measurements are passive methods, which mean that devices applied for the measurements do not emit any radiation, they only record the object's own radiation. This distinguishes thermovision from photography in infra-red radiation, in which it is required to light the object with external (foreign) radiation. The thermovision investigations are used wherever one can use determination of the temperature or emissivity distribution of the object in order to assess or make predictions as to a given phenomenon or also to detect features of the

interesujących nas cech obiektu. Technika termowizyjna pozwala na bezstykowy, zdalny pomiar temperatury i jest stosowana do nieniszczących badań obiektów [8, 14-15]. W szeroko pojętej dziedzinie konserwacji technika termowizyjna wykorzystywana jest w ocenie izolacji termicznej budowli zabytkowych, w wykrywaniu wad ukrytych pod warstwą tynku czy mozaiką, rozwarstwień, przegrzanej instalacji elektrycznej, a także podczas usuwania nawarstwień obcych z dzieł sztuki metodą ablacji laserowej, kontrolując temperaturę podłoża.

### Analiza wielo-spektralna dzieł i obiektów

Systemy obrazowania wielo-spektralnego umożliwiają użytkownikom selektywny wgląd w poszczególne – indywidualne warstwy malarskie, dostarczając informacji dotyczącej rozmieszczenia rozkładu pigmentów – barwników, budowy czy stanu zachowania samego dzieła. Do tych systemów zalicza się głównie fotografię w obszarach UV, VIS i IR. Długości fal z tych obszarów niejednociele wnikają w warstwy malarskie dostarczając cennych informacji o dziele. Techniki obrazowania wykorzystujące w/w przedziały długości fal umożliwiają: odsłanianie i badanie podobrazów – szkiców, wizualizację składników i ich stanu zachowania, badania zastosowanych technik artystycznych, rozróżnianie poprzednich renowacji, analizę barw i pigmentów. Fotografowanie w podczerwieni jest to sposób otrzymywania zdjęć fotograficznych przez naświetlenie specjalnych materiałów fotograficznych niewidzialnym dla oka ludzkiego promieniowaniem podczerwonym (z obszaru widma fal elektromagnetycznych od 750 – 3000 nm). Dzisiaj zamiast klisz fotograficznych wykorzystuje się różnego rodzaju matryce IR-CCD, a obiekt podświetla się laserem.

### Kolorymetria

To zasadniczy i nieodzowny pomiar obiektów poddanych procesowi renowacji. Przy szeregowaniu kolorów, wyrażamy ich właściwości za pomocą tonu (barwy), czystości (jasności) i nasycenia (jaskrawości). **Ton, czystość i nasycenie**, to trzy cechy opisujące świat barw. Wyznaczenie podziałek tonu, czystości i nasycenia stwarza możliwość cyfrowego – obiektywnego pomiaru barwy, a poza tym określanie kolorów poprzez liczby jest bardzo wygodne. Dwie z najbardziej znanych metod to: przestrzeń barw Yxy wprowadzona w 1931 r. i oparta na modułach koloru XYZ zdefiniowanych przez CIE oraz przestrzeń barw L\*a\*b\* wprowadzona w 1976 r. **Przestrzeń barw** wspomniane wyżej stosuje się obecnie na całym świecie do identyfikacji kolorów.

object interesting for us. The thermovision technique allows to make contactless remote measurement of temperature and it is applied for non-destructive investigations of objects [8, 14-15]. For broadly understood conservation purposes the thermovision technique is used for assessment of thermal insulation of an antique building, in detecting hidden defects under the layer of plaster or mosaic, layer splitting, overheated electric installation, and also while removing foreign accumulations from the works of art by the method of laser ablation, controlling the temperature of the base.

### Multi-spectral analysis of works of art and objects

Systems of multi-spectral imaging enable the users to have selective insight in individual painter's layers, providing information related to the distribution of pigments – dyes, structure or the condition of the preservation of the work itself. These systems include mainly photography in the areas: UV, VIS and IR. The lengths of waves in these areas unevenly penetrate painters' layers, thus delivering valuable information about the work. The techniques of imaging in which the above mentioned ranges of wave length are applied make possible: uncovering and investigation of underlying layers in a painting – sketches, visualization of components and their condition of preservation, investigation of applied artistic techniques, distinguishing previous renovations, the analysis of colors and pigments.

The photography in infra-red radiation is the way of receiving photographic images by exposing special photographic materials to invisible for the human eye infra-red radiation (from the area of electromagnetic wave spectrum from 750 – 3000 nm). Today instead of photographic plates one uses various kind of IR-CCD matrices and the object is highlighted with laser.

### Colorimetry

This is a principal and indispensable measurement of objects undergoing the process of renovation. When ranking colors, we express their properties using the tone (color), cleanness (clarity) and saturation (brightness). **The tone, cleanness and saturation** make three features describing the world of colors. Determination of the scales of tone, cleanness and saturation creates the possibility of digital – objective measurement of color, and defining the colors by numbers, which is very convenient. Two of the best known methods are: space of colors Yxy introduced in 1931 and based on the modules of color XYZ as defined by CIE and the space of colors L\*a\*b\* introduced in 1976. The above mentioned **spaces of colors** are at present used all over the world

Przykładem niech będzie analiza barwy oczyszczonego piaskowca i wapienia przed, w trakcie i po oczyszczeniu impulsowym promieniowaniem laserowym (pilastr w latarni w Kaplicy Zygmuntowskiej i figurka aniołka na ścianie tronowej w Kaplicy Batorego na Wawelu [9,12]. Dodatkowym atrybutem jest zapis dokumentacyjny, umożliwiający za np. kilkadziesiąt lat powrót do tej samej barwy, jeśli konieczne będzie oczyszczenie tego samego obiektu.

to identify colors. Let's take as an example the analysis of color of cleaned sandstone and limestone before, in the course of and after cleaning with the impulse laser radiation (the pilaster in the lantern in the Zygmunt's Chapel and the little angel figurine on the throne wall in the Batory's Chapel in Wavel [9, 12]. The documentary record is an additional attribute, which enables e.g. in several dozen years' time come back to the same color, if the cleaning of the same object is necessary.



Rys. 1. Testy oczyszczania laserem pilastra w latarni Kaplicy Zygmuntowskiej oraz aniołka na ścianie tronowej w Kaplicy Batorego na Wawelu. Fot. J. Marczak

Fig. 1. Tests of laser cleaning of the pilaster in the lantern of the Zygmunt's Chapel and the Little Angel on the throne wall in the Batory's Chapel in Wavel. Photo by J. Marczak

### Tomografia laserowa

Jest to najnowocześniejsza technika zastosowana w ostatnich dwóch latach w konserwacji. Tomografia laserowa umożliwia obrazowanie obiektów składających się z szeregu warstw o różnych gęstościach optycznych. Podobnie jak tomografia rentgenowska umożliwia ona otrzymywanie obrazu przekroju obiektu, jeśli obserwujemy go „od przodu”. Umożliwia odróżnienie światła pochodzącego (odbitego) od kolejnych różnych warstw i ocenienie kolejności odbicia oraz grubości warstwy od której światło uległo odbiciu. Koherentna tomografia laserowa, w skrócie OCT, jest nieinwazyjną, trójwymiarową techniką umożliwiającą otrzymanie obrazów po-

### Laser scanning

This is the most modern technique applied in the last two years in conservation. Laser scanning makes possible imaging objects consisting of a number of layers of various optical thickness. Similarly to X-ray scanning it makes possible to obtain the image of the section of the object if we observe it 'from the front'. It enables to distinguish the light coming (reflected) from following various layers and to estimate the order of reflection and the thickness of the layer from which the light was reflected. Coherent laser scanning, in the short called OCT, is a non-invasive three-dimensional technique enabling to obtain the images of the individual layers of the

szczególnych warstw obiektu (pożółkły werniks czy tkanki biologiczne) z wysoką rozdzielczością, a także umożliwiającą kontrolę pomiaru grubości usuwanego werniksu za pomocą laserów: (IV-ta harmoniczna lasera Nd:YAG –  $\lambda = 0,266 \mu\text{m}$  oraz lasera Er:YAG –  $\lambda = 2,936 \mu\text{m}$  [16-18].

## **2.2. Renowacja dzieł sztuki i obiektów zabytkowych w architekturze**

W Tabeli 1 przedstawiono również możliwości techniki laserowej stosowanej w renowacji (oczyszczaniu) dzieł sztuki z nawarstwień obcych zalegających na powierzchniach, a także wymieniono te efekty, które towarzyszą procesowi usuwania warstw wierzchnich metodą ablacji laserowej [1-8].

### **Analiza teoretyczna i symulacja zjawiska ablacyjnego usuwania warstw wierzchnich**

Oddziaływanie promieniowania laserowego z materią jest jedną z najtrudniejszych dziedzin współczesnej fizyki, zarówno od strony eksperymentalnej jak i teoretycznej. Wynika to głównie z bogactwa zjawisk fizycznych, jakie towarzyszą temu oddziaływaniu. Jak łatwo można zauważyć jest to analiza nieniszcząca – teoretyczna. Na podstawie analizy numerycznej przeprowadzono kompleksowy wpływ parametrów impulsowej wiązki lasera, a w tym: gęstości energii (mocy) promieniowania laserowego czasu trwania impulsu laserowego oraz liczby impulsów na szybkość i wydajność procesu ablacji nawarstwień obcych. Ponadto dokonano analizy wpływu parametrów ośrodka – nawarstwienia i jego modyfikacji, a w tym: współczynnika absorpcji nawarstwień; porowatości nawarstwień i % udziału w nich gazu i wody na szybkość procesu ablacji nawarstwień obcych [8, 19-20].

### **Usuwanie warstw wierzchnich metodą ablacji laserowej**

Po ponad trzydziestu latach od pierwszej próby [1], laserowe oczyszczanie powierzchni przestało być laboratoryjną ciekawostką i stało się dojrzałym procesem technologicznym, szeroko stosowanym w przemyśle elektronicznym, lotniczym, jądrowym, a także w konserwacji dzieł sztuki. Zastosowanie techniki laserowej [8] daje w praktyce możliwości pełnej kontroli procesu usuwania nawarstwień. Bezdotykowe, selektywne i precyzyjne działania wiązki światła stanowią podstawowe zalety bezpiecznego usuwania nawarstwienia mniej lub ściślej przylegającego do powierzchni dzieła. W procesie „obróbki” różnych materiałów i usuwania z nich warstw wierzchnich wykorzystuje się impulsową laserową ablację. Pojęcie „ablacja la-

object (the varnish that has grown yellow or biological tissues) with high resolution, and also enabling control of the measurement of the thickness of the layer of varnish removed with the use of lasers: (IV. harmonic of the laser Nd: YAG –  $\lambda = 0.266 \mu\text{m}$ , and the laser Er:YAG-  $\lambda = 2.936 \mu\text{m}$  [16-18].

## **2.2. Renovation of the works of art and antique objects in architecture**

In Table 1 there have been also listed the possibilities of laser techniques applied in the renovation (cleaning) of the works of art from foreign accumulations covering the surfaces, and also the list was made of the effects which accompany the process of removing top layers by the method of laser ablation [1-8].

### **Theoretical analysis and simulation of the phenomenon of ablative removing top layers**

Interaction of the laser radiation with the matter is one of the most difficult fields of modern physics, both from the experimental side and from the theoretical one. This is mainly the result of variety of physical phenomena which accompany this interaction. As one can easily notice this is a non-destructive analysis – theoretical. On the basis of numeric analysis there was carried out complex analysis of influence of parameters of the impulse laser beam, and in this: energy density (power) of the laser radiation, the time of duration of a laser impulse and the number of impulses, on the rate and efficiency of the process of ablation of foreign accumulations. Moreover, the analysis of influence of the parameters of the medium was executed – i.e. the accumulation itself and the modification thereof, and in this: the absorption coefficient of the accumulations; the porosity of accumulations and % content of gas and water therein, on the rate of the process of ablation of foreign accumulations [8, 19-20].

### **Removing the top layers by the laser ablation method**

After over thirty years from the first test [1], the laser cleaning of the surface has no longer remained a laboratory curiosity and it has become a well-developed technological process, widely applied in the industries: electronic, aviation, nuclear, and also in the conservation of the works of art. Application of the laser technique [8] gives in practice the possibility of full control over the process of removing accumulations. Non-contact selective and precise operating of the beam of light make up basic advantages of safe removing the accumulation more or less closely adhered to the surface of the work of art. In the process of ‘processing’ various materials and removing from them the top layers, the impulse

serowa” oznacza usuwanie warstw wierzchnich materiałów o kontrolowanej grubości, w wyniku absorpcji impulsowego promieniowania laserowego, szybkiego nagrzania i odparowania warstwy wierzchniej.

#### **Analiza amplitudy fali akustycznej**

Absorpcja promieniowania laserowego w nawarstwieniu grzanie a następnie ablacja materiału z powierzchni prowadzi do gwałtownej ekspansji i kompresji molekuł powietrza nad powierzchnią obiektu. Cząsteczki materii usuwane są na tyle gwałtownie, że mogą generować falę uderzeniową, a w konsekwencji falę akustyczną w powietrzu nad napromieniowywanym obszarem, która słyszalna jest jak dźwięk podobny do „trzaśnięcia z bicia” [21]. W miarę padania kolejnych impulsów w to samo miejsce, nawarstwienie jest stopniowo usuwane i następuje zmniejszanie się współczynnika absorpcji, a tym samym wielkości amplitudy impulsu akustycznego. Umożliwia to w niektórych przypadkach zastosowanie automatyzacji procesu oczyszczania.

#### **Analiza chropowatości powierzchni i progów uszkodzenia**

Kolejna nieniszcząca analiza dotyczy badań progów „uszkodzenia” powierzchni kamiennych [8]. Pomiar chropowatości powierzchni wykonuje się za pomocą skaterometru, najczęściej laserowego charakteryzującym się zakresem pomiarowym już od kilku angstromów.

### **3. Zalety i wady oczyszczania obiektów laserem**

Technika usuwania warstw wierzchnich – zanieczyszczających lub zniekształcających powierzchnię obiektu (np. pożółkłych werniksów lub czarnych skorup) za pomocą promieniowania laserowego oferuje szereg niespotykanych do tej pory zalet [7] w porównaniu do technik tradycyjnych (mechanicznych i chemicznych) i jest:

**Bezkontaktowa** – narzędzie nie ma bezpośredniego kontaktu z obiektem – energia dostarczana jest w postaci promieniowania laserowego – światła;

**Selektywna** – może być dopasowana (dostrojona) do różnych, specyficznych materiałów, o różnych właściwościach fizyko-chemicznych;

**Lokalna** – oczyszczane są jedynie te miejsca (o powierzchni od kilkudziesięciu mikrometrów kwadratowych), na które skierowana jest wiązka laserowa;

**Samo-ograniczająca się** – wykorzystując różnicę współczynników pochłaniania nawarstwienia i podłoża, dla danej gęstości mocy (energii) promie-

laser ablation is used. The term ‘laser ablation’ means removing the top layers of materials, of controlled thickness, in the result of absorption of the impulse laser radiation, quick heating up and evaporation of the top layer.

#### **Analysis of the amplitude of an acoustic wave**

Absorption of the laser radiation in the accumulation, heating up and ablation of the material from the surface leads to violent expansion and compression of the molecules of air over the surface of the object. The particles of the matter are removed violently enough to be able to generate a shock wave, and in the consequence the acoustic wave in the air over the radiated area which is audible as a sound similar to the ‘bang from the whip’ [21]. As the following impulses strike the same point, the accumulation is gradually removed and getting smaller and there takes place diminishing of the value of the absorption coefficient, and at the same of the magnitude of the acoustic impulse amplitude. This in some cases makes possible automation of the process of cleaning.

#### **The analysis of the surface roughness and the threshold of damage**

The next non-destructive analysis relates to the investigations of the ‘damage’ threshold of stone surfaces [8]. The measurements of the roughness of the surface are done with the help of scatterometer, most often a laser one which features measuring range already from several angstroms.

### **3. Advantages and disadvantages of cleaning the objects with laser**

The technique of removing top layers – soiling or disfiguring the surface of the object (e.g. yellow varnishes or black scales), by using laser radiation offers a number of until now unparalleled advantages [7] in comparison with the traditional techniques (mechanical and chemical) and it is:

**Non-contact** – the tool does not have the direct contact with the object – the energy is delivered in the form of laser radiation – light;

**Selectiveness** – it can be well-fitting (tuned up) to various specific materials, having various physical-chemical properties;

**Local** – only these places are cleaned (of the surface from several dozens square micrometers) on which the laser beam is directed;

**Self-restraining** – using the difference of the coefficients of absorption of the accumulation and the base for the given power (energy) density of the



niowania laserowego, proces oczyszczania zostaje automatycznie (natychmiast) przerwany;

**O natychmiastowym sprzężeniu zwrotnym** – automatyczna kontrola grubości usuwanej warstwy;

**Kontrolowane usuwanie nawarstwienia z zachowaniem najdelikatniejszego reliefu** – kontrola grubości usuwanego nawarstwienia oznacza zachowanie najdelikatniejszych i finezyjnych szczegółów (np. ślady pędzla czy dłuta);

**Komplementarna, uniwersalna** – w wielu przypadkach dostępność różnych długości fal generacji przez lasery zwiększa elastyczność metody laserowej, w zastosowaniu dla wielu różnych obiektów.

Bardziej szczegółowy opis zalet i wad laserowej techniki oczyszczania dzieł sztuki i budowli zabytkowych można znaleźć w opracowaniu [7].

#### 4. Wykorzystanie wyników i podsumowanie

Zachowanie dziedzictwa kulturowego dla przyszłych pokoleń jest jednym z najważniejszych zadań społeczeństw. Konserwacja bezcennych obiektów jest procesem dostarczającym konserwatorom wielu trudnych zagadnień komplementarnych, a ich analiza i oczyszczanie jest jednym z krytycznych etapów tego procesu. Zasadniczą przyczyną zainteresowania laserami w konserwacji, szczególnie przy usuwaniu nawarstwień wtórnych jest mnogość zalet tej metody w porównaniu z metodami konwencjonalnymi. Ogromna różnorodność rodzaju nawarstwień, jak również szeroki wachlarz wyboru parametrów wiązki laserowej (długości fali, gęstości energii), dostarcza jedynej w swoim rodzaju najwszechstronnejszej, jak do tej pory technologii usuwania nawarstwień obcych z dzieł sztuki i z obiektów architektonicznych. Obserwując tendencje występujące w podstawowych kierunkach badań i zainteresowań urządzeniami laserowymi do renowacji i diagnostyki dzieł sztuki, dominujące w ostatnich doniesieniach są kierunki związane z dążeniem nie tylko do minimalnej gęstości energii oświetlanej powierzchni, ale i optymalnej ilości impulsów laserowych [22]. Mimo początkowych problemów w latach 90-tych, nastąpił metodyczny postęp w technice laserowej stosowanej w konserwacji w większości krajów europejskich. Obecnie zaobserwować można generalną akceptację metody w większości instytucji konserwatorskich. Jest łatwo przewidzieć, że dalszy wkład tej techniki wynikający z ciągłego rozwoju laserów i detektorów nastąpi poprzez mikro- i nanotechnologie.

laser radiation the process of cleaning becomes automatically disrupted (immediately);

**Providing immediate feedback** – automatic control of the thickness of the removed layer;

**Controlled removing of the accumulation while maintaining the most delicate relief** – the control of thickness of the removed accumulation means preserving the most delicate and fine details (e.g. the traces of brush or chisel);

**Complementary, universal** – in many cases accessibility of various wave lengths generated by lasers increases elasticity of the laser method, in application to many various objects.

One can find more detailed description of advantages and disadvantages of the laser technique of cleaning the works of art and antique buildings in the study [7].

#### 4. Utilization of results and recapitulation

Preservation of the cultural heritage for the future generations is one of the most important tasks for society. The conservation of priceless objects, a process which makes many conservators face difficult complementary questions, and the analysis and cleaning of the objects makes one of the critical stages of this process. The principal cause of the interest in application of lasers in conservation, particularly in removing secondary accumulations, is the multitude of advantages of this method in comparison with conventional methods. Wide variety of all kinds of accumulations, as well as wide spectrum of the choice of parameters of laser beam (length of wave, energy density), provide a unique, so far the most versatile technology of removing foreign accumulations from the works of art and from architectural objects. When observing the tendencies occurring in the basic directions of investigations and the interests in laser devices for renovation and diagnostics of the works of art, it becomes visible that in the recent reports there are predominant those directions which are connected not only with the endeavor to minimize energy density of the lighted surface, but also the optimum number of laser impulses [22]. Despite initial problems in the 90-ties, a methodical progress has taken place in the laser technique applied in conservation in the majority of European countries. At present one can observe general acceptance of the method by the majority of conservatory institutions. It is easy to foresee that further input in this technique resulting from continuous development of lasers and detectors will take place due to micro- and nanotechnologies.

## Literatura • References

- [1] J. F. Asmus, C. G. Murphy, W. H. Munk, *Studies on the Interaction of Laser Radiation with Art. Artifacts*, „Proceedings of SPIE”, vol. 41, s. 19-27, 1973.
- [2] J. F. Asmus, *Lasers clean delicate art works*, „Laser Focus”, vol. 12, s. 56-57, 1976.
- [3] M. Cooper, *Laser in conservation. An Introduction*, Butterworth 1999 – Heinemann;
- [4] J. Marczak, *Odnawianie Dzieł Sztuki za Pomocą Promieniowania Laserowego*, Przegląd Mechaniczny, Nr 15-16, str. 37-40, 1997.
- [5] A. Koss, J. Marczak, *Czyszczenie laserem wybranych powierzchni kamiennych Grobu Nieznanego Żołnierza w Warszawie*, Ochrona Zabytków, vol. 1 (204), LII, str. 39-44, 1999.
- [6] A. Koss, J. Marczak, *Application of lasers in conservation of monuments and works of art*, ISBN 83-922954-0-4, 2005.
- [7] A. Koss, J. Marczak, *Zalety i wady oczyszczania promieniowaniem laserowym dzieł sztuki i obiektów zabytkowych w architekturze – praktyka konserwatorska*, *Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych – Praca zbiorowa*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, ISBN 83-7125-151-3, str. 393-404, 2006
- [8] J. Marczak, *Analiza i Usuwanie Nawarstwień Obcych z Różnych Materiałów Metodą Ablacji Laserowej*, ISBN: 83-88442-94-5, 2004.
- [9] W. Skrzeczanowski, A. Sarzyński, A. Rycyk, A. Koss, J. Marczak, M. Strzelec, R. Ostrowski, *Preliminary LIBS and colorimetry experiments during laser renovation of king Sigismund's Chapel at Wawel Castle*, Romanian Journal of Optoelectronics, vol.13, Issue 2, pp. 18-28, April-June 2005.
- [10] A. Koss, J. Łukaszewicz, J. Marczak, I. Płuska, I. Szmelter, W. Zalewski, P. Białko, *Współczesne Technologie Konserwatorskie z zachowaniem tradycji w ocenie dzieł sztuki*, Wiadomości Konserwatorskie, ISBN83-7125-137-8, str 78-89, 2005.
- [11] A. Sarzyński, W. Skrzeczanowski, J. Marczak, *LIBS Experiments on Artworks at the Institute of Optoelectronics*, Romanian Journal of Optoelectronics, vol. 13, (issue 3), pp.45-55, 2005.
- [12] A. Koss, J. Marczak, *Kaplica Batorego na Wawelu – laserowe oczyszczanie epitafium i stali – pomiary barwy*, *Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych – Praca zbiorowa*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, ISBN 83-7125-151-3, str. 405-412, 2006.
- [13] J. Marczak, A. Sarzyński, W. Skrzeczanowski, *Optyczne metody diagnostyki dzieł sztuki, zabytków i obiektów muzealnych stosowane w IOE WAT*, Seminarium i warsztaty „Techniki analityczne w konserwacji zabytków”, ISBN 83-88237-26-8, Gdańsk, 8-9 czerwca 2006.
- [14] J. Marczak, A. Koss, P. Pręgowski, *Thermal Effects on Artwork Surface Cleaned with Laser Ablation Method*, Proceedings of SPIE, vol. 5146, pp. 226-235, 2003.
- [15] J. Marczak, A. Koss, P. Pręgowski, *Study of Thermal Effects on Artwork Surfaces Cleaned with Laser Ablation Method*, *Thermosense XXV*, Proceedings of SPIE, vol. 5073, pp. 253-262, 2003.
- [16] P. H. Tomlins, and R. K. Wang, *Theory, developments and applications of optical coherence tomography*, Journal of Physic. D: Applied Physics, vol. 38, pp. 2519-2535, 2005.
- [17] M. Góra, P. Targowski, A. Rycyk, J. Marczak, *Varnish ablation control by Optical Coherence Tomography*, Laser Chemistry, 2006, DOI: 10. 1155/2006/10647, [http://www.hindawi.com/journals/lc/7](http://www.hindawi.com/journals/lc/7/pages) pages, 2006.
- [18] M. Góra, A. Rycyk, J. Marczak, P. Targowski, A. Kowalczyk, *From medical to art diagnostics OCT: a novel tool for varnish ablation control*, Proc. SPIE 6429-292V-1, 2007.
- [19] J. Marczak, *Surface Cleaning of Art Work by UV, VIS and IR Pulse Laser Radiation*, Proceedings SPIE, vol. 4402, Laser Techniques and Systems in Art Conservations, pp.202-209, 2001.
- [20] J. Marczak, *Wykorzystanie promieniowania laserowego w renowacji dzieł sztuki i obiektów zabytkowych w architekturze*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, „Lasery i nowe techniki w konserwacji obiektów zabytkowych '2002'”, vol. 524/1483/2002, str. 23-46;
- [21] M. Strlic, V.S. Selih, J. Kolar, D. Kocar, B. Pihlar, R. Ostrowski, J. Marczak, M. Strzelec, M. Marinček, T. Vuorinen, L.S. Johansson, *Optimisation and on-line acoustic monitoring of laser cleaning of soiled paper*, Appl. Phys. A: Materials Science & Processing, Vol. A81, pp. 943-951, 2005.
- [22] J. Marczak, K. Jach, A. Sarzyński, *Zwiększenie efektywności usuwania nawarstwień obcych z dzieł sztuki za pomocą serii zawężonych impulsów laserowych*, Przegląd Mechaniczny, Nr 3, str. 9-16, 2004.

## Streszczenie

W artykule przedstawiono i omówiono współczesne, nieniszczące fizyko-chemiczne i strukturalne metody analizy dzieł sztuki i obiektów zabytkowych w architekturze, wykorzystujące technikę laserową i optoelektroniczną. Omówiono również zalety i wady współczesnej technologii renowacji – czyszczenia obiektów za pomocą impulsowego promieniowania laserowego.

## Abstract

The paper presents and discusses contemporary non-destructive physical-chemical and structural methods of the analysis of works of art and antique objects in architecture, with the use of laser and optoelectronic techniques. Advantages and disadvantages of the present technology of renovation – cleaning of objects with the help of impulse laser radiation have also been discussed.

Henryk Szela<sup>g</sup>\*  
Aleksandra Skorek\*

## Przeszłość i przyszłość cementu romańskiego

### The past and the future of Roman cement

*Romancementy są to wyroby z gliniastych margłów wapiennych, – otrzymane przez wypalenie w temperaturze poniżej temperatury zeszklenia, – które przez zwilżenie nie gaszą się, – zatem dopiero przez mechaniczne rozdrobnienie muszą być na mączkę zamienione* – taka definicja cementu romańskiego została zamieszczona w „Czasopiśmie Towarzystwa Technicznego Krakowskiego”, które w 1890 roku opublikowało kilka artykułów na jego temat [1]. Był to czas wielkiej popularności tego materiału, który dzięki stosunkowo łatwej i szybkiej produkcji, wysokiej odporności na działanie czynników atmosferycznych oraz pięknej, ciepłej barwie idealnie nadawał się do wykorzystania przy kształtowaniu elewacji budowli za pomocą gzymsów, fryzów, boniowań, wolut, obramowań okiennych i innych elementów architektonicznych, a także różnorodnych rzeźb i płaskorzeźb w formie popiersi, medalionów, kartuszy herbowych, dekoracji floralnych czy maskaronów (rys. 1, 2). Zapotrzebowanie na tego typu materiał związane było z faktem, iż II połowa XIX wieku i początek wieku XX to okres wzmożonego ruchu w urbanistyce i budownictwie, który objął właściwie całą Europę. Liczne ośrodki miejskie dopiero wtedy utraciły swój średniowieczny charakter, przekształcając się w dostosowane do wymogów epoki, nowoczesne organizmy urbanistyczne.

Dlatego też powstałe w tym czasie obiekty stanowią

*Roman cements are products obtained from argillaceous calcareous marlstones by burning below the vitrification temperature. They do not slake in contact with water and must therefore be ground to a floury fineness* – this definition of Roman cement was printed in “Cracow Technical Society Magazine”, where in 1890 several articles on this subject were published [1]. It was the time of a huge popularity of the material. Thanks to its relatively easy and quick production, high resistance to weather conditions and nice colour it was ideal to form building’s elevations with cornices, friezes, rustication, portals and other architectural elements as well as different sculptures and reliefs like busts, medallions, cartouches, mascarons and floral decorations (fig. 1, 2). A requirement for that type of material was related with the fact that second half of XIX<sup>th</sup> century and the beginning of XX<sup>th</sup> century was the time of intensive development in town planning and building industry, which took place in almost all European countries. A lot of urban centres just in that time lost their medieval character, turning themselves into modern urban organisms, adapted to the requirements of the era. That’s why the buildings, which were built in that period, determine unique character of many European cities.



Rys. 1. Dekoracja architektoniczna jednej z wiedeńskich kamienic, wykonana z cementu romańskiego  
Fig. 1. Architectural decoration made from Roman cement on one of the apartment houses in Vienna

o niepowtarzalnym charakterze wielu europejskich miast.

Jeszcze do niedawna nie istniała możliwość właściwej renowacji tych budowli. Produkcji cementu romańskiego zaprzestano po I wojnie światowej, zastępując go tańszym cementem portlandzkim. Do konserwacji obiektów z przełomu XIX i XX wieku używano (i używa się nadal) materiałów niekompatybilnych z substancją historyczną. Wcześniejsze metody restauracji obejmowały zastępowanie oryginalnych, lecz zniszczonych elementów plastikiem, styropianem bądź cementem portlandzkim (to szczególnie w przypadkach, gdy renowacja odbywała się bez nadzoru konserwatorskiego), a także dające co prawda zadowalający efekt estetyczny, lecz nie pozostające w zgodzie z oryginalnym materiałem, przemalowanie fasady nowoczesnymi farbami żywiczno-mineralnymi (przykładem gmach Teatru im. Juliusza Słowackiego

w Krakowie). W roku 2006 w Zakładzie Doświadczalnym krakowskiego Oddziału Instytutu Szkl, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych rozpoczęły się prace dotyczące odtworzenia technologii produkcji cementu romańskiego, dla których podstawę stanowiły wyniki uzyskane podczas międzynarodowego projektu badawczego *ROCEM – cement romański do właściwej konserwacji zabytków architektury* (2003-2006). W ciągu następnych dwóch lat, w ramach projektu celowego pt. *Opracowanie technologii wytwarzania cementu romańskiego w piecu obrotowym i uruchomienie produkcji tego spoiwa dla potrzeb budownictwa i architektury* Oddział Mineralnych Materiałów Budowlanych (OMMB) w Krakowie opracował wymienioną powyżej technologię.

## 1. Historia cementu romańskiego

Nie wiadomo dokładnie, kiedy w budownictwie zastosowano po raz pierwszy materiały wiążące. Zapewne miało to miejsce wkrótce po tym, jak człowiek zaczął świadomie używać ognia. W starożytności wykorzystywano różne rodzaje tych materiałów. Były wśród nich słynne rzymskie spoiwa wapienno-pucolanowe, których użyto m.in. do budowy Kolosseum i Panteonu. Po okresie zastoju



Rys. 2. Fragment dekoracji fasady dawnej Akademii Handlowej w Krakowie, odrestaurowanej za pomocą cementu romańskiego  
Fig. 2. Part of the decoration of former Trade Academy in Cracow facade, renovated with Roman cement

Not long ago there was no possibility to renovate them properly. Production of Roman cement, which was replaced by cheaper Portland cement, was finished after the First World War. For conservation of the XIX<sup>th</sup> century buildings there were used (and are used still) materials incompatible with historical substance. Earlier methods of restoration included replacement of original, but damaged elements from Roman cement with plastic, styrofoam or Portland cement (especially in cases when the renovation was made without conservator's inspection) and also repainting of the facade with resinous-mineral paint, which gives a good esthetic look, but is not compatible with the original material (Juliusz Słowacki Theatre in Cracow is a very good example of that). In 2006 in Experimental Department of Equipment and Technology of the

Institute of Mineral Building Materials in Cracow (which is the branch of the Institute of Glass, Ceramics, Refractory and Construction Materials in Warsaw) started works concerning the reconstruction of Roman cement production technology. Results gained from international European Union project *ROCEM – Roman Cement to restore built heritage effectively* (2003-2006) were a base for that research. In next two years Mineral Building Materials Branch in Cracow (MBMB) worked out the technology of Roman cement production in rotary kiln and started this production for conservation market.

## 1. The history of Roman cement

We don't know, when exactly binding materials were used for the first time in architecture. Undoubtedly it happened short after people started to use fire willfully. In ancient times different types of these materials were applied. Between them there were famous Roman lime-pozzolanic binders, which were used for the construction of Colosseum and Pantheon. After the stagnation in the

w rozwoju produkcji materiałów wiążących, który przypadł na czasy średniowiecza, pewien postęp przyniosła era nowożytna. Szczególnie istotny dla historii cementu był wiek XVIII. W 1756 roku John Smeaton, nazywany w Anglii *ojcem inżynierii cywilnej*, dokonał niezwykle istotnego odkrycia. Otrzymał zlecenie przebudowania latarni morskiej Eddystone na wybrzeżu Kornwalii, poszukiwał jak najtrwalszego i jak najwytrzymalszego materiału [2]. Wyniki jego badań dowiodły, że najlepsze spoiwo hydrauliczne otrzymuje się z miękkich wapieni, zawierających pewne ilości materiałów ilastych. Dokładnie 40 lat później Joseph Parker opatentował metodę uzyskiwania cementu poprzez zastosowanie wapienia marglistego. Cement ten, określany początkowo jako cement Parkera, kilka lat później nazwano romańskim, ze względu na kolor, podobny do tego, jaki miał cement używany w starożytności przez Rzymian. Tak Parker pisał o swoim wynalazku w specyfikacji z 1796 roku: *Główna zasada i istota Wynalazku zawiera się w zredukowaniu do postaci proszku pewnych kamieni lub produktów ilastych, nazywanych grudkami gliny i wymieszaniu tego proszku z wodą, tak, aby uzyskać zaprawę lub cement silniejszy niż jakakolwiek zaprawa i jakikolwiek cement obecnie przygotowywany sztucznymi metodami* [3]. Kolejny etap rozwoju technologii nastąpił na początku XIX wieku dzięki francuskiemu chemikowi Louis-Josephowi Vicatowi.

Dowiódł on, iż w przypadku braku substancji ilastej w wapieniu, takiej samej jakości wapno hydrauliczne można uzyskać poprzez sztuczne zmieszanie wapienia z gliną. Dzięki tym odkryciom spełniło się marzenie architektów i budowniczych, którzy uzyskali wytrzymały, szybkowiązący i niezbyt drogi materiał

o pięknej barwie, idealnie nadający się do odlewania elementów architektonicznych, rzeźb i płaskorzeźb.

Popularność cementu romańskiego związana była również z faktem, iż wiek XIX to okres powrotu do stylów panujących w sztuce w poprzednich wiekach – gotyku, renesansu, baroku, rokoka czy klasycyzmu. Powstające w tym czasie budowle *przywodziłano* w tzw. kostiumy historyczne, często styl dopasowując do przeznaczenia obiektu (np. gotyk lub romanizm dla budowli sakralnych,

development of binding materials production, which took place in medieval era, some progress was made in modern epoch. Fundamental for the history of Roman cement was the XVIII<sup>th</sup> century. In 1756 John Smeaton, in England regarded as the *father of civil engineering* made an essential discovery. Being at that time engaged in the reconstruction of Eddystone lighthouse on Cornwall coast, he was looking for the most durable material [2]. The results of his research proved that the best hydraulic binder is received from soft limestones, containing some amount of argillaceous materials. Exactly 40 years later James Parker patented a method of receiving cement by using marl-limestone. That cement, at first named Parker's Cement, afterwards was called Roman cement because of the colour – similar to that produced by ancient Romans. Parker described his invention in specification from 1796: *The principle and nature of the said Invention consists in reducing to powder certain stones or argillaceous productions, called noddles of clay, and using that powder with water, so as to form a mortar or cement stronger and harder than any mortar or cement now prepared by artificial means* [3]. The next step in development of the technology was done at the beginning of the XIX<sup>th</sup> century thanks to French chemist Louis-Joseph Vicat.

He proved, that in case of lack of argillaceous substance in a limestone, the same quality of hydraulic lime can be achieved by mixing argillaceous rock with a limestone. Thanks to these inventions dreams of architects and craftsmen could be fulfilled. They received strong, quick-setting and not so expensive material

with nice colour, ideal for casting of architectural elements, sculptures and reliefs.

The popularity of Roman cement was connected also with the fact, that the XIX<sup>th</sup> century was the time of coming back to architectural styles characteristic for other epochs – Gothic, Renaissance, Baroque, Rococo or Classicism. Buildings constructed in that time were *dressed* in so called historical costumes (usually a style was matched to building's purpose, for example gothic style for sacral



Rys. 3. Dekoracyjne obramienie okienne wiedeńskiej kamienicy, wykonane z cementu romańskiego

Fig. 3. Decorative window framing made from Roman cement in Vienna's apartment house

barok dla teatrów i oper). Szczególną rolę odgrywała więc dekoracja – podczas gdy szkielet budynku pozostawał taki sam, za pomocą detali architektonicznych nadawano budowli odpowiedni charakter. Stąd tak duże zapotrzebowanie na przeznaczony do odlewów (i nie tylko) materiał.

Wynaleziony w Anglii cement romański bardzo szybko zyskał popularność na kontynencie, szczególnie w krajach monarchii austro-węgierskiej, południowych Niemczech i Szwajcarii. Na ziemiach polskich początki produkcji tego cementu sięgają połowy XIX wieku, kiedy to w 1853 roku Jan Ciechanowski, radca stanu i dyrektor Wydziału Dochodów Niestających w Komisji Przychodów i Skarbu Królestwa Polskiego, zbudował i uruchomił wytwórnię tego cementu w osadzie Kozioł pod Sławkowem koło Olkusza [4]. Jednym z pierwszych obiektów, przy którego budowie zastosowano zaprawę z cementu romańskiego, był gmach Towarzystwa Kredytowego Ziemskiego w Warszawie, wzniesiony w latach 1856-1858 według projektu Henryka Marconiego. Warto jednak pamiętać, że cement romański używany był nie tylko do dekoracji elewacji współczesnych budynków. Niejednokrotnie wykorzystywano go także do napraw obiektów powstałych znacznie wcześniej. Przykładem może być XII-wieczny kościół klasztorny św. św. Piotra i Pawła w obrębie twierdzy Petersberg w Erfurcie, gdzie w połowie XIX wieku wprowadzono liczne uzupełnienia z cementu romańskiego. W zaskakujący sposób zastosowano cement w zbudowanym dla króla bawarskiego Ludwika II pałacu Linderhof. Wykonano z niego wszystkie zaprawy i elementy konstrukcyjne w sztucznie utworzonej, stalaktytovej *Grotcie Wenus* (po znajdującym się w grotcie jeziorze król zwykł pływać łodzią w kształcie muszli).

Na koniec warto dodać, że cement romański był również wykorzystywany do tworzenia figur nagrobnych na powstających pod koniec XVIII i na początku XIX wieku cmentarzach miejskich, takich jak krakowski Cmentarz Rakowicki czy lwowski Cmentarz Łyczakowski. Jego trwałość i ładny, ciepły kolor, stanowiły także i w tym przypadku znaczące atuty.

## 2. Technologia produkcji cementu romańskiego

Cement romański uzyskiwany był poprzez wypalanie brył margla w piecach szybowych, zarówno tych z zewnętrznymi paleniskami, jak i przesypkowych (warstwa margla, warstwa paliwa, warstwa margla itd.), w temperaturze 800-1200°C (tj. poniżej temperatury zeszklenia) [5]. Piecze opalane

buildings, baroque style for theatres and operas). That's why the decoration played so important role – while the building frame remained the same, architectural details gave it a proper character. Therefore there existed so big demand for material, which could be used for cast elements (and of course not only for them).

Invented in England, Roman cement very quickly gained popularity on the continent, especially in Austro-Hungarian Empire, southern Germany and Switzerland. The beginnings of the Roman cement production on Polish lands go back to the half of the XIX<sup>th</sup> century, when in 1853 Jan Ciechanowski, the State Counsellor and director of Inconstant Income Department in Polish Kingdom Commission of Income and Treasury built and initiated a factory of that cement in village Kozioł next to Sławków near Olkusz [4]. One of the first buildings, where Roman mortars were used was the building of Credit-Land Society in Warsaw (1856-1858), designed by Henryk Marconi. It's worth remembering, that Roman cement was applied not only for the decoration of contemporary buildings. It was used also for repairing buildings, which had been built much earlier. One of the examples is St. Peter and Paul monastery church within the Petersberg fortress in Erfurt, where in the middle of the XIX<sup>th</sup> century extensive restorations with Roman cement were executed. In astonishing way Roman cement was used in Linderhof Palace, built for king of Bavaria Ludwig II. All mortars and design elements were made from this material in an artificial stalactite cave, called *Venus Grotto* (there is also an artificial lake, where Ludwig II used to sail with a boat in a shape of a shell).

At the end it will be good to add, that Roman cement was also used for forming cemetery figures on erected in that time municipal graveyards like Rakowicki Cemetery in Cracow or Łyczakowski Cemetery in Lviv. It's durability and nice colour were also in that case significant trumps.

## 2. Technology of Roman cement production

Roman cement was produced by firing lumps of marlstones in shaft kilns (the material was fired in an external furnace or put into kiln in the following order: layer of marlstone, layer of fuel, layer of marlstone, etc.), in the temperature of 800-1200°C (under the temperature of vitrification) [4]. The usual fuel was coal, coke, wood

były węglem, koksem, drzewem lub torfem. W sytuacji, gdy nie dysponowano odpowiednim rodzajem margla naturalnego, dokonywano korekcji składu margli ilastych, dodając określoną ilość surowca glino-nośnego. Otrzymany po wypaleniu klinkier mielono na drobny proszek i pakowano w 250-kilogramowe beczki lub 60-kilogramowe worki jutowe.

Mimo pozornie prostych założeń technologii produkcji cementu rromańskiego, proces wytwarzania dobrego jakościowo cementu nie był i do dziś nie jest łatwy. Podstawę stanowi uzyskanie odpowiedniej temperatury wypału – zbyt wysoka prowadzi do *przepalenia* surowca z utworzeniem niereaktywnego gehlenitu i słabo reaktywnego belitu  $\beta$ -C<sub>2</sub>S, zbyt niska nie zapewnia zaś pełnego stopnia syntezy materiału. Wiele zależy również od składu mineralnego surowca oraz przygotowania materiału do pieca.

Współczesna technologia produkcji cementu rromańskiego w piecu obrotowym, opracowana przez krakowski Oddział Mineralnych Materiałów Budowlanych, pozwala na uzyskanie materiału o tych samych właściwościach, jakie posiadał oryginalny, wytwarzany przed ponad stu laty cement. Pierwszy etap polega na przygotowaniu surowca, który jest suszony, a czasami również mielony (sposób ten pozwala na wykorzystanie do produkcji bardzo drobnych frakcji margla). Następnie materiał poddawany jest wyprażaniu. Proces ten może być przeprowadzony w dwóch rodzajach pieców obrotowych: *małym* (o wydajności ok. 35-40 kg/h) i *dużym* (o wydajności ok. 350-400 kg/h, rys. 4). Po wypaleniu materiał zostaje zmielony.

Wielokrotnie wspomniano w niniejszym tekście o charakterystycznych cechach cementu rromańskiego, jakimi są szybki czas wiązania i wysoka wytrzymałość. Szczegółowe dane na ten temat zostały zawarte poniżej.

or turf. In a case of lack of proper kind of natural marlstone, the correction of marlstone's composition was made by adding precise amount of argillaceous raw material. A clinker received after firing was ground to a fine powder. Then it was packed into 250 kg barrels or 60 kg sacks.

Although the assumption of Roman cement production technology may look simple, the process of receiving a good quality cement was not easy and is not easy also today. The main demand is the temperature of firing – too high leads to over-burning of material with forming of non-reactive gehlenite and weakly reactive belite  $\beta$ -C<sub>2</sub>S, too low can't guarantee a full synthesis of the material. Significant role plays also a composition of raw material and it's preparation for firing.

The present-day Roman cement production technology in rotary kiln, elaborated by MBMB in Cracow, allows to receive a material, which has the same features as original cement, produced over one hundred years ago. The first stage consists in preparing raw material, which is dried and sometimes also ground (this method allows using for production also very small fractions of marlstone). Afterwards the material

is fired. That process can be carried out in two types of rotary kilns: *small* (with capacity of about 35-40 kg/h) and *big* (with capacity of about 350-400 kg/h, fig. 4). After the firing the material is ground to a fine powder.

It was mentioned several times in this text, that characteristic features of Roman cement are short setting time and high strength. Detailed information are presented below.



Rys. 4. „Duży” piec do wypalania klinkieru rromańskiego (w hali produkcyjnej OMMB)

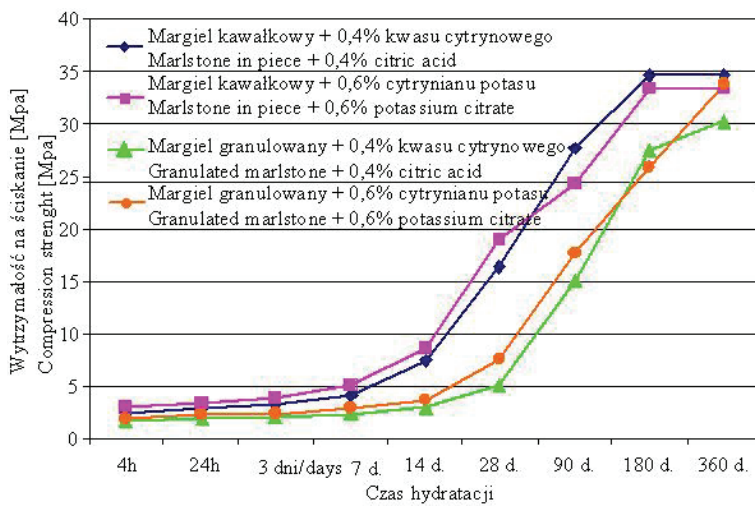
Fig. 4. „Big” kiln for Roman clinker firing (in MBMB production hall)

Tab. 1. Czas wiązania i zmiany liniowe cementów rromańskich  
Setting time and linear changes of Roman cements

Rodzaj cementu rromańskiego Type of Roman cement	Dodatek reagentów wiązania Addition of setting regulators	w/c	Czas wiązania [min] Setting time [min]		Skurcz [mm/mb] Shrinkage [mm/mb]			Zmiany liniowe w wodzie [mm/mb] Linear changes in water [mm/mb]		
			Początek Initial	Koniec Final	14 dni 14 days	28 dni 28 days	90 dni 90 days	14 dni 14 days	28 dni 28 days	90 dni 90 days
Margiel polski Kawałkowy Polish marlstone (in piece)	0,4% kwas cytrynowy 0,4% citric acid	0,65	13	16	0,28	0,50	0,58	+0,19	+0,19	+ 0,25
Margiel polski Granulat Polish marlstone (granulate)	0,4% kwas cytrynowy 0,4% citric acid	0,65	8	13	0,10	0,19	0,40	+ 0,02	+ 0,03	+ 0,03
Margiel austriacki Kawałki Austrian marlstone (in piece)	0,4% kwas cytrynowy 0,4% citric acid	0,65	11	14	0,17	0,35	0,68	+ 0,13	+0,13	+ 0,19



Należy podkreślić, że w zależności od warunków prowadzenia procesu, szczególnie od temperatury prażenia margla oraz proporcji kalcytu i wolnego wapna w produkcie, właściwości materiału mogą różnić się w następujących przedziałach:



Rys. 5. Tempo narastania wytrzymałości cementu romańskiego  
Fig. 5. Development rate of Roman cement's strength

It has to be said, that depending on how the process is run (especially important are temperature of firing and proportions of calcite and free lime in product), features of the material can differ in the following ranges:

Czas wiązania Setting time	początek / initial koniec / final	$\geq 8$ min $\geq 13$ min
Wytrzymałość na ściskanie Resistance to compression	4 godz. / hours 7 dni / days 28 dni / days 90 dni / days 180 dni / days 360 dni / days	1,5 ÷ 3,5 MPa 2,5 ÷ 5,0 MPa 5,0 ÷ 19,0 MPa 15,0 ÷ 28,0 MPa 25,0 ÷ 35,0 MPa 30,0 ÷ 35,0 MPa
Skurcz Shrinkage	28 dni / days 90 dni / days	0,19 ÷ 0,50 mm/mb 0,40 ÷ 0,60 mm/mb
Zmiany liniowe w wodzie Linear changes in water	28 dni / days 90 dni / days	0,03 ÷ 0,19 mm/mb 0,03 ÷ 0,25 mm/mb

Przedziały te nie oznaczają zjawiska niejednorodności prowadzenia procesu produkcji, lecz wskazują na możliwość spełnienia zapotrzebowania odbiorcy na materiał o sprecyzowanych właściwościach. Możliwe jest bowiem wytwarzanie zarówno wolno twardniejących cementów z podwyższoną zawartością kalcytu do produkcji farb, zapraw i wypraw, jak i bardziej aktywnych, ostrzej palonych cementów do wykonywania detali i odlewów. Warto również dodać, że istnieje możliwość uzyskania różnicowanej kolorystyki cementu romańskiego (rys. 6). Zależy ona przede wszystkim od składu chemicznego materiału oraz od warunków jego wypału.



Rys. 6. Rozety wykonane z cementu romańskiego. Różnicowanie kolorystyczne zależy przede wszystkim od składu chemicznego materiału oraz od warunków jego wypału

Fig. 6. Rosettes made from Roman cement. Differences in colour generally depend on chemical composition of material and firing conditions

These ranges don't mean that the process of production is heterogenous, but they give a possibility to receive the material exactly like customer would like to have. It is possible to produce slow-hardening cements with higher content of calcite (for production of paint and mortars) as well as more active, harder-burned cements for details and casting. It is also worth adding, that there is a possibility to receive different colouring of Roman cement (fig. 6). It generally depends on chemical composition of material and firing conditions.

### 3. Zastosowanie cementu romańskiego do konserwacji zabytków

W ostatnich latach coraz więcej zabytkowych obiektów, w tym także XIX-wiecznych, zostaje poddanych zabiegom konserwatorskim. Wprowadzenie na rynek produktu wiernie odpowiadającego materiałowi historycznemu daje możliwość zachowania, a niekiedy nawet uchronienia od całkowitego zniszczenia, oryginalnych tynków, detali architektonicznych i zdobień. Za pomocą materiałów, wyprodukowanych na bazie cementu romańskiego w Oddziale Mineralnych Materiałów Budowlanych, odnowionych zostało kilka krakowskich budowli. Pierwszą z nich był gmach dawnej Akademii Handlowej u zbiegu ulic Straszewskiego i Kapucyńskiej (rys. 2, 7), wzniesiony według projektu Jana Zawiejskiego w latach 1904-1906 [6]. Konserwacja tego obiektu potwierdziła, że produkowany współcześnie cement jest całkowicie kompatybilny z substancją historyczną, nie powoduje więc żadnych dodatkowych zagrożeń dla odnawianych fasad.

Kolejnym obiektem odnowionym z zastosowaniem cementu romańskiego była kamienica Łozińskich przy ul. Józefa Piłsudskiego (rys. 8, 9). Zamieszczone poniżej fotografie dobrze obrazują, że atutem współczesnego cementu romańskiego jest nie tylko fakt, iż stanowi odpowiednik swojego historycznego poprzednika, ale i to, że jego walory estetyczne pozwalają re-staurowanym obiektom odzyskiwać dawny blask.

Interesującym przykładem zabytku odnowionego za pomocą cementu romańskiego jest również kamienica przy l. Józefińskiej (rys. 10, 11).

### 4. Zakończenie

Przedstawione powyżej budowle zostały poddane właściwej konserwacji i ponownie mogą cieszyć oczy mieszkańców i turystów Krakowa. Jest to jednak tylko niewielka kropla w morzu potrzeb. Jak wspomniano, ogromna liczba obiektów powstałych w II połowie XIX i na początku XX wie-

### 3. Application of Roman cement for architectural conservation

In recent years more and more historical buildings (including XIX<sup>th</sup> century buildings) are renovated. Introducing to the market a product, faithfully corresponding to historical material, gives an opportunity to preserve and sometimes even to save from total destruction original plasters, architectural details and decorations. There are some monuments in Cracow, which were renovated with materials produced in MBMB on the basis of Roman cement. First of them was former Trade Academy Building at the corner of Florian Straszewski and Kapucyńska Street (fig. 2, 7), built by architect Jan Zawiejski between 1904 and 1906 [6]. The conservation of that object confirms, that today produced cement is totally compatible with historical substance and that's why it doesn't endanger elevations being renovated.

The next building conserved with Roman cement was Łoziński House on Józef Piłsudski Street (fig. 8, 9). Two photographs reproduced here show, that not only the fact, that modern Roman cement is not only an equivalent of it's historical precursor, but also thanks to it's esthetic values renovated monuments can recover their lost brilliance.

An interesting example of a monument renovated with Roman cement is also one of the apartment houses on Józefińska Street in Cracow (fig. 10, 11).

### 4. The conclusion

Buildings shown above were conserved properly and became the pride of Cracow city once more. However this is only a drop in the ocean of needs. Like it was mentioned before, great amount of buildings, which were built in the second half of the XIX<sup>th</sup> century and at the begin-



Rys. 7. Gmach dawnej Akademii Handlowej, pierwszego obiektu w Krakowie odnowionego za pomocą współcześnie wyprodukowanego cementu romańskiego

Fig. 7. Former Trade Academy, first building in Cracow renovated with today produced Roman cement



Rys. 8. Kamienica Łozińskich w Krakowie – stan przed konserwacją  
 Fig. 8. Łoziński House in Cracow before the conservation



Rys. 9. Kamienica Łozińskich w Krakowie – stan po konserwacji  
 Fig. 9. Łoziński House in Cracow after the conservation



Rys. 11. Obrazienie okienne wykonane w cemencie romańskim (detal kamienicy przy ul. Józefińskiej w Krakowie)  
 Fig. 11. Window framing made in Roman cement (detail from the apartment house in Józefińska Street in Cracow)

Rys. 10. Odnowiona za pomocą cementu romańskiego kamienica przy ul. Józefińskiej w Krakowie  
 Fig. 10. Apartment house in Józefińska Street in Cracow, renovated with Roman cement

ku została ozdobiona za pomocą tynków i odlewów wykonanych z cementu rzymskiego. Są wśród nich kamienice, teatry, szkoły, hotele. Większość z nich wciąż czeka na odnowienie. W tym kontekście uruchomienie produkcji cementu rzymskiego stanowi doniosłe wydarzenie, które może zrewolucjonizować rynek konserwatorski. Pojawił się bowiem produkt, który pozwala na powrót do oryginalnej formy i estetyki budynku. Cement rzymski, naturalne spoiwo hydrauliczne z ponadstuletnią tradycją, to materiał z przeszłością i z przyszłością.

ning of the XX<sup>th</sup> century, were decorated with Roman cement plasters and castings. In this context starting with Roman cement production is a significant event, which can make a revolution in conservation market, because now there is a product, which enables to restore the original form and aesthetics of the building. Roman cement, a natural hydraulic binder with over hundred years of tradition is a material with the past and the future.

## Literatura • References

- [1] *Przepisy dotyczące jednolitej dostawy i jednostajnego badania romancementu (wapna cementowego)*, Czasopismo Towarzystwa Technicznego Krakowskiego, 1890, 12, 101-104 oraz 13, 109-111.
- [2] Bogue R.H., *The Chemistry of Portland Cement*, Reinhold Publishing, New York 1955.
- [3] Gooding P., Halstead P.E., *The early history of cement in England*, Proc. of the 3rd Symposium on the Chemistry of Cement, Cement and Concrete Association, London 1954, 1-29.
- [4] Zachuta L., *Historia przemysłu cementowego w Polsce 1857-2000*, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2004.
- [5] Jung W.N., Butt J.M., Żurawlew W.F., Okorokow S.D., *Technologia materiałów wiążących*, Budownictwo i Architektura, Warszawa 1957.
- [6] Purchla J., *Jan Zawiejski – architekt przełomu XIX i XX wieku*, PWN, Warszawa 1986.

---

\* Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych  
Oddział Mineralnych Materiałów Budowlanych w Krakowie, Polska  
Institute of Glass, Ceramics, Refractory and Construction Materials  
Mineral Building Materials Branch in Cracow, Poland

---

## Streszczenie

Cement rzymski, naturalne spoiwo hydrauliczne opatentowane przez Josepha Parkera w 1796 roku, dzięki stosunkowo łatwej i szybkiej produkcji, wysokiej odporności na działanie czynników atmosferycznych oraz pięknej, ciepłej barwie, idealnie nadawał się do kształtowania elewacji budowli za pomocą różnego rodzaju elementów architektonicznych i dekoracyjnych. Oddział Mineralnych Materiałów Budowlanych w Krakowie (OMMB) opracował technologię produkcji cementu rzymskiego w piecu obrotowym i wprowadził materiały wytwarzane na jego bazie na rynek konserwatorski. Dzięki temu uzyskano możliwość właściwego odnawiania zabytkowych obiektów za pomocą produktu, który wiernie odpowiada materiałowi historycznemu i pozwala na zachowanie, a niekiedy nawet uchronienie od całkowitego zniszczenia, oryginalnych tynków, detali architektonicznych i zdobień.

## Abstract

Roman cement, a natural, hydraulic binder, invented by Joseph Parker in 1796, thanks to its relatively easy and quick production, high resistance to weather conditions and nice colour was ideal to form buildings' elevations with different architectural elements and decorations. Mineral Building Materials Branch in Cracow (MBMB) worked out the technology of Roman cement production in rotary kiln and started the production for conservation market. Thanks to it conservators now have a possibility to renovate historical buildings with a product, which faithfully corresponds to historical material and gives an opportunity to preserve and sometimes even to save from total destruction original plasters, architectural details and decorations.

Danuta Wala\*, Genowefa Rosiek\*

## Synteza spoiw wapiennych z zastosowaniem różnych minerałów ilastych w kontekście zapraw historycznych

## Synthesis of lime binders using different clayey minerals in the context of binders used in the history

### 1. Wprowadzenie

Przy konserwacji i rehabilitacji zabytkowych konstrukcji budowlanych istotnym zagadnieniem jest zastosowanie materiałów o odpowiednich właściwościach i charakterystyce odpowiadającej analizowanemu obiektowi. Wprowadzane spoiwa powinny być kompatybilne z oryginalnymi materiałami, powinny posiadać charakterystykę fizykochemiczną i morfologiczną zbliżoną do produktów stosowanych w czasach historycznych. W starożytności podstawowym spoiwem do wykonywania zapraw był cement rzymski lub spoiwa wapienne o zbliżonym do niego składzie.

Zaprawy na cemencie rzymskim charakteryzują się krótkim czasem wiązania (15 ÷ 20 minut), wysoką wczesną wytrzymałością, ciepłymi barwami. Charakteryzuje je struktura mikroporowata umożliwiająca odparowanie wilgoci znajdującej się w murach, zapewniając szybkie wysychanie konstrukcji narażonej na podciąganie kapilarne, [1, 2].

Cement rzymski wytwarzany jest z gliniastych margli wapiennych, naturalnych surowców, w których występuje dokładne wymieszanie  $\text{CaCO}_3$  z minerałami ilastymi wnoszącymi do układu głównie  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Przy wypaleniu w temperaturze 900-1100°C powstają krzemiany, gliniany i żelaziany wapnia. Tlenek wapnia jest na ogół całkowicie związany. Obecność wolnego  $\text{CaO}$  jest niepożądana ze względu na możliwość tworzenia soli ekspansywnych.

### 1. Introduction

When conservation works and rehabilitation of antique building constructions are carried out, the essential question is to use materials of suitable properties and characteristics, corresponding to the analyzed object. The binders used there should be compatible with the original materials, they should possess their physical-chemical and morphological characteristics close to that of the products applied in historical times. In the antique complexes of the town center in the XVIII and XIX century the basic binder for making mortars was Roman cement or lime binders of similar composition.

Mortars on Roman cement are characterized by short setting time (15 ÷ 20 minutes), high initial strength, warm colors. Their characteristic microporous structure enables vaporization of moisture contained in the walls, thus providing quick drying of the construction subject to capillary suction, [1, 2].

Roman cement is produced from calcareous clays, natural materials in which  $\text{CaCO}_3$  is exactly mixed with clayey minerals which bring in to the composition mainly  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . When burning at the temperature 900-1100°C there are created calcium silicates, aluminates and ferrites. Calcium oxide is generally entirely compounded. The presence of free  $\text{CaO}$  is unwanted because of the possibility of creating expansive salts.

Zaprawy starożytne często wykazują właściwości zbliżone do zapraw zawierających cementy rzymskie. Grecy, Rzymianie poznali właściwości puzolanowe niektórych rodzajów osadów wulkanicznych, które zmielone i zmieszane z wapnem oraz piaskiem dawały zaprawy o dobrej wytrzymałości oraz odporności na działanie środowisk agresywnych. Odporność chemiczna starożytnych zapraw związana jest z obecnością w ich strukturze geopolimerów i składników zeolitopodobnych [3]. Badania auterek potwierdziły bardzo dobrą odporność zapraw geopolimerowych na korozję kwasową i siarczanową [4, 5].

Celem przeprowadzonych badań była synteza spoiw wapiennych o składzie podobnym do cementów rzymskich oraz określenie wpływu rodzaju surowca ilastego (kaolin, glina kamionkowa) oraz temperatury wypału na właściwości mechaniczne, gęstość, porowatość oraz barwę zapraw.

## 2. Synteza spoiw

Do syntezy spoiw użyto węglan wapnia – odczynnikowy, oraz surowce ilaste: kaolin Grolleg i glinę kamionkową, o składach podanych w tab. 1. Aby zapewnić możliwie całkowite związanie CaO w formę krzemianów, glinianów i żelazianów wapnia dla obu surowców ilastych przyjęto proporcje: 65% węglanu wapnia i 35% minerały ilaste. Do wymieszanych, w odpowiednich proporcjach surowców, dodawano wodę destylowaną w ilości umożliwiającej uzyskanie konsystencji lejnnej, a następnie mieszano przez 15 minut w homogenizatorze. Po wysuszeniu w 110°C, a następnie przesianiu przez sito o wielkości oczka # 1mm, mieszaninę rozdzielono na trzy porcje, które wypalano w temperaturach: 900°C, 1000°C i 1100°C. W tab. 2 przedstawiono skład tlenkowy spoiw po wypaleniu w zależności od użytego surowca ilastego. Spoiwa oznaczone: A są na bazie kaolinu, a B na bazie gliny kamionkowej. Czas wiązania tak przygotowanych spoiw wynosił od 10-13 minut.

Spoiwa oznaczone A<sub>9</sub>, B<sub>9</sub> – wypalane były w temperaturze 900°C, natomiast oznaczone indeksem „11” w 1100°C. Dla spoiw A<sub>9</sub>, A<sub>11</sub> oraz B<sub>9</sub>, B<sub>11</sub> wykonano analizę rentgenograficzną, wyniki przedstawiono w tabeli 3.

W spoiwach A<sub>9</sub>, B<sub>9</sub> wypalonych w 900°C występują małe ilości krystalicznych glinianów wapnia. Można przyjąć, że w tej temperaturze występują one w formie struktur nieuporządkowanych i charakteryzują się bezpostaciową budową. W spoiwach A<sub>11</sub>, B<sub>11</sub> wypalonych w tem-

Ancient mortars often show properties similar to those of mortars containing Roman cements. The Greeks, the Romans got to know pozzolanic properties of some kinds of volcanic sediments which after grinding and mixing with lime and sand gave mortars of good strength and resistance to action of aggressive environments. Chemical resistance of ancient mortars is connected with the presence of geopolymers and zeolitic components [3] in their structure. Authors' investigations confirmed very good resistance of geopolymer mortars to acidic and sulphate corrosion [4, 5].

The objective of the conducted investigations was to synthesize lime binders of composition similar to those of the Roman cements and to determine the influence of the kind of clayey material (kaolin, stoneware clay) and the temperature of burning on mechanical properties, density, porosity and color of mortars.

## 2. Synthesis of binders

The following raw materials were used to synthesis of binders: calcium carbonate – reagent grade, and clayey materials: kaolin Grolleg and stoneware clay, whose compositions were as presented in tab. 1. In order to provide possibly complete compounding CaO into the form of calcium silicates, aluminates and ferrites, for both clayey materials the following proportions were applied: 65% calcium carbonate and 35% clayey minerals. To the materials mixed in the suitable proportions, distilled water was added in the quantity enabling to obtain freely flowing consistency, and then the mixture was stirred for 15 minutes in a homogenizer. After drying at 110°C, and then sifting through the sieve of mesh size # 1 mm, the mixture was divided onto three parts, which were burnt at the temperatures: 900°C, 1000°C and 1100°C. Chemical analysis of these binders, in the oxide form, after burning, has been presented in tab. 2 as referred to the used clayey material. Binders are marked as follows: A – these on the basis of kaolin, and B – on the basis of stoneware clay. Setting time of binders so prepared was from 10-13 minutes.

Binders designed as A<sub>9</sub>, B<sub>9</sub> were burnt at the temperature 900°C, whereas those designed with the index „11” at the temperature 1100°C. The X-ray analysis was made for the binders A<sub>9</sub>, A<sub>11</sub> and B<sub>9</sub>, B<sub>11</sub>, the results have been presented in table 3.

In binders A<sub>9</sub>, B<sub>9</sub> burnt at 900°C there occur small quantities of crystalline calcium aluminates. One can accept that at this temperature they occur in the form of disordered structures and are characterized by amorphous build. In binders A<sub>11</sub>, B<sub>11</sub>

peraturze 1100°C stwierdzono obecność gehlenitu  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ .

burnt at the temperature 1100°C the presence of gehlenite  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  was found.

Tab.1. Skład chemiczny surowców ilastych  
Chemical analysis of clayey materials

Tlenek Oxide	Udział w % tlenku: Fraction % in oxide:	
	Kaolin Kaolin	Gлина plastyczna Plastic clay
SiO <sub>2</sub>	48,05	60,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,12	18,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,61	6,42
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,61
CaO	0,16	0,86
MgO	0,26	1,62
K <sub>2</sub> O +Na <sub>2</sub> O	1,80	2,88
Straty prażenia, % Ignition loss, %	12,2	6,80
% frakcji < 2µm % fraction < 2µm	55,1	59,2

Skład mineralogiczny:

Mineralogical composition:

- Kaolin: ~90% stanowi kaolinit:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
  - Kaolin: ~90% is kaolinite:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
  - 8% skaień  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
  - 8% feldspar  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
  - 2% kwarc SiO<sub>2</sub>
  - 2% quartz SiO<sub>2</sub>
  
  - Gлина kamionkowa: ~25% kaolinit (minerał dwuwarstwowy)
  - Stoneware clay: ~25% kaolinite (two-layer mineral)
  - ~22% montmorylonit
  - ~22% montmorillonite
  - ~22% illit
  - ~22% illite
  - ~10% chloryt
  - ~10% chlorite
  - ~20% kwarc + skaień
  - ~20% quartz + feldspar
  - 1% FeOOH
- } minerały trój-  
i czterowarstwowe  
three- or four-layer  
minerals

Tab.2. Skład tlenkowy i barwa spoiw po wypaleniu  
Chemical composition in the oxide form and color of binders after burning

Ozn spoiwa Designation of the binder	udział w % tlenku w spoiwie % ratio of oxide in the binder							barwa spoiwa w zależności od temp wypału: color of the binder depending on the temperature of burning:		
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	900°C	1000°C	1100°C
A	54,21	25,02	19,26	0,31	0,01	0,14	0,94	Kremowa Cream-white	jasno kremowa Pale cream	biało szara White-grayish
B	53,56	30,09	9,65	3,28	0,31	0,83	1,46	Ceglasty Brick red	pomarańczowy orange	żółto szary Yellow-grayish

Tab. 3. Skład fazowy spoiw  
Phase composition of binders

Próbka Sample	CaCO <sub>3</sub> kalcyt calcite	Ca(OH) <sub>2</sub> portlandyt portlandite	CaO	SiO <sub>2</sub> kwarc quartz	CaO·SiO <sub>2</sub> wollastonit wollastonite	2CaO·SiO <sub>2</sub> , Iarnit Iarnite	CaO· Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3CaO· Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2CaO· Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> gehlenit gehlenite
A <sub>9</sub>	+	+	+	+		++	+		
A <sub>11</sub>			+	+		++		+	++
B <sub>9</sub>		+	+	++	+	+	+		
B <sub>11</sub>			+	++		++			++

Oznaczenie: + ślady lub małe ilości; ++ większe ilości  
Key: + traces or little amounts; ++ considerable amounts

### 3. Przygotowanie próbek do badań

Z uzyskanych spoiw przygotowano zaprawy, w których stosunek spoiwa do kruszywa wynosił 1:3. Stosowano piasek kwarcowy o uziarnieniu poniżej 1mm. Do wymieszanych na sucho składników, dodawano wodę do uzyskania konsystencji gęsto plastycznej umożliwiającej formowanie beleczek o wymiarach 10 x 10 x 60 mm. Część próbek przygotowana z 5 % dodatkiem gipsu. Po 24 godzinach próbki rozformowano i przechowywano w warunkach zapewniających 100% wilgotności. Właściwości próbek oznaczano po 7, 28 i 65 dniach. 24 godziny przed wykonaniem oznaczeń próbki przechowywano w warunkach atmosfery laboratoryjnej. Dla przygotowanych zapraw oznaczono: gęstość pozorną, porowatość otwartą, wytrzymałość na ściskanie oraz wytrzymałość na zginanie. Wyniki oznaczeń przedstawiono w tabelach 4 i 5.

Zaprawy w zależności od temperatury wypalania spoiwa (900, 1000, 1100°C) oznaczono odpowiednio: A-9, A-10, A-11, B-9, B-10, B-11.

### 3. Preparation of samples for investigations

The obtained binders were used for preparing mortars in which the ratio of binder to aggregate was 1:3. Quartz sand was applied of grain size below 1mm. To the dry mixed components water was added to obtain thick plastic consistency enabling to form small beams of dimensions 10 x 10 x 60 mm. A part of samples was prepared with 5% addition of gypsum. After 24 hours, the samples were taken out from the moulds and kept in conditions assuring 100% humidity. Properties of the samples were determined after 7, 28 and 65 days. 24 hours before carrying out analyses, the samples were kept in the conditions of the laboratory atmosphere. For the prepared mortars the following features were determined: apparent density, open porosity, compression strength and bending strength. The results of the tests have been presented in tab. 4 and 5.

Mortar depending on the temperature of burning of the binder (900, 1000, 1100°C) was designed suitably: A-9, A-10, A-11, B-9, B-10, B-11.

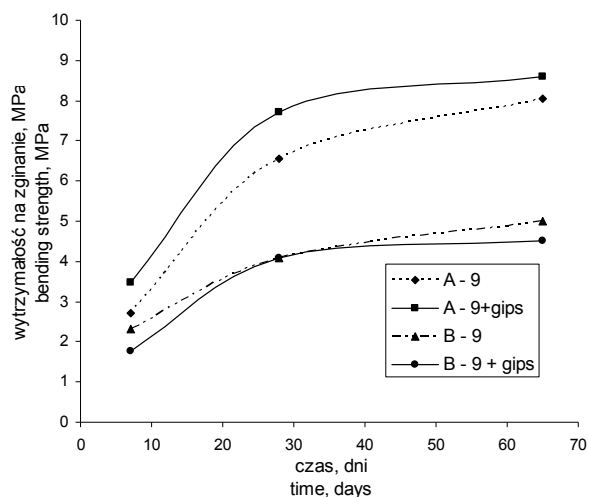
Tab. 4. Właściwości zapraw po 7 dniach przechowywania w warunkach 100% wilgotności  
Properties of mortars after being kept for 7 days in the conditions of 100% humidity

Oznaczenie zapraw Designation of mortars	Próbki bez dodatku gipsu Samples without addition of gypsum					Próbki z dodatkiem gipsu Samples with addition of gypsum					
	w/c	d g/cm <sup>3</sup>	P <sub>o</sub> %	R <sub>g</sub> MPa	R <sub>c</sub> MPa	w/c	d g/cm <sup>3</sup>	P <sub>o</sub> %	R <sub>g</sub> MPa	R <sub>c</sub> MPa	
A	9	1,0	1,84	23,14	2,70	12,42	0,85	1,88	21,44	3,48	15,05
	10	0,96	1,86	23,99	1,85	2,69	0,76	1,92	19,77	2,61	6,70
	11	0,87	1,85	26,26	1,40	2,43	0,65	1,96	19,46	2,02	5,15
B	9	0,78	1,90	23,80	2,32	4,80	0,85	1,89	21,10	1,72	5,23
	10	0,76	2,01	21,41	0,99	2,50	0,81	1,92	19,47	1,74	5,06
	11	0,71	1,91	22,26	0,85	1,80	0,725	1,98	18,73	2,05	4,91

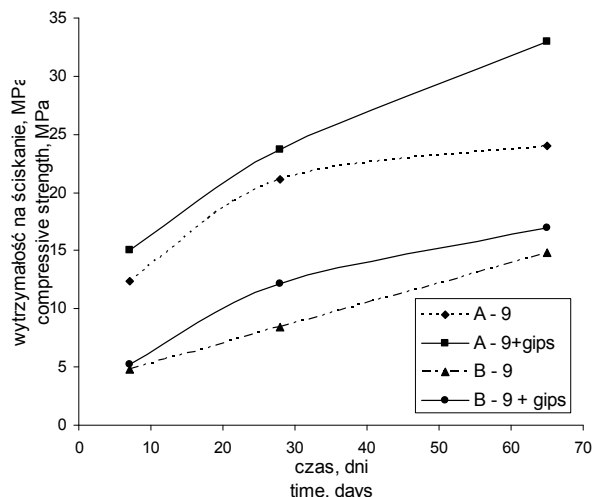
Tab. 5. Wytrzymałość na zginanie (R<sub>g</sub>) i ściskanie (R<sub>c</sub>) badanych zapraw w zależności od czasu przechowywania próbek bez i z dodatkiem gipsu  
Bending strength (R<sub>g</sub>) and compression strength (R<sub>c</sub>) of tested mortars as dependent on the storage time of samples with and without addition of gypsum

Oznaczenie zapraw Designation of mortars	Próbki bez dodatku gipsu Samples without addition of gypsum						Próbki z dodatkiem gipsu Samples with addition of gypsum						
	R <sub>g</sub> (MPa)			R <sub>c</sub> (MPa)			R <sub>g</sub> (MPa)			R <sub>c</sub> (MPa)			
	7 d.	28d.	65d.	7 d.	28d.	65d.	7 d.	28d.	65d.	7 d.	28d.	65d.	
A	9	2,70	6,57	8,05	12,42	21,13	24,0	3,48	7,71	8,60	15,05	23,68	33,0
	10	1,85	2,70	2,85	2,69	5,52	7,07	2,61	5,10	5,80	6,70	11,84	17,40
	11	1,40	1,74	1,92	2,43	3,15	3,73	2,02	5,11	5,21	5,15	10,70	15,41
B	9	2,32	4,09	5,00	4,80	8,42	14,80	1,77	4,10	4,51	5,23	12,21	17,0
	10	0,99	2,15	2,17	2,50	7,01	9,31	1,74	2,66	2,96	5,06	9,81	10,79
	11	0,85	1,47	1,63	1,80	2,83	3,85	2,05	2,89	2,96	4,91	7,51	8,77





Rys. 1. Wytrzymałość na zginanie zapraw w zależności od czasu przechowywania próbek  
 Fig. 1. Bending strength of mortar, depending on the time of storage of samples



Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie zapraw w zależności od czasu przechowywania próbek  
 Fig. 2. Compressive strength of mortar, depending on the time of storage of samples

Tab. 6. Skład i wytrzymałość na zginanie i ściskanie próbki porównawczej (1) oraz zapraw modyfikowanych (2,3,4) w zależności od czasu  
 Composition and bending strength and compressive strength of the reference sample (1) and mortars modified (2,3,4) in dependence on the time

Ozn. zapraw Designation of mortars	Skład zapraw, g Composition of mortars, g					Wytrzymałość na zginanie $R_g$ , MPa Bending strength $R_g$ , MPa			Wytrzymałość na ściskanie $R_c$ , MPa Compressive strength $R_c$ , MPa		
	Spoivo Binder	Metakaolin Metakaolin	wapno hydrat. Hydrated lime	piasek kwarc. Quartz sand	Woda Water	7 dni 7 days	28 dni 28 days	60 dni 60 days	7 dni 7 days	28 dni 28 days	60 dni 60 days
	1	cem. port. 100	–	–	300,0	65,0	5,10	8,30	10,35	24,94	29,90
2	A-9 65,8	12,3	21,9	251,0	75,0	–	8,79	11,13	–	28,77	30,53
3	A-9 39,0	22,0	39,0	212,5	73,0	–	9,20	11,12	–	29,72	30,98
4	–	35,9	64,1	264,0	80,0	–	6,44	7,62	–	21,57	22,51

#### 4. Omówienie wyników badań

Barwa uzyskanych spoiw zależała od rodzaju użytego do syntezy surowca ilastego oraz od temperatury. Kaolin nadawał spoiwom delikatną barwę kremową, która w temperaturze 1100°C zmieniła odcień na szary. Spoiwa syntezowane na bazie gliny kamionkowej, w zależności od temperatury wypalania posiadały barwę od ceglasczerwonej dla temperatury 900°C do żółto-szarej dla temperatury 1100°C.

W trakcie przygotowania zapraw, po dodaniu wody do składników stałych pojawił się efekt egzotermiczny szczególnie wyraźny dla spoiwa A<sub>9</sub>. Efekt ten wyraźnie malał wraz ze wzrostem temperatury wypalania spoiwa. Ponadto dla spoiwa A zaobserwowano tzw. „wczesne fałszywe wiązanie”. Za przyczynę tego zjawiska uznano obecność glinianów wapnia, zastosowano, więc jako

#### 4. Discussion of the results of investigations

Color of the obtained binders depended on the kind of clayey material used for the synthesis and on the temperature. Kaolin gave gentle cream color to the binders, the color at temperature 1100°C altered the tint to grey. Binders synthesized on the basis of stoneware clay possessed colors depending on their temperature of burning: from brick-red for the temperature 900°C to yellowish-grey for the temperature 1100°C.

During preparation of the mortars, after addition of water to solid components, there occurred exothermic effect, particularly visible for binder A<sub>9</sub>. This effect clearly diminished together with the growth of the temperature of binder burning. Moreover, for binder A the so-called effect of ‘early false setting’ was observed. The occurrence of this phenomenon was attributed to presence of

regulator czasu wiązania, 5-% dodatek gipsu ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ). Wyniki z oznaczeń właściwości zapraw po 7 dniach dla spoiw A i B bez dodatku oraz z dodatkiem gipsu przedstawiono w tab. 4 i 5.

Dla obu spoiw niezależnie od rodzaju użytego surowca ilastego za optymalną temperaturę wypalania należy przyjąć  $900^\circ\text{C}$ . Podniesienie temperatury wypalania powoduje istotne obniżenie parametrów wytrzymałościowych badanych zapraw.

Dodatek gipsu do spoiw spowodował wydłużenie czasu wiązania, zmniejszenie ilości wydzielającego się ciepła. Ponadto dla spoiwa A dodatek gipsu istotnie obniża ilość wody zarobowej (niższa wartość w/s), oraz porowatość otwartą zapraw po procesie wiązania. Dodatek gipsu do badanych spoiw, niezależnie od temperatury wypalania powoduje wzrost wytrzymałości mechanicznej wszystkich badanych zapraw.

W tab. 5 przedstawiono wyniki oznaczeń wytrzymałości na zginanie i ściskanie badanych zapraw po 7, 28, 65 dniach przechowywania próbek w warunkach 100% wilgotności. Dla zaprawy zawierającej spoiwo A<sub>9</sub>, B<sub>9</sub> bez dodatku oraz z dodatkiem gipsu przedstawiono zależność wytrzymałości na zginanie od czasu przechowywania próbek, (rys. 1) oraz zależność wytrzymałości na ściskanie od czasu (rys. 2).

Z przedstawionych wyników wynika, że wszystkie badane zaprawy wykazują istotny wzrost wytrzymałości w miarę upływu czasu przechowywania próbek.

Zaprawa zawierająca spoiwo A wypalone w  $900^\circ\text{C}$ , oraz dodatek gipsu wykazuje najwyższą wytrzymałość na ściskanie, po 65 dniach 33,0 MPa. Mikrostrukturę zaprawy A-9 przedstawiono na rys 3 i 4. Obserwacje wykonano w mikroskopie skaningowym na świeżo przygotowanych przełomach próbek. Podwyższenie temperatury wypalania tego spoiwa do  $1000$  i  $1100^\circ\text{C}$  powoduje drastyczny spadek wytrzymałości zapraw na ściskanie po 65 dniach odpowiednio do wartości 17,4 i 15,4 MPa.

Zaprawy z dodatkiem gipsu zawierające spoiwo B, do syntezy którego użyto glinę kamionkową zamiast kaolinu, wykazują znacznie niższe wytrzymałości na ściskanie. Wytrzymałości te wynoszą odpowiednio dla temperatury wypalania  $900^\circ\text{C}$  – 17,0 MPa,  $1000^\circ\text{C}$  – 10,8 MPa,  $1100^\circ\text{C}$  – 8,8MPa, po 65 dniach przechowywania próbek.

Ponieważ badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie zapraw nie przeprowadzono na próbkach normowych, jako próbkę odniesienia przygo-

calcium aluminate, this is why as the regulator of time of setting 5% addition of gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O}$ ) was applied. The results from the tests of properties of mortars after 7 days for binders A and B without any addition of gypsum and with addition of gypsum have been presented in tab. 4, 5.

For both binders, irrespective of the kind of used clayey material, the temperature  $900^\circ\text{C}$  should be regarded as the optimum temperature of burning. Raising the temperature of burning causes considerable lowering of strength parameters of investigated mortars.

The addition of gypsum to the binders caused extension of their setting time, and decrease of the quantity of given off heat. Moreover, the addition of gypsum to the binder A considerably decreases the quantity of make-up water (lower value w/s), and the open porosity of mortars after the process of setting. The addition of gypsum to the tested binders, irrespective of the burning temperature, caused increase in mechanical strength of all studied mortars.

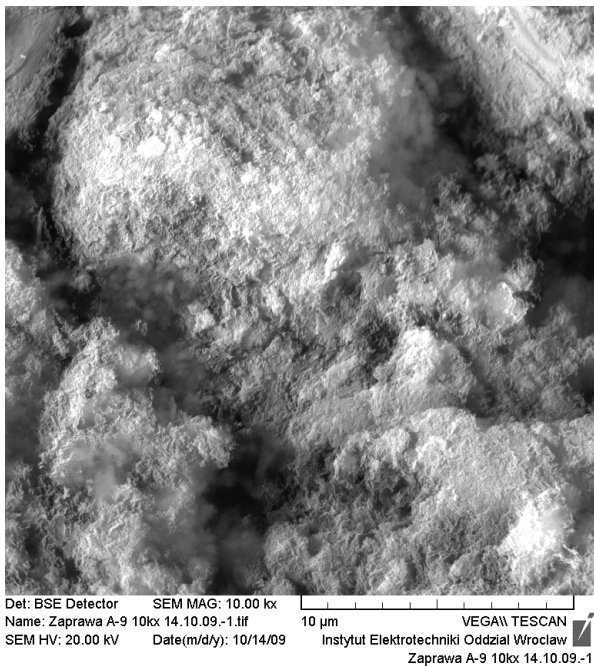
Tab. 5 presents the results of tests of bending strength and compressive strength of the studied mortars after 7, 28, 65 days of storage of samples in the conditions of 100% humidity. For the mortar including binder A<sub>9</sub>, B<sub>9</sub>, without the addition and with the addition of gypsum, the dependence of bending strength (fig. 1) and compressive strength (fig. 2) of the samples on the time of storage have been presented in the graphs.

The results present that all studied mortars show essential growth of strength with the passed time of sample storage.

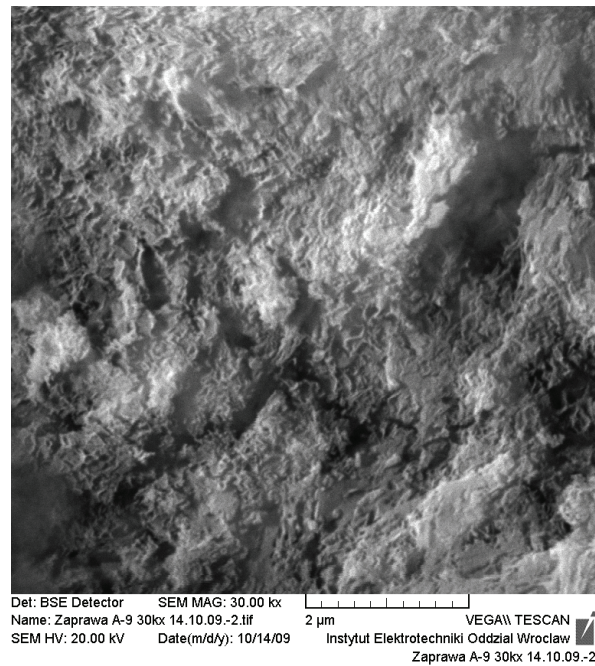
The mortar containing binder A burnt at  $900^\circ\text{C}$ , and with the addition of gypsum, shows the highest compressive strength, after 65 days it is 33.0 MPa. The microstructure of mortar A-9 was presented in fig. 3 and 4. Observations were executed with the scanning microscope on freshly prepared fracture of samples. Raising the temperature of binder burning to  $1000$  and  $1100^\circ\text{C}$  causes drastic fall of the compressive strength of mortars after 65 days, respectively to the values 17.4 and 15.4 MPa.

Mortars with the addition of gypsum including binder B, which had been synthesized with the use of stoneware clay instead of kaolin, show considerably lower compressive strength values. These values, respectively to the temperatures of burning, are as follows:  $900^\circ\text{C}$  – 17.0 MPa,  $1000^\circ\text{C}$  – 10.8 MPa,  $1100^\circ\text{C}$  – 8.8 MPa, after 65 days of storage of the samples.

Because the investigation of bending strength and compressive strength of mortars was not conducted on normative samples, the reference sample



Rys.3. Mikrostruktura zaprawy A-9, x10000, mikroskop skaningowy  
 Fig. 3. Microstructure of mortar A-9, x10000, scanning microscope



Rys.4. Mikrostruktura zaprawy A-9, x30000, mikroskop skaningowy  
 Fig. 4. Microstructure of mortar A-9, x30000, scanning microscope

towano zaprawę (zaprawa 1) zawierającą cement portlandzki CEM I 32,5. Stosunek cementu do kruszywa podobnie jak w badanych zaprawach wynosił 1:3. Kruszywo stanowił piasek kwarcowy o uziarnieniu < 1mm. Wyniki z oznaczeń wytrzymałości na zginanie i ściskanie po 7, 28, 60 dniach przedstawiono w tabeli 6. W tabeli 6 przedstawiono również wyniki badań zapraw modyfikowanych (ozn. 2, 3, 4), w których spoiwo A<sub>9</sub> częściowo lub całkowicie zastąpiono mieszanką metakaolinu i wapna hydratyzowanego. Przedstawione wyniki wskazują na dużą możliwość modyfikacji składu zapraw zawierających spoiwa na bazie kaolinu z gwarancją utrzymania dobrych parametrów wytrzymałościowych.

## 5. Wnioski

- Spoiwa o składzie zbliżonym do cementów rzymskich o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych można uzyskać przez wypalenie w 900°C mieszanki kaolinu (35%) i węgla wapnia (65%).
- Dodatek gipsu do syntezowanych spoiw wydłuża czas wiązania, eliminuje efekt egzotermiczny podczas wiązania oraz w sposób istotny zwiększa wytrzymałość mechaniczną zapraw.
- Składniki ilaste użyte do syntezy spoiw wapiennych decydują o ich barwie po wypaleniu. Kaoliny zapewniają barwę kremową, zastosowana glina nadaje barwę ceglastą.

of mortar (mortar 1) was prepared, which consisted of Portland cement CEM I 32.5. The ratio of cement to aggregate in the reference sample was similar to that in the studied mortars, and was 1:3. The aggregate was quartz sand of grain size < 1 mm. The results from bending strength and compressive strength tests after 7, 28, 60 days have been presented in tab. 6. The results of the investigations of modified mortars in which binder A<sub>9</sub> was partly or entirely replaced by the mixture of metakaolin and hydrated lime have also been presented in tab. 6 (designations 2, 3, 4). The presented results indicate large possibility of modification of the compositions of mortars including binders on the basis of kaolin with guarantee of maintaining good strength parameters.

## 5. Conclusions

- Binders of composition close to the composition of Roman cements, of very good mechanical properties, can be synthesized by burning at 900°C a mixture of kaolin (35%) and calcium carbonate (65%).
- The addition of gypsum to the synthesized binders extends the time of setting, eliminates the exothermic effect while setting and considerably increases mechanical strength of mortars.
- Clayey components used for synthesis of lime binders decide on their color after burning. Kaolins lead to cream color, applied clay results in red brick color.

- Spoiwa syntezowane z dodatkiem kaolinu w szerokim zakresie mogą być modyfikowane mieszanką metakaolinu i wapna hydratyzowanego z gwarancją utrzymania bardzo dobrych parametrów wytrzymałościowych.
- Binders synthesized with the addition of kaolin may be in a wide range modified by addition of the mixture of metakaolin and hydrated lime, with guarantee of maintaining very good strength parameters.

## Literatura • References

- [1] Weber J. i in., *Microstructure and mineral composition of Roman cements produced at defined calcination conditions*. *Materials Characterization*, 2007, 58: 1217-1228.
- [2] Huges D. i in., *Calcination of Roman cement: A pilot study using cement-stones from Whitby*. *Construction and Building Materials*, 2008, 22: 1446-1455.
- [3] Davidovits J., *Ancient and Modern Concretes: What is the Real Difference*. *Concrete International*, 1987, 23-29.
- [4] Wala D., Rosiek G., *Zaczyny i zaprawy na bazie alkalizowanych wypalonych minerałów ilastych*. *Ceramika/Ceramics*, 2003, 80: 663-668.
- [5] Rosiek G., Wala D., *Właściwości mechaniczne i odporność korozyjna geopolimerowych kompozytów*. *Inżynieria Materiałowa*, 2007, 27(5): 857-862.

---

\* Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

---

## Streszczenie

Wapienne spoiwo, kompozycja podobna do rzymskich cementów, było zsyntetyzowane w temperaturach 900, 1000, 1100°C używając węgla wapnia (odczynnik) i surowców gliniastych (kaolin lub glina, glina kamionkowa, odpowiednio do składu chemicznego i mineralogicznego). Aby regulować czas wiązania użyto gipsu. Otrzymane spoiwa zostały użyte do przygotowania zaprawy murarskiej, gdzie stosunek spoiwa do kruszywa wynosił 1 do 3. Wypełniaczem był piasek kwarcowy o wielkości ziarna mniej niż 1 mm. Dla tych zapraw murarskich określono: wytrzymałość na zginanie i na ściskanie, gęstość, otwartą porowatość. Wytrzymałość na ściskanie zapraw murarskich, testowana po 65 dniach, zależnie od typu surowca, użytej gliny i temperatury wypalania spoiwa, wynosiła w zakresie 3,8 – 33 MPa. Najwyższa wytrzymałość została uzyskana dla spoiwa na bazie kaolinu, przy wypalaniu w temperaturze 900°C i z dodatkiem gipsu. Kolor wypalonych spoiw zmieniał się od ceglastej czerwieni do kremowego.

## Abstract

Lime binder, a composition similar to the Roman cements was synthesized at temperatures of 900, 1000, 1100°C using calcium carbonate (reagent) and clayey raw materials (kaolin, or clay, stoneware clay, depending on their chemical and mineral composition). Gypsum was used to adjust setting time. The obtained binders were used to prepare mortar, where the ratio of binder to the aggregate was 1 to 3. The filler was quartz sand of grain size less than 1 mm. For the mortars the following features were determined: bending strength and compressive strength, density, open porosity. Compressive strength of mortars, tested after 65 days, depending on the type of raw material, the clay used and the temperature of burning of binders, ranged 3.8 – 33 MPa. The highest strength was obtained for the kaolin-based binder, burned at the temperature 900°C and with an addition of gypsum. The color of burned binders changed from brick red to cream-white.

Piotr Targowski\*, Bogumiła J. Rouba\*\*, Paweł Karaszewicz\*\*\*  
Magdalena Iwanicka\*\*, Ludmiła Tymińska-Widmer\*\*, Teresa Łękawa-Wysłouch\*\*  
Ewa A. Kwiatkowska\*, Marcin Sylwestrzak\*

## Optyczna Koherentna Tomografia OCT – nowe narzędzie do działań konserwatorskich i inwentaryzacyjnych

### Optical Coherence Tomography OCT – a novel tool for art conservation and cataloguing

#### 1. Wstęp

Tomografia optyczna z wykorzystaniem interferometrii światła częściowo spójnego, zwana często koherentną tomografią optyczną albo oznaczana angielskim skrótem OCT (od *Optical Coherence Tomography*) jest nieinwazyjną, wywodzącą się z diagnostyki medycznej, metodą badania struktury wewnętrznej obiektów częściowo przezroczystych dla światła z zakresu podczerwieni. Po raz pierwszy metoda ta została zaproponowana przez Huanga i in. [1] w 1994 roku dla okulistyki i w tej dziedzinie znajduje nadal najwięcej zastosowań. Niemniej jednak postęp w zakresie dostępnych źródeł światła, z których wiele jest obecnie konstruowanych specjalnie dla potrzeb OCT, technik detekcyjnych oraz szybkości przetwarzania danych spowodował dynamiczny rozwój tej metody badawczej również w kierunku poszerzenia jej zastosowań o aspekty niemedyce. Pomijając szczegóły można stwierdzić, że postęp ten wyraził się w kilkuset już krotnym skróceniu czasu badania i we wzroście czułości metody o ponad 20 dB. Ten drugi czynnik ma szczególne znaczenie w przypadku badań struktury przedmiotów tylko częściowo przezroczystych dla promieniowania sondującego. Warto nadmienić, że współczesne tomografy OCT dla zobrazowania budowy obiektu wymagają jedynie, aby  $1/10^{10}$  część światła naświetlającego powróciła do detektora. Ważne jest przy tym, że natężenia stosowanego promieniowania nie przekraczają kilku miliwatów.

#### 1. Introduction

Layer scanning with utilization of interferometry of partly coherent light, often called coherent optical scanning (tomography) or marked with English abbreviation OCT (from *Optical Coherence Tomography*) is a non-invasive method of investigation of internal structure of objects partly transparent for light from the range of infra-red radiation, which has its roots in medical diagnosing. This method was proposed first by Huang et al. [1] in 1994 for ophthalmology and it is still most used in this field. However, dynamic development of this investigative method, also in the direction of expanding the method onto non-medical scientific aspects, was caused by the progress in the range of accessible sources of light, out of which many were especially constructed for the needs of OCT, the progress in detection techniques and speed of data processing. Neglecting the details one can say that this progress has already become fruitful by shortening the time of investigation many hundreds times and by the growth of sensitivity of the method by over 20 dB. This second factor has special meaning in the case of investigations of the structure of objects only partly transparent to the probing radiation. It is worth mentioning that modern OCT scanners need that only  $1/10^{10}$  of the light projected at the piece be reflected back to the detector to have the building imaged. It is also important that the intensity of radiation applied does not exceed several milliwatts.

Koherentna tomografia optyczna jest więc metodą pozwalającą na uzyskanie obrazu przekroju obiektu przynajmniej częściowo przezroczystego dla stosowanego promieniowania w sposób szybki, nieinwazyjny, bezkontaktowy i z mikrometrową rozdzielczością. Może więc być stosowana wielokrotnie i w wielu miejscach obiektu. Ponieważ badanie odbywa się z użyciem światła rozproszonego wstecz, można również analizować strukturę częściowo przezroczystych warstw przypowierzchniowych obiektów na podłożu całkowicie nieprzezroczystym, takich jak warstwy lakierów lub werniksów na drewnie. Wprowadzenie metody koherentnej tomografii optycznej do diagnostyki konserwatorskiej zostało zaproponowane przez autorów niniejszego artykułu w 2002 roku [2]. Od tego czasu ukazało się na świecie ponad 50 publikacji o różnorodnych zastosowaniach OCT w konserwacji i inwentaryzacji zabytków [3]. W większości doniesień technika ta wykorzystywana jest do badania struktury wewnętrznej dzieła sztuki w celu oceny jego stanu zachowania, szczegółów warsztatu twórcy, rozpoznania i oceny stanu wcześniejszych konserwacji itp. [4, 5]. Pozostałe prace dotyczą zastosowania tomografii optycznej do monitorowania prowadzonych zabiegów konserwatorskich w czasie rzeczywistym oraz reakcji obiektu na zmiany parametrów środowiska jego przechowywania.

W prezentowanym artykule na przykładzie urządzenia skonstruowanego na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika zostaną omówione podstawowe własności tomografu oraz zaprezentowane przykłady zastosowań tomografii OCT, rozwijane w naszym Zespole.

## 2. Spektralny tomograf OCT do zastosowań konserwatorskich

Dzięki wsparciu grantowemu<sup>1</sup> w Instytucie Fizyki UMK został skonstruowany spektralny tomograf OCT [6] (rys. 1), zaprojektowany specjalnie dla zastosowań konserwatorskich. Jest to urządzenie mobilne tj. zdolne również do pracy poza laboratorium macierzystym i o wysokiej rozdzielczości osiowej.

Zasada działania tomografu OCT polega na przetworzeniu informacji niesionej przez światło rozproszone w kierunku wstecznym na nieciągłościach

Coherent optical scanning is then the method allowing to obtain the image of the section of an object at least partly transparent to the applied radiation in the quick, non-invasive, non-contact way and with micrometer resolution. So it may be applied many times and in many places of the object. Because the investigation is carried out with the use of back scattered light, it can also analyze the structure of partly transparent superficial layers of objects whose base is entirely non-transparent, such as layers of varnishes on wood. Introducing the method of coherent optical scanning to the conservator's diagnostics was proposed by the authors of this article in 2002 [2]. Since then there have appeared in the world above 50 publication about varied applications of OCT in conservation and cataloguing of relics [3]. In the majority reports this technique is used for the investigation of the internal structure of the work of art, in order to assess its condition of preservation, to find out the details of the artist's workshop, recognition and assessment of the condition of earlier carried out conservator's works etc. [4, 5]. The remaining works relate to the applications of optical scanning for monitoring in real time the conservator's operations being carried out and the reaction of the object to the changes of parameters of its environment of storage.

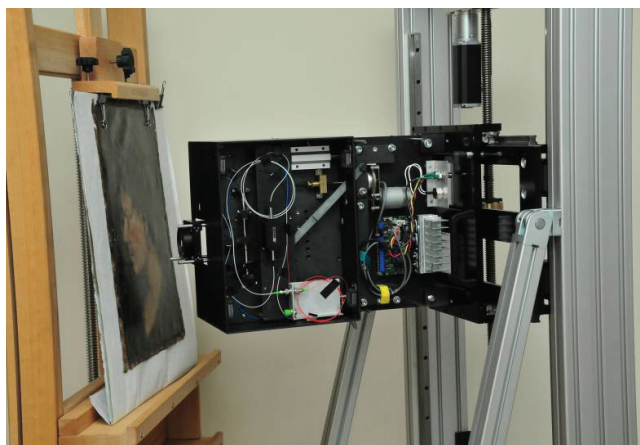
Basic properties of the scanner and the presented applications of OCT tomography, being further developed by our team, will be discussed in this article on the example of the device constructed at Nicolaus Copernik University.

## 2. Spectral OCT scanner for conservator's applications

Thanks to the financial grant<sup>1</sup> at The Institute of Physics UMK a spectral OCT scanner was constructed [6] (fig. 1), especially designed for conservator's applications.

This is a mobile device i.e. it may be used also to the work beyond the mother laboratory and it possesses high axial resolution.

The principle of working of the OCT scanner consists in processing information carried by the light back scattered on the discontinuities of the struc-



Rys. 1. Spektralny tomograf optyczny wykorzystywany do badań dzieł sztuki

Fig. 1. Spectral OCT instrument used for examination of objects of art

struktury badanego obiektu na obraz jego przekroju. W tym celu wąski promień światła podczerwonego o małym natężeniu sonduje obiekt prostopadle do powierzchni. Przesuwając promień równolegle, wzdłuż wybranej linii, uzyskuje się obraz przekroju badanej struktury (który nazywa się, przez analogię do ultrasonografii, B-skanem). Powtarzając tę procedurę wielokrotnie, wzdłuż równoległych linii, otrzymuje się zbiór B-skanów zawierający informację o trójwymiarowej – przestrzennej budowie przedmiotu. Szczegółowy opis konstrukcji i właściwości wszelkich odmian urządzeń OCT jest szeroko dostępny w literaturze przedmiotu (obszerne omówienie zawiera na przykład świeżo wydana monografia pod redakcją Fujimoto [7]), zaś przegląd zastosowań do badań materiałowych można znaleźć w artykule Stiftera [8]. Zestawienie wszystkich dotąd opublikowanych na świecie doniesień dotyczących wykorzystania tomografii optycznej do badań dzieł sztuki i w ich konserwacji, często wraz ze swobodnie dostępnymi źródłami w języku angielskim i polskim, zawiera witryna internetowa [www.oct4art.eu](http://www.oct4art.eu) [3].

Skonstruowany w naszym Zespole spektralny tomograf optyczny charakteryzuje się następującymi parametrami: osiowa (w głąb) zdolność rozdzielcza jest równa  $4.5\ \mu\text{m}$  w powietrzu (w materiale, np. w werniksie jest ona 1,4 razy lepsza) przy maksymalnym zasięgu obrazowania w głąb do 2 mm. Poprzeczna zdolność rozdzielcza wynosi ok.  $30\ \mu\text{m}$ , a materia zabytkowa jest naświetlana promieniowaniem podczerwonym z zakresu 790–900 nm o bezpiecznym natężeniu 0,6–1,5 mW. Czulość tomografu wynosi 108 dB, a czas pomiaru pojedynczego przekroju (B-skanu): ok. 0,2 s.

Tomogramy prezentowane są w postaci obrazów w tzw. skali „fałszywych” kolorów. Oznacza to, że barwy od czarnej, poprzez odcienie szarości do białej<sup>2</sup> kodują różną intensywność rozproszonego światła. Ośrodki nierozpraszające, czyli przepuszczające światło w głąb (takie jak np. powietrze, szkło lub czysty werniks), widoczne są więc jako czarne, natomiast ośrodki rozpraszające (np. pigmentowane werniksy, warstwy malarskie) przybierają na tomogramach różne odcienie szarości. Największa intensywność rozproszonego światła charakteryzuje granice pomiędzy ośrodkami znacznie różniącymi się współczynnikami załamania światła.

### 3. OCT w badaniach strukturalnych

Analiza budowy stratygraficznej dzieła sztuki jest ważnym etapem badań konserwatorskich. Poprzez ustalenie ilości warstw, ich grubości, ciągłości, a ostatecznie także składu chemicznego, możliwe staje

ture of the studied object to obtain the image of its section. To achieve this a narrow beam of infrared light of low intensity probes the object perpendicularly to its surface. By passing the beam in parallel directions, along the chosen line, an image of the section of the studied structure is obtained (which is called B-scan, by analog to ultrasonography). Repeating this procedure many times, along parallel lines, a set of B-scans is obtained, which contains the information about three-dimensional – spatial construction of the object. The detailed description of the construction and the features of the all versions of the OCT devices is wide accessible in the literature of the object (an extensive discussion is contained for example in the newly issued monograph under Fujimoto edition [7]), meanwhile one can find the review of applications for material investigations in the article by Stifter [8]. The list of all the reports published so far in the world, relating to application of optical scanning for the investigations of the works of art and in their conservation, often together with freely accessible sources in English and Polish, is available at the Internet site [www.oct4art.eu](http://www.oct4art.eu) [3].

The spectral optical scanner constructed by our team features the following parameters: axial (in depth) resolution is  $4.5\ \mu\text{m}$  in the air (in the material, e.g. in the varnish it is 1.4 times better) at maximum range of imaging in depth up to 2 mm. Transverse resolution is approx.  $30\ \mu\text{m}$ , and the antique matter is exposed to infra-red radiation of the 790–900 nm range, of safe intensity 0.6–1.5 mW. The sensitivity of the tomograph is 108 dB, and the time of the measurement of a single section (B-scan): approx. 0.2 s.

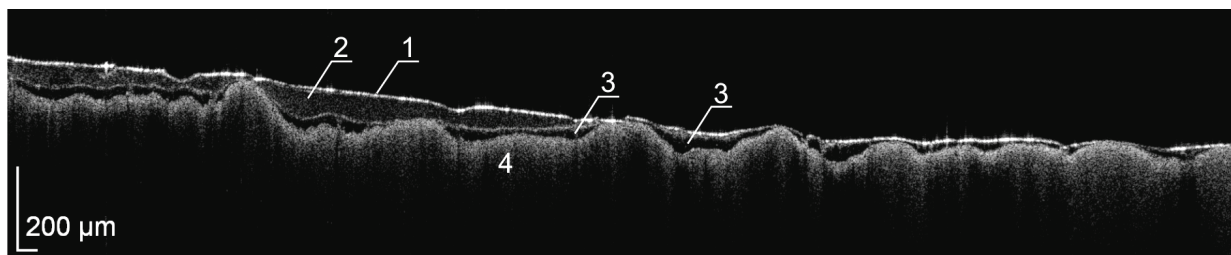
The tomographs are presented in the form of images in the so-called scale of ‘false’ colors. This means that the colors, from black through a variety of grey to white<sup>2</sup> code various intensity of the scattered light. The media non-scattering, that is letting the light through, in depth (such as e.g. air, glass or clear varnish), are then visible as black, whereas the medias scattering light (e.g. pigmented varnishes, painters' layers) take on the tomographs various hues of grey. The highest intensity of scattered light characterizes the boundaries between the media with considerably different coefficients of the light refraction.

### 3. OCT in structural investigations

Analysis of stratigraphic build of the work of art is an important stage of conservator's investigations. By establishing the number of layers, their thickness, continuity, and finally also their chemi-

się rozpoznanie techniki wykonania, historii oraz autentyczności obiektu zabytkowego.

Przykład tego typu struktury widoczny jest na tomogramie OCT przedstawionym na rys. 2. Składa się on z pionowych linii, tzw. A-skanów obrazujących położenie centrów rozpraszania wzdłuż drogi promienia sondującego. Ponieważ pada on na badany obiekt od góry, pierwszą wyraźnie widoczną na tomogramie linią jest granica powietrze – powierzchnia badanego przedmiotu. W przypadku obrazów sztalugowych, zazwyczaj jest to powierzchnia werniksu.



Rys. 2. Tomogram OCT uzyskany ze skanowania XIX w. obrazu olejnego na płótnie („Portret kobiety”, własność prywatna). Od góry kolejno widoczna jest powierzchnia obrazu (1), warstwa werniksu częściowo rozpraszającego światło (2), warstwa przezroczystego werniksu (3), nieprzezroczysta warstwa malarska (4)

Fig. 2. An OCT tomograph of the 19th C. oil painting on canvas (*Portrait of the woman*, private collection). The first line visible from the top is the painting's surface (1), then the layer of varnish which is moderately scattering probing light (2), then transparent varnish (3) and opaque paint layer (4)

Kolejne obserwowane warstwy przezroczyste (jak laserunki), półprzezroczyste (niektóre warstwy malarskie) lub kryjące, w różnym stopniu rozpraszają i przepuszczają światło, tworząc obraz struktury obiektu. Warstwa najniżej widoczna na tomogramie OCT jest zarazem pierwszą o właściwościach kryjących.

W przypadku tomogramu uzyskanego w wyniku badania XIX-wiecznego obrazu olejnego na płótnie (rys. 2), zasięg wierzchniego, silnie rozpraszającego światło (barwionego?) werniksu wyraźnie ograniczony jest do partii zobrazowanej po lewej stronie. Pod nim, na całym badanym obszarze zaobserwować można cieńszą warstwę werniksu nie rozpraszającego światła. Fakt istnienia wyraźnej granicy pomiędzy dwiema warstwami, jak również różny stopień rozpraszania światła przez obie warstwy, pozwala przypuszczać, że mamy do czynienia z dwoma rodzajami werniksu, różniącymi się współczynnikiem załamania światła. Warstwy te najprawdopodobniej pochodzą z różnych faz chronologicznych. Położona pod nimi warstwa malarska jest kryjąca. Świadczy o tym silny, zanikający stopniowo w dół, sygnał od wielokrotnego rozproszenia. Uniemożliwia to ustalenie zasięgu tej warstwy jak też głębszej budowy obiektu.

W obrębie badań strukturalnych tomografia optyczna bywa też niekiedy interesującym narzędziem do lokalizowania wczesnych stadiów rozwarstwień i odspojień, jak również określania ich zasięgu [6, 9].

cal analysis, it becomes possible to recognize the technique of realization, history and authenticity of an antique object.

The example of this type of structure can be seen on an OCT tomograph introduced on fig. 2. It consists of perpendicular lines, so-called A-scans, illustrating the positions of the centers of scattering, along the way of the probing beam. Because it falls upon the studied object from the top, the first line clearly visible on the tomograph is the boundary air – surface of the studied object. In the case of the easel paintings, usually it is the surface of varnish.

The following observed layers: transparent (such as glaze), semi-transparent (some painters' layers) or covering, in various extent scatter and let through light, creating the image of the structure of the object. The lowest visible layer on the OCT tomograph is also the first one of covering properties.

In the case of the tomograph obtained in the result of the investigation of XIX C. oil painting on canvas (fig. 2), the range of the top, strongly scattering light (dyed?) varnish is clearly limited to the part pictured on the left side. Underneath one can observe a thinner layer of varnish not scattering light, on the whole studied area. The fact of existence of clear boundary between the two layers, and also the various extent of light scattering by both layers, lets us suppose that we are dealing with two kinds of varnish, of different coefficient of light refraction. These layers most probably come from various chronological phases. The paint layer laid underneath is a covering one. Strong signal from multiple scattering, gradually disappearing when going downwards, testifies about this. This makes impossible establishing the reach of this layer, and also deeper going build of the object.

Within structural investigations optical scanning sometimes tends to be also an interesting tool for locating early stages of layer-splitting and detaching, as well as determining their range [6, 9].



Dane objętościowe (3D) mogą zostać wykorzystane do cyfrowego odtworzenia nie tylko kształtu zewnętrznej powierzchni obiektu, ale też powierzchni pokrytych przezroczystymi powłokami [10, 11].

Warto tu zwrócić uwagę, że sposób prezentacji danych uzyskanych techniką OCT, dzięki analogii do klasycznej mikrofotografii przekrojów materii zabytkowej, należy uznać za przyjazny dla użytkownika – konserwatora dzieł sztuki. Tomogramy OCT są stosunkowo prostymi w odbiorze obrazami przekrojów materii badanego obiektu, jednakże należy być świadomym pewnych różnic występujących między obrazem OCT, a mikrofotografią. Oprócz stosowanej w OCT skali „fałszywych” kolorów, odmienna jest dopuszczalna wielkość badanego obszaru. W OCT możliwe jest w jednym pomiarze zobrazowanie nawet kilkunastomilimetrowego obszaru eksponatu, podczas gdy rozmiary pobranej próbki rzadko przekraczają 1–2 mm. Poza tym, rozdzielczość osiowa tomografu jest zazwyczaj lepsza od poprzecznej, tomogramy są więc zwykle rozciągane w kierunku pionowym w celu czytelniejszego. Wówczas skala pionowa i pozioma na obrazie OCT nie są sobie równe. W niektórych sytuacjach dochodzi wreszcie do powstania pewnych niewielkich i przewidywalnych zniekształceń obrazu, spowodowanych refrakcją (możliwych do korekcji numerycznej).

#### **4. OCT jako narzędzie wspomagające ocenę autentyczności obiektów**

Jednym z pierwszych zastosowań OCT w badaniu dzieł sztuki było wykorzystanie tej techniki do rozróżniania naturalnie i sztucznie starzonych obiektów z jaspitu charakteryzujących się różną morfologią a tym samym przeświecalnością dla promieniowania podczerwonego [12]. Na podobnej zasadzie za pomocą OCT można w prosty sposób odróżnić prawdziwą porcelanę od innych wyrobów ceramicznych [5]. Także w przypadku obrazów sztalugowych o skomplikowanej budowie, gdy inne metody badań: w podczerwieni, promieniach Rentgena czy obserwacja fluorescencji lica wzbudzonej UV, wskazują na burzliwą historię obiektu i liczne ślady interwencji w jego strukturę (obecność przemalowań, retuszy, wtórnych werniksów), precyzyjne określenie położenia poszczególnych fragmentów warstwy malarzkiej w strukturze obrazu za pomocą OCT może pomóc rozstrzygnąć wiele kwestii związanych z historią, a także autentycznością dzieła sztuki.

The volumetric data (3D) can be used for digital reproducing not only the shape of the external surface of the object, but also of the surfaces covered with transparent layers [10, 11].

It is worth pointing out that, thanks to its analog to the classic microphotography of the sections of the antique matter, the way of presenting the data obtained by the OCT technique should be recognized as user friendly for the conservator of the works of art. The OCT tomographs are relatively simple in perception images of the sections of the matter of the object studied, yet one should be aware of certain differences between an OCT image and a microphotography. In addition to the applied in OCT scale of 'false' colors, there is also different admissible size of the studied area. In OCT it is possible to image in one measurement even a dozen or so millimeter area of the exhibit, while the sizes of the taken sample seldom are bigger than 1–2 mm. Besides, the axial resolution of the scanner is usually better than transverse resolution, so the tomographs are usually stretched in the vertical direction in order to make them better legible. Then the vertical and horizontal scale in the OCT image are not the same. Finally, in some cases there occurs certain small and foreseeable distortion of the image, caused by refraction (which is possible to be numerically corrected).

#### **4. OCT as a supportive tool for assessment of authenticity of objects**

One of the earliest applications of OCT in the investigation of the works of art was utilization of this technique in order to distinguish the artificially aged objects made from jadeite from those naturally aged, which are characterized by different morphology and the same by different translucence to the infra-red radiation [12]. One the similar principle one can in easily distinguish true china from other ceramic articles, using OCT [5]. Also in the case of easel paintings of a complex structure, when other methods of investigations, those in infra-red radiation, with X-rays apparatus, or by observation of the fluorescence of the painting face excited by UV, show that the object had a stormy history and has numerous traces of intervention in its structure (presence of repainting, retouching, secondary varnishes), precise qualification of the position of the individual fragments of the paint layer in the structure of painting using the OCT method can help sort out many doubts connected with history, and also the authenticity of the work of art.

Możliwość uzyskiwania w całkowicie nieinwazyjny sposób obrazów przekrojów stratygraficznych okazała się być szczególnie przydatna do precyzyjnego ustalenia kolejności warstw malarzkich i werniksów w nietykalnych rejonach inskrypcji i sygnatur. W tych miejscach pobieranie próbek czy wykonywanie odkrywek nie jest praktykowane ze względów etycznych. Badanie OCT pozwala stwierdzić na przykład, czy sygnatura leży na warstwie oryginalnego werniksu albo na jego pozostałościach. Ocena taka jest możliwa nawet gdy obraz dodatkowo został pokryty „postarzającym” lakierem, który w standardowym badaniu fluorescencji powierzchni obrazu w UV, ze względu na bardzo silną luminescencję, może całkowicie ukryć fałszerstwo [10].

Ciekawego przykładu wykorzystania OCT do ustalenia kolejności warstw w obrębie historycznych inskrypcji dostarczyło badanie [13] obrazu na płótnie pochodzącego z kościoła klasztornego oo. Franciszkanów w Pakości, przedstawiającego św. Leonarda z Porto Maurizio<sup>3</sup>. W trzech inskrypcjach obecnych na obrazie – *St. Leonard, 1797* oraz zakryty przemalowaniem i grubą warstwą wtórnych werniksów napis *B. Leonardus d.(a?) Maurizio* – utrwalona była nie tylko materialna historia dzieła sztuki, ale także droga do świętości Leonarda. Obraz był przynajmniej trzykrotnie odnawiany. Badania OCT wykazały jednoznacznie, że imię świętego domalowano podczas ostatniej konserwacji, która miała miejsce po kanonizacji Leonarda, czyli po 1867 roku. Napis, o którym mowa został wykonany kryjącą farbą słabo pochłaniającą i w znacznym stopniu rozpraszającą promieniowanie podczerwone. Należy on do ostatniej warstwy chronologicznej leżącej na kilku warstwach wtórnych werniksów (rys. 3a). Następnie, analizując tomogram wykonany w strefie napisu *B. Leonardus d.(a?) Maurizio*, udało się ustalić, że w tej samej fazie zamalowana została wcześniejsza inskrypcja określająca Leonarda jako błogosławionego, należąca do pierwszej warstwy chronologicznej. Leonard beatyfikowany został w 1796 roku, tak więc data 1797 jest prawdopodobnie datą powstania obrazu.

Na rysunku 3b widoczny jest silny sygnał odpowiadający warstwie malarzkiej daty 1797, która położona jest głęboko pod powierzchnią obrazu. Na tej podstawie można domniemać, że widoczna warstwa należy do zdecydowanie wcześniejszej fazy chronologicznej niż inskrypcja *St. Leonard*.

Analiza wzajemnych relacji między warstwami werniksów i inskrypcji w powiązaniu z historią św. Leonarda pomogła w uściśleniu daty

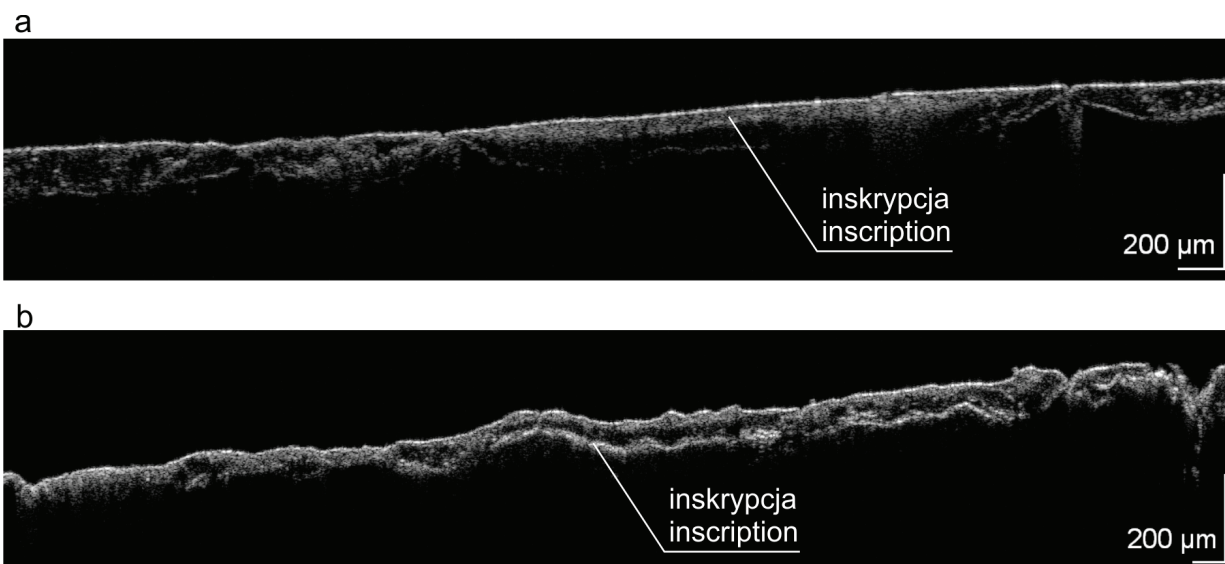
The possibility of obtaining in entirely non-invasive way the images of stratigraphic sections has proved to be particularly useful for precise settlement the order of painters' layers and varnishes in the inviolable regions of the inscriptions and signatures. In these places taking samples or making strip uncovering is not practised due to ethical regards. The investigation with OCT lets to confirm for example if the signature lies on the layer of the original varnish or on his remainders. Such assessment is possible even when the painting was additionally covered with the 'making look old' varnish, which in the standard investigation of the fluorescence of the surface of the painting in UV, because of the very strong luminescence, can entirely conceal the falsification [10].

The investigation of the painting on canvas, coming from the monastic church of Franciscan Friars in Pakość, representing St. Leonard from Porto Maurizio<sup>3</sup>, carried out in order to find out the order of layers in the area of historical inscription, provided an interesting example of utilization of OCT [13]. In three inscriptions present on the painting – *St. Leonard, 1797* and covered by repainting and a thick layer of secondary varnishes inscription *B. Leonardus d.(a?)Maurizio* – there was fixed not only material history of the work of art, but also the road to Leonard's holiness. The painting had been at least three times renovated.

The investigations with OCT showed unambiguously that the name of the saint was painted on during the last conservation, which took place after canonization of Leonard, that is after 1867. The mentioned inscription was made with a covering paint, absorbing faintly and in a considerable extent scattering infra-red radiation. It belongs to the last chronological layer lying on several layers of secondary varnishes (fig. 3a). Then, by analyzing the tomograph made in the zone of the inscription *B. Leonardus d.(a?)Maurizio*, it was possible to find out that at the same phase, the earlier inscription defining Leonard as blessed, belonging to the first chronological layer, was over-painted. Leonard was beatified in 1796, so now the date 1797 is probably the date the painting came to being.

There is a strong signal visible on the Fig. 3b, corresponding to the paint layer of the date 1797, which is laid deep under the surface of the painting. One can allege on this basis that the visible layer belongs to decidedly earlier chronological phase than the inscription *St. Leonard*.

The analysis of mutual relations between the layers of varnishes and the inscription in connection with the history of St. Leonard helped in



Rys. 3. Tomogramy uzyskane ze skanowania XVIII w. obrazu olejnego na płótnie („Św. Leonard z Porto Maurizio”, własność klasztoru oo. Franciszkanów w Pakości). Widoczna różnica w lokalizacji warstwy malarskiej inskrypcji w partii imienia „St. Leonard” (a) oraz daty „1797” (b)

Fig. 3. OCT tomographs of the 18th C. oil painting on canvas ('Saint Leonard of Porto Maurizio', property of the Franciscan Monastery in Pakość). The difference in location of paint layer of inscriptions: 'St. Leonard' (a) and the date '1797' (b) is evident

wania obrazu i jego kolejnych aktualizujących przekształceń.

specifying the date of painting and its further actualizing transformations.

### 5. „Absolutna” stratygrafia LIBS z wykorzystaniem OCT

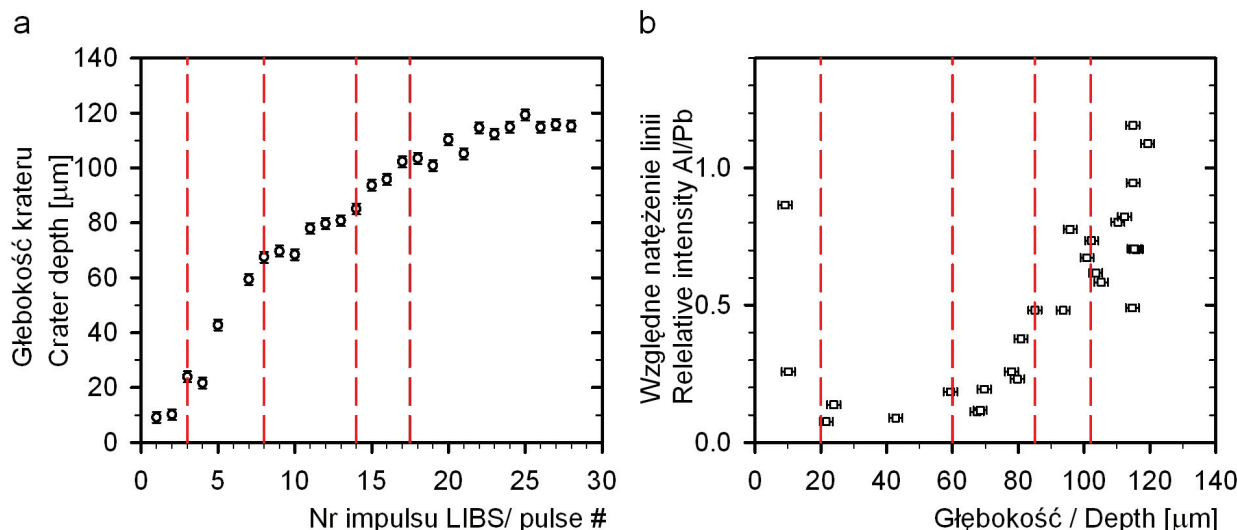
### 5. 'Absolute' stratigraphy LIBS with utilization of OCT

LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) jest metodą analityczną pozwalającą określić skład pierwiastkowy badanego materiału poprzez analizę widma fluorescencji plazmy powstałej w wyniku ablacji mikrokrateru z użyciem krótkich impulsów laserowych (10 ns). Szczególną odmianą tej techniki jest tzw. stratygrafia LIBS. W tym przypadku energia impulsów laserowych jest dobierana w taki sposób, aby po każdym impulsie lasera ablacji ulegała jedynie cienka warstewka materiału. Wówczas analiza kolejno rejestrowanych widm fluorescencji plazmy pochodzących z tego samego krateru pozwala wyodrębnić pierwiastki charakterystyczne dla kolejnych warstw obiektu. W konsekwencji możliwa jest identyfikacja obecnych w warstwie związków chemicznych, a tym samym konkretnych pigmentów. Jest to szczególnie ważne podczas badania eksponatów o złożonej, wielowarstwowej budowie, takich jak obrazy na płótnie.

Niedogodnością klasycznej metody stratygrafii LIBS jest brak informacji o głębokości krateru, z którego pochodzi plazma. Dodatkowo, różna odporność poszczególnych warstw sprawia, że pogłębianie krateru nie zachodzi równomiernie. Uniemożliwia to „absolutne” (w mikrometrach) wyskalowanie uzyskanego profilu koncentracji pierwiastków.

LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) is the analytic method letting to determine the chemical analysis of the studied material by analyzing the fluorescence spectrum of plasma formed in the result of ablation of a micro-crater with application of short laser impulses (10 ns). So-called LIBS stratigraphy is a special modification of this technique. In this case the energy of laser impulses is chosen in such a way that only a thin layer of material undergoes ablation after each laser impulse. Then the analysis of fluorescence spectra of plasma, coming from the same crater, recorded one by one, enables to distinguish chemical elements characteristic for sequential layers of the object. In the consequence it is possible to identify the chemical compounds present in the layer, which means identifying individual pigments. This is especially important while studying exhibits of complex, many-layered build, such as paintings on canvas.

Lack of information about the depth of the crater from which the plasma comes is an inconvenience of the classic method LIBS stratigraphy. Additionally, different resistance of individual layers causes that deepening of the crater does not go ahead evenly. This makes 'absolute' (in micrometers) assigning a scale to the obtained profile of concentration of chemical elements impossible.



Rys. 4. Absolutna stratygrafia LIBS z wykorzystaniem OCT obrazu olejnego na płótnie „Madonna z Dzieciątkiem” – XVIII w. (?). (a) Głębokość krateru ablacynego, z którego dna pochodzi analizowana plazma, wyznaczona za pomocą OCT. (b) Absolutny profil LIBS układu warstw malarskich. Widoczna warstwa werniksu (0–20 μm), przemalowanie II (20–60 μm), kryjące przemalowanie I (60–83 μm), oryginalna warstwa malarska (83–102 μm) oraz bogata w glin warstwa zaprawy (poniżej 102 μm)

Fig. 4. Absolute LIBS stratigraphy with the use of OCT of 'Virgin with Child' – oil on canvas, 18th C. (?). (a) Depth of ablation crater, the source of plasma, as determined by OCT. (b) Absolute LIBS profile of paintings strata. Following layers are visible: varnish (0–20 μm), 2<sup>nd</sup> overpainting (20–60 μm), covering the 1<sup>st</sup> overpainting (60–83 μm), original paint layer (83–102 μm), and prime layer rich in aluminum (below 102 μm)

Zaproponowane przez nasz zespół we współpracy z grupą prof. J. Marcza z Instytutu Optoelektroniki WAT [14] zastosowanie tomografii optycznej do monitorowania tego procesu usuwa powyższą niedogodność. Dzięki OCT możliwe jest bezwzględne określenie głębokości, z jakiej pochodzi analizowana plazma (rys. 4a). Dodatkowo, często możliwe jest bezpośrednio wyznaczenie grubości i zasięgu warstw technologicznych na podstawie różnic w szybkości ablacji (pionowe przerywane linie na rys. 4a). Uzyskana informacja może posłużyć do bezwzględnego wyskalowania danych LIBS. Na rysunku 4b przedstawiony jest przykład takiego rezultatu w postaci stosunku natężeń linii (Al 394 nm do Pb 405 nm).

W miejscu badania koncentracja ołowiu jest zbliżona we wszystkich warstwach i służy właściwej normalizacji wyników. Jak widać, związki glinu są nieobecne w drugim przemalowaniu (warstwa 20–60 μm), natomiast warstwa zaprawy (poniżej 102 μm) jest szczególnie bogata w ten pierwiastek.

Dodatkowo za pomocą OCT można, analizując grubość i kompozycję warstwy malarskiej w miejscu planowanego badania LIBS, poprzez świadomy wybór interesujących partii obiektu, ograniczyć do minimum ingerencję w jego strukturę. Można też na przykład od razu wykryć i wykluczyć miejsca wcześniejszych ingerencji konserwatorskich.

Application of optical tomography for monitoring this process proposed by our team in the co-operation with the group of professor J. Marczak from The Institute of Optoelectronics WAT [14] removes the above mentioned inconvenience. Thanks to OCT it is possible to determine absolute depth from which the analyzed plasma comes (fig. 4a). Additionally, determining of thickness and reach of technological layers on the basis of differences in the ablation rate (vertical intermittent lines on fig. 4a) is often directly possible. The obtained information can be used for absolute assigning a scale to the LIBS data. In the fig. 4b an example of such result in the form of the ratio of the intensities of Al line to Pb line (Al 394 nm to Pb 405 nm) has been presented.

In the place of investigation the concentration of lead is alike in all the layers and serves for proper standardization of the results. As one can see, the aluminum compounds are absent in the second repainting (the layer 20–60 μm), whereas the layer of priming paint (below 102 μm) is particularly rich in this element.

Additionally, using OCT, one can limit interference in the structure to minimum by analyzing the thickness and composition of paint layer in the place of planned LIBS investigation and conscious choice of the interesting parts of the object. One can also, for instance, immediately detect and exclude the places of earlier conservator's interferences.

## 6. Analiza stanu zachowania witraży zabytkowych za pomocą OCT

Koherentna tomografia optyczna oferuje również nowe możliwości w analizie szkła zabytkowego – co więcej, pozwala uzyskiwać informacje niedostępne innymi metodami. Najciekawsze zastosowania OCT znajduje w badaniach procesów korozji szkła – zarówno witrażowego jak i naczyniowego [9, 15]. Procesy te wiążą się z dwoma czynnikami: składem szkła i obecnością wody. W przypadku zrównoważonych proporcji składników szkła (i odpowiednich warunków wilgotnościowych) woda reaguje ze szkłem tak wolno, że nie obserwuje się (z ludzkiej perspektywy patrząc) skutków korozji. Jeżeli jednak równowaga jest naruszona – przede wszystkim przy nadmiarze tlenków metali alkalicznych – rozpoczyna się reakcja pomiędzy tymi tlenkami z utworzeniem najpierw wodorotlenków i wtórnie węglanów jonów pierwiastków alkalicznych. Higroskopijne wodorotlenki wraz z również higroskopijnymi węglanami, adsorbują wodę z otoczenia tworząc stężony roztwór (makroskopowo widoczny jako „płacz szkła”) i reagując z siecią krzemianową rozkładają ją, korodując szkło.

W przypadku szkła witrażowego na zewnątrz budynku tworzą się dwie powłoki korozyjne: dolna, związana z podłożem szklanym, określana jako „warstwa żelowa”, składająca się z porowatej krzemionki oraz górna, powierzchniowa, składająca się z produktów reakcji jonów  $Me^{2+}$  z tlenkami kwasowymi z powietrza – głównie z gipsu. Od strony wewnętrznej konsekwencją reakcji szkła z wodą kondensacyjną są zazwyczaj wżery wypełnione również odszklonym szkłem – krzemionką.

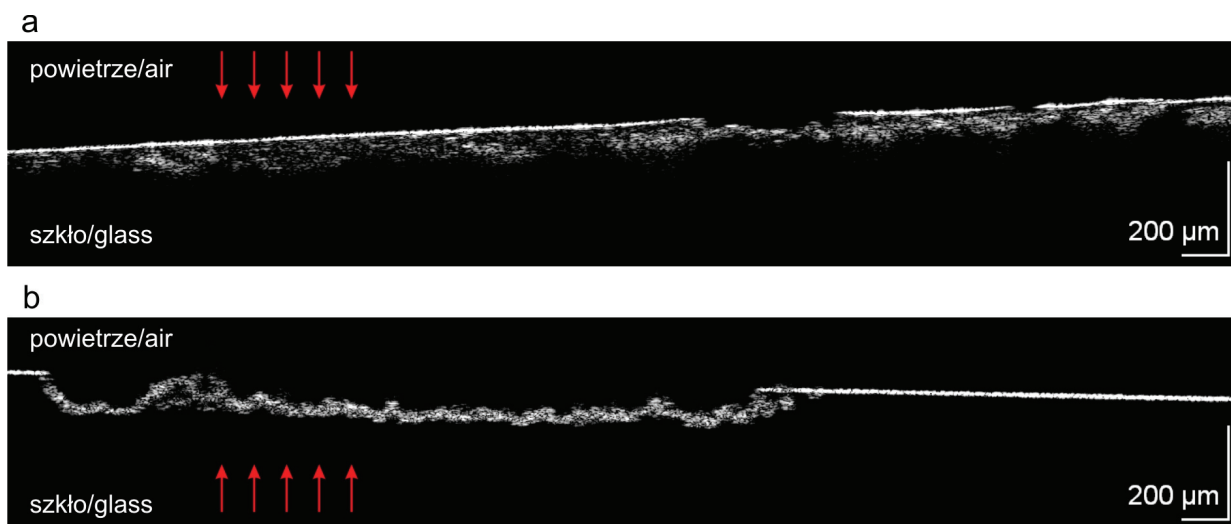
OCT jest jedną z najciekawszych metod służących do badania opisanych zjawisk, gdyż jest całkowicie nieinwazyjna (nie wymaga pobierania próbek), nie jest ograniczona rozmiarami badanych obiektów, nie wymaga specjalnego przygotowania przedmiotu badań oraz, w przypadku szkła, pozwala na rzecz wyjątkową – umożliwia obrazowanie nieprzezroczystych warstw korozyjnych od strony przeświecalnego podłoża. Szczególna wartość OCT na polu badań szkła wynika z możliwości identyfikacji zjawisk korozyjnych na wczesnym etapie ich powstawania. Umożliwia to podjęcie odpowiednich działań prewencyjnych już w początkowym etapie korozji, redukując tym samym szybkość jej zachodzenia. Na rysunku 5a przedstawiony jest przykład badania stanu zachowania próbki średniowiecznego szkła witrażowego. Widoczny jest zasięg warstwy żelowej oraz odspojenie.

## 6. The analysis of the condition of preservation of antique stained-glass windows using OCT

Coherent optical tomography offers also new possibilities in the analysis of the antique glass – what's more, it allows to obtain information inaccessible by other methods. The most interesting application of OCT is in the investigations of the processes of glass corrosion – both stained glass and glassware [9, 15]. These processes are associated with two factors: the composition of the glass and the presence of water. In the case of balanced proportions of the glass components (and corresponding moisture conditions), water reacts with glass so slowly that no corrosion effects may be observed (looking from the human perspective). However, if the equilibrium is disturbed – first of all at the excess of oxides of alkaline metals – there starts reaction of these oxides with creation firstly hydroxides and secondarily carbonates of alkaline elements. Hygroscopic hydroxides together with also hygroscopic carbonates adsorb water from surroundings and form a concentrated solution (macroscopically visible as the ‘crying of the glass’) and then react with the silicate lattice and decompose it, corroding the glass.

In the case of stained glass outside the building there form two corrosive layers: the bottom one, adhered to the glass base, defined as the ‘gelly layer’, consisting of porous silica, and the upper one, superficial, consisting of the products of reaction of  $Me^{2+}$  ions with acidic oxides from the air – mainly of gypsum. Usually from the internal side, as the result of the reaction of glass with condensed water, there form pits, also filled with unglazed glass – silica.

OCT is one of the most interesting methods for investigation of the described phenomena, because it is entirely non-invasive (it does not require taking samples), it is not limited by the sizes of studied objects, it does not require any special preparation of the object for the investigations and, in the case of glass, it allows to carry out an exceptional thing – it makes possible to make image of opaque corrosive layers from the translucent side of base. The special value of OCT in the field of investigations of glass is due to the possibility of identification of corrosive phenomena at an early stage of formation thereof. This makes possible undertaking suitable preventive operations at the initial stage of corrosion, thus reducing the rate of proceeding thereof. In the fig. 5a an example of investigation of the conditions of preservation of a sample of mediaeval stained glass has been presented. The reach of formation of the gelly layer and the detachment is visible.



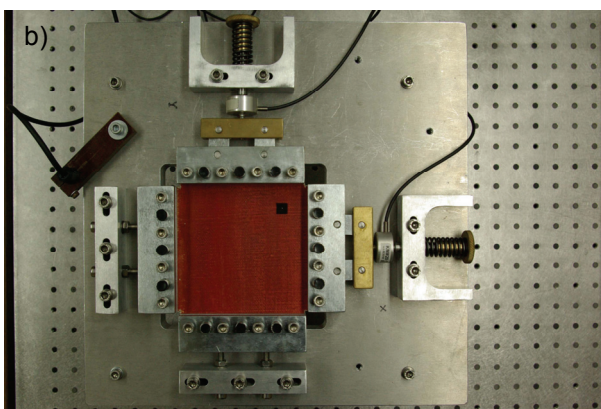
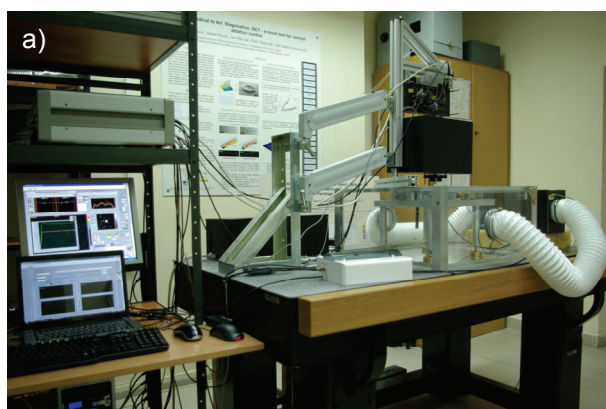
Rys. 5. Tomogramy OCT dwu różnych próbek szkła: (a) szkło witrażowe z zaawansowaną korozją, badanie od strony skorodowanej, (b) szkło z pittingiem, badanie przez warstwę szkła

Fig. 5. OCT tomographs of two different samples of glass: (a) stained glass with advanced corrosion, examined from the corroded side, (b) glass with pitting, examined through the glass layer

Natomiast rysunek 5b przedstawia szkło z mniej zaawansowaną korozją, tzw. pittingiem. W tym przypadku badanie przeprowadzono przez warstwę szkła. W ten sposób zasięg warstwy żelowej w głąb szkła jest dokładniej widoczny.

## 7. OCT jako narzędzie do monitorowania reakcji obiektu na zmianę warunków klimatycznych w jego otoczeniu

Dzięki możliwości odwzorowania kształtu powierzchni, tomografia optyczna jest także narzędziem pozwalającym na badanie obiektów, których warstwy nie są transparentne. Właściwość ta jest wykorzystywana m.in. do monitorowania reakcji malowideł na płótnie, będącej odpowiedzią na wahania warunków klimatycznych, w jakich obraz jest przechowywany<sup>4</sup>.



Rys. 6. (a) Układ pomiarowy do śledzenia reakcji obrazów na płótnie na wahania klimatyczne. (b) Krosno z tensometrami z zamontowaną pośrodku próbką, stosowane do monitorowania wpływu zmian klimatycznych na malowidła na płótnie

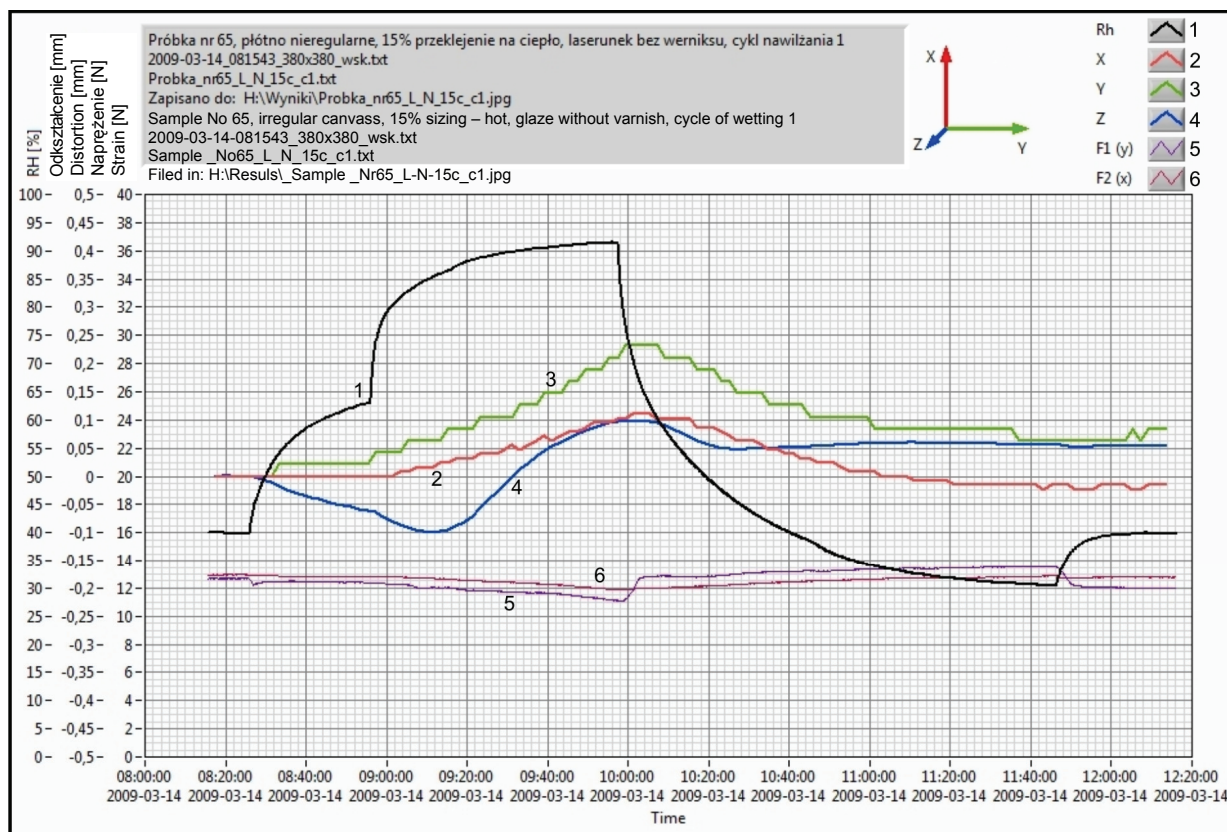
Fig. 6. (a) Installation used in tracking the reaction of canvas paintings to the climatic fluctuations. (b) The stretcher with force sensors and a test sample in the centre used for monitoring environmentally-induced changes in multilayer canvas paintings

Przykładowy wykres (rys. 7) obrazuje wyniki badania modelu imitującego obraz w technice wielowarstwowej, z podłożem płóciennym przygotowa-

An example graph (fig. 7) illustrates the results of the investigation of a model imitating a multilayer technique painting, with canvas base pre-

nym wbrew zasadom poprawności technologicznej: o nieregularnej budowie, zaimpregnowanym zbyt mocnym, 15% klejem zaaplikowanym na ciepło. Model obrazu poddano czterogodzinnemu cyklowi nawilżania z późniejszym osuszaniem. Zarejestrowano przesunięcia obserwowanego punktu w trzech kierunkach jednocześnie: X i Y (osnowy i wątku) oraz w kierunku Z, będące natychmiastową reakcją płótna i przeklejenia na wzrost, a następnie spadek wilgotności względnej w komorze klimatycznej.

pared against the principles of technological correctness: of irregular build, impregnated with too concentrated, 15% glue applied hot. The model of the painting was subjected the four-hours' cycle of wetting with consequent drying. There were registered displacements of observed point in three directions simultaneously: X and Y (warp and weft) and in the direction Z, being an immediate reaction of the canvas and sizing to rise and then drop of relative humidity in the climatic chamber.



Rys. 7. Wykres obrazujący reakcje wielowarstwowego malowidła na nieregularnym płótnie z silnym 15% przeklejeniem na ciepło, na cykl zmiany wilgotności: nawilżanie do 90% RH i osuszanie do 30% RH. Jednocześnie rejestrowane są przesunięcia w trzech kierunkach (X,Y,Z) i zmiany w napężeniu próbki

Fig. 7. Diagram of reactions of multilayer painting on irregular canvas with strong 15% gelatine sizing applied hot, to the cycle of changeable humidity: wetting to 90% RH, drying to 30% RH. Displacements in three dimensions (X,Y,Z) and changes in the tension of sample are recorded simultaneously

W prezentowanym przypadku, po rozpoczęciu nawilżania w pierwszym cyklu, obserwuje się reakcję płótna w kierunku Z, a zaraz potem w kierunku Y (zgodnym z wątkiem), nieco później, gdy Rh osiąga 65%, płótno ulega również odkształceniu w kierunku X, zgodnym z osnową. Maksymalnie odkształcenia osiągają wartości od -0,1 do 0,1 mm dla Z, 0,22 mm dla Y i 0,11 mm dla X. Gdy cykl wchodzi w fazę osuszania, odkształcenia cofają się, ale nawet po ustabilizowaniu warunków, obserwowany punkt nie wraca do pierwotnego położenia. Potwierdza to obserwowaną przez konserwatorów intensywność niemal natychmiastowych, wielokierunkowych reakcji malowideł na płótnie na każdą zmianę wilgotności względnej w otoczeniu.

In the presented case, after beginning of wetting in the first cycle, some reaction of the canvas in the direction Z was observed, and soon afterwards in the direction Y (along the weft), somewhat later, when Rh achieved 65%, the canvas also underwent deformation in direction X, along the warp. Maximum achieved values of deformations were from -0.1 to 0.1 mm for Z, 0.22 mm for Y and 0.11 mm for X. When the cycle comes in the phase of drying, deformation recede, but even after stabilizing conditions, the observed point does not come back to its original position. This confirms observed by conservators intensity of almost immediate, multidirectional reactions of paintings on canvas to any change of relative moisture in its surroundings.

Metoda, zatem może być przydatna do określania, jaki wpływ na stan zachowania obrazu, na przebieg procesu starzenia i stopień destrukcji może mieć budowa techniczna obiektu, błędy popełnione w procesie twórczym, czy nawet późniejsze ingerencje konserwatorskie. Dodatkowo może dać odpowiedź na liczne pytania, np.: jak najlepiej przygotować podłoże obrazu, aby był stabilny i mógł przeciwstawiać się procesom niszczenia, jakich błędów w procesie twórczym unikać, aby dzieło miało szanse przetrwać wiele lat bez uszczerbku, czy wreszcie: jakie procesy mają miejsce w strukturze obrazu w trakcie cyklicznych zmian warunków w otoczeniu zabytku.

## 8. Podsumowanie

Przedstawiony tutaj przegląd nie stanowi wyczerpującego zestawienia wszystkich zastosowań OCT dla konserwacji i inwentaryzacji zabytków. Przykładowo, ramy tego opracowania przekracza opis naszych prac nad wykorzystaniem OCT do monitorowania procesów laserowej ablacji powłok, w tym trudno usuwalnych werniksów. Temat ten realizujemy we ścisłej współpracy z Instytutem Optoelektroniki WAT [11,19-21]. Tym bardziej nie było możliwe omówienie innych zastosowań, rozwijanych poza Polską [3].

Nie ulega wątpliwości, że dostępność komercyjnej aparatury jest ważnym czynnikiem ułatwiającym rozwój każdej metody analitycznej. Jak na razie przeważająca część prac powstaje w oparciu o aparaturę prototypową, jednakże obecnie na rynku dostępnych jest już kilka aparatów, które można bezpośrednio wykorzystać dla celów diagnostyki konserwatorskiej<sup>5</sup>.

Badania metodą OCT samych obiektów zabytkowych oraz zachodzących w nich procesów, zainicjowane w ośrodku toruńskim, są dziś prowadzone w ścisłej współpracy z przedstawicielami warszawskiego i krakowskiego środowiska konserwatorskiego. Mają one wielkie znaczenie dla praktyki, ponieważ dają konserwatorom – restauratorom dzieł sztuki narzędzia pozwalające zmniejszać obszary niejasności, zastępując pola domysłów i swobodnych interpretacji wynikami obiektywnych pomiarów. Podłożem tak korzystnego i dynamicznego rozwoju badań jest fakt harmonijnej współpracy przedstawicieli różnych dziedzin nauki, w której jednak każdy temat badawczy wypływa bezpośrednio z praktyki konserwatorskiej, jest dyktowany przez konkretny obiekt i służy rozwiązaniu jego problemów, a przez to staje się niemal automatycznie narzędziem gotowym do przekazania szerokiej praktyce.

Therefore the method can be useful for defining what influence the technical build of the object, as well as the mistakes committed in the creative process, or even later conservator's interferences may have on the condition of preservation, on the course of the process of aging and on the extent of damage of the painting. Additionally the method may give answers to numerous questions, e.g.: how to prepare the base of the painting the best to make it stable and able to resist to the processes of decay, what mistakes are to be avoided in the creative process to give work the chance to survive years without damage, and last but not least: what processes take place in the structure of the painting during cyclic changes of conditions in the surroundings of the relic.

## 8. Summary

The review presented here is not a comprehensive set of all applications of OCT for conservation and cataloguing of relics. For example, the description of our works on application of OCT for monitoring the processes of laser ablation of layers, in this hard to remove varnishes, exceeds the frames of this study. We have been realizing this issue in close cooperation with the Institute of Optoelectronics WAT [11,19-21]. Even more, it was not possible to discuss other applications, being developed abroad [3].

It is undoubted that accessibility of the commercial apparatus is an important factor facilitating development of any analytic method. So far the predominant part of works comes into being on the basis of prototype apparatuses, yet at present there are already accessible on the market several apparatuses which can be directly used for the purposes of the conservator's diagnostics<sup>5</sup>.

Investigations of antique objects as such, and the processes running therein with the help of the OCT method, initiated in the Toruń centre, are at present carried out in close co-operation with the representatives of the Warsaw and Cracov conservator's circles. They are of great importance for the practice, because they give the conservators – renovators of works of art the tools allowing to reduce the areas of vagueness, replacing the field of guesses and free interpretations by the results of objective measurements. The basis for such profitable and dynamic development of investigations is the fact of harmonious co-operation of the representatives of various fields of the science, in which, however, every investigative subject comes out directly from the conservator's practice, is dictated by a concrete object and serves to sort out its problems, and becomes almost automatically a tool ready to be offered for wide practice.



## Literatura • References

- [1] Huang D., Swanson E.A., Lin C.P., Schuman J.S., Stinson W.J., Chang W., Hee M.R., Flotte T., Gregory K., Puliafito C.A., and Fujimoto J.G., *Optical coherence tomography*, Science, 1991, 254, pp. 1178-1181.
- [2] Targowski P., Rouba B., Gorczyńska I., Wojtkowski M., Kowalczyk A., *Zastosowanie metod optyki koherentnej do nieinwazyjnego badania obiektów zabytkowych*, [in:] *Ars longa – vita brevis. Tradycyjne i nowoczesne metody badania dzieł sztuki*, Materiały z sesji naukowej poświęconej pamięci profesora Zbigniewa Brochwicza, Toruń, 18-19 X 2002, J. Flik ed., Wydawnictwo UMK, Toruń 2003, s. 121-129.
- [3] Zestawienie wszystkich publikacji dotyczących zastosowania OCT do badania obiektów zabytkowych: <http://www.oct4art.eu>.
- [4] Iwanicka M., *Przykłady zastosowania tomografii optycznej (OCT) do badań materiałowych i analizy struktury dzieła sztuki*, Acta Universitatis Nicolai Copernici – Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo, 2008, XXXVI, 386, s 177-190.
- [5] Targowski P., Góra M., Wojtkowski M., *Optical Coherence Tomography for Artwork Diagnostics*, Laser Chemistry, 2006, <http://www.hindawi.com/GetArticle.aspx?doi=10.1155/2006/35373>, 11 pages.
- [6] Rouba B., P. Karaszkiwicz P., L. Tymińska-Widmer L., Iwanicka M., Góra M., Kwiatkowska E., Targowski P., *Optical Coherence Tomography for Non-Destructive Investigations of Structure of Objects of Art*, [in:] *Proceedings of ART2008, The e-Journal of Nondestructive Testing 13(9)*: <http://www.ndt.net/search/docs.php3?MainSource=-1&id=6014>.
- [7] Drexler W., Fujimoto J.G., eds. *Optical Coherence Tomography, Technology and Applications*, Springer Verlag, Berlin – Heidelberg 2008.
- [8] Stifter, D., *Beyond biomedicine: a review of alternative applications and developments for optical coherence tomography*, Applied Physics B: Lasers and Optics, 2007, 88 (3), pp. 337-357.
- [9] Targowski P., Karaszkiwicz P., Rouba B.J., Markowski D., Tymińska-Widmer L., Iwanicka M., Kwiatkowska E.A., Sylwestrzak M. (2009), *Optical coherence tomography for non-invasive investigation of structure and properties of historic glass*, [in:] *The Art of Collaboration: Stained-Glass Conservation in the Twenty-First Century, CV US Conservation Studies I*, New York, American Corpus Vitrearum, Inc. [w druku].
- [10] Tymińska-Widmer L., Targowski P., Góra M., Iwanicka M., Lekawa-Wyslouch T., Rouba B., *Optical Coherence Tomography – a Novel Tool for the Examination of Oil Paintings*, [in:] *Conservation Science 2007*, Milan, 2007, Joyce Townsend et al., Archtype publishing, London 2008, pp. 175-182.
- [11] Targowski P., Rouba B., Góra M., Tymińska-Widmer L., Marczak J., Kowalczyk A., *Optical Coherence Tomography in Art Diagnostics and Restoration*, Applied Physics A, 2008, pp. 1-9.
- [12] Yang, M.L., Lu, C.W., Hsu, I.J. and Yang, C.C., *The use of Optical Coherence Tomography for monitoring the subsurface morphologies of archaic jades*, Archaeometry, 2004, 46, pp. 171-182.
- [13] Targowski P., Iwanicka M., Tymska-Widmer L., Sylwestrzak M., Kwiatkowska E.A. (2009), *Structural examination of easel paintings with Optical Coherence Tomography*, Acc. Chem. Res. [złożone do druku].
- [14] Kwiatkowska E.A., Marczak J., Ostrowski R., Skrzeczanowski W., Sylwestrzak M., Iwanicka M., Targowski P., *Absolute LIBS stratigraphy with Optical Coherence Tomography*, Proc. SPIE, 2009, 7391, 73910F.
- [15] J. Kunicki-Goldfinger J., Targowski P., Góra M., Karaszkiwicz P. Dzierżanowski P., *Characterization of Glass Surface Morphology by Optical Coherence Tomography*, Studies in Conservation, 2009, 54, pp. 117-128.
- [16] Rouba B.J., *Plótna jako podobrazia malarskie*, Ochrona Zabytków, 1985, 3-4, s. 222-244.
- [17] Rouba B.J. (1988) *Budowa techniczna obrazów XIX-wiecznych malowanych na handlowych podobrazjach płóciennych i tematyka ich konserwacji*, Toruń, Wydawnictwo UMK – rozprawy.
- [18] Rouba B.J., *Podobrazia płócienne w procesie konserwacji*, Wydawnictwo UMK, Toruń 2000.
- [19] Góra M., Targowski P., Rycyk A., Marczak J., *Varnish ablation control by Optical Coherence Tomography*, Laser Chemistry, <http://www.hindawi.com/GetArticle.aspx?doi=10.1155/2006/10647>, 7 pages.
- [20] Góra M., Targowski P., Kowalczyk A., Marczak J., Rycyk A., *Fast spectral optical coherence tomography for monitoring of varnish ablation process*, [in:] *Proceedings of the international conference LACONA VII: – Lasers in the Conservation of Artworks*, Madrid, Spain, September 17 – 21, 2007, M. Castillejo et al., eds., CRC Press, Taylor & Francis Group, London 2008, pp. 23-27.
- [21] Targowski P., Ostrowski R., Marczak J., Sylwestrzak M., Kwiatkowska E.A., *Picosecond laser ablation system with process control by Optical Coherence Tomography*, Proc. SPIE, 2009, 7391, 73910G.

\* Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Instytut Fizyki, Toruń, Polska

\*\* Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Instytut Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa, Toruń

\*\*\* Akademia Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie, Polska

\* Nicolaus Copernicus University, Institute of Physics, Toruń, Poland

\*\* Nicolaus Copernicus University, Institute for the Study, Restoration and Conservation of Cultural Heritage, Toruń, Poland

\*\*\* Jan Matejko Academy of Fine Arts, Cracow, Poland

<sup>1</sup> Badania nad zastosowaniem OCT do konserwacji zabytków finansowane są ze środków MNiSW (granty: 2 H01E 025 25 w latach 2003-2006, 3 T11E 015 26: 2004-2005, N N105 331334: 2008-2011) i JM Rektora UMK w roku 2008. MI, EAK i MS uzyskali wsparcie z programu „Stypendia dla doktorantów 2008/2009” współfinansowanego przez EFS UE i Budżet Państwa w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego. Udział MI jest dodatkowo finansowany z programu „Ventures” realizowanego przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej z funduszy UE – POIG.

<sup>2</sup> Często również stosuje skalę wielobarwną: ośrodki najslabiej rozpraszające oznacza się wówczas kolorem niebieskim, silniej – zielonym poprzez żółty do czerwonego.

<sup>3</sup> Badania wykonano przy okazji prac konserwatorskich prowadzonych w ramach pracy dyplomowej Dągmary Mausolf realizowanej pod kier. prof. dr Bogumiły Rouba i mgr Ludmiły Tymińskiej-Widmer w Zakładzie Konserwacji Ma-larstwa i Rzeźby Polichromowanej UMK w Toruniu.

<sup>4</sup> Zagadnieniami zależności między budową obrazów na płótnie a ich reagowaniem na zmiany klimatyczne zajmowała się wielokrotnie B. Rouba (m. in.: [16-18]). Badania obecnie podjęte są kontynuacją jej prac badawczych z wykorzystaniem nowego narzędzia, jakim jest OCT.

<sup>5</sup> W cenach od ok. 25 do ok. 60 tys. euro. Najbardziej popularne urządzenia do diagnostyki siatkówki nie mogą być jednak wykorzystywane do badań materiałowych z uwagi na specyficzną budowę głowicy pomiarowej, przystosowanej do pomiaru poprzez rogówkę i soczewkę oka.

<sup>1</sup> Investigations on the use of OCT for conservation of relics are funded from the means of MNiSW (grants: 2 H01E 025 25 in years 2003-2006, 3 T11E 015 26:2004-2005:, N N105 331334:2008-2011) and of His Magnificence Rector of UMK in the year 2008. MI, EAK and MS obtained a support from the program ‘Scholarships for postgraduates 2008/2009’ co-financed by EFS UE and the State Budget within the Integrated Operational Program for Regional Development. The participation of MI is additionally funded from the program ‘Ventures’ realized by The Foundation for Polish Science from the funds of UE -POIG.

<sup>2</sup> A multicolored scale is often applied: the media scattering the most faintly are marked with blue color then, those more strongly –green, through yellow to red.

<sup>3</sup> Investigations were executed on the occasion of conservator’s works carried out within the M.Sc. thesis of Dągmara Mausolf, realized under the guidance of professor doctor Bogumiła Rouba and Ludmiła Tymińska-Widmer, M.A., in the Department of Painting and Polychrome Sculpture Conservation at UMK in Toruń.

<sup>4</sup> The questions of the relation between the build of paintings on canvas and its reaction to climatic changes was many times dealt with by B. Rouba (amongst other: [16-18]). The present investigative works are a continuation of her investigation undertaken with the utilization of the new tool – OCT.

<sup>5</sup> In prices from about 25 to about 60 thousand euro. The most popular devices for diagnosing of the retina cannot be applied for material investigations due to specific construction of the measuring head, which is adapted in its shape to the measurement through the cornea and the lens of the eye.

## Streszczenie

Artykuł omawia zastosowanie nowej, nieinwazyjnej i bezkontaktowej metody diagnostycznej stosowanej przede wszystkim do uzyskiwania obrazów przekrojów obiektów z mikrometrową rozdzielczością za pomocą światła. Zaprezentowana zostanie metoda optycznej koherentnej tomografii (OCT) i parametry skonstruowanego urządzenia. Główna uwaga zostanie skupiona na przykładach zastosowań, rozwijanych w zespole prezentującym doniesienie. Przedstawione zostaną przykłady obrazowania stratygrafii obrazów olejnych, w tym również w zastosowaniu do oceny autentyczności inskrypcji lub sygnatur. Poza tym omówione zostanie wykorzystanie OCT jako narzędzia wspomagającego stratygrafię LIBS, jak również do oceny zakresu korozji hydrologicznej szkła witrażowego oraz do monitorowania reakcji obiektu (obrazu) na zmianę warunków klimatycznych w jego otoczeniu.

## Abstract

An application of OCT – a noninvasive diagnostic tool for examination of objects of art is discussed on the examples taken from research conducted at Nicolaus Copernicus University in Toruń, Poland. The following subjects have been discussed: stratigraphy of oil paintings on canvas, its specific application to analysis of order and authenticity of inscriptions on paintings, ‘absolute’ LIBS stratigraphy – OCT aided, application of OCT for examination of corrosion of stained glass, and monitoring of environmental induced deformations of canvas supports.

Andrzej Moczko\*  
Grzegorz Dmochowski\*  
Piotr Berkowski\*

## Badania żelbetowej konstrukcji basenu z lat 30. XX wieku

### Examination of swimming pool concrete structure from beginnings of the 20<sup>th</sup> century

#### 1. Opis obiektu

Budynek, w którym znajduje się badana niecka basenu, został wzniesiony w latach 30. XX wieku. Jest to obiekt jednokondygnacyjny, podpiwniczony, z niecką basenu w obrębie piwnicy, przekryty stropodachem (rys. 1). Konstrukcja nośna budynku jest mieszana, tzn. ściany zewnętrzne i wewnętrzne są murowane z cegły ceramicznej, natomiast słupy wewnętrzne, noszące stropy ceramiczne typu Ackerman, bądź żelbetowe płyty stropowe, są żelbetowe. Konstrukcję nośną stropodachu stanowi strop Ackerman, na którym wsparta jest drewniana konstrukcja zapewniająca spadek połąci.

Niecka basenu ma kształt prostokąta o wymiarach wewnętrznych 10,15 × 25,13 m. Zagłębienie dna niecki, mierzone względem poziomu okalającej plaży, wynosi od ok. 1,20 m do ok. 3,30 m. Konstrukcyjnie niecka stanowi żelbetową wannę o grubości płyty dennej ok. 15 cm, a ścian bocz-



Rys. 1. Widok ogólny przedwojennego budynku pływalni  
Fig. 1. General view of post-german swimming pool building

#### 1. Description of examined construction

The building, in which the examined swimming pool basin is situated, was built in the 30s of the XXth century. This is the one-storey building, with the pool basin within basement, covered with flat roof (fig. 1). Bearing structure of the building is mixed one, ie. external and internal walls are made of ceramic brick, while the interior columns, carrying ceramic type Ackerman or concrete floor slabs, are made of reinforced concrete. Flat roof is made of Ackerman slab, on which wooden structure for fall slope is based.

The pool basin has a rectangular shape with internal dimensions 10,15 × 25,13 m. Basin bottom immersion, measured from the level of surrounding beach, varies from ca. 1,20 m to ca. 3,30 m. From the constructional point the basin is a reinforced concrete bathtub with bottom plate of 15 cm of thickness, and the side walls 18 cm thick. The whole structure is

nych – ok. 18 cm. Całość wsparta jest na żelbetonowych ramach składających się z rygli (35 × 63 cm) i słupów (35 × 35 cm) – rys. 2, 3.



Rys. 2. Widok dna niecki basenu  
Fig. 2. View of pool basin bottom

supported on reinforced concrete framework consisting of beams (35 × 63 cm) and columns (35 × 35 cm) – figs 2, 3.



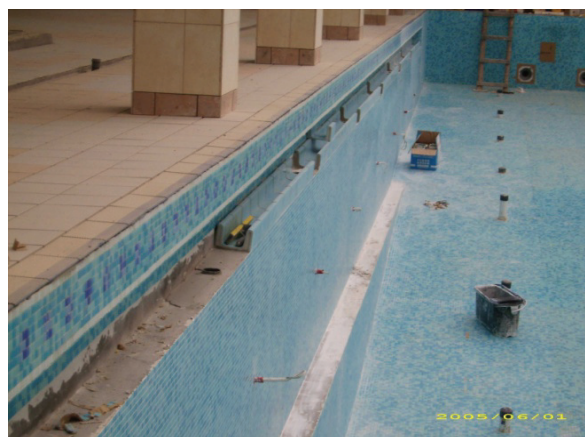
Rys. 3. Widok podciągu i cokołu wsporczo  
Fig. 3. Bearing main beams and pedestals

W latach 2006-2007 [1] wykonany został remont generalny basenu, w trakcie którego zerwane zostały skorodowane fragmenty otuliny zbrojenia ścianek bocznych (rys. 4), a następnie odtworzono otulinę, zwiększając przy tym grubość ścianek bocznych (w części środkowej, ok. 15 – 20 cm nad dnem) o ok. 15 cm, w celu umożliwienia wykonania przelewów typu Wiesbaden (rys. 5). Pogrubienia tego nie połączono jednak z dnem basenu, pozostawiając nie wzmocnioną, pierwotną ściankę basenu na wysokości kilkunastu centymetrów ponad dnem (dodatkową ściankę wykonano do powierzchni warstw wykończeniowych, a nie do nośnej płyty dna niecki). W ten sposób nie wykorzystano możliwości wzmocnienia ścian niecki, pozostawiając ją w stanie istniejącym w miejscu najbardziej wyciężonym.



Rys. 4. Widok ścian niecki basenu po usunięciu płytek [1]  
Fig. 4. View of pool basin walls without ceramic tiles [1]

In the period 2006-2007 [1], there was made a general overhaul of the pool, during which corroded fragments of concrete coating of side walls were break off (fig. 4). Next, the coating was reconstructed, in the same time increasing the thickness of the side walls (in the middle, about 15 – 20 cm above the bottom) to about 15 cm, in order to allow to construct Wiesbaden ditches (fig. 5). However, this additional concrete layer put on walls was not connected to the basin bottom, leaving the original, not strengthened wall of the pool at a height of several centimeters above the bottom (an additional wall was made to the level of the surface finishing, and not to the bottom of the basin bottom slab). In this way the possibility of strengthening the walls of the basin was not exploited, leaving it without strengthening in the most strained place.



Rys. 5. Widok usytuowania przelewu typu Wiesbaden [1]  
Fig. 5. View of Wiesbaden notch [1]

W niecce basenu stwierdzono liczne nieszczelności, zarysowania i spękania (rys. 6, 7), powodujące

in the pool basin numerous leaks, scratches and cracks (figs 6, 7) causing water leaks and filtrations



Rys. 6. Zarysowania niecki basenu [1]  
Fig. 6. Cracks in pool basin walls [1]



Rys. 7. Zarysowania niecki basenu [1]  
Fig. 7. Cracks in pool basin walls [1]

przesączenia i przecieki wody. W wyniku tego obiekt został ponownie zamknięty i osuszony, skuto także wykonane wcześniej wyprawy wykończeniowe ścianek bocznych oraz dna niecki. Ze względu na stopień zespolenia konstrukcji pogrubień z pierwotną konstrukcją ścian bocznych zdecydowano nie demontować tego elementu. W płycie dna niecki stwierdzono spękania poprzeczne do kierunku podciągów. W trakcie prowadzonego monitoringu stwierdzono również, że spękania te nie ulegały rozszerzeniu, a naklejone plomby szklane nie uległy zniszczeniu. Przeprowadzone oględziny konstrukcji nie wykazały korozji zbrojenia.

## 2. Opis analiz i obliczeń technicznych

W związku z opisanymi wyżej uszkodzeniami, które pojawiły się po remoncie niecki basenu, zdecydowano się przeprowadzić badania umożliwiające ocenę rzeczywistej wytrzymałości betonu i wykonać sprawdzające obliczenia nośności jego elementów konstrukcyjnych. W pierwszej kolejności dokonano przeglądu stanu technicznego niecki, wykonano odkrywkę zbrojenia i badanie betonu dna niecki młotkiem Schmidta. Stwierdzono w wierzchniej warstwie dna występowanie piaskobetonu o bardzo słabej wytrzymałości. Otrzymane wyniki z badania młotkiem Schmidta wskazywały, że jest to beton klasy B7,5 do B10. Zdecydowano się wobec tego na wykonanie bardziej miarodajnych badań, które objęły:

- określenie wytrzymałości betonu na ściskanie na podstawie laboratoryjnych badań odwiertów rdzeniowych w niecce basenu,
- określenie wytrzymałości betonu na ściskanie na podstawie nieniszczących pomiarów metodą „pull-out” w podciągach i słupach konstrukcji wsporczej,
- lokalizację i identyfikację zbrojenia wraz z okre-

were detected. As a result, the pool was again shut down and drained. All the bottom and walls ceramic coating was break off. Given the degree of coupling between new and original concrete layers on the basin walls there was decided not to disassemble them. In the bottom plate slab there were found transverse cracks in the direction of main beams. During monitoring carried out it was concluded that those cracks did not undergo extension and stuck-glass seals were not damaged. Conducted inspection of the structure showed no corrosion of reinforcement.

## 2. Description of studies and structural calculations

In view of the damage described above, which appeared in the swimming pool basin after the repair, it was decided to carry out studies to assess the current strength of concrete and perform calculations to check the bearing capacity of basin structural elements. First, a review of the technical condition of the basin was carried out, also reinforcement pits and concrete test with the Schmidt hammer of the bottom slab were realized. It was found in the surface layer of basin bottom a presence of sand-made concrete of very low strength. The results obtained from examinations using the Schmidt hammer indicated that it was concrete class B7,5 to B10. Therefore it was decided to perform more reliable tests, which included:

- determination of concrete compressive strength based on laboratory tests of core-drilled probes in the pool basin,
- determination concrete compressive strength based on the non-destructive measurement “pull-out” method in main beams and columns of supporting structure,
- location and identification of reinforcement

śleniem grubości jego otuliny wraz z wykonaniem niezbędnych odkrywek,

- sprawdzenie głębokości karbonatyzacji przy powierzchniowej warstwy betonu.

Wytrzymałość betonu zastosowanego w niecce basenu określono przez ściskanie w maszynie wytrzymałościowej próbek pobranych z odwiertów rdzeniowych. Oględziny próbek wykazały, że beton został wykonany na kruszywie naturalnym (rys. 8). Analiza wyników badań ściskania próbek pozwoliła oszacować jego klasę na C12/15, zgodnie z normą PN-EN 13791:2008.

W przypadku elementów konstrukcji wsporczej niecki, tj. słupów i podciągów, do badań wytrzymałości betonu zastosowano metodę „pull-out”.

Metoda ta pozwala na oszacowanie wytrzymałości betonu na podstawie badań wykonywanych bezpośrednio na obiekcie. Metoda „pull-out” polega na pomiarze wartości siły niezbędnej do wyrwania z betonu kotwy, którą stanowi stalowy pierścień rozprężany w specjalnie do tego celu wykonanym frezie (rys. 9). W pierwszym

and thickness of its coating based on examination pits,

- checking of depth of surface carbonation of concrete.

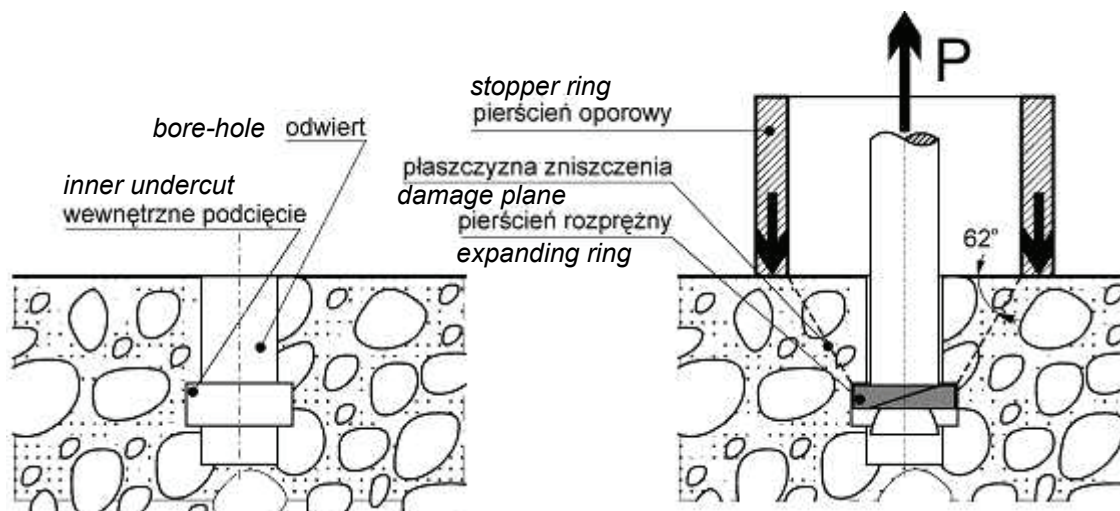
Strength of concrete used in the pool basin was determined using compression in strength machine on samples taken from the drilling cores. Inspection of the samples showed that the concrete was made from natural aggregate (fig. 8). Analysis of the results of compression tests of samples allowed estimate its class as C12/15 according to PN-EN 13791:2008.

In the case of elements of pool basin supporting structure, ie. columns and main beams, to determine concrete strength the “pull-out” testing method was used. This method

allows to estimate concrete strength based on tests performed directly on the site. In the „pull-out” method the strength required to take out the anchor from concrete is measured. The anchor is made in shape of metal ring expanded in special cut made in concrete. At first, after locating the re-



Rys. 8. Widok próbek rdzeniowych  
Fig. 8. View of core probes



Rys. 9. Idea metody „pull-out”  
Fig. 9. Idea of “pull-out” method

etapie, po zlokalizowaniu zbrojenia i wyrównaniu powierzchni, w istniejącej konstrukcji wykonuje się otwór, wewnątrz którego na głębokości 25 mm, wycina się wewnętrzne wyżłobienie (frez), w którym następnie rozpręża się specjalny pierścień, stanowiący głowicę kotwy. Obciążenie przekazywane jest za pośrednictwem siłownika hydraulicznego. Siłownik

inforcement and flattening the surface, on depth of 25 mm internal cut is made, and then special ring (head of the anchor) is expanded inside the cut. The loading is transmitted via hydraulic servo. This servo transmits the pulling-out force on anchor's arbor pressuring the surface of concrete with the help of central stopper ring. This ring,

ten z jednej strony przekazuje siłę wrywającą na trzpień kotwy, z drugiej zaś dociska powierzchnię betonu za pośrednictwem centrycznego pierścienia oporowego. Pierścień ten, dzięki właściwemu doborowi proporcji swoich wymiarów w stosunku do głębokości położenia kotwy oraz wymiarów samej kotwy, wymusza złożony stan naprężenia, który w efekcie prowadzi do zniszczenia, charakteryzującego się ścisłą korelacją pomiędzy rejestrowaną siłą wrywającą kotew, a wytrzymałością betonu na ściskanie.

Podobnie, jak w przypadku niecki basenu, beton w elementach konstrukcji wsporczej okazał się klasy C12/15, zgodnie z normą PN-EN 13791:2008.

We wszystkich badanych fragmentach konstrukcji zlokalizowano istniejące pręty zbrojeniowe, określono ich rozstawy oraz grubość betonowej otuliny, wykorzystując do tego celu urządzenie o nazwie „Cover-Master”. Wykonano także szereg odkrywek zbrojenia, zarówno w konstrukcji niecki (rys. 10), jak i w elementach wsporczych (rys. 11) w celu



Rys. 10. Zbrojenie dna niecki basenu  
Fig. 10. Reinforcement in pool basin bottom

sprawdzenia występowania ewentualnej korozji zbrojenia i weryfikacji wyników pomiarów.

Oceny zasięgu procesu karbonatyzacji powierzchniowej warstwy betonu dokonano za pomocą testu fenoloftaleinowego, który polega na spryskaniu alkoholowym roztworem fenoloftaleiny powierzchni świeżego przełomu betonowego. Interpretacja wyniku testu jest bardzo prosta. Fenoloftaleina ma, bowiem tę właściwość, że przy pH równym 8.5-9.5 powoduje zmianę koloru czerwonego na bezbarwny. Warstwa betonu ulegająca odbarwieniu, uznawana jest za warstwę skarbonatyzowaną, która utraciła zdolności pasywacyjne w stosunku do stali zbrojeniowej. Jedynie w ścianach niecki nie stwierdzono karbonatyzacji powierzchniowej warstwy betonu. W pozostałych elementach, tj. w dnie niecki, podciągach i słupach zasięg karbonatyzacji wynosił od 20 do 25 mm przy grubości otuliny prętów zbrojeniowych wynoszącej 45 mm w płycie dennej, 30 mm w podcią-

thanks to the proper proportions of its size in proportion of the anchor placement depth as well as its size, forces complex stress state, which, in consequence, leads to destruction of concrete. The destruction characterizes strict correlation between registered pull-out force and concrete's compressive strength.

Similarly, like in the pool basin, the concrete at supporting structure elements rendered to be C12/15 class, according to the standard PN-EN 13791:2008.

In all examined construction elements existing reinforcement bars were localized, their spacing and cover thickness were specified, using device called "Cover-Master". Also few reinforcement pits were made in basin construction (fig. 10) and in supporting elements (fig. 11) in purpose of inspecting possibility of reinforcement corrosion and verifying non-destructive measurement results.



Rys. 11. Zbrojenie podciągu  
Fig. 11. Main beam reinforcement

Evaluation of carbonatization process range of superficial concrete layer was carried out with phenolphthalein test, which is done by sprinkling the surface of fresh concrete fracture with alcohol phenolphthalein solution. The interpretation of results is very simple. Phenolphthalein has feature of changing its color with pH equal to 8,5-9,5 from red to colorless. The concrete's layer which is subjected to discoloration is considered to be carbonatized layer, which lost passivation properties of reinforcement steel. Only in basin's walls superficial carbonatization of the concrete layer was not stated. In the rest of the elements, that is, in basin's bottom, main beams and columns, the carbonatization range was equal to 20-25 mm, with reinforcement bars cover equal to 45 mm in bottom plate, 30 mm in main beams and 45-64 mm in columns. Moreover, the reinforcement in plate, main beams and columns revealed clear traces of superficial corrosion.

gach i 45 do 65 mm w słupach. Ponadto, zbrojenie płyty, podciągów i słupów wykazało wyraźne ślady powierzchniowej korozji.

Sprawdzające obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, przeprowadzono przyjmując dane materiałowe i geometryczne otrzymane na podstawie przeprowadzonych badań. Sprawdzono nośność płyty dennej i ścian niecki oraz podciągów i słupów konstrukcji wsporczej. Przeprowadzone badania oraz wykonane obliczenia sprawdzające wykazały, że ściany boczne a także płyta denna niecki oraz podpierające ją podciągi w głębszej części basenu nie mają wystarczającej nośności do przeniesienia przypadających na nie obciążeń. Z uwagi na bardzo małą nośność istniejącej płyty dennej oraz dla maksymalnego ograniczenia kosztów remontu, zaproponowano wypłylenie basenu do maksimum 2 m przez wykonanie na istniejących, nadbudowanych podciągach nowej płyty dennej, połączonej z pogrubionymi już ściankami bocznymi. Przy takim założeniu nośność pozostawianych, istniejących elementów konstrukcyjnych (tj słupów, podciągów i ścian bocznych) jest wystarczająca.

### 3. Podsumowanie

1. Przeprowadzone badania jeszcze raz wykazały, że określenie klasy betonu w istniejących konstrukcjach przy pomocy młotka Schmidta, szczególnie w obiektach starych, może być traktowane jedynie w sposób orientacyjny. Przy konieczności wykonania dokładnych, szczegółowych obliczeń, które mogą zdecydować o zakresie prac wzmacniająco-remontowych, konieczne jest wykonanie innych, bardziej miarodajnych badań.
2. Mimo odpowiednich uwarunkowań prawnych, nakazujących przed przystąpieniem do modernizacji obiektów wykonanie ich ekspertyzy, zdarza się w dalszym ciągu prowadzenie takich prac bez odpowiedniego rozeznania istniejącej konstrukcji. Może to doprowadzić, tak jak w istniejącym przypadku, co najmniej do awarii konstrukcji, a w konsekwencji do znacznego podniesienia kosztów modernizacji.
3. Zaproponowana modernizacja basenu, polegająca na wypłyleniu niecki i wykonaniu nowej płyty dennej (możliwość zmniejszenia głębokości basenu została uzgodniona z użytkownikiem obiektu), zapewnia pełne wykorzystanie istniejących elementów konstrukcyjnych przy maksymalnym ograniczeniu kosztów remontu.

Verifying static and strength calculations were made using the material and geometrical data received through carried out examinations. Load-carrying capacity of the basin's bottom plate, walls, piles and main beams of supporting structure were checked. Carried out research and control calculations showed up that side walls and basin's bottom plate with main beams and columns of supporting structure did not have sufficient load-carrying capacity for bearing current loads. Due to very low load-carrying capacity of existing bottom plate and for maximal limitation of repairs cost, changing pool's depth to 2 m top was suggested, through creating new bottom plate over existing main beams. The new plate would be connected with already thickened side walls. With such assumption load-carrying capacity of remaining, existing construction elements (that is columns, main beams and side walls) will be sufficient.

### 3. Summary

1. Realized research showed up again that defining concrete strength class in existing constructions via Schmidt hammer, especially in old objects, may be treated only as approximated method. With necessity of carrying out exact calculations, which can define strengthening-repair works range, additional, more precise research is essential.
2. Despite proper law regulations, involving compulsory objects expertise before their modernization, it happens that such works are executed without proper recognition of existing construction. It may lead to, like in the described case, at least to construction damage and, in consequence, to significant cost expansion of the modernization.
3. Suggested pool modernization, based on lowering basin's depth and creating new bottom plate (possibility of lowering pool's depth was consulted with object's user), ensures full usage of existing construction elements with maximal lowering of the repair costs.

### Literatura • References

- [1] Dokumentacja fotograficzna z prac remontowych w roku 2006 wykonanych na podstawie projektu wykonawczy opracowanego przez Wojskowe Biuro Projektów Budowlanych we Wrocławiu.



## Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań betonu i zbrojenia oraz rezultaty obliczeń konstrukcji basenu pływackiego z początku XX wieku. W celu określenia stanu technicznego obiektu zrealizowano następujące badania: określenie wytrzymałości betonu w oparciu o badania laboratoryjne próbek pobranych z konstrukcji oraz metodą "pull-out", identyfikację zbrojenia i głębokości powierzchniowej karbonatyzacji betonu. W celu określenia nośności elementów konstrukcyjnych zdefiniowano rzeczywisty model konstrukcji i przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe, wykorzystując dane otrzymane z analiz materiałowych. W podsumowaniu zostały określone wymagania i niezbędne prace, które należy wykonać w celu zapewnienia dalszej bezpiecznej eksploatacji basenu.

## Abstract

The results of concrete and reinforcement examination and structural calculations of swimming pool construction from beginnings of the 20<sup>th</sup> century are presented in the paper. In order to define technical state of the structure the following examinations were realised: determination of concrete strength basing on laboratory stress analysis and "pull-out" method, identification of reinforcement and surface concrete carbonatisation depth. To determine the bearing capacity of structural elements there was done an identification of construction static model and conducted strength calculations basing concrete data on that obtained from material examination. Finally, there were defined requirements and works necessary to be realised with aim to guarantee further safe exploitation of the swimming pool.

Maria Wesołowska\*

## O podatności na wykwyty współczesnych murów licowych

## The susceptibility to efflorescence of contemporary facing walls

### 1. Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich lat klinkier stał się jednym z najpopularniejszych materiałów budowlanych stosowanych na reprezentacyjnych częściach budynków. Poza wysokimi walorami użytkowymi, powodem tego jest wysoka estetyka takich elewacji. Współczesne elementy licowe, ze względu na bogactwo kolorów i formatów, dają niezliczone możliwości komponowania elewacji oraz wykonywania detali architektonicznych. Jednak jest to materiał szczególnie wymagający, zarówno na etapie doboru składników jak i samego wykonawstwa. Często okazuje się bowiem, że zamierzony efekt nie zostaje osiągnięty gdyż na elewacji pojawiają się wykwyty (rys. 1). Jest to zjawisko dosyć powszechne ale przez użytkowników rozpatrywane głównie jako defekt estetyczny, nie mający wpływu na trwałość całej konstrukcji. Tymczasem po kilku sezonach eksploatacji następuje zniszczenie powierzchni elementów licowych.



Rys. 1. Wykwit na współczesnym murze licowym  
Fig. 1. Efflorescence on present facing wall

### 2. Wymagania normowe

Mur licowy został zdefiniowany w Eurokodzie EN 1996 [6] jako element stosowany na zewnątrz lub wewnątrz, który powinien mieć atrakcyjny wygląd. Jest skonstruowany z atrakcyjnych elementów mu-

### 1. Introduction

Over the last few years clinker has become one of the most popular building materials used on representative parts of the building. Apart from high utility values, the reason of that is the great beauty of such facades. Due to the great selection of colors and textures the contemporary facing wall decorative elements offer limitless possibilities of composing the facade and architectural details. This material, however, requires especially high expertise both at the stage of selection of its components and the very workmanship. Frequently it turns out that the intended result is not achieved because efflorescence occurs on the facade (fig. 1) Its occurrence is fairly common but the users consider it primarily as an aesthetic defect which does not affect the durability of the whole construction. However, after a few seasons of use the surface of the facing wall units becomes damaged.

### 2. Requirements of the norms

The facing wall was defined in Eurocode EN 1996 [6] as an element applied outside and inside which should demonstrate attractive appearance. It is built of attractive masonry units with the use of standard

rowych z zastosowaniem standardowego sposobu wykonania i złączami wypełnionymi zaprawą odpowiednią do typu elementu murowego. Powyższe parametry muszą być utrzymane przez cały okres użytkowania konstrukcji tzn. czas, w którym stan elementów składowych muru odpowiada wymaganiom eksploatacyjnym pod warunkiem właściwego użytkowania. Zgodnie z EN 1996 dla zewnętrznych murów licowych właściwe jest przyjęcie klas ekspozycji: MX 3.1 do MX 5 (tab. 1) Jakkolwiek Eurokod 1996 jest przewidziany do wprowadzenia w 2010 roku [3], to przytoczona klasyfikacja funkcjonuje od 2007 roku w normie PN – B – 03002 [8].

Konsekwencją tej klasyfikacji są dalsze wymagania, dotyczące zarówno elementów licowych jak i dla zapraw.

methods and joints filled with mortar appropriate for specific masonry units. These parameters must be maintained over the whole period of use of the construction that is the time when the condition of the component elements of the wall complies with the requirements of use as long as the use is appropriate. According to EN 1996 it is proper to assume the following classes of exposure for external facing walls: MX 3.1 to MX 5 (Table 1) Although Eurocode 1996 shall be implemented in 2010 [3], that classification has already been applied since 2007 in PN – B – 03002 [8].

The consequence of that classification is further requirements regarding both facing wall units and mortars.

Tab. 1. Klasy ekspozycji właściwe dla murów licowych według Eurokodu 6  
Classification of micro conditions of exposure of facing masonry according to Eurocode 6

Klasa Class	Warunki środowiskowe Environmental conditions	Przykłady murów licowych Examples of facing walls
MX 3.1	Klasa narażenia na zamarzanie bez znaczącej obecności soli i innych związków chemicznych <i>Exposure to freezing without significant presence of salts and other chemicals</i>	Ściany zewnętrzne narażone bezpośrednio na deszcz i mróz. Konstrukcje murowe w strefie zamarzania znajdujące się w nieagresywnym gruncie. <i>External walls exposed directly to rain and freezing temperature. Masonry constructions in the frost penetration zone located in non-toxic ground</i>
MX 3.2	Klasa narażenia na środowisko silnie mokre i zamarzanie bez znaczącej obecności soli i innych związków chemicznych <i>Exposure to highly wet environment and freezing without significant presence of salts and other chemicals</i>	Mury narażone na zamarzanie lub agresję chemiczną zlokalizowane w ścianach zewnętrznych z kapinosami, parapety i wolnostojące ściany; mury w gruncie, pod wodą, narażone na cykliczne zamarzanie <i>Walls exposed to freezing or chemical toxicity located in external walls with drip flashing, window sills and free standing walls; walls in the ground, underwater, exposed to regular freezing</i>
MX 4	Klasa narażenia na nasycone rozpuszczalne sole z powietrza, wodą morską oraz środkami odładzającymi <i>Exposure to saturated soluble salts from the air, sea water and defrosting agents</i>	Mur pogrążony całkowicie lub częściowo w wodzie morskiej, mur położony w strefie bryzgów wodnych lub znajdujących się w powietrzu nasyconym solą; mur przylegający do dróg posypywanych solą w okresie zimy <i>Walls fully or partially submerged in sea water, walls built near water splashes or air saturated with salt; walls adjoining roads where salt is used in winter time</i>
MX 5	Środowisko chemicznie agresywne <i>Environment chemically toxic</i>	Mury w kontakcie z gruntami naturalnie agresywnymi lub wodą agresywną chemicznie. Mury w gruntach zasolonych oraz mury w pobliżu obiektów przemysłowych emitujących środki agresywne chemicznie. <i>Walls in contact with grounds which are toxic by nature or chemically toxic water. Walls in salted grounds and walls near industrial facilities emitting toxic chemicals.</i>

Wg wprowadzonej w 2006 roku grupy norm dotyczących elementów składowych muru, cegły lico- we zaliczane do elementów murowych HD – czyli przeznaczonych do stosowania w murach nie zabezpieczonych przed penetracją wody, oraz elementów o gęstości brutto > 1000 kg/m<sup>3</sup> przeznaczonych do stosowania w murach zabezpieczonych przed penetracją wody, pracujące w wymienionych klasach eks-

According to the group of norms introduced in 2006 regarding the wall component units, the facing bricks classified as HD masonry units – that is designed to be used in the walls which are not protected against water penetration as well as the units with gross density > 1000 kg/m<sup>3</sup> designed to be used in the walls which are protected against water penetration – working under exposure listed above, due

pozycji, ze względu na zamrażanie i odmrażanie narażone są na warunki umiarkowane – F1 lub surowe –F2, oraz ze względu na kategorie zawartości rozpuszczalnych soli mineralnych S1 lub S2 (tab. 2). Przy czym warunki kategorii S2 są spełnione, gdy mur pracuje w warunkach F2 i jest bezpośrednio narażony na długotrwałe nasączenie wodą gruntową, deszczową i chlapiącą (gzymsy, parapety, ogrodzenia, kominy, itp.) oraz użyto zaprawy na bazie cementu portlandzkiego, siarczanoodpornego (HSR). Warunki kategorii S1 występują wówczas, gdy mur pracuje w warunkach F2 oraz użyto zaprawy na bazie cementu portlandzkiego (CEM I), lub gdy mur jest zabezpieczany przed nasączeniem przez odpowiednią konstrukcję (gzymsy, okapy) – warunki F1.

to the freezing and thawing are exposed to moderate conditions – F1 or severe conditions – F2, and due to the category of content of soluble mineral salts as S1 or S2 (tab. 2) The conditions of category S2 are met when the wall works in conditions F2 and is directly exposed to long-lasting penetration of ground water, rain and splashes (eaves, window sills, fences, chimneys, etc.) and the mortar which was used was Portland cement high sulfate-resistant mortar (HSR.) The conditions for category S1 occur when the wall works in conditions F2 and the mortar which was used was Portland cement mortar (CEM I) or when the wall is protected against water penetration by appropriate construction (moldings, eaves) – conditions F1.

Tab. 2. Kategorie zawartości aktywnych soli rozpuszczalnych dla elementów murowych HD [4]  
Categories of content of active soluble salts for HD masonry units

Kategoria Category	Całkowita zawartość w % masy, nie więcej niż Total content in % of mass, not more than	
	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

Poza wspomnianymi: mrozoodpornością i zawartością aktywnych soli rozpuszczalnych, do normowych cech warunkujących powstanie wykwitów można zaliczyć również absorpcję wody, przepuszczalność pary wodnej, stabilność wymiarów, gęstość brutto i wytrzymałość spoiny oraz pośrednio wytrzymałość na ściskanie elementów murowych.

W przypadku zapraw budowlanych, zarówno w Eurokodzie 6 jak i normach związanych, podano tylko ogólne wytyczne doboru zaprawy (tab. 3), a zakres badań określony w EN 998-2 [5] obejmuje wymienioną wyżej grupę cech, uzupełnionych o czas zachowania właściwości roboczych, zawartość powietrza, proporcję składników oraz ewentualnie zawartość chlorków (Zaleca się aby zawartość chlorków nie przekraczała 0,1% Cl suchej zaprawy 5)

Dla wyrobów dodatkowych do murów, poza cechami wytrzymałościowymi sprawdza się odporność na penetrację wody i odporność na korozję [4]. Wprowadza to ograniczenie stosowania określonych materiałów w zależności od klasy ekspozycji. Jednocześnie wskazuje, że niewłaściwe zastosowanie wkładki prowadzi do powstania ognisk korozji muru, konsekwencją czego jest miejscowa penetracja wody w utworzonych szczelinach.

Z przytoczonych wymagań wynika, że przepisy budowlane odnoszą się tylko do poszczególnych wyrobów nie uwzględniając skutków ich wzajem-

Apart from the features mentioned above: resistance to frost and the content of active soluble salts, the standard features conditioning the occurrence of efflorescence can also include water absorption, water vapor permeability, stability of dimensions, gross density and joint strength as well as indirectly the compression strength of the masonry units.

In the case of building mortars both Eurocode 6 and other relevant standards provide only the general guidelines for the selection of mortar (Table 3) and the scope of tests defined in EN 998-2 [5] includes the group of features mentioned above as well as the duration of the maintenance of working qualities, air content, proportion of components and possibly the content of chlorides. (It is recommended that the content of chlorides be below 0.1% Cl in dry mortar 5)

For elements additional to the walls, apart from the strength properties, their resistance to water penetration and to corrosion should be checked too [4]. This imposes a limitation in the use of certain materials, depending on exposure class. Furthermore, this also indicates that improper use of additives results in the development of wall corrosion and, consequently, local penetration of water into the cracks which occur.

The requirements listed above indicate that the construction regulations regard only individual products and not the effects of their mutual interactions.

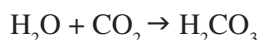
Tab. 3. Dobór zaprawy z uwagi na trwałość murów licowych [6]  
*Selection of mortar to durability of facing wall [6]*

Klasa ekspozycji <i>Exposure class</i>	Rodzaj zaprawy w połączeniu z dowolnym rodzajem elementów murowych <i>Type of mortar in connection with any type of masonry units</i>
MX 3.1	M lub S <i>M or S</i>
MX 3.2	S <sup>a</sup>
MX 4	W każdym przypadku określić stopień narażenia na działanie soli, zawilgocenie i cykliczne zamrażanie /odmrażanie oraz zasięgnąć opinii producentów zaprawy. <i>In each case define the degree of exposure to activity of salts, moisture and regular freezing/thawing as well as consult mortar producer.</i>
MX 5	W każdym przypadku powinna zostać dokonana ocena środowiska, efektów wpływów chemicznych z uwagi na stężenie, ilości dopuszczalne i szybkość reakcji oraz należy zasięgnąć opinii producentów zaprawy. <i>In each case the following should be defined: assessment of the environment, chemical effects in relation to concentration, admissible quantities and reaction rate; consult mortar producer.</i>
<p><sup>a</sup> Gdy ceramiczne elementy murowe kategorii S1 są stosowane w murach narażonych na oddziaływanie czynników zewnętrznych odpowiadających klasom ekspozycji MX 2.2, MX 3.2, MX 4 i MX 5, zaprawa powinna być odporna na korozję siarczanową.</p> <p>– Zaprawa M – stosowana w przypadku murów narażonych na średnio intensywne działanie czynników zewnętrznych.</p> <p>– Zaprawa S – stosowana w przypadku murów narażonych na intensywne działanie czynników zewnętrznych.</p> <p><sup>a</sup> <i>Where ceramic masonry units category S1 are used in the walls exposed to activity of external factors corresponding to exposure classes MX 2.2, MX 3.2, MX 4 and MX 5, mortar resistant to sulfate corrosion should be used.</i></p> <p>– <i>Mortar M – used in the case of walls exposed to moderately intensive activity of external factors.</i></p> <p>– <i>Mortar S – used in the case of walls exposed to intensive activity of external factors.</i></p>	

nych oddziaływań. Jest to szczególnie istotne w murach licowych, gdzie niewłaściwie dobrane składniki powodują obniżenie trwałości muru, skutkujące między innymi powstawaniem wykwitów.

### 3. Wykwity

W składzie wykwitów występujących na współczesnych murach dominują węglany oraz wodorotlenek wapnia. Węglany wypierane są z tworzonych przez siebie soli nawet przez najslabsze kwasy. Woda deszczowa reaguje z dwutlenkiem węgla z powietrza tworząc agresywny kwas węglowy [1]:

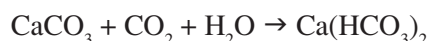


Korozja powodowana przez kwas węglowy przebiega w kilku etapach [1]:

- Reakcja wapnia z kwasem węglowym i powstanie węglanu wapnia



- Następnie cząsteczki dwutlenku węgla tworzą z węglanem wapnia i wodą dwuwęglan wapnia nazywany też wodorowęglanem wapnia. Tenże łatwo rozpuszcza się w wodzie i dlatego też może być transportowany z wnętrza ściany za zewnątrz:



This is especially important in the case of facing walls where improperly selected components reduce the durability of the wall, which results among others in efflorescence.

### 3. Efflorescence

The content of efflorescence which occurs in contemporary walls is dominated by carbonates and calcium hydroxide. The carbonates are removed from the salts they produce even by the weakest acids. The rain water reacts with carbon dioxide from the air, creating aggressive carbonic acid [1]:



Corrosion caused by carbonic acid takes place in a few stages [1]:

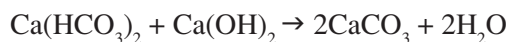
- Reaction of calcium with carbonic acid and the development of calcium carbonate



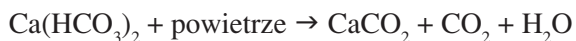
- Next, the particles of carbon dioxide reacts with calcium carbonate and water and create calcium bicarbonate also called calcium hydrogencarbonate. This compound easily dissolves in water and that is why it can be transported from the wall outside:



- Dwuwęglan wapnia reaguje z wodorotlenkiem wapnia tworząc węglan wapnia:

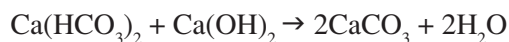


- Następnie cząsteczki kwasu węglowego rozpuszczają węglan wapnia tworząc dwuwęglan wapnia, który wychodzi z danego elementu budowlanego, utwardza się i pozostaje widoczny jako wykwit:

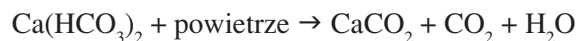


Od 2007 roku, na terenie Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego funkcjonuje stanowisko poligonowe z 8 licowymi murkami testowymi, wykonanymi jednostopniowo na różnych zaprawach. Jednym z elementów badań jest ewolucja wykwitów w kolejnych sezonach funkcjonowania oraz ustalenie wpływu użytych zapraw na podatność na wykwit.

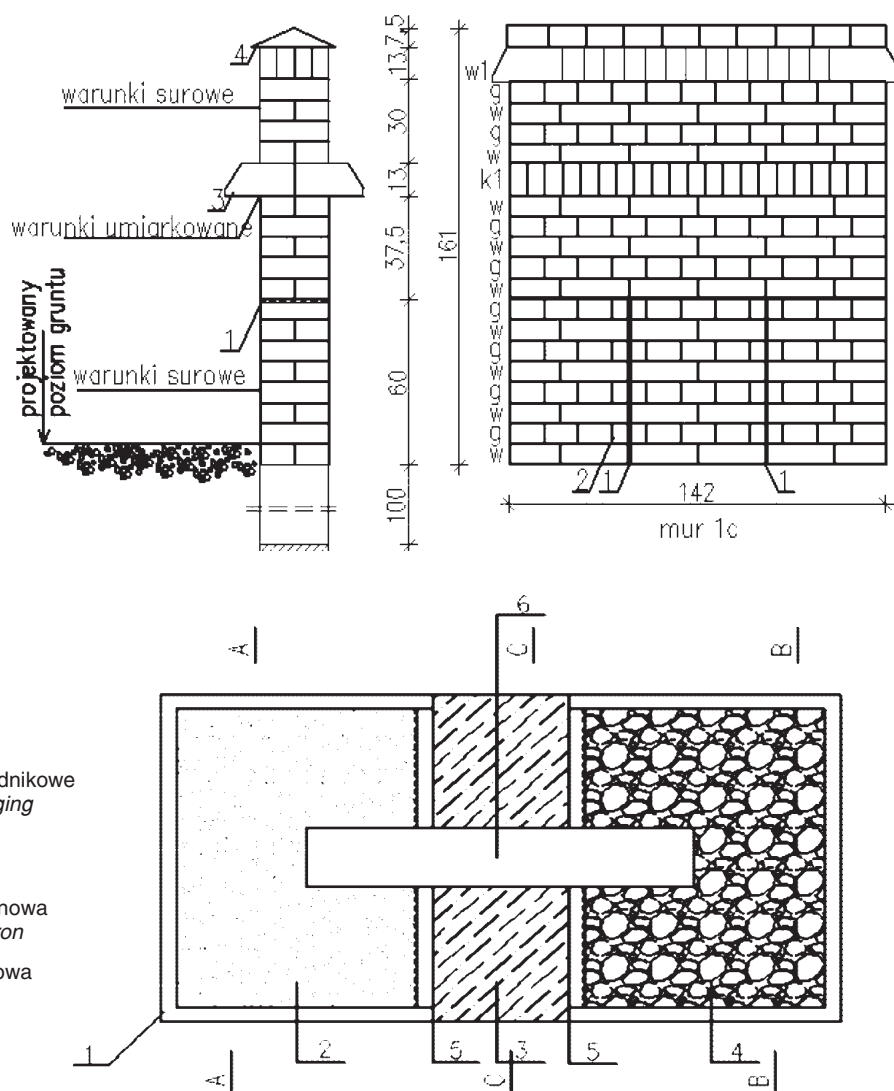
- Calcium bicarbonate reacts with calcium hydroxide and creates calcium carbonate:



- Next, the particles of carbonic acid dissolve calcium carbonate and create calcium which comes out of a given construction unit, cures and develops into a visible efflorescence:



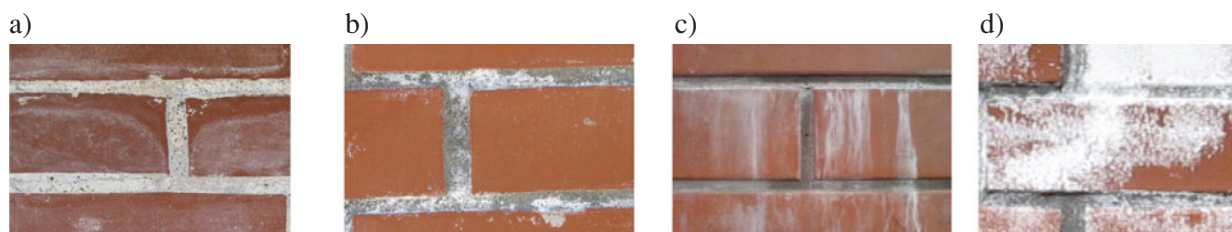
Since 2007, at the University of Technology and Life Sciences, there has been a test station in operation with 8 test facing walls made as single units with the use of different mortars. One of the elements of research is the formation of efflorescence in successive seasons and the determination of the influence of different mortars on the susceptibility to efflorescence.



Rys. 2. Geometria murka testowego  
Fig. 2. Geometry of the test wall

Do wzniesienia murków użyto materiały spełniające opisane wyżej wymagania normowe. Przekrój murka został tak ukształtowany, żeby modelował surowe warunki pracy (oddziaływanie dużej zawartości wody i cyklicznemu zamrażaniu – odmrażaniu) – typowe dla murów licowych. Dla każdego murka wymodelowano trzy warianty styku z powierzchnią gruntu rys. 2). Izolacja ma za zadanie zabezpieczyć przed migracją wody z betonowych fundamentów (I poziom) oraz wydzielić obszar narażony na wodę chlapiącą (II poziom) w różnych wariantach styku z gruntem. Górna część stanowi pole obserwacji murka dla działania zacinającego deszczu oraz spływu wody deszczowej po powierzchni daszków, gzymsów i muru.

Murki ustawiono szczytami do wyróżnionego na tym terenie kierunku wiatru, ustalonego wg raportów WIOŚ w Bydgoszczy [9].



Rys. 3. Formy wykwitów, obserwowane na współczesnych murach licowych  
Fig. 3. Efflorescence formation observed on contemporary facing walls

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji ustalono, że w zależności od układu materiałowego powstały wykwit może przybrać formę nalotu na licu cegieł (rys. 3a) lub na zaprawie (rys. 3b), który w granicznym przypadku krystalizuje w postaci osadu (rys. 3d). Nalot i osad powstają w wyniku dyfuzji w murze związków rozpuszczalnych, która może być wspomagana oddziaływaniem wiatru (rys. 4).

The test walls were built with the use of the materials which comply with the requirements of the norms referred to above. The profile of the wall was built in such a way as to imitate severe working conditions (exposure to a lot of water content and regular freezing – thawing) – typical of the facing walls. For each wall three variants of contact with the ground surface have been modeled (fig. 2.) Insulation is supposed to provide protection against water migration from concrete foundation (level I) and separate the area exposed to splash water (level II) in different variants of contact with the ground. The upper part is the observation area of the wall exposed to wind-driven rain and rain water flowing down the roofs, moldings and the wall.

The walls were erected facing in the direction of the wind as determined acc. to the reports of the Regional Inspectorate of Environmental Protection in Bydgoszcz [9].

On the basis of observations it was found that, depending on the content of the material, efflorescence can occur in the form of a film on the brick face (fig. 3a) or on mortar (fig. 3b) which in extreme cases can crystallize as deposit (fig. 3d.) The film and the deposit occur as a result of diffusion of soluble compounds in the wall which can be intensified by the activity of wind (fig. 4.) The location



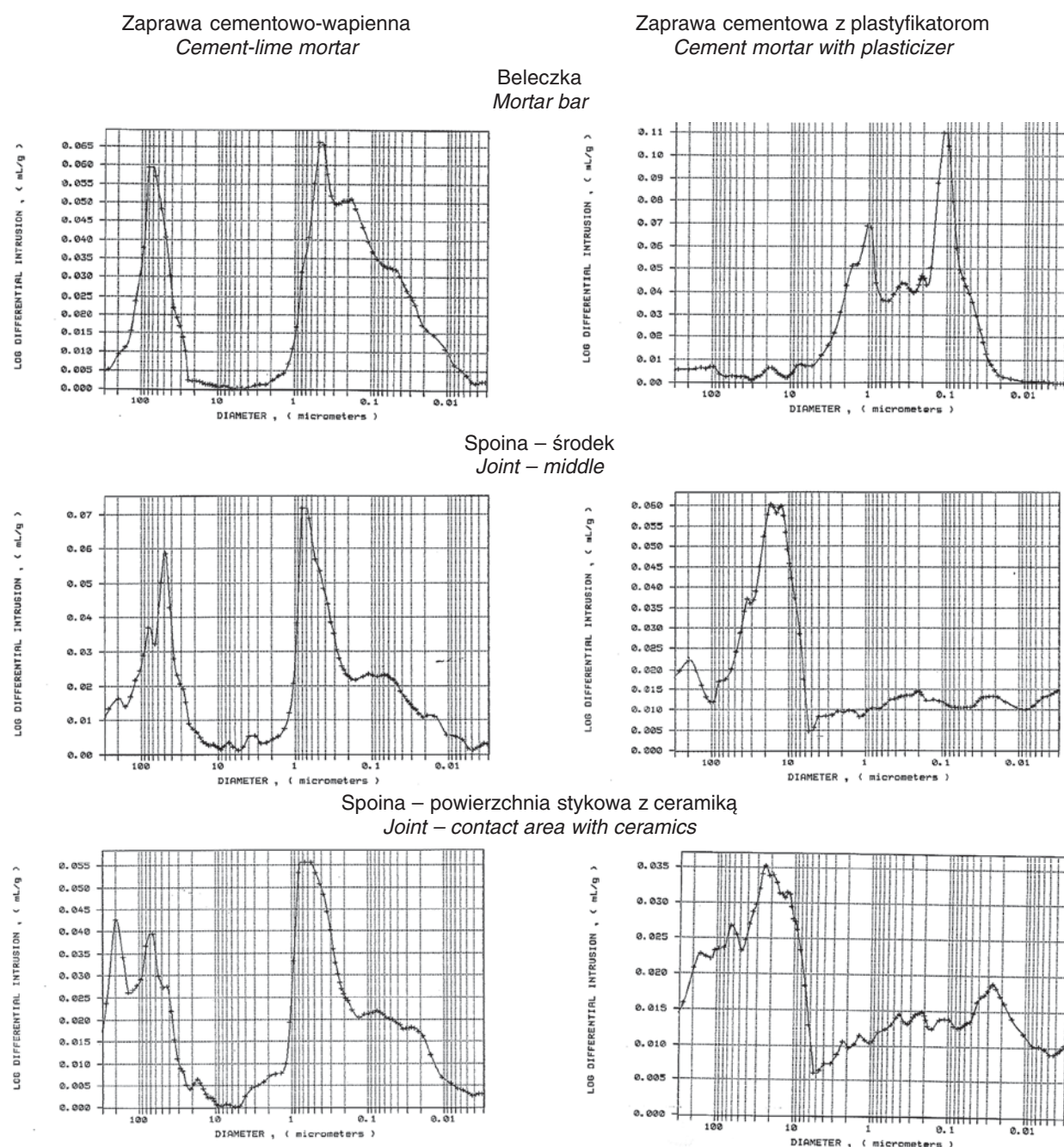
Rys. 4. Ewolucja wykwitów na murku testowym, wykonanym na zaprawie trasowej  
Fig. 4. Efflorescence formation on the test wall made on trass mortar

O umiejscowieniu nalotu decydują parametry struktury elementów składowych, głównie rozkład i wielkość porów oraz przepuszczalność.

Naciek (rys. 3c) powstaje w rezultacie filtracji wody przez nieszczelne złącza, w których zaprawa utraciła przyczepność do podłoża, co najczęściej jest wynikiem zastosowania zaprawy o nieodpowiedniej wiązliwości (retencji) wody w stosunku do cegły powodującej niedostateczną przyczepność zaprawy do podłoża.

of the film depends on the parameters of the structure of the component elements, primarily distribution and size of pores as well as permeability.

The runs (fig. 3c) develop as a result of water filtration through leaking joints in which mortar lost its adhesion to the substrate, which most often is the result of the use of mortar with insufficient bonding strength (retention) of water in relation to brick, causing insufficient bond of mortar with the substrate.



Rys. 5. Krzywe różniczkowe rozkładu wielkości porów dla wybranych zapraw  
 Fig. 5. Differential curves of porosity for chosen mortars

Forma wykwitu zależy również od warunków klimatycznych. W pierwszym roku funkcjonowania, w sezonie wiosennym, mogą wystąpić wykwity

The form of efflorescence also depends on climatic conditions. In the first year in spring time primary efflorescence can occur even in the form of



pierwotne nawet w formie osadu. Przy właściwie dobranych zaprawach i zachowaniu reżimu technologicznego, osad w kolejnych miesiącach jest rozpuszczany aż do całkowitego zniknięcia wykwit. Jeżeli jednak osad ulega przeobrażeniu w nalot, który cyklicznie przechodzi znowu w osad, i dodatkowo utrzymuje się wysoka wilgotność ściany, można wnioskować o błędzie wykonawczym. Do najczęściej spotykanego błędu należy przyjęcie niewłaściwej zaprawy, co jest konsekwencją luk w przepisach budowlanych oraz pewnych stereotypów funkcjonujących w środowisku wykonawczym. Jednym z nich jest wskazywanie wapna jako składnika intensyfikującego wykwit. Prowadzone na stanowisku polowym obserwacje nie potwierdzają tego faktu. Na murku w czasie eksploatacji pojawił się wykwit pierwotny, który następnie zaniknął.

Może to wynikać z właściwości zaprawy z dodatkiem wapna – analizując wyniki badań porozymetrycznych można stwierdzić, że tego typu zaprawa jest mało podatna na zmiany struktury wynikające z różnych warunków formowania. Pozwala to przypuszczać, że właściwości zbadane na beleczkach mogą być odniesione do spoiny. W przypadku zapraw modyfikowanych (np. plastyfikatorom), rozkład wielkości porów w spoinie próbek zespolonych znacznie się różni od stwierdzonego w beleczkach (tab. 4, rys. 5).

deposit. With correctly selected mortars and maintaining technological regime the deposit in the following months is dissolved until complete disappearance of the efflorescence. If, however, the deposit transforms into a film which regularly transforms into deposit and if additionally high humidity in the wall prevails, one can conclude that a mistake was committed while constructing the wall. The most frequent mistake involves the use of inappropriate mortar, which is the effect of loopholes in construction regulations and some stereotypes existing in the community of builders. One of them is indicating lime as the component intensifying the occurrence of efflorescence. The observations conducted in the field study do not confirm that claim. During the use a primary efflorescence appeared on the wall and it soon disappeared.

The reason of that could be the properties of the mortar with addition of lime – analyzing the results of the porosimetric tests it can be observed that this type of mortar demonstrates little susceptibility to changes of the structure caused by various conditions of formation. This can lead to the assumption that the properties tested on mortar bars can be related to the joints. In the case of modified mortars (e.g. with plasticizer) the distribution of sizes of pores in the joint in bonded samples greatly differs from the one observed in the mortar bars (tab. 4, fig. 5.)

Tab. 4. Podstawowe parametry struktury wybranych zapraw użytych do murków testowych  
Basic parameters of structure of chosen mortars used in test walls

zaprawa <i>Mortar</i>	Próbka <i>Sample</i>	Gęstość szkieletu <i>Frame density</i> [g/cm <sup>3</sup> ]	Gęstość objętościowa <i>Volumetric density</i> [g/cm <sup>3</sup> ]	Porowatość <i>Porosity</i> [%]
Cementowa z plastyfikatorem <i>Cement mortar with plasticizer</i>	Beleczka formowana normowo <i>Mortar bars formed acc. to norms</i>	2,50	1,96	21,50
	pobrana z części środkowej spoiny próbki zespolonej <i>taken from the middle section of joint of bonded sample</i>	2,53	2,09	17,43
	pobrana z powierzchni styku z ceramiką próbki zespolonej <i>taken from the area of contact with ceramics of the bonded sample</i>	2,48	2,03	18,22
Cementowo-wapienna <i>Cement-lime mortar</i>	Beleczka formowana normowo <i>Mortar bars formed acc. to norms</i>	2,61	2,05	21,43
	pobrana z części środkowej spoiny próbki zespolonej <i>taken from the middle section of joint of bonded sample</i>	2,61	2,10	19,66
	pobrana z powierzchni styku z ceramiką próbki zespolonej <i>taken from the area of contact with ceramics of the bonded sample</i>	2,60	2,09	19,39

W procesie powstawania wykwitów istotną rolę, obok struktury, odgrywa absorpcja wody. Zaprawy modyfikowane charakteryzują się niską kapilarnością, co jest postrzegane jako czynnik ograniczający zawilgocenie murów. Jednak badania poligonyowe nie potwierdzają tego założenia. W murkach wykonanych na tych zapraw utrzymuje się podwyższona wilgotność. Dla murków wykonanych na zaprawach trasowych i cementowo-wapiennych, w okresach deszczowych kumulacja wilgoci następuje w spoinach, skąd wyparowuje w krótkich terminach. Wynika z tego, że cechą właściwą do rozpatrywania podatności na wykwit jest nie kapilarność a początkowa absorpcja wody.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Aby na murze pojawiły się wykwitki muszą zostać spełnione (jednocześnie) następujące warunki:

- istnieje źródło soli rozpuszczalnych w wodzie (składniki zaprawy, atmosfera, grunt, elementy metalowe i inne wbudowane w mur),
- do muru przenika woda, w której sole zostaną rozpuszczone,
- występuje czynnik powodujący ruch roztworu soli (różnica stężeń, temperatur lub ciśnienia między wnętrzem muru a jego powierzchnią).

W przypadku właściwie wykonanych murów współczesnych, głównym źródłem soli poza atmosferą oraz czynnikami antropogenicznymi są składniki zaprawy. Należy tutaj zwrócić uwagę, że dobór zaprawy nie może być przypadkowy, ale powinien uwzględniać warunki eksploatacji muru oraz wymagania dotyczące trwałości. Przy ocenie niezbędne jest również wykorzystanie zarówno lokalnych, jak i tradycyjnych doświadczeń [5]. Jest to szczególnie istotne dla zapraw, które z definicji mają pełnić rolę służebną dla elementów murowych. Zaś obowiązujące wymagania przy obrotach, opierające się głównie na podstawowych cechach, nie dają projektantowi odpowiedzi co do trwałości zaproponowanego układu, czego przykładem są przytoczone obserwacje.

During the process of efflorescence formation, apart from the structure, water absorption plays a significant role. Modified mortars demonstrate low capillarity, which is perceived as a factor limiting the moisture of the walls. However, the field tests do not confirm that assumption. The humidity in the walls built with the use of these mortars is higher. For the walls built with the use of trass mortars and cement-lime mortars, during rain seasons moisture accumulates in joints and it quickly evaporates. This is so because the feature which should be taken into account when assessing the susceptibility to efflorescence is not capillarity but the initial water absorption.

#### 4. Summary and conclusions

The following conditions must be met (concurrently) for efflorescence to occur on the wall:

- there is a source of water-soluble salt (components of mortar, atmosphere, soil, metal and other elements built in the wall,)
- water in which the salts dissolve penetrates into the wall,
- there must be a medium causing the salt solution to migrate (difference in concentration, temperatures or pressure inside the wall and on its surface.)

In the case of correctly built contemporary walls the main source of salts, apart from atmosphere and anthropogenic factors, is the components of mortar. It should be noted that the selection of mortar cannot be accidental; it should take into account the conditions of use of the wall and its durability requirements. When assessing the mortar it is also necessary to make use of both local and traditional experience [5] It is especially important for mortars, which by definition should serve the less essential role in relation to masonry units. The requirements applicable to trading, which are based primarily on the basic properties, do not provide the designers with the answer as to the durability of the proposed system, which was demonstrated by the observations presented above.

#### Literatura • References

- [1] F. Frössel, *Osuszanie murów i renowacja piwnic*, Polcen, Warszawa 2007
- [2] Gajownik. R., Sieczkowski J., . *Ceramiczne elementy murowe w PN-B-03002:2007/cz.1/*. *Ceramika budowlana nr 2*, 2007, str. 10-13
- [3] Lewicki B., *Eurokody i ich wdrażanie do praktyki polskiej*. IX Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy Rzeczoznawstwa Budowlanego”. Cedzyna koło Kielc, Materiały konferencyjne ITB, Warszawa 2006
- [4] PN – EN 771-1 Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 1: Elementy murowe ceramiczne.

- [5] PN – EN 998 – 2 Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 2: Zaprawa murarska
- [6] EN 1996 – 2 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 2: Uwarunkowania projektowe, dobór materiałów i wykonawstwo konstrukcji murowych
- [7] PN – EN 845 – 1 Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów. Część 1: Kotwy, listwy kotwiące, wieszaki i wsporniki.
- [8] PN – B – 03002: 2007 Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie.
- [9] Raport o stanie środowiska woj. kujawsko-pomorskiego. WIOŚ 2007

---

\* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz, Polska  
University of Technology and Life Science, Bydgoszcz, Poland

---

## Streszczenie

Niniejsza praca porusza temat estetyki murów lico-  
wych. Przeanalizowano obecnie obowiązujące pol-  
skie normy dotyczące doboru zapraw do elemen-  
tów murowych. Na podstawie obserwacji przepro-  
wadzonych na stanowiskach badawczych ustalono  
czynniki wpływające na powstawanie wykwitów.

## Abstract

The paper presents the aesthetic aspects of facing  
walls. The current Polish standard requirements were  
analyzed in relation to the selection of mortars for  
masonry units. The factors determining the devel-  
opment of efflorescence were established on the  
basis of observations made on test positions.

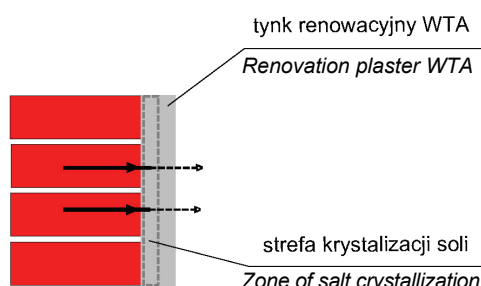
Maciej Rokiel\*, Cezariusz Magott\*\*

## Tynki renowacyjne w świetle normy PN-EN 998-1:2004 Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 1. Zaprawa tynkarska oraz instrukcji WTA nr 2-9-04 Sanierputzsysteme

### Renovation plasters in the light of the standard PN-EN 998-1:2004 Requirements concerning mortars for walls. Part 1. Plaster mortar and WTA instruction No 2-9-04 Sanierputzsysteme

#### 1. Wstęp

Jednym z etapów prac renowacyjnych zawilgoconych i zasolonych obiektów jest zastosowanie środków flankujących w postaci systemu tynków renowacyjnych. Tynk renowacyjny, na skutek swych specyficznych właściwości wchłania wilgoć znajdującą się w murze, oddaje ją do otoczenia pod postacią pary wodnej jednocześnie magazynując w sobie w postaci skryzalizowanej szkodliwe sole, a przesuując strefę odparowania do wnętrza tyku nie dopuszcza do powstawania wykwitów na powierzchni (schemat działania tynku renowacyjnego pokazano na rys. 1). Sole krystalizują w porach tynku renowacyjnego, nie powodując widocznych uszkodzeń. Takie działanie trwa do momentu zapelnienia porów przez kryształy soli, przy czym przeciętną trwałość tynku renowacyjnego szacuje się na przynajmniej 20 lat. Aby wymusić na znajdującą się w murze wilgoci taki sposób zachowania się i jednocześnie pełnić funkcję magazynu soli, tynk renowacyjny musi charakteryzować się ściśle określonymi parametrami.



Rys 1. Schemat działania tynku renowacyjnego  
Fig. 1. Scheme of action of renovation plaster

#### 1. Introduction

One of the stages of renovation works for damp and saline objects is application of flanking agents in the form of renovation plaster systems. The renovation plaster due to its properties, soaks up moisture from the wall, gives it back to the surroundings in the form of water vapor, simultaneously storing up harmful salts in its mass in the form of crystals, and by shifting the evaporation zone inside the plaster it does not allow any efflorescence to occur on the surface (the way the renovation plaster works has been shown in fig. 1). Salts crystallize in the pores of the renovation plaster, not causing visible damages. This action lasts to the moment when capillaries are filled up with crystals of salt, whereas it is estimated that average durability of the renovation plaster can last at least 20 years. The renovation plaster must have strictly specified parameters in order to enforce water to behave this way and simultaneously act as a salt storage.

#### 2. Analiza wymagań stawianych tynkom renowacyjnym

Na dzień dzisiejszy wymagania stawiane tynkom renowacyjnym podają instrukcja WTA nr 2-9-04

#### 2. Analysis of requirements set for renovation plasters

At present the requirements set for renovation plasters are presented in the WTA instruction No 2-9-04

*Sanierputzsysteme* [1] oraz norma PN-EN 998-1:2004 *Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 1. Zaprawa tynkarska* [2]. Według WTA nr 2-9-04 [1] tynkiem renowacyjnym WTA nazywamy tynk zgodny z PN-EN 998-1:2004 [2] i spełniający wymogi cytowanej instrukcji WTA. Nie ma tu jednak bezpośrednio sformułowanego wymogu klasyfikacji tynku jako renowacyjnego wg [2].

Instrukcja WTA [1] określa parametry tynku tak, aby można go było nazwać renowacyjnym WTA. Jest to o tyle istotne, że w obowiązującej aktualnie normie [2] także znajdują się wymagania dotyczące tynku klasyfikowanego jako renowacyjny. Jednakże nie wolno w tym przypadku mówić tylko o jednym materiale, lecz o systemie tynków składającym się w najprostszej postaci z obrzutki, tynku podkładowego stosowanego do wyrównania nierówności podłoża, tynku podkładowego stosowanego przy wysokim stopniu zasolenia oraz właściwego tynku renowacyjnego. Składnikami uzupełniającymi będą przede wszystkim szpachle wygładzające lub strukturalne oraz farby elewacyjne. Wymagania stawiane składnikom systemu przez [1] i [2] podano w tabelicy 1.

*Sanierputzsysteme* [1] and in the standard PN-EN 998-1:2004. *Requirements relating to mortars for brick walls. Part 1. Plaster mortar* [2]. According to WTA No 2-9-04 [1] renovation plaster is called WTA type if it corresponds to the standard PN-EN 998-1:2004 [2] and meets the requirements of the quoted WTA instruction. However, there is no directly formulated requirement to classify plaster as renovation plaster according to [2].

The WTA instruction [1] defines the parameters of plaster, in order to have it classified as WTA renovation plaster. This is so essential as in the presently valid standard [2] there are also requirements relating to the plaster classified as renovation plaster. Yet in this case one cannot speak only about one material, but about a system of plasters consisting in the simplest form of the rendering coat, the ground plaster coat applied to level up the unevenness of the base, the ground plaster coat applied at the high extent salinity and the specific renovation plaster. The supplementary components of the system will be smoothing fillers or structural fillers and façade paints. The requirement set for the components of the system by [1] and [2] have been presented in table 1.

Tab 1. Wymagania stawiane poszczególnym składnikom systemu przez instrukcję WTA nr 2-9-04 [1] oraz PN-EN 998-1:2004 [2]  
*Requirements set for individual components of the system by the WTA instruction No 2-9-04 [1] and PN-EN 998-1:2004 [2]*

Obrzutka półkryjąca (pokrywająca max 50% powierzchni)  
*Semi-covering rendering coat (to cover maximum 50% of the surface)*

Parametr <i>Parameter</i>	Wymogi wg instrukcji WTA 2-9-04 <i>Requirements up to WTA instruction 2-9-04</i>	Wymogi wg PN-EN 998-1:2004 <i>Requirements up to PN-EN 998-1:2004</i>	Metodyka badań <i>Methodology of testing</i>
Grubość w mm <i>Thickness in mm</i>	≤ 0,5	–	–

Obrzutka całopowierzchniowa  
*Full surface rendering coat*

Parametr <i>Parameter</i>	Wymogi wg instrukcji WTA 2-9-04 <i>Requirements up to WTA instruction 2-9-04</i>	Wymogi wg PN-EN 998-1:2004 <i>Requirements up to PN-EN 998-1:2004</i>	Metodyka badań <i>Methodology of testing</i>
Grubość w mm <i>Thickness in mm</i>	≤ 0,5	–	–
Głębokość wnikania wody w mm <i>Depth of water penetration in mm</i>	>5	–	PN EN 1015-18
– po 1 godzinie <i>after 1 hour</i>	na całej grubości <i>at the whole thickness</i>	–	PN EN 1015-18
– po 24 godzinach <i>after 24 hours</i>		–	

Tynk podkładowy  
*Ground plaster coat*

Parametr <i>Parameter</i>	Wymogi wg instrukcji WTA 2-9-04 <i>Requirements up to WTA instruction 2-9-04</i>	Wymogi wg PN-EN 998-1:2004 <i>Requirements up to PN-EN 998-1:2004</i>	Metodyka badań <i>Methodology of testing</i>
Świeża zaprawa <i>Fresh mortar</i>			
Konsystencja (rozpływ) w mm <i>Consistence (spreading) in mm</i>	170±5	–	PN EN 1015-3

Zawartość porów powietrza w % <i>Air pores content in %</i>	> 20	Wartość deklarowana <i>Declared value</i>	PN EN 1015-7
Czas zachowania własności roboczych w minutach <i>Time of keeping workability in minutes</i>	–	Wartość deklarowana <i>Declared value</i>	PN EN 1015-9
Stwardniała zaprawa <i>Set mortar</i>			
Gęstość w kg/m <sup>3</sup> <i>Density in kg/m<sup>3</sup></i>	Wartość deklarowana <i>Declared value</i>	–	PN EN 1015-10
Wytrzymałość na ściskanie w N/mm <sup>2</sup> <i>Compression strength in N/mm<sup>2</sup></i>	> wytrzymałość na ściskanie tynku renowacyjnego > <i>compression strength of the renovation plaster</i>	Kategoria CS II, CS III lub CS IV <i>Category CS II, CS III or CS IV</i>	PN EN 1015-11
Przyczepność w N/mm <sup>2</sup> <i>Adhesion in N/mm<sup>2</sup></i> Symbol modelu pęknięcia <i>Symbol of cracking model</i>	– –	Wartość deklarowana <i>Declared value</i> A, B lub C <i>A, B or C</i>	PN EN 1015-12
Absorpcja wody spowodowana podciąganiem kapilarnym w kg/m <sup>2</sup> *min <sup>1/2</sup> <i>Water absorption caused by capillary suction in kg/m<sup>2</sup>*min<sup>1/2</sup></i>	–	Wartość deklarowana kategoria W0, W1 lub W2 <i>Declared value category W0, W1 or W2</i>	PN EN 1015-18
Absorpcja wody spowodowana podciąganiem kapilarnym w ciągu 24 godzin w kg/m <sup>2</sup> (badana na krążkach) <i>Water absorption caused by capillary suction within 24 hours' time in kg/m<sup>2</sup> (tested on discs)</i>	> 1	–	DIN V 18550
Głębokość wnikania wody w mm <i>Depth of water penetration in mm</i>	> 5	–	p. 6.3.7. instr. WTA 2-9-04
Współczynnik przepuszczalności pary wodnej $\mu$ <i>Water vapor permeability coefficient <math>\mu</math></i>	– < 18	Wartość deklarowana <i>Declared value</i> –	PN EN 1015-19  DIN 52615
Porowatość w % obj. <i>Porosity in % vol.</i> – tynk stosowany jako podkładowy (magazynujący sole) <i>plaster used as sub-layer (for salt storage)</i> – tynk stosowany tylko jako wyrównujący podłoże <i>plaster used only for leveling of the substrate</i>	> 45  > 35		p. 6.3.9. instr. WTA 2-9-04
Współczynnik przewodzenia ciepła w W/mK <i>Thermal conductivity in W/mK</i>	–	Wartość tabelaryczna <i>Value as in tables</i>	PN EN 1745, tab. A.12
Reakcja na ogień <i>Reaction to fire</i>		Klasa <i>Class</i>	EN 13501-1
Trwałość <i>Durability</i>	–	Ocena i deklaracja na podstawie uznanych przepisów w miejscu przewidzianego stosowania zaprawy <i>Assessment and declaration on the basis of recognized legal regulations in force at the expected site of repair</i>	PN EN 998-1
Dodatkowe właściwości dla zaprawy nakładanej natryskowo <i>Additional properties of the mortar applied by gunning</i>			
Zawartość porów powietrza w % <i>Air pores content in %</i>	Wartość deklarowana <i>Declared value</i>	–	PN EN 1015-7
Gęstość świeżej zaprawy w kg/m <sup>3</sup> <i>Density of fresh mortar in kg/m<sup>3</sup></i>	Wartość deklarowana <i>Declared value</i>	–	PN EN 1015-6

Porowatość w % obj. <i>Porosity in % vol.</i> – tynk stosowany jako podkładowy (magazynujący sole) <i>plaster used as sub-layer (for salt storage)</i> – tynk stosowany tylko jako wyrównujący podłoże <i>plaster used only for leveling of the substrate</i>	> 45  > 35	–	p. 6.3.9. instr. WTA 2-9-04
--	------------------	---	-----------------------------

Tynk renowacyjny  
*Renovation plaster*

Parametr <i>Parameter</i>	Wymogi wg instrukcji WTA 2-9-04 <i>Requirements up to WTA instruction 2-9-04</i>	Wymogi wg PN-EN 998-1:2004 <i>Requirements up to PN-EN 998-1:2004</i>	Metodyka badań <i>Methodology of testing</i>
<b>Świeża zaprawa</b> <i>Fresh mortar</i>			
Konsystencja (rozplływ) w mm <i>Consistence (spreading) in mm</i>	170±5	–	PN EN 1015-3
Gęstość w kg/m <sup>3</sup> <i>Density in kg/m<sup>3</sup></i>	Wartość deklарowana <i>Declared value</i>	Wartość deklарowana <i>Declared value</i>	PN EN 1015-6
Zawartość porów powietrza w % <i>Air pores content in %</i>	> 25	Wartość deklарowana <i>Declared value</i>	PN EN 1015-7
Zdolność zatrzymywania wody w % <i>Ability to stop water in %</i>	> 85	–	DIN 18555-7
Czas zachowania własności roboczych w minutach <i>Time of keeping workability in minutes</i>	–	Wartość deklарowana <i>Declared value</i>	PN EN 1015-9
<b>Stwardniała zaprawa</b> <i>Set mortar</i>			
Gęstość w kg/m <sup>3</sup> <i>Density in kg/m<sup>3</sup></i>	< 1400	Wartość deklарowana <i>Declared value</i>	PN EN 1015-10
Wytrzymałość na ściskanie w N/mm <sup>2</sup> <i>Compression strength in N/mm<sup>2</sup></i>	Od 1,5 do 5	Kategoria CS II <i>Category CS II</i>	PN EN 1015-11
Wytrzymałość na zginanie przy rozciąganiu w N/mm <sup>2</sup> <i>Bending strength when stretched in N/mm<sup>2</sup></i>	Wartość deklарowana <i>Declared value</i>	–	PN EN 1015-11
Stosunek wytrzymałości na ściskanie do wytrzymałości na zginanie przy rozciąganiu <i>Ratio of compression strength to bending strength when stretched</i>	< 3	–	p. 6.3.4. instr. WTA 2-9-04
Przyczepność w N/mm <sup>2</sup> <i>Adhesion in N/mm<sup>2</sup></i> Symbol modelu pęknięcia <i>Symbol of cracking model</i>	–	Wartość deklарowana <i>Declared value</i> A, B lub C <i>A, B or C</i>	PN EN 1015-12
Absorpcja wody spowodowana podciąganiem kapilarnym w ciągu 24 godzin w kg/m <sup>2</sup> <i>Water absorption caused by capillary suction within 24 hours' time in kg/m<sup>2</sup></i>	–	≥ 0,3	PN EN 1015-18
Absorpcja wody spowodowana podciąganiem kapilarnym w ciągu 24 godzin w kg/m <sup>2</sup> (badana na krążkach) <i>Water absorption caused by capillary suction within 24 hours' time in kg/m<sup>2</sup> (tested on discs)</i>	> 0,3	–	DIN V 18550
Głębokość wnikania wody w mm <i>Depth of water penetration in mm</i>	< 5 –	– ≤5	p. 6.3.7. instr. WTA 2-9-04 PN EN 1015-18

Współczynnik przepuszczalności pary wodnej $\mu$ (wsp. oporu dyfuzyjnego) <i>Water vapor permeability <math>\mu</math></i> ( <i>diffusion resistance coefficient</i> )	–  < 12	$\leq 15$  –	PN EN 1015-19  DIN 52615
Porowatość w % obj. <i>Porosity in % vol.</i>	> 40		p. 6.3.9. instr. WTA 2-9-04
Odporność na sole <i>Resistance to salts</i>	Odporny <i>Resistant</i>		p. 6.3.10. instr. WTA 2-9-04
Współczynnik przewodzenia ciepła w W/mK <i>Thermal conductivity in W/mK</i>	–	Wartość tabelaryczna <i>Value as in tables</i>	PN EN 1745, tab. A.12
Reakcja na ogień <i>Reaction to fire</i>		Klasa <i>Class</i>	EN 13501-1
Trwałość <i>Durability</i>	–	Ocena i deklaracja na podstawie uznanych przepisów w miejscu przewidzianego stosowania zaprawy <i>Assessment and declaration on the basis of recognized legal regulations in force at the expected site of repair</i>	PN EN 998-1
Dodatkowe właściwości dla zaprawy nakładanej natryskowo <i>Additional properties for the mortar applied by gunning</i>			
Zawartość porów powietrza w % <i>Air pores content in %</i>	Wartość deklarowana <i>Declared value</i>	–	PN EN 1015-7
Gęstość świeżej zaprawy w kg/m <sup>3</sup>	Wartość deklarowana <i>Declared value</i>	–	PN EN 1015-6
Porowatość w % obj. <i>Porosity in % vol.</i>	> 40	–	p. 6.3.9. instr. WTA 2-9-04

Szpachle i wymalowania  
*Fillers and paintings*

Parametr <i>Parameter</i>	Wymogi wg instrukcji WTA 2-9-04 <i>Requirements up to WTA instruction 2-9-04</i>	Wymogi wg PN-EN 998-1:2004 <i>Requirements up to PN-EN 998-1:2004</i>	Metodyka badań <i>Methodology of testing</i>
Wymalowania i powłoki wewnętrzne <i>Paintings and internal coats</i>			
Zastępczy (porównawczy) opór dyfuzyjny $S_d$ dla każdej warstwy, w m <i>Equivalent (comparative) diffusion resistance <math>S_d</math> for each coat, in m</i>	<0,2	–	– <sup>1)</sup>
Wymalowania i powłoki zewnętrzne <i>Paintings and external coats</i>			
Zastępczy (porównawczy) opór dyfuzyjny $S_d$ dla każdej warstwy, w m <i>Equivalent (comparative) diffusion resistance <math>S_d</math> for each coat, in m</i>	<0,2	–	– <sup>1)</sup>
Współczynnik nasiąkliwości powierzchniowej w kg/m <sup>2</sup> *h <sup>1/2</sup> <i>Surface absorptivity coefficient in kg/m<sup>2</sup>*h<sup>1/2</sup></i>	<0,2	–	– <sup>1)</sup>
Mineralne szpachle zewnętrzne <i>Mineral surface fillers</i>			
Absorpcja wody spowodowana podciąganiem kapilarnym w kg/m <sup>2</sup> *h <sup>1/2</sup> <i>Water absorption caused by capillary suction in kg/m<sup>2</sup>*h<sup>1/2</sup></i>	< 0,5	–	DIN V 18550

<sup>1)</sup> WTA 2-9-04 nie precyzuje metodyki badań  
*WTA 2-9-04 does not precise any methodology of testing*



Analiza wymagań wg [1] i [2] obrazuje zupełnie inne podejście tych dwóch dokumentów do problemu. Tynk renowacyjny WTA ma niejako „zaprogramowaną” geometrię i rozkład porów. Wnikanie wody (wilgoci) w tynk jest możliwa tylko w obszarze pierwszych kilku milimetrów, dalszy transport wilgoci zachodzi tylko na drodze dyfuzji pary wodnej. Aby stwardniały tynk cechował się takim „zachowaniem się” wobec wilgoci znajdującej się w murze musi cechować się odpowiednimi parametrami, z których przede wszystkim wymienić należy:

- wysoką porowatość (w świeżej zaprawie zawartość porów powietrza powinna wynosić powyżej 25%, porowatość stwardniałej zaprawy powinna przekraczać 40%). Umożliwia ona wykrywanie w porach tynku wody (przy przejściu przez zero) oraz szkodliwych soli bez zniszczenia struktury samego tynku i muru pod nim. Powoduje to, że tynki renowacyjne są mrozo odporne i odporne na sole;
- współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu < 12$  umożliwia migrację pary wodnej z muru do otoczenia i szybkie wysychanie tynku i muru, nie dopuszczając jednocześnie do tworzenia się „zatoru z wilgoci” między murem a tynkiem, uniemożliwiając koncentrację soli i wilgoci w cienkiej, przypowierzchniowej warstwie muru, natomiast odpowiednio wykształcona absorpcja wody spowodowana podciąganiem kapilarnym i głębokość wnikania wody umożliwia ograniczoną penetrację szkodliwych soli z podłoża bez obawy, że przy rekrystalizacji soli w krótkim czasie zostanie uszkodzony tynk;
- odpowiednio dobrane wartości parametrów: nasiąkliwości powierzchniowej wody  $w_{24}$  i głębokości wnikania wody  $h$  wpływają na migrację soli z muru do powierzchni tynku – umożliwiają ograniczoną penetrację szkodliwych soli z podłoża bez obawy, że przy rekrystalizacji soli w krótkim czasie zostanie uszkodzony tynk;
- odpowiednia wytrzymałość na ścislenie  $\beta_d$  wynosząca  $1,5 \div 5$  MPa i wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu  $\beta_{bz}$  ( $\beta_d/\beta_{bz} < 3$  – jest to tzw. współczynnik kruchości) zapewnia dostosowanie parametrów tynku do wytrzymałości podłoża;
- mrozo odporność;
- wodoodporność;
- odporność na sole;
- hydrofobowość – powoduje zabezpieczenie tynku przed wchłanianiem wody opadowej.

Instrukcja WTA [1] podaje wymagania stawiane systemowi tynków, traktując składniki systemu

Analysis of requirements according to [1] and [2] points out completely different approach to the problem in these two documents. The WTA renovation plaster has in a way ‘programmed’ geometry and distribution of pores. Water penetration (moisture) into the plaster is possible only in the first zone of several millimeters, farther transportation of moisture takes place only by the mechanism of water vapor diffusion. If the set plaster is to be characterized with such ‘performance’ when the moisture contained in the brick wall is concerned, it has to feature suitable parameters, out of which first of all the following should be mentioned:

- high porosity (content of the air pores in fresh mortar should be above 25%, the porosity of set mortar should exceed 40%). This makes possible crystallizing of water (at temperatures below zero) and harmful salts in the pores of the plaster, without damaging the structure of the plaster itself and the wall underneath. This makes the renovation plasters frost-proof and resistant to salts;
- the diffusion resistance coefficient  $\mu < 12$  makes possible migration of water vapor from the wall to the surroundings and quick drying of the plaster and the wall, not admitting to arising simultaneously ‘moisture jam’ between the wall and the plaster, in order to make impossible concentration of salts and moisture in the thin layer of the wall just under the surface, whereas suitably formed absorption of water caused by capillary suction and the depth of penetration of water make possible limited penetration of harmful salts from the base material, without the fear that recrystallization of salts should cause damage of the plaster in a short time;
- suitably well-chosen values of the parameters: surface water absorption  $w_{24}$  and the depth of water penetration  $h$  influence on the migration of salts from the wall to the plaster surface – they make possible limited penetration of harmful salts from the base material, without the fear that recrystallization of salts should cause damage of the plaster in a short time;
- suitable compression strength  $\beta_d$  which equals  $1.5 \div 5$  MPa and tensile strength when bending  $\beta_{bz}$  ( $\beta_d/\beta_{bz} < 3$  – this is the so-called fragility coefficient) assures adaptation of the plaster parameters to the durability of the base;
- frost resistance;
- waterproofness;
- resistance to salts;
- hydrophobic properties – this causes protection of the plaster from absorption of rainfall water.

The WTA instruction [1] gives requirements set for the plaster system, treating the components of

jako komplet materiałów, cechujących się tzw. przestrzenią dobrej współpracy. Przy renowacji zawilgoconych i zasolonych ścian istotne jest, żeby stosować nie pojedynczy tynk renowacyjny, lecz system tynków renowacyjnych, którego składniki cechują się odpowiednimi parametrami i są ze sobą kompatybilne, czego nie uwzględnia PN-EN 998-1:2004 [2]. Zupełnie niezrozumiałe jest pominięcie przez [2] wymogu odporności na sole, jest to jeden z najistotniejszych parametrów odróżniających tynk renowacyjny od tynku tradycyjnego. Badania tego parametru zgodnie z wymogami WTA pozwalają na stwierdzenie, że tynk renowacyjny jest ok. 240 razy bardziej odporny na sole od tradycyjnego tynku na bazie spoiw cementowo-wapiennych [5].

Skuteczność tynków renowacyjnych potwierdza certyfikat WTA. Mogą go uzyskać tynki podkładowe, tynki renowacyjne oraz ewentualnie obrzutka. Kontrola parametrów odbywa się dwutorowo, poprzez zakładową kontrolę produkcji producenta oraz nadzór certyfikowanej jednostki nad zakładową kontrolą produkcji i badania kontrolne gotowego wyrobu. Pierwsze badania (badania typu) potwierdzające zgodność parametrów tynku z wymogami WTA muszą być udokumentowane badaniami akredytowanego laboratorium. Dla tynków nakładanych maszynowo niezbędne są dodatkowe badania, stąd wymóg precyzyjnego podawania zastosowanych agregatów, mieszalników, dyszy itp.

W ramach kontroli produkcji tynków z certyfikatem WTA wykonywane są badania wyszczególnione w tabelicy 2.

Certyfikat WTA nie jest jednak dopuszczeniem do stosowania w budownictwie tynku jako wyrobu budowlanego. W tym przypadku jednoznacznie precyzuje to Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r o wyrobach budowlanych [6] oraz Obwieszczenie Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2004 w sprawie

the system as a set of materials, characterized by the so-called good co-operation space. When carrying out renovation of damp and salted walls it is essential to apply not a single layer of renovation plaster, but the system of renovation plasters, whose components are characterized by suitable parameters and are compatible to one another, which standard PN-EN 998-1:2004 does not take into account [2]. It is completely inexplicable that the requirement of resistance to salts, which makes one of the most essential parameters distinguishing the renovation plaster from the traditional plaster, has been omitted there [2]. Testing of this parameter in accordance with the WTA requirements allows to say that renovation plaster is approximately 240 times more resistant to salts than traditional plaster on the base of cement-lime binders [5].

The effectiveness of renovation plasters has been confirmed by the WTA certificate. This certificate may be issued only for ground plasters, renovation plasters and alternatively rendering coat. Testing the parameters is carried out in two ways, by the manufacturer's plant production quality control and supervision of a certified institution over the plant production quality control and by carrying out testing of the finished product. The first testing (testing of the type), carried out to confirm compatibility of the plaster parameters with the WTA requirements must provide documentary evidence as the result of tests carried out at an accredited laboratory. For gunned plasters applied by machinery it is indispensable to carry out additional tests, hence the applied aggregates, mixers, nozzles etc. are to be precisely described.

Within the audit of production of plasters with WTA certificate the tests following in table 2 are carried out.

The WTA certificate does not, however, make up the admittance of the plaster to application in the building as a building article. In this case it is unambiguously specified in The Parliamentary Act of 16<sup>th</sup> April 2004 about building articles [6] and the Announcement by Minister of Infrastructure of



Rys. 2. Rezultat nałożenia tynku renowacyjnego w zbyt cienkiej, jednocentymetrowej warstwie

*Fig. 2. Result of application of renovation plaster in too thin, one-centimeter layer*



Rys. 3. Skutek zastosowania zbyt szczelnej zaprawy szpachlowej na tynku renowacyjnym

*Fig. 3. The result of use of too tight filling mortar on the renovation plaster*



Rys. 4. Tynk renowacyjny nie powinien stykać się z gruntem, należy tam pozostawić szczelinę

*Fig. 4. Renovation plaster should not touch the ground, a crevice should be left there*

Tab 2. Badania w ramach kontroli produkcji tynków z certyfikatem WTA [1]  
*Testing within the audit of manufacturing plasters with WTA certificate [1]*

	Zakładowa kontrola produkcji <i>Plant quality control of production</i>	Badania nadzorującej akredytowanej jednostki <i>Testing by supervisory accredited institution</i>
Świeża zaprawa <i>Fresh mortar</i>		
Konsystencja (rozpływ) <i>Consistence (spread)</i>	raz na 5 dni <i>once every 5 days</i>	raz na rok <i>once a year</i>
Gęstość <i>Density</i>	raz na 5 dni <i>once every 5 days</i>	raz na rok <i>once a year</i>
Zawartość porów powietrza <i>Content of air pores</i>	raz na 5 dni <i>once every 5 days</i>	raz na rok <i>once a year</i>
Zdolność zatrzymywania wody <i>Ability to absorb water</i>	raz na 6 miesięcy <i>once every 6 months</i>	
Stwardniała zaprawa <i>Set mortar</i>		
Gęstość <i>Density</i>	raz na 6 miesięcy <i>once every 6 months</i>	raz na rok <i>once a year</i>
Wytrzymałość na ściskanie <i>Pressure strength</i>	raz na 6 miesięcy	raz na rok
Wytrzymałość na zginanie przy rozciąganiu <i>Bending strength when stretching</i>	raz na 6 miesięcy <i>once every 6 months</i>	raz na rok <i>once a year</i>
Stosunek wytrzymałości na ściskanie do wytrzymałości na zginanie przy rozciąganiu <i>Ratio of pressure strength to bending strength when stretching</i>	raz na 6 miesięcy <i>once every 6 months</i>	raz na rok <i>once a year</i>
Absorpcja wody spowodowana podciąganiem kapilarnym w ciągu 24 godzin <i>Water absorption caused by capillary suction within 24 hours</i>	raz na 6 miesięcy <i>once every 6 months</i>	raz na rok <i>once a year</i>
Głębokość wnikania wody <i>Depth of water penetration</i>	raz na 6 miesięcy <i>once every 6 months</i>	raz na rok <i>once a year</i>
Porowatość <i>Porosity</i>		raz na rok <i>once a year</i>

europejskich norm zharmonizowanych oraz wytycznych do europejskich aprobat technicznych, wraz z zakresem przedmiotowym tych mandatów [7].

Na tej podstawie producent lub jego przedstawiciel, po wykonaniu określonych badań, czyli wykazaniu zgodności swojego wyrobu z wymaganiami PN-EN 998-1:2004 [2], musi wystawić deklarację zgodności.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym [8] podaje następujące systemy oceny zgodności: system 1+, system 1, system 2+, system 2, system 3 i system 4. Dla tynków renowacyjnych deklarowanie zgodności wyrobu przez producenta odbywa się na podstawie wstępnych badań typu przeprowadzonych przez producenta oraz zakładowej kontroli produkcji, w ramach której badane powinny być co najmniej (p. 8.3.3 PN-EN 998-1:2004 [2]):

5<sup>th</sup> July 2004 concerning harmonized European standards and directives to European technical approvals, together with the objective range of these mandates [7].

On this basis the manufacturer or their agent, after executing defined audits, which means after proving compatibility of his article with the requirements of PN-EN 998-1:2004 [2], must issue their declaration of compatibility.

The Decree of Minister of Infrastructure of 11<sup>th</sup> August 2004 concerning the ways of declaring compatibility of building articles and way of labeling them with a building mark [8] gives the following systems of compatibility assessment: system 1 +, system 1, system 2 +, system 2, system 3 and system 4. For renovation plasters the declaring of the article compatibility by the manufacturer is carried out on the basis of preliminary testing of the type done by the manufacturer and the plant production quality control, within which at least the following parameters should be tested (p. 8.3.3 PN-EN 998-1:2004 [2]):

- maksymalna wielkość ziaren kruszywa
- ilość wody zarobowej
- gęstość brutto świeżej zaprawy
- gęstość brutto i wytrzymałość na ściskanie świeżej zaprawy

Do badań typu zaliczyć tu trzeba przede wszystkim (tablica ZA1 z PN-EN 988-1:2004 [2]):

- wytrzymałość na ściskanie,
- przyczepność i model pęknięcia,
- absorpcja wody spowodowana podciąganiem kapilarnym,
- penetracja wody po badaniu absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym wody,
- współczynnik przepuszczalności pary wodnej  $\mu$  (wsp. oporu dyfuzyjnego).

Zarówno badania typu, jak i bieżące mogą być wykonywane w laboratorium producenta.

### 3. Wnioski

Wymóg badania tynku na zgodność z PN-EN 998-1:2004 [2] jest wymogiem obligatoryjnym (formalnym), natomiast o skuteczności tynku decydują także inne parametry i pozostałe składniki systemu o których norma ta nie wspomina. Opisuje ona tylko tynk renowacyjny jako wyrób budowlany, uwzględniając jedynie wybrane własności i parametry, związane z zastosowaniem na wilgotnych i zasolonych murach, jednakże mając na uwadze skuteczność zastosowanego tynku, ilość parametrów wymaganych przez [2] jest niewystarczająca, tym bardziej, że nic ona nie mówi nie tylko na temat ograniczeń w zastosowaniu tynków renowacyjnych, ale i nie podaje podstawowych wymagań technologicznych pozwalających na skuteczne zastosowanie tynku (na rys. 2, 3, 4 pokazano przykłady błędów w zastosowaniu tynków renowacyjnych. Instrukcja WTA [1] zawiera zalecenia których przestrzeganie wyklucza popełnienie tego typu błędów). Mając na uwadze jakość i skuteczność prac z zastosowaniem tynków renowacyjnych należy stosować wyłącznie systemy materiałów posiadające aktualny certyfikat WTA.

- maximum grain size of aggregate,
- quantity of make-up water,
- gross bulk density of fresh mortar,
- gross bulk density and compression strength of fresh mortar.

Testing of type should first of all include the following (table ZA1 from PN-EN 988-1:2004 [2]):

- compression strength,
- adhesion and the model of cracking,
- water absorption caused by capillary suction,
- water penetration after testing of water absorption caused by capillary suction,
- water vapor permeability coefficient  $\mu$  (diffusion resistance coefficient).

Both testing of the type and current testing can be executed at the manufacturer's laboratory.

### 3. Conclusions

The requirement of testing of the plaster for compatibility with PN-EN 998-1:2004 [2] is the obligatory requirement (formal), whereas other parameters and the remaining components of the system, which have not been mentioned in the standard, also decide about the effectiveness of the plaster. The standard only describes renovation plaster as a building article, taking into account only chosen properties and parameters, connected with the use on damp and salted walls, yet regarding effectiveness of the applied plaster, the number of parameters as required by [2] is insufficient, moreover, it does not say anything not only on the subject of limitations in the use of renovation plasters, but it does not give any basic technological requirements allowing to use the plaster effectively (the examples of mistakes in application of renovation plasters have been shown in figs. 2, 3, 4). The WTA instruction [1] contains recommendations which must be obeyed in order to avoid committing mistakes of this type). Having in mind the quality and effectiveness of works with the use of renovation plasters one should exclusively apply the systems of materials possessing current WTA certificate.

## Literatura • References

- [1] WTA Merkblatt 2-9-04 *Sanierputzsysteme*.
- [2] PN-EN 998-1:2004 *Wymagania dotyczące zapraw do murów – Część 1: Zaprawa tynkarska*.
- [3] WTA Merkblatt 4-5-99 *Beurteilung von Mauerwerk. Mauerwerkdiagnostik*.
- [4] WTA Merkblatt 4-11-02 *Messung der Feuchte von mineralischem Baustoffen*.
- [5] PN-EN 998-1:2004 *Wymagania dotyczące zapraw do murów – Część 1: Zaprawa tynkarska*.

- [6] Rokiel M., *Hydroizolacje w budownictwie. Wybrane zagadnienia w praktyce*, wyd. II, Dom Wydawniczy Medium, Warszawa 2009.
- [7] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Dz.U. Nr 92, poz. 881).
- [8] Obwieszczenie Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2004 w sprawie europejskich norm zharmonizowanych oraz wytycznych do europejskich aprobat technicznych, wraz z zakresem przedmiotowym tych mandatów (Monitor Polski Nr 32, poz. 571).
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. Nr 198, poz. 2041).

---

\* Saint-Gobain Construction Products Polska Sp. z o.o.,  
Marka Weber DEITERMANN, Wrocław Division, Wrocław, Polska  
Saint-Gobain Construction Products Polska Sp. z o.o.(Co. Ltd.),  
Weber DEITERMANN brand, Wrocław Division, Wrocław, Poland

\*\* Izoserwis Sp. z o.o., Racibórz, Polska  
Izoserwis Sp. z o.o., (Co. Ltd.), Racibórz, Poland

---

## Streszczenie

Stosowanie środków flankujących w postaci systemu tynków renowacyjnych jest jednym z etapów prac renowacyjnych prowadzonych na zawilgoconych i zasolonych obiektach. Te środki charakteryzuje specyficzny sposób zachowania. Na skutek jego własności następuje wchłanianie przez tynk wilgoci od ściany, i oddawanie jej do otoczenia w postaci pary wodnej, równocześnie z gromadzeniem wykrystalizowanych szkodliwych soli w masie tynku, a ponieważ następuje przemieszczenie strefy odparowania do wnętrza tynku renowacyjnego, nie powstają wykwity na powierzchni tynku (sposób funkcjonowania tego renowacyjnego tynku jest pokazany na rys. 1. Sole wykrystalizują w tynku renowacyjnym, nie powodując widocznych uszkodzeń. Takie działanie trwa do momentu wypełnienia się kapilar kryształami soli; szacuje się, że przeciętna trwałość tynku renowacyjnego przekracza 20 lat. Tynk renowacyjny musi charakteryzować się ściśle określonymi parametrami, aby mógł wymusić sposób zachowania się wody i równocześnie działać jako zbiornik magazynowy soli.

## Abstract

Application of flanking agents in the form of renovation plasters system makes up one of the stages of renovation works for damp and saline objects. These agents feature a specific way of performance. In result of its properties, plaster soaks up moisture from a wall, gives it back to the surroundings in the form of water vapor, simultaneously storing up harmful crystallized salts in its mass, and as the evaporation zone is shifted inside the plaster it does not allow any efflorescence to occur on the surface of the renovation plaster (the way the renovation plaster works has been shown in fig. 1. Salts crystallize in the renovation plaster, not causing visible damages. This action lasts to the moment the capillaries are filled up with crystals of salt; it is estimated that average durability of renovation plaster can last over 20 years. The renovation plaster must have strictly specified parameters to enforce water to behave this way and simultaneously act as a salt storage.

Luigi Barazzetti\*, Luigia Binda\*\*  
Marco Scaioni\*\*\*, Paolo Taranto\*\*

## Importance of the geometrical survey for structural analyses and design for intervention on c.h. buildings: application to a Mỹ Sơn temple in Vietnam

## Znaczenie badań geometrycznych dla analiz konstrukcji i planowania interwencji w budynkach historycznych: zastosowanie w świątyni w Mỹ Sơn w Wietnamie

### 1. Introduction

The archaeological area of Mỹ Sơn, is situated in the Quảng Nam province (central Vietnam), approximately 30 km South-West from the city of Đà Nẵng and extends over almost 15 ha. The area is located in a small valley surrounded by a semi-circular chain of low mountains, upon which rises mount Hòn Châu. Between the 7<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> century, the Cham people, of Hindu religion, built more than seventy brick masonry monumental buildings in this area, thirty of which are still recognizable. The principal temple (*kalan*) was an isolated building only in rare cases, since a religious complex usually consisted of a sanctuary with several annexes. Almost eleven Hindu complexes (usually referred to as “groups”) are still recognizable in the Mỹ Sơn area (fig. 2).

The discovery of the site dates back to 1885 by a squad of French soldiers. In 1901 Henri Parmentier, chief architect of the EFEO (Ecole Française de l' Extreme Orient), classified every group with a letter (from A to N) and every building with a number [1].

During the war against US, in 1969, the buildings which had survived were severely bombed, and many were razed to the ground.

The authors' work was developed in the framework of a preservation project on group G, which involves the Politecnico di Milano, the Institute for Conservation of Monuments of Hanoi and UNESCO.

### 1. Wstęp

Obszar archeologiczny w Mỹ Sơn, położony jest w prowincji Quảng Nam w środkowym Wietnamie, około 30 km na południowy zachód od miasta Đà Nẵng i rozciąga się na niemal 15 ha. Obszar znajduje się w małej dolinie otoczonej półokrągłym łańcuchem niskich gór, nad którym unosi się góra Hòn Châu. Między VII a XII w. lud Cham, wyznawcy hinduizmu, wybudował tu ponad siedemdziesiąt monumentalnych ceglanych konstrukcji, z których trzydzieści można nadal zidentyfikować. Główna świątynia (*kalan*) rzadko była samodzielnym budynkiem, ponieważ kompleksy religijne składały się zwykle z sanktuarium z kilkoma aneksami. W rejonie Mỹ Sơn nadal rozpoznawalnych jest jedenaście kompleksów hinduistycznych, zwanych zwykle “grupami” (rys. 2).

Miejsce to zostało odkryte w 1885 r. przez oddział francuskich żołnierzy. W 1901 r. Henri Parmentier, główny architekt EFEO (Ecole Française de l' Extreme Orient – Francuska Szkoła Dalekiego Wschodu), sklasyfikował każdą grupę za pomocą liter (od A do N), zaś budynki za pomocą cyfr [1].

Podczas wojny z USA, w 1969 r. ocalałe budynki były bombardowane i wiele z nich zrównano z ziemią.

Praca autorów realizowana była w ramach projektu ochrony grupy G, w którym uczestniczą Politechnika w Mediolanie, Instytut Konserwacji Zabytków w Hanoi i UNESCO. Wybór grupy G był

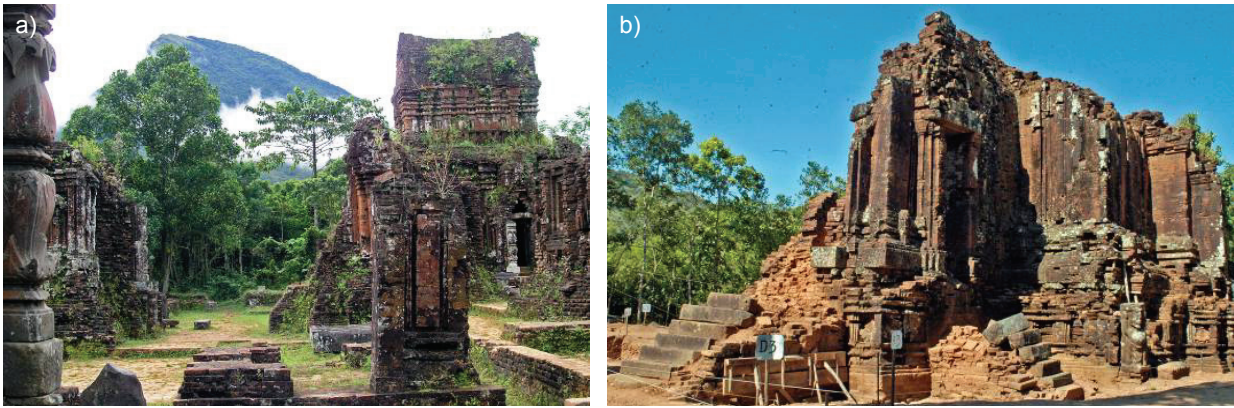


Fig. 1. a) View of groups C and D, Răng Mèo in the background, b) General view of the SW side of G1  
 Rys. 1. a) Widok grup C i D, z Răng Mèo w tle, b) Ogólny widok G1 z południowego zachodu

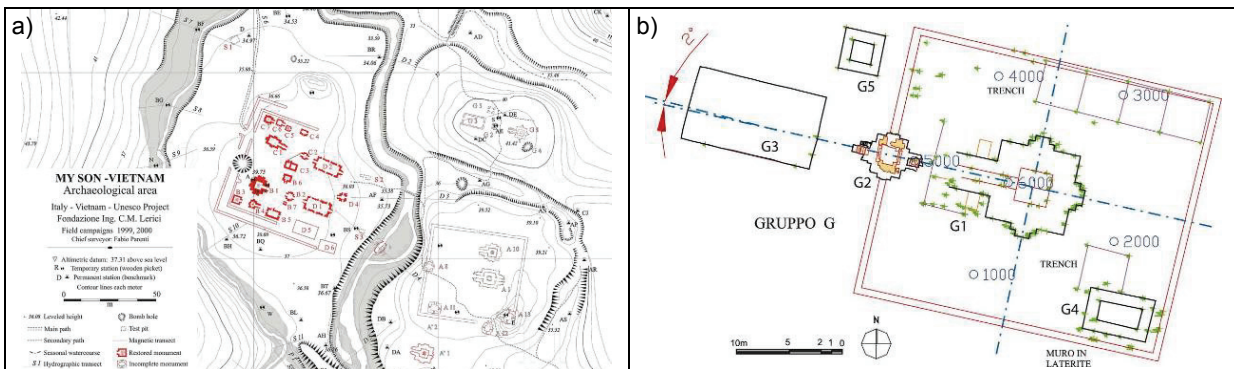


Fig. 2. a) The archaeological area of Mỹ Sơn, b) Orientation of the buildings belonging to Group G  
 Ryc. 2. a) Obszar archeologiczny w Mỹ Sơn, b) Orientacja budynków należących do grupy G

The choice of group G was determined by important factors for the purpose of archeological research: among the monumental groups of Mỹ Sơn, it shows peculiar and homogeneous characteristics, as for the architecture as well as for the decorations. Moreover, since it was built in the period of decadence of the Cham civilization, it was never restored [2].

A geometrical survey was carried out to allow the exact determination of the position and geometry of the group G buildings, providing both metric and qualitative information. The survey allowed the shape of the hill, as well as the orientation of the buildings to be properly defined: the Group is oriented mainly along the East-West axis, with the entrance at the East side (fig. 2b).

Nowadays the building is in the state of ruin, with a maximum elevation of only 6 m.

In order to prepare a design for the intervention, based on well defined principles of conservation [3], a careful geometrical survey was necessary, taking into account that most of the upper part of the building is constituted by ruins deposited after the failure of the roof. The use of a *terrestrial laser scanner* was a too much costly for the existing budget given by UNESCO, so only a low-cost photogrammetric approach was viable.

Furthermore the detailed survey allows to implement a mathematical model studying the behaviour

podyktowany czynnikami istotnymi dla badań archeologicznych: spośród monumentalnych grup w Mỹ Sơn, ta posiada bardzo specyficzne i jednolite cechy zarówno pod względem architektonicznym, jak i w dziedzinie dekoracji. Poza tym została zbudowana w okresie schyłku cywilizacji Cham i dlatego nie była nigdy odnawiana [2].

Badania geometryczne przeprowadzono, aby umożliwić dokładne ustalenie położenia i geometrii budynków grupy G dzięki informacjom metrycznym i jakościowym. Badanie pozwoliło na sprecyzowanie kształtu wzgórza oraz orientacji budynków: grupa znajdowała się głównie wokół osi wschód-zachód, z wejściem od strony wschodniej (rys. 2b).

Obecnie budynek jest zrujnowany, wznosi się nie wyżej niż na 6 m.

Aby opracować projekt interwencji zgodnie ze starannie określonymi zasadami konserwacji [3], konieczne było dokładne ustalenie poziomów geometrycznych, uwzględniając fakt, że większość górnej części budynku stanowią ruiny powstałe tam po zniszczeniu dachu. Użycie naziemnego skanera laserowego było o wiele za drogie zważywszy na budżet udostępniony przez UNESCO, możliwe więc było jedynie przeprowadzenie znacznie tańszych pomiarów fotogrametrycznych.

Poza tym dokładne badanie pozwala na wprowadzenie modeli matematycznych do analizy pracy

of the building before and after the intervention in order to check its safety level.

## 2. Group G description and importance of a detailed geometrical survey

Group G consists of five buildings (*kalan*, *maṇḍapa*, *gopura*, *pośa*, *kośagrha*) situated on a low conglomerate hill and built between the 11<sup>th</sup> and the 12<sup>th</sup> century (fig. 2). The main temple (*kalan* G1), which contained the divinity, is in the centre of the sacred area; the other buildings are annexes, mainly used to preserve the sacred texts and objects used during the religious rituals, as well as the founding memorial stone, and to gather the pilgrims.

An important characteristic of group G, in common with the other monumental groups of Mý Son, is the peculiar structure of the masonry, with bricks of different shape connected by very thin joints of organic material.

The main temple (14.50 m long and 9.00 m wide) (fig. 2) is characterized by the presence of four fundamental elements: the foundations, the base, the central body and the roof

The most important part of the temple is the cell (*garbhagrha*), where the divinity was guarded. The dimensions of the cell are 3.10×3.20 m; there are small niches, carved in the masonry, where the lamps were placed, since the cell has no windows. The surveys carried out in combination with the excavated foundation pits by the archeologists allowed to detect the foundation depth is limited to a reduced portion of soil, with a thickness close to that of the masonry.

Around 1900, during the research carried out by Parmentier, it was already in bad condition. At that time, almost no remains of the roofs of group G were left, with the exception of a small part in G1. The stability of several parts was endangered: the lintel of the main entrance was already broken, and one of its part had rotated and thus detached from the masonry [2].

The most relevant damage occurred during the Vietnam war. The whole part of the northern entrance and the only remaining connection between the cell and the vestibule collapsed. Moreover, the bombings severely jeopardized the overall stability of the structure.

The state of damage increased over the years because of the lack of regular maintenance, which is the main cause of the vegetation growth: several roots penetrated the masonry, worsening the crack pattern. The overall structural stability is mainly endangered by the lack of the roofs and by several

konstrukcji budynku przed i po interwencji w celu umożliwienia oceny bezpieczeństwa obiektu.

## 2. Opis grupy G i znaczenie szczegółowego badania geometrii

Grupa G składa się z pięciu budynków (*kalan*, *maṇḍapa*, *gopura*, *pośa*, *kośagrha*) położonych na niskim wzgórzu zlepieniowym i zbudowanych w XI i XII w. (rys. 2). Główna świątynia (*kalan* G1), w której umieszczone było bóstwo, jest w centrum świętego terenu; inne budynki to aneksy, używane głównie do przechowywania świętych tekstów i przedmiotów używanych do rytuałów religijnych i pamiątkowego kamienia węgielnego oraz stanowiące miejsce spotkań pielgrzymów.

Ważną cechą grupy G, podobnie jak innych zabytkowych grup w Mý Son, jest niezwykle sposób murowania: cegły o różnych kształtach połączone są bardzo cienką warstwą spoiwa z materiału organicznego.

Główna świątynia (14,50 m długości i 9,00 m szerokości) (rys. 2) składa się z czterech zasadniczych elementów: fundamentów, pod-stawy, korpusu głównego i dachu.

Najważniejsza część świątyni to komórka (*garbhagrha*), gdzie strzeżono bóstwa. Komórka ma wymiary 3,10×3,20 m; znajdują się tu małe nisze wykute w murze, gdzie stały lampy, ponieważ w komórce nie było okien. Przeprowadzone badania, połączone z odkrywkami fundamentów wykonanymi przez archeologów, pozwoliły na stwierdzenie, że głębokość fundamentu jest ograniczona warstwą gruntu, o miąższości podobnej do grubości murów.

Okolo 1900 r. podczas badań prowadzonych przez Parmentiera, grupa była już w złym stanie: już wówczas prawie nic nie pozostało z dachów, jedynie niewielki fragment w budynku G1. Stateczność niektórych części była zagrożona, nadproże głównego wejścia było już złamane, a jego część obróciła się, oddzielając się od muru [2].

Najgorsze zniszczenia nastąpiły podczas wojny wietnamskiej. Cała część wejścia północnego oraz jedyne zachowane połączenie między komórką a westybulą zawaliły się. Bombardowania zagraziły także ogólnej stateczności konstrukcji.

Zniszczenia postępowały w miarę upływu lat ze względu na brak stałej konserwacji, co spowodowało rozrost roślinności, korzenie przenikały do murów, pogarszając jeszcze stan zarysowań. Zagrożenie ogólnej stateczności konstrukcji wynika przede wszystkim z braku dachów i z kilku pęknięć przebiegających przez całą grubość ścian. Na górze



cracks, passing through the entire wall thickness. On top of the building and along the sides collapsed and/or unstable parts are present, which can cause along the time partial collapses.

It is worth to mention here the principles for the conservation of Group G adopted by the authors together with the Vietnamese experts and UNESCO and reported in [3]. They can be summarized as follows: (i) to preserve the remaining parts of the damaged G buildings as much as possible by repair and local consolidation, (ii) to reconstruct by sort of anastylosis the sections where stability or durability problems are present leaving intact the present profile of the ruins as much as possible, (iii) to maintain the original masonry adding a new binding only when necessary, (iv) to use new bricks, well distinguished from the old ones only in case of dangerous stability deficiency.

Therefore the project should demand that the collapsed or badly damaged parts should be carefully removed, piece after piece and rebuilt possibly using the recovered original bricks. So it was important to document the position of all these parts and their shape in order to restore them. Furthermore, only by detecting the position of the main cracks it was possible to decide how to carry out the intervention in different steps, in order to avoid further partial or total collapses. Being the shapes highly irregular, it was not possible either to carry out the geometrical survey by usual topographic tools as total stations, nor to adopt a Laser scanner survey; the work was carried out by a low cost photogrammetric approach which will be described in the following sections.

### 3. The 3-D reconstruction process

The 3-D reconstruction of Mỹ Sơn G1 Temple represents a fundamental task in the restoration design process. Two main techniques can be applied today to this aim, also integrated between them: *digital photogrammetry* and *terrestrial laser scanning* (TLS). A detailed comparison of their capabilities and drawbacks can be found in [4].

In the case discussed here, the selection fell on the so called *soft-copy photogrammetry* [5], which adopts consumer digital cameras and low-cost commercial softwares based on *mono-plotting*<sup>1</sup>. This solution is low-cost, considering the whole hardware and software equipment (included PC and screen) can be purchased at less than 5,000 Euros. On the other hand, terrestrial laser scanners and related data processing softwares are much more expensive (at least 15-20 times the cost of photo-

budynku i wzdłuż jego boków leżą części, które odpadły lub straciły stateczność. W przyszłości mogą one powodować częściowe załamania konstrukcji.

Warto tu wspomnieć o zasadach konserwacji grupy G przyjętych przez autorów wspólnie z ekspertami wietnamskimi i UNESCO oraz opisanych w [3]. Można je scharakteryzować w następujący sposób: (i) zachować istniejące części uszkodzonych budynków G na tyle, na ile to możliwe, w oparciu o naprawy i miejscową konsolidację, (ii) zrekonstruować za pomocą anastylozy te sekcje, gdzie występują problemy ze statecznością lub trwałością, w miarę możliwości nie naruszając obecnego profilu ruin, (iii) zachować oryginalną strukturę murywaną, dodając nowe łącza tylko tam, gdzie to konieczne, (iv) używać nowych cegieł, dobrze odróżniających się od starych na wypadek braku stateczności.

Dlatego projekt musiał przewidywać ostrożne usunięcie zawalonych lub mocno uszkodzonych części element po elemencie oraz użycie do odbudowy, w miarę możliwości, odzyskanych oryginalnych cegieł. Ważne było udokumentowanie położenia wszystkich tych części oraz ich kształtu, aby można było je odtworzyć. Poza tym bez wykrycia położenia głównych rys nie byłoby możliwe zdecydowanie, jak przeprowadzić poszczególne kroki interwencji, aby uniknąć dalszych częściowych lub całościowych zawaleń. Ponieważ kształty są bardzo nieregularne, nie można było przeprowadzić badań geometrii za pomocą zwykłych narzędzi topograficznych takich jak tachimetry elektroniczne, ani oprzeć się na pomiarach skanerem laserowym. W pracy posłużono się metodami fotogrametrycznymi o niskich kosztach, zgodnie z opisem w dalszej części artykułu.

### 3. Proces rekonstrukcji trójwymiarowej

Trójwymiarowa rekonstrukcja świątyni G1 w Mỹ Sơn stanowi fundamentalne zadanie w procesie projektowania restauracji. Obecnie w tym celu można zastosować dwie podstawowe techniki lub ich połączenie: *cyfrową fotogrametrię* lub *naziemne skanowanie laserowe* (TLS). Porównanie ich możliwości i wad można znaleźć w [4].

W omawianym przypadku wybrano *cyfrową fotogrametrię* [5], opartą na konsumpcyjnych kamerach cyfrowych i niedrogim oprogramowaniu komercyjnym stosującym *mono-plotting*<sup>1</sup>. Rozwiązanie nie jest kosztowne: pełne wyposażenie w sprzęt i oprogramowanie (włącznie z komputerem i monitorem) można kupić za mniej niż 5.000 euro. Z drugiej strony, skanery laserowe i potrzebne do nich oprogramowanie do przetwarzania danych są o wiele droższe (kosztują co najmniej 15-20 razy

grammetry); furthermore, these are still cumbersome, resulting in problems in carrying them on the site of the survey.

But the analysis of the 3-D reconstruction process cannot be limited to instruments for data acquisition only, as often is thought. In fig. 3 the full pipeline of the 3-D reconstruction and modelling processes based on both photogrammetry and TLS is reported. The background colour of each task visually highlights its complexity. In particular, here the pipeline of photogrammetry is discussed and documented by the results obtained from the survey of G1 Temple. More details about the use of photogrammetry in this project are given in [6].

Data acquisition was performed by two Nikon cameras: a D100 (6 Mpx) with a 18 mm lens, and a D80 (10 Mpx) with a 24 mm lens. Calibration was carried out on-site before each data acquisition session by using Photomodeler 6 software (www.photomodeler.com) and the calibration sheet

więcej niż fotogrametria); w dodatku są one niewygodne i trudno jest przewieźć je na miejsce badania.

Ale analiza procesu rekonstrukcji trójwymiarowej nie może ograniczać się do instrumentów zbierania danych, jak często się myśli. Rysunek 3 pokazuje pełen przebieg trójwymiarowej rekonstrukcji i procesów modelowania w oparciu o fotogrametrię i TLS. Kolor tła w każdym zadaniu odzwierciedla poziom jego trudności. Tutaj omawiamy przebieg rekonstrukcji z użyciem fotogrametrii, udokumentowanej wynikami uzyskanymi w badaniu świątyni G1. Więcej danych na temat użycia fotogrametrii w tym projekcie można znaleźć w pracy [6].

Dane zbierano za pomocą dwóch kamer Nikon: D100 (6 Mpx) z soczewką 18 mm oraz D80 (10 Mpx) z soczewką 24 mm. Kalibrację prowadzono na miejscu przed każdą sesją zbierania danych za pomocą oprogramowania Photomodeler 6 (www.photomodeler.com) i karty kalibracji w ze-

	Sensor calibration	Data acquisition	Sensor orientation	3-D point-cloud reconstruction	Extraction of a vector model
Photogrammetry	Always required before a survey. Alternatively: self-calibration during image orientation, if there are enough images and targets	Accurate planning of the survey to control: image scale, block geometry, object coverage.	Automation is still a not consolidated task in commercial SWs, unless targeting is used. Otherwise, it requires manual measurements.	Automation by dense matching, if there is enough texture on the images.	Manually (directly from oriented images).
TLS	TLS to be periodically calibrated in laboratory. Calibration of the integrated camera as in photogrammetry.	TLS has the same requirements than photogrammetry, but less critical to be worked out.	Automatic if the object presents irregular surface. Otherwise, targets must be used.	Automatic (TLS directly acquires point-clouds).	Very involved, unless integrated images are used to texture the point-cloud.

Fig. 3. Pipelines for 3-D reconstruction based on photogrammetry and terrestrial laser scanning; background colours highlight the complexity of each task: easy (green), medium (yellow) difficult (red)

	Kalibracja czujnika	Pozyskiwanie danych	Orientacja czujnika	Rekonstrukcja trójwymiarowej chmury punktów	Generowanie modelu wektorowego
Fotogrametria	Zawsze konieczna przed badaniem. Alternatywa: samokalibracja podczas orientacji obrazów, jeśli jest dość dużo obrazów i celów	Staranne planowanie badania, aby kontrolować: skalę obrazu, geometrię brył, objęcie obiektu	Automatyzacja nadal nie jest zadaniem skonsolidowanym w komercyjnym sprzęcie, chyba że zastosuje się punktowanie. W przeciwnym razie konieczne są ręczne pomiary.	Automatyzacja za pomocą gęstego doboru, jeśli obrazy są o dość dużej teksturze.	Ręcznie (bezpośrednio ze zorientowanych obrazów)
TLS	TLS trzeba kalibrować od czasu do czasu w laboratorium. Kalibracja zintegrowanej kamery jak w przypadku fotogrametrii	TLS ma takie same wymogi jak fotogrametria, ale ich dopracowanie nie jest tak krytycznym zadaniem.	Automatyczna, o ile obiekt ma nieregularną powierzchnię, w przeciwnym razie trzeba zastosować punkty kontrolne	Automatyczna (TLS pobiera bezpośrednio chmurę punktów).	Bardzo pracochłonne, chyba że wygenerowane obrazy zostaną użyte do teksturowania chmury punktów.

Rys. 3. Przebieg rekonstrukcji trójwymiarowej w oparciu o fotogrametrię i naziemne skanowanie laserowe; kolory tła odpowiadają stopniowi trudności każdego zadania: łatwe (zielony), średnie (żółty) trudne (czerwony)

included in the package. The practical survey was accomplished by people not already experienced in such works, and consequently a simple block of images made up of a circular sequence around the building was designed. Furthermore, some coded targets were applied to the external walls to help *image orientation*, while total station measurements of some ground control points were already available. This geometry of the photogrammetric block gave out a good orientation of the images with both manual (by Photomodeler 6) and automatic procedures [7]. On the other hand, many details could not be imaged due to occlusions, or they were captured at a too low scale for reconstructing the fine details as well (e.g. the shape of bricks). Furthermore, *coded targets* were in part not visible in images, preventing the use of the automatic orientation function of Photomodeler 6, which would allow to save time and man work. Indeed, automatic orientation was performed by a proprietary scientific software developed by the SITECH group at Politecnico di Milano, which does not require any targets.

In order to suggest some guidelines to best practises for future applications, we reckon that a simple image block geometry with large overlaps between convergent images is a viable approach to deal with many situations [5, 8]. However, such a block needs to be completed by further images aiming at details and covering occluded areas. Today the most low-cost photogrammetric packages implement procedures for automatic image orientation based on *coded targets*, as mention above. This solution allows also people with a low photogrammetric background to perform this task in short time. Otherwise, the orientation can be carried out manually through the measurement of corresponding natural points on different images. Thus putting coded marks on the object to be surveyed is still strongly suggested, while in a few years marker-less procedures will become more operational at the practitioners' level.

While TLS directly acquires a dense point-cloud describing in a discrete way the surface of an object, photogrammetry requires to extract the 3-D information from the oriented images. This issue deserves to be further discussed here, because when photogrammetry and scanning are applied outside their native communities, it is very often misunderstood. Disregarding the applied tool, a survey might give rise two main 3-D products: *vector models* and/or *point-clouds*. The former describe the fundamental geometry of an object, which is fully exhaustive

stawie. Praktyczne badanie wykonywali ludzie, którzy nie mieli doświadczenia w tej dziedzinie i dlatego powstał prosty ciąg obrazów wykonanych w sekwencji przejścia dookoła budynku. Poza tym zastosowano kilka zakodowanych punktów w ścianach zewnętrznych, aby ułatwić *orientację obrazu*, podczas gdy były już dostępne pomiary niektórych punktów kontrolnych na ziemi, wykonane tachimetrem elektronicznym. Geometria serii fotogrametrycznej dała dobrą orientację obrazów zarówno dzięki procedurom ręcznym (Photomodeler 6), jak i automatycznym [7]. Z drugiej strony wielu danych nie udało się zobrazować, ponieważ były zasłonięte lub uchwycono je w zbyt małej skali, aby zrekonstruować także drobne detale (np. kształt cegieł). W dodatku zakodowane punkty nie były w pełni widoczne na obrazach, co nie pozwoliło na zastosowanie automatycznej funkcji orientacji Photomodeler 6, która umożliwiłaby oszczędność czasu i pracy. W istocie automatyczną orientację przeprowadzono dzięki oprogramowaniu specjalistycznemu stworzonemu przez grupę SITECH z Politechniki w Mediolanie, które nie wymaga żadnych zakodowanych punktów.

Aby przedstawić wytyczne najlepszych praktyk na przyszłość, sugerujemy, że prosta seria obrazów geometrii z dużymi częściami wspólnymi między przylegającymi obrazami to skuteczne podejście w wielu sytuacjach [5, 8]. Jednakże należy ją uzupełnić dalszymi obrazami pokazującymi detalami i zasłonięte obszary. Obecnie najtańsze pakiety fotogrametryczne realizują procedury automatycznej orientacji obrazów w oparciu o zakodowane punkty, jak już wspomniano. To rozwiązanie pozwala także osobom o niewielkiej wiedzy na temat fotogrametrii szybko wykonać to zadanie. W przeciwnym razie orientację można przeprowadzić ręcznie za pomocą pomiarów odpowiednich naturalnych punktów odniesienia na różnych obrazów. Dlatego nadal mocno zaleca się umieszczanie na badanym przedmiocie zakodowanych obrazów, choć za kilka lat dla praktyków lepsze będą rozwiązania oparte na mniejszej liczbie znaczników.

O ile TLS bezpośrednio uzyskuje gęstą chmurę punktów opisującą powierzchnię obiektu, w fotogrametrii informacje o trzech wymiarach należy wydobyc z zorientowanych obrazów. To zagadnienie warto tutaj omówić, ponieważ stosowanie fotogrametrii i skanowania w obcych krajach często prowadzi do nieporozumień. Niezależnie od używanego narzędzia, badanie może przynieść dwa podstawowe trójwymiarowe produkty: *model wektorowy* i/lub *chmurę punktów*. Model wektorów opisuje podstawową geometrię obiektu w sposób wyczerpujący, o ile obiekt ma regularny kształt, czyli da się go

when this has a regular shape, i.e. it can be approximated by known mathematical functions. The latter make use of a dense set of unorganized points (no relationships occur among them) that approximate the surface in a discrete way. While this approach is more suitable than the other one for artefacts presenting irregular shapes (e.g. archaeological ruins, sculptures, bas-reliefs and the like), point-clouds are not adequate for objects showing strong break-lines. Indeed, a point-cloud is made up of points coming from a sampling process that is not targeted to acquire specific points, like e.g. in the vector model construction. Secondly, in many applications for restoration and documentation of Cultural Heritage vector models are required, while point-clouds can be useful for 3-D visualization purposes and in Virtual Reality, to extract cross-sections (even though these require a post processing work [9]) or as intermediate step to other products (e.g. orthoimages). This consideration will be also supported by comments reported in Section 4 on the results obtained at Mý Son Temple.

Now, photogrammetry does not directly give either vector models or point-clouds, but these can be then derived from images. The former by manually measuring points describing a feature in at least two images (if mono-plotting is adopted), or on the stereoscopic model (if stereo-photogrammetry is used). The latter can be performed by using dense matching techniques like those implemented in the “Scanner” module of Photomodeler 6, or another commercial or scientific packages [10]. In fig. 4, a 3-D vector model and a point-cloud of the “G1” Temple are shown. On the other hand, TLS directly acquires a dense point-cloud, from which it is however very involved to extract a vector model. To do this, images are still needed for localization of break-lines, task that is frequently more complex to be performed in a 3-D environment than in im-

wyrazić znanymi wzorami matematycznymi. Chmura punktów operuje gęstym zbiorem niezorganizowanych punktów (między którymi nie występują relacje), które przedstawiają w przybliżeniu powierzchnię. To podejście jest lepsze od poprzedniego przy artefaktach o nieregularnych kształtach (np. ruiny archeologiczne, ruiny, płaskorzeźby i podobne obiekty), chmury punktów nie są odpowiednim narzędziem obrazowania konstrukcji o ostrych liniach przzerwania. W istocie chmura punktów powstaje z punktów z procesu próbkowania, którego celem nie jest uzyskanie konkretnych danych jak w modelu wektorów. Po drugie, w wielu przypadkach do restauracji i dokumentacji dziedzictwa kulturowego wymagane są modele wektorów, natomiast chmury punktów mogą być przydatne do trójwymiarowych wizualizacji i tworzenia rzeczywistości wirtualnej, aby wygenerować przekroje poprzeczne (pomimo iż wymaga to dużo pracy nad obróbką danych [9]) lub jako krok pośredni do innych wyników (np. ortofotomap). Te zastrzeżenia znajdują potwierdzenie w komentarzach zawartych w sekcji 4 i dotyczących wyników uzyskanych w świątyni Mý Son.

Fotogrametria nie tworzy bezpośrednio ani modeli wektorowych ani chmur punktów, ale można je wyprorowadzić z obrazów. Te pierwsze – ręcznie, mierząc punkty, które opisują daną cechę przynajmniej na dwóch obrazach (w przypadku techniki *mono-plotting*), albo na modelu stereo (w przypadku stereofotogrametrii). Chmury obrazów można natomiast wykonać za pomocą technik gęstego doboru, jak te stosowane w module “Skaner” programu Photomodeler 6, lub w innych pakietach komercyjnych lub naukowych [10]. Na rys. 4 pokazano trójwymiarowy model wektorów i chmurę punktów świątyni G1. Z drugiej strony TLS tworzy bezpośrednio gęstą chmurę punktów, z której można jednak wygenerować model wektorów. Potrzebne są do tego nadal obrazy, aby zlokalizować linie przzerwania, które to zadanie jest często o wiele trudniejsze na materiale trójwymiarowym niż

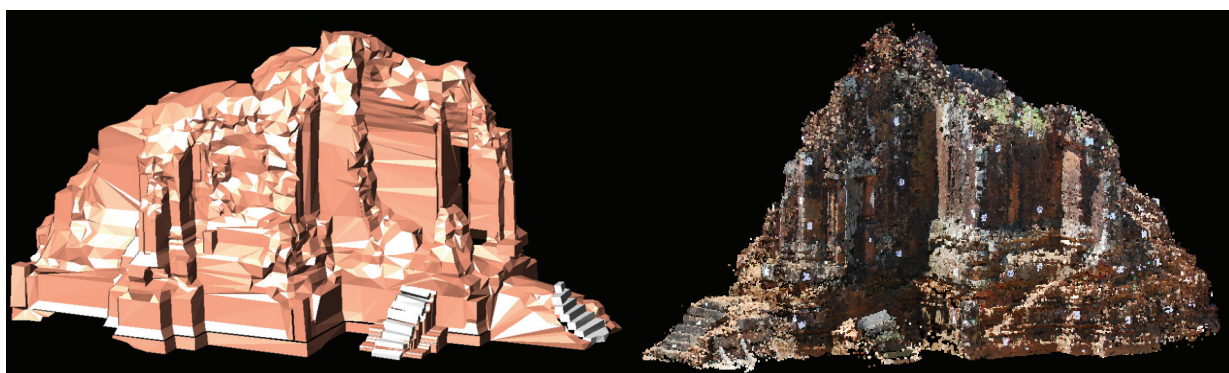


Fig. 4. On the left, a 3-D vector model of the My Son “G1” Temple; on the right a 3-D point-cloud of the same building. Both products were constructed through the photogrammetric process

Rys. 4. Po lewej trójwymiarowy model wektorów świątyni G1 w My Son; po prawej trójwymiarowa chmura punktów tego samego budynku. Oba wyniki wytworzono dzięki fotogrametrii

agery. In many cases, photogrammetry has to be preferred, also motivated by the cheaper cost. On the contrary, when an object features an irregular shape, using TLS is better.

The pipeline described so far might give out other products, in addition to these already discussed: photorealistic 3-D models, orthoimages, anaglyph images for 3-D vision. Traditional horizontal plans, prospects and cross-sections can be derived from vector models and point-clouds, if enough resolution was achieved.

Eventually, the 3-D reconstruction process results in products that are not directly useful for 3-D data management and analysis, because they are based on simple primitives and not on 3-D shapes. This important task can be achieved only after 3-D modelling, i.e. the construction of a solid model where the full object is modelled by 3-D geometric shapes connected among them. The availability of a 3-D model allows to perform 3-D structural analysis [11], to integrate or replace new portions of a building, to analyse deformations and the like. Unfortunately, the 3-D modelling process is still a time-consuming task, to be performed by experts in a graphic environment where the photogrammetric model has to be imported. Practically, an operator has to identify the elementary blocks, to model them with regular shapes, and to apply a proper texture to them.

#### **4. Definition of the subsequent steps of intervention in order to avoid local collapses**

In order to avert local collapses which may endanger the overall safety of the structure, a detailed programme of the intervention activities was elaborated.

Due to the necessity of clearly defining not only the content of the single intervention measures but also the details of their operative coordination and temporal succession, a precise planning had to be carried out.

According to the methodology and the general philosophy applied to date, the intervention measures are aimed at the conservation and stabilization of the structure with as few alterations as possible and with the maximum possible preservation of the original morphologic and material features of the artefact.

For the definition of the regions of the structure on which intervention has to be performed, reference was made to the vast evidence of survey activities (3D-model, photographic documentation, past visual inspections, on field reports). Accordingly, graphic documentation, based on plans and three-dimensional

na obrazach. W wielu przypadkach fotogrametria jest preferowana ze względu na niższe koszty. Jednakże w odniesieniu do obiektów o nieregularnych kształtach lepszą metodą jest TLS.

Za pomocą opisanego powyżej procesu można używać także inne produkty, nie tylko te dotąd omówione, ale także: fotorealistyczne modele trójwymiarowe, ortofotomapy, trójwymiarowe anaglify. Tradycyjne plany horyzontalne, perspektywy i przekroje poprzeczne można wyprowadzić z modeli wektorowych i chmur punktów przy odpowiedniej rozdzielczości.

I wreszcie proces rekonstrukcji trójwymiarowej przynosi efekty, które nie są bezpośrednio przydatne w zarządzaniu i analizie danych, ponieważ oparte są na prostych funkcjach pierwotnych, a nie na trójwymiarowych kształtach. To ważne zadanie można osiągnąć tylko w modelowaniu trójwymiarowym, np. stworzenie wiarygodnego modelu, jeśli cały obiekt jest modelowany powiązanymi z sobą trójwymiarowymi kształtami. Dostępność modelu trójwymiarowego otwiera drogę do trójwymiarowej analizy konstrukcji [11], integracji lub wymiany nowych części budynku, analizy odkształceń itp. Niestety, proces modelowania trójwymiarowego zajmuje wciąż bardzo dużo czasu, musi być prowadzony przez ekspertów w dziedzinie środowiska graficznego, do którego importuje się model. W praktyce operator musi zidentyfikować podstawowe elementy, wymodelować je regularnymi kształtami i zastosować właściwą teksturę.

#### **4. Ustalenie kolejnych kroków interwencji dla uniknięcia lokalnych zawaleń**

Aby nie dopuścić do lokalnych zawaleń, które mogłyby zagrozić ogólnemu bezpieczeństwu konstrukcji, opracowano staranny plan interwencji.

Ponieważ konieczne było jasne zdefiniowanie nie tylko treści poszczególnych środków interwencji, ale także szczegółów ich koordynacji i następstwa czasowego. Potrzebne było precyzyjne rozplanowanie, co należy zrobić.

Według dotąd stosowanych metod i filozofii działań, celem środków interwencyjnych jest konserwacja i stabilizacja konstrukcji przy ograniczeniu zmian do minimum oraz zachowaniu pierwotnej morfologii i cech materialnych obiektu na tyle, na ile to możliwe.

Do zdefiniowania tych obszarów konstrukcji, które wymagały interwencji przygotowano materiał referencyjny w formie szerokiej dokumentacji działań badawczych (trójwymiarowy model, dokumentacja fotograficzna, dawne badania wizualne i raporty z badań na miejscu). Opracowano także dokumentację graficzną opartą na planach

views at different scale levels, indicating the points of interventions was produced: every single zone of intervention was identified by a letter.

For better understanding by the working teams, the interventions in each zone were described by templates [12]. On each template, graphic and photographic documentation was provided to identify the point of intervention, and the typology of conservation activity. Two explanatory sections are present: the first one provides details on the current damage and problems of the considered region/part while the second one points out the extent, features and operative details of the single intervention measure to be performed.

i obrazach trójwymiarowych w różnej skali, pokazując punkty interwencji: każdy obszar interwencji zidentyfikowano w najmniejszych szczegółach.

Aby zespoły robocze osiągnęły lepsze zrozumienie, interwencje w każdym obszarze opisano według szablonów [12]. W każdym szablonie zawarto graficzną i fotograficzną dokumentację, aby zidentyfikować punkty interwencji i typologię działań konserwacyjnych. Pokazane były dwa przykładowe przekroje: pierwszy pokazuje dane aktualnych szkód i problemy w omawianych obszarze/elemente, natomiast drugi pokazuje zakres, cechy i szczegóły konkretnego środka interwencyjnego, który należy podjąć.



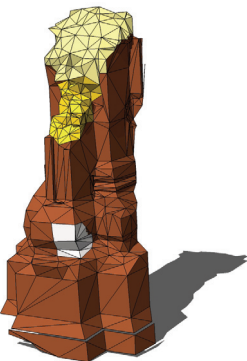
<b>North side Pillar strip – Intervention E</b> <b><i>Pas północnej strony kolumny – Interwencja E</i></b>	
	
<b>Intervention / <i>Interwencja</i></b>	<b>Description / <i>Opis</i></b>
<p><u>Before</u> <i>Przed</i></p> 	<p><u>Present condition</u> <i>Obecny stan</i></p> <p>The north side pillar strip of the main body of the temple exhibits large morphological defects which endanger the local and global stability of the structure. The main problem is connected to the large void and disruption of the wall texture at the base of the element. The upper part of the elements is affected by detachments and diffused damage.</p> <p>On the upper part a vegetal root caused detachment of a brick block.</p> <p><i>Pas północnej strony kolumny głównego korpusu świątyni cechuje się dużymi uszkodzeniami morfologicznymi, które zagrażają miejscowej i całościowej stateczności konstrukcji. Główny problem wiąże się z dużą dziurą i zerwaniem faktury ściany i podstawy elementu. Górna część elementu jest częściowo oberwana i ogólnie zniszczona.</i></p> <p><i>W górnej części korzeń roślinny spowodował oberwanie bloku cegieł.</i></p>
<p><u>After</u> <i>Po</i></p> 	<p><u>Features of intervention</u> <i>Cechy interwencji</i></p> <p>The intervention has to be focused on the recovery of the structural function of the element by means of the reconstruction of its base. This operation entails the filling of the displayed lacuna and the consolidation of the surrounding wall area. Removal of the above-mentioned vegetal remains, cleaning and reassembling of the upper part of the element has to be carried out.</p> <p>Intervention has to proceed upward.</p> <p><i>Interwencja musi się koncentrować na odzyskaniu funkcji konstrukcyjnej elementu dzięki rekonstrukcji jego podstawy. Operacja wiąże się z wypełnieniem widocznej dziury i konsolidacją otaczającego obszaru ścian.</i></p> <p><i>Konieczne jest usunięcie wspomnianych resztek roślinnych, oczyszczenie i ponowne połączenie fragmentów w górnej części elementu.</i></p> <p><i>Interwencja musi przebiegać z dołu ku górze.</i></p>

Fig. 5. Example of a template regarding intervention on an external pilaster  
Rys. 5. Przykładowy szablon dotyczący interwencji na zewnętrznym filarze

A schedule of the interventions is forecast with the aim of helping coordination and optimization of the working activity and to avoid interferences and wrong practices which may endanger both the safety of workers and the stability of the monument.

In the following an example of the above mentioned templates is illustrated (fig. 5).

## 5. Conclusions

The paper describes an application of low-cost photogrammetric techniques for the surveying and 3-D reconstruction of the temple G1 in Mỹ Sơn (Central Vietnam). This experience has represented a pilot case study to be possibly extended as a method for the survey of the other Cham monuments in Mỹ Sơn or in Vietnam. The aim of the project is 3-D reconstruction for documentation and for the design of future conservation works.

Indeed, the geometrical survey carried out on-site allowed to have a 3-D reconstruction of the details of the building with an appropriate resolution. The 3-D model obtained and all the 2-D sections have been used to define the design project for the intervention in all the possible phases, so that all the steps and the details for the restoration could be clearly stated before the real intervention will be started. Furthermore being the knowledge of the geometry and of the crack pattern and damages so deep, it will also be possible to state even after the works have started necessary modifications to the project, due to finding of unexplored parts inside the walls.

In addition, the adopted approach can be considered economically sustainable, operationally viable and not requiring too high expertise in photogrammetry. Exception is represented for the data acquisition design and for setting up projects in commercial softwares, where the contribute of photogrammetrists is relevant. On the other hand, the full reconstruction process might require an intensive man work to be carried out, especially for the orientation of images and for the reconstruction of the 3-D vector model. While the former task is already automatic in scientific softwares (e.g. [7]) and will be so in a few years in commercial packages as well, the latter is expected to be still an interactive process for several forthcoming years. Other products, like point-clouds and orthoimages can be obtained in a more automatic way, if a suitable image resolution and texture were achieved during data acquisition.

Harmonogram interwencji to prognoza, której celem jest ułatwienie koordynacji i optymalizacji robót, aby uniknąć zakłóceń i niewłaściwych praktyk, które mogłyby zagrozić bezpieczeństwu pracowników i stateczności zabytku.

Przedstawiony przykład obrazuje zamieszczony powyżej szablon (rys. 5).

## 5. Wnioski

Artykuł opisuje zastosowanie niskokosztowych technik fotogrametrycznych do badania i trójwymiarowej rekonstrukcji świątyni G1 w My Son (Środkowy Wietnam). To doświadczenie stanowiło przypadek pilotażowy dla potencjalnego zastosowania tej metody do badania innych zabytków ludu Cham w My Son lub w Wietnamie. Celem projektu jest trójwymiarowa rekonstrukcja do dokumentacji i projektowania przyszłych prac konserwatorskich.

W rzeczywistości badanie geometrii na miejscu pozwala na trójwymiarową rekonstrukcję detali budynku w odpowiedniej rozdzielczości. Uzyskany model trójwymiarowy i wszystkie przekroje dwuwymiarowe są używane do określenia projektu interwencji we wszystkich możliwych fazach, aby wszystkie kroki i szczegóły restauracji były jasno opisane przed rozpoczęciem faktycznej interwencji. Poza tym wiedza o geometrii i obszarze spękań i uszkodzeń pozwoli także po rozpoczęciu prac stwierdzić, jakie zmiany projektu są konieczne dzięki odnalezieniu niezbadanych elementów wewnątrz ścian.

Ponadto zastosowane podejście należy uznać za uzasadnione ekonomicznie, skuteczne w działaniu i niewymagające zbyt dużego doświadczenia w fotogrametrii. Wyjątkiem jest wzorzec pozyskiwania danych i przygotowywanie projektów za pomocą komercyjnego oprogramowania, gdzie istotny jest wkład specjalistów w dziedzinie fotogrametrii. Z drugiej strony pełen proces rekonstrukcji może wymagać ciężkiej pracy, zwłaszcza w kontekście orientacji obrazów i rekonstrukcji trójwymiarowego modelu wektorowego. O ile to pierwsze zadanie jest zautomatyzowane w oprogramowaniu naukowym (np. [7]), a w ciągu paru lat nastąpi także automatyzacja w pakietach komercyjnych, to drugie będzie prawdopodobnie procesem interaktywnym jeszcze przez parę lat. Inne produkty, takie jak chmury punktów i ortofotomapy można uzyskać automatycznie, jeśli na etapie zbierania danych osiągnie się odpowiednią rozdzielczość i teksturę.

## References • Literatura

- [1] Parmentier H., *Inventaire descriptif des monuments Ćams de l'Annam*, Vol. 2, E. Leroux, Paris (France) 1909-1918.
- [2] Parmentier H., *L'art architectural hindou dans l'Inde et en Extrême-Orient*, Van Oest les éditions d'art et d'histoire, Paris (France) 1948.
- [3] Binda L., Condoleo P., Cucarzi M., Lê Thành V., Pichard P., Hoàng Đạo K., *Preservation of Temples in Mỹ Sơn (Vietnam)*, Proceedings of Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC), New Delhi (India) 6-8/11/2006, pp. 1479-1486.
- [4] Grussenmeyer P., Landes T., Voegtli T., Ringle K., *Comparison Methods of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry and Tacheometry Data for Recording of Cultural Heritage Buildings*, Proc. of XXI ISPRS Congress, 3-11 July 2008, Beijing, China, IAPRSSIS Vol. 37(B5), pp. 213-218.
- [5] Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I., *Close range Photogrammetry*, Whittles Publishing, Caithness, Scotland (UK) 2006.
- [6] Barazzetti L., Binda L., Cucchi M., Scaioni M., Taranto P., *Photogrammetric Reconstruction of the Mỹ Sơn Temple G1 in Vietnam*, Proc. of 3D-ARCH 2009, 25-28 Feb, Trento, Italy, Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (IAPRSSIS) 38(5/W1), 8 pp., on CD-ROM.
- [7] Barazzetti L., Scaioni M., *Automatic orientation of image sequences for 3-D object reconstruction: first results of a method integrating photogrammetric and computer vision algorithms*, Proc. of 3D-ARCH 2009, 25-28 Feb, Trento, Italy, IAPRSSIS 38(5/W1), 8 pp., on CD-ROM.
- [8] Kraus K., *Photogrammetry*, Vol. 2, Dümmler Verlag, Bonn (Germany) 1997.
- [9] Bienert A., *Vectorization, Edge Preserving Smoothing and Dimensioning of Profiles in Laser Scanner Point Clouds*, Proc. of XXI ISPRS Congress, 3-11 July 2008, Beijing, China, IAPRSSIS Vol. 37(B5), pp. 213-218.
- [10] Barazzetti L., Remondino, F., Scaioni M., *Combined use of Photogrammetric and Computer Vision techniques for fully automated and accurate 3D modeling of terrestrial objects*, Proc. of Int. Conf. "Videometrics, Range Imaging, and Applications X", 2-3 Aug. 2009, San Diego (CA, USA), SPIE Vol. 7447, pp. 12, on CD-ROM.
- [11] Taliercio A., Binda L., *The Basilica of San Vitale in Ravenna: Investigation on the current structural faults and their mid-term evolution*, Journal of Cultural Heritage, 2007, No. 8, pp. 99-118.
- [12] Binda L., Taranto P., Condoleo P., *Difficulties in the design for conservation of archaeological remains: the G1 temple in Mỹ Sơn*, 11<sup>th</sup> Int. Conf. on Structural Repairs and Maintenance of Heritage Architecture, STREMAH 2009, 22-24 July 2009, Tallinn, Estonia, Section 1, pp. 3-14.

---

\* Politecnico di Milano, Dept. DIIAR

\*\* Politecnico di Milano, DIS

\*\*\* Politecnico di Milano, Dept. BEST/SITECH

\* Politecnico di Milano, Dept. DIIAR

\*\* Politecnico di Milano, DIS

\*\*\* Politecnico di Milano, Dept. BEST/SITECH

<sup>1</sup> *Mono-plotting* is opposite to *stereo-plotting*, which requires a device for stereo vision that would increase hardware cost.

<sup>1</sup> *Mono-plotting* stanowi przeciwieństwo *stereo-plotting*, do którego potrzebne jest urządzenie do obrazowania stereo, które zwiększyłoby koszt sprzętu.

## Abstract

The geometrical survey of the structure is of great importance in the case of historic buildings, being the base for the interpretation of structural damages, for the structural modelling and for the design of the intervention for preservation of the building.

## Streszczenie

Geometryczne badanie konstrukcji jest bardzo ważne w przypadku historycznych budynków, bowiem stanowi podstawę interpretacji uszkodzeń konstrukcyjnych, modelowania strukturalnego i planowania interwencji dla ochrony budynku.



The Mỹ Sơn archaeological site which was declared world patrimony by UNESCO in 1999 comprehends several ancient Hindu temples. The temple G1 addressed in this work represents a pilot case to establish a workflow for both documentation and conservation purposes. Both aims required as primary need the 3-D digital reconstruction of the object. Due to the impossibility of using a terrestrial laser scanning for economic and environmental problems, a low-cost photogrammetric solution was adopted to carry out data acquisition, image orientation and 3-D reconstruction of the temple. After discussing the problems related to the use of low-cost photogrammetry for the creation of 3-D vector models and point-clouds, the paper will also shows how the survey was used to decide the sequence of interventions for the preservation of the temple G1.

Teren badań archeologicznych w Mỹ Sơn, uznany przez UNESCO w 1999 r. za część światowego dziedzictwa, składa się z kilku starożytnych świątyń hinduistycznych. Świątynia G1, o której mówi ten artykuł, to przypadek pilotażowy, który ma ustalić przebieg zarówno dokumentacji, jak i konserwacji. Do obu tych celów potrzebne były przede wszystkim trójwymiarowe cyfrowe rekonstrukcje obiektu. Ponieważ ze względu na problemy ekonomiczne i środowiskowe nie można stosować naziemnych skanerów laserowych, przyjęto niskokosztowe rozwiązanie fotogrametryczne, aby uzyskać dane, zorientować obrazy i przygotować trójwymiarową rekonstrukcję świątyni. Po omówieniu problemów związanych ze stosowaniem niskokosztowej fotogrametrii do tworzenia trójwymiarowych modeli wektorowych i chmur punktów, artykuł przedstawia także, jak użyto badań geometrycznych w procesie decydowania o interwencjach ochronnych w świątyni G1.

Antonio Borri\*, Marco Corradi\*  
Emanuela Speranzini\*, Andrea Giannantoni\*\*

## Rubble stone masonry strengthened using “reticolatus” system

## Mur z kamienia łamanego wzmocniony za pomocą systemu „reticolatus”

### 1. Introduction

The consolidation and strengthening of masonry walls that are subjected not only to their own weight but also to possible dynamic stresses constitute one of the most important reinforcement works for achieving an adequate level of safety.

This is because poor quality in the mechanical characteristics of the masonry (compressive strength, shear strength, etc.), especially in old historic buildings, has often been the cause of collapsing or of serious damage, for example during seismic events.

Another element that has a considerable impact on the seismic behaviour of a masonry construction is the connection between vertical walls and between these and the horizontal elements. If these connections are present and effective, they can allow the structure to respond adequately to dynamic stress by means of a “box-like” behaviour, without a loss of balance in the individual sections. If these connections are lacking, each individual element (a wall, floor slab, etc.) will be more vulnerable, since it will be free to collapse separately from the rest of the construction.

The techniques used for restoring or reinforcing masonry structures, such as the “scuci-cuci” (patching) of the masonry, the repairing of cracks by means of perforations reinforced with metal bars, circling with strips of composite material, injection into the masonry of cement grout or lime-based mixtures, reinforced plaster, etc., present

### 1. Wstęp

Jednym z głównych sposobów zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa budowlom jest wzmocnienie ich ścian murowanych, które nie tylko obciążone są własnym ciężarem, ale także mogą być narażone na obciążenia dynamiczne.

Słabe własności mechaniczne (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na ścinanie, itd.) muru, szczególnie w starych budowlach zabytkowych, często były przyczyną ich zawalenia się lub poważnego uszkodzenia, na przykład podczas trzęsienia ziemi.

Inny czynnik mający duży wpływ na sejsmiczne zachowanie się budowli murowanych to połączenia pionowych ścian ze sobą i połączenia ścian z elementami poziomymi. Jeśli takie połączenia występują i są skuteczne, budowla może dzięki pracy skrzynkowej odpowiednio zareagować na obciążenia dynamiczne, nie tracąc równowagi w swoich poszczególnych częściach. Jeżeli takich połączeń nie ma, każdy indywidualny element (ściana, płyta stropowa, itd.) będzie bardziej podatny na zawalenie się, niezależnie od reszty budowli.

Techniki stosowane w celu odrestaurowania lub wzmocnienia konstrukcji murowanych, takie jak szpachlowanie (scuci-cuci), naprawa pęknięć za pomocą otworów zbrojonych prętami metalowymi, wzmocnianie taśmami z materiałów kompozytowych, wstrzykiwanie zaprawy cementowej lub mieszanek bazujących na wapie, tynk zbrojony itd., mają swoje ograniczenia.

some limits and problems. This is especially true in the case of irregular masonry in which it is desired to keep the exterior facing unaltered.

The technique of the deep repointing of the mortar joints that consists of stripping the joints in the masonry by removing the original poor-quality mortar and then repointing the joints with a good quality mortar can be used when the fair-face masonry must be kept. Its effectiveness, however, is limited as regards the increase in the mechanical properties of the masonry, especially if the walls are very thick.

This paper describes a new reinforcement system, called "reticolatus", which is proposed separately or in addition to other techniques (such as injections) and it allows the reinforcement of both regular and irregular masonry, with a limited impact.

As is demonstrated in the experiments presented below, it can make important contributions as regards both horizontal stresses, such as those caused by earthquakes, as well as static vertical loads.

## 2. Description of the reinforcement system

The reinforcement system consists of a continuous mesh of tiny cords made of high strength steel, which are inserted into the mortar joints and thus embedded in the wall.

### 2.1. Materials used

The system is based on the use of following materials:

- a) high strength steel cords, which can be made from coils found on the market. The coils vary in length from 15 m up to 1500 m (fig. 1), and consist of a series of cords laid out parallel to each other and held together by a polyester mesh. It is easy to detach the steel cords out from the strip so as to use them separately. The specifications of the single cord 3×2 are shown in table 1. Other materials may also be used, such as composite materials, provided it is possible to use a cement or lime-based mortar as a matrix.
- b) galvanized steel bars threaded at the ends, which, along with a nut, washer and "cord locking device" (fig. 1), make it possible to hold the cord inside the mortar joint.

Tab. 1. 3×2 cord properties  
Własności linki 3×2

Fiber type Typ włókna	3×2
Cross section area (mm <sup>2</sup> ) Przekrój poprzeczny (mm <sup>2</sup> )	0.481
Failure tensile load (N) Niszczące obciążenie rozciągające (N)	1539
Density (g/m) Gęstość (g/m)	18.45
Elongation at failure (%) Wydłużenie po zerwaniu (%)	1.6

Szczególnie w zastosowaniu do niejednorodnego muru, którego lico ma zostać zachowane w niezmienionym stanie.

W przypadku, gdy musi być zachowane lico muru, można zastosować technikę głębokiego uzupełniania spoin w murze, polegającą na usuwaniu słabej oryginalnej zaprawy i uzupełnianiu spoin zaprawą dobrej jakości. Jeżeli chodzi o poprawę własności mechanicznych skuteczność tej techniki jest jednak ograniczona, szczególnie gdy ściany są bardzo grube.

W artykule opisano nowy system wzmacniająco nazywany „reticolatus”, który proponuje się stosować osobno lub w połączeniu z innymi technikami (takimi jak iniekcje). System ten umożliwia wzmacnianie zarówno jednolitego, jak i niejednolitego muru.

Jak wykazały badania przedstawione poniżej, system ten może zwiększyć odporność muru na naprężenia poziome (np. spowodowane trzęsieniem ziemi) i pionowe obciążenia statyczne.

## 2. Opis sytemu wzmacniającego

System wzmacniający składa się z ciągłej siatki linek ze stali o dużej wytrzymałości, które wprowadza się w spoiny i osadza w nich.

### 2.1. Stosowane materiały

W systemie tym stosowane są następujące materiały:

- a) linki ze stali o dużej wytrzymałości, które dostępne są w handlu w postaci kręgów. Kręgi mogą mieć długość od 15 to 1500 m (rys. 1) i składają się z szeregu linek ułożonych równolegle do siebie i utwierdzonych w siatce poliestrowej. Linki dają się łatwo odłączyć od taśmy i można je używać osobno. Dane techniczne pojedynczej linki 3×2 przedstawiono w tabeli 1. Można używać innych materiałów (np. materiałów kompozytowych) pod warunkiem, że jako osnowę da się zastosować zaprawę na bazie cementu lub wapna.
- b) pręty ze stali ocynkowane gwintowane na końcach, które wraz z nakrętką, podkładką i blokadą linki (rys. 1) umożliwiają osadzenie linki w spoinie.

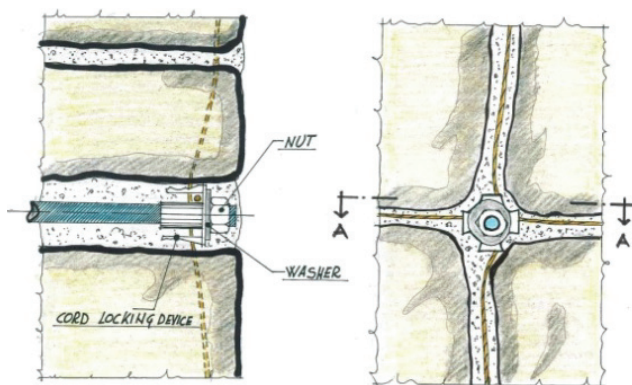


Fig. 1. Close-up of hooking system  
Rys. 1. Widok z bliska systemu kotwiącego



Fig. 2. A typical continuous mesh  
Rys. 2. Typowa siatka ciągła

The most interesting property of the cords used in the proposed system is the fact that their very small size (typical average diameter 1 mm) and their shape, formed by wrapping the individual steel filaments around each other helically (typically 3 or 4 filaments) give rise to high bonding and compatibility between the cords and the mortar surrounding them. This ensures excellent mechanical behavior of the “stone-mortar-cord” assembly. Furthermore, because the cords are so small, they can be easily bent into shape as required in order to pass them through the joints between the various pieces of stone forming the wall (fig. 2).

As concerns the chemical compatibility of the above materials, a number of corrosion tests were carried out which provided positive results, even in particularly aggressive environments. When lime-based mortar is utilized for repointing, it is best to use composite material cords (aramid fibers); metallic cords can also be used if suitable protection (e.g. a plastic sheath or spray coating) is applied beforehand. For this type of application the adhesion between cord and matrix is not fundamentally important, it being possible to count on a mechanism of mutual confinement between the mesh and the stone.

## 2.2. The application

The application is done in the following stages:

- strip the mortar joints in the wall to a depth of 6-8 cm, being careful not to remove the original mortar where it is particularly strong;
- hydroblasting of the stripped joints, doing this operation a few hours before the subsequent application of mortar;
- inserting of the transverse elements (threaded galvanized steel bars, complete with nut, washer and cord locking device). They are typically placed in a minimum number of 4 per square meter, in meshes evenly spaced when it is possible;

Najbardziej interesującą własnością linek stosowanych w proponowanym systemie jest to, że dzięki ich niewielkim wymiarom (typowa średnica 1 mm) i kształtowi, uzyskanemu przez spiralne splecenie pojedynczych (zwykle 3-4) włókien, dobrze łączą i wiążą się one z otaczającą je zaprawą. Zapewnia to doskonałe zachowanie się pod względem mechanicznym zespołu kamień-zaprawa-linka. Dzięki temu, że linki te są krótkie, dają się łatwo wyginać w odpowiedni kształt umożliwiającą przeprowadzenie ich w spoinach między kamieniami tworzącymi mur (rys. 2).

W celu zbadania kompatybilności chemicznej powyższych materiałów przeprowadzono szereg testów na korozję i uzyskano pozytywne wyniki, nawet w szczególnie agresywnych środowiskach. W przypadku stosowania zaprawy na bazie wapna do uzupełniania spoin, najlepiej stosować linki z materiałów kompozytowych (włókna aramidowe). Można używać także linek metalowych, jeśli przedtem zastosuje się odpowiednią ochronę (np. powłokę plastikową lub natryskowaną).

## 2.2. Procedura

Procedura składa się z następujących etapów:

- zdjęcie spoiny w murze do głębokości 6-8 cm, zwracając uwagę na to, aby nie usunąć oryginalnej zaprawy w tych miejscach, gdzie jest ona szczególnie mocna;
- oczyszczenie wodne pozostałej spoiny; operację tę należy przeprowadzić kilka godzin przed nałożeniem zaprawy;
- wsunięcie elementów poprzecznych (gwinutowanych ocynkowanych prętów stalowych wraz nakrętką, podkładką i blokadą linki); typowo 4 sztuki na metr kwadratowy możliwie równo rozmieszczone w siatce;
- utwierdzenie prętów w murze za pomocą specjalnych zapraw bezskurczowych lub żywic epoksydowych;

- fixing of the bars to the wall using specific non-shrink mortars or epoxy resins;
- first repointing with mortar;
- insertion of the UHTSS cords into the stripped joints, passing them through the cord locking devices, proceeding horizontally or vertically across the entire facing being reinforced. If the individual cords are not long enough, they can be joined with resin or simply overlapped with each other by about 20 cm;
- if considered necessary additional cords can be applied diagonally in both directions;
- tightening of the nuts to lightly tension the cords;
- second repointing of the mortar in the joints, completely covering both the cords and the heads of the eyebolts or bars;
- aesthetic finishing of the joints by brushing them with a metal brush.

From a mechanical perspective, the benefits that can be expected are: improved mechanical characteristics (both compression and shear strength, as well as flexural strength for loads both in and out of the plane of the masonry panel), the ability to extensively connect the vertical walls to one another and the vertical walls to the horizontal elements, the possibility of giving the masonry tensile strength, transverse connections between the facings of the masonry.

The system proposed can be used either locally, for example on single wall panels in existing structures (boundary walls, city walls, etc.), or overall, i.e. as a reinforcement system for a masonry construction for improving the overall behavior of entire buildings, especially as regards structural behavior during earthquakes.

### 3. Experiments

In order to investigate the effectiveness of the proposed reinforcement technique, three different series of tests were planned: compression tests using two flat jacks, diagonal tests and flexural tests.

#### 3.1. Compression tests

The compression tests were carried out on the city walls of Trevi (Perugia – Italy). Masonry portions of walls about 50 cm thick were tested by being subjected to compression on a single vertical axis using two flat jacks. During the test the values of the applied pressure and the deflection of the masonry were recorded at each load step. These values were processed to give the stress-strain diagrams (fig. 3), from which the compression

- pierwsze uzupełnienie spoiny zaprawą;
- wprowadzenie linek ze stali o dużej wytrzymałości w szczelinę po usuniętej spoinie i przewleczenie ich przez bloki linki, idąc poziomo lub pionowo, w całym wzmocnianym licu; jeżeli pojedyncze linki nie są wystarczająco długie, można je połączyć za pomocą żywicy lub po prostu zastosować 20 cm długą zakładkę;
- w razie potrzeby można zastosować dodatkowe linki po przekątnej w obu kierunkach;
- dokręcenie nakrętek w celu lekkiego napięcia linek;
- drugie uzupełnienie zaprawy w spoinach, tak aby całkowicie pokryć linki, łby śrub oczkowych i pręty;
- wykończenie estetyczne spoin przez oczyszczenie ich szczotką drucianą.

Z punktu widzenia własności mechanicznych można oczekiwać następujących korzyści: lepsze charakterystyki mechaniczne (wytrzymałość na ściskanie, ścinanie i zginanie w przypadku obciążeń działających zarówno w płaszczyźnie, jak i poza płaszczyznę płyty muru), możliwość połączenia w szerokim zakresie ścian pionowych ze sobą oraz ścian pionowych z elementami poziomymi, możliwość nadania wytrzymałości na rozciąganie poprzecznym połączeniom między licami muru.

Proponowany system można stosować lokalnie, np. na pojedynczych płytach ściennych w istniejących konstrukcjach (mury graniczne, mury miasta, itd.) lub globalnie, tzn. jako system wzmocniający całe konstrukcje murowane w celu poprawy ich pracy, szczególnie podczas trzęsień ziemi.

### 3. Próby

W celu zbadania skuteczności proponowanej techniki wzmocnienia, zaplanowano i przeprowadzono trzy różne serie prób: próby ściskania z użyciem dwóch podnośników płaskich, próby ścinania i próby zginania.

#### 3.1. Próby ściskania

Próby ściskania przeprowadzono na murach miejskich Trevi (Perugia, Włochy). Bloki muru o grubości 50 cm poddawano próbie ściskania w jednej osi pionowej za pomocą dwóch podnośników płaskich. Podczas próby w każdym kroku obciążania rejestrowano wartości nacisku i ugięcia muru. Na podstawie tych wartości sporządzano wykresy rozciągania (rys. 3) i obliczano wytrzymałość na ściskanie oraz

resistance and Young's modulus calculated at 33% of the maximum stress were determined.

The results shown in table 2 and in figure 3, regard: the unreinforced masonry (URM), the deep repointed masonry (REP) and the masonry reinforced with the reticolatus technique (SRE). Upon analysis of the results, it can be stated that the reticolatus technique is able to increase significantly the compressive strength  $\sigma_{max}$  of the masonry: a mean value of 1.29 MPa was measured, corresponding to an increase of compression strength of 116% compared to the unreinforced panels ( $\sigma_{max} = 0.595$  MPa). Furthermore, the mean increase of the masonry reinforced with repointing alone ( $\sigma_{max} = 0.834$  MPa) is about 40% compared to unreinforced panel.

Tab. 2. Results of the tests with double flat jacks  
Wyniki prób ściskania za pomocą dwóch podnośników płaskich

	Max compression stress $\sigma_{max}$ (MPa) Maksymalne obciążenie ściskające $\sigma_{max}$ (MPa)	Young's modulus $E_{1/3}$ (MPa) Moduł Younga $E_{1/3}$ (MPa)
URM 01	0.595	480
REP 02	0.807	393
REP 03	0.857	512
SRE 04	1.261	486
SRE 05	1.312	2416

As concerns the failure mechanism, it was seen that a series of vertical cracks formed between the two flat jacks. Furthermore, there was no substantial differentiation of the type of failure between the unreinforced masonry, the repointed masonry and the masonry reinforced with metal fibers. Whereas in the cases of the unreinforced masonry and of the repointed joints the failure occurred with a small number of fairly large vertical cracks, in the case of reticolatus reinforced masonry a larger number of smaller vertical cracks occurred, indicating an improvement in the mechanical behavior of the masonry due to a probable decrease in the concentration of the maximum stresses within the masonry.

### 3.2. Shear tests

The diagonal compression test defined by the ASTM E 519-81 Standard was designed in order to evaluate the effectiveness of the reinforcement as regards shear stress. The tests were performed on site on three stone masonry panels cut from a 17<sup>th</sup> century building in Pale, near Foligno (Perugia – Italy).

The panels, having a thickness of 53 cm and

moduł Younga przy 33% maksymalnego naprężenia.

Wyniki przedstawione w tabeli 2 i na rysunku 3 dotyczą muru niewzmocnionego (URM), muru z głęboko uzupełnionymi spoinami (REP) i muru wzmocnionego przy zastosowaniu techniki reticolatus (SRE). Na podstawie analizy tych wyników można stwierdzić, że stosując technikę reticolatus można znacznie zwiększyć wytrzymałość na ściskanie  $\sigma_{max}$  muru – średnia wartość zmierzona 1,29 MPa odpowiadała wytrzymałości na ściskanie rzędu 116% w stosunku do płyt niewzmocnionych ( $\sigma_{max} = 0,595$  MPa). Ponadto, średni wzrost wytrzymałości muru wzmocnionego tylko poprzez uzupełnienie spoin ( $\sigma_{max} = 0,834$  MPa) wynosi około 40% w stosunku do płyty niewzmocnionej.

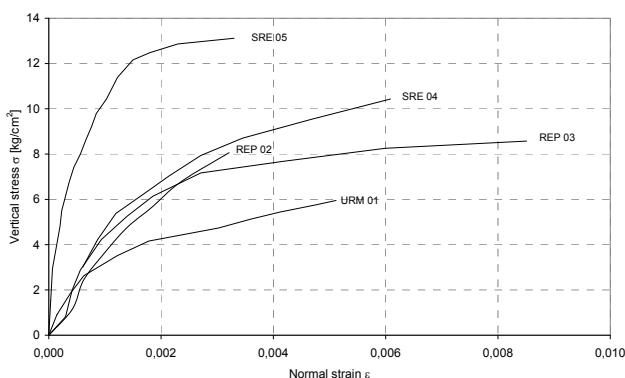


Fig. 3. Diagram ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) resulting from the tests with double flat jacks  
Rys. 3. Wykres ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) sporządzony na podstawie wyników próby ściskania (naprężenie pionowe, odkształcenie normalne)

Jeżeli chodzi o mechanizm zniszczenia, to pojawiło się kilka pionowych pęknięć w murze między dwoma podnośnikami płaskim. Ponadto nie zaobserwowano istotnych różnic w typie zniszczenia między murem niewzmocnionym, murem z uzupełnionymi spoinami i murem wzmocnionym za pomocą włókien metalowych. W przypadku muru niewzmocnionego i muru z uzupełnionymi spoinami zniszczeniu towarzyszyło powstanie kilku stosunkowo dużych pęknięć a w przypadku muru wzmocnionego za pomocą systemu reticolatus wystąpiła większa liczba drobnych spękań, co wskazuje na poprawę pracy mechanicznej tego muru, prawdopodobnie dzięki zmniejszeniu się koncentracji naprężeń maksymalnych w tym murze.

### 3.2. Próby ścinania

Próby ścinania przeprowadzono zgodnie z normą ASTM E 519-81 w celu oceny skuteczności proponowanego wzmocnienia w przypadku naprężeń ścinających. Próby przeprowadzono na miejscu na trzech płytach murowych wyciętych z siedemnastowiecznego budynku w Pale koło Foligno (Perugia, Włochy).

Płyty miały grubość 53 cm i zbudowane były

consisting of very roughly hewn stone (travertine and compact limestones) and lime-based mortar with weak mechanical properties, were consisted of two weakly toothed facings without cross blocks.

The panels were cut to a size of 120×120 cm, and a series of metal beams were then applied at the two edges of one of the two diagonals of the panel, connected by bars. A jack was applied at one of the edges in order to stress the panel until it failed along one of the two diagonals. The diagonals on both faces of the panel were instrumented with two inductive displacement transducers. During testing the load applied and the variation in the length of the diagonals were recorded.

The results expressed in terms of shear strength  $\tau_k$  and of shear elastic modulus  $G_{1/2}$  are shown in table 3 and in figure 4 ( $\tau$ - $\gamma$  diagrams), from which it can be seen that the different reinforced techniques (deep repointing of mortar joints or “reticolatus”) applied have greatly increased the strength.

Tab. 3. Results of diagonal compression tests  
Wyniki prób ścinania

	Max shear stress $\tau_k$ (MPa) <i>Maksymalne napięcie ścinające <math>\tau_k</math> (MPa)</i>	Shear elastic modulus $G_{1/2}$ (MPa) <i>Moduł sprężystości poprzecznej <math>G_{1/2}</math> (MPa)</i>
DC01 Unreinforced <i>Bez wzmocnienia</i>	0.029	541
DC02 Deep repointing <i>Głębokie uzupełnienie spoin</i>	0.039	1403
DC03 Reticolatus <i>Reticolatus</i>	0.063	653

In particular, the “reticolatus” and the deep repointing show an increase in the shear strength of 117% and 35% respectively, compared to an unreinforced panel. Thus it can be noted that for  $\tau_k$  a percentage increase is obtained that is similar to that reported for the compression strength in the preceding series of tests. The increases in the shear elastic modulus  $G_{1/2}$ , calculated in this case at  $1/2$  of the shear strength of the masonry, were less significant: in the case of the “reticolatus” a value of 653 MPa was obtained, compared to the value of 541 MPa for unreinforced masonry.

### 3.3. Flexural tests on panels

In order to investigate the effectiveness of the reinforcement system proposed, a new experimental

z grubo ciosanych kamieni (trawertyn i zwarte wapnienie) i zaprawy na bazie wapna o słabych własnościach mechanicznych. Miały dwie lekko ząbkowane powierzchnie licowe bez bloków poprzecznych.

Płyty te przycięto do wymiarów 120×120 cm i na końcach jednej z dwóch przekątnych płyty zamontowano szereg belek metalowych połączonych prętami. Do jednego z brzegów przystawiono podnośnik w celu obciążania płyty aż do jej zniszczenia wzdłuż jednej z dwóch przekątnych. Na obu licach płyty na przekątnych umieszczono indukcyjne czujniki przemieszczenia. Podczas próby rejestrowano przyłożone obciążenie i zmiany długości przekątnych.

Wyniki w postaci wytrzymałości na ścinanie  $\tau_k$  i modułu sprężystości poprzecznej  $G_{1/2}$  przedstawiono w tabeli 3 i na rysunku 4 (wykresy  $\tau$ - $\gamma$ ). Widać, że zastosowane techniki wzmocnienia (głębokie uzupełnienie spoin i technika reticolatus) bardzo zwiększyły wytrzymałość.

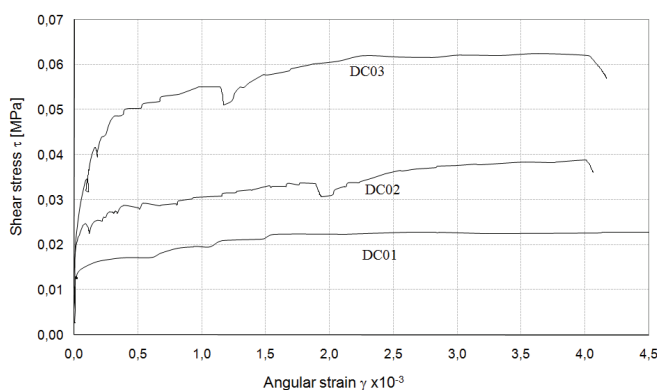


Fig. 4. Diagram ( $\tau$ - $\gamma$ ) resulting from the diagonal compression tests  
Rys. 4. Wykres ( $\tau$ - $\gamma$ ) sporządzony na podstawie wyników próby ścinania

System reticolatus i głębokie uzupełnienie spoin zwiększyły wytrzymałość na ścinanie o odpowiednio 117% i 35% w stosunku do płyty niewzmocnionej. Można zauważyć, że wzrost procentowy  $\tau_k$  jest podobny do wzrostu uzyskanego w poprzedzającej serii prób ścinania. Wzrost modułu sprężystości poprzecznej  $G_{1/2}$ , obliczonego tutaj przy  $1/2$  wytrzymałości na ścinanie muru, był mniejszy: w przypadku systemu reticolatus uzyskano wartość 653 MPa w porównaniu do wartości 541 MPa w przypadku muru niewzmocnionego.

### 3.3. Próby zginania

W celu zbadania skuteczności proponowanego systemu wzmocnienia przeprowadzono próby zgina-

test was conducted, building two rubble stone wall panels reinforced using the “reticolatus” technique.

The two panels were then rotated and placed horizontally, thus subjecting them to a particularly severe flexural test, given the great weight of this wall type.

The panels were built with rough-hewn limestone rubble coming from the demolition of existing walls and cement-lime mortar with modest mechanical properties. The panels are made up of two facings, one (panel 1) without any headers, and the other (panel 2) weakly toothed. Once they had set, the two panels were reinforced with the “reticolatus” technique, using the same 3×2 cords manufactured by Hardwire LLC used previously, according to the stages previous described.

In the first panel, built to investigate the flexural behavior (dimensions: 50 × 268 × 100 cm), in the longitudinal direction 24 cords/meter were applied to the intrados and 12 cords/meter to the extrados, whereas in the transversal direction 24 cords/meter were inserted, for a total of 324 cords applied (fig. 5).

The second panel, built to investigate the shear behavior (40 × 180 × 198 cm), was reinforced in a manner similar to the first panel, again with 12 cords/m on both faces and in both directions, and integrating the face that will be on the inside with an equal number of cords, thus obtaining 24 cords/meter in the two directions on the intrados and 12 cords/meter in the two directions on the extrados, for a total of 175 cords applied (fig. 6).



Fig. 5. Panel 1: front and side views  
Rys. 5. Płyta 1: widok z przodu i z boku

Repointing was done on both panels with cement-lime mortar with modest mechanical properties, with an average depth of about 7 cm. The cords were inserted at a depth of 3-4 cm.

The first panel was placed on a horizontal plane, supporting it at the ends. The four-point bending

nia na dwóch płytach zbudowanych z kamienia łamanego, wzmocnionych za pomocą techniki reticolatus.

Płyty te obrócono i ułożono poziomo, poddając je w ten sposób ciężkiej (biorąc pod uwagę wielki ciężar płyty tego rodzaju) próbie zginania.

Płyty wykonano z grubo ciosanych kamieni wapiennych (pochodzących z rozbiórki istniejących murów) stosując zaprawę cementowo-wapnową o słabych własnościach mechanicznych. Płyty miały dwa lica. Jedna płyta (płyta nr 1) była bez jakichkolwiek główek a druga płyta (płyta nr 2) była lekko ząbkowana. Po ich wykonaniu płyty wzmocniono stosując technikę reticolatus i takie same linki 3×2 (wyprodukowane przez firmę Hardwire LLC) i etapy jak poprzednio.

W pierwszej płycie (50 × 268 × 100 cm) w kierunku wzdłużnym zastosowano 12 linek na metr na podniebieniu i 12 linek na metr na grzbiecie, a w kierunku poprzecznym 24 linki na metr. W sumie zastosowano 324 linki (rys. 5).

Drugą płytę (40 × 180 × 198 cm) wzmocniono w podobny sposób jak pierwszą, stosując 24 linki/metr w obu kierunkach na podniebieniu i 12 linek/metr w obu kierunkach na grzbiecie. W sumie zastosowano 175 linek (rys. 6).

Spoiny w obu płytach uzupełniono zaprawą cementowo-wapnową o słabych własnościach mechanicznych, do średniej głębokości około 7 cm. Linki wsunięto na głębokość 3-4 cm.



Fig. 6. The second panel subjected to flexural tests  
Rys. 6. Druga płyta poddana próbie zginania

Pierwszą płytę umieszczono w płaszczyźnie poziomej, podpierając ją na końcach. Poddano ją próbie czteropunktowego zginania przy rozpiętości 208 cm i obciążeniach oddalonych 38 cm od siebie (rys. 7). Płyta była obciążona ciężarem własnym (oszacowanym na 2200 kg/m<sup>3</sup>)



test was done, with a span of 208 cm and with the loads spaced 38 cm apart (fig. 7). The panel was stressed by its own weight (calculable at  $2200 \text{ Kg/m}^3$ ) as well as by the application of a load increased by increments of 150 kg, distributed among the two loading devices. The displacement was measured by six centesimal comparators placed on both sides of the panel, at midpoint,  $\frac{1}{4}$  and  $\frac{3}{4}$  of the span. The panel reached a critical situation with a load of about 600 kg, corresponding to a maximum flexural moment of 255 kgm, which are added to the 595 kgm deriving from its own weight.

As regards the panel failure mode, various observations can be made. Some cracks parallel to the supports opened in the tension zone, starting with the third load step (450 kg), and these cracks widened progressively up to the 650 kg load, when, due to the deformation of the intrados, some pieces of the intrados contained inside the mesh of the "reticolatus" fell by gravity, and then the masonry itself crumbled apart (fig. 8).



Fig. 7. Panel 1, placed horizontally, on two supports  
Rys. 7. Płyta 1 ułożona poziomo na dwóch podporach

In comparison with a situation of an evenly distributed load equivalent to that applied in the case being examined, the panel failed with a uniform load (inclusive of its own weight) of 1610 kg/m.

The second panel ( $40 \times 180 \times 198 \text{ cm}$ ) was also subjected to a four-point bending flexural test. In this case the panel was significantly shorter and wider than the first panel. The load, almost entirely concentrated in the middle, has a punching effect on the panel that mobilizes mainly the out-of-plane shear resistance.

The panel was tested over a span of 124 cm (along the 180 cm side), and the load was applied by means of two HEA metal beams spaced 35 cm apart, with loads increasing by steps of 100 kg (fig. 9).

The test results seem especially significant for the purposes of demonstrating the effectiveness of

oraz przyłożonym obciążeniem zwiększonym stosując przyrosty wielkości 150 kg, rozłożonym między dwoma urządzeniami obciążającymi. Przemieszczenie mierzono sześcioma komparatorami umieszczonymi po obu stronach płyty w środku rozpiętości, w  $\frac{1}{4}$  rozpiętości i  $\frac{3}{4}$  rozpiętości. Płyta osiągnęła stan krytyczny pod obciążeniem około 600 kg, odpowiadającym maksymalnemu momentowi zginającemu 255 kgm, dodanym do 595 kgm pochodzących od ciężaru własnego.

Jeżeli chodzi o symptomy zniszczenia płyty to zaobserwowano co następuje: kilka rys równoległych do podpór pojawiło się w strefie rozciągania, poczynając od trzeciego kroku obciążania (450 kg) i rysy te rozszerzały się stopniowo do osiągnięcia obciążenia 650 kg, kiedy to na skutek odkształcenia podniebienia kilka fragmentów podniebienia ujętych w siatce reticolatus wypadło pod własnym ciężarem, po czym mur rozpadł się (rys. 8).



Fig. 8. Failure of panel 1  
Rys. 8. Zniszczenie płyty 1

W kategoriach równomiernie rozłożonego obciążenia, równoważnego obciążeniu zastosowanemu w próbie opisanej powyżej, płyta uległa zniszczeniu pod równomiernym obciążeniem (wliczając w to jej ciężar własny) wynoszącym 1610 kg/m.

Druga płyta ( $40 \times 180 \times 198 \text{ cm}$ ) również została poddana próbie zginania czteropunktowego. W tym przypadku płyta była znacznie krótsza i szersza niż pierwsza płyta. Obciążenie, prawie całkowicie skoncentrowane pośrodku oddziaływało przebijająco na płytę, mobilizując głównie niepłaski opór ścinania.

Płyta ta była poddana próbie na rozpiętości 124 cm (wzdłuż boku o długości 180 cm), a obciążenie przykładano za pomocą dwóch metalowych belek HEA oddalonych 35 cm od siebie, stosując kroki o wielkości 100 kg (rys. 9).

Wyniki próby wyraźnie pokazują skuteczność proponowanej techniki wzmocnienia. Płyta nie

the reinforcement technique proposed. Indeed, the panel did not reach the failure point, even though a load of about 2000 kg was applied, corresponding to an equivalent uniform load (inclusive of its own weight) of 4100 kg/m.

The panel was not brought to the collapsing point so that it could be used in a subsequent test.

The two experimental tests described above gave excellent results, considering that the panels were tested by placing them horizontally and subjecting them to flexure, a very difficult situation for structures of this type.

A preliminary evaluation of the failure loads, based on the simplified flexural checking of the two reinforced structures, and considering, for simplicity's sake, the cords as being arranged parallel in the direction of the flexural stress (i.e. as if it were a reinforced masonry beam), it would have provided values of about 1800 kg for panel 1 and 8000 kg for panel 2, assuming a typical average value for the compression strength of the masonry for the type in question.

These values correspond, however, to failure due to tensile stress of the cords in the tension area, a mechanism that was not reached for the case examined (panel 1) because it was anticipated by the falling of pieces and crumbling of the masonry at the intrados.

The crumbling of the masonry in the tension zone was also facilitated in this particular situation (masonry placed horizontally) by the rather large size of the blocks, which "hang" from the intrados and thus tend to fall downward, sliding along the mortar joints, facilitated by their weight. In real situations, with the wall set vertically, the behavior is obviously much different, given that its own weight acts in the plane of the panel.

#### 4. Design

The results of the experiment showed the necessity of finding a model that can describe, in a manner consistent with the real situation, the mechanical behavior of the masonry reinforced using the reticolatus technique.

Diverse methods, from the simplest to the most sophisticated, are being tried regarding this aspect.

It should be said however that in works in which all that is proposed is an overall improvement of



Fig. 9. Testing of panel 2  
Rys. 9. Próba zginania płyty 2

uległa zniszczeniu nawet po obciążeniu ciężarem 2000 kg, odpowiadającemu równoważnemu obciążeniu równomiernemu (włączając w to ciężar własny płyty) wynoszącemu 4100 kg/m.

Płyta nie została doprowadzona do zniszczenia, aby można ją było poddać następnej próbie.

Wyniki obu prób opisanych powyżej były bardzo dobre, biorąc pod uwagę fakt, że płyty poddawano próbie zginania w pozycji poziomej, co jest bardzo ciężką próbą dla konstrukcji tego typu.

Wstępna ocena obciążeń niszczących, dokonana na podstawie uproszczonego sprawdzianu zginania tych dwóch wzmocnionych konstrukcji i przy założeniu, że linki są ułożone równoległe w kierunku naprężenia zginającego (tzn. tak jakby była to zbrojona belka murowana), dała wartości rzędu 1800 kg dla płyty nr 1 i 8000 kg dla płyty nr 2 (przyjmując średnią wartość wytrzymałości na ściskanie dla rozważanego typu muru).

Jednak wartości te odpowiadają zniszczeniu spowodowanemu naprężeniem rozciągającym linek w strefie rozciągania, a mechanizm ten nie został osiągnięty w badanym przypadku (płyta nr 1) ponieważ wcześniej wystąpiło wypadnięcie kawałków muru podniebienia i jego kruszenie się.

W analizowanym przypadku (mur położony poziomo) kruszeniu się muru w strefie rozciągania sprzyjały także duże rozmiary kamieni w podniebieniu, które na skutek dużego ciężaru własnego odspajały się i wypadały. W rzeczywistych sytuacjach, gdy mur stoi pionowo jego zachowanie się jest zdecydowanie inne ponieważ jego ciężar własny działa w płaszczyźnie płyty.

#### 4. Modelowanie

Wyniki prób wskazują na potrzebę opracowania modelu, który opisywałby mechaniczne zachowanie się w rzeczywistych sytuacjach muru wzmocnionego za pomocą systemu reticolatus.

Próbowane są różne podejścia (od najprostszyc do najbardziej zaawansowanych).

Należy jednak zauważyć, że w przypadkach, gdzie celem jest jedynie ogólna poprawa pracy

the performance of the masonry, some suggestions of a qualitative type will be sufficient, deriving from the experiments done and from the comparison with the RC jacket technique, which, although entirely different, does have some similarities with the proposed technique. Indeed, the RC jacket technique consists of two separated reinforced concrete thin walls, external to the existing walls. In case of the proposed technique, definitely there are no reinforced concrete facing walls but improved face shell reinforced masonry walls, enabling much better continuity and compatibility with the existing material.

Following this analogy, the minimum number of nodes in the mesh must not be less than 4/sq.m. and the area of the cords in the single side of the mesh must not be less than 19.60 sq.mm. per meter.

When a very precise strength increment is required instead, the mesh size and the size of the cords must be determined by means of a structural analysis that considers in a precise manner the different project requirements (flexure, shear, sliding). The analysis method is omitted here for the sake of brevity; let it suffice to say that in the two improved face shell reinforced masonry walls the cords work under tension and the masonry confined inside the mesh can work under compression. Various models can be followed, from a Morsch-type design to an FEM model in a nonlinear field.

## 5. Conclusions

The result of the presented technique is that of a reinforced masonry, for which there is an increase in compressive and shear strength. The improvement does not concern solely the mechanical characteristics of the masonry thus reinforced, but affects the entire masonry construction, since in addition to reinforcing the wall panel, the "skeleton" of the continuous grid inside the masonry connects the various contiguous masonry walls to one another, thus forming a reinforcement system. Furthermore, the small size of the reinforcement cords and the fact that they are easy to insert into the mortar joints makes it possible to apply this technique on an extensive, which avoids dangerous concentrations of stress.

The upgrading work is not very invasive and is reversible. It is compatible with preservation of the original material of the building and is therefore particularly suitable for fair-face walls of buildings registered as being of historical and/or

murow, wystarczają pewne jakościowe zalecenia oparte na badaniach doświadczalnych i na porównaniu z techniką płaszcz żelbetowego, która, chociaż bardzo różniąc się od proponowanej techniki, wykazuje pewne podobieństwa do niej. W technice płaszcz żelbetowego stosuje się dwie oddzielne cienkie ścianki z betonu zbrojonego na zewnątrz istniejących ścian. W przypadku proponowanej techniki nie występują ścianki licowe z betonu zbrojonego, ale ulepszone ściany murowane zapewniające lepszą ciągłość i kompatybilność z istniejącym materiałem.

Z tej analogii wynika, że liczba węzłów siatki powinna być nie mniejsza niż 4 na metr kwadratowy, a pole powierzchni linek w jednym boku siatki nie powinno być mniejsze niż 19,60 mm<sup>2</sup> na metr.

W przypadku gdy trzeba uzyskać ściśle określony wzrost wytrzymałości, wielkość siatki i wielkości linek powinny być wyznaczone za pomocą statyki budowli, uwzględniając precyzyjnie różne wymagania (zginanie, ścinanie, poślizg) danego projektu. Ze względu na ograniczoną objętość referatu, nie opisano tu metody takiej analizy. Wystarczy powiedzieć, że w przypadku ulepszonych dwóch lic ściany murowanej linki są rozciągane, a mur ujęty w siatkę może być ściskany. Do analizy można zastosować różne modele, np. model typu Morscha lub model oparty na metodzie elementów skończonych w dziedzinie nieliniowej.

## 5. Wnioski

Dzięki zastosowaniu proponowanej techniki zwiększa się wytrzymałość muru na ściskanie i ścinanie. Poprawa obejmuje nie tylko charakterystyki mechaniczne w ten sposób wzmocnionego muru, ale także całą konstrukcję murowaną ponieważ oprócz wzmocnienia płyty ściany, „szkielet” ciągłej siatki wewnątrz muru łączy różne przyległe ściany murowane ze sobą, tworząc w ten sposób system wzmocnienia. Ponadto małe rozmiary linek zbrojeniowych i fakt, że dają się łatwo wprowadzać w spoiny umożliwiają ekstensywne zastosowanie tej techniki, przez co unika się niebezpiecznej koncentracji naprężeń.

Prace wzmacniające są mało inwazyjne i odwracalne. Zachowany jest pierwotny materiał budowli i dlatego technika ta nadaje się szczególnie do wzmacniania reprezentacyjnych ścian budynków zarejestrowanych jako obiekty zabytkowe lub interesujące pod względem architektonicznym. W przypadku takich obiektów

architectural interest. Therefore historical and archeological buildings and structures may find the system proposed to be an appropriate solution for some of their structural problems, as it is able to combine the need to obtain high safety levels with the demands of protection and preservation.

tów proponowana technika może rozwiązać niektóre ich problemy konstrukcyjne, zapewniając wysoki poziom bezpieczeństwa i jednocześnie spełniając wymogi ochrony i konserwacji.

## References • Literatura

- [1] Binda, L., Modena, C., Baronio, G. and Abbaneo, S. (1997) Repair and investigation techniques for stone masonry walls, *Construction and Building Materials*, Elsevier, 11, (3), 133-142.
- [2] Borri, A. and Castori, G. (2009) Durabilità dei rinforzi strutturali con materiali compositi: sperimentazione e monitoraggio, *III Conf. Mechanics of Masonry Structures Strengthened with FRP Materials: Modeling, Testing, Design, Control.*, Venice, in press.
- [3] Cecchi, A., Milani, G. and Tralli, A. (2004) In-plane loaded CFRP reinforced masonry walls: Mechanical characteristics by homogenisation procedures, *Comp. Science and Technology*, (64), 13-14, 2097-2112.
- [4] Chiostrini, S. and Vignoli, A. (1994). In-situ determination of the strength properties of masonry walls by destructive shear and compression tests, *Masonry International*, 7, (1) 87-96.
- [5] Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L. and Borri, A. (2008). Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: deep repointing. *Construction and Building Materials*, Elsevier, 22/4, 463-472.
- [6] Corradi, M., Borri A., Speranzini E., and Giannantoni A. (2008). Consolidation and reinforcement of stone walls using a reinforced repointing grid”, *Proc. of the 6° ICSAHC*, Bath, UK, 2-4 July, 2008.
- [7] Elgawady, M.A., Lestuzzi, P. and Badoux, M. (2006). Analytical model for the in-plane shear behavior of URM walls retrofitted with FRP, *Composites Science and Technology*, Elsevier, (66), 459-474.
- [8] Gregorczyk, P., Lourenço, P.B. (2000). A review on flat jack testing, *Engenharia Civil*, n.9. 39-50.
- [9] Turco, V., Secondin, S., Morbin, A., Valluzzi, M.R., Modena C. (2006). Flexural and shear strengthening of un-reinforced masonry with FRP bars, *Comp. Science and Technology*, Elsevier, 66, 290-296.
- [10] Tassios, P.T. 1988. *Masonry mechanics*, Liguori Publ., Napoli, (Italian Translation).

---

\* Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia, Perugia, Italy

\*\* UniLAB srl, Foligno, Italy

## Abstract

A new technique is proposed for reinforcing rubble stone masonry walls (double and triple-leaf walls), when the fair-face masonry must be kept. The reinforcement technique consists of embedding a continuous mesh of high strength steel cords in the mortar joints after a first repointing, and then anchoring this to the wall by means of transversal steel bars. A second repointing covers the cords and the heads of the steel bars. This gives a reinforced fair-face masonry wall in which there is increased compression, shear and flexural strength, an effective transverse connection between the masonry leaves due to the presence of the steel bars, and the capacity to withstand tensile stresses, as was confirmed by the first tests. The reinforcement is non-invasive and reversible, and is aimed at integrating the masonry rather than transforming it. Various experimental tests, briefly presented here, have clearly demonstrated the structural effectiveness of this technique.

## Streszczenie

Zaproponowano nową technikę wzmacniania muryrowanych ścian (szczelinowych ścian dwu- i trójwarstwowych) przy zachowaniu oryginalnego lica muru. Proponowana technika wzmacniania polega na wprowadzeniu ciągłej siatki z linek stalowych o wysokiej wytrzymałości w spoiny po ich pierwszym uzupełnieniu i zakotwiczeniu jej w murze za pomocą poprzecznych prętów stalowych. Drugie uzupełnienie spoin pokrywa linki i łby prętów stalowych. Uzyskuje się wzmocnioną ścianę muru z zachowanym oryginalnym licem, charakteryzującą się zwiększoną wytrzymałością na ściskanie, ścinanie i zginanie, skutecznym poprzecznym połączeniem między warstwami muru (dzięki obecności prętów stalowych) i zdolnością wytrzymywania naprężeń rozciągających, co potwierdziły wyniki badań doświadczalnych. Wzmocnienie jest nieinwazyjne i odwracalne i jego celem jest scalenie muru, a nie jego przekształcenie. Różne badania doświadczalne (opisane tutaj w skrócie) jasno wykazały skuteczność tej techniki.

Giovanni Mantegazza\*

## Efficacy of FRCM in earthquake – proofing of the Church of Madonna di Centurelle (L'Aquila – Italy)

## Efektywność materiałów FRCM w przypadku trzęsień ziemi – zabezpieczenie Kościoła Madonna di Centurelle (L'Aquila we Włoszech)

### Introduction

The Church of the Madonna di Centurelle has seen some radical changes over its centuries-long history: historical sources confirm the existence of another religious building in the 11<sup>th</sup> century, perhaps built over an existing archaic building, rebuilt in 16<sup>th</sup> century, then expanded and repaired following earthquake damage in the eighteenth century and abandoned to decay in the nineteenth and twentieth centuries.

In 1950 it was proposed that the church should be demolished, but in 1965 it was consolidated and then used as an animal shelter until the '80s.

The most radical, invasive structural changes since the 16<sup>th</sup> century were performed between 1965 and 1968, when the church was in such a state of decay that it was in danger of collapse and required major work to halt its decline, performed using the equipment and technologies commonly in use at the time.

In an earthquake zone, the severest test of a consolidated structure and the technologies used on it is unfortunately further telluric stress.

The April 2009 earthquake in Abruzzo put the earthquake-proofing techniques used in 2003 to the test: an extremely severe test that revealed the efficiency of Ruredil's FRCM reinforcement systems.

### Wstęp

Kościół Madonna di Centurelle przeszedł w swojej wielowiekowej historii radykalne zmiany: źródła historyczne potwierdzają istnienie innego budynku kultu w XI w., który być może był nadbudowany na wcześniejszej budowli antycznej, został przebudowany w XVI w., a następnie rozbudowy i wyremontowany po uszkodzeniach spowodowanych trzęsieniem ziemi w XVIII w. Następnie został porzucony i w XIX i XX w. stopniowo niszczał.

W 1950 r. zaproponowano rozbiórkę kościoła, ale w 1965 r. budynek został umocniony i był następnie używany jako schronienie dla zwierząt aż do lat 80. XX w.

Najbardziej radykalne od wieku XVI, inwazyjne wręcz zmiany konstrukcyjne wprowadzono między 1965 r. a 1968 r., kiedy kościół był zniszczony do tego stopnia, że zagrażał zawaleniem i wymagał poważnych prac, aby się nie rozpaść. Prace te wykonano za pomocą technologii stosowanych typowo w tamtych czasach.

W rejonach sejsmicznych najpoważniejszym testem, jaki przechodzą umocnione konstrukcje i stosowane technologie, jest niestety dalszy nacisk energii ziemi.

W kwietniu 2009 r. trzęsienie ziemi w Abruzzo przetestowało techniki zabezpieczeń antysejsmicznych użyte w 2003 r: ten niezwykle ciężki test dowiódł skuteczności systemów umocnień FRCM firmy Ruredil.



Centurelle Church – July 2009 after earthquake  
*Kościół Centurelle – lipiec 2009 po trzęsieniu ziemi*

## The Church

Travellers approaching along state highway number 17 come to the church of Madonna di Centurelle in a questioning spirit due to the striking appearance of this simple abandoned building which nonetheless preserves the dignity and memory of days gone by when it was a landmark on the plateau, when its name appeared on the oldest maps of the sheep-tracks and was known as far away as in Puglia.

The first things that strike the visitor approaching the church today are its imposing size, peculiar architecture and historical heritage; they will also note a small arcade, a well and, finally, the coat of arms and discrete decorations bearing the symbols of Pope Celestine V, still testifying to his power over the local society and economy three centuries after his death.

### Work performed in 1997-2000

The building's decay and abandonment, aggravated by the 1997 earthquake, caused lesions running right through it, vertically marking the side walls near the façade up to the level of the work performed in April 1999. The first stage in the work involved demolition and removal of the reinforced concrete roof and cement slabs, the condition of which, having become precarious due to the state of the cement conglomerate, did not offer a sufficient guarantee of stability. The raised walls were reinforced

## Kościół

Podróźni podjeżdżający autostradą krajową numer 17 docierają do kościoła Madonna di Centurelle pełni niepewności z powodu niezwykłego wyglądu tego prostego, porzuconego budynku, który zachował jednak godność i pamięć o dawnych dniach, kiedy był znakiem rozpoznawczym tej równiny, a jego imię pojawiało się na najstarszych mapach tras przeprowadzania owiec i było sławne nawet w Apulii.

Współczesnego turystę odwiedzającego kościół uderza przede wszystkim jego imponujący rozmiar, niezwykłość architektury i dziedzictwo historyczne; uwagę zwraca także niewielka arkada, a wreszcie herb i dyskretne dekoracje z symbolami Celestyna V, które jeszcze dziś, trzy wieki po śmierci tego papieża, świadczą o jego potęgze w miejscowej społeczności i gospodarce.

### Prace wykonane w latach 1997-2000

Proces niszczenia porzuconego budynku, wraz z trzęsieniem ziemi z 1997 r., spowodował zmiany przebiegające w poprzek kościoła i znaczące pionowymi rysami ścianę w pobliżu fasady aż do poziomu prac podjętych w kwietniu 1999 r. Pierwszy etap obejmował rozbiórkę i usunięcie dachu z żelbetu oraz płyt z cementu, których stan stał się niebezpieczny w wyniku niszczenia konglomeratu cementu i nie gwarantował stabilności. Wzniesione ściany umocniono odpowiednią liczbą zastępczych kamieni (*cuci-scuci*),

with a consistent amount of stone replacement (*cuciscuci*) work, the interior was plastered and new installations were added along with ventilation spaces, floors and new chestnut window and door frames. The flooring and plasterwork was also redone.

In the interior of the church, the vaults were temporarily shored up. A similar structure of buttressed joined pipes was built on the outside of the church, and excavations were dug near the walls to check the condition of the foundations.



wnętrze otynkowano i dodano nowe instalacje wzdłuż przewodów wentylacyjnych, podłóg, nowych ram drzwi i okien z drewna orzechowego. Ponownie wykonano także posadzki i tynki.

We wnętrzu kościoła wstawiono tymczasowe podpory sklepienia. Podobne konstrukcje z podpartych połączonych rur zbudowano na zewnątrz kościoła, a przy ścianach przeprowadzono wykopy, aby sprawdzić stan fundamentów.



### Work performed in 2001-2003

The 1998 project allowed the church to be made safe and partially recovered the annexed premises used as a Documentation Centre.

The project was developed on the basis of past experience, studies, graphic surveys that were already available and the diagnosis of instability.

### Goals of the project

Restoration of the church of Madonna di Centurelle was intended to solve the problems of static instability that had compromised its conservation, applying the most appropriate measures for earthquake-proofing the church with the goal of achieving improved safety. The idea was to plan and implement a systematic set of structural improvement works without substantially modifying the building's overall behaviour, and therefore without making it a different building than it was.

To achieve this goal, the project was divided into a preordained sequence of tasks aimed at:

### Prace wykonane w latach 2001-2003

Projekt z 1998 r. pozwolił doprowadzić kościół do stanu, kiedy budynek był bezpieczny i dobudowano do niego nową część, która służyła jako Centrum Dokumentacji.

Projekt był oparty na wcześniejszych doświadczeniach, badaniach, kontrolach graficznych, które były dostępne wcześniej, oraz na diagnozie niestabilności.

### Cele projektu

Restauracja kościoła Madonna di Centurelle miała na celu rozwiązanie problemów statycznej niestabilności, która była problemem wcześniejszej konserwacji, z zastosowaniem najstaranniejszych pomiarów tak, aby zapewnić ochronę kościoła na wypadek trzęsienia ziemi. Założeniem było zaplanowanie i realizacja systematycznego zestawu prac rozwijających konstrukcję bez wprowadzania zasadniczych zmian w ogólnym zachowaniu budynku, to znaczy tak, aby nie zmienić kościoła w inny budynek niż był.

Aby to osiągnąć, projekt podzielono na z góry zdefiniowaną sekwencję następujących zadań:



- Adding to the temporary shoring and supporting structures;
  - Consolidating the church's load-bearing walls;
  - Removing the roof covering and cement slabs;
  - Checking the apical edging and proceeding to anchor it to the masonry below;
  - Building a temporary roof structure;
  - Inserting a system of metal tie rods crosswise above the vaults;
  - Consolidating the vaults on the extrados;
  - Proceeding to cut and remove individual reinforced concrete dividers while preserving the reinforced concrete apical edging;
  - Building a new steel roof structure consisting of braced girders with sandwich panels over them on which the waterproofing structures rest;
  - Laying the backbone of the electrical wiring on the extrados of the vaults;
  - Creating a new roof covering;
  - Restoring the intrados of the vaults, completing their consolidation with localised micropinning and reinforced seams;
  - Restoring the walls of the outer façades, while at the same time proceeding to consolidate the elements jutting out of the façade and the windows.
- Uzupełnienie tymczasowych podpór i struktur wzmacniających;
  - Konsolidacja ścian nośnych kościoła;
  - Usunięcie pokrycia dachu i płyt cementowych;
  - Sprawdzenie krawędzi szczytowych i przygotowanie ich zakotwiczenia w murach poniżej;
  - Wybudowanie tymczasowej konstrukcji dachowej;
  - Umieszczenie systemu metalowych cięgien poprzecznych nad sklepieniami;
  - Konsolidacja górnej płaszczyzny sklepień;
  - Przygotowanie do wycięcia i usunięcia poszczególnych elementów dzielących z żelbetu przy zachowaniu krawędzi szczytowych z żelbetu;
  - Wybudowanie nowej konstrukcji dachowej ze stali składającej się z umocnionych dźwigarów i paneli wielowarstwowych, na których opierają się struktury zabezpieczające przed penetracją wody;
  - Ułożenie głównej części instalacji elektrycznej w grzbietowej części sklepień;
  - Stworzenie nowego okrycia dachu;
  - Odnowienie podniebienia sklepień, dokończenie ich konsolidacji za pomocą miejscowego zakotwiczenia i zbrojonych szwów;
  - Renowacja ścian zewnętrznej fasady, a jednocześnie przygotowanie do konsolidacji elementów wystających z fasady i okien.

### Consolidation of the walls

The masonry on the site of the vertical lesions was rebuilt over its entire extent using the stone replacement or *cuci-scuci* method in order to restore the original structural behaviour of the walls. The next stage involved restoration of the masonry core, working from the outside by making holes and injecting Rurewall B1 from Ruredil SPA, a mixture of pozzolanic binders, under very low pressure. Surveys prior to the project revealed a structural deficiency in the vertical masonry, which essentially consisted of dry walls varying in thickness from 0.80 to 1.20 m.

It was therefore necessary to proceed to restore individual portions of wall, removing the unsafe parts and rebuilding the structure on the basis of its original plumb line so as to restore the load-bearing function of the raised masonry. When consolidation had been completed, the unsafe parts of the single-light windows were numbered and removed, then put back in their original location and anchored there. Restoration of the original behaviour of the building's box-shaped organism and therefore improvement of its earthquake resistance was assured by reinforced seams which crossed practically aligned with points of structural fragility.

### Konsolidacja ścian

Murowana konstrukcja ścian w miejscu pionowych zmian została odbudowana w pełnym zakresie metodą wymiany kamiennej, czyli *cuci-scuci*, aby przywrócić pierwotne zachowanie strukturalne ścian. W następnym etapie odnowiono rdzeń konstrukcji murowanej od zewnątrz, robiąc dziury i wstrzykując pod bardzo niskim ciśnieniem Rurewall B1 z Ruredil SPA, mieszaninę spoiw pucolanowych. Kontrole wykonane przed projektem wykazały braki konstrukcyjne w pionowej konstrukcji, która zasadniczo składała się z suchych ścian o grubości od 0,80 do 1,20 m.

Konieczne było zatem podjęcie renowacji pojedynczych części ściany, usunięcie niebezpiecznych części i odbudowa konstrukcji w oparciu o jej pierwotny pion, aby przywrócić funkcję nośną wzniesionych murów. Po ukończeniu konsolidacji policzono i usunięto niebezpieczne części jednoczęściowych okien, a następnie wstawiono je z powrotem i zakotwiczo w ich pierwotnym położeniu. Zadbano o restaurację pierwotnego zachowania budynku jako organizmu w kształcie pudełka, co oznaczało wzmocnienie jego odporności na trzęsienia ziemi, używając do tego zbrojonych szwów, które przechodziły praktycznie równo z punktami konstrukcyjnej wrażliwości.

## Removal of the roof

After completion of the work on the perimeter walls, it was possible to proceed with removal of the roof covering and the cement slab, proceeding to cut individual portions of surfaces held in tension with the aid of a crane and then brought to the ground.

## Consolidation of the vaults

After creating holes for injection and thoroughly washing the affected areas, work began on the first stage in the process of consolidation of the masonry mass of the vault, injecting Rurewall B1 under very low pressure. According to the project calculations, the surface of the extrados was anchored to the outer walls with metal reinforcements; according to the original plan, consolidation was then to have been completed with plating of critical parts of the extrados with carbon fibre strips and epoxy formulas. But while the work was underway, the complex structural issues at stake suggested study

## Usunięcie dachu

Po ukończeniu prac na obwodzie ścian można było podjąć się usunięcia pokrycia dachu i płyt z cementu, zajmując się wycinaniem poszczególnych części powierzchni utrzymywanych za pomocą dźwigu, a następnie ściąganych na ziemię.

## Konsolidacja sklepień

Po przygotowaniu dziur do wstrzykiwania i starannym oczyszczeniu danych obszarów, rozpoczął się pierwszy etap procesu konsolidacji masy murowanej sklepienia za pomocą wstrzykiwania Rurewall B1 pod bardzo niskim ciśnieniem. Zgodnie z wyliczeniami projektowymi, powierzchnia grzbietu łuku została zakotwiczona w zewnętrznych ścianach metalowymi umocnieniami; oryginalny plan przewidywał następnie zakończenie konsolidacji poprzez pokrycie krytycznych punktów grzbietu płytami z taśmami z włókien węglowych i formułami epoksydowymi. Jednak w trakcie pracy pojawiły się złożone



Preparation of vault's surface  
*Przygotowanie powierzchni sklepienia*



Application of Ruredil X Mesh C10 at vault's extrados  
*Wprowadzenie Ruredil X Mesh C10 na grzbiecie sklepienia*

of an alternative technical solution, in the attempt to identify the solution best suited to the specific situation, such as use of innovative compositional reinforcement systems like as Ruredil X Mesh C10. Rough parts of the extrados were levelled with application of a base layer made with Rurewall R/Z – (a transpiring premixed mortar containing small quantities of water-soluble salts). The surface thus prepared was then covered with a first layer of Ruredil X Mesh M25 about 3 mm thick, in which the Ruredil X Mesh C10 carbon mesh was buried, covered with an additional 3 mm layer of Ruredil X Mesh M25. The structural compound was applied on the basis of predetermined geometries, at 45° with respect to the weave of the vaults, carefully anchoring it to the side walls. Consolidation of the intrados, on the other hand, required methodical care because the apparatus presented large areas of crumbling, unsafe material. After scarifying the joints between the stones, they were roughed in with optimised mortars in colours compatible with the existing ones; in many cases the restoration had to be supported by localised consolidation, with anchorage and locking of individual elements using micro-pins held in place with resins. Consolidation of the arches was particularly complex, as the hewn stones showed clear signs of structural suffering, with fragmentation and expulsion of material as well as ruin largely due to modifications to the geometry of the construction, with evident typical collapse localised at the keystone and the back. Here the decision was made to maintain the existing configuration, anchoring the arch at the top while preserving the geometries altered by collapse: a situation which is particularly apparent in the first arch, in which the brick reconstruction of the central part reveals the collapse it had suffered. In this case, the adjacent vaults came to be lower than the arch itself, and it was necessary to anchor the elements to one another and work on the brick ones, most of which had suffered damage.

### **The facade**

Structural work was therefore concentrated on the façade of the church, the perimeter of which, in regular slabs of hewn stone interrupted by the cornice, the rose window and the projecting moulding, revealed clear vertical lesions and collapse underway in protruding parts. Restoration of the parameter first required consolidation of the damaged parts and the individual stone elements with rein-

problemy konstrukcyjne, które wymusiły rozważenie alternatywnego rozwiązania technicznego, aby zidentyfikować rozwiązanie najlepiej dostosowane do tej konkretnej sytuacji, np. zastosowanie innowacyjnych mieszanych systemów wzmacniających, takich jak Ruredil X Mesh C10. Szorstkie części grzbietu wyrównano warstwą gruntową z Rurewall R/Z – (oddychająca wcześniej mieszana zaprawa zawierająca niewielką ilość soli rozpuszczalnych w wodzie). Tak przygotowana powierzchnia została potem pokryta pierwszą warstwą Ruredil X Mesh M25 o grubości ok. 3 mm, w której zatopiona była siatka węglowa Ruredil X Mesh C10, przykryta następnie kolejną 3-milimetrową warstwą Ruredil X Mesh M25. Związek strukturalny został wprowadzony zgodnie z wcześniejszymi obliczeniami geometrycznymi, pod kątem 45° do splotu sklepień i ostrożnie zakotwiczony w ścianach bocznych. Natomiast konsolidacja grzbietu wymagała ogromnej metodyczności, ponieważ aparaty pomiarowe wykazały obecność dużych obszarów kruszącego się, niebezpiecznego materiału. Po zerwaniu łączy między kamieniami, poddano je wstępnej obróbce optymalnymi zaprawami w kolorach kompatybilnych z wcześniejszą kolorystyką; w wielu przypadkach trzeba było uzupełnić restaurację miejscową konsolidacją z zakotwiczeniem i blokowaniem poszczególnych elementów mikro-swozniami, które utrzymywała w miejscu żywica. Konsolidacja łuków była szczególnie trudna, ponieważ ociosane kamienie były wyraźnie uszkodzone, nastąpiła fragmentacja i wypadanie materiału oraz niszczenie spowodowane głównie zmianami w geometrii konstrukcji, czego typowym przykładem było miejscowe zawalenie zwornika i części tylnej. W tym przypadku zdecydowano o utrzymaniu istniejącej konfiguracji, zakotwiczeniu łuku i góry, a jednocześnie zachowaniu geometrii, którą odmieniło zawalenie: ta sytuacja była szczególnie widoczna przy pierwszym łuku, gdzie ceglana rekonstrukcja części środkowej pokazuje, gdzie nastąpiło załamanie. Przylegające sklepienia znalazły się niżej niż sam łuk i konieczne było wzajemne zakotwiczenie tych elementów i praca z elementami ceglanymi, z których większość była uszkodzona.

### **Fasada**

Prace konstrukcyjne skoncentrowały się zatem na fasadzie kościoła, którego obwód, pokryty regularny płytami ciosanego kamienia z gzymsem, rozetą i wystającą listwą, był uszkodzony pionowymi zmianami i zapadnięciami części poniżej wystających elementów. Restauracja obwodu wymagała przede wszystkim konsolidacji uszkodzonych części i poszczególnych elementów kamiennych zbro-

forced seams, integrated with injections of optimised mortar to the masonry below, while specialised workers applied traditional techniques for treatment of the perimeter to the surface apparatus of the regular hewn stones.

After the 2003 restoration the church survived the April 2009 earthquake without structural damage, thanks to the earthquake-proofing it had undergone with Ruredil X Mesh C10.

### **Conclusion**

The Ruredil X Mesh C10 structural reinforcement system effectively improved the resistance to seismic activity of the Church of the Madonna di Centurelle. The April 6 2009 earthquake that destroyed 50 % of all the buildings (old and new) in L'Aquila and its province caused no damage whatsoever to the vaults to which the Ruredil X Mesh C10 reinforcement system had been applied.

jonymi szwami w połączeniu ze wstrzykiwaniem zoptymalizowanej zaprawy do murów poniżej, a jednocześnie robotnicy specjaliści naprawiali tradycyjnymi technikami obwód i powierzchnię regularnych ciosanych kamieni.

Po restauracji wykonanej w 2003 r. kościół przetrwał trzęsienie ziemi z kwietnia 2009 r. bez uszkodzeń konstrukcyjnych. Pozwoliło na to zabezpieczenie przeciw skutkom trzęsień ziemi za pomocą Ruredil X Mesh C10.

### **Wniosek**

System umocnień konstrukcji Ruredil X Mesh C10 przyniósł faktyczną poprawę odporności kościoła Madonna di Centurelle na skutki aktywności sejsmicznej. Trzęsienie ziemi z 6 kwietnia 2009 r., które zniszczyło 50 % wszystkich budynków (starych i nowych) w L'Aquila i całej prowincji, nie uszkodziło w ogóle sklepień, które zostały zabezpieczone systemem Ruredil X Mesh C10.

---

\*Ruredil Spa, San Donato Milanese, Milano, Italy

\*\*Ruredil Spa, San Donato Milanese, Mediolan, Włochy

Jerzy Jasieńko\*, Lech Engel\*\*, Adam Kondolewicz\*\*

## Problemy konstrukcyjno-konserwatorskie w stabilizacji i ekspozycji ruin obiektów kamiennych na przykładzie Zamku „Lenno” we Wleniu

### Structure and reconstruction problems during stabilization and presentation of ruins of stone structures with an example of “Lenno” castle in Wleń

#### 1. Wprowadzenie

W pracy podjęto problem stabilizacji i ekspozycji ruiny XIII wiecznego zamku położonego na wysokiej górze w pobliżu miasta Wleń. Murowany zamek książęcy został wzniesiony w 2 połowie XIII wieku, jako silna twierdza wyróżniająca się wśród istniejących jeszcze w XIII wieku grodów drewniano – ziemnych. Zamek obronny w XIV wieku przeszedł w ręce rodów rycerskich, był w późniejszych wiekach rozbudowywany i przebudowywany, kilkakrotnie zdobywany i niszczony, a w 1653 roku został opuszczony, co spowodowało jego zniszczenie.

Zamek wzniesiony z kamienia na szczycie wysokiego i stromego skalistego wzgórza, został założony na planie nieregularnym przystosowanym do ukształtowania skalistego plateau, z cylindryczną wolnostojącą wieżą w części południowo-wschodniej. Wokół obszernego dziedzińca zamku zachowały się fragmenty ścian wznoszące się 1-3 m ponad poziom terenu. Zachowały się również wysokie kamienne mury obronne otaczające zamek, posadowione na stromych skałach (rys. 1, rys. 2).

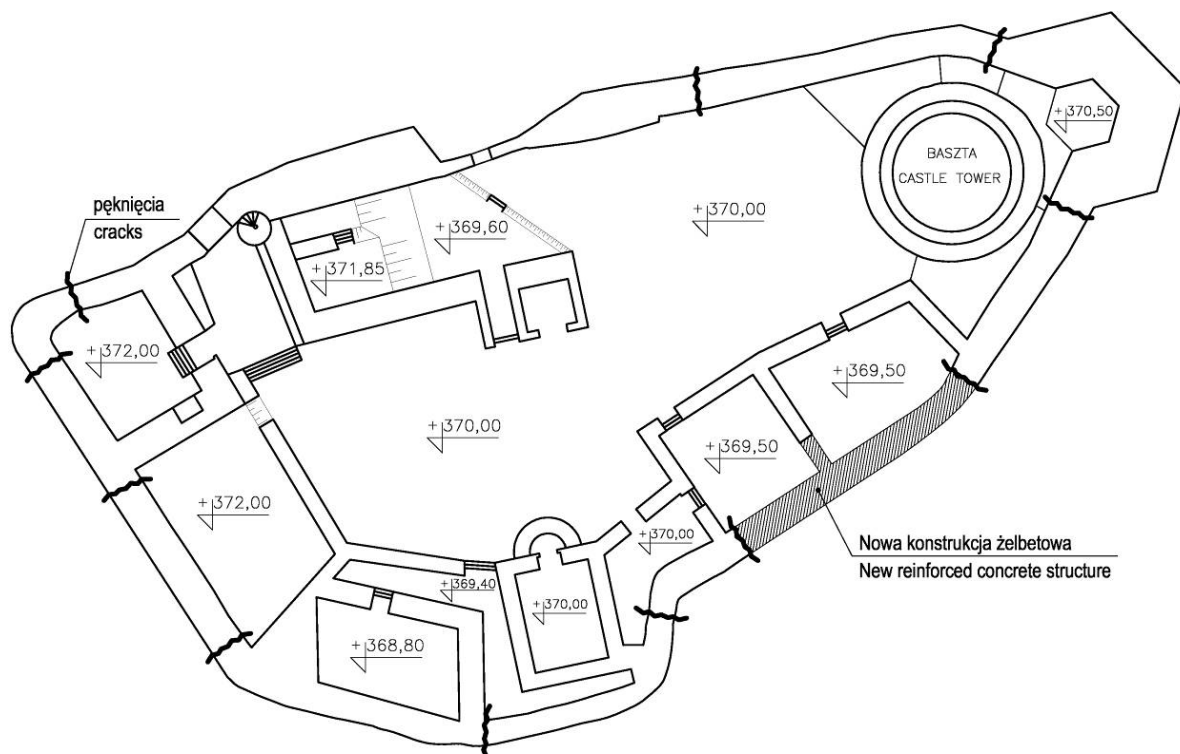
Wiosną 2006 roku fragment obronnego muru południowo-zachodniego runął na długości około 17,0 m.

#### 1. Introduction

In hereby document a problem of stabilization and presentation of ruins of the 13th century castle located on a high rock near the city of Wleń has been discussed. A duke castle was erected in the second half of the 13<sup>th</sup> century as a strong fortress, very different from still existing in the 13<sup>th</sup> cent. wood-earth castle-towns. In the 14<sup>th</sup> century, the fortified castle become a property of noble families, and it was further upgraded and reconstructed in the subsequent centuries; it was raided and rebuilt few times and finally abandoned in 1653, which led to its deterioration.

The castle was erected of stone on the top of a high and steep hill, based on an irregular plan, suitable for rocky plateau layout, with a cylindrical detached tower in south-east area. Around the huge castle courtyard there are parts of walls remaining, ascending 1-3m over the ground. There are high outer stone walls preserved as well, standing on steep rocks (fig. 1, fig. 2).

In spring 2006, a part of the southern-western fortification wall fell down at the length of approx. 17.0 m.



Rys. 1. Plan ideowy murów obwodowych zamku  
 Fig. 1. General layout of castle outer walls plan



Rys. 2. Widok kamiennych murów obwodowych zamku  
 Fig. 2. View of outer stone walls of the castle

## 2. Opis stanu muru i mechanizmu zniszczenia jego fragmentów

Ruiny zamku, jak i rezerwat leśny na stokach wzgórza zamkowego były do 2006 r. ogólnie dostępne. W 2005 r. na terenie zamku prowadzono badania archeologiczne w wykopach, w tym przy południowo-zachodnim fragmencie muru obwodowego. Plateau zamkowe nie ma systemu odprowadzenia wód opadowych. Wody te wsiąkały bezpośrednio w grunt i sączyły się po powierzchni skał do podnóża murów posadowionych znacznie poniżej poziomu dziedzińca zamku. Wody te w dolnej partii murów wyflukiwały ze spoin zaprawę oraz znacząco przyśpieszały procesy starzeniowe zaprawy oraz zmniejszanie jej wytrzymałości. Procesy te trwały wiele lat.

Konsekwencją zawilgocenia dolnej partii muru obronnego oraz zniszczenia zaprawy w tej partii, było wiosną 2006 r. runięcie muru obronnego południowo-zachodniego na długości około 17,0 m, wraz z klinem odłamu gruntu i zachowanymi fragmentami ścian zamku na tym klinie.

Mechanizm runięcia muru (rys. 3) polegał na zsunięciu się tej partii muru ze skały, w wyniku naporu gruntu i w konsekwencji zniszczenia zaprawy (w dolnych partiach), która utraciła zdolność wiązania kamieni o nieregularnym kształcie i muru obwodowego z podłożem skalnym.

Fragment muru, o dużej wysokości wynoszącej 14,0 m, wraz z klinem

odłamu gruntu i zachowanymi fragmentami ścian poprzecznych zamku, zsunął się po skałach znajdujących się poniżej muru i po stromym stoku góry porośniętym drzewami, zasypując drogę spacerową w parku.

## 3. Przyjęte rozwiązania konstrukcyjne

Odtworzenie muru kamiennego, który uległ zawaleniu, przy tak dużej wysokości i znacznym naporze gruntu nie wydawało się celowe. Optymalnym rozwiązaniem było zaprojektowanie żelbetowej ściany oporowej (rys. 4), obłożonej z zewnątrz na całej

## 2. Description of condition of walls and mechanisms of its deterioration

Castle ruins and the forest conservation on the slopes of castle hill were open for public until 2006. In 2005 there was an archeological dig site in the area of the castle, including near south-west part of outer wall. Castle plateau has no system for precipitation water draining. This water was sinking into the ground and along the surface of the rocks to base of walls located below the courtyard of the castle. Those waters rinsed out mortar from the joints and sped up the erosion process of the mortar and lowered its endurance. Such processes continued for many years.

As a consequence of water in the lower part of castle wall and destruction of mortar in this area, in spring 2006, the south-west wall went down, at the length of approx. 17.0 m, together with a large chunk of the ground with remaining wall parts on it.

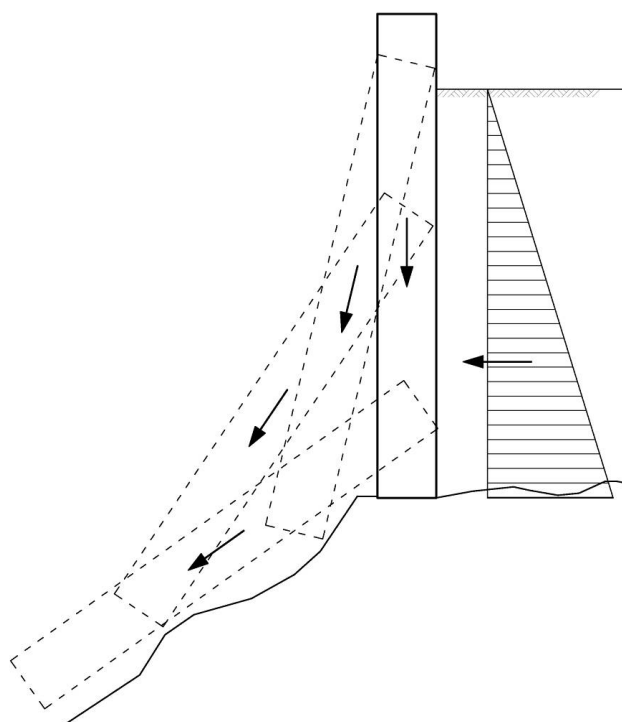
Mechanism of wall going down (fig. 3) was that this part of the wall slid from the rock due to ground pushing and destruction of mortar (in lower parts) which lost its ability to bind irregular stones and outer wall with rock base.

A part of the wall, 14.0 m high, together with a chunk of ground with parts of transverse walls went

down the rocks below the wall and steep hill slope overgrown with trees, covering a walking park path.

## 3. Used construction solutions

Reconstruction of the destroyed stone wall, with such height and massive ground pushing did not seem intentional. An optimal solution was to design a reinforced concrete retaining wall (fig. 4), with facing made of stones recovered from the rubble.



Rys. 3. Ideowy mechanizm zniszczenia fragmentu kamiennych ścian obwodowych

Fig. 3. Presentation of mechanism which destroyed a section of outer stone walls

wysokości i od strony wewnętrznej warstwą kamieni uzyskanych z gruzowiska po zawalanej ścianie.

Brak precyzyjnego rozpoznania posadowienia kamiennego muru obwodowego, który uległ katastrofie oraz niemożność rozpoznania przebiegu podłoża pod kamiennym gruzowiskiem, spowodowały konieczność przyjęcia do projektowania, hipotetycznego założenia przebiegu geometrii powierzchni skały. Przy tak przyjętym założeniu zaprojektowano żelbetową ścianę oporową, posadowioną na podłożu skalnym, o płycie fundamentowej kształtem dopasowanej do hipotetycznego przebiegu skały w podłożu. Ścianę zaprojektowano jako płytowo-kątową, dodatkowo stabilizowaną w górnej partii kotwami stalowymi mocowanymi w bloku betonowym zagłębionym w gruncie pod centralną częścią dziedzińca zamku.

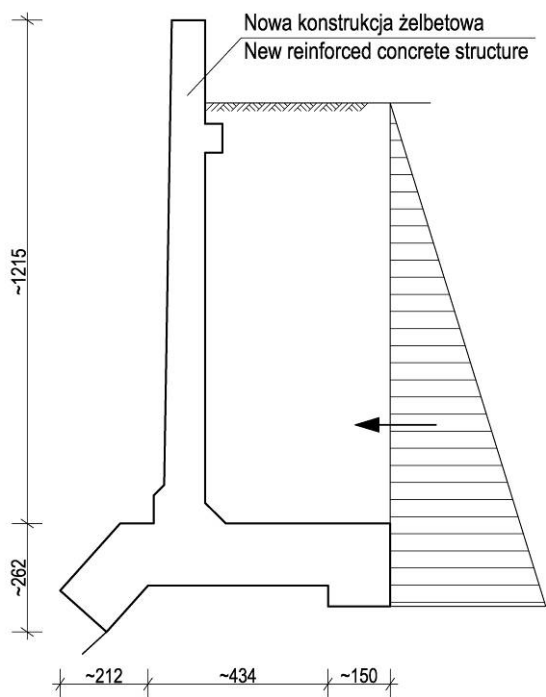
Trudne i niebezpieczne prace przy oczyszczaniu gruzowiska oraz usuwaniu gruntu i częściowym rozkuwaniu skały, celem stworzenia przestrzeni do posadowienia ściany oporowej, były prowadzone poniżej pionowej skarpy o znacznej wysokości. Skarpa była prowizorycznie zabezpieczana i stabilizowana prętami stalowymi, siatkami stalowymi i obetonowaniem, co miało zapewnić bezpieczeństwo w trakcie prowadzenia prac, szczególnie z uwagi na drgania wywołane przy rozkuwaniu skały.

Po odsłonięciu podłoża skalnego, w poziomie projektowanego posadowienia ściany oporowej, stwierdzono znaczną rozbieżność między przyjętymi hipo-

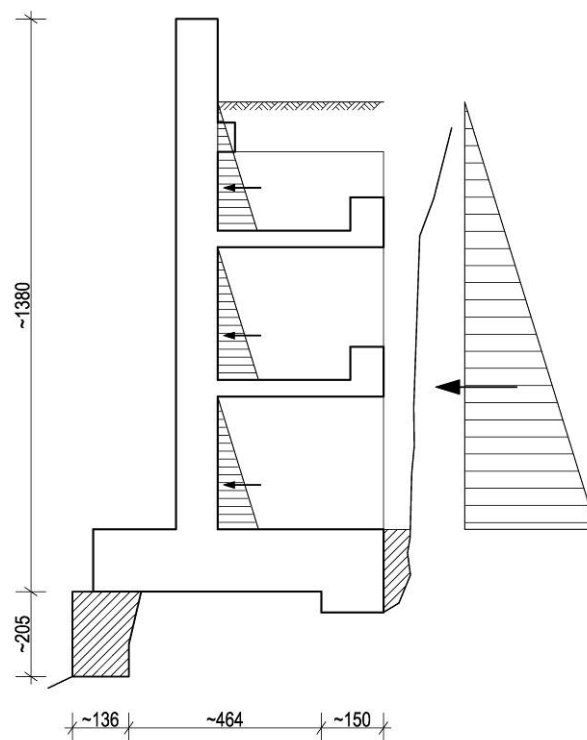
Lack of precise knowledge of outer stone wall basing and with no possibility to recognize the layout of base under the stone rumble, caused us to use for the design a hypothetical assumption of geometry inside of the rock. A reinforced concrete retaining wall has been designed with such assumption, with foundation slab matching the hypothetical layout of rocks under the ground. The wall has been designed as a slab-angle one, stabilized additionally in the upper part with steel anchors in a concrete block immersed in the ground under the central part of castle courtyard.

Difficult and dangerous works with rumble cleaning and ground removal with partial rock removal, in order to make space for retaining wall base, have been performed under the high vertical slope. Slope has been temporarily stabilized with steel rods, steel mesh and concrete works, which was supposed to provide safety during the works, due to tremors caused by rock removal works.

After the rock underbed has been exposed, at the level of designed retaining wall base, a considerable difference between hypothetical assumptions and actual state has been discovered. Rock slope has been much higher than assumed beforehand and there was no way to remove rock so that a rock shelf would be



Rys. 4. Wstępnie przyjęty schemat odtwarzanego fragmentu murów obwodowych (konstrukcja żelbetowa)  
Fig. 4. Preliminary layout of reconstructed section of outer walls (reinforced concrete)



Rys. 5. Ostatecznie przyjęty schemat odtwarzanego fragmentu murów obwodowych (konstrukcja żelbetowa)  
Fig. 5. Final layout of reconstructed section of outer walls (reinforced concrete)



tetycznie założeniami, a stanem istniejącym. Spadek skały był znacznie większy niż założono, a półki skalnej pod fundament nie można było wykuć w skałę na pełną długość ściany, z uwagi na zagrożenie prowizorycznie utwierdzoną skarpią.

W tej sytuacji przeprojektowano żelbetową ścianę oporową na płytowo-żebrową z płytami odciążającymi (rys. 5), co zmniejszyło napory gruntu na ścianę i pozwoliło zmniejszyć wysięg płyty fundamentowej w skrajnych partiach ściany. Ścianę dodatkowo w dolnej partii stabilizowano pionowymi i poziomymi kotwami stalowymi, wklejanymi w skałę przy użyciu kompozycji żywicy epoksydowej. Celem oparcia zewnętrznej części fundamentu ściany na skałę, zaprojektowano wykucie półek na całej długości fundamentu w opadającej skarpię skały. Zdecydowano o wykonaniu bloków betonowych, zbrojonych siatkami stalowymi, pod zewnętrzną część fundamentu skały.

#### **4. Zabiegi dotyczące stabilizacji konstrukcji kamiennych murów obwodowych. Badania zapraw historycznych spoin oraz kamienia**

Za główną przyczyną destabilizacji fragmentów murów obwodowych uznano migrację (zamarzanie i tajanie) wód opadowych przesiąkających do poziomu posadowienia murów na górotworze.

Zdecydowano o ujęciu wód opadowych z powierzchni dziedzińca i z pozostałości podziałów zamku, przez założenie drenażu według systemu Platon DE 25 firmy ISOLA. Drenaż przejmując i odprowadzając wody opadowe, uniemożliwi ich wsiąkanie w grunt i sączenie się po skałach oraz zawilgocenie i niszczenie dolnych partii kamiennych murów obwodowych. Przyjęty system ma zdolność do magazynowania nadmiaru wody gruntowej, co jest istotne w wypadku zamku położonego na skalnym wzniesieniu. Pozwoli to na utrzymanie na dziedzińcu zamku roślinności, bez konieczności częstego nawodnienia, stanowiącej tło dla ekspozycji relikwów kamiennych zamku w tzw. stylu angielskim.

Jednym z ważnych problemów stabilizujących mury ruin obiektów kamiennych jest właściwa obróbka (zabezpieczenie) korony murów.

W obiektach historycznych muszą być tu zachowane właściwe proporcje pomiędzy kulturą i architekturą a rozwiązaniem o charakterze technicznym i konserwatorskim. Jakkolwiek możliwe jest wprowadzenie zabezpieczeń nakrywających korony murów w oparciu o obce historycznym materiały i formy (tymczasowe lub wynikające z kreacji architektonicznej) to zwykle jednak pozostawienie koron murów w zachowanym kształcie i formie jest rozwiązaniem najbardziej przystającym do zasad do-

created along the whole wall length due to danger caused by temporarily made slope.

Thus a reinforced concrete retaining wall has been redesigned to contain additional retaining slabs (fig. 5), which lowered the pressure caused by ground and allowed to narrow the dimensions of foundation slab in extreme parts of wall. The wall has been additionally stabilized with vertical and horizontal steel anchors, glued into rock with an epoxy composition. In order to stand an outer part of wall foundation on the rock, shelves have been designed along the whole length of the foundation on the lowering slope of the rock. It has been decided to make concrete blocks, reinforced with steel mesh, under the outer part of rock foundation.

#### **4. Actions concerning the stabilization of stone structure of outer walls. Examination of historical joints and stone**

The main reason for destabilization of parts of outer wall was the migration (freezing and thawing) of precipitation waters sinking to the level of wall basing.

A new draining system for precipitation waters for the surface of the courtyard and remaining parts of the castle has been chosen. It was Platon DE 25 system of ISOLA. By taking and draining of rainwater the system shall make it impossible for them to enter the ground and travel along the rocks which leads to deterioration of lower parts of stone outer walls. The used system has the capability to store the excess of ground water, which is very important for a rock based castle. It makes it possible to keep plants in the courtyard, without a watering system, which shall provide a background for presentation of stone ruins of the castle (so called English style)

One of the most important problems of stabilization of castle stone walls is the proper protection of the head of the walls.

In historical sites there must be an adequate proportion between culture and architecture and technical and restoration solutions. However, it is possible to use protection covering the upper parts of the walls which would be alien in terms of historical materials and forms (temporal or architectural designs) usually it is advisable to leave the heads of walls in historical form, due to assumed restoration doctrine. With this solution, it is important to protect heads of walls

tryny konserwatorskiej. W tym rozwiązaniu za ważne należy uznać takie zabezpieczenie koron murów by migracja wody opadowej do ich wnętrza (mury trójwarstwowe – stone three-leaf-wall) była ograniczona lub niemożliwa. Wydaje się iż rozwiązania należy tu szukać w zastosowaniu polimerozapraw na spoiny warstw kamiennych koronowych. W tym celu rozpoczęto w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej program badawczy obejmujący badania materiałów kamiennych łączonych przy użyciu zapraw polimerowych wytworzonych na bazie żywic syntetycznych różnych typów. Połączenia poddawane są rygorystycznym cyklom zamrażania. Badane i określone są wartości naprężeń ścinających oraz naprężeń odrywających. Osobnym problemem jest tu technologia obróbki koron murów przy użyciu zapraw polimerowych a także obróbka estetyzująca spoin, ważna z konserwatorskiego punktu widzenia.

Najważniejszym elementem na obecnym etapie jest stabilizacja konstrukcji murów obwodowych zamku. Badania obiektu wskazały wydzielenie kolejnych odcinków murów (poza odcinkiem, który uległ zawaleniu) poprzez dysintegrację penetrującą zarysowanie.

Przyjęto następujące rozwiązania stabilizujące:

- zabezpieczenie w obszarach przebiegu zarysowań poprzez wprowadzenie taśm CFRP mocowanych do ściany poprzez spoinę klejową wytworzoną na bazie żywic epoksydowych oraz podkład wykonany w systemie Ruredil (siatki węglowe, zaprawa mineralna) z równoczesną iniekcją ciśnieniową zarysowań kompozycjami na bazie żywic epoksydowych. Dodatkowo wprowadzono tu opasujące mury wiotkie ciągną ze splotów stalowych. Wstępne sprężenie i zakotwienie cięgien zaprojektowano w odtworzonym żelbetowym fragmencie murów obwodowych (rys. 6),
- wprowadzono wieniec obwodowy, żelbetowy, zewnętrzny, częściowo ukryty w murze kamiennym w poziomie oparcia murów na skale w celu wyeliminowania mechanizmu zniszczenia kolejnych odcinków murów zbliżonego do pokazanego na rys. 3. Wieniec zakotwiono w skale poprzez kotwy stalowe wklejane, rozprężne,
- na fragmentach murów o znacznych ubytkach spoin i deformacji z płaszczyzny zaprojektowano wzmocnienie powierzchniowe przy użyciu splotów z włókien węglowych mocowanych i napinanych poprzecznie do murów przy użyciu kotw stalowych wklejanych, rozprężnych (rys. 6b), ukrytych w spoinach,
- ważnym elementem w stabilizacji konstrukcji zamku jest odtwarzany fragment murów o konstrukcji żelbetowej. Przewidziano estetyzację tego fragmentu poprzez okładzinę kamienną o wątku pierwotnym z zachowanego oryginalnego materiału kamiennego (rys. 7),

so that migration of rainwater inside of them (stone three-leaf-wall) was limited or impossible. The solution seems to be using new joints for head wall stones – polymer mortars. Institute of Building Engineering of Wrocław University of Technology has started a research program covering stone materials joined with polymer mortars based on synthetic epoxy. Joints have undergone extensive freezing tests. Values of pressure and tearing stress are measured and defined. An additional problem is the technology of final works with the polymer mortars for wall heads, and esthetical works with joints, important from the point of view of reconstruction works.

The most important element at the present phase is the stabilization of castle outer walls structure. The examinations of the structure have shown a separation of further parts of the wall (besides the one that collapsed) due to disintegration penetrating the crevice.

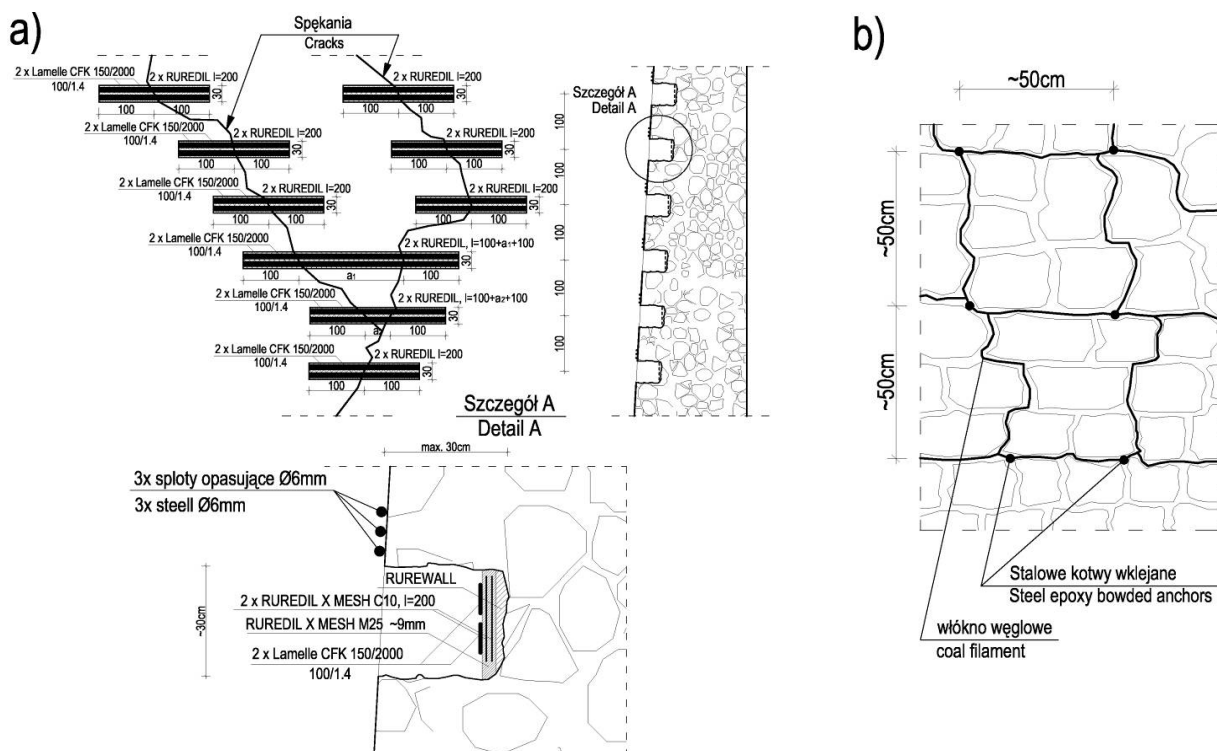
The following stabilization solutions have been assumed:

- protection in areas of cracks via implementation of CFRP tapes attached to walls with epoxy based glue and Ruredil primer (carbon mesh, mineral mortar) with simultaneous injection of cracks with epoxy based compositions. Additionally elastic steel weaves surround the walls. Initial strengthening and anchoring of those weaves has been designed in the reconstructed part of outer walls (fig. 6),
- an outer collar, made of reinforced concrete has been implemented, partially hidden in the stone wall at the level of wall basing on the rock in order to eliminate mechanisms of destruction of further parts of wall, similar to one shown in fig. 3. The collar has been anchored in the rock via steel glued anchors (fig. 6b),
- a surface strengthening has been designed for parts of wall with large areas of missing joints or deformations, by means of carbon fibre attached and stretched transversely to walls via steel glued anchors hidden in joints.
- the reconstructed part of walls made of reinforced concrete is an important element of the stabilization of the castle. Future embellishment of this part of the wall via a stone facing matching the original pattern with original stone material used is to be performed. (fig. 7),
- an outer reinforced concrete collar has been implemented under the stone head of walls.

– wprowadzono wieniec żelbetowy, obwodowy pod kamienną koroną murów.

Przeprowadzono również badania cech mechanicznych materiału kamiennego oraz materiału zaprawy pobranego ze spoin przy użyciu zestawu laboratoryjnego wytrzymałościowego oraz metody ultradźwiękowej z użyciem głowic punktowych (na obiekcie). W oparciu o analizę chemiczną określono skład chemiczny zaprawy historycznej i zaprojektowano zaprawę odtworzeniową.

Examinations of mechanical properties of stone material and mortar material taken from joints have been made via an endurance examination laboratory set and ultrasonic method with point heads (in situ). Basing on the chemical analysis, a chemical composition of historical mortar has been established and reconstruction mortar has been designed.



Rys. 6. Wzmocnienie osłabionych przekrojów obwodowych murów kamiennych  
Fig. 6. Strengthening of weakened sections of outer stone walls



Rys. 7. Wzmocnienie skarpy oraz pierwsza faza wykonania zbrojenia odtwarzanego fragmentu murów obwodowych zamku (konstrukcja żelbetowa)

Fig. 7. Slope strengthening and first stage of making of reinforcement for the reconstructed part of outer castle walls. (reinforced concrete)

Tab. 1. Cechy mechaniczne kamienia i zaprawy historycznej w oparciu o badania wytrzymałościowe i ultradźwiękowe  
*Mechanical characteristics of stone and historical mortar based on the endurance and ultrasonic examination*

Badanie wytrzymałościowe kamienia <i>Stone endurance examination</i>						
Nr próbki <i>Sample no.</i>	Wymiar boczny <i>Side dimension</i>		Wysokość <i>Height</i>	Siła niszcząca <i>Destruction force</i>	Wytrzymałość na ściskanie <i>Press endurance</i>	Uwagi <i>Notes</i>
	A	B	H			
	[mm]					
1	51,60	51,40	51,30	130,000	49,02	brak uwag <i>no comm.</i>
2	50,80	50,90	50,50	69,000	26,69	brak uwag <i>no comm.</i>
3	50,90	51,00	50,70	57,000	21,96	brak uwag <i>no comm.</i>
4	50,60	51,00	51,30	87,000	33,71	brak uwag <i>no comm.</i>
5	51,50	52,40	50,80	66,000	24,46	brak uwag <i>no comm.</i>
6	50,70	51,00	51,10	39,000	15,08	brak uwag <i>no comm.</i>
7	51,30	50,90	51,50	92,500	35,42	brak uwag <i>no comm.</i>
8	51,00	51,05	51,15	127,000	48,62	brak uwag <i>no comm.</i>
9	50,50	50,50	50,50	80,000	31,37	uszkodzona <i>damaged</i>
10	50,60	50,60	50,60	138,000	53,90	brak uwag <i>no comm.</i>
11	51,00	51,00	51,00	83,000	31,91	brak uwag <i>no comm.</i>
12	51,20	51,20	51,20	135,000	51,50	ukośna <i>slanted</i>
13	51,20	50,60	51,00	59,000	22,77	uszkodzona <i>damaged</i>
14	51,50	51,50	51,50	105,000	39,59	brak uwag <i>no comm.</i>
15	51,30	51,30	51,30	75,500	28,69	brak uwag <i>no comm.</i>
16	51,20	51,20	51,20	57,500	21,93	brak uwag <i>no comm.</i>
17	50,50	50,50	50,50	65,500	25,68	brak uwag <i>no comm.</i>

Wyniki badań ultradźwiękowych i niszczących wyciętych próbek zaprawy. Baza pomiarowa l=20mm, czas $t_0=24\mu s$ <i>Outcome of ultrasonic and destruction examinations of cut out samples of mortar. Measurement base l=20mm, time <math>t_0=24\mu s</math></i>								
Nr próbki <i>Sample no.</i>	Nr punktu pom. <i>Meas. Point no.</i>	Czas $t_{br}$ [ $\mu s$ ] <i>Time <math>t_{br}</math> [<math>\mu s</math>]</i>	Czas $t_n$ [ $\mu s$ ] <i>Time <math>t_n</math> [<math>\mu s</math>]</i>	Prędkość $C_p$ [km/s] <i>Speed <math>C_p</math> [km/s]</i>	Wytrzymałość [MPa] <i>Endurance [MPa]</i>		Siła niszcz. w [dN] i wymiar przekroju [mm] <i>Destruction force in [dN] section dimension [mm]</i>	Wytrzymałość zniszczeniowa <i>Destruction endurance</i>
1	1	38,1	14,1	1,420	$f_{mh}$	$f_{ms}$	1195 64,7 · 45,3	4,07
	2	45,5	21,5	0,930				
	3	42,2	18,2	1,099				
	4	41,1	17,1	1,170				
	5	37,9	13,9	1,439				
	6	43,5	18,5	1,025				
	7	39,7	15,7	1,274				
	8	39,2	15,2	1,315				
Średnia / Average				1,209	3,84	3,24		

2	1	48,1	24,1	0,8298			320 35,6×37,5	2,39
	2	46,3	22,3	0,8968				
	3	34,7	10,7	1,869				
	4	42,7	18,7	1,069				
	5	37,0	13,0	1,538				
	6	36,4	12,4	1,613				
Średnia / Average				1,300	4,40	3,70		
3	1	51,7	27,7	0,722			1870 42,6×35,2	1,82
	2	50,6	26,6	0,752				
	3	58,9	34,9	0,573				
	4	62,4	38,4	0,521				
	5	42,8	18,8	1,064				
	6	42,4	18,4	1,084				
	7	55,3	31,3	0,638				
	8	56,1	32,1	0,623				
Średnia / Average				0,747	1,58	1,33		
4	1	45,1	21,1	0,9478			3290 48,3×35,7	1,91
	2	56,5	32,5	0,6154				
	3	45,3	21,3	0,939				
	4	52,0	28,0	0,714				
	5	39,8	15,8	1,265				
	6	48,0	24,0	0,833				
	7	41,0	17,0	1,176				
	8	53,2	29,0	0,685				
	9	47,7	23,7	0,843				
Średnia / Average				0,891	2,19	1,84		
5	1	34,3	10,3	1,942			5150 26,2×34,0	5,78
	2	36,5	12,5	1,600				
	3	36,7	12,7	1,574				
	4	37,1	13,1	1,527				
	5	36,9	12,9	1,550				
	6	35,1	11,1	1,801				
Średnia / Average				1,665	6,95	5,85		
Średnia dla próbek / Average for samples						3,190		3,198

Porównanie wytrzymałości zapraw w próbkach w zależności od położenia jej w murze z wytrzymałością próbek badanych z różnych stron ( w sposób mieszany) na obiekcie  
*Comparison of mortar endurances in samples, depending of sample's location in the wall (mixed) of the structure*

Nr próbki <i>Sample no.</i>	Wytrzymałość w strefie zewnętrznej [MPa] <i>Endurance in outer zone [MPa]</i>	Wytrzymałość w strefie wewnętrznej [MPa] <i>Endurance in inner zone [MPa]</i>	Wytrzymałość próbek badanych w sposób mieszany [MPa] <i>Endurance of examined samples, mixed [MPa]</i>
1	---	---	2,391
2	6,479	1,690	---
3	---	---	1,795
4	---	---	3,020
5	---	---	2,286
6	-2,741	1,092	---
7	4,090	1,407	---
8	---	---	3,272
9	5,331	1,542	---
10	5,282	---	---
Średnia / Average	4,785	1,432	2,553

Tab. 2. Skład chemiczny zaprawy historycznej spoin murów obwodowych zamku  
*Chemical composition of historical mortar used for joints in outer stone walls of the castle*

Lp. No.	Próbka Nr. / Sample no. Oznaczenia / Description	1	2	3	4	5	6
1	Sumaryczna zawartość kruszywa drob. do 3 mm [%] <i>Summary amount of fine aggregate to 3 mm [%]</i>	73,4	70,8	69,9	70,3	72,7	69,7
	w tym / including: piasku [%] / sand [%]	23,5	33,5	39,6	21,4	72,7	69,7
	wapienia [%] / limestone [%]	---	37,3	30,3	48,9	---	---
	dolomitu [%] / dolomite [%]	49,9	---	---	---	---	---
2	Zawartość spoiwa w tym wapna jako CaO [%] / as CaO [%] <i>Binder content, including lime as CaO [%]</i>	12,6	12,6	12,6	12,6	12,7	12,4
	jako Ca(OH) <sub>2</sub> [%] / as Ca(OH) <sub>2</sub> [%]	16,6	16,6	16,6	16,6	16,7	16,4
	gliny suchej [%] / dry clay [%]	4,1	4,5	5,1	2,4	2,5	5,1
3	Stosunek wagowy % Ca(OH) <sub>2</sub> / % kruszywa / % aggregate <i>Weight ratio % Ca(OH)<sub>2</sub> / % aggregate</i>	0,226	0,234	0,237	0,236	0,229	0,235



Rys. 8. Badanie zaprawy spoin metodą ultradźwiękową (fot. B. Stawiski)  
*Fig. 8. Examination of mortar via ultrasound method (photo by B. Stawiski)*

Opisane badania mają ogólny walor poznawczy a, w analizowanym przypadku, posłużyły do opracowania receptury zaprawy odtworzeniowej, która zostanie użyta do wykonania okładziny kamiennej fragmentu żelbetowego odtwarzanych murów oraz do uzupełnienia spoin historycznych także w obszarach wyprowadzenia wzmocnień powierzchniowych przy użyciu włókien węglowych.

## 5. Podsumowanie

Stabilizacja i ekspozycja konstrukcji historycznych obiektów kamiennych, ważnych dla pejzażu kulturowego jest zagadnieniem trudnym. Wymaga kompleksowych badań o charakterze historycznym, architektonicznym, chemicznym, a przede wszystkim, zmierzających do pewnej oceny cech wytrzymałościowych konstrukcji – nośności, sztywności, stateczności. Ma ona bowiem wtedy istotny sens, kiedy konstrukcje te mogą być udostępniane. Szczególną wagę należy tu przypisać bezpieczeństwu konstrukcji a tym samym bezpieczeństwu użytkowników. W procesie konserwacji konstrukcyjnej należy zawsze założyć konieczność zmian technologicznych wraz z postępem realizacji.

Obok autorów w badaniach udział wzięli:

W. Puła, B. Stawiski, A. Mierzejewska,  
Z. Korbut, Z. Matros, R. Tabisz z Politechniki  
Wrocławskiej, K. Mirek – CCI,  
D. Sułek-Chlebowska – CCI.

Described research has a general advantage of cognitive value, and in the analyzed case, it served as a way to prepare a formula of reconstruction mortar, which will be used for making of outer stone facing of reinforced concrete section of reconstructed wall, as well as a filler for existing historical joints in areas where a surface reinforcement has been made with carbon fibers.

## 5. Summary

Stabilization and presentation of historical stone structures is a very difficult issue. It requires a complex historical, architectural and chemical research, which, most of all, try to evaluate on endurance of the construction – its load capacity, rigidity and stability. It is of crucial importance when those constructions are to be allowed for public visiting. Safety of the structure and safety of users as well, are of utmost importance. In the process of structure reconstruction one must always assume a possibility of technology change along with the reconstruction progress.

Besides authors, the following have taken part in the research:

W. Puła, B. Stawiski, A. Mierzejewska,  
Z. Korbut, Z. Matros, R. Tabisz from Politechnika  
Wrocławska (Wrocław University of Technology),  
K. Mirek – CCI, D. Sułek-Chlebowska – CCI

---

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

\*\* CCI Sp. z o.o., Długoleka, Polska  
CCI Sp. z o.o.(Co. Ltd.), Długoleka, Poland

Angelo Di Tommaso\*

## Injured architectural heritage in L'Aquila after the earthquake 2009: some general remarks

## Uszkodzone obiekty dziedzictwa architektonicznego w L'aquili po trzęsieniu ziemi w roku 2009: kilka ogólnych spostrzeżeń

### 1. Introduction

The catastrophic event of earthquake in the Abruzzo Region (middle Italy) destroyed the major part of Architectonic Heritage in the region capital city of L'Aquila. Here we want to analyse the main reasons of this generalised collapse, how the first aid post-earthquake has been done and finally the perspective of the Re-Construction.

### 2. Typical local masonry texture and mechanisms of collapse

The structural quality of masonry is very low facing the dynamic earthquake (expected) shock. In general the masonry of Region consists on irregular stone units with scarce efficiency of binder. Frequently the masonry presents two parallel "leaves" having the purpose of realising the two plane surfaces, internal and external. See fig. 1 in which appears typical masonry surfaces and typical collapse mechanism. This kind of masonry can be considered the **1<sup>st</sup> Vulnerability factor**.

The construction systems or the architectural shape are frequently non appropriated in seismic zone taking into account the structural quality of masonry. Macro-elements exhibit collapse mechanisms at very low external horizontal forces. The interventions recently made for Conservation in the majority of cases did not consider this aspect, but only the aesthetic aspects of masonry has been restored (see example in fig. 2).

### 1. Wstęp

Katastrofalne trzęsienie ziemi w Regionie Abruzzo (w środkowych Włoszech) zniszczyło większą część dziedzictwa architektonicznego w rejonie L'Aquili (stolica regionu). Referat przedstawia analizę głównych przyczyn tej powszechnej katastrofy budowlanej, pierwszą pomoc po trzęsieniu ziemi i perspektywy odbudowy.

### 2. Typowa struktura murów i mechanizmy jej zniszczenia

W kontekście ewentualnego trzęsienia ziemi jakość konstrukcji budynków jest bardzo zła. Budynki w tym regionie zbudowane są zwykle z nieregularnych kamiennych elementów połączonych spoiwem w niewystarczającej ilości. Często ich ściany są ścianami szczelinowymi składającymi się z warstwy zewnętrznej i równoległej warstwy wewnętrznej. Na rys. 1 pokazano typowe konstrukcje murowane i typowe mechanizmy ich zawalania się. Ten rodzaj konstrukcji murowanej można uznać za **pierwszy element podatności budowli na zawalenie się**.

Ze względu na złą jakość muru, konstrukcje budowlane lub ich kształt architektoniczny często są nieodpowiednie do strefy sejsmicznej. Części składowe konstrukcji wykazują objawy typowe dla mechanizmu zawalania się już pod działaniem bardzo małych zewnętrznych sił poziomych. Ostatnio wykonane prace konserwatorskie w większości przypadków nie uwzględniły tego aspektu – odrestaurowano tylko stronę estetyczną substancji murowanej (rys. 2).



Roofing with pushing timber structures, 2<sup>nd</sup> Vulnerability factor, (see example in fig. 3) has been the cause of many collapses (fig. 3): some kind of roofing could be accepted with consistent masonry, not with the masonry we find in the Region.

The collapse mechanisms of two-leaves masonry is what we could call “de-foliation”: this changes radically the repertory of mechanisms for compact masonry of bricks, as we observed frequently in the recent earthquakes of Umbria and Marche (central Italy) [1]. This remark is fundamental to suggest techniques to strengthen it during Re-Construction.

In fig. 4a we can see a typical de-foliation mechanism regarding the curved wall of an apse: this mechanism is totally different from the recurrent observed in Umbria for solid brick masonry in which vertical cracks make evident the trend of the “opening mode” of macro-element apse.

The restoration works (before earthquake) generally in the Region had the object of renew the surface of masonry, in few words the structural needs were cancelled in the Restoration Design.

It seems a non primary aspect on the disaster of L’Aquila monuments: but it was the real driving force of the earthquake catastrophic event. This opinion can be supported by the evidence that

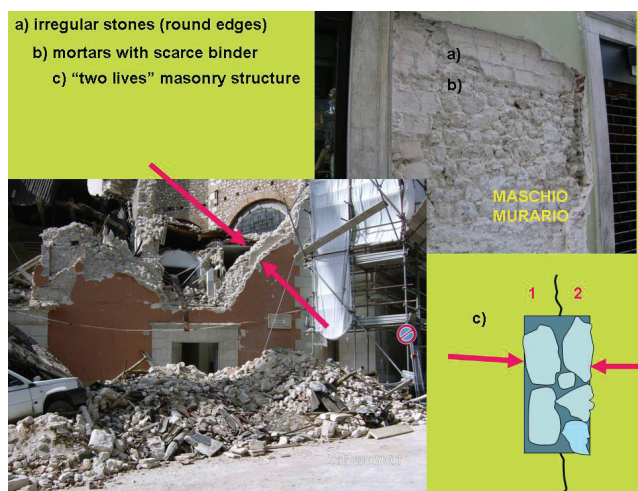


Fig. 1. Typical masonry texture and related collapse mechanism  
Rys. 1. Typowa struktura konstrukcji murowanych i związany z nią mechanizm ich zawalania się

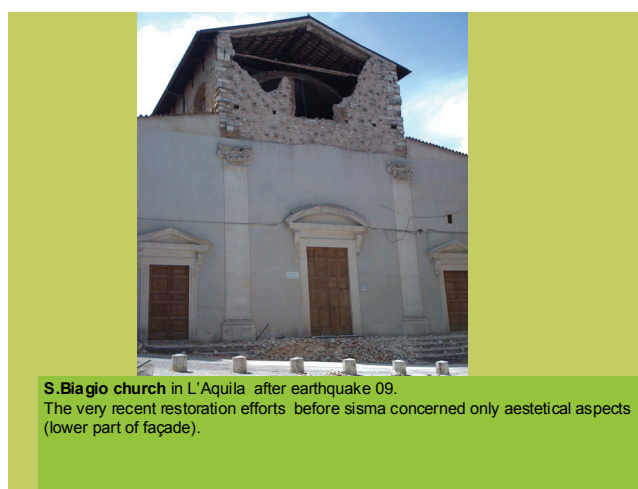


Fig. 2. A typical example of intervention during years before the earthquake. All financial investment has been utilized for aestetical purpose: the world of image requires this

Rys. 2. Przykład typowej interwencji w latach poprzedzających omawiane trzęsienie ziemi. Wszystkie nakłady finansowe wykorzystywano na poprawę estetyki (dbałość o image)



Fig. 3. Problems caused by the irregular and pushing roof timber systems

Rys. 3. Problemy spowodowane nieregularnymi, ciężkimi konstrukcjami dachowymi

w projekcie odbudowy całkowicie pomijano potrzeby konstrukcyjne. W przypadku zabytków L’Aquila to właśnie było główną przyczyną katastrofalnych

Ciężkie drewniane napierające konstrukcje dachowe to drugi element podatności tych budowli na zawalenie się (por. rys. 3), który często przyczyniał się do katastrof budowlanych. Niektóre z tych konstrukcji dachowych można by zaakceptować, ale w przypadku odporniejszych konstrukcji murowanych, lecz nie takich jakie występują w tym regionie.

Mechanizm zawalania się murowanych konstrukcji szczelinowych często określa się terminem „defoliacja”. Różni się on zdecydowanie od typowych mechanizmów zawalania się zwartych konstrukcji murowanych obserwowanych podczas ostatnich trzęsień ziemi w Umbrii i Marche (środkowe Włochy) [1]. To spostrzeżenie ma zasadnicze znaczenie dla opracowania technik wzmocnienia podczas odbudowy.

Rys. 4a pokazuje typowy mechanizm defoliacji łukowej ściany apsydy. Różni się on całkowicie od mechanizmu często obserwowanego w Umbrii w konstrukcjach murowanych z pełnej cegły, w których pionowe rysy są oznaką „otwierania” się makroelementowej apsydy.

Celem prac restauracyjnych w tym regionie przed trzęsieniem ziemi było zwykle odnowienie elewacji konstrukcji murowanych. Tym samym

the majority of monuments were under restoration at moment of the strong motion, few time before the earthquake it was a “celebration” of restoring works of the church of S. Pietro da Coppito (fig. 4b) in L’Aquila. In a long document no one word was spent on the structural problems. Some cultural school now in Italy pretends “to conserve” the monuments in the seismic zone without considering any structural problem!

In the period 1980-1990 the structural interventions on the monuments was a rule in Italy. Often it was applied with R.C. beams on the top of masonry, under the timber roof. A typical example is the bell cell of the tower of the church of S. Pietro of Coppito that was stiffened with R.C. ring beam on the masonry of the tower trunk. The masonry was “multiple leaves” one, then during the 2009 earthquake the mechanism of “de-foliation” was activated (fig. 5) and the whole bell cell had a sliding movement falling down on the soil.

### 3. First aid to stop complete collapse

A real progress in comparison with previous Italian earthquake, the first aid to Architectural Heritage injured and prone to collapse has been this time very impressive. The work was done mainly by Italian corps of firemen.

This progress has been realised for three “driving forces”, matured after Umbria-Marche (27-09-1997) and Molise (31-10-2002) earthquake experiences [1], [2]:

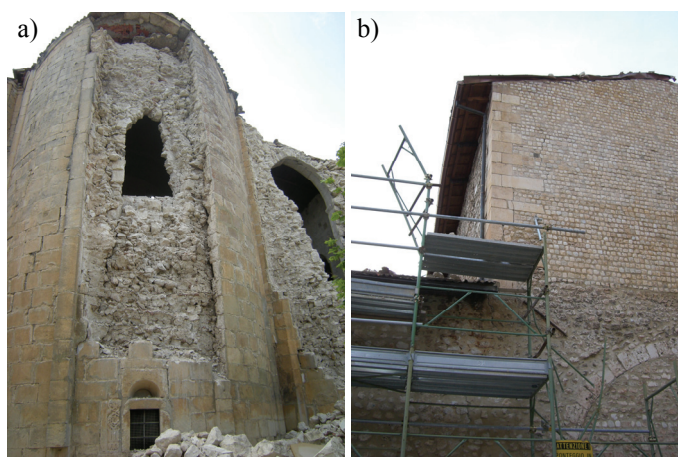


Fig. 4. Masonry with “two-leaves”: the mechanism of “de-foliation” (a); the restoration work active at earthquake time (b): external treatment of surface reproducing historical “two-leaves” stonework  
Rys. 4. Ściana szczelinowa dwuwarstwowa: a) mechanizm „defoliacji”, b) prace restauratorskie prowadzone w okresie, gdy nastąpiło trzęsienie ziemi (odnawianie zewnętrznej powierzchni zabytkowego muru szczelinowego)



Fig. 5. The mechanism of “de-foliation” on the top of the tower trunk caused the rigid sliding of the Bell-Cell on the soil  
Rys. 5. Mechanizm “defoliacji” u góry trzonu wieży spowodował sztywne osunięcie się celi dzwonowej na ziemię

### 3. Pierwsza pomoc zapobiegająca całkowitemu zawaleniu się

W porównaniu z poprzednim trzęsieniem ziemi we Włoszech dokonał się rzeczywisty postęp. Tym razem pierwsza pomoc dziedzictwu architektonicznemu, uszkodzonemu i grożącemu zawaleniem, była imponująca. Pracę tę wykonała głównie włoska Straż Pożarna.

Postęp ten był możliwy dzięki następującym trzem elementom udoskonalonym na podstawie doświadczenia wyniesionego z trzęsień ziemi

skutków trzęsienia ziemi. Większość zabytków była w trakcie restauracji, gdy nastąpił ten silny wstrząs. Jakiś czas przed trzęsieniem ziemi, odbyła się uroczystość z okazji odrestaurowania kościoła S. Pietro da Coppito (rys. 4b) w L’Aquila. W przedstawionym długim raporcie nie wspomniano o problemach konstrukcyjnych. Obecnie pewna szkoła ochrony dziedzictwa kulturowego we Włoszech „ochrania” zabytki w strefie sejsmicznej nie uwzględniając żadnych aspektów konstrukcyjnych!

W latach 1980-90 zasadą we Włoszech były doraźne wzmocnienia konstrukcji obiektów zabytkowych, często za pomocą belek żelbetowych umieszczanych na ścianach murowanych pod dachem drewnianym. Typowym przykładem jest cela dzwonowa wieży Kościoła S. Pietro da Coppito. Murowany trzon wieży usztywniono opaską żelbetową. Mur dzwonnicy był wieloszczelinowy. Podczas trzęsienia ziemi w roku 2009 został uruchomiony mechanizm „defoliacji” (rys. 5), cela dzwonowa osunęła się i spadła na ziemię.

- a) new efficient materials, light and strong;
- b) new efficient mechanical devices to apply rapidly the prosthesis;
- c) acquired experience in previous earthquake by the operators, mainly the Italian corps of fire-men.

The main systems of first aid (see fig. 6) can be divided in four categories: a) Spur; b) Contrast; c) Belting; d) Cage.

The “**spur systems**” (as “reinforcing buttress”, Merriam-Webster) are the older system, made of new masonry support. It avoids the overturning of vertical wall. Disadvantages are a) the relevant time for construction b) the encumbrance c) the increase of activating masses during the seismic vibration of after-shocks.

The same structural function can be realised with timber poles.

In this case there is a reduction of masses and less construction times. A variant is the reticular steel spatial structure made with hollow bars used for scaffolding. This can be considered as “industrialized” system because the units and node are standard. In the case of L’Aquila we observed several spur systems mainly made with timber poles (fig. 7a) and some with steel bars, very large and extended.

The “**contrast system**” needs a different structure to absorb the thrust. In the case of L’Aquila, where the damage in historical centre was generalised it is applied in rare situations. Some law restrictions increase the applying difficulties. Some cases have been observed with timber poles (fig. 7b) or steel bar.

The effective innovation can be considered the “**belting system**”. In this case the new structure works in tensile regime and is self closed. The system uses **straps**, the same utilised in the ports to manage heavy packaged goods. To put the strap in strain is simple with a device (ratchet) manually driven. The lay-out of these straps must be designed with accuracy avoiding too long distance between consecutive diverting supports, generally made by timber poles adherent to the wall to be supported. The straps [1] are made with polymeric (polyester) filaments arranged in a textile structure (fabric). These straps can carry from 2000 kg to 16’000 kg with an ultimate strain up to 14%. They have good resistance in humid ambient.

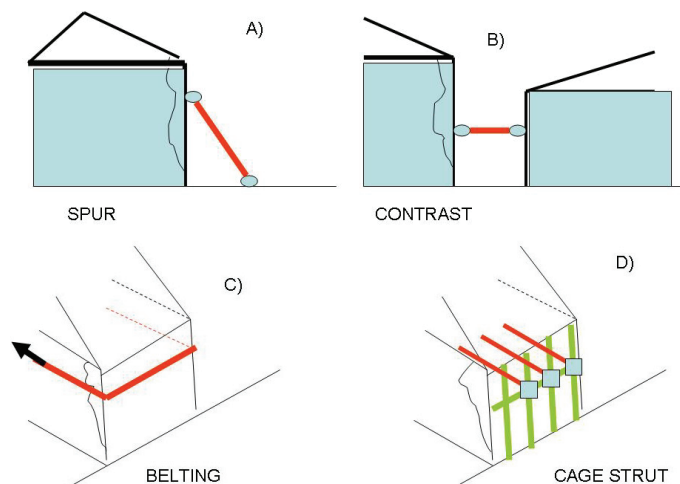


Fig. 6. Scheme of current First-Aid intervention post-sisma  
Rys. 6. Schemat przedstawiający obecne systemy pierwszej pomocy po trzęsieniu ziemi

Umbrii-Marche (27-09-1997) i w Molise (31-10-2002) [1], [2]:

- a) nowe lekkie i wytrzymałe materiały;
- b) nowe skuteczne urządzenia mechaniczne do szybkiego “proteżowania”;
- c) doświadczenie nabyte przez operatorów, głównie włoską Straż Pożarną, w poprzednich trzęsieniach ziemi.

Główne systemy pierwszej pomocy (rys. 6) można podzielić na cztery kategorie: a) przyporowe, b) kontrastowe, c) pasowe, d) klatkowe.

**Systemy przyporowe** to tradycyjne przypory murowane, stosowane, aby zapobiec przewróceniu się ścian pionowych. Wady tego rozwiązania to: a) stosunkowo długi czas wykonania, b) elementy przyporowe zabierają miej-

scę w otoczeniu i c) zwiększona masa aktywacyjna w przypadku kolejnych wstrząsów.

Tę samą funkcję konstrukcyjną można uzyskać stosując słupy drewniane, dzięki czemu masa konstrukcji jest mniejsza, a czas wykonania krótszy. Inną odmianą tego rozwiązania jest szkieletowa konstrukcja przestrzenna wykonana z rurek stalowych stosowanych w rusztowaniach. Ten system można nazwać przemysłowym ponieważ elementy i złącza są znormalizowane. W L’Aquilii zaobserwowaliśmy kilka systemów przyporowych, niektóre wykonane były ze słupów drewnianych (rys. 7a), a inne, bardzo duże i rozbudowane, z rurek stalowych.

**System kontrastowy** wykorzystuje inną konstrukcję budowlaną do zamortyzowania naporu. W L’Aquilii, gdzie zniszczenia w obszarze historycznym były rozległe, stosowano go rzadko. Tym bardziej, że przepisy prawne ograniczają jego stosowanie. Odnotowano kilka przypadków zastosowania tego systemu z wykorzystaniem słupów drewnianych (rys. 7b) lub stalowych rurek.

**System pasowy** to skuteczna innowacja. W tym przypadku wykonana konstrukcja pracuje w warunkach rozciągania i jest zamknięta. System wykorzystuje pasy, takie same, jak te używane w portach do przeladunku ciężkich towarów pakowanych. Pasy są w prosty sposób napinane za pomocą ręcznego urządzenia (mechanizm zapadkowy). Układ pasów musi być precyzyjnie zaprojektowany, aby uniknąć zbyt dużych odległości między kolejnymi podporami kie-



Fig. 7. Spur system (a) and Contrast system (b)  
Rys. 7. System przyporowy (a) i system kontrastowy (b)

In fig. 8 there is an example of provisional belting structure at the S. Pietro da Coppito (L'Aquila) façade, prone to overturn after earthquake (S. Russo, consulting). These straps are good substitute of steel ropes because are more flexible and adaptable to small radius edges. The problem of moderate stiffness can be overturned using two or three layers superimposed of straps. The application utilises efficient mechanical lifting devices; it is rapid, low cost and versatile.

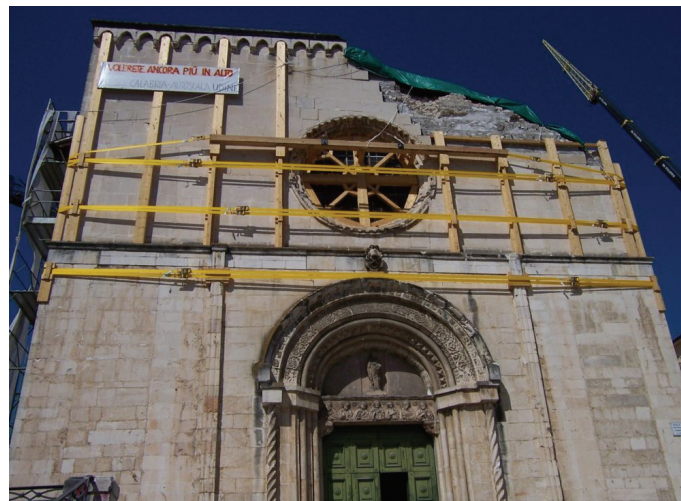


Fig. 8. Belting the façade of S. Pietro da Coppito church (L'Aquila)  
Rys. 8. Opasywanie fasady kościoła S. Pietro da Coppito (L'Aquila)

In same cases has been utilised a “cage systems” in which all the construction is wrapped by reticulated structure, self closed. Generally are used timber poles or steel profiles. An example is shown in fig. 9 in which we see a building close to railway line wrapped to protect the train transits.



Fig. 9. Steel cage system with spur aid  
Rys. 9. System klatkowy

runkowymi (zwykle w postaci słupów drewnianych przylegających do wspieranej ściany). Pasy [1] wykonane są z włókien polimerowych (poliester) ułożonych w strukturze tkaninowej. Pasy te mogą przenosić obciążenie od 2000 kg do 16000 kg przy odkształceniu granicznym rzędu 14%. Wykazują one wysoką wytrzymałość w warunkach dużej wilgotności.

Na rys. 8 pokazano tymczasową konstrukcję pasową na fasadzie kościoła S. Pietro da Coppito (L'Aquila), która mogła runąć po trzęsieniu ziemi (S. Russo).

Dzięki temu, że są bardziej giętkie i lepiej dopasowują się do krawędzi o małym promieniu, pasy te dobrze zastępują liny stalowe. Problem małej sztywności można rozwiązać nakładając dwa lub trzy pasy na siebie.

System jest tani, uniwersalny, szybko daje się zamontować i wykorzystuje efektywne urządzenia podnoszące.

#### 4. “Post-mortem” analysis and re-construction problems

In the '80 – '90 years the Dominant Culture of Monument Restoration in Italy was inclining to structural interventions to historical building in seismic zones: generally were used techniques based on Reinforced Concrete beams (on the top of building, under the roof) or Steel (prosthesis). After that period prevailed the non-intervention policy, the conviction that during the earthquake the R.C. beams played a role of destroying the masonry below had a large consensus. For small stresses, in quasi-elastic range, the difference of stiffness modulus between masonry and R.C. structure is not so relevant, but the ultimate state makes the difference. The specific fracture energy to create new surfaces is very different: that belonging to R.C. can be also 100 times that relative to masonry. When the vibration energy of the earthquake is transferred to the structure where masonry and R.C. coexist, the masonry collapse anticipates (absorbing less energy) that of R.C. beams that seems to be responsible of the crisis (see fig. 10 and fig. 11).



Fig. 10. Top reinforced concrete beams can give negative effects  
Rys. 10. Belki żelbetowe na górze budynku mogą mieć negatywne skutki

As example of non-soft intervention I want to mention the “campanile” of a church in province of Teramo (Abruzzo Region). During the earthquake it vibrated strongly but the appearance was without any damage. The motivation is that during past decades it was strengthened with an internal lining of R.C. and external mock masonry (see fig. 12) in the sense that the stones were fixed on a concrete bed. The campanile is attached to the church: the damage is localised on the wall of the church. This confirms the statement that any strengthening on a part of complex structure changes the mechanism of damage involving the weakest parts.

#### 4. Analiza przyczyn katastrofy i problemy odbudowy

W okresie od lat osiemdziesiątych do dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku w dziedzinie ochrony zabytków w strefach sejsmicznych dominowała polityka doraźnych wzmocnień przy zastosowaniu belek żelbetowych (pod dachem na górze budynku) lub stalowych (proteza). Po tym okresie przeważała polityka nieinterwencji. Panowało przekonanie, że podczas trzęsienia ziemi belki żelbetowe przyczyniały się do zniszczenia konstrukcji murowanej znajdującej się pod nimi. Przy małych naprężeniach w zakresie quasi-sprężystym różnica między modułem sztywności muru i konstrukcji żelbetowej nie jest tak istotna, ale w przypadku granicznego stanu nośności jest inaczej. Energia pęknięcia tworzącego nowe powierzchnie jest zupełnie inna w przypadku betonu zbrojonego niż w konstrukcji murowanej. W betonie zbrojonym może być sto razy większa niż w murze. Gdy energia drgań trzęsienia ziemi zostanie przekazana budowli, w której współwystępują mur i beton zbrojony, zawalenie się muru (który pochłania mniej energii) poprzedza zawalenie się belek żelbetowych. To zjawisko powoduje ostateczną destrukcję obiektu (por. rys. 10 i 11).



Fig. 11. Reinforced Concrete Beams (previous strengthening systems) participate to mechanism of collapse  
Rys. 11. Belki żelbetowe (poprzednio stosowany system wzmocniania) przyczyniają się do zawalenia się budynków

Przykładem takiej drastycznej interwencji jest dzwonnica kościoła w prowincji Teramo (region Abruzzji). Podczas trzęsienia ziemi doznała ona silnych wibracji, ale bez widocznych uszkodzeń. Wcześniej została wzmocniona wewnątrz okładziną z betonu zbrojonego, a na zewnątrz pozorowanym murem (kamienie utwierdzone w betonie) (rys. 12). Dzwonnica połączona jest z kościołem. Uszkodzenie pojawiło się w ścianie kościoła. Jest to dowód na to, że wzmocnienie części konstrukcji zespołowej zmienia mechanizm uszkodzenia jej najsłabszych części.

Now we face the demand for Re-Construction because the people want to have again the lost historical heritage and then it is not a problem of Ruin Conservation. The reconstruction must change something to reduce the original vulnerability of the construction. Slender walls made with no regular stones and joints (example in fig. 13) must be replaced by strongest masonry texture. A suggestion is “to band” (Italian: *listare*) the new walls with horizontal cordons of reinforced brick masonry. As example we mention the church of “St Joan” in Barcelona (fig. 14) whose masonry is banded even if the zone is a low seismic risk.

The composite materials are now widely used in the strengthening of masonry historical constructions [5], [3], [6]; basic design principia are presented in [7] and a State of Art can be delineated from a recent specialised seminar devoted to it [8].

The first application of **FRP** (Fibre Reinforced Polymer) to strengthen historical construction has been made for two domes of the cathedral of Città di Castello (Umbria Region, Italy) in spring 1997, before the earthquake of September 1997; after that date similar applications have been made with FRP in many Italian churches and historical monuments, like the intervention (A. Di Tommaso, [3]) on the huge cross vaults of Basilica of S. Petronio in Bologna (year 2000). A remarkable intervention for Re-Construction was that of S. Francesco of Assisi where aramid and carbon composites have been used (P. Rocchi and G. Croci, in [3]).

An evolution of composite materials, more appropriate to masonry, are the **FRCM** (Fibre Reinforced Cementitious Materials) in which the matrix is cement based polymer modified. These



Fig. 12. Strong intervention using reinforced concrete and “false” masonry

Rys. 12. 12. Drastyczna interwencja z użyciem betonu zbrojonego i imitacji muru



Fig. 13. Slender walls, “two leaves” texture: need to band (Italian: “listare”) it

Rys. 13. Cienkie ściany dwuwarstwowe wymagające zastosowania pasemek

Ponieważ społeczeństwo domaga się przywrócenia utraconego dziedzictwa kulturowego, obecnie stoimy przed problemem odbudowy, a nie konserwacji ruin. W odbudowywanych obiektach muszą być wprowadzone zmiany mające na celu zmniejszenie ich pierwotnej podatności na uszkodzenie. Cienkie ściany zbudowane z nieregularnych kamieni połączonych cienką warstwą zaprawy (rys. 13) muszą zostać zastąpione solidniejszym murem. W tych nowych ścianach proponuje się „przeplatać” (wł. *listare*) warstwy kamieni poziomymi warstwami cegieł (mur pasemkowy) Jako przykład można podać kościół św. Joanny w Barcelonie (rys. 14), którego ściany mają strukturę pasemkową, chociaż jest to strefa niskiego ryzyka sejsmicznego.

Materiały kompozytowe są obecnie szeroko stosowane do

wzmacniania murów obiektów zabytkowych [5], [3], [6]. Podstawowe zasady ich stosowania można znaleźć w [7], a najnowsze osiągnięcia w tej dziedzinie przedstawiono na specjalistycznym seminarium [8].

FRP (polimer wzmocniony włóknami) po raz pierwszy zastosowano do wzmocnienia obiektu zabytkowego wiosną 1997 roku (przed trzęsieniem ziemi, które wystąpiło we wrześniu tegoż roku). Wzmocniono nim dwie kopuły Katedry Città di Castello (region Umbria, Włochy). Od tego czasu FRP znalazł podobne zastosowanie w wielu włoskich kościołach i obiektach zabytkowych, na przykład wzmocnienie (A. Di Tommaso, [3]) ogromnych sklepień krzyżowych Bazyliki S. Petronio w Bolonii (2000). Na szczególną wzmiankę zasługuje odbudowa kościoła Św. Franciszka z Asyżu, gdzie zastosowano kompozyty aramidowe i węglowe (P. Rocchi i G. Croci, [3]).

Inną odmianą materiałów kompozytowych, szczególnie nadającą się do wzmocniania muru, jest FRCM

materials have been used to strength masonry but also for Re-Construction. In fact for the reconstruction of the cathedral of Noto (Sicily) some joints of new masonry have been reinforced with FRCM. The same material has been used in the joint of the ancient roman arch of "Porta Montanara" that has been taken to pieces, translated and reassembled in original place.

A proposal, consistent with the needs of Conservation and structural robustness, is to built or better to rebuilt lacking wall with "banded masonry" (Italian: muratura listata). The band should be made of brick reinforced with FRCM. The "banded masonry" has old

origin, we find it in old roman constructions but it is used also in more recent architectures, see for example fig 14 of a church in Barcelona. Banded masonry consists on two or three brick courses (band) spacing out the masonry made by irregular stones. Now an advancement, compliant to monument conservation, could be to reinforce the band with FRCM (layers of composites, textile reinforced in inorganic matrix) in the joints, among bricks (see scheme in fig. 15). In this solution the new wall would present less vulnerability to collapse mechanisms widely observed in this earthquake preserving the nature of masonry construction.

A consistent improvement about top R.C. beams under the roof, useful to close the structural system and contributing to have box behaviour, could be done with the following concepts:

a top beams with low bending stiffness in the wall plane but very stiff and strong in extensional mode. Similar solutions have been proposed by Borri [3] using brick reinforced with composite materials (FRP or FRCM) and by Doglioni [4] using mortar reinforced by steel reticulated structure.



Fig. 14. "banded masonry" in the façade of Saint Joan church in Barcelona

Rys. 14. Mur pasemkowy fasady kościoła św. Joanny w Barcelonie

(materiał cementowy wzmocniony włóknami), w którym osnową jest zmodyfikowany polimer na bazie cementu). Takie materiały były stosowane do wzmacniania konstrukcji murowanych, a także w ich rekonstrukcji. Przy odbudowie katedry w Noto (Sycylia) niektóre połączenia nowego muru zostały wzmocnione kompozytem FRCM. Ten sam materiał zastosowano do połączeniu części starożymskiego łuku Porta Montanera, który został rozebrany, przemieszczony i złożony w całość w pierwotnym miejscu.

Propozycja odpowiadająca potrzebom ochrony i solidności konstrukcji to budowa, lub lepiej, odbudowa, brakujących ścian w formie muru pasemkowego (wł. murata listata).

Pasemka powinny być wykonane z cegieł wzmocnionych kompozytem FRCM. Mur pasemkowy pochodzi ze starożytności (występuje w starożymskich budowlach), ale jest stosowany także w bardziej współczesnych konstrukcjach architektonicznych. Na przykład w kościele w Barcelonie pokazanym na rys. 14. W murze pasemkowym warstwy nieregularnych kamieni przeplatane są dwiema lub trzema warstwami cegieł.

Udoskonaleniem, zgodnym z regułami ochrony obiektów zabytkowych, byłoby wzmocnienie tych

pasemek kompozytem FRCM (warstwy kompozytu, tkanina z osnową nieorganiczną) w połączeniach między cegłami (rys. 15). Dzięki temu rozwiązaniu nowa ściana byłaby mniej podatna na zawalenie podczas trzęsienia ziemi i zachowałaby charakter muru.

W przypadku belek stosowanych na górze pod dachem, udoskonalenie zamykające układ konstrukcyjny i przyczyniające się do jego pracy skrzynkowej, polegałoby na zastosowaniu belek o małej sztywności zginania w płaszczyźnie ściany, ale bardzo sztywnych i mocnych na rozciąganie. Podobne rozwiązania zaproponowali Borri [3] (cegły wzmoc-

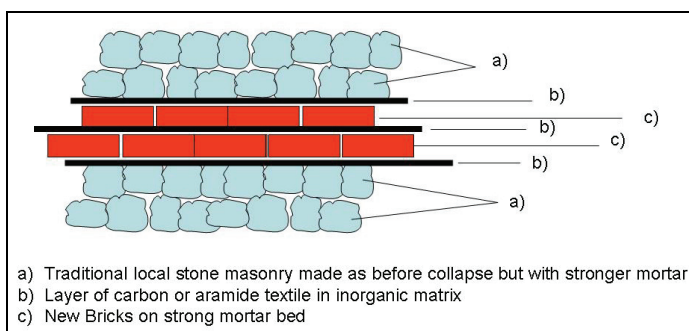


Fig. 15. Proposed integrated texture for RECONSTRUCTION: FRCM reinforcing brick band at different level of new masonry

Rys. 15. Proponowana struktura wzmocnienia: pasemka cegieł wzmocnione kompozytem FRCM na różnych poziomach nowego muru

The challenge is to respect the typology of masonry and the structural system but using present technology, appropriate with the knowledge of seismic behaviour of masonry constructions.

nione materiałami kompozytowymi FRP lub FRCM) oraz Doglioni [4] (zaprawa z wzmocnieniem w postaci siatki stalowej).

Wyzwanie stanowi respektowanie oryginalnej topologii muru i układu konstrukcyjnego przy zastosowaniu nowoczesnej technologii opartej na wiedzy o sejsmicznym zachowaniu się konstrukcji murowanych.

## Literatura • References

- [1] Marchetti L., *Le opere provvisionali e la messa in sicurezza dei beni*, in *Beni Culturali in Umbria: dall'emergenza sismica alla ricostruzione*, M. Picarretta Ed., Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Roma, ISBN 88-86210-58-2.
- [2] Podestà S. et al., *Il problema della messa in sicurezza dei beni monumentali*, in *Beni Monumentali e Terremoto: dall'emergenza alla ricostruzione*, G.Cifani et al. Eds, Regione Molise, DAST-UOIG CNR L'Aquila 2005.
- [3] Different Authors, *Consolidamento Contemporaneo – Edilizia storica*, in *Trattato sul Consolidamento*, P. Rocchi Scientific Director, Mancosu Editore, Roma 2003, ISBN 88-87017-06-9.
- [4] Doglioni F., Mazzotti P., *Codice di Pratica*, Edited by Regione Marche, Ancona 2007, ISBN 978-88-902669-0-4.
- [5] Di Tommaso A., Focacci F., *Strengthening Historical Monuments with FRP: a Design Criteria Review*, in *Composites in Construction: a Reality, Int. Workshop, Capri*, E.Cosenza, G.Manfredi, A.Nanni Eds., Proc. ASCE 2002, ISBN 0-7844-0596-4.
- [6] Jasienko J., Lodygowski T., Rapp P., *Naprawa, konserwacja i wzmocnianie wybranych, zabytkowych konstrukcji ceglanych*, Wydawnictwo DWE, Wrocław 2006, ISBN 83-7125-143-2.
- [7] Focacci F., *Rinforzo delle murature con materiali compositi*, Flaccovio Editore, Palermo 2008, ISBN 978-88-7758-819-7.
- [8] Di Tommaso A. ed., *Mechanics of Masonry Structures strengthened with Composite Materials*, Seminar in Venezia, April 2009, Proc. Printed by Pitagora Editrice s.r.l., Bologna, SBN 88-371-1771-X.

---

\* LabSCo – Laboratorio di Scienza delle Costruzioni  
Research Unit “Controllo Strutture Monumentali” CdSM  
Università IUAV di Venezia

---

## Abstract

In this paper some aspects of 2009 strong earthquake in Abruzzo Region have been analysed.

First of all a reflection on the causes of so big disaster induced to evaluate a strong vulnerability of masonry due to typology of its texture and poor mortars.

A second topic examined is the advancement of first aid to collapsing building: new materials, new structural systems and recent mechanical lifting devices made this chapter totally different from previous ones relative to past earthquakes in middle Italy.

Last part is devoted to the problem of Re-Construction: seems consistent to rebuild the monument with a reinforced masonry, named “banded masonry” to reduce drastically the vulnerability of constructions, preserving the peculiar character.

## Streszczenie

Artykuł przedstawia analizę niektórych aspektów silnego trzęsienia ziemi, które nawiedziło region Abruzzo w 2009 r. Ustalono, że jego katastrofalne skutki spowodowane były dużą podatnością tamtejszych konstrukcji murowanych (ściany szczelinowe z kamieni słabo powiązanych zaprawą) na zawalenie się.

Drugi temat to postęp, jaki dokonał się w dziedzinie pierwszej pomocy w ratowaniu budynków zagrożonych zawaleniem. Nowe materiały, nowe układy konstrukcyjne i nowoczesne urządzenia podnoszące sprawiły, że ten etap przebiegł nieporównywalnie lepiej niż w poprzednich trzęsieniach ziemi, które nawiedziły środkowe Włochy.

Ostatnia część referatu dotyczy problemu odbudowy. Wydaje się, że odpowiednim rozwiązaniem jest zastosowanie tzw. muru pasemkowego w celu radykalnego zmniejszenia podatności budynków na zawalenie się, a jednocześnie zachowania ich szczególnego charakteru.



Claudio Modena\*, Maria Rosa Valluzzi\*, Francesca da Porto\*, Filippo Casarin\*  
Enrico Garbin\*, Marco Munari\*, Nicola Mazzon\*, Matteo Panizza\*  
Massimo Dalla Benetta\*, Giulia Bettiol\*

## Intervention criteria for historic masonry constructions subjected to seismic actions

## Kryteria interwencji dla historycznych konstrukcji murowanych podlegających oddziaływaniom sejsmicznym

### 1. Introduction

The acknowledgment of the scientific community that the structural safety aspects of constructions belonging to the cultural heritage can not be treated according to standard procedures that are fitted for new constructions, is leading to new, specific approaches for assessing their actual structural performances and then for developing new, more appropriate methodologies and design criteria for their repair and strengthening. The basic idea is that the usual, even the most sophisticated, structural design approaches naturally imply a certain level of “over-design”, and this can lead to unacceptable solutions when dealing with “existing structures” (ISO 13822) [1]. Over-designing interventions on existing structures could in fact imply in general unacceptable costs and, in the case of the historical heritage, unacceptable losses of cultural (historic, artistic) values. On this respect, the “seismic condition” presents the most delicate implications, as the very extreme resources of the structure, i.e. those connected with resistance mechanisms that are normally neglected and in any case almost impossible to include in structural models, are mobilized. Attempts to offer comprehensive methodologies to tackle such difficulties have been recently made at an international level by the ISCARSAH [2] committee of ICOMOS and, for constructions in seismic areas, by the Italian codes and guidelines [3] issued by Ministry of Culture and Ministry of Public Works. The consciousness that any calculation imply over-design has as

### 1. Wprowadzenie

Uświadomienie sobie przez społeczność naukową, że aspekty bezpieczeństwa konstrukcji budowli należących do kulturalnego dziedzictwa nie mogą być traktowane zgodnie ze standardowymi procedurami postępowania, właściwymi dla nowych konstrukcji, prowadzi do przyjęcia nowego, specyficznego podejścia do oceniania ich faktycznych możliwości konstrukcyjnych i następnie do opracowywania nowych, odpowiedniejszych metodologii i kryteriów projektowania dla przeprowadzania ich napraw i wzmacniania. Zasadnicza idea polega na tym, że zwykle, nawet najbardziej wyszukane podejścia projektowania konstrukcji w sposób naturalny zakładają pewien poziom „przeprojektowania”. To może prowadzić do niedopuszczalnych rozwiązań, kiedy mamy do czynienia z istniejącymi konstrukcjami (ISO 13822) [1].

Interwencje typu nadmiarowego projektowania dla istniejących konstrukcji mogłyby w rezultacie spowodować niedopuszczalne koszty i, w przypadku obiektów historycznego dziedzictwa, niedopuszczalne straty wartości kulturalnych (historycznych, artystycznych).

Z tego punktu widzenia, „warunki sejsmiczne” pociągają za sobą najbardziej delikatne konsekwencje, jako że zostają tu uruchomione najbardziej ekstremalne rezerwy konstrukcji, tzn. związane z takimi mechanizmami wytrzymałości, które zwykle są zaniedbane, a w każdym razie prawie niemożliwe do uwzględnienia w modelach konstrukcyjnych. Wysiłki

relevant consequence that the formal match between “code requirements” and “formally demonstrated structural performances” can be misleading, and not necessarily required. Assessment is no more considered a more or less sophisticated exercise of analytical/numerical structural models, but an articulated and combined use of structural models, historical informations, surveys and investigations, personal, qualitative judgments (based on past experiences, specific training, comparisons, evaluations of past performances of a constructions) that in a “multidisciplinary” context, ensuring that all the values (economical, social, historic, artistic) of the constructions are taken into account, leads to a final decisions on if and how to intervene. Moreover, safeguarding “cultural values” implies also appropriated selection and design of the intervention materials and technologies. Attention is than paid to the possibilities offered by the traditional solutions and to their possible combinations with innovative ones.

## 2. Traditional and innovative structural interventions

Most important aspect is the improvement of the building seismic performance mainly by using traditional methodologies but also adopting innovative techniques and materials (fig. 1 and fig.2). The choice of approach and intervention techniques widely depend on the results of the previous evaluation phases. The main aim is the conservation both of materials and functionality of the structure, therefore interventions should interest a single part of the building avoiding significant alterations to the original structure. These interventions will be chosen preferring the least invasive ones and those with the greatest compatibility with the original structure. Several researches on these aspects were carried out at the University of Padua and the main results are presented in

skierowane na zaproponowanie wszechstronnych metodologii, które by uporały się z takimi trudnościami, zostały ostatnio poczynione na poziomie międzynarodowym przez ISCARSAH [2] komitet ICOMOS i, dla budów na terenach sejsmicznych, przez włoskie przepisy i wytyczne [3] wydane przez Ministerstwo Kultury i Ministerstwo Robót Publicznych.

Świadomość, że każde obliczenie implikuje „przeprojektowanie”, ma odpowiednie konsekwencje, a mianowicie takie, że formalne dopasowanie do siebie „wymagań normowych” i „formalnie zademonstrowanych możliwości konstrukcji” może wprowadzać w błąd i nie jest koniecznie wymagane. Ocena nie jest już dłużej uznawana za mniej lub bardziej skomplikowane ćwiczenie na analitycznych / numerycznych modelach konstrukcyjnych, ale za jasno wyrażone i połączone użycie modeli konstrukcyjnych, informacji historycznych, pomiarów geodezyjnych i badań, osobistej, jakościowej oceny (bazującej na zgromadzonych doświadczeniach, określonym wykszoleniu, porównaniach, ocenach poprzedniego zachowania się konstrukcji). W „multidyscyplinarnym” kontekście zapewnia to, że wszystkie wartości (ekonomiczne, społeczne, historyczne, artystyczne) budowli są uwzględnione.

Prowadzi to do końcowych decyzji odnośnie tego, czy i w jaki sposób zainterweniować. Ponadto ochranianie „wartości kulturalnych” implikuje również odpowiedni wybór i projektowanie materiałów i technologii dla tej interwencji. Zwraca się uwagę na możliwości oferowane przez tradycyjne rozwiązania i na ich możliwe połączenie z rozwiązaniami nowatorskimi.

## 2. Tradycyjne i nowatorskie interwencje konstrukcyjne

Najważniejszym aspektem jest poprawa zachowania się budynku w warunkach sejsmicznych,



Fig. 1. Example of out-of-plane collapse (left); out-of-plane collapse of a wall with r.c. tie beams (right)  
Rys. 1. Przykład zawalenia się pozapłaszczyznowego (z lewej strony); pozapłaszczyznowe zawalenie się ściany ze ściąganiem z belki żelbetowej (z prawej strony)



Fig. 2. R.C. roof pounding the masonry walls  
Rys. 2. Żelbetowy dach rozbijający murowane ściany

the following paragraphs along with a general introduction of most important techniques used to improve seismic resistance of masonry buildings.

### 3. Interventions to improve connections

Firstly it is necessary to allow the structure to manifest a satisfactory global behaviour, by improving the connections between masonry walls and between these and floors.

This goal may be achieved inserting ties (fig. 3), confining rings (fig. 4), and tie-beams (preferably in reinforced masonry or steel, also in r.c. but with restrictions).

An effective connection between floors and walls is useful since it allows a better load redistribution between different walls and exerts a restraining action towards the walls' overturning. Considering wooden floors, a satisfactory connection is provided by fasteners anchored on the external face of the wall (fig. 5).

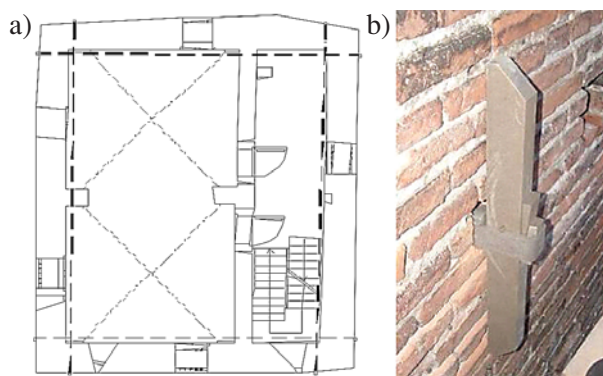


Fig. 3. Strengthening interventions, positioning of stainless steel ties, Vanga tower (Trento): a) tie positioning, plan; b) view of the external anchor

Rys. 3. Interwencje wzmacniające, umieszczenie ściągnięć ze stali nierdzewnej, wieża Vanga (Trento): a) ustawienie ściągnięć, rzut główny poziomy; b) widok zewnętrznej kotwi

głównie przez zastosowanie metodologii tradycyjnych, ale również zaadaptowanie nowatorskich technik i materiałów (rys. 1 i rys.2). Wybór podejścia i techniki interwencji w szerokim zakresie zależy od wyników poprzednich faz oceny. Głównym celem jest zachowanie zarówno materiałów, jak i funkcjonalności konstrukcji, dlatego też interwencje powinny być skupione na pojedynczej części budynku, unikając znacznych zmian oryginalnej konstrukcji. Wybrane będą te interwencje, które są najmniej inwazyjne i te, które zapewniają największą zgodność z oryginalną konstrukcją. Szereg badań nad tymi aspektami było przeprowadzonych na Uniwersytecie w Padwie i główne wyniki są przedstawione w następujących paragrafach, wraz z ogólnym przedstawieniem najważniejszych technik używanych dla polepszenia sejsmicznej odporności murowanych budynków.

### 3. Interwencje w celu poprawienia połączeń

Przede wszystkim należy umożliwić konstrukcji jej zadowalające globalne zachowanie, przez polepszenie połączeń między ścianami murowanymi oraz między ścianami i stropami.

Ten cel można osiągnąć wstawiając ściągi (rys. 3), pierścienie ograniczające (rys. 4) i ściągi belkowe (najlepiej jako murowane zbrojone lub stalowe, również żelbetowe ale z ograniczeniami).

Efektywne połączenie między stropami i ścianami jest przydatne, jako że pozwala na lepsze rozłożenie obciążenia między różnymi ścianami i działa ograniczająco na wywracanie się ścian. W przypadku stropów drewnianych, zadowalające połączenie jest zapewnione przez łączniki zakotwiczone na zewnętrznej powierzchni ściany (rys. 5).

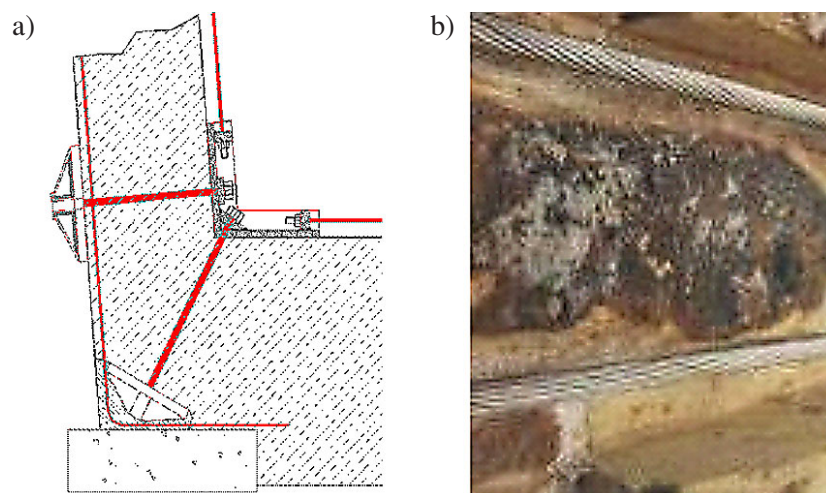


Fig. 4. Strengthening interventions, external confining stainless steel cables, Clock Tower, Padova: a) detail of the core strengthened using steel plates and cables; b) detail of the cable insertion between the mortar joints  
 Rys. 4. Interwencje wzmacniające, zewnętrzne liny ograniczające ze stali nierdzewnej, Wieża Zegarowa, Padwa: a) szczegół rdzenia wzmocnionego przy użyciu płyt i lin stalowych; b) szczegół wstawienia liny między połączeniami zaprawy murarskiej

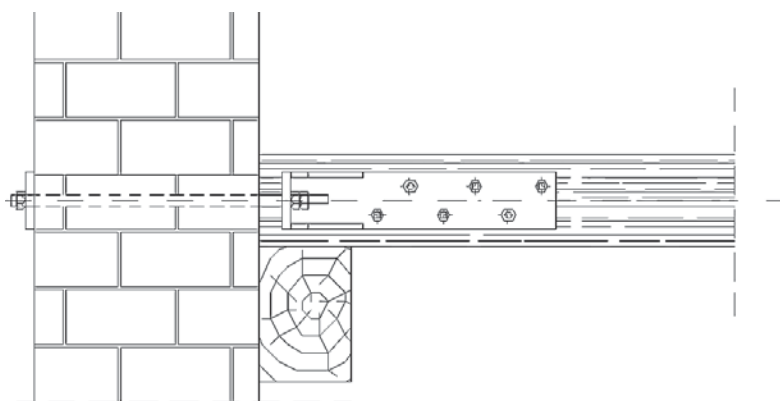


Fig. 5. Strengthening interventions, diffuse wooden floor connections to the masonry wall  
 Rys. 5. Interwencje wzmacniające, rozproszone połączenia drewnianego stropu ze ścianą murowaną

#### 4. Interventions to increase the strength of the masonry

Interventions, aiming at increasing the masonry strength, may be used to re-establish the original mechanical properties lost because of material decay or, alternatively, to upgrade the masonry performance. Techniques, employed with opportune and sufficient cautiousness, should utilize materials with mechanical and chemical-physical properties similar to the original fabric guaranteeing both strength and stiffness.

The “scuci-cuci” methodology (fig. 6) aims to restore the wall continuity along cracking lines (substitution of damaged elements with new ones, reestablishment of the structural continuity) and to recover heavily damaged parts of masonry panels. Using of similar materials, for form, dimensions, stiffness and resistance, to those employed in the original wall is preferable, inserting adequate connections orthogonally and on the plain of masonry,

#### 4. Interwencje służące zwiększeniu wytrzymałości konstrukcji murowanych

Interwencje, zmierzające do zwiększania wytrzymałości konstrukcji murowanych, mogą zostać użyte, aby odtworzyć początkowe własności mechaniczne utracone z powodu rozkładu (zniszczenia) materiału lub, jako alternatywa, dla uzyskania lepszych tychże konstrukcji. Techniki, zastosowane z właściwą i dostateczną ostrożnością, powinny wykorzystywać materiały o własnościach mechanicznych i fizyko-chemicznych podobnych do własności oryginalnego materiału, gwarantując zarówno wytrzymałość, jak i sztywność.

Metoda “scuci-cuci” (rys. 6) ma na celu przywrócenie ścianie ciągłości wzdłuż linii pęknięcia (zastąpienie zniszczonych elementów nowymi, przywrócenie ciągłości konstrukcyjnej) i odzyskanie poważnie uszkodzonych części płyt murowanych.

Stosowanie podobnych materiałów, co do formy, wymiarów, sztywności i wytrzymałości, do tych



Fig. 6. Examples of "scuci-cuci" interventions on the bell tower of the Cathedral of Monza [4]  
 Rys. 6. Przykłady interwencji typu „scuci-cuci” na dzwonnicy Katedry Monza [4]

to obtain greater homogeneity and monolithic behaviour.

An extensive research focused on the used of non cement-based mortar grouting [5] to increase the strength of multi-leaf masonry walls (fig. 7). The technique consists in the injection of mixture through a regular pattern of holes (fig. 8), with the aim to increase the connection between external layers of masonry. Studies [5], [6] demonstrate (fig. 10) that injections don not increase the stiffness of wall, as oppositely jacketing causes, permitting a methodologically correct intervention.

które były użyte w oryginalnej ścianie, jest korzystniejsze. Należy wstawiać odpowiednie połączenia prostopadle i w płaszczyźnie muru dla uzyskania większej jednorodności i monolitycznego zachowania się ściany.

Rozległe badania skoncentrowano na zastosowaniu zastrzyków (iniekcji) zaprawą murarską niecementową [5] do zwiększenia wytrzymałości wielościanowych murów (rys. 7). Technika ta polega na wstrzykiwaniu mieszanki przez otwory o regularnym układzie (rys. 8), w celu zwiększenia połączenia między zewnętrznymi warstwami murów. Badania [5], [6] pokazują (rys. 10), że zastrzyki nie zwiększają sztywności ściany, jak czyni to nakładanie płaszcza (wartwy), pozwalając na metodologicznie poprawną interwencję.

Przez ścianę można przeprowadzić belki ściągające o niewielkich rozmiarach, zapewniając działanie łączące między ściankami muru (rys. 11). Jak wykazano w badaniach, ta interwencja pozwala zredukować poprzeczne deformacje (rys. 12) i zauważalnie zmniejszyć miejscowe problemy odkształcenia muru poza płaszczyznę, z powodu braku połączenia między przeciwnymi warstwami muru.

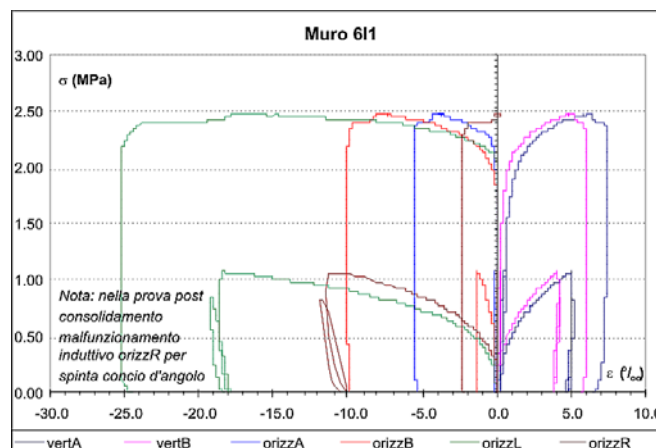


Fig. 7. Comparison between resistance compression of wall in original conditions and after injection; [5]  
 Rys. 7. Porównanie między wytrzymałością muru na ściskanie w warunkach początkowych i po iniekcji; [5]



Fig. 8. Strengthening interventions using mortar grouting  
 Rys. 8. Interwencje wzmacniające z zastosowaniem zastrzyku (iniekcji) zaprawy murarskiej



Fig. 9. Strengthening interventions, reinforced mortar repointing  
 Rys. 9. Interwencje wzmacniające, wzmocnione punktowe naprawy zaprawą murarską

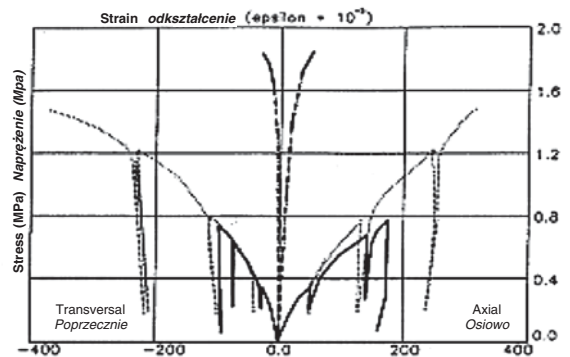


Fig. 10. Comparison of structural behaviour using injections and jacketing [7]  
 Rys. 10. Porównanie zachowania się konstrukcji przy użyciu iniekcji i osłony płaszczem [7].

Small size tie beams can be posed across the wall, supplying a connective function between the wall's leaves (fig. 11). This intervention permits to reduce transversal deformations, as a study demonstrates (fig. 12), and noticeably reduce local problems of out-of-plane, due to the lack of connection between opposite layers of wall.

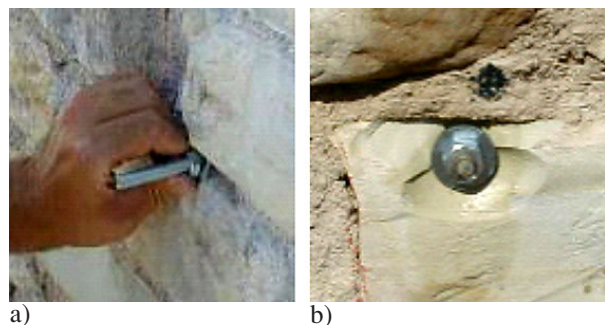


Fig. 11. Strengthening interventions, positioning of stainless steel threaded bars used as ties: a) fixing of the nut; b) external aspect of the strengthened wall

Rys. 11. Interwencje wzmacniające, umieszczenie gwintowanego pręta ze stali nierdzewnej użytego jako ściąg: a) umocowanie nakrętki; b) zewnętrzny widok wzmocnionej ściany

In addition, the combination of these techniques can provide a larger increase in the overall strength of the wall, permitting to carry higher loads.

A wide research, studying the dynamic behaviour of injections and transversal ties, is in progress. Two scaled masonry structures were built using three leaves masonry stones and tested on the shaking table (fig. 13). First results confirm that the overall stiffness of the injected model is not increased with respect to the original one and therefore also the dynamic performance does not change. In addition higher values of seismic input can be reached, thanks to a monolithic performance due to the connection effect provided by mixture. Several compressive, shear-compressive and out-of-plane test complete the investigation permitting to understand the mechanical behaviour of strengthened structures (fig. 14).

An additional technique, improving deteriorated joints, is mortar repointing (fig. 9) and reinforced repointing when a steel bar is provided in the joints. Laboratory tests and numerical models elaborated at the University of Padua (fig. 15) show the employability of new materials as FRP laminates instead of steel, to ensure compatibility and removability as well as controlling creep deformations.

Masonry strength can be also increased by means of the insertion of "diatoni" (masonry units disposed in a orthogonal direction respect the wall's plane), substituting damaged stones or introducing new elements to provide transversal connections between external layers of wall.

Ponadto, połączenie tych technik może zapewnić większy wzrost ogólnej wytrzymałości ściany, pozwalając przenieść większe obciążenia.

Trwają szerokie badania, obejmujące dynamiczne zachowanie się iniektów i poprzecznych ściągów. Zostały zbudowane dwie skalowane konstrukcje murowane, przy użyciu trzech ścian murowanych

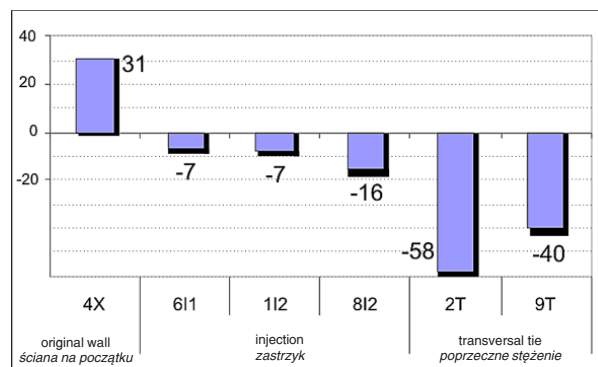


Fig. 12. Inserting transversal tie provides maximum decreasing of transversal deformation of masonry panels; [5]

Rys. 12. Wstawianie poprzecznego ściągu zapewnia maksymalne zmniejszenie deformacji poprzecznej murowanych płyt; [5]

z kamienia, i poddano je badaniom na stole wibracyjnym (rys. 13). Pierwsze wyniki potwierdzają, że ogólna sztywność modelu, poddanego iniekcjom, nie została zwiększona w odniesieniu do oryginału i dlatego również dynamiczne charakterystyki nie uległy zmianie.

Ponadto można zastosować wyższe wartości wprowadzanej siły sejsmicznej, dzięki monolitycznemu zachowaniu się, dzięki efektowi połączenia spowodowanego przez mieszaninę. Szereg testów ściskających, ścinająco-ściskających i pozapłaszczyznowych uzupełnia te badania, pozwalając zrozumieć mechaniczne zachowanie wzmocnionych konstrukcji (rys. 14).

Dodatkową techniką, poprawiającą zniszczone spoiny, jest punktowe naprawianie zaprawą murarską (rys. 9) i wzmocnione punktowe naprawianie, kiedy w połączeniach wprowadzony jest stalowy pręt.

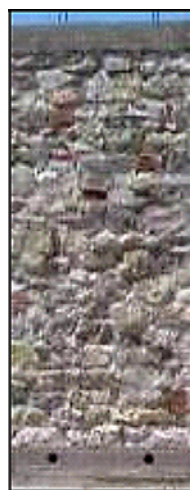
Badania laboratoryjne i modele numeryczne, opracowane na Uniwersytecie w Padwie (rys. 15), pokazują możliwość zastosowania nowych materiałów, takich jak laminaty FRP zamiast stali, aby zapewnić zgodność, możliwość usuwania, oraz kontroleodkształceń spowodowanych pełzaniem.

Wytrzymałość murów może również zostać zwiększona przy pomocy wkładek „diatoni” (elementy murowane rozmieszczone w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ściany), zastępujące uszkodzone kamienie lub wprowadzające nowe elementy, aby zapewnić poprzeczne połączenia między zewnętrznymi warstwami ściany.

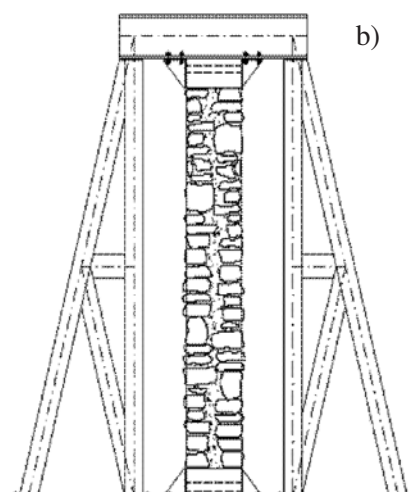


Fig. 13. Masonry model, reinforced using injections, on the shaking table

Rys. 13. Model murowanej konstrukcji, wzmocnionej przy użyciu zastrzyków, na stole wstrząsowym



a)

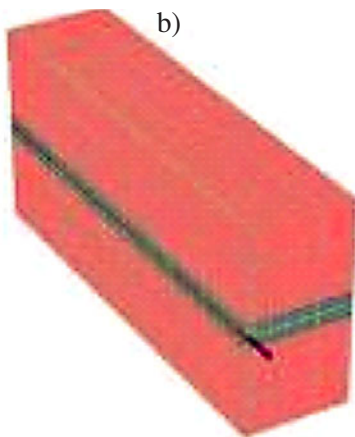


b)

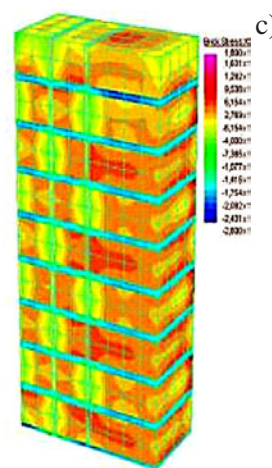
Fig. 14. Single panel (a) and steel frame (b) for shaking table tests  
Rys. 14. Pojedynczy panel (a) i rama stalowa (b) dla testów na stole wstrząsowym



a)



b)



c)

Fig. 15. (a) Reinforced repointing using FRP laminates. FE modelling of masonry wall strengthened with FRP bars (b) and (c); [8]  
Rys. 15. (a) Wzmocnione punktowe naprawy przy użyciu laminatów FRP. Modelowanie FE murowanej ściany wzmocnionej prętami FRP (b) i (c); [8]

## 5. Interventions to reduce flexibility of floors and their consolidation

Interventions aiming to increase the in-plane stiffness of existing floors must be carefully evaluated since the horizontal seismic action is transferred to the different masonry walls in function of the floor plane action, depending on its stiffness. The role of diaphragms in seismic behaviour in masonry buildings is to transfer lateral actions to the walls which are parallel to the direction of the earthquake, therefore also an effective connection between floors and walls has a large importance.

A limited intervention, that does not modify the overall behaviour and the seismic force redistribution, aiming to increase the wooden floors stiffening, is obtained by providing a further layer of wooden planks. Studies [9] focused on different strength-

## 5. Interwencje w celu zmniejszenia elastyczności stropów i ich umocnienia

Interwencje zmierzające ku zwiększeniu sztywności istniejących stropów muszą być ostrożnie oceniane, jako że poziome działanie sejsmiczne jest przenoszone na inne ściany murowane jako funkcja działania w płaszczyźnie stropu, zależnie od jego sztywności. Rolą diafragm w sejsmicznym zachowaniu się budynków murowanych jest przenoszenie bocznego działania na ściany, które są równoległe do kierunku trzęsienia ziemi, dlatego również efektywne połączenie między stropami i ścianami ma duże znaczenie.

Ograniczona interwencja, nie modyfikująca ogólnego zachowania i redystrybucji siły sejsmicznej, zmierzająca ku zwiększeniu sztywności drewnianych stropów, jest uzyskana przez dostarczenie kolejnej warstwy drewnianych desek. Badania [9] skupiono na

ening methodologies as double planking in orthogonal direction or with 45° of rotation, using tongue-and-groove joints and nails or screw as connectors. An eventual further intervention consists on inserting diagonal wooden or steel elements (fig. 16). This research leads to a widely utilized technique nailing planks at the extrados of the existing floor (fig. 17). In addition the use of metallic belts or FRP strips, disposed in a crossed pattern and fixed at the extrados of the wooden floor (fig. 18), or the use of metallic tie-beams bracings, may improve the stiffening effect.

różnych metodach wzmacniania, takich jako podwójne deskowanie w kierunku prostokątnym, lub obróconym pod kątem 45°, przy użyciu połączenia na pióro-wpust i gwoździ lub śrub jako elementów łączących. Możliwa dalsza interwencja polega na wstawianiu przekątnych elementów z drewna lub stali (rys. 16). To badanie prowadzi do szeroko stosowanej techniki przybijania desek w grzbiecie łuku istniejącego stropu (rys. 17). Ponadto użycie metalowych pasów lub taśm FRP, rozmieszczonych krzyżowo i umocowanych w grzbiecie łuku drewnianego stropu (rys. 18), lub użycie usztywnień z metalowych belek ściągów może polepszyć efekt usztywnienia.

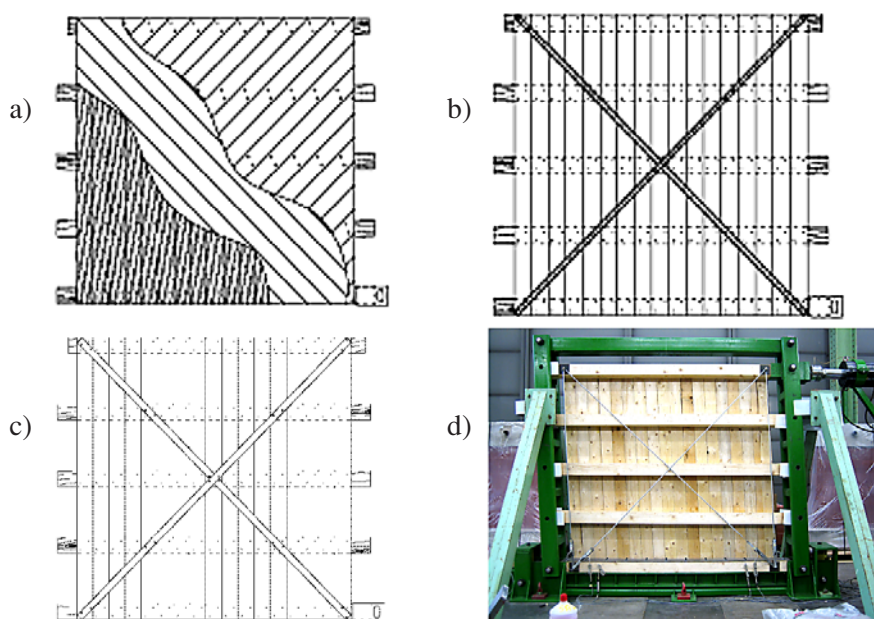


Fig. 16. Different strengthening interventions using: (a) rotated double planking; (b) orthogonal double planking with wooden diagonal; (c) orthogonal double planking with steel diagonal. (d) Steel frame used for laboratory tests [9].

Rys. 16. Inne interwencje wzmacniające przy użyciu: (a) obróconego pod kątem podwójnego odeskowania; (b) prostokątnego podwójnego odeskowania z drewnianą przekątną; (c) prostokątnego podwójnego odeskowania z przekątną stalową. (d) Stalowa rama użyta do badań w laboratorium [9]

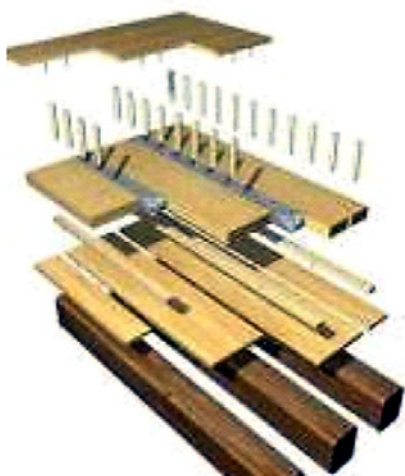


Fig. 17. Strengthening interventions, in and out of plane stiffening of an existing wooden floor: wooden planks at the extrados connected by wooden dowels

Rys. 17. Interwencje wzmacniające, usztywnienie istniejącego drewnianego stropu w płaszczyźnie i poza płaszczyzną: drewniane deski w grzbiecie łuku są połączone drewnianymi kółkami



Fig. 18. Strengthening interventions, in-plane stiffening of existing wooden floors: metallic belts reinforcing wooden roof  
Rys. 18. Interwencje wzmacniające, usztywnienie istniejącego drewnianego stropu w płaszczyźnie: metalowe pasy wzmacniające drewniany strop



## 6. Interventions to reduce thrust of vaulted arches and their strengthening

Among the structural components in masonry buildings, arches and vaults deserve particular attention being very widespread in European historical centers, therefore their preservation as part of the cultural heritage is a very topical subject. Because of their ages or for accidental causes (such as earthquakes), these structures can suffer several types of damage, so the contribution of strengthening materials and repair techniques may be required to re-establish their performances and to prevent the brittle collapse of the masonry in possible future hazardous conditions.

Strengthening interventions may be realized by using the traditional techniques of tie-rods, compensating the thrust induced on the bearing walls. In addition, to absorb thrust of vaulted arches, the possibility of realizing buttresses or masonry fillers should be considered, whilst jacketing the extrados using concrete reinforced or not should be avoided.



Fig. 19. Collapse mechanism of a vault strengthened using CFRP strips; [10]  
Rys. 19. Mechanizm zawalenia się sklepienia wzmocnionego przy użyciu taśm CFRP; [10]

In the last few years, the University of Padua carried out an experimental research [10], [11] to study the behaviour of masonry vaults strengthened by new composite materials, as carbon FRPs (CFRPs) or glass FRPs (GFRPs), placed at the intrados (inner surface) or at the extrados (outer surface) of the structure (fig. 19). A multilayer system of adhesion based on epoxy adhesives and designed to provide a support as homogeneous as possible for the fibers has been adopted.

Vaults strengthened at their intrados revealed a more ductile mechanism of failure that is located in a limited zone, therefore the binding action of the strips can still avoid the collapse of the structure.

## 6. Interwencje w celu zmniejszenia rozporu sklepień łukowych i ich wzmocnienia

Pośród konstrukcyjnych komponentów w murowanych budynkach, łuki i sklepienia zasługują na szczególną uwagę, jako że są one bardzo rozpowszechnione w europejskich centrach historycznych. Dlatego ich zachowanie jako części kulturalnego dziedzictwa jest bardzo aktualnym tematem. Z powodu swojego wieku lub z przyczyn przypadkowych (takich jak trzęsienia ziemi), te konstrukcje mogą doznać kilku typów uszkodzeń. Stąd więc wymagane jest zastosowanie wzmacniających materiałów i technik napraw, aby przywrócić ich właściwości techniczne i zapobiec kruchemu zawaleniu się konstrukcji murowanych w stanach zagrożenia, które mogą wystąpić w przyszłości.

Interwencje wzmacniające mogą być zrealizowane przy użyciu tradycyjnych technik ściągowych, kompensujących rozpor wywierany na ściany nośne. Ponadto, aby przejąć rozpor łuków sklepień, należy rozważyć możliwość zastosowania przypór lub wypełniaczy murowanych konstrukcji. Należy natomiast unikać nakładania płaszcza na grzbiet łuku, przy użyciu betonu, czy to zbrojonego, czy też nie zbrojonego.

W ostatnich kilku latach, Uniwersytet w Padwie prowadził badania doświadczalne [10], [11], aby zbadać zachowanie się murowanych sklepień wzmocnionych przy pomocy nowych kompozytowych materiałów, takich

jak węglowe FRP (CFRP) lub szklane FRP (GFRP), umieszczonych w podniebieniu sklepienia (wewnętrznej powierzchni) lub w grzbiecie łuku (zewewnętrznej powierzchni) konstrukcji (rys. 19). Został zaadoptowany wielowarstwowy system przyklejania, oparty na epoksydowych klejach i zaprojektowany w taki sposób, żeby przy zastosowaniu włókien zapewnić możliwie największą jednorodność podparcia.

Sklepienia wzmocnione w ich podniebieniach wykazały mechanizm defektu bardziej podatny na rozciąganie, ułożony w ograniczonej strefie, dlatego wiążące działanie taśm może nadal umożliwić uniknięcie zawalenia się konstrukcji.

## 7. Conclusions

The observation of the damages caused by the earthquakes in the recent period was essential for the definition of new interpretative models, adjusted on the effective damage patterns experienced by the structures, and also for the validation (or rejection) of intervention techniques that demonstrated different performances during seismic events.

The knowledge of the building's history, the detailed evaluation of the actual state of the structure and materials, the monitoring of the structural behaviour and the comprehension of each building's proper characteristics, in order to define suitable interpretative models, should be considered integral part of the seismic assessment of any historical structure.

Structural models fitted for new constructions are considered generally not suitable in the case of cultural heritage buildings, whilst in several cases starting from qualitative evaluations is believed to be significant for the overall judgement of their seismic performance.

In conclusion, some case studies have been presented, where efforts have been made to respond to "conservative" design criteria and to ensure acceptable structural safety conditions of existing historical constructions. These cases outline a methodological approach to the upgrading of an existing structure, unable in its actual state to bear in safe conditions seismic and static loads. Attention had to be focused on avoiding unnecessary interventions on constructions and special care has been paid to limit, if possible, variations not only of external appearance, but also of mechanical behaviour.

## 7. Wnioski

Obserwacja uszkodzeń spowodowanych przez trzęsienia ziemi w niedawnym okresie była istotna dla zdefiniowania nowych modeli objaśniających, dostosowanych do faktycznych wzorów uszkodzenia, jakich te konstrukcje doświadczyły, jak również dla walidacji (lub odrzucenia) technik interwencji, które zademonstrowały różną skuteczność podczas wstrząsów sejsmicznych.

Znajomość historii budynku, szczegółowej oceny faktycznego stanu konstrukcji i materiałów, monitoringu zachowania konstrukcji i zrozumienie właściwych cech każdego budynku, w celu określenia odpowiednich modeli objaśniających, powinny zostać uznane za integralną część sejsmicznej oceny każdej historycznej konstrukcji.

Modele strukturalne dopasowane do nowych konstrukcji są ogólnie uważane za nieodpowiednie w przypadku budynków dziedzictwa kulturowego, podczas gdy w kilku przypadkach można uznać, że rozpoczęcie od sformułowania jakościowych ocen jest znaczące dla ogólnej oceny ich zachowania się w warunkach sejsmicznych.

Podsumowując, zostały przedstawione badania pewnych przypadków, mające na celu odpowiedzieć na pytania dotyczące kryteriów projektowania „konserwatywnego“ i zapewnić zadowalające warunki bezpieczeństwa konstrukcji dla istniejących budynków historycznych. Te przypadki wytyczają metodologiczne podejście do poprawiania istniejącej konstrukcji, niezdolnej w swoim aktualnym stanie przetrzeć bezpiecznie sejsmiczne i statyczne obciążenia. Należało skupić uwagę na unikaniu niepotrzebnych interwencji w konstrukcje i zwrócono szczególną uwagę na ograniczenie, o ile to możliwe, zmiany nie tylko zewnętrznego wyglądu, ale również mechanicznego zachowania się.

## References • Literatura

- [1] ISO 13822 (2006) *Bases for design of structures – Assessment of existing structures*.
- [2] ICOMOS/ISCARSAH, *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*. Paris (FR), 2003.
- [3] *Guidelines for the application of the seismic standards to cultural heritage buildings*, adopted with Prime Minister Directive, October 12<sup>th</sup> 2007.
- [4] Modena C., Valluzzi M.R., Folli T.R., Binda L. *Design choices and intervention techniques for repairing and strengthening of the Monza cathedral bell-tower*, Construction and Building Materials, Special Issue Elsevier Science Ltd., vol. 16, pp. 385-395, 2002.
- [5] Valluzzi M.R., *Comportamento meccanico di murature consolidate con materiali e tecniche a base di calce*, PhD Thesis, U. of Trieste, U. of Brescia, U. of Padova, U. of Trento, IUAV, 2000.
- [6] Valluzzi M.R., da Porto F., Modena C., *Structural investigations and strengthening of the civic tower in Vicenza*, Structural faults & repair-2003, 1 -3 July 2003.

- [7] Modena, C. Bettio, *Experimental characterization and modeling of injected and jacketed masonry walls*, Proc. Italian-French Symposium Strengthening and Repair of Structures in Seismic Area, Nizza, pp. 273-282, October 1994.
- [8] Valluzzi M.R., Disaro' M., Modena C. (2003), *Bed joints reinforcement of masonry panels with CFRP bars*, International Conference on Composites in Construction, Rende (CS), pp. 427-432, Bruno-Spadea-Swamy Ed, 16-19 September 2003.
- [9] Valluzzi M.R., Garbin E., dalla Benetta M., Modena C., *Experimental assessment and modelling of in-plane behaviour of timber floors*, VI Int. Conf. on Structural Analysis of Historical Constructions – SAHC08, Proc., Bath 2008.
- [10] Valluzzi, M.R., Valdemarca, M., Modena, C., *Behaviour of brick masonry vaults strengthened by FRP laminates*, ASCE Int. J. of Composites for Construction, 5(3), 163-169, 2001.
- [11] Panizza M., Valluzzi M.R., Garbin E., Modena C., *Bond Mechanism of Brick Masonry Vaults*, Structural Faults + Repair – 2008, Proc., Edinburgh (UK), 2008.

---

\* University of Padova, Italy  
Uniwersytet w Padwie, Włochy

---

## Abstract

The paper presents a review of seismic structural interventions applied to historical masonry buildings, as they were developed and/or tested at the University of Padova. Safeguard of historical buildings from the seismic risk is a difficult task regarding first the prevention, and then the whole process from building assessment through design and execution of interventions. The adoption of the same classes of predictive models developed for new constructions can mislead about the real behaviour of the structures, and can bring to the choice of useless or even harmful interventions for their seismic protection as outlined in the Italian guidelines. The recent seismic events confirmed limits and consequences of some type of interventions, concurrently corroborated also by extensive experimental researches, but also the effectiveness of new methods based on the use of both traditional and innovative materials and techniques.

## Streszczenie

Artykuł przedstawia przegląd antysejsmicznych interwencji konstrukcyjnych, odnoszących się do historycznych budynków murowanych, jakie były opracowane i / lub testowane na Uniwersytecie w Padwie. Zabezpieczenie historycznych budynków przed zagrożeniem sejsmicznym jest trudnym zadaniem uwzględniającym najpierw zapobieganie, a następnie cały proces, od oceny budynku poprzez projektowanie i wykonanie interwencji. Adaptowanie tych samych kategorii modeli przewidujących, jakie opracowano dla nowych budynków, może być mylące, jeśli chodzi o prawdziwe zachowanie się konstrukcji, i może doprowadzić do wyboru bezużytecznych lub nawet szkodliwych interwencji dla sejsmicznej ochrony budynków, jak nakreślono we włoskich zaleceniach. Niedawne wydarzenia sejsmiczne potwierdziły ograniczenia i konsekwencje niektórych typów interwencji, jednocześnie potwierdzone również przez obszerne badania doświadczalne, ale potwierdziły również skuteczność nowych metod, bazujących na zastosowaniu zarówno tradycyjnych, jak i nowatorskich materiałów i technik.

Federica Ottoni\*

Eva Coisson\*, Carlo Blasi\*

## Empiricism reappraisal in ancient buildings structural analysis. The masonry domes, from historical debates to numerical models

### Analiza konstrukcyjna budowli historycznych z perspektywy badań empirycznych. Kopyły murowane, od historycznych dysput do modeli numerycznych

#### 1. Introduction. The “forces-path” intuition

Aim of this paper is to show the potentiality of the empiricism in identifying the real mechanical behavior of ancient monuments, which often, in the “*art of building*” rules and in the old treatises [1], more than in the modern concepts of new building science, can find the fundamental instruments of knowledge [2]. *Proportional theory* and geometrical rules originated from the direct observation of collapses mechanisms occurred to the monuments during the centuries. The comparison between similar mechanisms and pathologies has allowed to trace the field of application of these theories in solving the safety problem and in guaranteeing the equilibrium of masses. Certainly, ancient architects couldn't have a precise idea of the mechanical behavior of masonry, but, for sure, they must have figured out the “forces path” inside their huge structures [3]. The same forces path which new numerical models, despite the great developments of the last decades, are not able to represent with a reliable precision, for the big approximations at the base of “masonry” modeling as a modern material: its homogeneity, isotropy and linear behavior.

Here, an ideal route from empiricism to numerical modeling of masonry domes is presented, through the recall of some historical debates [4]

#### 1. Wstęp. Intuicyjnie wyznaczony rozkład sił

Celem tego referatu jest pokazanie możliwości podejścia empirycznego w ustaleniu rzeczywistej pracy (z punktu widzenia mechaniki) historycznych budowli, które znajduje uzasadnienie częściej w zasadach sztuki budowlanej i starych traktatach [1] niż we współczesnych koncepcjach inżynierii budowlanej [2]. Teoria proporcji i zasady geometrii wywodzą się z bezpośrednich obserwacji mechanizmów zawalania się budowli na przestrzeni wieków. Porównanie podobnych mechanizmów i patologii pozwoliło prześledzić zastosowanie tych teorii do rozwiązywania problemów bezpieczeństwa budowli i zapewnienia równowagi mas. Dawni architekci nie mogli mieć precyzyjnej wiedzy na temat mechanicznego zachowania się konstrukcji murowanych, ale z pewnością orientowali się jak przebiegały siły w ich ogromnych budowlach [3]. Pomimo dużych postępów w ostatnich dziesięcioleciach współczesne modele numeryczne nie potrafią odwzorować wiarygodnie rozkładu sił z powodu bardzo dużych uproszczeń leżących u podstaw modelowania, dotyczących współczesnych materiałów, ich jednorodności, izotropii i liniowego zachowania się.

W referacie przedstawiono drogę od empiryzmu do modelowania numerycznego kopył murowanych, przywołując historyczne dysputy [4] reprezentują-

which have represented as many fundamental steps in the comprehension of mechanical behavior of some special structures (as domes) and in setting up of consolidating historical solutions. The final aim is to show, by presenting an experimental case of analysis, the validity of the ancient master builders solution to the main problem of the masonry domes: their primeval and ineradicable horizontal thrust on supporting structures.

## 2. Resistance vs stability. The “equilibrium approach”

Ancient treatises and old monuments both reveal the deep knowledge of classical geometry which was the common language, not only formal but even static, of ancient architects.

Galileo [5] first evidenced the “mistakes” in the “proportional method” of calculation, introducing a partial correction to the original Mariotte’s formula for resistance value of a loaded cantilever beam. For the first time, he had fixed a limit to the infinite growing law, which, up to his time, had allowed to apply to a real and massive structure the same proportions tested before in a smaller wooden model. It was the birth of the modern *science of constructions* against the ancient *art of building* but, “Galileo was [partially] wrong” [6]. Actually, the translation of the *stability problem* into an *equilibrium balance*, works, at least until you get close to the characteristic breaking values of the materials, and for the historical buildings – whose constitutive materials work at a stress level much lower than the breaking one – the equilibrium respect is also guarantee of the building stability.

Despite their massive appearance, masonry structures are essentially labile, not isostatic. Still at the beginning of the XXth century, G.B. Milani [7], shows their peculiarity, underlying the difference with the new “elastic systems”: a monolithic structure “*can remain in equilibrium for each value of  $S$  for which the resultant  $R$  is internal to the section*”. What has to be avoided is its overturning, that, regardless of resistance values, inevitably occurs when the resultant falls outside its thickness. Then, the geometrical ratio between thickness of the wall and its height is the fundamental parameter, in order to state the stability condition of the wall itself in front of horizontal forces (as the thrust of a dome).

The “elastic systems” (as modern structures) can have always at least one equilibrium solution and for this reason the question of stability is transferred from equilibrium into a materials resistance problem. This means that, while for the “elastic system” any structural shape is possible, for masonry struc-

ture fundamental etapy w zrozumieniu mechanicznego zachowania się specjalnych konstrukcji (takich jak kopuły) i w doskonaleniu historycznych rozwiązań. Na koniec przedstawiono praktyczny przypadek analizy demonstrujący słuszność rozwiązania podstawowego problemu kopuł murowanych – ich naporu poziomego na konstrukcje wsporcze – przez dawnych budowniczych.

## 2. Nośność a stateczność. Podejście z punktu widzenia równowagi konstrukcji

Historyczne traktaty i stare budowle ujawniają głęboką znajomość klasycznej geometrii dawnych architektów, która stanowiła ich wspólny język (nie tylko formalny, ale także używany w dziedzinie analizy statycznej).

Galileusz [5] pierwszy wykazał nieściśłości proporcjonalnej metody obliczeń, wprowadzając poprawkę do oryginalnego wzoru Mariotta na nośność obciążonej belki wspornikowej. Po raz pierwszy ustalił granicę zasady nieskończonego powiększania, która do tamtego czasu pozwalała nadawać rzeczywistej ogromnej budowli proporcje przetestowane wcześniej na mniejszym modelu drewnianym. Narodziła się wtedy współczesna nauka o konstrukcjach budowlanych, w odróżnieniu do dawnej sztuki budowlanej. Galileusz częściowo się mylił [6]. Przekształcenie problemu stateczności w problem równowagi sprawdza się w praktyce, przynajmniej do momentu, gdy osiągnięte wytrzymałość graniczną materiałów. W przypadku budowli zabytkowych, których materiały składowe pracują pod obciążeniem dużo mniejszym niż obciążenie niszczące, podejście równowagi gwarantuje ich stateczność.

Pomimo ich masywnego wyglądu budowle murowane są w zasadzie labilne, a nie izostatyczne. Jeszcze na początku XX wieku G.B. Milani [7] wskazał na ich szczególną cechę w odróżnieniu od nowych systemów sprężystych: konstrukcja monolityczna „może pozostawać w równowadze dla każdej wartości  $S$ , przy której wypadkowa  $R$  jest wewnętrzna w stosunku do przekroju”. Należy unikać odwrotności, tzn. gdy niezależnie od wartości oporu wypadkowa wychodzi poza grubość przekroju. Wtedy stosunek geometryczny grubości ściany do jej wysokości jest podstawowym parametrem uwzględnianym przy określaniu warunku stateczności ściany w przypadku działania sił poziomych (np. napór kopuły).

Układy sprężyste (takie jak współczesne konstrukcje) zawsze mogą mieć co najmniej jedno rozwiązanie warunków równowagi. W rezultacie problem stateczności redukuje się do problemu wytrzymałości materiałów. Oznacza to, że podczas gdy w przypad-

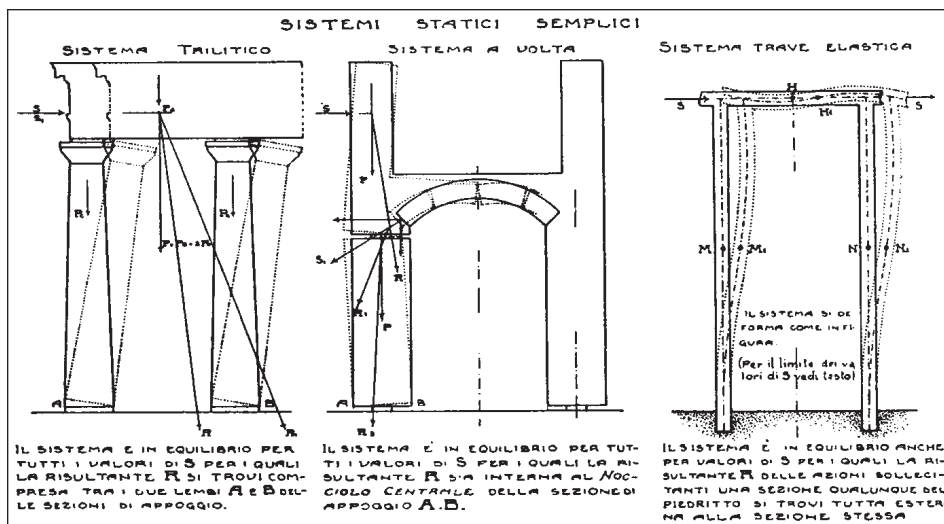


Fig. 1. Difference between monolithic masonry structures and modern elastic systems in Milani's drawing  
 Rys. 1. Różnica między monolitycznymi konstrukcjami murowanymi a współczesnymi układami sprężystymi (rysunki Milaniego)

tures only some particular configurations are available: this fact explains why the shape of ancient structures has remained unchanged for centuries and why ancient builders have been able to experience, for centuries, such similar and well-known collapse mechanisms. Indeed, use of *statics*, alone, has given a good estimation of structural quantities, at least until the XVIIIth century [8] when the introduction of slender, homogeneous structures, with elastic behavior and minimal deformations has necessitated the new science application. At least, giving reason to Galileo.

Masonry is a composite material, constituted by a mix of rigid blocks and mortar joints, and by observing any ancient walls is immediately clear that considering this material as „homogeneous” is a far-fetched concept [9]. Its great resistance to compression and no resistance to traction, get complicated when it's necessary to study its behavior by modern science, based on perfect and well known materials. In keeping with this, the rediscovering of the classical building rules may have a practical and operative value, especially considering that, for historical buildings – subject to several changes, displacements and reconstruction phases during their life – there is an uncertainty in the definition of constraints between the elements, for the presence of voids and bad connections between them. The translation of these events into quantitative parameters is really complex and often unreliable.

Even more difficult results a reliable definition of its mechanical characteristics if we consider that we have to use statistics formulas to estimate them on the base of very limited number of tests which can be carried out on ancient buildings. The more uncertain are the parameters we input at the beginning of this process, the more uncertain would be

ku układów sprężystych możliwy jest dowolny kształt, dla konstrukcji murowanych dostępnych jest tylko kilka określonych konfiguracji. Fakt ten wyjaśnia dlaczego kształt historycznych budowli nie ulegał zmianom przez wieki i dlaczego ulegały one podobnym katastrofom, których mechanizm był dobrze znany. Istotnie, dzięki stosowaniu samej tylko statyki dało się stosunkowo dokładnie oszacować wielkości konstrukcyjne aż do XVIII wieku [8], kiedy to pojawienie się smukłych jednorodnych konstrukcji charakteryzujących się pracą sprężystą i minimalnymi odkształceniami spowodowało konieczność zastosowania nowego podejścia.

Mur jest materiałem złożonym, składającym się sztywnych bloków i spoin. Przyglądając się jakiemuś staremu murowi widzimy wyraźnie, że traktowanie go jako materiał jednorodny to duża przesada [9]. Duża wytrzymałość muru na ściskanie i brak wytrzymałości na rozciąganie sprawiają, że badanie jego zachowania się za pomocą współczesnych metod opracowanych dla doskonałych materiałów o dobrze znanych własnościach sprawia trudności. W związku z tym odkrywanie na nowo klasycznych zasad budowlanych może mieć praktyczną wartość, szczególnie gdy weźmie się pod uwagę fakt, że w przypadku budowli historycznych (które w czasie ich istnienia były wielokrotnie przebudowywane) istnieje niepewność co do więzów między ich elementami z powodu występowania pustek i słabych połączeń. Przełożenie tych czynników na parametry ilościowe jest bardzo skomplikowane i często zawodne.

Jeszcze trudniejsza jest wiarygodna definicja charakterystyk mechanicznych takich konstrukcji, gdy weźmie się pod uwagę fakt, że do oszacowania ich trzeba użyć wzorów statystycznych i danych pochodzących z ograniczonej liczby badań doświadczalnych przeprowadzonych na historycznych bu-

the results, regardless the efficiency of the calculation instrument used. What numerical models are still unable to consider is the capability of the ancient structure to present an even severe damage and to continue to live, by a progressive adaptation to new geometrical shapes, more and more deformed, which soon represent a new equilibrium. This consideration, with the evidence of the ancient monument secular stability, clearly shows that is always necessary a mutual support between numerical methods and empiricism, in order to reduce uncertainties of assessment. Particularly for the primeval structures, as domes [10].

### 3. The domes original “trap”: the historical debates path towards the solution

The observation of domed structures, and most of all, of their crack pattern, must have clarified to the architects since the beginning, that the key of domes mechanical behavior would be the *arch*. Based on the same thrusting principle of the arches which compose them, domes tend to open themselves, by transferring to their bearing structures, not only vertical forces but even horizontal ones. These thrusts generate severe tensional states, which inevitably, during time, determine their lack of stability.

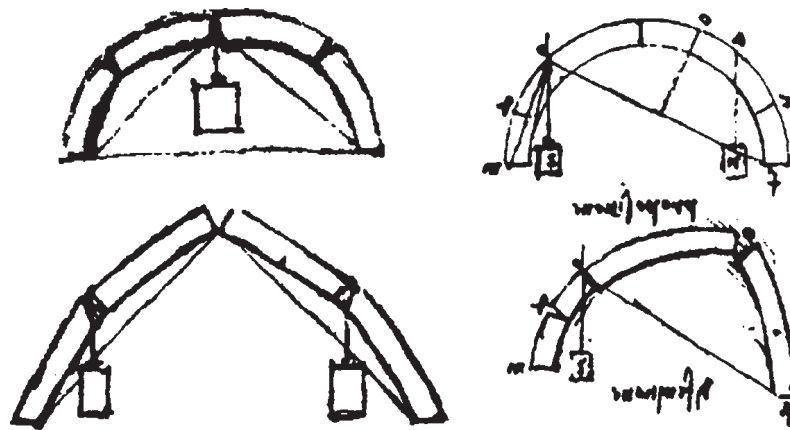


Fig. 2. The arch hinges prefigured by Leonardo's “kinematics” in Madrid Code  
Rys. 2. Przeguby łuku przewidziane przez „kinematykę” Leonardo w Kodeksie Madryckim

“Arch is nothing else than a force caused by two weakness” said Leonardo da Vinci, even before the fundamental Hooke's theory which related the shapes of an arch to the *catenaria*. The *line of thrust* is the path on which internal forces transport external loads to the support in any structure. When inverted, a hanging string model may represent the line of thrust in compression (Hooke's intuition, *ut*

dowlach. Im bardziej niepewne są parametry wprowadzone na początku tego procesu, tym bardziej niepewne będą uzyskane wyniki, bez względu na wydajność zastosowanego narzędzia obliczeniowego. Modele numeryczne nadal nie są w stanie uwzględnić zdolności historycznych konstrukcji do przetrwania nawet poważnych uszkodzeń dzięki stopniowej adaptacji do nowych kształtów geometrycznych przez co uzyskiwana jest nowa równowaga. Wynika stąd, że metody numeryczne należy stosować w połączeniu z podejściem empirycznym w celu zmniejszenia niepewności oceny, szczególnie w przypadku takich pradawnych konstrukcji jak kopuły [10].

### 3. Problem kopuły. Przez historyczne dysputy do rozwiązania

Obserwacje konstrukcji kopuł, a szczególnie ich schematu pękania, musiały od samego początku uświadomić architektom, że łuk jest kluczowym elementem do zrozumienia zachowania się kopuł pod względem mechanicznym. Opierając się na tej samej zasadzie naporu co łuki, które je tworzą, kopuły mają tendencję do otwierania się na skutek przekazywania na ich elementy wsporcze nie tylko sił pionowych, ale także poziomych. Napory te generują krytyczne stany rozciągania, które z czasem nieuchronnie prowadzą do utraty stateczności.

“Łuk jest niczym innym jak siłą spowodowaną dwiema słabościami” stwierdził Leonardo da Vinci, jeszcze przed sformułowaniem przez Hooke'a teorii wiążącej kształty łuku z krzywą łańcuchową (*catenaria*). Linia ciśnienia to droga po której siły wewnętrzne przekazują obciążenia zewnętrzne na podpory w dowolnej konstrukcji. Jeżeli zostanie odwrócony, model wiszącej struny może on przed-

*tensio sic vis*). Indeed, the minimum and the maximum values of the thrust locate the position of the cracks and the hinges in which the collapse mechanism begins: for a circular arch, this position is fixed at the top and at 30° above the arch abutment. This theory still holds for the domes [11].

A dome, in fact, can be seen as a series of arches obtainable by slicing the structure along meridian planes: two opposite slices form an arch and they work together by compression, making the most of the masonry mechanical properties. Therefore, it is possible to draw, for the dome, the same line of thrust which was previously identified as the basis of the collapse theory on the arches. In this way, it's easy to identify the specific equilibrium state in compression at which the dome is safe.

This mechanical behavior, still valid as modern “membrane theory”, couldn't be mathematically demonstrated by the ancient architects but we can find its theoretical successive approximations by examining some fundamental historical debates, which have represented as many changes in structural conception of domes, often through the progressive use of mathematics, finally converting the original *art* of building into *science*.

The forces path inside a domed structure must have been clear to the two *mecanicopoioi* called by Giustiniano for the construction of Hagia Sophia, and its perfect geometry and its buttresses system face off three times its inevitable collapse, which finally has occurred for two fundamental obstacles: the byzantine building practice (which foresaw the use of high mortar thickness) and the seismic force [12]. Only a thousand years later, Sinan solved the “mistake” by straightening the pillars at its base and by encircling the dome with huge iron ties. We don't have any evidences of mathematical calculations by Sinan but in Hagia Sophia historical consolidation we can assist to the first overcoming of the ancient geometrical rule by the empiricism. The Ottoman method of consolidation has been used for centuries without

stawiać linię naporu podczas ściskania (intuicja Hooke'a, *ut tensio sic vis*). Rzeczywiście, minimalne i maksymalne wartości naporu determinują umiejscowienie pęknięć i przegubów, przy którym zaczyna działać mechanizm zaważenia się. W przypadku łuku kołowego to miejsce znajduje się u góry i 30° powyżej oparcia łuku. Teoria ta nadal obowiązuje dla kopuł [11].

Kopułę można postrzeżać jako szereg łuków uzyskanych przez pocięcie tej konstrukcji wzdłuż płaszczyzn południkowych. Dwa przeciwległe segmenty tworzą łuk i pracują razem poprzez ściskanie, determinując większość mechanicznych własności muru. Dlatego też można dla kopuły wykreślić tą samą linię naporu, która wcześniej stanowiła podstawę teorii zaważenia się łuków. W ten sposób łatwo ustalić konkretny stan równowagi przy ściskaniu, w którym dane kopuła jest bezpieczna.

To zachowanie się kopuły pod względem mechanicznym, nadal obowiązujące jako współczesna teoria membrany, nie mogło być matematycznie udowodnione przez dawnych architektów, ale jego kolejne aproksymacje można prześledzić w fundamentalnych historycznych dysputach, gdzie koncepcje konstrukcyjne kopuł ewoluują dzięki zastosowaniu matematyki, doprowadzając do przemiany pierwotnej sztuki budowlanej w naukę.

Rozkład sił wewnątrz konstrukcji kopułowych musiał być znany dwóm *mecanicopoioi*, którym Giustiniano zlecił budowę Bazyliki Hagia Sophia. Jej doskonała geometria i system przypór uchronił ją trzy razy przed nieuchronnym zaważeniem się, które ostatecznie nastąpiło z dwóch podstawowych powodów: bizantyjskiej praktyki budowlanej (która antycypowała stosowanie dużych grubości zaprawy) i sił sejsmicznych [12]. Dopiero tysiąc lat później, Sinan naprawił ten „błąd” przez wzmocnienie kolumn u ich podstawy i ujęcie kopuły w olbrzymie żelazne ciężna. Nie ma dowodów na to, że Sinan przeprowadził obliczenia matematyczne, ale to historyczne wzmocnienie bazyliki Hagia Sophia jest pierwszym przypadkiem przewyżczenia dawnej zasady geometrycznej



Fig. 3. Viviani sketches for Santa Maria del Fiore ties calculation

Rys. 3. Szkice Vivianiego przedstawiające obliczenia wiązań katedry Santa Maria del Fiore



even trying to justify it: it was the application of pure empiricism, whose validity was tested by encircled domes secular stability.

The first mathematical definition of this empirical method has been attempted by the mathematician Vincenzo Viviani in the late XVIIth century, during his strong debate with Cecchini, on Santa Maria del Fiore dome [13]. The opponent of Viviani identified in differential soil settlements the principal cause of the early noticed cracks (*screpoli*): the same argument already used during the first debate on Vatican dome, some decades before. Viviani used the simple formulation already applied by Torricelli in the Uffizi “*columnae fessae*” question and by the application of same trigonometric formula he had first found a way of calculate the exact value of the force opposed by an encircling tie to the thrust at the base of a dome [14]. It was the first mathematical formulation of a generally accepted intervention, without a really connection with the dome behavior.

The dome collapse mechanism has been deeply investigated only during another great debate which took place between the three Mathematicians and Poleni on the Vatican dome stability, some decades later. In 1743 Jacquier, Le Seur and Boscovich have defined the kinematics subtended to the cracks typical of all masonry domes. For the first time, they applied the Virtual Work Principle to the system composed by the huge dome and the underlying tambour of San Peter in Rome, reaching the correct visualization of the movement of each single element involved in the collapse process, almost by anticipating the concept of macroelements [15]. Instead, Poleni’s analysis reported the question to the “ancient graphical way”, which has seen the dome reduced to its slices-arches equilibrium, verifying that the line of thrust would be contained into its thickness and using the hanging *catenaria* visualization in order to prove it [16]. It’s not so important, for our scopes, that the conclusion of the dome instability – theorized by Mathematicians – was partially wrong and that the debate finished with the success of Poleni. What’s important to stress is that for the first time the dome equilibrium has been considered by using the kinematics concepts.

The problem of horizontal thrust has been then solved in the last debate which has decreed the end of the dome – as it was originally conceived – and the parallel birth of membrane structure. The last debate about French Pantheon stability has definitely transformed the equilibrium approach into a resistance problem. The Soufflot’s revolutionary design of slender pillars have challenged the ancient

przez empiryzm. Otomańska metoda wzmacniania stosowana była przez wieki bez podejmowania jakichkolwiek wysiłków, aby ją uzasadnić. Jest to przykład zastosowania czystego empiryzmu, którego słuszność udowodniła stabilność wzmocnionej kopuły.

Pierwszy podjął próbę zdefiniowania tej metody empirycznej matematyk Vincenzo Viviani pod koniec 17 wieku w ramach ostrej polemiki z Cecchinim dotyczącej kopuły Katedry Santa Maria del Fiore [13]. Według przeciwnika Vivianiego główną przyczyną powstałych rys (*screpoli*) było zróżnicowane osiadanie gruntu. Ten sam argument był kilkadziesiąt lat wcześniej wysunięty podczas pierwszej dysputy dotyczącej kopuły watykańskiej. Viviani zastosował prosty wzór trygonometryczny wcześniej użyty przez Torricelliego do rozwiązania problemu *columnae fessae* pałacu Uffizi. Dzięki temu udało mu się obliczyć dokładną wartość siły z jaką ciężno otaczające kopułę przeciwstawiało się naporowi u jej podstawy [14]. Było to pierwsze matematyczne sformułowanie interwencji budowlanej powszechnie stosowanej bez uzasadnienia.

Mechanizm zawalenia się kopuły był dogłębnie analizowany kilkadziesiąt lat później podczas kolejnej wielkiej dysputy między trzema matematykami a Polenim dotyczącej stabilności kopuły watykańskiej. W 1743 r. Jacquier, Le Seur i Boscovich określili kinematykę leżącą u podstaw pojawiania się pęknięć typowych dla wszystkich kopuł murowanych. Po raz pierwszy zastosowali oni zasadę pracy wirtualnej do układu składającego się z olbrzymiej kopuły i tamburu w Bazylice Św. Piotra w Rzymie, uzyskując poprawną wizualizację ruchu każdego poszczególnego elementu biorącego udział w procesie zawalenia się (prawie antycypując koncepcję makroelementów) [15]. Analiza Poleniego ujmowała ten problem w tradycyjny sposób graficzny, sprowadzając go do problemu równowagi segmentów łuków. Poleni stosując wizualizację wiszącej linii łańcuchowej (*catenaria*) wykazał, że linia parcia przebiega w grubości kopuły [16]. Nie jest to tak istotne dla naszych rozważań, że wnioski dotyczące niestabilności wyprowadzone przez powyższych matematyków były częściowo błędne i że dysputa zakończyła się sukcesem Poleniego. Istotnym jest to, że po raz pierwszy równowaga kopuły była rozpatrywana w kategoriach kinematyki.

Problem poziomego naporu został rozwiązany w ostatniej dyspucie, podczas której ogłoszono koniec kopuły w jej tradycyjnym ujęciu i jednocześnie narodziny konstrukcji membranowej. Ta dysputa dotyczyła stabilności Francuskiego Panteonu i definitywnie przekształciła problem równowagi w problem wytrzymałości. Rewolucyjny projekt Soufflota

proportional rules and the final covering of the new laic temple has solved in its structural configuration the problem of the thrust.

A new material made by stones and iron links was finally capable to absorb the ineradicable tensile stresses at the base of the great dome, justifying the verdict of Rondelet: domes don't push anymore [17].

#### 4. An experimental case: from empiricism to computational models

The experience carried out on a XVII century dome, Santa Maria del Quartiere, in Parma, (Italy) has clearly shown the potentiality of empiricism reappraisal in domes structural analysis, as a confirmation and calibration of the results obtained by numerical models.

A clear map of the cracks surveyed, has pointed out a substantial symmetry of the crack pattern, which confirms the domes typical collapse mechanism, with a droop of the top under its own weight and with a correspondent enlargement at the base.

According to the historical method, and by virtue of its symmetry, the dome has been converted to an arch, obtained by cutting two consecutive dome panels in their centre. Then, the thrust of the whole dome has been calculated by the equilibrium of this single slice, considering the dead weight applied in the centre of mass. Once solved the three simple equilibrium equations we have reached the radial thrust which guarantees the stability of the dome, equal to  $H = 8200$  kg.

The numerical model of the dome has been then performed by consecutive steps. A very simplified 3D model has been built up, on hexagonal base, symmetric, growing in height and following the circular profiles of the real dome edges, whose variable thickness starts from 30 cm at the abutment up to 20 cm at the top, meshed by tetrahedron solid finite elements (FEM Abaqus). As stated before, it can be considered a very low tensile resistance for traditional masonry, which can be approximated to an ideal no-tension material, (especially in for domes, in which the

smukłych kolumn podważył dawne zasady proporcjonalności i ostateczne przykrycie tej nowej świeckiej świątyni w swoim układzie konstrukcyjnym rozwiązało problem naporu.

Nowy materiał wykonany z kamieni i żelaznych łączników był wreszcie w stanie zamortyzować nieuniknione naprężenia rozciągające u podstawy wielkiej kopuły, uzasadniając opinię Rondeleta, że kopuły przestały już napierać [17].

#### 4. Przykład praktyczny: od empiryzmu do modeli obliczeniowych

Eksperyment przeprowadzony na siedemnastowiecznej kopule Kościoła Santa Maria del Quartiere w Parmie (Włochy) wykazał możliwość zastosowania empirycznej oceny kopuły w statyce budowli w celu

potwierdzenia i kalibracji wyników uzyskanych za pomocą modeli numerycznych.

Wyraźna siatka spękań wykazywała znaczną symetrię, co potwierdzało typowy mechanizm zawałania się kopuły – opadnięcie szczytu kopuły pod własnym ciężarem i jej powiększenie się u podstawy.

Zgodnie z metodą historyczną i uwzględniając symetrię kopuły, została ona przekształcona w łuk uzyskany przez wycięcie dwóch kolejnych płyt w jej środku. Następnie parcie całej kopuły obliczono na podstawie równowagi tego jednego wycinka, uwzględniając ciężar własny przyłożony w środku masy. Po rozwiązaniu trzech prostych równań otrzymano

napór promieniowy zapewniający kopule stabilność, a wynoszący  $H = 8200$  kg.

Następnie opracowano model numeryczny kopuły. Najpierw zbudowano uproszczony model trójwymiarowy na sześciokątnej podstawie. Był on symetryczny i odwzorowywał kołowe profile krawędzi rzeczywistej kopuły, których grubość zmienia się od 30 cm przy wezglowiu do 20 cm u szczytu. Zastosowano siatkę czworościennych pełnych elementów skończonych (FEM Abaqus). Jak wspomniano wyżej, w przypadku tradycyjnego muru wytrzymałość na rozciąganie jest bardzo mała. Materiał taki jest zbliżony do idealnego materiału nierozciągliwego (szczególnie w przypadku kopuły,

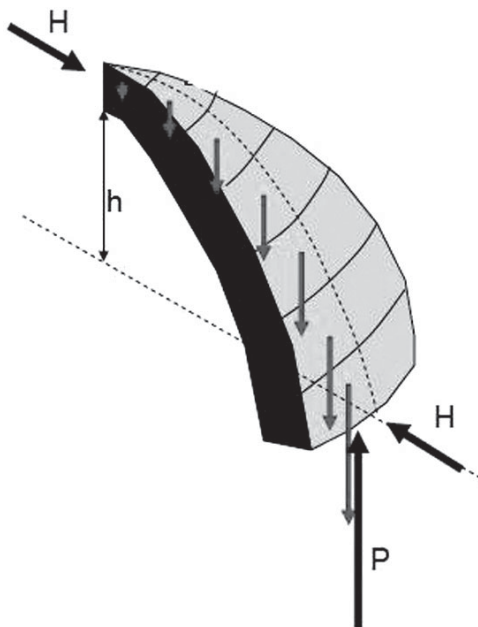


Fig. 4. The reduction to an arch equilibrium for solution of dome stability  
Rys. 4. Sprowadzenie problemu stabilności kopuły do równowagi łuku

prevalence of compressive stresses is obvious). Then, we have attributed to this 3D model the mechanical characteristics of an elastic, homogeneous, isotropic solid (precisely, the following values have been applied:  $E = 10.000 \text{ kg/cm}^2$ ; Poisson ratio  $\nu = 0.2$ ; Mass density  $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ ), both in the intact and the cracked situation.

w których dominują naprężenia ściskające). Następnie przypisano temu modelowi charakterystyki mechaniczne ciała sprężystego, jednorodnego i izotropowego (konkretnie przypisano następujące wartości:  $E = 10,000 \text{ kg/cm}^2$ ; współczynnik Poissona  $\nu = 0,2$ ; gęstość  $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ ) zarówno w stanie nienaruszonym jak i spękany.

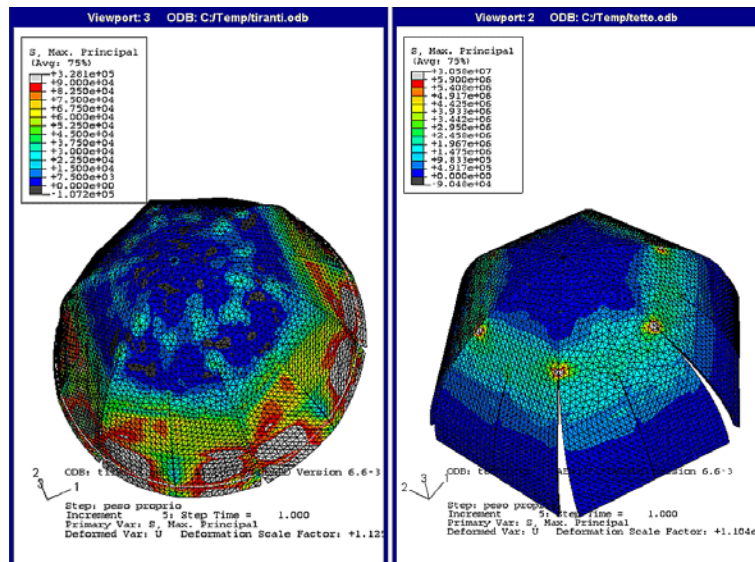


Fig. 5. The insertion of the encircling tie (left) on the cracked dome  
Rys. 5. Nałożenie cięgna obejmującego na pękniętą kopułę (obraz z lewej strony)

Despite the material is assumed to be linear-elastic, the non-linear geometry has been then introduced by inserting the cracks in the undamaged structure: in this way, the non-linearity of the material is concentrated in the discontinuities inserted as cracks actually surveyed.

Gradually proceeding from the more simplified model, up to simulate the real critical load and restraint conditions, different load cases and dome configurations have been considered. The intact dome model isn't realistic but it has been useful to simulate the previous damage: the results, in fact, pointed out the higher tensile stresses in the zones which are actually cracked. The last numerical model have seen the insertion of an encircling steel tie on the cracked dome: the absence of tensile stresses incompatible with the masonry properties has confirmed the validity of the hypothesis assumed at the beginning.

The intermediate step has been the calibration of the hypothesized mechanical parameters by the setting up of a dynamic modal analysis and the results of the ideal model of the dome, geometrically regularized, has verified the outcomes of the first empiric-experimental phase. Moreover, these findings have confirmed the collapse mechanism hypothesis, based on the observation of the cracks on the analysis of historical debates. The founded ten-

Pomimo że materiał przyjęto jako liniowo-sprężysty, wprowadzono geometrię nieliniową przez uwzględnienie pęknięć w nieuszkodzonej konstrukcji. W rezultacie nieliniowość materiału skoncentrowana jest w nieciągłościach wprowadzonych jako spękania stwierdzone w rzeczywistości.

Stopniowo przechodzą od uproszczonego modelu do symulacji rzeczywistych obciążeń krytycznych i warunków utwierdzenia oraz różnych konfiguracji obciążenia i kopuły. Model kopuły nienaruszonej nie jest realistyczny, ale był przydatny w symulacji poprzedniego uszkodzenia. Uzyskane wyniki wykazały występowanie większych naprężeń rozciągających w strefach, które były rzeczywiście spękane. W ostatnim modelu numerycznym nałożono na kopułę stalowe cięgno. Brak naprężeń rozciągających niezgodnych z własnościami muru potwierdził słuszność założenia przyjętego na początku.

Etap pośredni obejmował kalibrację hipotetycznych parametrów mechanicznych poprzez analizę modelu dynamicznego i na podstawie wyników uzyskanych dla idealnego modelu kopuły regularyzowanego geometrycznie. W rezultacie uzyskano potwierdzenie wyników pierwszego etapu empirycznego-doświadczonego.

Ponadto na podstawie spękań opisanych w historycznych dysputach została potwierdzona hipoteza mechanizmu zawalenia się kopuły. Wyznaczo-

sile pattern matches with the actual cracks, which really represent the main continuous monitoring system of the structure.

## 5. Conclusions

As stated before, some historical debates, on the Vatican dome, the octagonal dome of Santa Maria del Fiore in Florence, and finally on French Pantheon of Paris, have been analysed as fundamental steps in domes behaviour clarification, in a route from art of building up to science of construction.

The historical solution to the primeval thrust of domes, which during the centuries has caused their principal cause of collapse, has finally found a confirmation in the numerical analysis of the XVII century hexagonal dome of Santa Maria del Quartiere in Parma (Italy).

Thanks to a fusion between historical analysis, precision geometrical surveys, experimental investigations and numerical modelling, the static behaviour of a typical rotation dome has been determined, in order to plan future interventions for its consolidation and conservation, which in the ancient intervention of encircling tie has found its guarantee of success.

Only a reappraisal of empiricism and art of building can give to the modern numerical methods a way of reliability to mutable and complex structures as historical ones, finding an interpretative key to their primeval mechanisms and then reaching a conservative solution of consolidation.

ny przebieg spękań zgadza się z przebiegiem spękań występującym w rzeczywistości, który stanowi system ciągłego monitorowania konstrukcji.

## 5. Wnioski

Przeanalizowano niektóre historyczne dysputy (począwszy od sztuki budowlanej do nauki o budowlach) dotyczące kopuły watykańskiej, ośmiokątnej kopuły Katedry Santa Maria del Fiore we Florencji i Francuskiego Panteonu w Paryżu, jako fundamentalne etapy w zrozumieniu zachowania się kopuł.

Historyczne rozwiązanie problemu naporu kopuły, który w ciągu wieków stanowił podstawową przyczynę ich zawalania się zostało ostatecznie potwierdzone przez analizę numeryczną siedemnastowiecznej sześciokątnej kopuły Kościoła Santa Maria del Quartiere w Parmie (Włochy).

Dzięki połączeniu analizy historycznej, precyzyjnych pomiarów geometrycznych, badań doświadczalnych i modelowania numerycznego, określono statyczne zachowanie się typowej kopuły obrotowej przez co możliwe staje się planowanie przyszłych interwencji wzmacniających i konserwacyjnych, których sukces gwarantuje historyczna interwencja z zastosowaniem ciężna otaczającego.

Tylko poprzez uwzględnienie osiągnięć podejścia empirycznego i sztuki budowlanej współczesne metody numeryczne mogą stać się bardziej wiarygodne w zastosowaniu do ulegającym zmianom złożonych budowli historycznych. Tylko na tej drodze można znaleźć klucz do interpretacji ich fundamentalnych mechanizmów i na tej podstawie opracować sposób ich wzmocnienia.

## References • Literatura

- [1] Guenzi C., *The art of building. Treatises in Italy, 1750-1950 (L'arte di edificare. Manuali in Italia 1750-1950)*, Rome, BeMa, 1993.
- [2] Benvenuto E., *The historical developments of science of constructions*, Sansoni (ed), The Sahara and the Nile: 21-35. Rome, Italy, 1981.
- [3] Villard de Honnecourt (XIII<sup>th</sup> century) *Le carnet, f.28*, Paris, France, free available on <http://classes.bnf.fr/villard/feuillelet/index.htm>.
- [4] Ottoni F., *The long story of domed structures. Historical notes on stability, between debate and experimentation, (La lunga vicenda delle fabbriche cupolate. Note storiche sulla stabilità, tra dibattito e sperimentazione)*, PhD Thesis, Dept. of Civil Engineering and Architecture, Parma, Italy, 2009.
- [5] Giuffrè A., *Lectures on historical masonry mechanics (Lecture sulla Meccanica delle murature storiche)*, Edizioni Kappa, Rome, Italy, 1991, pp. 69-85.
- [6] Huerta S., *Galileo was wrong: the geometrical design of masonry arches*, in Nexus Network Journal, 2006, vol. 8, n.2, pp. 25-51.
- [7] Milani G.B., *Masonry skeleton (L'ossatura muraria)*, C. Crudo, Torino, Italy, 1910.
- [8] Heyman J., *The stone skeleton*, in Int J. Solid structures, 2, 1966, 249-279.
- [9] Di Pasquale S., *Art of construction between knowledge and science*, Marsilio (ed), Venice, Italy, 1996.
- [10] Couplet P., *De la pousse des voutes*, Histoire de l'Academie Royale des Sciences, Paris, France, 1729.

- [11] Heyman J., *The safety of masonry arches*, Proc. Inst. Civ. Eng. University of Cambridge, Cambridge, England, 1980.
- [12] Blasi C. Bianchini L., *Hagia Sophia: geometry*, in Hagia Sophia Surveying Project Conference, March 20, 2001.
- [13] Nelli G.B., Sgrilli B.S., *Descrizione e studi dell'insigne fabbrica di S. Maria del Fiore*, Metropolitana Fiorentina, Firenze, 1733.
- [14] Galluzzi P., *Le colonne "fesse" degli Uffizi e gli "screpoli" della Cupola*, Annali Ist. e Museo di Storia della Scienza, Firenze, II, n. 1, 1977.
- [15] Le Seur T., Jacquier F., Boscovich G., *Parere de' tre matematici sopra I Danni che si sono trovati nella cupola di San Pietro sul fine dell' anno 1742, dato per ordine di N.S. Benedetto XIV*, Roma, 1742.
- [16] Poleni, G., *Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano*. Padova, Italy, 1748.
- [17] Rondelet J. B., *Mémoire historique sur le dôme du Panthéon Français, divisé en quatre parties*, du Pont Imprimeur-Libraire, Parigi, 1797.

---

\* Department of Civil Engineering and Architecture, Parma University, Parma, Italy

---

## Abstract

Aim of this paper is to show the potentiality of the empiricism in the process of ancient buildings structural analysis, particularly referred to domes. Fundamental historical debate have been considered Numerical models, even very precise and complex, can hardly describe the real behaviour of masonry ancient building. Only through a path from the historical debate on stability of ancient structures we can finally reach the final definition of their mechanical behaviour, up to the collapse prefiguration.

A reappraisal of this type of analysis empiric-experimental, which for centuries has been the centre of architectural books and manuals, is really desirable even today, even if we have calculation and numerical instruments definitely more efficient than in the past. This type of analysis rests one of the most important for the study of the ancient buildings complexity, confirming that the qualitative identification, often, gives results more suitable than the numerical ones. In this paper, an analysis of some historical debates on domes stability are presented, which have represented as many instruments for the solution of the experimental case of a XVII century masonry dome. Only a fusion of empiricism and numerical model has allowed to confirm the historical solution to the dome primeval problem: its ineradicable and secular thrust.

## Streszczenie

Referat przedstawia badania empiryczne w procesie analizy statycznej historycznych budowli, w szczególności kopuł. Dokonano przeglądu fundamentalnych dysput historycznych na ten temat. Modele numeryczne, nawet bardzo dokładne i złożone, nie opisują adekwatnie rzeczywistego zachowania się historycznych budowli murowanych. Tylko poprzez prześledzenia historycznych dysput dotyczących stabilności dawnych budowli można ostatecznie ustalić ich mechaniczne zachowanie od momentu powstania aż do warunków prowadzących do ich zawalenia się.

Uwzględnienie tego typu empiryczno-doświadczalnych analiz, które od wieków stanowiły główną treść książek i podręczników z dziedziny architektury jest pożądane nawet dzisiaj, kiedy dysponujemy bardziej wydajnymi narzędziami obliczeniowymi i numerycznymi. Ten rodzaj analizy jest niezbędny w przypadku badania złożonych budowli historycznych, potwierdzając słuszność stwierdzenia, że identyfikacja jakościowa często daje lepsze rezultaty niż badania numeryczne. W referacie przedstawiono analizę historycznych dysput dotyczących stabilności kopuł, które dostarczyły wiele narzędzi umożliwiających rozwiązanie przypadku kopuły murowanej z XVII wieku. Tylko dzięki połączeniu badań empirycznych i modelu numerycznego udało się potwierdzić słuszność historycznego rozwiązania odwiecznego problemu zachowania kopuł.

Pere Roca\*

## Contribution of numerical modeling to the study of historical structures

## Znaczenie modelowania numerycznego dla badań konstrukcji historycznych

### 1 Introduction.

#### Purpose of structural analysis

The purpose of structural analysis lays on the characterization of the response of the structure for a variety of conditions and actions. This characterization involves results on stresses, deformation, displacements and reactions. Non-linear analysis may as well provide results on damage (cracking in tension, crushing in compression...) and reproduce detailed loading processes across the initial, service and ultimate ranges; in particular, it may determine the ultimate capacity of the structure for different actions. Most modern approaches to structural analysis are based on an accurate numerical simulation of the response of the structure throughout the loading process. Structural analysis can contribute to the different phases involved in the study of a historical structure, namely diagnosis, safety evaluation (or reliability verification) and design of intervention.

In all these phases, structural analysis can be used in combination with the other possible sources approaches, including historical research, inspection (including experiments) and monitoring. Conclusions on diagnosis, safety and strengthening should never be derived based solely on structural analysis. The other activities (historical research, inspection, monitoring) are needed to (1) provide essential information (real data) needed to build the model and (2) validate the model by comparison with empirical evidence. The evidence provided by them is to be integrated within a single approach or understanding. The information yielded by structural anal-

### 1 Wstęp.

#### Cel analizy konstrukcyjnej

Celem analizy konstrukcyjnej jest scharakteryzowanie reakcji konstrukcji na różnorodne warunki i działania. Charakterystyka taka obejmuje wyniki działania obciążeń, zniekształcenia, przemieszczenia i reakcje.

Nieliniowa analiza może przynieść także informacje o uszkodzeniach (pęknięcie przy rozciąganiu, zmiżdżenie przy ściskaniu) oraz odtworzyć szczegóły procesu obciążenia we zakresach, wstępnych użytkowania i granicznych. W szczególności analiza może ustalić ostateczną nośność konstrukcji wobec różnych oddziaływań. Większość nowoczesnych koncepcji analizy konstrukcyjnej opiera się na dokładnej symulacji cyfrowej różnych reakcji konstrukcji w procesie obciążania. Analiza konstrukcyjna może być przydatna w różnych fazach badania konstrukcji historycznej, fazie diagnostyki, oceny bezpieczeństwa (weryfikacji solidności) i projektowania naprawy czy wzmocnienia..

We wszystkich fazach można łączyć wykorzystanie analizy konstrukcyjnej i innych możliwych źródeł, np. badań historycznych, badań empirycznych (w tym eksperymentów) oraz monitoringu. Wniosków na temat diagnostyki, bezpieczeństwa i wzmocnienia nie wolno nigdy opierać wyłącznie na analizie strukturalnej. Inne działania (badania historyczne, badania empiryczne, monitoring) są potrzebne, aby (1) uzyskać kluczowe informacje (prawdziwe dane) konieczne do stworzenia modelu numerycznego (2) uwiarygodnić model, porównując go z dowodami empirycznymi. Uzyskane w ten

ysis should not be in contradiction with that provided by the other sources [1].

Diagnosis involves the identification of causes of damage and decay and the characterization of the present condition of the structure. In the diagnosis phase, structural analysis can contribute with the simulation of the performance of the structure when subjected to past actions and thus conclude on their possible influence on the present condition and existing damage. Some types of damage may thus be associated to possible causes (fig. 1a).

Safety evaluation consists of determining the acceptability of safety levels by analyzing the present condition of the structure. Structural analysis can contribute with a quantitative measure of the capacity of the structure to resist different actions. Structural analysis provides a deductive approach: A structural model is used to obtain a quantitative prediction of the capacity of the structure subjected to the actions for which safety is to be assessed (dead load, live load, earthquake...). In turn, it provides insight on the structural weaknesses and needs for strengthening (fig. 1b).

In the design of the intervention decisions are taken on how to repair or strengthen the structure. The chosen solution is assessed and developed into detail. Structural analysis, carried out on strengthened models, permits validation and comparison of possible alternative solutions. The solution chosen can then be accurately validated. In that way, structural analysis helps decide about the more efficient and adequate strengthening strategies or measures (fig. 1c).

## **2. Construction and utilization of models. Input data preparation (phase 1)**

Structural analysis is always based on models built from data available on geometry, material properties, morphology and actions. Models are necessarily based on hypothesis on the mechanical nature of the building and are prepared using limited data. Because of the implicit assumptions and limited information, models need to be calibrated through some sort of comparison with experimental observations. Inspection techniques are needed, firstly, to gather the data necessary to prepare the model and, secondly, to provide some empirical (observational, experimental) evidence which can be used to validate the model. This second phase (validation) may be reinforced with evidence stemming

from information to be connected in one approach or concept. Data coming from analysis of structural construction should not be contradictory to data from other sources [1].

Diagnostyka zawiera identyfikację przyczyn uszkodzeń i zniszczenia oraz charakterystykę obecnego stanu konstrukcji. W fazie diagnostyki analiza konstrukcyjna może być pomocna dzięki symulacji skuteczności konstrukcji poddanej wcześniejszym działaniom i przynieść informacje o ich możliwym wpływie na obecny stan i aktualne zniszczenia. W ten sposób można połączyć pewne rodzaje szkód z ich możliwymi przyczynami (rys. 1a).

Ocena bezpieczeństwa polega na ustaleniu akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa poprzez analizę aktualnego stanu konstrukcji. Analiza konstrukcyjna może być przydatna dzięki ilościowym pomiarom odporności konstrukcji na różne działania. Analiza konstrukcyjna oferuje podejście dedukcyjne: używa się modelu konstrukcyjnego do uzyskania ilościowych prognoz nośności konstrukcji przy działaniach, dla jakich ocenia się bezpieczeństwa (obciążenie statyczne, obciążenie dynamiczne, trzęsienie ziemi...). Umożliwia także wejście w nieznany stan konstrukcji i potrzeby w zakresie jej wzmocnienia (rys. 1b).

Planowanie interwencji to decyzje na temat, jak naprawić lub wzmocnić konstrukcję. Wybrane rozwiązanie należy ocenić i doprecyzować szczegóły. Analiza konstrukcyjna modeli wzmocnienia pozwala na uwiarygodnienie i ocenę możliwych rozwiązań alternatywnych. Wówczas można faktycznie uwiarygodnić wybrane rozwiązanie. W ten sposób analiza konstrukcyjna wspomaga decyzję o bardziej efektywnej i adekwatnej strategii lub środkach wzmocnienia (rys. 1c).

## **2 Tworzenie i stosowanie modeli. Przygotowanie danych wejściowych (faza 1)**

Analiza konstrukcyjna zawsze opiera się na modelach wygenerowanych z dostępnych danych o geometrii, właściwościach materiału, morfologii i oddziaływaniach.

Modele muszą bazować na hipotezach o własnościach mechanicznych budynku i są przygotowywane z użyciem ograniczonego zbioru danych. Ze względu na niekwestionowane założenia i ograniczone informacje, modele wymagają kalibracji w formie jakiegoś porównania z obserwacjami eksperymentalnymi. Potrzebne są techniki empiryczne: po pierwsze do zebrania danych koniecznych do przygotowania modelu i po drugie do dostarczenia empirycznych informacji (z obserwacji, ekspe-

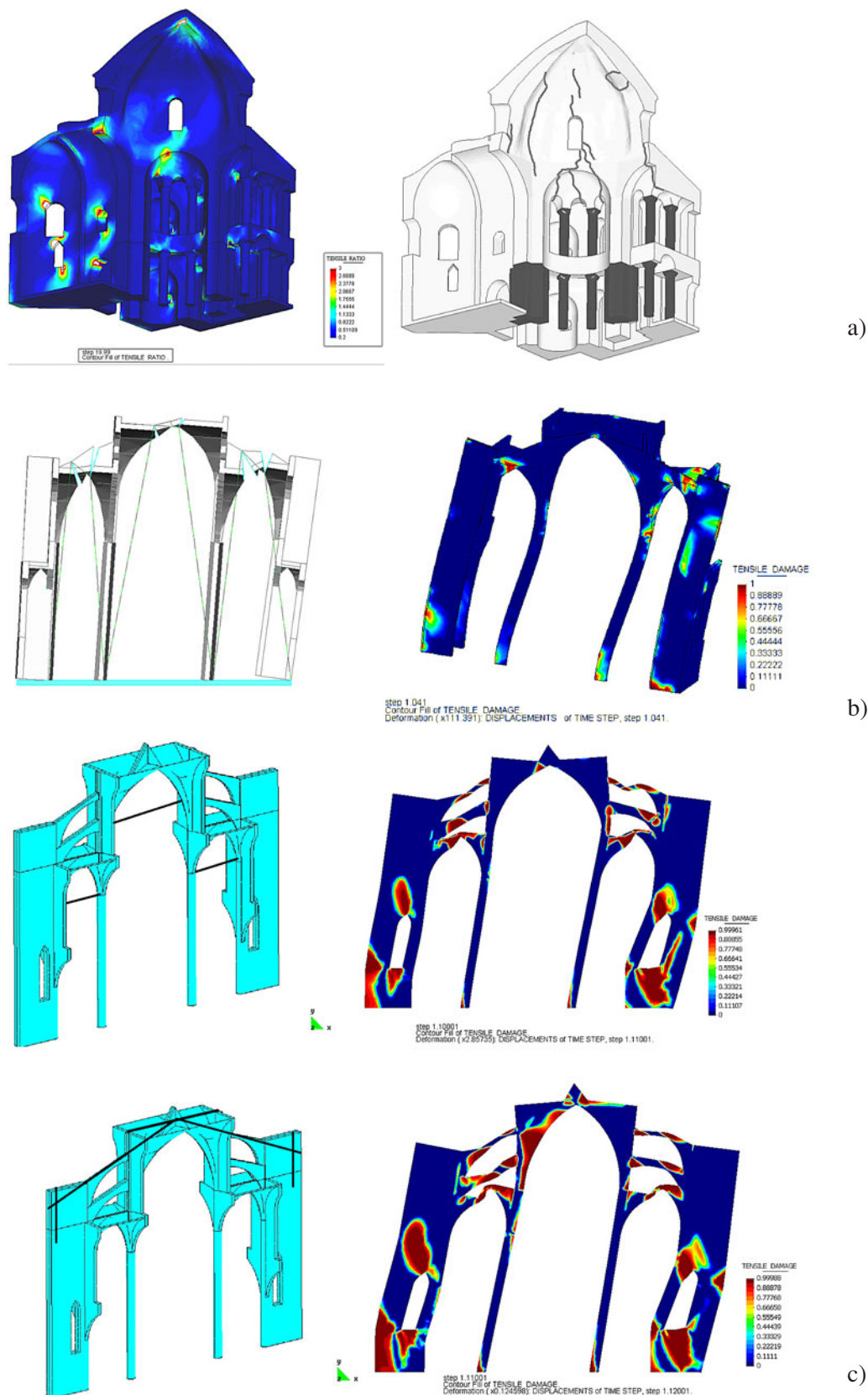


Fig. 1. Roles of structural analysis: (a) diagnosis by simulation of effects due to different actions; (b) safety evaluation for seismic action using different approaches; (c) simulation and comparison of different seismic strengthening strategies. The examples correspond to (a) Küçük Ayasofya in Istanbul, (b) Sta. Maria del Mar church in Barcelona and (c) Mallorca cathedral

Rys. 1. Rola analizy konstrukcyjnej: (a) diagnoza poprzez symulację wyników różnych działań; (b) ocena bezpieczeństwa przy siłach sejsmicznych za pomocą różnych podejść; (c) symulacja i porównanie strategii wzmocnienia przed trzęsieniami ziemi. Przykłady to (a) Kościół św. Sergiusza i Bachusa w Istantule, (b) kościół Sta. Maria del Mar w Barcelonie i (c) katedra na Majorce



from history or from present monitoring. In turn, monitoring may provide accurate information on the present response of the building for a variety of actions (thermal cycles, wind, deterioration processes, micro-tremors and earthquakes...).

The preparation and use of the model involves several phases. In a first phase, all the available information provided by historical research and inspection is used to construct the model. The information yield by historical research and inspection may provide data on geometry, internal morphology, mechanical properties of materials and existing damage or alterations, all needed to prepare the model. However, it is important to recognize that this information is always limited and that it will normally permit only a partial definition of the model. In fig. 2, this part of the model is metaphorically represented by a “transparent” region or window.

Models are normally also built on a large number of assumptions (metaphorically represented as a “dark” region or window in fig. 2), involving all the features which do not result (at least, in a direct way) from data collected from these complementary activities. This “dark” region is mostly built based on assumptions done by the analyst. These assumptions may involve geometrical, morphological or material features of the building, or more fundamental aspects such as the type of constitutive equations assumed for the description of the mechanical response of the material. It is important to recognize that, no matter the effort invested, the data made available will not be enough to prepare a fully ob-

rymentów), które mogą zostać użyte do uwiarygodnienia modelu. Ta druga faza (uwiarygodnienie) może zostać uzupełniona informacjami pozyskanymi z historii lub monitoringu budynku. Monitoring może z kolei przynieść dokładne informacje o bieżących reakcjach konstrukcji na różnorodne działania (cykle termiczne, wiatr, procesy niszczenia, mikrodrżania i trzęsienia ziemi...).

Przygotowanie i stosowanie modeli także składa się z różnych faz. W pierwszej z nich na podstawie wszystkich dostępnych informacji uzyskanych dzięki badaniom historycznym i empirycznym budowany jest model. Wiadomości wynikające z badań historycznych i empirycznych mogą być źródłem danych o geometrii, morfologii wewnętrznej, właściwościach mechanicznych materiałów i faktycznych uszkodzeniach lub zmianach, a wszystkie te dane mogą być przydatne w tworzeniu modelu. Ważne jest jednak, aby zdawać sobie sprawę, że informacje te są zawsze ograniczone i że normalnie będą umożliwiały jedynie częściową definicję modelu. Na rys. 2 przedstawiono tę część modelu jako obszar „przezroczysty”.

Modele są zwykle oparte także na dużej liczbie założeń (przedstawionych jako „ciemny” obszar na rys. 2) na temat cech, które nie wynikają (przynajmniej bezpośrednio) z danych zebranych w komplementarnych działaniach. Ten „ciemny” obszar jest budowany głównie w oparciu o założenia dokonane przez analityka, które mogą dotyczyć geometrycznych, morfologicznych lub materialnych cech budynku albo bardziej fundamentalnych zagadnień, takich jak rodzaj równań konstytutywnych przyjętych do opisu mechanicznej reakcji materiału. Ważne jest,

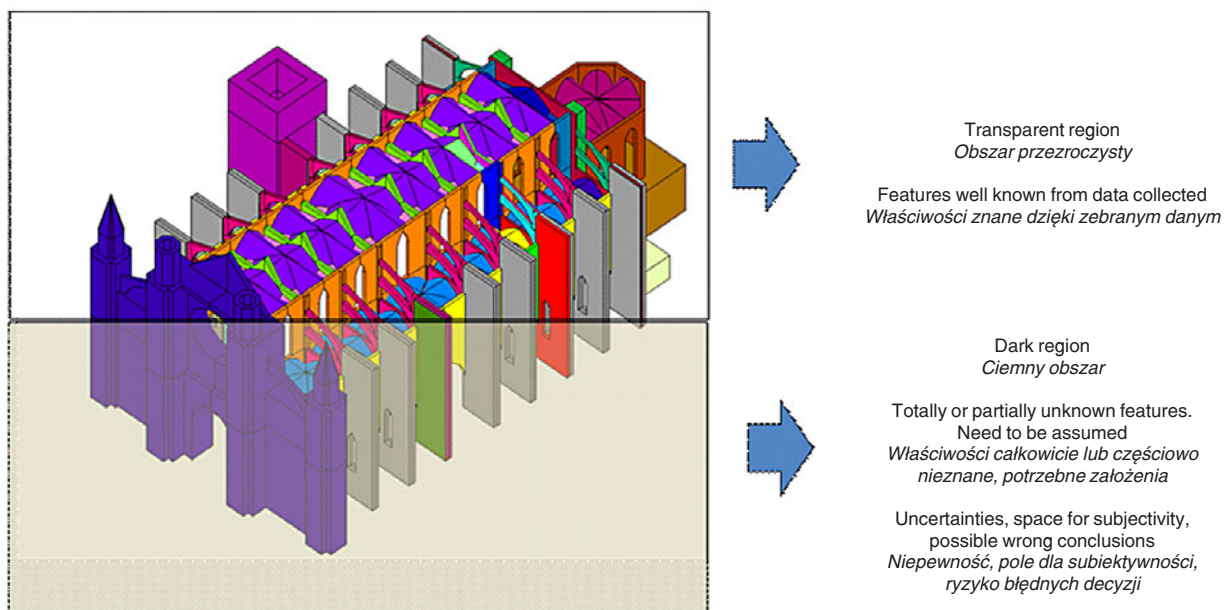


Fig. 2. Elaboration of a structural model, Phase 1. “Transparent” and “dark” regions  
Rys. 2. Opracowanie modelu konstrukcyjnego, faza 1. Obszar „przezroczysty” i „ciemny”

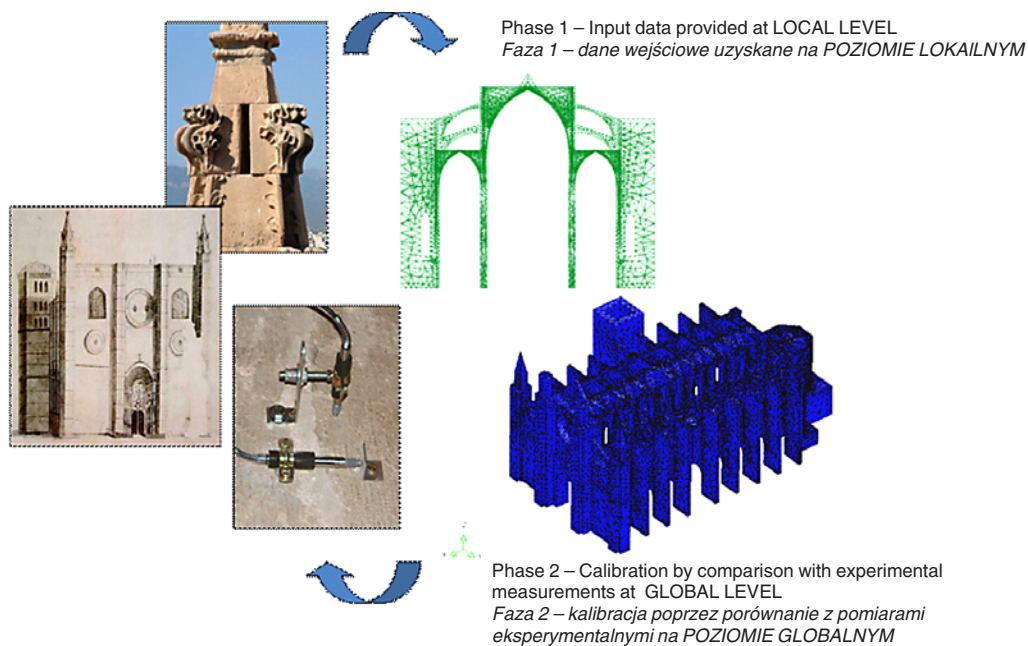


Fig. 3. Bidirectional relationship between the model and parallel activities: Input data preparation (local level) and calibration (global level)

Rys. 3. Dwukierunkowa relacja pomiędzy modelem a działaniami równoległymi: przygotowanie danych wejściowych (poziom miejscowy) i kalibracja (poziom ogólny)

jective model and that a large number of assumptions, either declared or undeclared, will normally be necessary.

This involves significant uncertainty and thus some space for possible subjectivity, leading, in the worst case, to inadequate conclusions. In turn, inadequate (and too conservative) conclusions may lead to over-strengthen the structure and thus cause unnecessary loss of cultural material and historical value. On the contrary, too optimistic conclusions leading to insufficient intervention might endanger the building itself or cause inadmissible risks to people and cultural contents.

### 3. Calibration (phase 2)

This uncertainty can be partially counteracted by carrying out some calibration based on empirical evidence. This calibration can be performed by comparing the predictions of the model with real observations (as the overall distribution of cracking or deformation) or experimental measurements such as monitored displacements, measured work stresses or measured dynamic properties (natural frequencies, modal shapes...).

Hence, these parallel activities (history, inspection, monitoring), are related with the model in two ways (fig. 3): First, they provide basic information to build the model; second, they permit

żeby zdawać sobie sprawę, że niezależnie od włożonego wysiłku, uzyskane dane nie będą wystarczające do przygotowania całkowicie obiektywnego modelu i że zawsze koniecznych będzie wiele założeń, deklarowanych lub niedeklarowanych.

Niepewność ta pozostawia miejsce na subiektywne wybory, a w najgorszym przypadku grozi nieadekwatnymi wnioskami. Nieadekwatne (zbyt konserwatywne) wnioski mogą prowadzić do nadmiernego wzmocnienia konstrukcji, powodując niepotrzebne straty materiału kulturowego i wartości historycznej. Natomiast zbyt optymistyczne wnioski mogą stać się przyczyną niewystarczającej interwencji, która może zagrozić samemu budynkowi lub stworzyć niedopuszczalne zagrożenie dla ludzi i przechowywanych wewnątrz zabytków.

### 3. Kalibracja (faza 2)

Niepewności tej można częściowo zapobiegać za pomocą kalibracji opartej o dane empiryczne. Kalibrację można wykonać, porównując przewidywania modelu z obserwacjami faktycznymi (np. ogólny rozkład rys lub zniekształceń) albo z eksperymentalnymi pomiarami, takimi jak monitorowane przesunięcia, zmierzone obciążenia robocze lub zmierzone właściwości dynamiczne (częstotliwości naturalne, kształty modalne...).

Dlatego właśnie te działania równoległe (historia, badania empiryczne, monitoring) są dwójako powiązane z modelem (rys. 3): po pierwsze dostarczają podstawowych informacji, na podstawie których buduje

us to calibrate the model and thus produce a validated one which can be used for further predictions and safety evaluation. While in the first phase, the data utilized concern local properties or features of the building (such as detailed geometry, connections, morphology, damage, material properties...), in the second phase the information used has a “global” character as it concerns measurements or variables involving the entire building.

#### 4. Using the model to evaluate the building (phase 3)

Unfortunately, calibrating and validating based on experimental information is not enough as to grant a reliable predictive capacity to the model. In fact, using the model to draw final predictions and conclude on safety will involve a sort of extrapolation, as the space for which the model has been validated will be surpassed to permit predictions on what is not known. This operation constitutes a new phase (3<sup>rd</sup> phase in fig. 3) which comes after the previous phases 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup>, and is characterized by large, but not always recognized, uncertainty.

For instance, the model might be validated based on evidence related to dead loading response, and then used to conclude on the seismic performance. Or the model could be calibrated using dynamic information obtained from ambient vibration measurements (causing very small oscillations) and then used to predict on the performance for a severe earthquake (generating very large oscillations). This kind of extrapolation is an inher-

się model; po drugie umożliwiają kalibrację modeli i w ten sposób pozwalają na stworzenie modelu uwiarygodnionego, który może zostać użyty do dalszych przewidywań i oceny bezpieczeństwa. O ile w pierwszej fazie używane dane dotyczą miejscowych cech lub właściwości budynku (takich jak dokładna geometria, połączenia, morfologia, uszkodzenia, właściwości materiału...), w drugiej fazie stosuje się informacje o charakterze “ogólnym”, dotyczące pomiarów lub parametrów całego budynku.

#### 4. Stosowanie modelu do oceny budynku (faza 3)

Niestety, kalibracja i uwiarygodnienie w oparciu o dane eksperymentalne nie wystarcza, aby zapewnić modelowi wiarygodną zdolność przewidywania. W rzeczywistości użycie modelu do wyciągnięcia ostatecznych wniosków i sformułowania przewidywań na temat bezpieczeństwa wiąże się z pewną ekstrapolacją, ponieważ dziedzina, dla której uwiarygodniono model, zostaje przekroczona.. To działanie stanowi nową fazę (fazę 3 na rys. 3), która następuje po wcześniejszych fazach 1 i 2, a która charakteryzuje się znaczną, choć nie zawsze uznaną niepewnością.

Na przykład, model można uwiarygodnić w oparciu o reakcje na obciążenie statyczne, a następnie można użyć go do wyciągnięcia wniosków na temat skuteczności na wypadek trzęsienia ziemi. Można też kalibrować model za pomocą danych dynamicznych uzyskanych z pomiarów wibracji środowiskowych (powodujących bardzo małe drgania), a następnie wykorzystać go do przewidywania skuteczności na

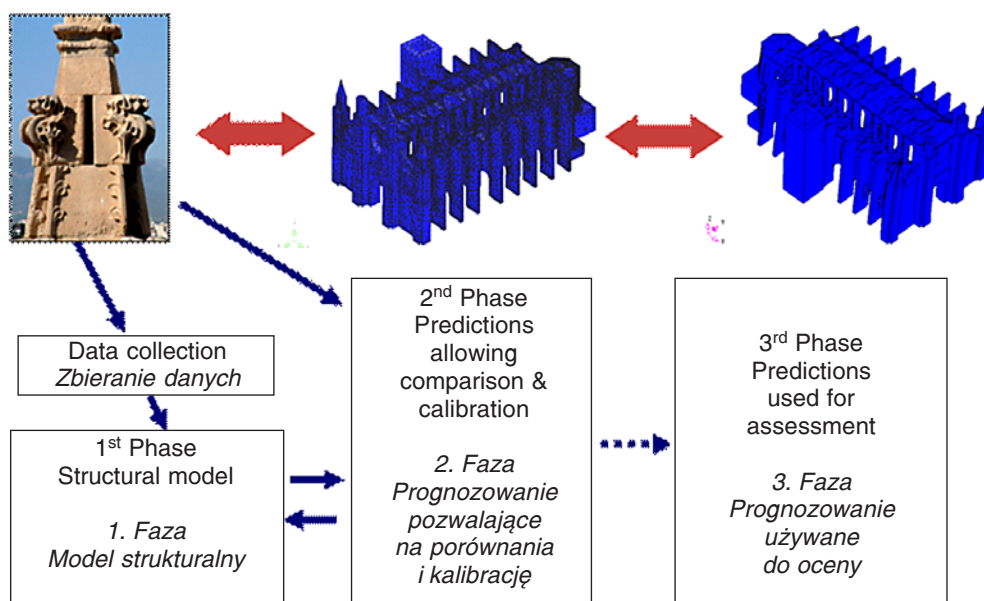


Fig. 4. The overall process, including preparation, validation and prediction  
Rys. 4. Cały proces, włącznie z przygotowaniem, uwiarygodnieniem i prognozowaniem

ent stage of any modeling activity. Unfortunately, it constitutes another very important source for uncertainty and subjectivity. In this phase (as in fact, in the previous two ones), the adequate judgment of the analyst becomes extremely relevant. The analyst will have to decide to which extent the “extrapolation” done at the attempt to predict is acceptable or abusive, whether the model is used within the possible limits of its predictive capacity. During the previous phases, he or she had also to decide whether the initial data were sufficient and the calibration effort adequate.

## 5. Application to real cases

Certainly, models as those shown in fig. 1 encompass “transparent regions” directly based on data available and “dark regions” including large number assumptions based on experience or supposition.

The “transparent” region includes mostly geometry and some morphological traits (as the nature and composition of vault fillings or internal composition of piers and walls). A partial knowledge of the connections among the structural members, the average properties of the materials and the existing damage has been also possible. This knowledge was gained thanks to historical research (construction process, alterations, damage, repairs), visual inspection (composition, connections, damage), non-destructive testing (as GPR on vault fillings, internal composition of piers and walls by seismic tomography), mechanical and chemical tests (in situ, laboratory, and geotechnical research (soundings, georadar, electric tomography, Nakamura, ReMi). Among the better known features is geometry thanks to the wealth of information that is obtained thanks to modern survey technologies. In particular, photogrammetry was fully used for Mallorca Cathedral while Santa Maria del Mar was detailedly surveyed by means of laser-scanner.

The “dark” region includes all the assumptions needed to make up for the unknown features or properties of the building and materials which are required to prepare the model. These include the true and detailed distribution of materials (and material properties, including their scattering) across the entire building, non-visible damage, detailed information on internal morphology extended to the entire building, and non-visible alterations, among many other features. The “parsimony principle” will naturally lead to assume

wypadek silnego trzęsienia ziemi (powodującego duże drgania). Taka ekstrapolacja jest nieuniknionym elementem procesu modelowania. Niestety, zawiera w sobie następne ważne źródło niepewności i subiektywizmu. W tej fazie (podobnie w istocie jak w dwóch poprzednich), właściwa ocena analityka zyskuje ogromne znaczenie. Analityk musi zdecydować, jak daleka “ekstrapolacja” danych, aby próbować przewidzieć, jest akceptowalna, a kiedy przekracza ona dopuszczalne normy oraz czy model jest wykorzystywany w granicach swojej przydatności prognostycznej. W poprzednich fazach analityk musiał także decydować, czy wstępne dane były wystarczające, a kalibracja właściwa.

## 5. Zastosowanie w konkretnych przypadkach

Z pewnością modele, takie jak omówione na rys. 1 zawierają „obszary przezroczyste”, oparte bezpośrednio na danych oraz “ciemne obszary” oparte na wielu założeniach wynikających z doświadczeń lub domysłów.

„Przezroczyste obszary” to przede wszystkim geometria i pewne cechy morfologiczne (np. charakter i skład wypełnień sklepienia lub skład wewnętrzny filarów i ścian). Możliwa jest także częściowa wiedza o powiązaniach między elementami konstrukcyjnymi, przeciętnych właściwościach materiałów i faktycznych zniszczeniach. Tę wiedzę zdobywa się w badaniach historycznych (nad procesem budowy, zmianami, uszkodzeniami, naprawami), ocenie wizualnej (skład, powiązania, uszkodzenia), badaniach nieniszczących (np. test GPR w przypadku wypełnień sklepień, tomografia sejsmiczna w przypadku wewnętrznego składu filarów i ścian), testach mechanicznych i chemicznych (na miejscu i w laboratoriach) oraz badaniach geotechnicznych (sondowanie, georadar, tomografia elektryczna, Nakamura, ReMi). Jedną z lepiej poznanych cech jest geometria dzięki bogactwu informacji uzyskanych za pomocą nowoczesnych technologii badania. Zwłaszcza fotogrametria została w pełni wykorzystana w przypadku katedry na Majorce, zaś kościół Santa Maria del Mar zbadano bardzo szczegółowo za pomocą skanera laserowego.

„Ciemny obszar” obejmuje wszystkie założenia potrzebne, aby uzupełnić nieznanne cechy lub właściwości budynku i materiałów koniecznych do przygotowania modelu, np. faktyczny szczegółowy rozkład materiałów (i ich właściwości, włącznie z rozproszeniem) w całym budynku, niewidoczne uszkodzenia, szczegółowe dane o wewnętrznej morfologii w przełożeniu na cały budynek, niewidoczne zmiany i wiele innych. “Zasada oszczędno-

large uniformity of properties, composition and dimensions wherever no specific information is available.

## 6. Calibration strategies

Calibration and validation of the models has been based, as aforementioned, on comparison between numerical predictions and experimental observations. When needed, the models have been improved to obtain better agreement between both. The following possibilities were considered for this purpose:

- Measure and comparison of work stresses at critical points. Stresses have been measured by the hole-drilling test (in other cases, they could have been measured with the flat-jack test) and then compared with the corresponding numerical values.
- Dynamic monitoring and ambient vibration recording, permitting characterization of the dynamic properties (frequencies and modal shapes), and comparison with the output of modal analysis. Modal matching has been used to adjust some model parameters.
- Static monitoring involving the characterization of actions (temperature, humidity, wind, microtremors) and response (cracks, displacements, rotations), and comparison with a simulation of the response of the numerical model subjected the same actions.
- Visual inspection, allowing comparison between predicted and actually existing damage or deformation.
- Identification of structural past performance through detailed historical research, and comparison with the corresponding model predictions. In particular, study of past-performance in the case of historical earthquakes.

Sections 5 and following describe the application of this methodology, along phases 1, 2 and 3, to the three case studies considered in the present paper.

## 7. Example of validation based on work stress measurement

Some attempts have been carried by the authors to calibrate or modify models by comparing their predictions on compression stress levels at critical sections with the corresponding real values, the latter measured in situ by means of the flat-jack test or the hole-drilling one.

The hole-drilling technique [2,3] was successfully used to measure the work stresses at the base

of the structure. This technique clearly suggests that a single property, composition and dimensions, when available, are not enough to determine the behavior of the structure, when detailed data are not available.

## 6. Strategie kalibracji

Jak już wspomniano, kalibrację i uwiarygodnienie modeli oparto na porównaniach numerycznych przewidywań i obserwacji eksperymentalnych. W miarę potrzeb modele były poprawiane, aby uzyskać jak największą zgodność między tymi parametrami. W tym celu rozważono następujące możliwości:

- Pomiar i porównanie obciążeń roboczych w punktach krytycznych. Obciążenia mierzone za pomocą testów nawiercania (alternatywnie można było użyć do pomiaru mieszków sprężystych), a następnie porównano z odpowiednimi wartościami liczbowymi.
- Monitoring dynamiki i zapisywanie wibracji zewnętrznych, co pozwala na scharakteryzowanie właściwości dynamicznych (częstotliwości i kształty modalne), oraz porównanie z wynikiem analizy modalnej. Modalne dopasowanie stosowano do korekty parametrów modelu.
- Monitoring statyczny obejmujący charakterystykę zdarzeń (temperatura, wilgotność, wiatr, mikrodrżania) i reakcji (pęknięcia, przesunięcia, rotacja) i porównanie z symulacją reakcji według modelu numerycznego poddanego tym samym zdarzeniom.
- Kontrola wzrokowa, umożliwiająca porównanie przewidywanych i faktycznych uszkodzeń i zniekształceń.
- Identyfikacja przeszłej wydajności konstrukcji w formie starannych badań historycznych i ich porównanie z przewidywaniami modelu. W szczególności badanie wydajności w przeszłości jest przydatne w przypadku historycznych trzęsień ziemi.

Sekcje 5 i kolejne opisują zastosowanie tej metodologii wraz z fazą pierwszą, drugą i trzecią do trzech przypadków omawianych w tym artykule.

## 7. Przykład uwiarygodnienia w oparciu o pomiar obciążenia roboczego

Autorzy podjęli pewne próby kalibracji lub modyfikacji modeli poprzez porównanie ich przewidywań poziomu naprężeń ściskających w punktach krytycznych z odpowiednimi wartościami faktycznymi, zmierzonych na miejscu za pomocą testu mieszków sprężystych lub nawiercania.

Technikę nawiercania otworów [2,3] zastosowano z powodzeniem do pomiaru obciążeń roboczych

of the piers of Santa Maria del Mar church in Barcelona. In Santa Maria del Mar, a three nave Gothic church with central vaults spanning 13 m, the piers have an octagonal section with circumscribed diameter of 1.5 m, the test was applied to two different piers. Both the stress values and the eccentricity of the load at the base the piers were determined. The latter was measured by executing the test at two opposite faces of the pier in the transverse direction transverse of the building. It was possible to measure maximum and minimum compression stresses of 3.8 and 2.1 MPa, corresponding to an eccentricity of 4 cm. This measurement permitted the identification of the only thrust line solution describing the real equilibrium condition of the building among the infinite solutions provided by limit analysis (fig. 5). It also permitted the confirmation of certain assumptions regarding the distribution and weight of the filling existing over the vaults.

In Mallorca Cathedral, another three-nave Gothic building with central vaults spanning 20 m, a similar experiment was undertaken to determine the value and direction of the main compression stress at the springing of the flying arches. The values measured were then compared validation with the corresponding prediction of the numerical model at the same sections (fig. 6), showing satisfactory agreement. This comparison provided some indirect appraisal of assumptions on the weight distribution over the building, among other aspects.

More information on this application and similar calibration attempts based on alternative technologies is provided in [4,5]. In turn, information on the numerical approaches utilized is provided in [6].

u podstawy filarów kościoła Santa Maria del Mar w Barcelonie. W tym trójnawowym gotyckim kościele z centralnymi sklepieniami na wysokości 13 m filary mają ośmiokątny przekrój i o średnicy 1,5 m. Test przeprowadzono na dwóch różnych filarach. Ustalono dwie wartości obciążenia i mimośród obciążenia przy podstawie filarów. Tę ostatnią wartość zmierzono, przeprowadzając test na dwóch naprzeciwległych powierzchniach filarów w kierunku poprzecznym do przekroju budynku. Można było zmierzyć maksymalne i minimalne naprężenia ściskające na poziomie 3,8 i 2,1 MPa, co odpowiada mimośrodkowi 4 cm. Pomiar ten pozwolił na identyfikację tylko spękań wpustowych, odpowiadających autentycznemu stanowi równowagi budynku, podczas gdy analiza granic oferuje nieskończoną liczbę rozwiązań (rys. 5). Umożliwił także potwierdzenie pewnych założeń na temat rozkładu i wagi wypełnienia znajdującego się nad sklepieniami.

W katedrze na Majorce, kolejnych trójnawowym gotyckim budynku o centralnych nawach wysokości 20 m wykonano podobny eksperyment, aby ustalić wartość i kierunek głównych naprężeń ściskających przy wiszących łukach. Uzyskane wartości zestawiono następnie z odpowiednimi przewidywaniami według modelu numerycznego dotyczącymi tych samych sekcji (rys. 6). Porównanie wykazało satysfakcjonującą zgodność, przyniosło także pośrednie potwierdzenie założenie o rozłożeniu ciężaru w całym budynku i innych.

Więcej informacji o tym zastosowaniu i podobnych przypadkach kalibracji w oparciu o alternatywne technologie można znaleźć w [4,5]. Natomiast dane o zastosowanych podejściach liczbowych zawarto w [6].

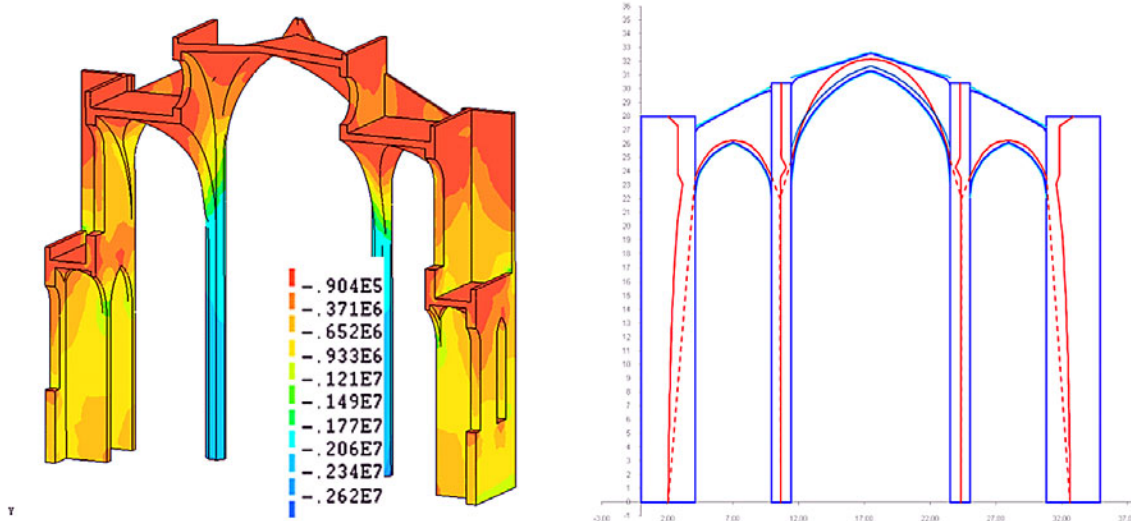


Fig. 5. Top: Validation of FEM model (stresses in Pa) and selection of thrust line solution by comparison with hole drilling tests stress values at the base of piers of Santa Maria del Mar

Rys. 5. U góry. Uwiarygodnienie modelu FEM (obciążenia w Pa) oraz wybór rozwiązania linii spękań wpustowych przez porównanie z testami nawierczanych otworów u podstawy filarów kościoła Santa Maria del Mar

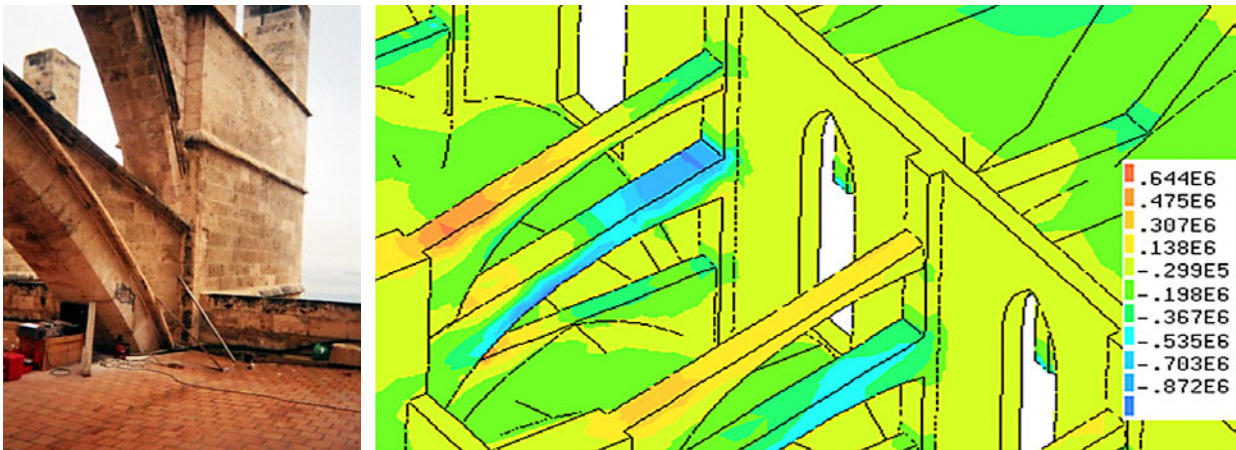


Fig. 6. Measurement of principal compression stress values and directions by hole drilling test and comparison with numerical predictions at the springing of lower flying-arches of Mallorca Cathedral. The figure at the right shows the distribution and values of maximum compression stresses (in Pa)

Rys. 6. Pomiar głównych wartości naprężeń ściskających i jego kierunków w teście nawiercania dziur i porównania z przewidywaniami liczbowymi w dolnej części wiszących łuków katedry na Majorce. Rycina po prawej przedstawia rozkład i wartości maksymalnych naprężeń ściskających (w Pa)

## 8. Conclusions

The studies described integrated different research activities, including historical investigation, inspection by NDT and MDT, monitoring and structural analysis. Some methodological issues have been presented on the way the structural analysis needs to be combined by the more observational or empirical activities. In addition to model preparation, these parallel activities are needed to undertake some calibration, attain validation and obtain predictions. Prediction always means some kind of extrapolation beyond the range or space for which the model has been validated, and involves significant uncertainty and risk for subjectivity. Part of this uncertainty may be counteracted for by some sort of “plausibility check” showing the believability of the results or, at least, their compatibility with available observational or historical evidence. Throughout the entire process, engineering experience and judgement are essential to obtain reliable conclusions.

## 8. Wnioski

Opisane badania łączyły różne działania badawcze: analizy historyczne, badania NDT i MDT, monitoring i analizę strukturalną. Niektóre kwestie metodologiczne przedstawiono w kontekście potrzeby połączenia analizy strukturalnej z bardziej empirycznymi czy też obserwacyjnymi metodami. Oprócz przygotowania modelu, wśród potrzebnych równoległych działań są kalibracja, uwiarygodnienie i przewidywanie. Przewidywanie zawsze łączy się z pewnego rodzaju ekstrapolacją poza zakres lub obszar, dla których uwiarygodniono model, łącząc się z niepewnością i ryzykiem subiektywizmu. Tej niepewności można częściowo zapobiegać, prowadząc “testy prawdopodobieństwa”, które dokumentują wiarygodność wyników lub przynajmniej ich kompatybilność z wynikami obserwacji lub badań historycznych. W trakcie całego procesu konieczne są doświadczenie inżynierskie i umiejętność osądu, aby dojść do konkluzji, na których można polegać.

## References • Literatura

- [1] ISCARSAH. *Recommendations for the Analysis and Restoration of Historical Structures*. ISCARSAH – International Committee on Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage, ICOMOS, 2005
- [2] Barrallo J, Zulueta A, Sánchez-Beitia S. *The Donostia Method for stress measurements in architectural heritage*. STRAIN (British Society for Strain Measurement) 35 (3) 107-112, 1999.
- [3] *Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method*. ASTM 837-95 (Standard. American Society for Testing Materials, 1995.
- [4] Roca, P., Clapés, J., Caselles, O., Vendrell M., Giráldez, P., Sánchez-Beitia. *Contribution of inspection techniques to assessment of historical structures*. Proceedings of the International RILEM SACoMATIS 2008 conference, RILEM, Bagnéux, 632-632, 2008.

- [5] Martínez, G., Roca, P., Caselles, O., Clapés, J., Canas, J. A., *Characterization of the dynamic response of the structure of Mallorca cathedral*. 5<sup>th</sup> Int. Conf. of Structural Analysis of Historical Constructions. New Delhi: MacMillan India Ltd., 2006.
- [6] Clemente, R., Roca, P., Cervera, M., *Damage model with crack localization. Application to historical buildings*. 5<sup>th</sup> Int. Conf. of Structural Analysis of Historical Constructions. MacMillan India Ltd, New Delhi, 2006.

---

\* Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain  
Uniwersytet Techniczny Katalonii, Barcelona, Hiszpania

---

## Abstract

The paper presents a discussion on the possibilities offered by structural analysis, based on numerical simulation, to the study of structures of architectural heritage. Structural analysis can significantly contribute, when used in combination with inspection, historical research and monitoring, to obtain conclusions on the diagnosis and, safety evaluation and take decision on the design of intervention. Some reflections are also provided on the way structural modelling is to be used to grant reliable results. Concerning the application of structural models, the three phases corresponding to (1) input data preparation, (2) calibration or validation and (3) use of models for prediction, are discussed.

## Streszczenie

Artykuł dotyczy omówienia możliwości, jakie daje analiza strukturalna, oparta na symulacji liczbowej w dziedzinie badań konstrukcji dziedzictwa architektury. Analiza strukturalna może być bardzo przydatna, jeśli łączy się ją z badaniami empirycznymi, historycznymi i monitoringiem, aby opracować wnioski na temat diagnozy i oceny bezpieczeństwa oraz decyzji o projekcie interwencji. Autorzy zawarli także pewne refleksje na temat modeli strukturalnych, dzięki którym można uzyskać wiarygodne wyniki. Jeśli chodzi o stosowanie modeli strukturalnych, omówiono trzy fazy, odpowiadające (1) przygotowaniu danych wejściowych, (2) kalibracji lub uwiarygodnieniu (3) zastosowaniu modeli do prognozowania.



Kazimierz Czapliński\*  
Krzysztof Gawron\*

## O technikach wykonania cegłanych konstrukcji murowych

## The techniques of erection of brick masonry constructions

### 1. Wstęp

Metodą wznoszenia konstrukcji murowych jest murowanie, podobnie jak metodą wykonywania konstrukcji ziemnych są roboty ziemne.

Nieco inaczej przedstawia się sprawa w wypadku konstrukcji betonowych, bo mogą być one wykonane albo metodą betonowania (w obiektach monolitycznych), albo też metodą montażu (w obiektach prefabrykowanych).

W pozostałych rodzajach konstrukcji, tj. w konstrukcjach metalowych oraz drewnianych występuje jedynie metoda montażu.

Tak więc wyróżnikiem rodzaju konstrukcji jest tworzywo: cegły, kamienie lub bloczki w konstrukcjach murowanych, beton – w konstrukcjach betonowych (ewentualnie zbrojonych lub sprężonych), stal lub aluminium – w konstrukcjach metalowych oraz drewno – w drewnianych, natomiast wyróżnikiem metody wznoszenia obiektu budowlanego jest technologia murowania, betonowania, montażu lub wykonania robót ziemnych.

### 2. Terminologia

Dla zapewnienia jednoznaczności prezentowanego tekstu konieczne jest zdefiniowanie wybranych pojęć.

Po pierwsze należy zwrócić uwagę na funkcjonowanie różnego znaczenia słowa budowla. Zgodnie bowiem z terminologią opracowaną przez Instytut Urbanistyki i Architektury [5] budowla stanowi

### 1. Introduction

The method of building wall constructions is masonry work, and similarly the method of building earth constructions is earthworks.

It is a little different with concrete constructions as they can be built either by concreting (in monolith building structures) or by assembling (in prefabricated building structures.)

Other types of constructions, namely made of metal and wood, are built only by assembling.

Thus the distinctive feature of different constructions is the medium: brick, stone or blocks – in masonry constructions, concrete – in concrete constructions (possibly reinforced or pre-stressed), steel or aluminum – in metal constructions and wood – in wood constructions, whereas, the distinctive feature of different methods of building a given structure is the technology of brick, stone or block laying, concreting, assembly or performing earthworks.

### 2. Terminology

For the avoidance of doubt, it is necessary to define the following selected terms used in this text.

First of all, it should be noted how the term construction structure is used. According to the terminology assumed by the Institute of Urban Planning and Architecture [5] a construction struc-

skończoną całość użytkową, jest wyodrębniona z przestrzeni i jest w sposób trwały połączona z gruntem. Budowla może być nadziemna lub podziemna, stała lub tymczasowa. Podkreślić należy, że budowle (wg tej definicji) dzielą się na budynki i budowle inżynierskie.

Budynki wydzielone są z przestrzeni za pomocą przegród budowlanych; przeznaczone są one do stałego lub czasowego przebywania ludzi lub zwierząt.

Budowle inżynierskie nie są budynkami, a służą potrzebom produkcji, komunikacji, transportu, łączności, energetyki, gospodarki komunalnej, rolnictwa, budownictwa wodnego. Przykłady to: piec hutniczy, komin fabryczny, autostrada, most, maszt telewizyjny, zaporę wodną, tunel.

Tak zdefiniowane pojęcie budowli można nazwać pospolitym.

Zgodnie natomiast z art. 3 Prawa budowlanego [4] przez termin obiekt budowlany należy rozumieć budynek, budowlę lub obiekt małej architektury, przy czym budynek zdefiniowany jest podobnie jak w [5]. Budowla jest natomiast obiektem budowlanym niebędącym budynkiem ani obiektem małej architektury, takim jak m.in.: lotniska, drogi, linie kolejowe, mosty, oraz urządzenia jako odrębne pod względem technicznym części przedmiotów składających się na całość użytkową.

Tak zdefiniowane pojęcie obiektu budowlanego oraz budowli należy nazwać legalnym, bo zdefiniowanym w ustawie. Posługując się więc terminem budowla trzeba podkreślić, czy przyjmuje się terminologię pospolitą czy też legalną.

Warto też przypomnieć, że konstrukcja jest zespołem elementów połączonych w jedną całość o odpowiedniej nośności i sztywności [1].

Technika jest całokształtem środków i czynności wchodzących w zakres działalności ludzkiej, związanej z wytwarzaniem dóbr materialnych [2].

Technologia jest nauką stosowaną dotyczącą procesów wytwarzania produktów z materiałów wyjściowych [2].

Mur jest elementem budowli (np. ściana, fundament, filar) lub samodzielną budowlą (np. mury ściana oporowa) wykonywanym ręcznie przez układanie elementów drobnowymiarowych (np. cegieł, pustaków, bloczków, kamieni) na zaprawie lub na sucho, z zastosowaniem wiązania układanych elementów, zapewniającego ich współpracę w przenoszeniu sił (głównie ściskających) [6]. Termin budowla jest tu użyty w znaczeniu pospolitym.

Warstwa głowkowa muru powstaje wtedy, gdy w rzędzie zewnętrznym cegły są ułożone głowką do

ture is a completed usable entirety which is separate from space and permanently attached to the ground. A construction structure can be over – or underground, permanent or temporary. It should be stressed that construction structures (acc. to that definition) can be divided into buildings and engineering construction structures.

Buildings are separated from the space with building partitions; they are designed for permanent or temporary stay of people or animals.

Engineering construction structures are not buildings and they serve for the needs of production, communication, transport, connection, power generation, municipal economy, agriculture, water construction. Examples include: metallurgical furnaces, smokestacks, expressways, bridges, TV masts, water dam, tunnels.

The term construction structure defined in this way can be considered common term.

On the other hand, according to Art. 3 of the Construction Law [4] the term building structure shall mean a building, a construction structure or a small architecture structure, and building is defined as in [5]. Construction structure is a building structure that is not a building or a small architecture structure, such as: airports, roads, railroads, bridges and facilities which from the technical perspective separate parts of objects forming usable entirety.

The term building structure and construction structure defined in this way shall be considered legal term, as the definitions are provided in the act. Consequently, while using the term construction structure, it should be stressed if it is used as a common or legal term.

It is also worth remembering that a construction is a set of elements connected into one entirety, demonstrating adequate bearing capacity and stiffness [1].

Technique is the whole set of means and activities performed by people connected with manufacturing material goods [2].

Technology is an applied science regarding the processes of manufacturing of products from input materials [2].

Wall is an element of a construction structure (e.g. building wall, foundation, pillar) or a separate construction structure (e.g. retaining wall) made manually by laying small construction elements (e.g. solid bricks, hollow bricks, blocks, stones) with or without mortar, bonding the elements in such a way that assures their cooperation in transmission of forces (especially compressive forces) [6]. The term construction structure is used here in its common sense.

Header course of a wall is a course in which bricks are laid in the external course of the wall

lica muru, a warstwa wozówkowa – gdy cegły są ułożone w rzędzie zewnętrznym wozówkami do lica muru [6].

### 3. Wiązanie cegieł w murze

Wiązanie cegieł ma na celu równomierny rozkład naprężeń ściskających w murze [3]. Wyróżnia się pięć sposobów wiązania cegieł, a mianowicie [6]:

1. wiązanie pospolite (blokowe, kowadełkowe) – w wiązaniu tym warstwy wozówkowe przykrywane są warstwami główkowymi (rys. 1). Spoiny pionowe jednej warstwy przesunięte są względem spoin warstwy następnej o  $\frac{1}{4}$  cegły. Zapoczątkowanie i zakończenie muru wykonuje się przy użyciu trzyćwierciówek (dziewiątek) w celu uzyskania w kolejnych warstwach przesunięcia spoin;
2. wiązanie krzyżowe (weneckie) – nazwa tego wiązania od występującego w licu muru krzyża utworzonego przez spoiny trzech sąsiadujących warstw (rys. 2). W wiązaniu tym kolejne warstwy wozówkowe są przesunięte względem siebie o  $\frac{1}{2}$  długości cegły;
3. wiązanie polskie (gotyckie) – w wiązaniu tym każda warstwa jest wozówkowo-główkowa, a poszczególne warstwy nie różnią się od siebie (rys. 3). Spoiny pionowe jednej warstwy są przesunięte względem drugiej warstwy o  $\frac{3}{4}$  cegły. Zapoczątkowanie i zakończenie muru w jednej warstwie wykonywane jest główkami, a w drugiej ćwierciówkami ułożonymi wozówkowo. Zaletą tego wiązania jest jego ozdobność, a wadą to, że spoiny podłużne pokrywają się w kolejnych warstwach;
4. wiązanie wielorzędowe (amerykańskie) – mur ułożony w wiązaniu wielorzędowym składa się z (układanych na przemian) pięciu warstw wozówkowych i jednej warstwy główkowej (rys. 4). Pionowe spoiny podłużne pięciu kolejnych warstw wozówkowych przykrywane są dopiero szóstą warstwą ułożoną główkowo;
5. wiązanie wedyjskie – mur w wiązaniu wedyjskim składa się z kolejnych warstw, w których dwie cegły ułożone są wozówką, a jedna – główką do lica muru (rys. 5).

### 4. Technologia nakładania zapraw

Wyróżnić można 8 sposobów nakładania zapraw w murach ceglanych [6].

1. Murowanie na puste spoiny polega na niecałkowitym wypełnieniu szczelin zaprawą budowlaną, tj. pozostawienie kilkucentymetrowej luki od zewnętrznej strony lica muru.

with their heads in the wall face, and a stretcher course – when bricks are laid in the external course of the wall with their faces in the wall face [6].

### 3. Brick bonds in the wall

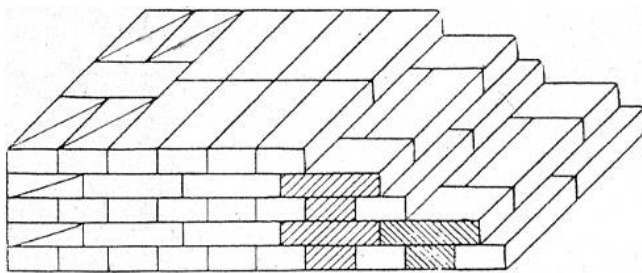
The objective of the brick bond is to equally spread the compressive stresses in the wall [3]. There are five brick bonds [6]:

1. English bond (block bond, anvil bond) – in this bond, alternate courses consist of stretcher and header (fig. 1). Then vertical joints of one course are moved by  $\frac{1}{4}$  of the brick length in relation to the joints of the next course. The beginning and the end of the wall is made with the use of three-quarter closers (bats) to provide the right distances between joints in the next courses;
2. cross bond (Venetian bond) – in this bond, courses of Flemish bond alternate with courses of stretchers, joints of three adjacent courses produce a cross pattern (fig. 2). Consequently, the stretchers between them are moved by  $\frac{1}{2}$  of the brick length;
3. Flemish bond (Gothic bond) – in this bond, bricks are placed as header and stretcher in each course, and all courses are the same (fig. 3). The vertical joints in one course are moved by in relation to the next course by  $\frac{3}{4}$  of the brick length. The wall begins and ends with brick heads in one course, and three-quarter closer laid as stretchers in the next course. The advantage of this bond is its decorativeness, and its disadvantage is that its longitudinal joints repeat in successive courses;
4. multi-layer bond (American bond) – in this bond, every fifth course consists of headers, the rest being stretchers (placed alternately) (fig. 4.) The vertical longitudinal joints in the five succeeding courses of stretchers are covered only with the sixth course of headers;
5. Monk bond – in this bond, in the wall face two stretchers alternate with one header in every course (fig. 5).

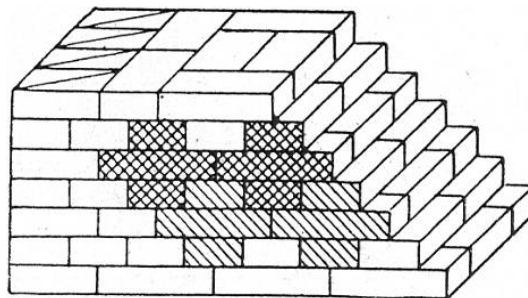
### 4. Techniques of spreading mortar

There can be distinguished 8 ways of spreading mortar on brick walls [6].

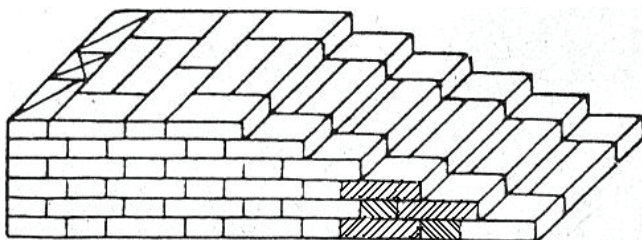
1. Masonry work with empty joints consists in incomplete filling the joints with mortar, i.e. leaving a few centimeter void in the joints on the external wall face.



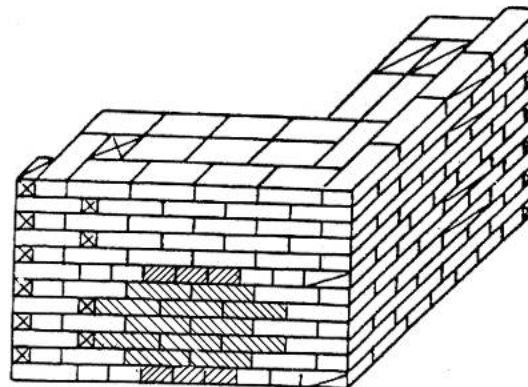
Rys. 1. Wiązanie pospolite  
Fig. 1. Common bond



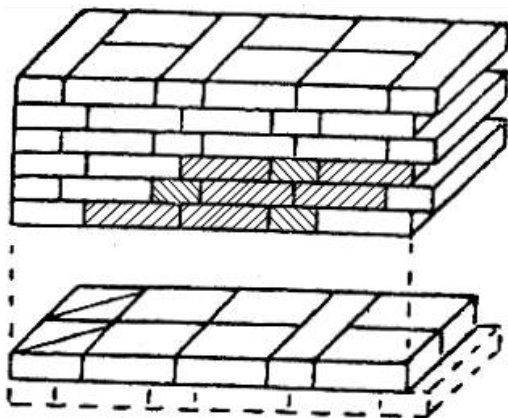
Rys. 2. Wiązanie krzyżowe  
Fig. 2. Cross bond



Rys. 3. Wiązanie polskie  
Fig. 3. Flemish bond



Rys. 4. Wiązanie wielorzędowe  
Fig. 4. Multi-layer bond



Rys. 5. Wiązanie wendyjskie  
Fig. 5. Monk bond

2. Murowanie na pełne spoiny polega na całkowitym wypełnieniu szczelin zaprawą budowlaną.
3. Murowanie z częściowym nakładaniem zaprawy na boczną powierzchnię cegły polega na naniesieniu zaprawy na część powierzchni bocznej tej cegły, tj. na kilka centymetrów od jej dolnej krawędzi, która ma przylegać do cegieł ułożonych uprzednio. W wewnętrznych rzędach muru cegły układane są bez naniesienia zaprawy. Są one wciskane w warstwę zaprawy już rozścielonej, która wypełnia szczeliny do połowy ich wysokości. Całkowite wypełnienie szczelin pionowych następuje przy rozścielaniu zaprawy pod następną warstwę.
4. Murowanie z nanoszeniem zaprawy na całą boczną powierzchnię cegły polega na nanieszeniu zaprawy na całą boczną powierzchnię cegły. Sposób ten jest stosowany w wypadku mało plastycznych zapraw.
5. Murowanie z wyciskaniem zaprawy. Cegły w zewnętrznych rzędach muru układa się na warstwie zaprawy plastycznej o grubości od 2,5 do
2. Masonry work with full joints consists in complete filling the joints with mortar.
3. Masonry work with partial spreading of mortar on the side surface of the brick consists in spreading of mortar on part of the brick side surface i.e. on the area of a few centimeters from the lower edge of the brick which is supposed to adjoin the bricks laid earlier. In the internal courses of the wall, the bricks are placed without mortar; they are pushed in the layer of mortar already spread which fills the joints up to the middle of their height. The vertical joints are completely filled when the mortar is spread for the next course.
4. Masonry work with spreading of mortar on the whole side surface of the brick consists in spreading of mortar on the whole side surface of the brick. This technique is applied with poor elasticity mortars.
5. Masonry work with mortar being pushed out. The bricks in the external courses of the wall are placed on a 2.5-3 cm thick layer of elastic

3 cm w taki sposób, aby dosunąć je do już ułożonych cegieł. Przy tym zgarnia się już rozścieloną zaprawę i wciska się ją do szczelin pionowych. Zapełnienie szczelin w wewnętrznych rzędach cegieł uzyskuje się przez ich wciśnięcie w rozścieloną warstwę zaprawy. Wypełnienie wszystkich szczelin następuje przy rozścielaniu zaprawy pod następną warstwę cegieł.

6. Murowanie z wyciskaniem i podcięciem zaprawy kielnią. Cegły układane są na rozścielonej warstwie dochodzącej do krawędzi muru. Nadmiar zaprawy wydostającej się na zewnątrz w czasie dosuwania i dociskania cegły jest zbierany (podcięty) kielnią. Sposób ten stosuje się przy wykonaniu muru na pełne spoiny.
7. Murowanie z dociskaniem kielnią. Przy układaniu cegły następuje jednoczesne zgarnięcie kielnią zaprawy z rozścielonej warstwy i przesunięciem jej do powierzchni bocznej uprzednio ułożonej cegły (przed cegłą dosuwaną).
8. Murowanie z wytryskiem zaprawy. Cegły układane są w wewnętrznych rzędach muru na warstwie plastycznej zaprawy. Następnie następuje ich dociśnięcie do już ułożonych cegieł i wciśnięcie w dół, aż do całkowitego wypełnienia zaprawą szczelin pionowych.

## 5. Podsumowanie

Zbiorcze przedstawienie – często już nie stosowanych obecnie – sposobów wiązania cegieł i technologii układania zaprawy przy wykonywaniu murów ceglanych może być przydatne podczas identyfikacji starych konstrukcji murowych.

mortar and pushed to the bricks already laid. While doing that, the already spread mortar is pushed to fill the vertical joints. The joints in the internal courses of the bricks are filled by pushing them in the spread layer of mortar. All joints are filled while spreading mortar for the next course of bricks.

6. Masonry work with mortar being pushed out and cut with a trowel. Bricks are placed on a layer of mortar spread to the edge of the wall. The excess of mortar pouring out during laying and pushing the bricks is gathered (cut) with the trowel. This technique is applied when building the wall with full joints.
7. Masonry work mortar being pushed with trowel. When laying bricks the mortar from the spread layer is gathered with the trowel and moved to the side surface of the brick placed earlier (before the brick being pushed.)
8. Masonry work with mortar being squeezed out. Bricks are placed in internal courses of the wall on a layer of elastic mortar. Next they are pushed to already placed bricks and downward until the vertical joints are completely filled with mortar.

## 5. Summary

The comprehensive presentation of brick bonds (which are often no longer used nowadays) and the techniques of spreading mortar during erection of brick walls might be useful in identification of old masonry constructions.

## Literatura • References

- [1] Biliński T., *Terminologia w działalności inwestycyjno-budowlanej*, Izba Projektowania Budowlanego, Warszawa 2007.
- [2] Czerni S. (red.), *Encyklopedyczny słownik techniczny*, WNT, Warszawa 1967.
- [3] *Poradnik majstra budowlanego*, wyd. V, Arkady, Warszawa 1992.
- [4] *Prawo budowlane*. Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. z późniejszymi zmianami.
- [5] *Terminologia budownictwa*. Cz. I. *Pojęcia ogólne*, Instytut Urbanistyki i Architektury, Arkady, Warszawa 1967.
- [6] *Terminologia budownictwa*. Cz. IV. *Technologia, mechanizacja i organizacja budownictwa*, Instytut Urbanistyki i Architektury, Arkady, Warszawa 1967.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska  
Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland

## Streszczenie

Niniejsza praca przedstawia różne sposoby wiązania cegieł w ceglanych konstrukcjach murych, a także różne sposoby nakładania zapraw w murach ceglanych. Zbiorcze przedstawienie – często już nie stosowanych obecnie – sposobów wiązania cegieł i technologii układania zaprawy przy wykonywaniu murów ceglanych może być przydatne podczas identyfikacji starych konstrukcji murowych.

## Abstract

The paper presents different types of brick bonds in the masonry constructions as well as different techniques of spreading mortar during the masonry work. The specification of the types of brick bonds and the techniques of spreading mortar (which are often no longer used nowadays) during erection of brick walls might be useful in identification of the old masonry constructions.

Miloš Drdáček\*, Pavel Beran\*  
Zuzana Slížková\*, Irena Kučerová\*\*

## Man made hazards in conservation practice – case studies

## Ryzyko spowodowane przez człowieka w praktyce konserwacji – studia przypadków

### 1. Introduction

Conservation practice is on one side one of the human activities which are seeking for new products, technologies, techniques or approaches promising enhanced effects at safeguarding degraded historic materials and structures. On the other side, there is a significant lack of appropriately modern conservation theories supporting an application of really effective measures in some cases. The both characteristics bring about problems which are illustrated in this contribution by means of selected case studies.

### 2. Incompatibility of interventions

Interventions on architectural heritage aim at achievement of a high grade of durability of the structure, which may require consolidation of materials or structural members. Any interference with the structure and material should be compatible with the original structure and materials. This compatibility may be classified, for example, as physical, chemical, biological, architectural and social compatibility – all on the level of the material and/or the whole system.

In the field of roof structures, let us mention by way of example a method widely used in present-day restoration practice, viz the replacement of certain easily flammable roofing materials (shingles, thatch) with non-combustible materials (roofing tiles, sheet metal) placed on the original light-duty roof structures. This is a case of combined – struc-

### 1. Wprowadzenie

Praktyka konserwacji to z jednej strony taka sfera aktywności ludzkiej, w której szuka się nowych produktów, technologii, technik i podejść, dających nadzieję na poprawę wyników w dziedzinie chronienia zniszczonych historycznych materiałów i konstrukcji. Z drugiej strony widoczny jest brak odpowiednio nowoczesnych teorii konserwacji opartych na zastosowaniu naprawdę skutecznych środków w konkretnych przypadkach. Obie te cechy powodują problemy, które zostaną zilustrowane w tym artykule wybranymi studiami przypadków.

### 2. Niekompatybilność interwencji

Celem interwencji w budynkach historycznych jest osiągnięcie wysokiego stopnia trwałości konstrukcji, co może wymagać konsolidacji materiałów lub elementów konstrukcyjnych. Każda ingerencja w konstrukcję lub materiał musi być kompatybilna z oryginalną konstrukcją i materiałami. Tę kompatybilność można klasyfikować, np. dzieląc na fizyczną, chemiczną, biologiczną, architektoniczną i społeczną – zarówno na poziomie materiału, jak i całego systemu.

W dziedzinie konstrukcji dachowych można wspomnieć w tym kontekście przykład metody szeroko stosowanej w dzisiejszej praktyce renowacji: wymiany niektórych palnych materiałów dachowych (gontów, słomy) na materiały niepalne (dachówki, blachy) układane na pierwotnych konstrukcjach dachowych przeznaczonych do niewielkich

tural and aesthetic (architectural) – incompatibility, and should be avoided because usually end with either a failure or replacement of the original slender roof frame with a modern and a stronger one.

However, in the field of compatibility the focus is almost exclusively concentrated on materials and their chemical and physical characteristics. There were summarized rules for compatible design of mortars by several writers, e.g. recently J. Delgado-Rodrigues [1] or H. Sasse and R. Snethlage [2]. The problem is quite complicated and generally it is not possible to set up generally valid advice. Let us mention the problem of similarity of physical characteristics as they are typically required, i.e. the Young's modulus of elasticity and strength. In fact,

obciążeń. Jest to przykład podwójnej niekompatybilności – konstrukcyjnej i estetycznej (architektonicznej) – czego należy unikać, ponieważ z reguły skutkiem jest albo uszkodzenie albo wymiana pierwotnej ramy dachowej, o niewielkich przekrojach, na mocniejszą, nowoczesną.

Jednakże w przypadku kompatybilności właściwie cała uwaga koncentruje się na materiałach i ich cechach chemicznych i fizycznych. Niedawno kilku autorów podsumowało reguły kompatybilnego projektowania spoiw, np. J. Delgado-Rodrigues [1] czy też H. Sasse i R. Snethlage [2]. Problem jest dość skomplikowany i generalnie nie jest możliwe opracowanie ogólnie obowiązujących zaleceń. Można wspomnieć o problemie podobieństwa fizycznego,

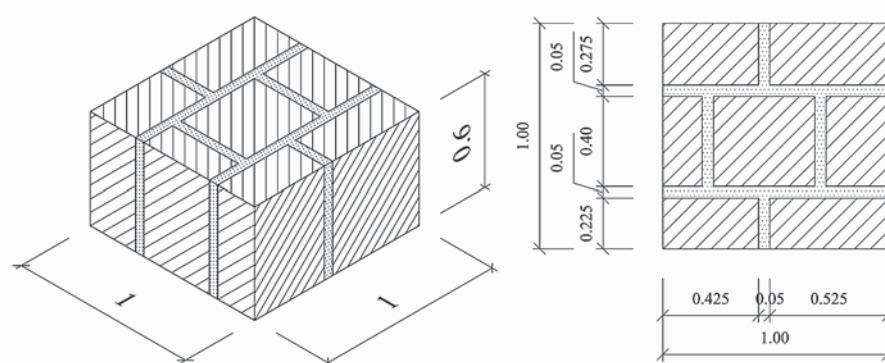


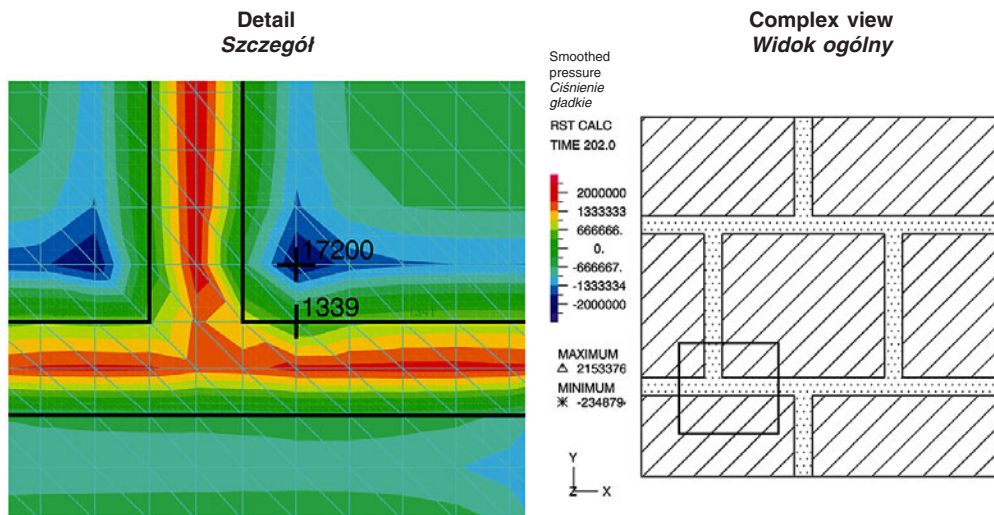
Fig. 1. 3-D and 2-D views of the masonry element. The joints filled with mortar are shown in the dashed area, the stone blocks are hatched – dimensions in metres

Rys. 1. Trój- i dwuwymiarowy obrazy elementu murowanego. Łącza wypełnione spoiwem są zaznaczone obszarem wykropkowanym, bloki kamienne zaś zakreskowanym – wymiary podano w metrach

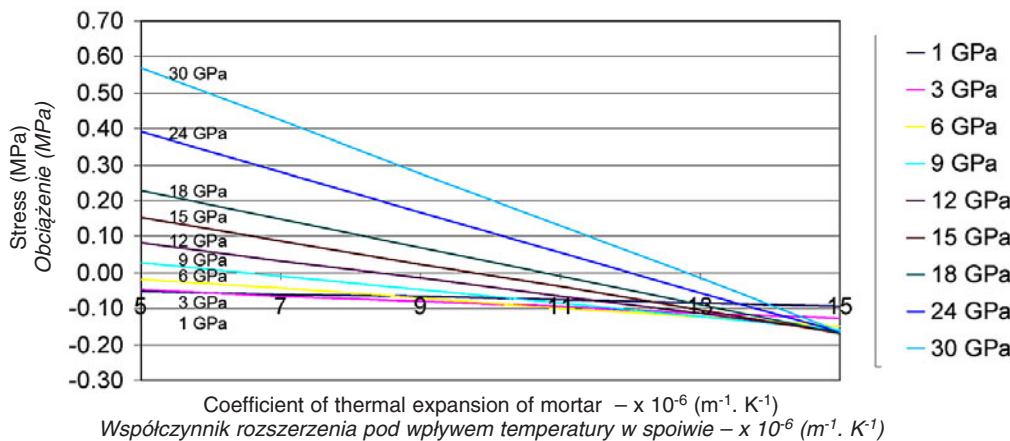
it is very difficult to measure the modulus of elasticity, namely in situ or on small size specimens which are mostly only available. More over, consolidation agents typically penetrate only into shallow depths of several millimetres or centimetres and they cause uneven change of modulus of elasticity along a depth profile. Such a gradient may cause deformation constraints and generate stress inside the bulk of material. The problem is worth to be assessed in the case of significant change of other material characteristics namely thermal and moisture dilation coefficients. Thermal and moisture dilation properties are usually not considered in the selection of new or repair joint mortars for stone masonry, though mortar and stone should ideally have the same thermal extension properties, [3]. In reality the modulus as well as the dilation coefficients of the both masonry components may differ significantly. In order to get more knowledge on this problem, the first two authors performed numerical experiments on stress states in stone ashlar masonry composed of stone and mortar of various physical characteristics subjected to thermal cyclic load-

które jest zwykle wymagane, np. o module Younga – współczynnika sprężystości. W istocie trudno jest zmierzyć współczynnik sprężystości na miejscu lub na małych próbkach, które są zwykle dostępne. W dodatku środkiem konsolidujące zwykle przenikają tylko na niewielką głębokość kilku milimetrów lub centymetrów i powodują nierównomierne zmiany we współczynniku sprężystości wzdłuż profilu. Taki gradient może stać się przyczyną ograniczenia odkształceń i powodować ciśnienie wewnątrz materiału. Problem wymaga oceny w przypadku znacznych zmian innych cech materiału, konkretnie współczynników rozszerzania pod wpływem temperatury i wilgoci. Właściwości rozszerzania się pod wpływem temperatury i wilgoci nie są zwykle uwzględniane przy wyborze nowych spoiw do spoin naprawczych w elementach murowanych, mimo że spoiwo i kamień powinny mieć idealne identyczne właściwości rozszerzania [3]. W rzeczywistości zarówno współczynnik, jak i zdolności rozszerzania obu komponentów muru mogą się znacznie różnić. Aby uzyskać dokładniejszą wiedzę o tym problemie, pierwsi dwaj autorzy wykonali serię eksperymentów związanych z ob-





Average stress – maximum in interface – dependence on Young modulus of mortar – node 1 339  
*Przeciętne obciążenie – maksymalne w miejscu przyłożenia – w zależności od współczynnika Younga spoiwa – węzeł 1 339*



Average stress – node 17 200 in stone – dependence on Young modulus of mortar  
*Przeciętne obciążenie – węzeł 17 200 w kamieniu – w zależności od współczynnika Younga spoiwa*

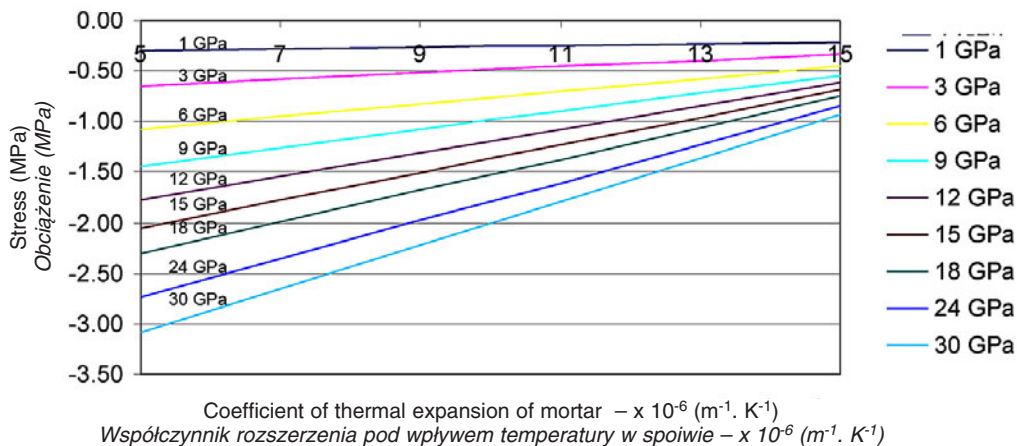


Fig. 2. a-above) Distribution of average stress and location of the node with maximum effective stress on the interface of the materials and in the stone – cooling; b-centre) The average stress, depending on the coefficient of thermal expansion of the mortar at the point where the effective stress on the interface of the materials is highest – cooling; c-below) The average stress at the point where the effective stress in the stone is highest – cooling

*Ryc. 2. a-powyżej) Rozkład przeciętnego obciążenia i położenie węzła z maksymalnym efektywnym obciążeniem w miejscu przyłożenia materiału i w kamieniu – chłodzenie; b-środek) Przeciętne obciążenie, w zależności od współczynnika rozszerzenia pod wpływem temperatury w miejscu, gdzie efektywne obciążenie w miejscu przyłożenia jest najwyższe – chłodzenie; c-poniżej) Przeciętne obciążenie w miejscu, gdzie efektywne obciążenie kamienia jest najwyższe – chłodzenie*

ing. A detailed thermo-mechanical analysis of masonry was made on a model block with dimensions of 1 x 1 m which was isolated from a continuous wall 0,6 m in thickness. The modelled masonry was analysed in detail in this space. The masonry was bricked up on the headstone bond, where the horizontal and vertical joints were 5 cm thick. The dimensions of the stone ashlar are shown in Figure 1. The results are described in detail elsewhere, [4], here are presented only substantial achievements which illustrate a need of a detailed analysis in individual cases, fig. 2. However, the cited paper contains graphs and tables which enable to analyse specific stress at arbitrary combinations of stone and masonry characteristics.

The results show importance of knowledge of material change due to consolidation treatment which is mostly neglected in conservation practice. There are frequently introduced materials and techniques without adequate and long term testing and verification. Even in the case of rather clear opinion on compatibility, as e.g. in the case of use of so called lime water for consolidation of lime mortars, the lack of reliable testing generates hazards and wastes resources in cases which are not suitable for the application of this technique. From the chemistry point view the lime water is compatible but the technology which is necessary application, i.e. repeated wetting in hundreds of cycles and very low efficiency may cause more damage than benefits due to significant loss of original or authentically transformed surface material, fig. 3, [5].

When making interventions, technologically identical or similar methods should always be used, but only such as have been scientifically substantiated and reliably verified in practical applications. It should be taken into account that even the appli-

ciażeniami muru ciosanego złożonego z kamieni i spoiwa o różnych parametrach fizycznych poddanego cyklicznemu obciążeniu termicznemu. Przygotowano dokładną analizę termiczną i mechaniczną w oparciu o blok modelowy w wymiarach 1 x 1 m, oddzielonego od ciągłej ściany o grubości 0,6 m. Badany mur zanalizowano w tym miejscu bardzo szczegółowo. Mur był postawiony z cegły na kamieniach nagrobkowych, a spoiny pionowe i poziome miały grubość 5 cm. Wymiary kamieni ciosanych podano na rycinie 1. Szczegółowe wyniki opisano gdzie indziej, [4], tutaj przedstawiono jedynie podstawowe osiągnięcia, które ilustrują potrzebę starannej analizy poszczególnych przypadków (rys. 2). Jednakże cytowana praca zawiera wykresy i tabele, dzięki którym możliwe jest analiza naprężeń w poszczególnych połączeniach kamieni o różnych właściwościach.

Wyniki pokazują, jak ważna jest wiedza o zmianach materiału spowodowanych zabiegiem konsolidacyjnym, którą w praktyce konserwacji zwykle się zaniedbuje. Często wprowadza się materiały i techniki bez odpowiednich długoterminowych testów i weryfikacji. Nawet w przypadku dość jasnej opinii na temat kompatybilności, np. przy wykorzystaniu tzw. wody wapiennej do konsolidacji wapiennych spoiw, brak wiarygodnych badań powoduje ryzyko i marnowanie zasobów w sytuacjach nieodpowiednich do zastosowania tej techniki. Z punktu widzenia chemii woda wapienna jest kompatybilna, ale technologia konieczna do jej aplikacji, czyli wielokrotnie zamaczanie w setkach cykli i bardzo niska wydajność mogą przynieść więcej szkód niż korzyści z powodu utraty materiału pierwotnej lub autentycznie zmienionej powierzchni (rys. 3) [5].

Przy podejmowaniu interwencji należy zawsze stosować metody identyczne lub podobne, ale tylko wówczas, jeśli zostały one naukowo uzasadnio-

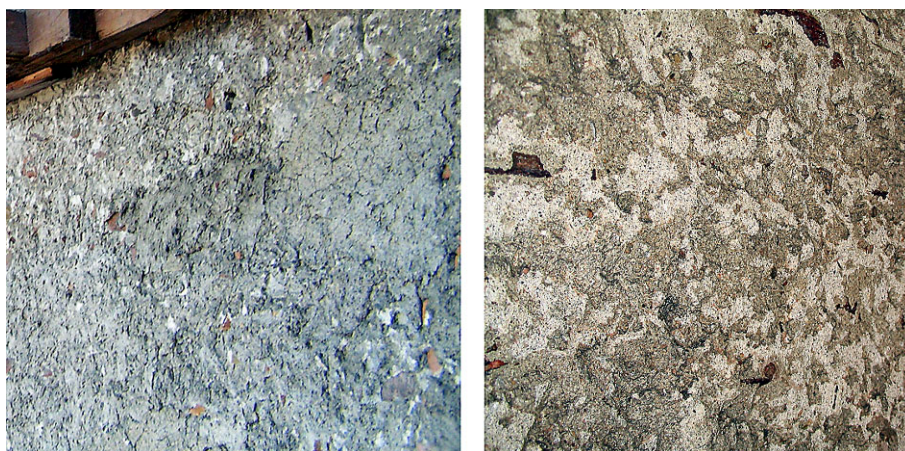


Fig. 3. Surface of render before lime water consolidation (left) and the quality of surface after 150 cycles of lime water spraying (right) with apparently dissolved surface crust formation and washed away from a significant surface area.

Ryc. 3. Powierzchnia tynku przed konsolidacją wodą wapienną (po lewej) oraz jakość powierzchni po 150 cyklach spryskiwania wodą wapienną (po prawej) z wyraźnie rozpuszczoną skorupą na powierzchni i zmytą dużą częścią powierzchni.

cation of a traditional material or technology always represents an intervention and may even lead to a deterioration from the state existing before the intervention (e.g., due to the introduction of a wet process into the restoration). This problem deserves great attention and endeavour, e.g. repairing timber structures without the use of steel connecting elements or any modern materials (reinforced and non-reinforced plastics).

### 3. Structures with historical faults

A specific problem arises in the restoration of monuments with historical (authentic) faults. While in the case of the above-mentioned roofing materials the necessity of replacing the “fire-hazardous” material with another, safe material has been generally accepted, in other cases it is not so, perhaps with the exception of rehabilitation plasters. Cracks due to expansion are usually “stitched” together, and the faulty cornice details are restored with original errors. This approach should be changed, and the durability should be superior to formal copying of original details or repairs of appearance in justified cases. This applies primarily to the remediation of natural expansion cracks made without an adequate technical solution.

Typical problems involve: missing expansion joints (unaccommodated volumetric temperature and moisture changes), faulty details (mostly cornices), unsuitable materials, insufficient protection against climatic factors, rising damp, fig. 4, [6]. Details which exhibited inadequate behaviour and durability should not be repeated because the aesthet-

ne i wiarygodnie zweryfikowane w praktyce. Należy uwzględnić, że nawet użycie tradycyjnego materiału lub technologii zawsze stanowi interwencję i może powodować pogorszenie stanu w porównaniu z sytuacją przed interwencją (np. z powodu wprowadzenia procesu renowacji na mokro). Problem ten zasługuje na dużo uwagi i wysiłku np. renowacji konstrukcji drewnianych bez użycia stalowych elementów łączących ani nowoczesnych materiałów (wzmocnione lub niewzmocnione materiały z tworzyw sztucznych).

### 3. Konstrukcje z historycznymi błędami

Szczególne problemy towarzyszą restauracji zabytków z historycznymi (oryginalnymi) błędami. O ile w przypadku omówionych wyżej materiałów dachowych ogólnie uznaje się za konieczną wymianę “zagrożających pożarem” materiałów na inne, bezpieczniejsze, w innych przypadkach tak nie jest, z wyjątkiem być może gipsu do rehabilitacji. Pęknięcia spowodowane rozszerzaniem są zwykle “zszywane”, a obciążone błędami detale gzymsów są zwykle odtwarzane wraz z tymi błędami. To podejście należy zmienić, a trwałość powinna być uznana za ważniejszą kwestię niż formalne kopiowanie wszystkich oryginalnych detali i naprawianie wyglądu w uzasadnionych przypadkach. Dotyczy to przede wszystkim naprawiania naturalnych pęknięć spowodowanych brakiem adekwatnych rozwiązań technicznych.

Typowe problemy to: brak właściwych złączy (nieprzystosowanie do zmian temperatury i wilgotności), niewłaściwe detale (głównie gzymsy), nieodpowiednie materiały, niewystarczająca ochrona przed czynnikami pogodowymi, wzrost wilgotności (rys. 4) [6]. Nie powinno się odtwarzać detali,



Fig. 4. Examples of failures caused by original faulty design – a water trap accelerating frost damage (left), an unsuitable combination of materials (centre), staining with copper oxidation products, (photo Z.Slížková, M.Drdáček)  
 Ryc. 4. Przykłady uszkodzeń spowodowanych błędnym pierwotnym projektem – studzienka przyspieszająca uszkodzenia wskutek mrozów (po lewej), niewłaściwe połączenie materiałów (na środku), przebarwienia spowodowane utlenianiem się miedzi (fot. Z.Slížková, M.Drdáček)

ic damage from a failure is always worse than functioning aesthetic change in original appearance (if it is even possible to identify the original shape).

The restoration approach should react to similar problems, and an appropriate theoretical background supporting sound and sustainable solutions should be developed. Again, substantial improvements in approaches call for an international system for gathering data on failures in the field of architectural heritage and conservation. A pilot system has been installed on the ITAM web site [www.arcchip.cz](http://www.arcchip.cz), and potential users are welcome to register.

#### 4. Surface treatment

Surfacing is a very effective way of improving the durability and service life of a structure. Once again, only materials that are highly compatible with the original materials, and with the work as a whole, should be applied. Moreover only materials with adequately certified life time and proven neutrality to the original material. Let us show one example which does not fulfil such requirements and create substantial man made damage due to inappropriate conservation.

Some chemicals that are present in preservatives can induce chemical reactions, which cause damage to wood polymers. Among such chemicals are ammonium sulphate and ammonium phosphates that serve as components of fire retardants. Many roof beams in historical buildings in the Czech Republic have been repeatedly treated with these fire retardants. This treatment brought about damage to the historical wood surface consisting in a release of loose wood fibres, named as "defibring". For instance, the roof beams of the Old Royal Palace within the Prague Castle (Czech Republic) are damaged by defibring, fig. 5. There was adopted a restoration technology starting with measurement of the wood pH value which was 4-5 in dependence on the sampling point. Then the damaged wood was removed from the beam surface with a brush and the beams were treated with a neutralizing solution containing calcium carbonate and boric acid. The composition of the solution was modified so as to match the observed acidity of the wood. The neutralization process resulted in a pH value increase roughly to 5-6. Subsequently the parts were treated with a boric acid based protective agent. As it appears, however, this procedure is inefficient, and in a few years the process of defibring of the wood surface sets in again, [7]. The effect of fire retardants based on ammoni-

których zachowanie i trwałość nie były właściwe, ponieważ skutki uszkodzenia dla estetyki są zawsze gorsze niż funkcjonująca zmiana estetyczna w stosunku do pierwotnego wyglądu (jeśli jest w ogóle możliwe, aby zidentyfikować oryginalny kształt).

Proces restauracji powinien uwzględniać takie sytuacje i należy stworzyć odpowiednie podstawy teoretyczne dla skutecznych i trwałych rozwiązań. Również w tym przypadku zasadniczy rozwój podejścia wymaga międzynarodowego systemu gromadzenia danych o powstałych uszkodzeniach w dziedzinie dziedzictwa architektonicznego i konserwacji. Zainstalowano już system pilotażowy na stronie internetowej ITAM: [www.arcchip.cz](http://www.arcchip.cz), gdzie wszyscy potencjalni użytkownicy mogą się zarejestrować.

#### 4. Praca z powierzchnią

Pokrywanie warstwą powierzchniową to bardzo skuteczna metoda poprawiania trwałości i funkcjonalności konstrukcji. Należy jednak stosować tylko materiały o wysokiej kompatybilności z pierwotnymi materiałami i całością konstrukcji. Ponadto dopuszczalne są tylko materiały o adekwatnie długim okresie trwałości i dowiedzionej neutralności wobec materiałów pierwotnych. Poniżej przedstawiono jeden przykład, w którym wymogi te nie zostały spełnione, co doprowadziło do znacznych szkód wynikających z nieprawidłowej konserwacji.

Niektóre substancje chemiczne, które występują w środkach konserwujących, mogą spowodować reakcje chemiczne szkodliwe dla drewna. Do takich substancji należą siarczki amonu i fosforany amonu, które są składnikami środków spowalniających proces spalania. Wiele dźwigarów dachów w historycznych budowlach w Czechach poddano wielokrotnie konserwacji takimi środkami spowalniającymi proces spalania. Zabiegi te spowodowały uszkodzenia historycznej powierzchni drewna. Uszkodzenie polegało na uwolnieniu luźnych włókien drewna – rozszczepieniu włókien. Na przykład dźwigary dachowe Starego Pałacu Królewskiego na Zamku Praskim w Czechach uległy zniszczeniu wskutek rozszczepianie włókien (rys. 5). Zastosowano technologię restauracji, która rozpoczęła się od pomiaru pH wody, które wynosiło 4-5 w zależności od miejsca badania. Następnie uszkodzone drewno usunięto z powierzchni dźwigara szczotką i zakonserwowano dźwigary neutralizującym roztworem zawierającym węglan wapnia i kwas borny. Skład roztworu modyfikowano tak, aby odpowiadał stwierdzonej kwasności drewna. Proces neutralizacji doprowadził do wzrostu pH do około 5-6. Następnie części zakonserwowano kwasem bornym na bazie środka ochronnego. Okazuje się

um sulphate and ammonium phosphates has been examined extensively by USDA Forest Service, Forest Products Laboratory (e.g. by J. E. Winandy and S. L. LeVan [8]), too, particularly in relation to a decrease in the strength of plywood sheathings and strandboards under conditions of increased temperature and humidity.

Separation of wood fibres (defibring) in the transverse direction can be seen when observing the damaged wood (chips and fibres) under an optical microscope. In chip samples, the damage is associated with the formation of cracks and microcracks and fibres being torn from the wood surface. Examination of the anatomical structure of the damaged wood by electron microscopy revealed that both cellulose and lignin are damaged by chemical reactions. In some cases, mechanical damage of the wood structure due to crystallization pressures is also conceivable. The infrared spectra show that with the increasing level of wood defibring relative lignin content in wood decreases. This relative decrease of lignin was observed in all the samples of the damaged wood taken from all of the observed buildings. On the other hand, a relative carboxyl group content in the wood was found to increase with increasing degree of defibring, apparently as a result of oxidation of hydroxyl groups both in cellulose and in lignin. The decrease of mechanical properties only concerned the surface layers of beams affected by defibring (no deeper than 5 mm in our tests). The reduction of mechanical parameters of the damaged surface layer of the wood was appreciable, sometimes making over 50% in comparison to the non-damaged wood sections (tensile strength along the fibres and hardness).

The results of this investigation give evidence that the fibres on the wood surface mainly consist of cellulose, which is occasionally partly damaged, and that, contrary to a general belief, the observed

jednak, że procedura ta jest nieefektywna i po kilku latach ponownie następuje proces rozszczepienia włókien [7]. Skutki działania środków spowalniającego proces spalania na bazie siarczku amonu i fosforanów amonu zbadało dokładnie Laboratorium Produktów Leśnych amerykańskiej agencji USDA Forest Service (np. J. E. Winandy i S. L. LeVan [8]), szczególnie w kontekście spadku wytrzymałości poszycia ze sklejki i splotów w warunkach podwyższonej temperatury i wilgotności.

Rozchodzenie się włókien drewna (rozszczerpienie) w kierunku poprzecznym można stwierdzić przy obserwacji uszkodzonego drewna (wiórów i włókien) pod mikroskopem optycznym. W próbkach wiórów uszkodzenie wiąże się z powstawaniem rys i mikrorys, a w przypadku włókien chodzi o ich odrywanie od powierzchni drewna. Badanie struktury anatomicznej uszkodzonego drewna pod mikroskopem elektronowym wykazało, że zarówno celuloza, jak i lignina były uszkodzone wskutek reakcji chemicznych. W niektórych przypadkach widoczne były także uszkodzenia mechaniczne struktury wynikające z ciśnienia krystalizacji. Promienie podczerwieni ukazały, że w miarę wzrostu rozszczepiania włókien, spada względna zawartość ligniny w drewnie. Ten względny spadek ligniny zauważono we wszystkich próbkach uszkodzonego drewna pobranych ze wszystkich obserwowanych budynków. Z drugiej strony wykryto wzrost względnej zawartości grup karboksylowych w drewnie w miarę wzrostu rozszczepienia włókien, co widocznie było skutkiem utleniania grup hydroksylowych zarówno w celulozie, jak i w ligninie. Spadek właściwości mechanicznych dotyczył nie tylko powierzchniowych warstw dźwigarów, w których doszło do rozszczepienia włókien (w naszych testach – nie głębiej niż 5 mm). Obniżenie parametrów mechanicznych uszkodzonych warstw powierzchniowych było znaczne, czasami sięgało nawet 50%

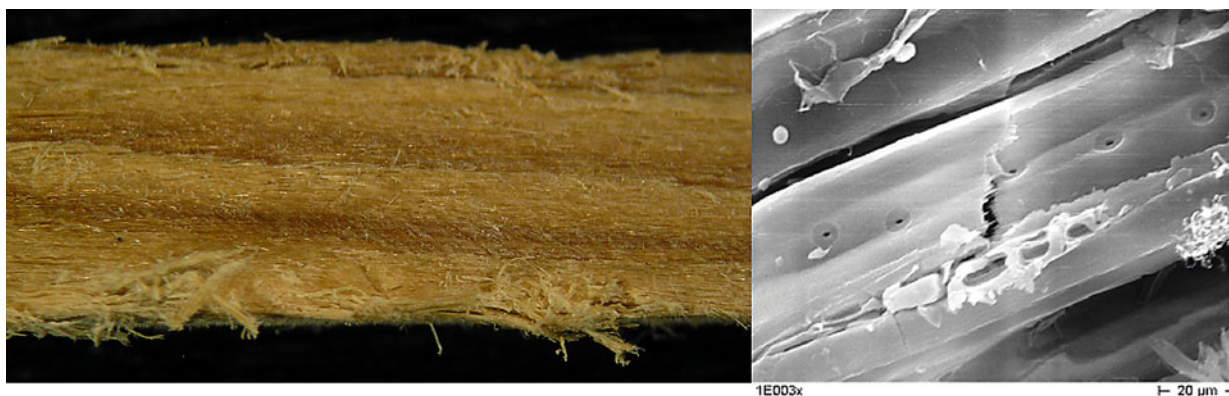


Fig 5. Surface of defibred wood (a tensile test specimen – left) and separation of cells and a cell wall crack in the chip sample taken from defibred surface

Rys 5. Rozszczepienie włókien drewna (w próbie rozciągania – po lewej) oraz oddzielanie się komórek i pęknięcie ściany komórek w próbce wiórów pobranej z rozszczepionej powierzchni

increase in wood acidity is not due to the previous application of fire retardants and subsequent acid hydrolysis; instead, this effect seems to be due to oxidation of the structural components of wood. Oxidation of lignin appears to be the major mechanism of wood defibring. This fact also explains why the current remedial action consisting in the application of a neutralizing solution is inefficient.

### 5. Combined inappropriate conservation with neglected maintenance

Several examples from recent damage on cultural heritage monuments due to natural disaster effects clearly show a very close dependence of the extent of damage on the previous restoration interventions and the health condition of the damaged monument, [9].

For example, observations of the post-earthquake effects carried out in four historic centres in Umbria and, for purposes of comparison, in two historic centres in Liguria showed that building collapses had occurred mainly due to *lack of maintenance* and due to *incompatibility of the techniques adopted for repair work*. Heavy concrete beams hammered the walls, tie beams introduced into the walls caused them partially to collapse, injections failed because the walls were not injectable. This phenomenon was recorded by L. Binda and at other Universities (Padua, Genova, etc.) in an extensive survey extended to the historic centres of Campi, Castluccio, Montesanto and Roccanolfi in Umbria.

Similarly, Ch. Schmuckle-Mollard referred about a powerful storm with wind velocities up to 180 km/h raged through France on December 26<sup>th</sup>, 1999 and caused great devastation to the architectural heritage and to forests from Brittany to Alsace. The Paris region was particularly badly hit, with the worst damage to the large 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> century Paris hospital complexes, which were in some cases *poorly maintained*.

The third author analysed damage on historic objects in the Château Veltrusy park near Prague which were severely damaged by the flood in 2002. There was remarkable difference between objects which had been properly restored before the flood, e.g. a stone bridge with Sphinx and objects which

w porównaniu z nieuszkodzonymi częściami drewna (wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien i twardość).

Wyniki tych badań świadczą, że włókna powierzchni drewna składają się głównie z celulozy, która jest czasami częściowo uszkodzona oraz że wbrew powszechnym opiniom, zaobserwowany wzrost kwasowości drewna nie wynika z zastosowania najpierw substancji spowalniających proces spalania, a późniejszej hydrolizy kwasu; wydaje się natomiast, że efekt ten wynika z utleniania komponentów drewna. Utlenianie ligniny wydaje się być głównym mechanizmem rozszczepiania włókien drewna. Fakt ten wyjaśnia także, dlaczego obecne działania naprawcze polegające na aplikacji roztworu neutralizującego są nieskuteczne.

### 5. Połączenie niewłaściwej konserwacji z zaniedbaniami w utrzymaniu

Kilka niedawnych przykładów uszkodzenia zabytków dziedzictwa kulturowego przez klęski żywiołowe pokazuje wyraźnie zależność rozmiaru zniszczeń od wcześniejszych interwencji w celu restauracji oraz stanu uszkodzonego budynku [9].

Na przykład obserwacja skutków trzęsienia ziemi dla czterech historycznych centrów Umbrii oraz ich porównanie z dwoma historycznymi centrami w Ligurii wykazała, że budynki ulegały zniszczeniu głównie z powodu *braku stałej konserwacji* oraz *niekompatybilności technik przyjętych w pracach naprawczych*. Ciężkie betonowe dźwigary miażdżyły ściany, belki wiązarów wprowadzone w ściany powodowały ich częściowy upadek, zastosowane w murach iniekcje były nieskuteczne. To zjawisko zaobserwowane przez L. Binda i inne uniwersytety (Padwa, Genewa, etc.) w czasie obszernych badań obejmującego historyczne centra Campi, Castluccio, Montesanto i Roccanolfi w Umbrii.

Również Ch. Schmuckle-Mollard opisywali potężną burzę, w której wiatr osiągał prędkość do 180 km/h we Francji 26. grudnia 1999. Burza ta spowodowała potężne zniszczenia dziedzictwa architektonicznego i lasów od Bretanii do Alzacji. Szczególnie ucierpiał rejon Paryża, a zwłaszcza ogromne kompleksy szpitalne w stolicy Francji, pochodzące z XVIII i XIX w., które w niektórych przypadkach były *źle utrzymane*.

Trzeci autor analizował uszkodzenia obiektów historycznych w parku Château Veltrusy niedaleko Pragi, który bardzo ucierpiał wskutek powodzi w 2002 r. Widoczna była ogromna różnica między obiektami, które przed powodzią poddały właściwej konserwacji, np. kamiennym mostem ze Sfinksem i obiektami, które zaniedbano lub restaurowa-

were neglected or incorrectly restored, e.g. sculptures on the Château monumental stairs, fig. 6. Even though the bridge was totally immersed in a high water stream, it needed to be only cleaned with water and low pressure steam. In 2004 some hair cracks and slight mortar disintegration were visible in masonry joints. After repeated flooding in 2006 the bridge was slightly restored (colour retouch, plaster repair). On the other hand, the sculptures were repaired long before the 2002 flood in a way which applied Portland cement and polyvinylacetate consolidation which substantially decreased water and vapour permeability and kept water inside the material. This increased contamination by salts, biocolonization and surface detachment and disintegration patterns up to 3 m height. Freezing, moisture dilation and crystallization damage required a very substantial restoration intervention.

no nieprawidłowo, np. rzeźby przy monumentalnych schodach pałacu (rys. 6). Pomimo iż most był całkowicie przykryty przez wodę, wymagał tylko oczyszczenia wodą pod niskim ciśnieniem. W 2004 r. w spoinach muru pojawiły się maleńkie rysy i pewne oznaki rozpadu spoiwa. Po kolejnej powodzi w 2006 r. przeprowadzono niewielkie prace restauracyjne przy moście (odnowienie koloru, naprawa części gipsowych). Natomiast rzeźby remontowano długo przed 2002 r. metodą z użyciem cementu portlandzkiego i konsolidacji poliwinylacetalu, co znacznie obniżyło przepuszczalność wody i pary, powodując zatrzymywanie wody wewnątrz materiału. To zwiększyło zanieczyszczenie solami, biokolonizację oraz odpadanie części powierzchni i zniszczenie zdobień aż do wysokości 3 m. Zamrażanie, rozszerzanie pod wpływem wilgoci i krystalizacja spowodowały szkody, które wymagały poważnej interwencji.



Fig. 6. Restored bridge before flood (left), damaged sandstone sculptures (right) with apparent corrosion defects  
Ryc. 6. Odnowiony most przed powodzią (po lewej), uszkodzone rzeźby z piaskowca (po prawej)  
z widocznymi uszkodzeniami korozyjnymi

## 6. Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge support from Institutional research plan grant AV0Z 20710524, the Czech Grant Agency GA ČR grant No.103/07/1091 and the “CHEF” Project of the 6<sup>th</sup> Framework Programme on Research and Technology Development of the European Commission (Contract No.044251).

## 6. Podziękowania

Autorzy dziękują za wsparcie w ramach grantu badań instytucjonalnych AV0Z 20710524 od Czeskiej Agencji ds. Grantów GA ČR, grant No.103/07/1091 oraz projektu “CHEF” z 6. Programu Ramowego w zakresie Badań i Rozwoju Technologicznego Komisji Europejskiej (Umowa nr 044251).

## References • Literatura

- [1] Delgado Rodrigues J., *Assessing compatibility in conservation of masonry structures on archaeological sites*. In: Proceedings Safeguarded Cultural Heritage (SAUVEUR Project – M. Drdáký, M. Chapuis (eds.)), Vol.1, ISBN 978-80-86246-31-4 (Vol. 1), ISBN 978-80-86246-29-1 all, ITAM 2007, 171-180.
- [2] Sasse, H. R. and Snethlage, R., *Methods for the Evolution of Stone Conservation Treatments*, Report of the Dahlem Workshop on “Saving our architectural heritage: the conservation of historic stone structures.” Edited by N. S. Baer and R. Snethlage, John Wiley & Sons Ltd., 1997, 223-243.

- [3] Peroni, S., Tersigni, C., Torraca, G., Cerea, s., Forti, M., Guidobaldi, F., Rossi-Doria, P., De Rege, A., Picchi, D., Pietrafitta, F. J. and Benedetti, G., *Lime Based Mortars for the Repair of Ancient Masonry and Possible Substitutes*, Proceedings of Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Buildings, ICCROM, 1981, 63-100.
- [4] Drdácký, M., Beran, P., *On compatible dilation limits*, International Journal of Architectural Heritage, (in print), 2009.
- [5] Drdácký, M., Slížková, Z., *Calcium hydroxide based consolidation of lime mortars and stone*, In: Proceedings of the Int. Symp. „Stone consolidation in cultural heritage“ – J. Delgado-Rodrigues, J. M. Mimoso (eds.), ISBN 978-972-49-2135-8, LNEC, Lisbon, May 2008, 299-308.
- [6] Drdácký, M., Slížková, Z., *Interventions to sustain and protect the originality of historical structures*, in: Proceedings of the International Seminar “Theory and Practice in Conservation – a tribute to Cesare Brandi” (eds. J. Delgado Rodrigues & J.M. Mimoso), ISBN 972-49-2073-9, Lisbon, May 4-5, 2006, LNEC RNI 65, Lisbon, 2006, 243-252.
- [7] Kučerová, I., Ohlidalová, M., Frankl, J., Kloiber, M., Michalcová, A. (2008): Defibring of historical roof beam caused by ammonium sulphate and ammonium phosphates based fire retardants.
- [8] Le Van, S. L., Winandy, J. E., *Effects of fire retardant treatments on wood strength: a review*, Wood and Fiber Science, 22(1), 1990, 113-131.
- [9] Drdácký, M., Binda, L., Herle, I., Lanza, L.G., Maxwell, I., Pospíšil, S.: *Protecting the Cultural Heritage From Natural Disasters*, Study of the European Parliament IP/B/CULT/IC/2006\_163, PE 369.029, p. 100, February 2007.

---

\*Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Science of the Czech Republic  
Instytut Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej Akademii Nauk Republiki Czeskiej

\*\*Department of Chemical Technology of Monument Conservation, Institute of Chemical Technology Prague, Czech Republic  
Wydział Technologii Chemicznej w Konserwacji Zabytków, Instytut Technologii Chemicznej, Praga, Republika Czeska

---



Arkadiusz Kwiecień\*

# Polimerowe złącze podatne – innowacyjna metoda naprawy i konserwacji obiektów zabytkowych

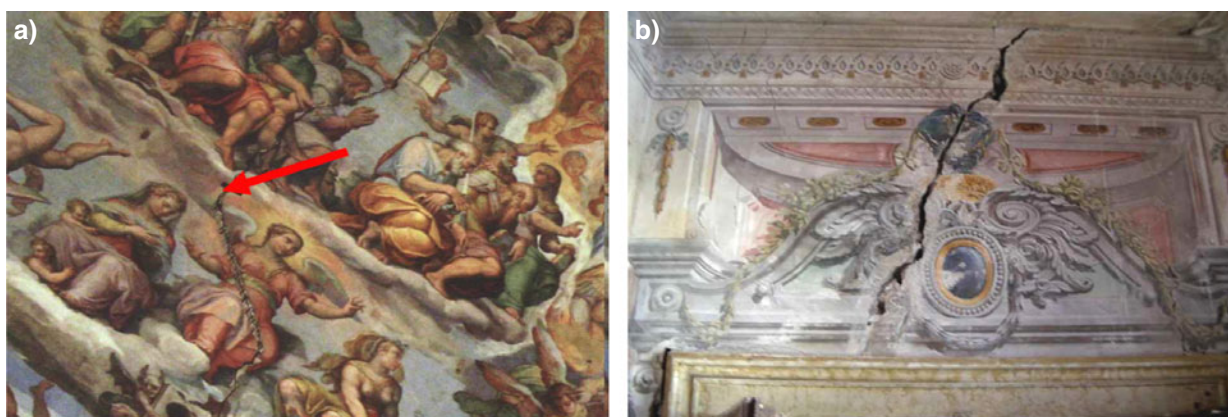
## Polymer flexible joint – innovative method of repair and conservation of heritage objects

### 1. Wprowadzenie

Naprawa pękniętych budynków zabytkowych o konstrukcji murowej jest połączona w wielu przypadkach z konserwacją fresków wykonanych na ścianach i sklepieniach. Wymagają one podłoża, pozwalającego na bezpieczne użytkowanie pod względem estetycznym i mechanicznym. Niestety, uszkodzenia w konstrukcjach murowych powstają najczęściej w wyniku osiadań, oddziaływań dynamicznych, destrukcji materiałowej lub zastosowania niewłaściwych technik naprawy [1], a powstające pęknięcia dewastują dzieła sztuki (rys. 1).

### 1. Introduction

Repair of cracked historical masonries is connected in many cases with conservation of frescos made on walls and vaults. They require of support that allows for safe exploitation from aesthetic and mechanical point of view. Unfortunately, damages in masonry structures appear most often caused by settlement, dynamic action, structural material deterioration or inappropriate retrofitting techniques [1] and appearing cracks devastate works of art (fig. 1).



Rys. 1. Uszkodzenia fresków: (a) pęknięta kopuła katedry Santa Maria del Fiore we Florencji, (b) pęknięta ściana Palazzo del Torso w Udine

Fig. 1. Damages of frescos: (a) the cracked dome of the cathedral Santa Maria del Fiore in Florence, (b) the cracked wall of the Palazzo del Torso in Udine

Gdy pęknięcie podzieli element konstrukcyjny na dwie części, pracują one oddzielnie w nowym stanie naprężenia i statycznej równowagi, będących konsekwencją redystrybucji naprężeń. Pęknięta kon-

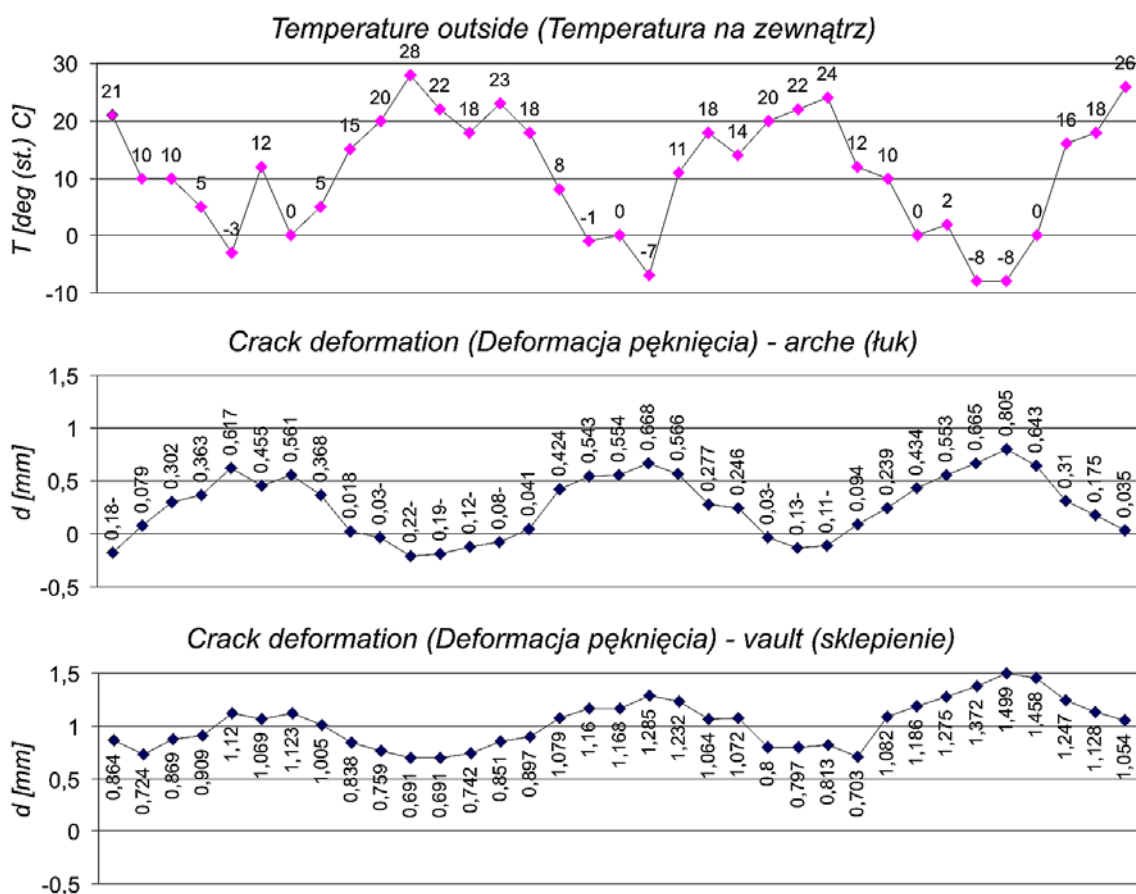
When the crack divides a member into two parts, they work separately in new stress equilibrium and static balance being a consequence of stress redistribution. Such cracked masonry is characterized by

struktura cechuje się obniżoną odpornością na dodatkowe obciążenia, na które budynek był odporny przed powstaniem uszkodzeń. Rozdzielone pęknięciem części konstrukcyjne mogą się rozsuwać pod wpływem cyklicznie powtarzanych osiadań, zmian temperatury i drgań o niewielkiej intensywności. Takie zachowanie było obserwowane w zabytkowym budynku w Krakowie [2], gdzie rozwartości rys zmieniały się pod wpływem sezonowych fluktuacji temperatury i poziomu wód gruntowych (rys. 2), powiększając rozwartość pęknięcia. Tego rodzaju ruchy wymagają interwencji eliminującej wzajemne przemieszczenia lub ograniczające je do akceptowalnego poziomu.

Podjęmując naprawę, należy zapewnić konstrukcji globalną stabilność przez przywrócenie połączeń pomiędzy rozdzielonymi elementami konstrukcyjnymi. Tradycyjnie w naprawie stosowane są metody usztywniające konstrukcję [3], zwykle uszkadzające tynki. W przypadku obiektów zabytkowych z freskami taki rodzaj naprawy jest nieodpowiedni. Iniekcja pęknięć zaprawami mineralnymi lub epoksydowymi nie zwiększa istotnie odporności [4] (energii zniszczenia) z powodu kruchego zachowania [5] i koncentracji naprężeń [6].

decreased resistance to the action of additional loads, to which the building was resistant prior to damage. Separated parts of the cracked structure can draw apart under cyclic repeated settlements, temperature changes and vibrations of even not very high intensity. This process was observed in a historical masonry building in Cracow [2], where crack widths changed with fluctuation of season temperature and ground water level (fig. 2) permanently increasing crack dimensions. Such movements require interventions that eliminate displacements or limit them up to an acceptable level.

Undertaking repair of a cracked masonry, it is necessary to allow the structure to manifest a satisfactory global stability, by improving the connections between the disrupted masonry elements. Traditionally, stiffening repair methods are used in retrofitting of masonries [3] but they cause usually destruction of finishing plasters. In the case of historical objects, especially covered with frescos, this kind of repair is inadequate. Injecting in cracks of mineral or epoxy grouts do not improve significantly the masonry capacity [4] (damage energy) because of brittleness behaviour [5] and of stress concentration [6].



Rys. 2. Comiesięczne pomiary zmian rozwarcia pęknięć na elementach murowych budynku zabytkowego, wywołane sezonowymi zmianami temperatury i poziomu wód gruntowych [2]

Fig. 2. Monthly measurements (for 2.5 year) of crack width changes at masonry elements in historical building, caused by season fluctuation of temperature and ground water level [2]

## 2. Innowacyjna naprawa przy użyciu polimerowego złącza podatnego

Metoda Złączy Podatnych, jako innowacyjna metoda naprawy wykorzystująca iniekcję polimerową (metoda zarejestrowana w Urzędzie Patentowym pod numerem P-368173), była testowana w laboratorium oraz in situ przez ostatnie lata [5], [7], [8]. Jej skuteczność wynika z wprowadzenia polimerowego złącza naprawczego o większej odporności na rozciąganie i ścinanie oraz odkształcalności i ciągliwości, z których wynika większa zdolność do przenoszenia obciążeń (energii zniszczenia). Odkształcalność złącza podatnego pod obciążeniem zapewnia jednorodny rozkład naprężeń wzdłuż połączenia na całej powierzchni kontaktu, wyrównuje deformacje i tym samym ogranicza rozwój koncentracji naprężeń. Wykorzystywana w złączu podatnym masa poliuretanowa (właściwie dobierana) pracuje z materiałami murowymi z właściwym dopasowaniem cech mechanicznych, wypełniając wymagania stawiane materiałom iniekcyjnym [9]. Właściwości polimeru pm45, budującego złącze podatne w popękanej konstrukcji murewej (rys. 3), zaprezentowano w pracy [7].



Rys. 3. Polimerowe złącze podatne wykonane w pękniętym budynku murowanym z cegieł  
Fig. 3. Polymer flexible joint constructed in a cracked masonry building

Polimer pm45 może być wykorzystywany zwłaszcza w złączach podatnych pracujących w warunkach cyklicznie zmiennych odkształceń. Tego rodzaju warunki występują w Wenecji, gdzie fluktuacje poziomu wody spowodowały uszkodzenia w formie pęknięć. Metody naprawy potrzebne w tym regionie powinna cechować zasada minimum interwencji w konstrukcję zabytkową i zdolność do przeniesienia destrukcyjnych deformacji wywołanych osiadaniem i działaniem temperatury (rys. 2). Przykład uszkodzonego obiektu wymagającego opisanej interwencji, możliwego do naprawy przy użyciu polimerowego złącza podatnego, przedstawiono na rys. 4.

Polimer aplikowany iniekcyjnie (rys. 3) w pęknięcia o odpowiednio przygotowanej powierzchni wewnętrznej łączy elementy murowe, wprowadzając w konstrukcji w trakcie deformacji umiarkowane siły, powstrzymujące dalszą destrukcję. Odkształcalność polimeru zabezpiecza obiekt zabytkowy przeciw powstawaniu nowych uszkodzeń w otoczeniu pierwotnego pęknięcia, co odnotowano w przeszło-

## 2. Innovative repair intervention using of polymer flexible joints

The Flexible Joint Method, as innovative repair method using of polymer injection (this method is registered in the Patent Department with No. P-368173), has been tested in laboratory and in situ tests for last years [5], [7], [8]. Efficiency of the method follows from introducing of the polymer repaired joint of greater tensile and shear resistance, deformability and ductility and thus greater bearing capacity (damage energy). The deformation of the flexible joint under load assures the uniform distribution of stress along the lap joint over the total contact surface, equalises deformation and thus limits development of new stress concentrators. Polyurethane mass used in polymer flexible joints (selected properly) works together with the masonry materials with proper “compatibility” from the mechanical point of view and fulfils requirements set for injecting grouts presented in [9]. Properties of the polymer pm45, using as inject in construction of flexible joints in cracked masonry (fig. 3), were presented in [7].

The use of the polymer pm45 is dedicated to flexible joints working in conditions of cyclically changing deformation. Such conditions occur in cracked masonries in Venice, where fluctuations of water level caused damages in form of cracks. Repair methods needed in this area require of minimum intervention in historical structures and of capacity allowing withstanding influences of destruction deformations caused by settlements and acting of temperature (fig. 2). An example of damaged object requiring of such intervention, possible to repair using of polymer flexible joint, is presented in fig. 4.

The polymer mass applied by injection (fig. 3) in the cracks of specially prepared inner surfaces bonds masonry elements, introducing moderate forces in masonry during deformation process, stopping further destruction. Deformability of polymer protects historical masonry against appearance of new damages in surrounding of primary cracks, what was occurring in the past

ści po naprawach przy użyciu sztywnych i kruchych zapraw mineralnych lub epoksydowych [7], a jest niedopuszczalne w przypadku obiektów zabytkowych pokrytych freskami (rys. 1).

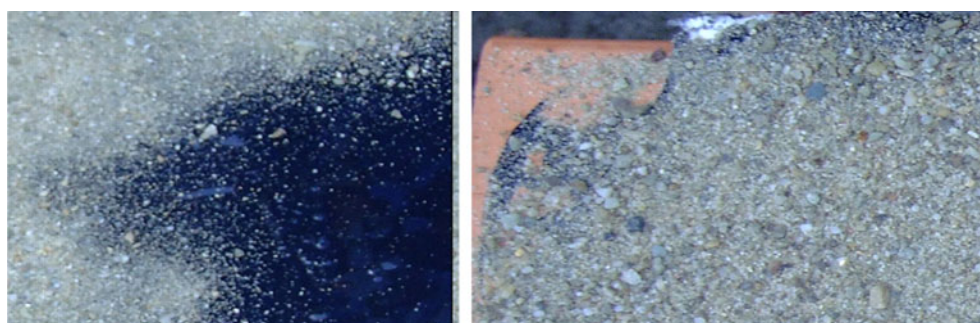
after intervention with stiff and brittle mineral or epoxy grouts [7] and what is not allowed in cases of historical masonries covered with frescos (fig. 1).



Rys. 4. Pęknięty mur w Wenecji, odpowiedni do naprawy polimerowym złączem podatnym  
Fig. 4. Cracked masonry wall in Venice, adequate for injection using of polymer flexible joint

Z punktu widzenia konserwacji wymagane jest pokrycie podatnego złącza podatnego specjalnymi materiałami i/lub farbami, maskującymi miejsce uszkodzenia i przywracającymi pierwotny wygląd zabytkowej powierzchni (rys. 1). W przypadku polimeru, możliwe jest posypanie świeżej powierzchni piaskiem dla zapewnienia przyczepności materiałom konserwatorskim (rys. 5) lub innym materiałem rodzimym, np. okruskami starych cegieł albo kamieni, zapewniając jednakowy wygląd powierzchni. Tak wykończona powierzchnia złącza polimerowego pozwala na nawet znaczącą deformację, rozłożoną jednorodnie na całej powierzchni złącza pokrytego farbami, czyniąc te ruchy niewidocznymi (brak pęknięć).

From the conservation point of view, it is required to cover repaired flexible joint with special materials and/or paintings masking the place of damage and restoring the primary view of historical surface (fig. 1). In the case of polymer it is possible to strew the fresh surface of flexible joint with sand to assure adherence of conservation materials (Fig 5) or with other original materials like gains of old bricks or stones to assure the same surface quality. Such restored surface of polymer joint allows for even significant deformation, distributed uniformly at the whole joint surface covered with paintings, making the movements invisible (cracks not appear).



Rys. 5. Pokrycie polimeru posypką piaskową pod wykończenie konserwatorskie powierzchni  
Fig. 5. Covering of polymer with sand for preparation of masking conservative surface quality

### 3. Porównanie między pracą kruchych (zaprawa) i odkształcalnych (polimer) połączeń

Aby porównać pracę kruchych i odkształcalnych połączeń (zapraw) w prostych testach rozciągania, ściskania i ścinania, przygotowano próbki o niewielkich gabarytach. W testach użyto typowych polskich cegieł pełnych o wymiarach  $65 \times 120 \times 250$  mm ( $h \times b \times l$ ) o wytrzymałości na ściskanie  $f_b = 15$  MPa. Połączenia pomiędzy cegłami wykonano z dwóch rodzajów materiałów, o grubości 10 mm dla każdego z nich. Materiałem kruchym była zaprawa murarska klasy M7 (o wytrzymałości na ściskanie  $f_m = 7.2$  MPa), a materiałem odkształcalnym polimer pm45 (opisany w pracy [7]). Badane próbki pokazano na rys. 6, 7, 8. Wymiary warstw łączących były następujące: testy rozciągania i ściskania – jedna warstwa  $10 \times 120 \times 125$  mm; testy ścinania – dwie warstwy  $10 \times 120 \times 200$  mm. Aplikację polimeru poprzedzono użyciem primera. Próbki obciążano z prędkością przyrostu siły 10 N/s.

W każdym teście badano trzy próbki z zaprawą M'10'1, M'10'2, M'10'3 (przy ściskaniu tylko dwie) i z polimerem pm45'10'1, pm45'10'2, pm45'10'2. Wyniki w formie krzywych siła-przemieszczenie (w podobnej skali), otrzymane podczas rozciągania, ściskania i ścinania pokazano na rys. 6, 7, 8. Takie przedstawienie wyników pozwala porównać pracę cegieł połączonych różnymi zaprawami (cementowo-wapienną i polimerem) i umożliwić inżynierom przewidzenie jak złącze będzie pracowało w rzeczywistej konstrukcji. Porównanie wyników przeprowadzono dla: maksymalnej siły, maksymalnego przemieszczenia odpowiadającego maksymalnej sile, wartości energii zniszczenia (praca potrzebna do zniszczenia próbki) i wartości całkowitej energii (suma energii zniszczenia i energii po zniszczeniu – będącej wskaźnikiem bezpieczeństwa połączenia). W obliczeniach energii z krzywych zastosowano całkowanie numeryczne metodą trapezów. Wyniki otrzymane z wykresów dla rozciągania, ściskania i ścinania zamieszczono w tab. 1, 2, 3. W wyniku testów stwierdzono dobrą przyczepność polimeru pm45 do cegieł – obserwowano kohezyjną postać zniszczenia złącza polimerowego (rys. 6).

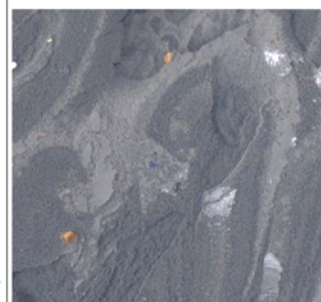
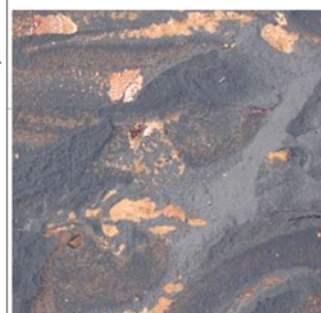
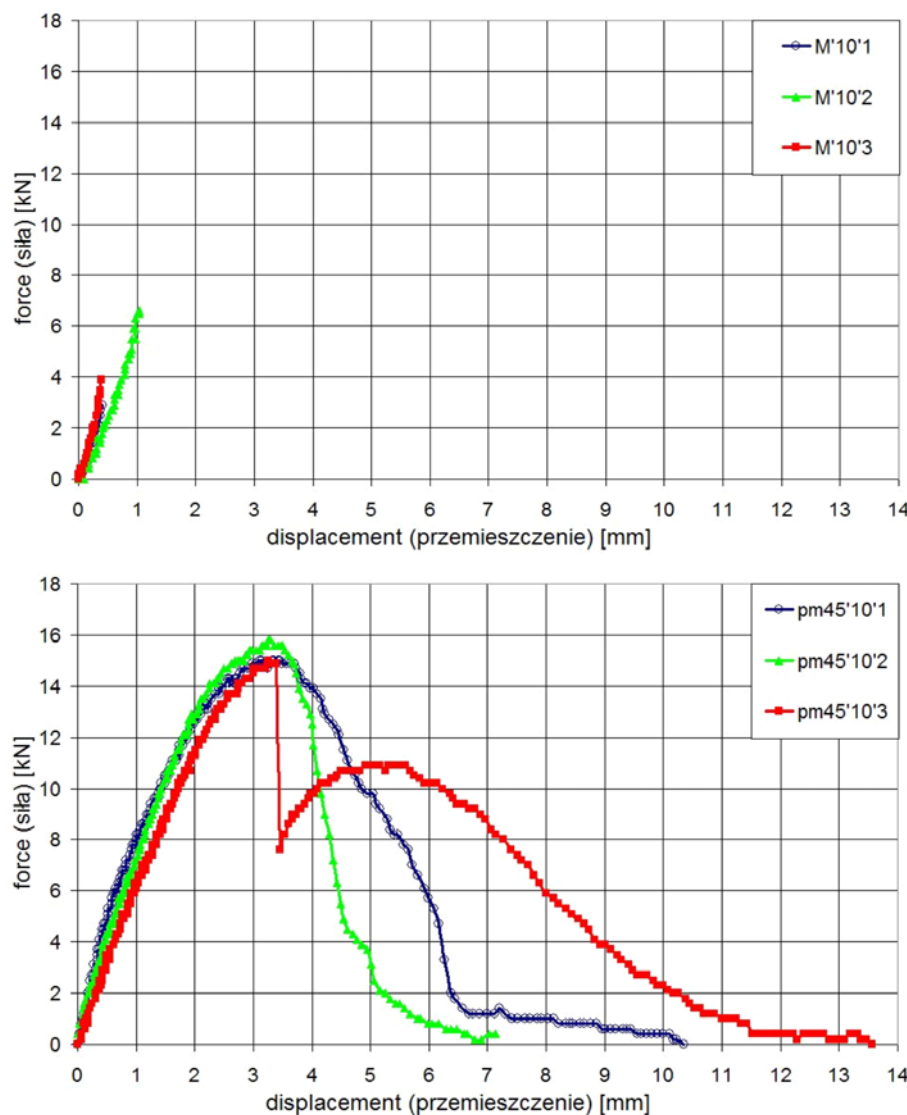
Porównanie wyników rozciągania (rys. 6) wskazuje, że użyty polimer prezentuje znacząco większe wartości średnie charakterystyk niż zaprawa (tab. 1). Są one większe ponad 3 razy w przypadku maksymalnej siły, ponad 5 razy w przypadku maksymalnego przemieszczenia, ponad 8 razy w przypadku energii zniszczenia i ponad 16 razy w przypadku energii całkowitej. Ponadto, sztywność obu złą-

### 3. Comparison between work of brittle (mortar) and deformable (polymer) adhesives

To compare work of brittle and deformable adhesives (grouts) in the simple tension, compression and shear tests, specimens of small dimension were prepared. In the tests the typical Polish solid clay bricks of dimension  $65 \times 120 \times 250$  mm ( $h \times b \times l$ ) were used. The masonry units were characterized with compressive strength  $f_b = 15$  MPa. Joints between brick elements were made of two kinds of materials and of 10 mm joints thickness in each case. As brittle material masonry mortar of strength class M7 (with compressive strength  $f_m = 7.2$  MPa) and as deformable material the polymer pm45 (characterized in [7]) were applied. Tested specimens are presented in fig. 6, 7, 8. Dimensions of adhesive layers were as follows: tension and compression tests – one layer  $10 \times 120 \times 125$  mm; shear tests – two layers  $10 \times 120 \times 200$  mm. In cases of polymer application the special primer was used. Loading of specimens was with force control of speed 10 N/s.

In each test three specimens with mortar M'10'1, M'10'2, M'10'3 (during compression only two) and with polymer pm45'10'1, pm45'10'2, pm45'10'2 were investigated. Results in form of curves force-displacement (in the similar scale), obtained during tension, compression and shear tests, are presented in fig. 6, 7, 8 respectively. Such presentation of results allow comparing work of masonry units joined with different mortars (lime-cement and polymer) and predicting the engineers how the joint will work in real structures. Comparison of the results was carried out for: the maximum carrying force, the maximum displacement corresponding to the maximum carrying force, the value of damage energy (work needed for destruction of specimen) and the value of total energy (the sum of damage energy and post damage energy – being the safety factor of joint). For calculation of energy from the curves, the numerical integration of the trapezoidal rule was applied. Result obtained from diagrams of tension, compression and shear tests are presented in tab. 1, 2, 3 respectively. The tests showed good adhesion to bricks of the pm45 polymer – the cohesion form of damage were observed (fig. 6).

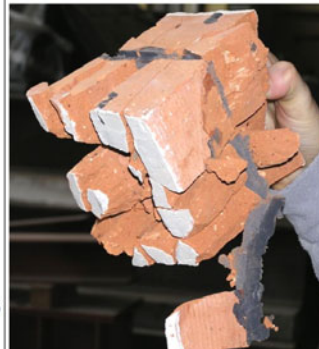
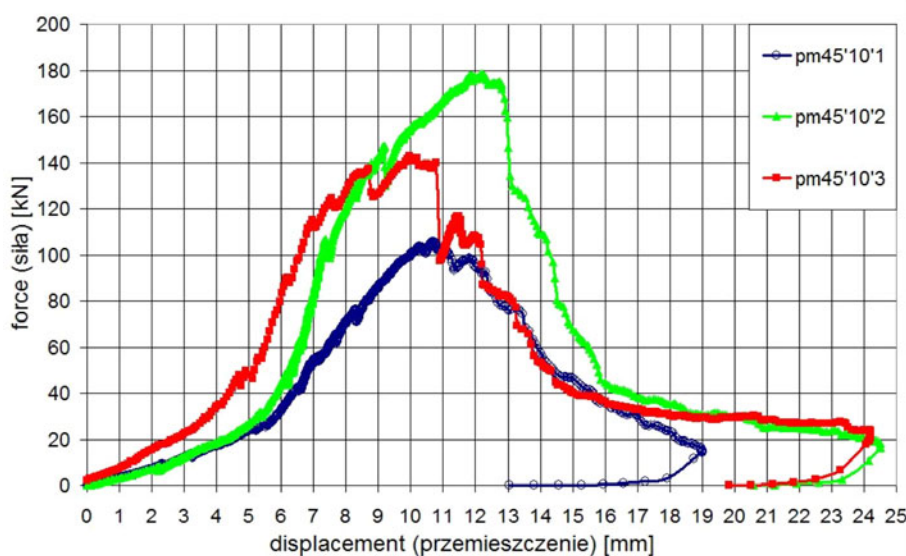
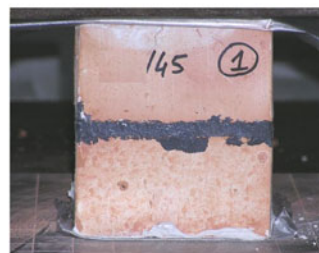
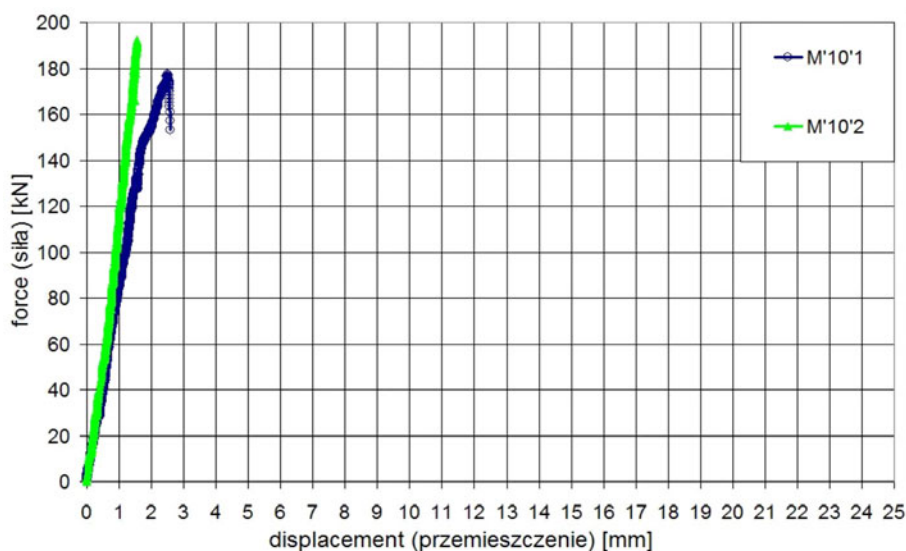
Comparison of tension test results (fig. 6) indicates that the used polymer presents significantly higher mean values of compared characteristics than mortar (tab. 1). They are over 3 times higher in the case of the maximum carrying force, over 5 times higher in the case of the maximum displacement, over 8 times higher in the case of damage energy



Rys. 6. Krzywe siła-przeszyczenie otrzymane podczas rozciągania cegieł połączonych zaprawą (M) i polimerem (pm45) oraz widok testowanej próbki (postać zniszczenia)  
 Fig. 6. Force-displacement curves obtained during tension tests of bricks joined with mortar (M) and with polymer (pm45) and also view of testing specimen (form of damage)

Tab. 1. Porównanie wartości charakterystycznych krzywych siła-przeszyczenie przy rozciąganiu  
 Comparison of characteristic values of the force-displacement curves obtained during tension tests

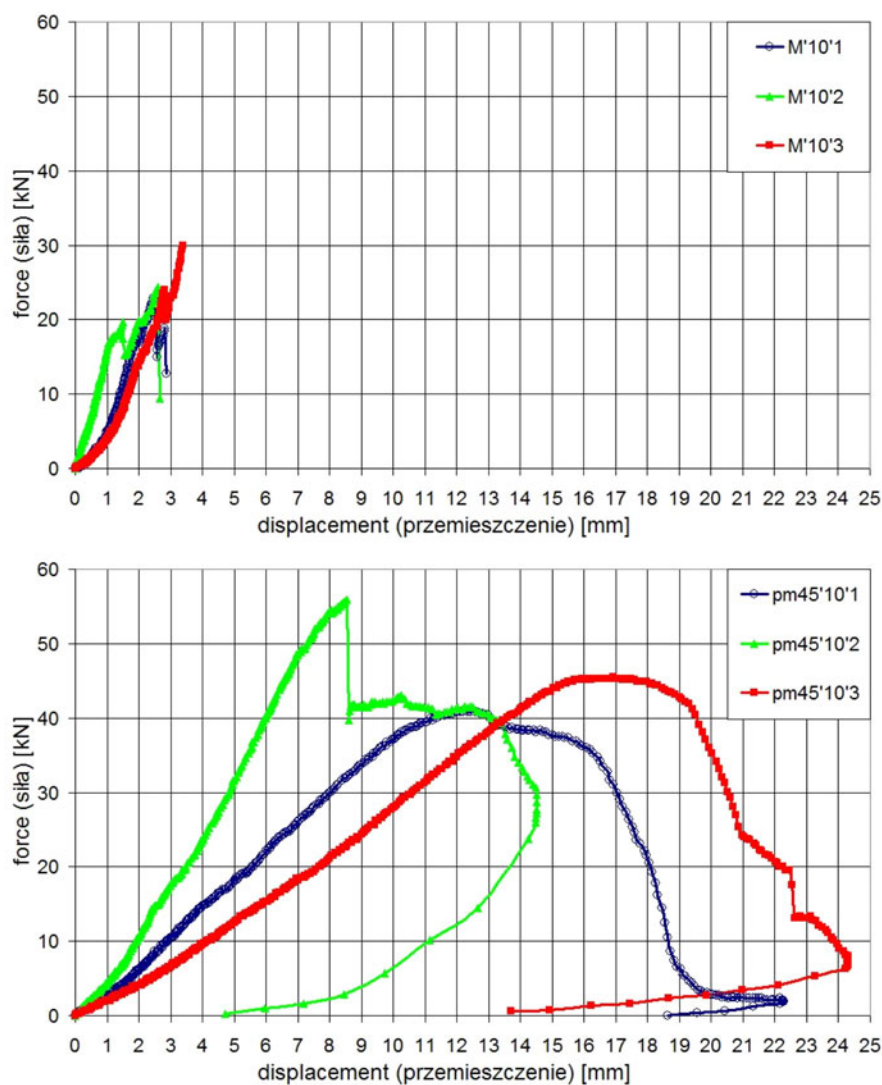
Rozciąganie <i>Tension</i>	Cegły połączone zaprawą (M) <i>Mortar bonded specimen (M)</i>			Cegły połączone polimerem (pm) <i>Polymer bonded specimen (pm)</i>		
	M'10'1	M'10'2	M'10'3	pm45'10'1	pm45'10'2	pm45'10'3
Max. siła <i>Max. force</i> [kN]	2.9	6.6	3.9	15.0	15.8	15.0
Max. przeszycczenie <i>Max. displacement</i> [mm]	0.4	1.0	0.4	3.5	3.3	3.3
Energia zniszczenia <i>Damage energy</i> [1J = 1Nm]	0.5	2.8	0.6	35.6	33.3	29.1
Całkowita energia <i>Total energy</i> [1J = 1Nm]	0.5	2.8	0.6	64.0	48.0	78.0



Rys. 7. Krzywe siła-przemieszczenie otrzymane podczas ściskania cegieł połączonych zaprawą (M) i polimerem (pm45) oraz widok testowanej próbki (postać zniszczenia)  
 Fig. 7. Force-displacement curves obtained during compression tests of bricks joined with mortar (M) and with polymer (pm45) and also view of testing specimen (form of damage)

Tab. 2. Porównanie wartości charakterystycznych krzywych siła-przemieszczenie przy ściskaniu  
 Comparison of characteristic values of the force-displacement curves obtained during compression tests

Ściskanie Compression	Cegły połączone zaprawą (M) Mortar bonded specimen (M)		Cegły połączone polimerem (pm) Polymer bonded specimen (pm)		
	M'10'1	M'10'2	pm45'10'1	pm45'10'2	pm45'10'3
Max. siła Max. force [kN]	177.2	192.1	105.7	177.8	142.7
Max. przemieszczenie Max. displacement [mm]	2.5	1.6	10.7	12.3	9.9
Energia zniszczenia Damage energy [1J = 1Nm]	251	139	425	862	644
Całkowita energia Total energy [1J = 1Nm]	260	139	870	1555	1357



Rys. 8. Krzywe siła-przemieszczenie otrzymane podczas ścinania cegieł połączonych zaprawą (M) i polimerem (pm45) oraz widok testowanej próbki (postać zniszczenia)  
 Fig. 8. Force-displacement curves obtained during shear tests of bricks joined with mortar (M) and with polymer (pm45) and also view of testing specimen (form of damage)

Tab. 3. Porównanie wartości charakterystycznych krzywych siła-przemieszczenie przy ścinaniu  
 Comparison of characteristic values of the force-displacement curves obtained during shear tests

Ścinanie Shear	Cegły połączone zaprawą (M) Mortar bonded specimen (M)			Cegły połączone polimerem (pm) Polymer bonded specimen (pm)		
	M'10'1	M'10'2	M'10'3	pm45'10'1	pm45'10'2	pm45'10'3
Max. siła Max. force [kN]	22.9	24.4	29.9	41.0	55.9	45.3
Max. przemieszczenie Max. displacement [mm]	2.5	2.6	3.4	12.5	8.5	17.2
Energia zniszczenia Damage energy [1J = 1Nm]	22.1	37.6	38.9	282	233	412
Całkowita energia Total energy [1J = 1Nm]	29.0	38.6	38.9	490	472	612



czy przy rozciąganiu jest podobna, co świadczy o kompatybilności mechanicznej porównywanych materiałów. Testy rozciągania potwierdzają, że polimerowe złącze naprawcze jest zdolne do polepszenia w sposób znaczący nośności pękniętej konstrukcji murowej.

Porównanie wyników ściskania (rys. 7) pokazuje, że użyty polimer prezentuje znacząco większe wartości średnie charakterystyk niż zaprawa (tab. 2), z wyjątkiem maksymalnej siły, przy której wartość dla polimeru stanowi 1 wartości dla zaprawy. W pozostałych przypadkach charakterystyki polimeru są większe ponad 5 razy w przypadku maksymalnego przemieszczenia, ponad 3 razy w przypadku energii zniszczenia i ponad 3 razy w przypadku energii całkowitej. Test ściskania cegieł połączonych zaprawą pokazał całkowity rozpad próbki po przekroczeniu wytrzymałości granicznej. Z drugiej strony, cegły pozostały razem mocno połączone polimerem pm45 nawet po przekroczeniu wytrzymałości granicznej (fig. 7). Ponadto, sztywność złącza polimerowego przy ściskaniu jest znacząco mniejsza niż zaprawy, co zapewnia redukcję koncentracji naprężeń w konstrukcji murowej i właściwą współpracę.

Porównanie wyników ścinania (rys. 8) wskazuje, że użyty polimer prezentuje znacząco większe wartości średnie charakterystyk niż zaprawa (tab. 3). Są one większe prawie 2 razy w przypadku maksymalnej siły, ponad 4 razy w przypadku maksymalnego przemieszczenia, ponad 9 razy w przypadku energii zniszczenia i ponad 14 razy w przypadku energii całkowitej. Ponadto, sztywność obu złączy przy ścinaniu jest około 2 razy mniejsza niż zaprawy, co zapewnia redukcję koncentracji naprężeń w konstrukcji murowej i właściwą współpracę. Testy ścinania potwierdzają, że złącze polimerowe jest zdolne do polepszenia w sposób znaczący odkształcalności i nośności pękniętej konstrukcji murowej (rys. 8).

#### 4. Podsumowanie

Po wielu dyskusjach prowadzonych na świecie pomiędzy inżynierami reprezentującymi zagadnienia bezpieczeństwa oraz użyteczności i konserwatorami chroniącymi ikoniczną, historyczną oraz materiałową integralność zabytków, zaczyna być przyjmowany consensus. Uważa się, że w niektórych przypadkach naprawa obiektu zabytkowego przy użyciu wyłącznie materiałów oryginalnych prowadzi do destrukcji. W takich przypadkach zabezpieczenie zabytków dla przyszłych pokoleń wymaga zastosowania niewielkich ilości nieoryginalnych i innowacyjnych materiałów, kompatybilnych i niewidocznych (ukrytych).

and over 16 times higher in the case of total energy. Additionally, tensile stiffness of both joints is similar that is evidence of mechanical compatibility of these materials. Tension tests confirm that repair polymer joint is able to improve significantly bearing capacity of cracked masonry.

Comparison of compression test results (fig. 7) shows that the used polymer presents higher mean values of compared characteristics than mortar (tab. 2), except the case of the maximum force, where the value of polymer is about 1 of the value of mortar. In the rest cases polymer characteristics are over 5 times higher in the case of the maximum displacement, over 3 times higher in the case of damage energy and over 3 times higher in the case of total energy. Compression test of bricks joined with mortar showed total disintegration of specimens after achievement of ultimate strength. On the other hand, bricks remained strongly joined together with the pm45 polymer even after achievement of ultimate strength (fig.7). Additionally, compression stiffness of polymer joint is significantly lower than mortars' one, what assure reduction of stress concentrations in masonry and proper co-operation.

Comparison of shear test results (fig. 8) indicates that the used polymer presents also significantly higher mean values of compared characteristics than mortar (tab. 3). They are almost 2 times higher in the case of the maximum carrying force, over 4 times higher in the case of the maximum displacement, over 9 times higher in the case of damage energy and over 14 times higher in the case of total energy. Additionally, shear stiffness of polymer is about 2 times lower than mortars' one that assure reduction of stress concentrations in masonry and proper co-operation. Shear tests confirm that repair polymer joint is able to improve significantly bearing capacity and deformability of cracked masonry (fig. 8).

#### 4. Conclusions

After many discussions around the world between engineers, representing safety and use requirements, and conservators protecting the iconic, historical and material integrity of the monuments, the consensus starts to be found. It is believed that in some cases repair of heritage objects with only original intervention materials can lead to destruction. In such cases, protection of historical structures for the next generations requires using of small amount of non-original and innovative intervention materials that are in compatibility with a monument and are invisible for visitors.

Naprawa pękniętych konstrukcji murowych wymaga precyzyjnego przebadania aspektów statycznej pracy konstrukcji, materiałowych właściwości i przyczyn powstania uszkodzeń. Zasada minimum interwencji w naprawie jest potrzebna zwłaszcza przy zabytkach pokrytych freskami, i tu polimerowe złącza podatne mogą być użyte. Iniekcje polimerowe sklejają rozdzielone części konstrukcji, a specjalne wykończenie powierzchni polimeru przy użyciu piasku i materiałów (technik) konserwatorskich lub innych oryginalnych materiałów jak okruchy starych cegieł lub kamieni pozwala zamaskować miejsce uszkodzenia i przywrócić pierwotny wygląd zabytkowej powierzchni.

Laboratoryjne testy rozciągania, ściskania i ścinania cegieł połączonych zaprawą i polimerem wskazują, że złącze polimerowe jest w stanie polepszyć znacząco nośność i odkształcalność konstrukcji i zapewnić redukcję koncentracji naprężeń oraz właściwą współpracę. Ponadto, powierzchnia złącza polimerowego pokryta techniką konserwatorską rozkłada równomiernie nawet znaczące deformacje, czyniąc te ruchy niewidocznymi.

Repair of cracked historical masonries require of precision investigation in aspects of static work of the structure, material properties and causes of damage appearance. Minimum intervention of repair is needed especially in the case of cracked masonries with frescos, and here polymer flexible joints can be applied. Inject applicable polymers bond disrupted parts of masonry and special finishing of polymer surface using of sand and conservation materials (techniques) or other original materials like gains of old bricks or stones allows masking the place of damage and restoring the primary view of historical surface.

Laboratory tension, compression and shear tests on specimens, made of bricks joined using of lime-cement mortar and the pm45 polymer, indicate that repair polymer joint is able to improve significantly bearing capacity and deformability of cracked masonry and assure reduction of stress concentrations in masonry and also proper co-operation with masonry materials. Although, surface of polymer joint restored with conservation techniques distributes uniformly even significant deformation, making the movements invisible.

## Literatura • References

- [1] Binda L., Cardani G., Saisi A. (2005) A classification of structures and masonries for the adequate choice of repair. In: *Proc. International RILEM Workshop on Repair for Historic Masonry*, Delft, 2005: 20-34
- [2] Ciesielski R., Ciurej H., Kwiecień A. (2004) Application of CFRP laminates as strengthening of cracked brick arches. In: *Proc. 4<sup>th</sup> International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions.*, Padua, 2004: 1357-1365
- [3] Małyszko L., Orłowicz R. (2000) *Konstrukcje murowe. Zarysowania i naprawy*. Olsztyn, WUWM
- [4] Valluzzi M. R. (2005) Requirements for the choice of mortar and grouts for consolidation of three-leaf stone masonry walls. In: *Proc. International RILEM Workshop on Repair for Historic Masonry*, Delft, 2005
- [5] Kwiecień A. (2009) Flexible polymers using in repair of cracked masonry walls as a composite material. *Proc. Atti del 3<sup>o</sup> Convegno Nazionale MuRiCo3*, Venice, 2009: 325-332
- [6] Kwiecień A. (2009) Polymer flexible joints – an innovative repair system protecting cracked masonries against stress concentrations. In: *Proc. Protection of Historical Buildings PROHITECH 09 Mazzolani (ed)*, Taylor & Francis Group, Rome, 2009: 1033-1038
- [7] Kwiecień A., Zając B., Jankowski R. (2008) Static and dynamic properties of a flexible joint working in cracked historical masonries. In: *Proc. Structural Analysis of Historical Constructions VI*, Bath, 2008
- [8] Kwiecień A., Zając B. (2008) Praca polimerowego złącza podatnego na przykładzie polowych badań niszczących budynek. In: *Proc. VIII Konferencja Naukowo-Techniczna, REW-INŻ.' 2008*, Kraków, 2008
- [9] Van Balen K., Papayianni I., Van Hees R., Binda L., Waldum A. (2005) Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars. *Materials and Structures* 38: 781-785

---

\* Politechnika Krakowska, Kraków, Polska  
Cracow University of Technology, Cracow, Poland

## Streszczenie

W artykule została przedstawiona nowa metoda naprawy pękniętych obiektów zabytkowych o konstrukcji murowej. Metoda ta wykorzystuje polimerowe złącza podatne jako łącznik rozdzielonych elementów murowych, przywracając wytrzymałość na rozciąganie i ścinanie w miejscu pęknięcia i zwiększając zdolność do pochłaniania energii deformacji. Proponowana metoda jest dedykowana do naprawy pęknięć o cyklicznie zmieniającej się szerokości, szczególnie w przypadku uszkodzonych tynków pokrytych freskami. W pracy zaprezentowane zostały wyniki badań laboratoryjnych na próbkach cegieł połączonych polimerem i zaprawą. Porównanie otrzymanych krzywych z testów rozciągania, ścinania i ściskania wskazuje, że złącza polimerowe są w stanie zwiększyć nośność i pojemność energetyczną pękniętych konstrukcji po naprawie.

## Abstract

In the paper a new repair method of cracked historical masonries is presented. The method uses polymer flexible joints as bonding of disrupted masonry elements, restoring tensile and shear strength in place of cracks and increasing deformation energy capacity. The method is proposed for application in places where cyclic fluctuations of crack width occur, especially in plasters with frescos. Experimental results of laboratory tests on brick specimens joined with polymer and mortar are presented. Comparison of curves obtained during tensile, shear and compression tests indicates that polymers joints are able to increase strength and energy capacity of cracked masonries after repair.

Piotr Bilko\*, Leszek Małyszko\*  
Romuald Orłowicz\*\*

## Ocena wytrzymałości muru podczas modernizacji kamienic komunalnych

## Evaluation of the compressive strength of masonry during modernization of municipal houses

### 1. Wprowadzenie

Znajdujące się w zasobach komunalnych wiekowe kamienice murowe są sukcesywnie remontowane i modernizowane. Zagadnienia projektowe i realizacyjne z tym związane są dość złożone z uwagi na zmianę rozkładu części obciążeń z ciągłego na skupiony. Są też przypisane nowe wymogi cieplno-wilgotnościowe i akustyczne. Zasadniczym problemem staje się jednak ocena jakości materiałów konstrukcyjnych oraz ocena wytrzymałości na ściskanie murowanych ścian nośnych. Znajomość wytrzymałości charakterystycznej muru na ściskanie pozwala również na uściślenie obliczeń przy sprawdzaniu stanu granicznego nośności w strefie lokalnego docisku. Możliwe są sposoby oceny o różnym stopniu wiarygodności, od niszczącego ściskania *in situ* względnie dużych fragmentów muru po badania nieniszczące.

W pracy omawia się sposób określenia wytrzymałości muru na ściskanie na podstawie potęgowego wzoru normowego oraz laboratoryjnych badań cegły i zaprawy pobranych ze ścian murowanej kamienicy przedwojennej, typowej dla ziem odzyskanych. W porównaniu do badania całych fragmentów muru jest to sposób tańszy i szybszy oraz możliwy do przeprowadzenia w dużej liczbie prób, co umożliwia szerszą analizę statystyczną. Jego wadą jest jednak trudna do oceny niepewność oszacowania wynikająca ze stosowania wzoru normowego.

### 1. Introduction

The one-century-old brick tenement houses which make municipal housing resources are successively repaired and modernized. Designing and realization questions connected with this fact are quite complex due to the change of the distribution of a part of load from continuous to concentrated. There have also been assigned new requirements concerning thermal, moisture and acoustic characteristics. However, it is the quality of constructional materials and the assessment of compressive strength of the load-bearing brick walls that have become the main problem. Knowledge of characteristic compressive strength of the wall enables to specify the calculations when checking the boundary state of carrying capacity in the zone of local pressure. There are different ways of assessment possible, of various extent of reliability, from destructive pressure *in situ* for studying relatively large fragments of wall to non-destructive testing.

In this study the way of determination of the compressive strength of wall on the basis of the exponential normative formula and laboratory investigations of samples of brick and mortar taken from the walls of the pre-war brick tenement house, typical for the areas brought back to Poland after the war, have been presented. In comparison with testing of the whole fragments of wall this is a cheaper and quicker way, possible to be realized in a large number of tests, which enables broader statistical analysis. However, uncertainty of estimation of the results obtained by applying the normative formula, which is difficult to assess, makes a disadvantage thereof.

## 2. Wytrzymałość muru na ściskanie

Wytrzymałość muru na ściskanie określa się w praktyce na podstawie wzorów w funkcji wytrzymałości elementów murowych  $f_b$  oraz zaprawy  $f_m$ . Proponowane są różne wzory, z których część omówiono w monografii [1]. W europejskiej normie EC6 [2] podstawowe znaczenie nadaje się wzorowi potęgowemu w postaci:

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (1)$$

gdzie:  $f_k$  – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie,

$f_b, f_m$  – średnie wytrzymałości określone według norm,

$K, \alpha, \beta$  – współczynniki doświadczalne.

Wzór ten został określony na podstawie wyników obszernych badań doświadczalnych. Podstawowe zastrzeżenia do wzoru wynikają z wymiaru stałej  $K$  (w MPa do odpowiedniej potęgi, tak aby uzyskać zgodność wymiarów z obu stron wzoru) oraz z faktu, że wytrzymałość charakterystyczna określana jest na podstawie wartości średnich cegły i zaprawy. Kraje członkowskie mogą w zgodzie z EC6 określać własne wartości współczynników doświadczalnych. W poprzedniej normie polskiej PN99 [3] przyjęto współczynniki doświadczalne równe:  $\alpha = 0,65$ ,  $\beta = 0,25$  oraz  $K$  w zależności grupy elementów murowych ( $K = 0,5$  dla grupy 1). W aktualnej normie PN07 [4] przyjęto wzór w postaci:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,35} \quad (2)$$

gdzie analogiczny współczynnik  $K = 0,45$ .

Występujące we wzorze wytrzymałości składowe są tzw. wytrzymałościami znormalizowanymi, tzn. sposób ich wyznaczania jest ściśle określony w odpowiednich normach. Oznacza to, że występujące w normach PN99 i PN07 wytrzymałości na ściskanie elementów murowych  $f_b$  i zaprawy  $f_m$  wyznaczone na podstawie takich samych materiałów będą inne, bo różny jest sposób ich określania. Tym niemniej do wyznaczenia charakterystycznej wytrzymałości muru na ściskanie konieczne są średnie wytrzymałości cegły i zaprawy, a przeliczanie wytrzymałości z odmiennych elementów próbnych na znormalizowane wykonuje się na ogół za pomocą odpowiednich współczynników korekcyjnych.

### 2.1. Wytrzymałość cegły na ściskanie

Badania wytrzymałości cegły i zaprawy na ściskanie przeprowadzono pod koniec 2008 roku. Na rysunku 2 pokazano sposób badania, elementy próbne

## 2. Compressive strength of wall

Compressive strength of the wall is determined in practice on the basis of formulas of functions of the compressive strength of masonry units  $f_b$  and mortar  $f_m$ . Various formulas have been proposed, a part of which has been discussed in the monograph [1]. In the European standard EC6 [2] basic meaning has the exponential formula in the form:

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (1)$$

wherein:  $f_k$  – characteristic compressive strength of the wall,

$f_b, f_m$  – average strengths defined according to standards,

$K, \alpha, \beta$  – experimental coefficients.

This formula was determined on the basis of the results of extensive experimental investigations. Basic objections to the formula result from the units of the constant  $K$  (in MPa raised to suitable power so to get consistence of units on both sides of the formula), and from the fact, that characteristic strength is defined on the basis of average values for brick and mortar. EU member countries may in accordance with EC6 define their own values of experimental coefficients. In the previous Polish standard PN99 [3] experimental coefficients were accepted as:  $\alpha = 0.65$ ,  $\beta = 0.25$  and  $K$  in dependence on the group of masonry elements ( $K = 0.5$  for group 1). In the current standard PN07 [4] the formula has been accepted in the form:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,35} \quad (2)$$

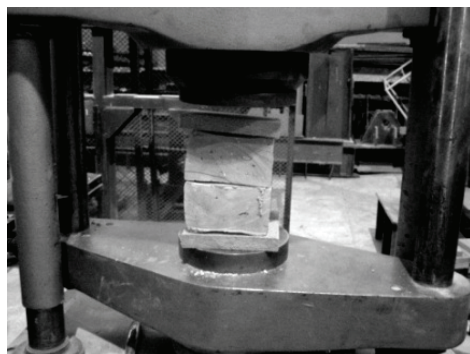
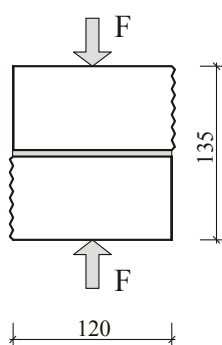
where analogical coefficient  $K = 0.45$ .

The component strengths which appear in the formula are so-called standardized strengths, i.e. their way of determination is strictly defined in relevant standards. This means that compressive strengths  $f_b$  for masonry elements and  $f_m$  for mortar, which appear in the standards PN99 and PN07, determined on the basis of the same materials will be different from one another, because the way of their defining is different. Nevertheless in order to determine the characteristic compressive strength of the wall it is necessary to have average strengths of brick and mortar, and recalculating of compressive strength from different testing elements to standardized one is generally done with the use of relevant corrective coefficients.

### 2.1. Compressive strength of brick

Investigation of the compressive strength of brick and mortar was conducted at the end of 2008. The way of investigation, testing elements according to

na podstawie norm [5, 6] oraz zamieszczono wyniki badania. Współczynnik kształtu, umożliwiający przeliczenie według normy otrzymanej wytrzymałości na znormalizowaną wytrzymałość kostki sześcienniej o boku 0,10 m, wynosi  $\delta_b = 1,14$ . Cegły, o nominalnych wymiarach wynoszących 250×120×65 mm, pobrano losowo ze ścian wewnętrznych grubości 0,12 m różnych kondygnacji, wymurowanych na zaprawie wapienno-piaskowej.



Parametr <i>Parameter</i>	Wartość <i>Value</i>
średnia <i>average</i>	12,54 MPa
odchylenie standardowe <i>standard deviation</i>	3,19 MPa
współczynnik zmienności <i>coefficient of variation</i>	0,254
liczba elementów próbnych <i>number of specimens</i>	50

Rys. 2. Badanie wytrzymałości cegły na ściskanie [mm]  
Fig. 2. Compression test of a brick [mm]

Otrzymana średnia dokładnie odpowiada wartości wytrzymałości cegły na ściskanie zalecanej w podręczniku [7], w którym na podstawie badań 843 cegieł ceramicznych 55 rodzajów podano wartość średnią wynoszącą 12,2 MPa (124 kG/cm<sup>2</sup>).

Dość duża liczba elementów próbnych pozwoliła na dobranie odpowiedniej funkcji rozkładu prawdopodobieństwa. Rysunek 3 przedstawia histogram oraz dwa rozkłady dwuparametrowe: normalny i log-normalny. Przyjęto rozkład logarytmiczno-normalny, dokonując estymacji parametrów metodą momentów według wzorów zamieszczonych w monografii [8]. Na podstawie oszacowanych parametrów rozkładu zmiennej losowej  $f_b$  – wytrzymałości cegły na ściskanie – otrzymano następujące wartości wytrzymałości średniej  $\mu_{f_b}$  i odchylenia standardowego  $\sigma_{f_b}$  oraz wytrzymałości charakterystycznej  $f_{b,k}$  określonej z 95% prawdopodobieństwem:

$$\mu_{f_b} = 12,15 \text{ MPa}, \quad \sigma_{f_b} = 3,12 \text{ MPa}, \quad \ln f_{b,k} = \mu_{\ln f_b} - 1,645 \sigma_{\ln f_b}, \quad f_{b,k} = 8,17 \text{ MPa} \quad (3)$$

Należy podkreślić, że dobranie odpowiedniej funkcji rozkładu prawdopodobieństwa jest oddzielnym zadaniem badawczym, które wymaga odpowiednich testów zgodności przeprowadzanych na ogół w dwóch etapach: stawiania hipotezy na podstawie zebranego materiału, a następnie jej weryfikacji w oddzielnym teście wykorzystującym nowy, niezależny materiał statystyczny.

Statystyczną ocenę wytrzymałości cegły zamieszczono w pracy [9] na podstawie wyników badań

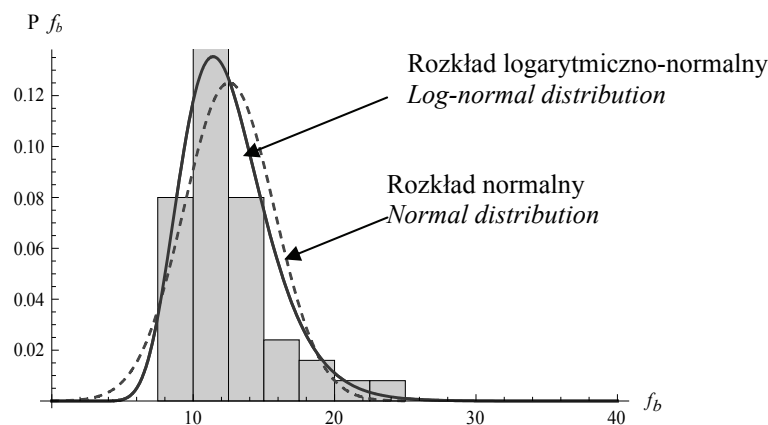
standards [5, 6] and the results of investigation have been shown in drawing 2. The shape coefficient, enabling recalculation of obtained compressive strength according to the standard to the standardized compressive strength of the cubic brick of the side length 0.10 m, is  $\delta_b = 1.14$ . The bricks, of nominal dimensions, which are 250×120×65 mm, have been taken at random from the internal walls of thickness 0.12 m on various storeys, built from bricks on lime-sand mortar.

The obtained average exactly corresponds to the value of compressive strength of the brick recommended in the textbook [7], wherein on the basis of testing 843 ceramic bricks of 55 kinds the average value was given as 12.2 MPa (124 kG/cm<sup>2</sup>).

Quite large number of test elements allowed to choose a suitable function of probability distribution. Drawing 3 presents a histogram and two two-parameter distributions: normal and log-normal. The logarithmic-normal distribution was accepted and the estimation of parameters was made by the method of moments, according to formulas put in the monograph [8]. On the basis of the estimated parameters of distribution of the random variable  $f_b$  – the compressive strength of the brick, the following values were obtained for the average compressive strength  $\mu_{f_b}$  and standard deviation  $\sigma_{f_b}$  and characteristic compressive strength  $f_{b,k}$  determined with 95% probability:

It should be pointed out that choosing a suitable function of probability distribution makes up a separate research task which requires suitable tests of compatibility, generally carried out in two stages: of putting a hypothesis on the basis of the gathered material, and then verification thereof in separate test using new independent statistical material.

The statistical assessment of the compressive strength of brick was put in the work [9] on the basis



Rys. 3. Histogram wytrzymałości cegły oraz funkcja gęstości prawdopodobieństwa  
 Fig. 3. Histogram of brick compression test and the probability density function

zebranych z laboratoriów budowlanych Moskwy i obwodu moskiewskiego w latach 1980-85. Na podstawie testów zgodności weryfikowano rozkłady prawdopodobieństwa wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie różnych rodzajów cegieł. Dla obu wytrzymałości otrzymano rozkłady o wyraźnej lewostronnej asymetrii, przy czym liczba elementów próbnych w przypadku zwykłej cegły ceramicznej marki M100 wynosiła ponad 1900. Cechą charakterystyczną analizowanych wyników badań był współczynnik zmienności w granicach 30-40 %. Z analizy otrzymano wniosek, że wraz ze zmniejszaniem marki cegły lewostronna asymetria wyraźnie się zwiększa.

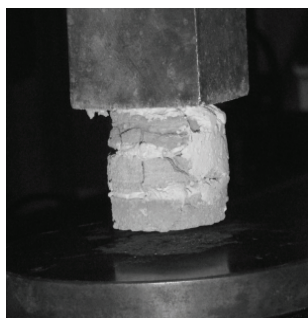
## 2.2. Wytrzymałość zaprawy na ściskanie

Na ogół pobieranie próbek z istniejących murów stanowi duży problem techniczny. W przypadku zaprawy często wykonuje się jej replikę na podstawie szczegółowej analizy chemicznej ustalającej skład i proporcje poszczególnych składników. Możliwe jest wtedy wykonanie badań wytrzymałościowych repliki lub określenie wytrzymałości na podstawie podstawowych składników. Norma EC6 podaje standardowe wartości średniej wytrzymałości zaprawy na ściskanie w zależności od jej składu. W badaniach własnych autorzy zdecydowali jednak się na pobranie stwardniałej zaprawy z istniejącego muru i wykonanie z niej elementów próbnych. Fragmenty zaprawy pobierano losowo ze ścian wewnętrznych całego budynku. Z uwagi na małą przyczepność zaprawy do cegły możliwe było wyizolowanie dość dużych fragmentów. Następnie z fragmentów wycięto krążki o średnicy 50 mm, a z nich wykonano za pomocą szybkowiążącej zaprawy elementy próbne w postaci walca składającego się z trzech krążków. Na rysunku 4 pokazano przykładowe walce przed i w trakcie badania na ściskanie oraz zamieszczono wyniki badania. Współczynnik zmienności wynosi 27,6%,

of the results of investigations gathered from the building laboratories of Moscow and Moscow district in years 1980-85. On the basis of tests of compatibility the probability distributions of compressive strength and tensile strength were verified for various kinds of bricks. For both types of strength the obtained distribution was with distinct left-sided asymmetry, wherein the number of test units was over 1900 in the case of usual ceramic brick of brand M100. The characteristic feature of the analyzed results of investigations was coefficient of variation which was in the range 30-40 %. The conclusion was received from the analysis that the left-sided asymmetry distinctly increases with the brand of brick going worse.

## 2.2. Compressive strength of mortar

Generally taking samples from the existing walls makes up a great technical problem. In the case of mortar it is often executed by making a replica of the mortar on the basis of detailed chemical analysis establishing the composition and proportions of individual components. Then it is possible to carry out strength investigations of the replica or determination of compressive strength on the basis of basic components thereof. The standard EC6 gives the standard values of the average compressive strength of mortar depending on the composition. However, authors in their own investigations decided to take out set mortar from the existing wall and making test elements from it. The fragments of mortar were taken from the internal walls of the whole building at random. Due to low adhesiveness of mortar to brick it was possible to isolate quite large fragments. Then test discs of 50 mm in diameter were cut out from these fragments, and test elements in the form of cylinders consisting of three discs were made from them with the help of quick-setting mortar. Drawing 4 shows examples of cylinders before and during the compression tests together with the results of investigation. The coefficient of variation was 27.6%,



Parametr <i>Parameter</i>	Wartość <i>Value</i>
średnia <i>average</i>	0,60 MPa
odchylenie standardowe <i>standard deviation</i>	0,17 MPa
współczynnik zmienności <i>coefficient of variation</i>	27,6
liczba elementów próbnych <i>number of specimens</i>	12

Rys. 4. Badanie wytrzymałości zaprawy na ściskanie  
Fig.4. Compression test of a mortar

co jak na tego typu badania jest wartością w pełni akceptowalną. Wartość średnia z próby wynosi 0,60 MPa i nie spełnia wymagań obecnych norm projektowych. Należy podkreślić, że sposób badania również nie jest zgodny z obecną normą PN-EN01 [10], według której odpowiednio przechowywane elementy próbne mają kształt prostopadłościanu o wymiarach 40×40×160 mm. Zatem skorzystanie z wyznaczonej w ten sposób wytrzymałości zaprawy na ściskanie wymaga przeliczenia do wartości normowej.

Traktując wytrzymałość zaprawy na ściskanie  $f_m$  jako zmienną losową o rozkładzie log-normalnym, analogicznie jak w przypadku cegły, otrzymujemy następujące wartości wytrzymałości średniej, odchylenia standardowego i wytrzymałości charakterystycznej:

$$\mu_{f_m} = 0,58 \text{ MPa}, \quad \sigma_{f_m} = 0,17 \text{ MPa}, \quad f_{m,k} = 0,35 \text{ MPa} \quad (4)$$

W pracy [9] zamieszczono również statystyczną ocenę wytrzymałości zapraw na podstawie wyników badań z tego samego okresu i obszaru. Otrzymano wniosek, że rozkłady wytrzymałości zaprawy na ściskanie nie są normalne. Jednak z uwagi na to, że wpływ wytrzymałości zaprawy na wytrzymałość muru jest mniejszy niż cegły, a także z uwagi na fakt, że kontrola jej produkcji jest łatwiejsza na podstawie analizy statystycznej w zakresie dwóch pierwszych momentów niż czterech, zalecono przyjmowanie rozkładów normalnych.

### 2.3. Wytrzymałość muru jako zmienna losowa

Zgodnie z metodą częściowych współczynników bezpieczeństwa do obliczeń konstrukcji miarodajna jest wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie  $f_k$ , tj. określona z 95% prawdopodobieństwem, że wytrzymałość przewyższy wartość  $f_k$ . Jednak według wzorów normowych wytrzymałość  $f_k$  jest wyznaczana jako funkcja średnich wytrzymałości elementów składowych, czyli jako funkcja

which for this type of investigation is a completely acceptable value. The average value from the test was 0.60 MPa and does not fulfill the requirements of the present designing standards. One should point out that the way of investigation is also not in accordance with the present standard PN-EN01 [10], according to which suitably kept test elements have the shape of cuboid of dimensions 40×40×160 mm. Therefore using of so determined compressive strength of mortar requires the recalculation to the normative value.

Treating compressive strength of mortar  $f_m$  as a random variable of log-normal distribution, similarly as in the case of the brick, we obtain the following values of average compressive strength, standard deviation and characteristic strength:

The statistical assessment of the compressive strength of mortars on the basis of the results of investigations from the same period and area has also been included in the work [9]. The conclusion was drawn that the distributions of compressive strength of mortar were not normal. However, due to the fact that the influence of compressive strength of mortar on compressive strength of the wall is lower than that of the brick, and also keeping in mind the fact that on the basis of statistical analysis the control of mortar production is easier in the range of two first moments than of four, it is recommended to accept normal distributions.

### 2.3. Compressive strength of the wall as a random variable

According to the method of using partial coefficients of safety, the characteristic compressive strength of the wall  $f_k$ , i.e. the value determined with 95% probability that compressive strength will exceed the value  $f_k$  is reliable for the calculations of the construction. However, according to the normative formulas, compressive strength  $f_k$  is determined as a function of average strengths of component elements, that is as



wielkości deterministycznych. Wynika to z faktu, że dotychczas nie ustalono w jakiej mierze rozrzuty wytrzymałości składowych wpływają na rozrzuty wytrzymałości muru. Zatem zgodnie z normowym wzorem (2) wytrzymałość charakterystyczna badanych murów wynosi:

$$f_k = 0,45 \cdot (1,14 \cdot 12,15)^{0,7} \cdot (1,35 \cdot 0,58)^{0,35} = 2,60 \text{ MPa} \quad (5)$$

W powyższym wzorze, poza współczynnikiem kształtu  $\delta_b=1,14$ , wykorzystano współczynnik  $\delta_m=1,35$  według którego przeliczono wytrzymałość zaprawy z próbek walcowych na próbki normowe.

Normowy wzór potęgowy można potraktować jako postać funkcji określającej sposób przyporządkowania zmiennej losowej  $f_M$  – wytrzymałości muru na ściskanie – dwóch zmiennych losowych:  $f_b$  i  $f_m$  – wytrzymałości na ściskanie cegieł i zaprawy. Takie ujęcie wykorzystano w pracy [11]. Wtedy rozpatrywane jest zadanie określenia parametrów rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej, która jest funkcją dwóch zmiennych losowych o znanych rozkładach. W przypadku funkcji określonej wzorem potęgowym i logarytmiczno-normalnych rozkładach każdej ze zmiennych składowych oraz przy założeniu, że obie zmienne składowe są niezależne, poszukiwany rozkład jest również logarytmiczno-normalny o parametrach wyznaczanych następująco. Logarytmując obie strony równania (2), przekształcamy je do postaci:

$$\ln(f_M) = \ln(f_k) = \ln(K) + 0,7 \cdot \ln(\delta_b) + 0,7 \cdot \ln(f_b) + 0,35 \cdot \ln(\delta_m) + 0,35 \cdot \ln(f_m) \quad (6)$$

w której zmienna losowa  $\ln(f_M)$  jest kombinacją liniową zmiennych losowych  $\ln(f_b)$  i  $\ln(f_m)$ . Wartość średnia i odchylenie standardowe zmiennej  $\ln(f_M)$  można zapisać za pomocą wartości średnich i odchyłeń standardowych zmiennych  $\ln(f_b)$  i  $\ln(f_m)$  w postaci:

$$\begin{aligned} \mu_{\ln f_M} &= \ln(K) + 0,7 \cdot \ln(\delta_b) + 0,7 \cdot \ln \theta_{f_b} + 0,35 \cdot \ln(\delta_m) + 0,35 \cdot \ln \theta_{f_m} \\ \sigma_{\ln f_M}^2 &= (0,7 \sigma_{\ln f_b})^2 + (0,35 \sigma_{\ln f_m})^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Na ich podstawie można wyznaczyć wartość średnią, odchylenie standardowe oraz wartość charakterystyczną zmiennej losowej  $f_M$ . Otrzymano następujące wartości:

$$\mu_{f_M} = 3,14 \text{ MPa} \quad \sigma_{f_M} = 2,22 \text{ MPa} \quad f_{M,k} = 1,80 \text{ MPa} \quad (8)$$

Otrzymana charakterystyczna wartość wytrzymałości muru  $f_{M,k}$  jest mniejsza niż to wynika ze wzoru normowego (5) o 30%. Oczywiście miarodajną do obliczeń jest wytrzymałość charakterystyczna  $f_k$ , której wartość obliczeniową uzyskuje

a function of deterministic magnitudes. This results from the fact that so far it has not been established in what measure the distribution of component strengths influences on the distribution of the compressive strength of the wall. Therefore according to the normative formula (2) the characteristic strength of studied walls is:

In the above mentioned formula, in addition to the shape coefficient  $\delta_b = 1.14$ , the coefficient  $\delta_m = 1.35$  was used, according to which the compressive strength of mortar was recalculated from cylindrical samples onto normative samples.

One can treat the normative exponential formula as the form of function defining the way of attributing two random variables:  $f_b$  and  $f_m$  – compressive strength of the bricks and the mortar to random variable  $f_M$  – compressive strength of the wall. Such formulation was used in the work [11]. Then the task is being considered to determine the parameters of probability distribution of random variable, which is a function of two random variables of well-known distributions. In the case of a function defined by an exponential formula and logarithmic-normal distribution of each component variable and taking assumption that both component variables are independent, the demanded distribution is also logarithmic-normal, with parameters determined as follows. By finding the logarithms of both sides of equation (2), we transform them to the form:

wherein the random variable  $\ln(f_M)$  is a linear combination of random variables  $\ln(f_b)$  and  $\ln(f_m)$ . The average value and standard deviation of the variable  $\ln(f_M)$  can be put down with the help of the average values and standard deviations of the variables  $\ln(f_b)$  and  $\ln(f_m)$  in the form:

On the basis of these one can determine the average value, the standard deviation and the characteristic value of the random variable  $f_M$ . The following values were obtained:

Thus obtained characteristic value of the compressive strength of the wall  $f_{M,k}$  is smaller than it results from the normative formula (5), by about 30%. Of course, the characteristic strength  $f_k$ , whose calculated value is obtained after dividing it by the

się po jej podzieleniu przez współczynnik materiałowy  $\gamma_m$ . Funkcja gęstości prawdopodobieństwa wyznaczona na podstawie wzorów (6) i (7) może być wykorzystywana w teoretycznej analizie niezawodności konstrukcji, por. [12].

Otrzymana charakterystyczna wartość wytrzymałości muru  $f_{M,k}$  jest mniejsza niż to wynika ze wzoru normowego (5) o 30%. Oczywiście miarodajną do obliczeń jest wytrzymałość charakterystyczna  $f_k$ , której wartość obliczeniową uzyskuje się po jej podzieleniu przez współczynnik materiałowy  $\gamma_m$ . Funkcja gęstości prawdopodobieństwa wyznaczona na podstawie wzorów (6) i (7) może być wykorzystywana w teoretycznej analizie niezawodności konstrukcji, por. [12].

### 3. Podsumowanie

W pracy omówiono sposób określenia wytrzymałości muru na ściskanie na podstawie potęgowego wzoru normowego oraz laboratoryjnych badań cegły i zaprawy. Cegły i zaprawę pobrano ze ścian nośnych kamienic secesyjnych w centrum Szczecina. W analizie statystycznej wykorzystano logarytmiczno-normalne rozkłady prawdopodobieństwa. Pokazano, że na podstawie rozkładów dla cegły i zaprawy możliwe jest określenie rozkładu dla muru.

### Podziękowania

Niniejsza publikacja w zakresie udziału autorów z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego jest finansowana ze środków na naukę MNiSzW w latach 2008-2011 jako projekt badawczy własny nr N N506 396435.

material coefficient  $\gamma_m$ , is obviously reliable for the calculations. The function of probability density as determined on the basis of formulas (6) and (7) may be used in the theoretical analysis of reliability of the construction, cf. [12].

Thus obtained characteristic value of the compressive strength of the wall  $f_{M,k}$  is smaller than it results from the normative formula (5), by about 30%. Of course, the characteristic strength  $f_k$ , whose calculated value is obtained after dividing it by the material coefficient  $\gamma_m$ , is obviously reliable for the calculations. The function of probability density as determined on the basis of formulas (6) and (7) may be used in the theoretical analysis of reliability of the construction, cf. [12].

### 3. Summary

In the study the way of determination of the compressive strength of wall on the basis of the exponential – normative formula and the laboratory investigations of brick and mortar has been discussed. Bricks and mortar were taken from the walls of load-bearing walls of the arts-nouveau tenement houses in the centre of Stettin. The statistical analysis was carried out with the use of logarithmic-normal distributions of probability. It was shown that on the basis of such distributions for brick and for mortar it is possible to determine the distribution for the wall.

### Acknowledgements

Present publication in the scope of participation of the authors from The University of Warmia and Mazury has been financed from the means of MNiSzW designated for scientific research in years 2008-2011 as the own research – investigative project No. N N506 396435.

### Literatura • References

- [1] Lewicki B., Jarmontowicz R., Kubica J., *Podstawy projektowania niezbrojonych konstrukcji murowych*, Wydawnictwa ITB, Warszawa 2001.
- [2] ENV 1996-1-1:1994 Eurokod 6, *Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne. Reguły dla murów niezbrojonych, zbrojonych i sprężonych*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1995.
- [3] PN-B 03002:1999, *Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie*.
- [4] PN-B 03002:2007, *Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie*.
- [5] PN-70/B-12016, *Wyroby ceramiki budowlanej. Badania techniczne*.
- [6] PN-EN 772-1:2001, *Metody badań elementów murowych. Część 1: Określenie wytrzymałości na ściskanie*.
- [7] Klasen L., *Wohn- und Geschäftshausern*, Leipzig 1884. Dolnośląska Biblioteka Cyfrowa.
- [8] Murzewski J., *Niezawodność konstrukcji inżynierskich*, Arkady, Warszawa 1989.
- [9] Rajzer V.D., *Raszchet i normirovanije nadežnosti stroitelnych konstrukcji*, Stroizdat 1995.

- [10] PN-EN 1015-11:2001, *Metody badań zapraw do murów. Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy.*
- [11] Schueremans L., Van Gemert D., *Probability density functions for masonry material parameters – a way to go?*, Proc. 5<sup>th</sup> Int.Conf. SAHC, New Delhi, 2006, s. 921-928.
- [12] Małyszko L., Bilko P., *Ocena wytrzymałości muru z uwzględnieniem teorii niezawodności konstrukcji*, Inżynieria i Budownictwo, Zeszyt 12, Warszawa 2009.

---

\* Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn, Polska  
University of Warmia and Mazury, Olsztyn, Poland

\*\* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland

---

## Streszczenie

W artykule przedstawiono właściwy sposób szacowania wytrzymałości na ściskanie niezbrojonego muru ceglanego w oparciu o zmierzoną wytrzymałość na ściskanie cegły i zaprawy murarskiej. Specjalną uwagę zwrócono na numeryczne zależności wykładnicze przedstawione w Polskiej Normie PN07, które są podobne do wzoru EC6. Ponadto, wyliczenie wytrzymałości charakterystycznej jest również przeprowadzone, przy założeniu że siła ściskająca mur jest losową zmienną funkcjonalnie zależną od dwu zmiennych losowych – wytrzymałości na ściskanie cegły i zaprawy murarskiej – ze znanym logarytmiczno normalnym rozkładem prawdopodobieństwa. Metodologia jest zilustrowana na przykładzie wytrzymałości na ściskanie muru historycznego budynku.

## Abstract

Based on the measured compressive strengths of brick and mortar, proper estimating of the compressive strength of non-reinforced brick wall has been reported in this paper. Special attention is paid to the numerical exponential relation provided by the Polish Standard PN07 which is similar to the EC6 formula. In addition, the characteristic strength is also calculated assuming that compressive strength of masonry is functionally dependent in a random variably way on two random variables – brick and mortar compressive strengths – with known log-normal probability distributions. The methodology is illustrated on a case covering the compressive strength of a historical masonry building.

Rafał Nowak\*

Romuald Orłowicz\*

# Mechanizmy uszkodzeń ceglanych nadproży łukowych

## Mechanisms of brick arched lintels damage

### 1. Wprowadzenie

Łuki ceglane swoją popularność zawdzięczają faktowi, iż w początkach budownictwa nie znano materiałów o zdolności przenoszenia naprężeń rozciągających. Stąd konieczne było rozwiązanie, które umożliwi zbudowanie konstrukcji co przenosić tylko będzie naprężenia ściskające. Łuki najczęściej się pojawiają w nadprożach drzwiowych, nadprożach okiennych, bramach wjazdowych, sklepieniach, w mostach i wiaduktach, w stropach, w biegach schodowych. Dużo konstrukcji łukowych zachowała się do czasów teraźniejszych. Konstrukcje te zawdzięczają swoją wysoką trwałość odpowiednio dobranym kształtom tak aby linia ciśnień, będąca w funkcji obciążenia działającego na konstrukcję, znajdowała się w rdzeniu łuku wyznaczonego przez przyjętą jego geometrię. Remonty i modernizacje istniejących budynków niekiedy zwiększają i zmieniają sposób obciążenia konstrukcji. Stąd niezbędna jest wiedza o rzeczywistej pracy nadproży łukowych by móc ocenić ich zapas nośności oraz sposoby możliwego wzmocnienia. Aktualnie obserwujemy renesans nadproży łukowych. Mimo iż znamy materiały, które umożliwiają niestosowanie tego typu rozwiązań konstrukcyjnych, powraca się do nich z uwagi na duży walor architektoniczny. Natomiast w istniejących budynkach obserwuje się dużo uszkodzeń nadproży zwłaszcza w postaci spękań, zarysowań oraz wypadania cegieł.

### 1. Introduction

Brick arches owe their popularity to the fact that no materials capable of transferring tensile stresses were known in the beginnings of the building industry. This is why a solution making it possible to build structures designated for the transfer of compressive stress only was necessary. The arches are most often found in door and window lintels, gateways, vaults, bridges and flyovers, ceilings and flights of stairs. Many of them have survived until this day. These structures owe their high durability to their shapes chosen in such a way that the line of pressure, playing the role of the load working on the structure, was running in the core of the arch as determined by its geometry. The repairs and modernizations of the existing buildings sometimes increase and change the way the loads are distributed upon the structure. Therefore, in order to estimate the existing excess of the carrying capacity, and to be able to find the ways to strengthen the structure it is necessary to have the knowledge of the work the arched lintels actually do. Today, arched lintels are back in fashion. Although we do not need to apply such structural solutions anymore, as we know the materials that make it possible, we are rediscovering them because of their high architectural value. On the other hand, we can see that the lintels in the existing buildings are often devastated, which particularly shows in cracks, scratches and bricks that falling out.

## 2. Kształty nadproży łukowych

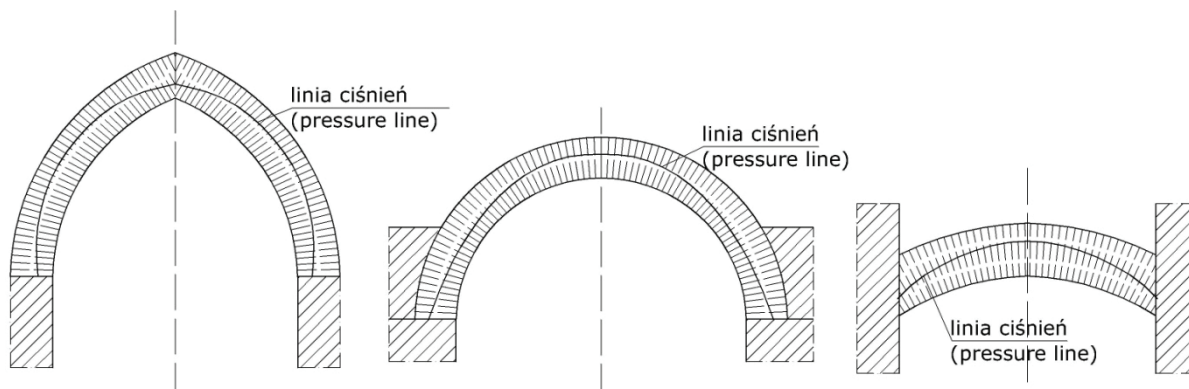
Łuki mogą posiadać dowolne kształty, co urozmaica charakter wizualny budynku. Poza tym nadproża łukowe kształtują się w zależności od przewidywanego układu obciążeń, odległości podpór, marki zaprawy i klasy cegły. Kształt nadproży łukowych decyduje o ich nośności zmieniając położenie linii ciśnień w rdzeniu (rys. 1).

Rodzaje najczęściej stosowanych kształtów łuków prezentuje rys. 2, natomiast w tab. 1 podano zalecane grubości łuku od jego kształtu [1].

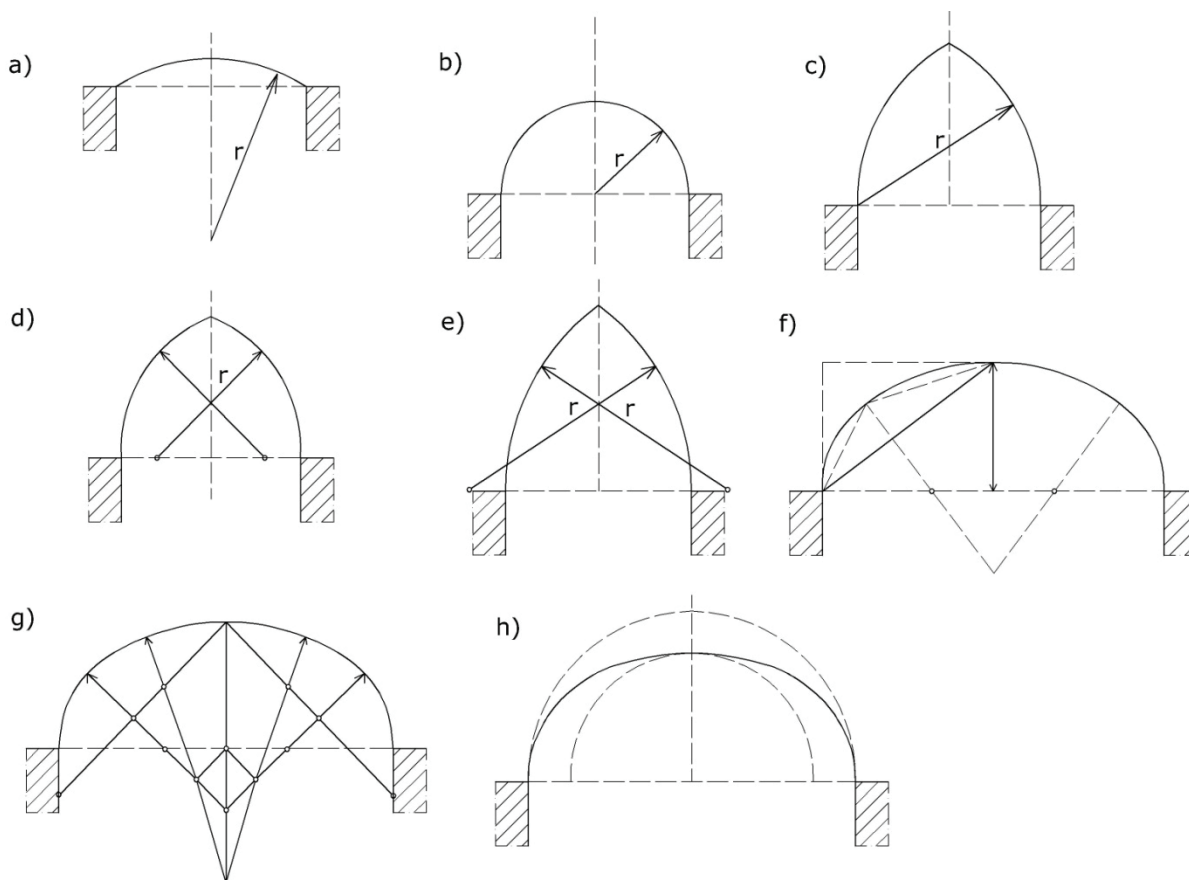
## 2. The shapes of arched lintels

Arches may be of any shape, diversifying to a great extent the visual character of the building. Arched lintels are also shaped depending on the expected load distribution, support intervals, mortar brand and brick class. The shape of arched lintels is decisive when it comes to their carrying capacity because it changes the location of the line of pressure in the core thereof (fig. 1).

Fig. 2 shows the most frequently used types of arch shapes, while the recommended thickness of the arch for a given shape [1] is laid out in table 1.



Rys. 1. Schemat zmiany linii ciśnień w zależności od kształtu łuku [6]  
Fig. 1. Changes of pressure line depending on arch shapes [6]



Rys. 2. Kształt nadproży łukowych: a – łuk odcinkowy, b – łuk półkolisty, c – łuk gotycki, d – ostrołuk obniżony, e – ostrołuk podwyższony, f – łuk koszowy z trzema punktami środkowymi, g – łuk koszowy z pięcioma punktami środkowymi, h – łuk eliptyczny  
Fig. 2. Shape of arched lintels: a – segmental arch, b – semicircular arch, c – Gothic arch, d – lowered ogive, e – heightened ogive, f – valley arch with three central points, g – valley arch with five central points, h – elliptical arch

Tab. 1. Grubość łukowych nadproży ceglanych [1]  
Thickness of brick arched lintels [1]

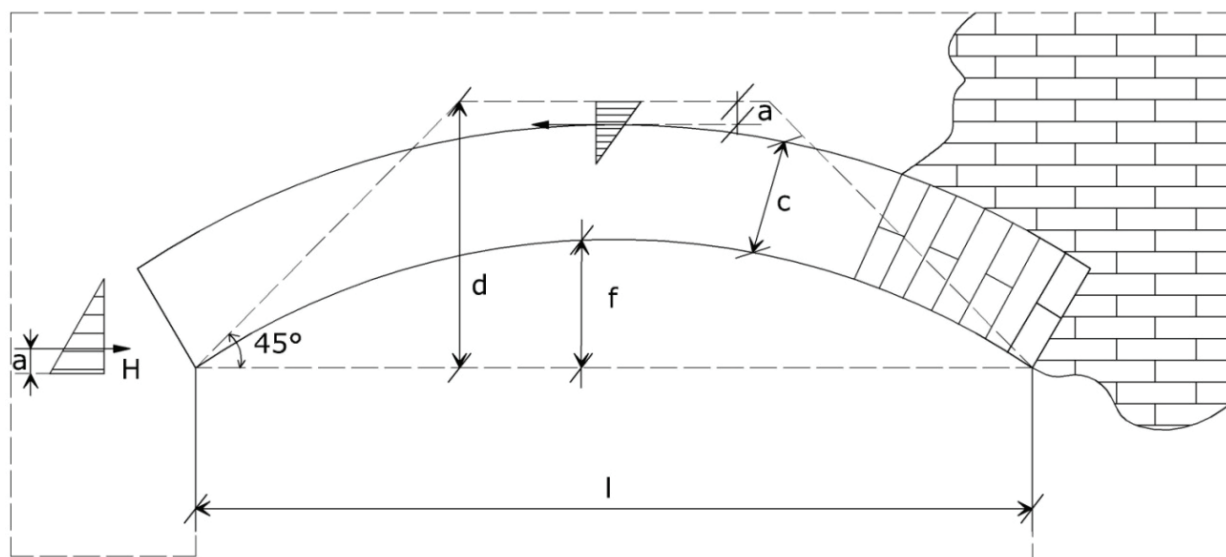
Rozpiętość nadproża [m] Thrust of the arch of the lintel [m]	Grubość łuku [cegły] Thickness of the arch [bricks]		
	Łuk półokręgowy Semicircular arch	Łuk gotycki i podwyższony Gothic arch and heightened ogive	Ostrołuk obniżony Lowered ogive
1,88 – 2,00	1	1/2	1,5
2,00 – 3,00	1,5	1	1,5
3,50 – 5,75	2	1,5	2
5,75 – 6,00	2,5	1,5	2,5
6,00 – 8,50	2,5	1,5	2,5

### 3. Nośność nadproży

Do końca XIX wieku stosowano jedynie empiryczne sposoby wyznaczania nośności ceglanych nadproży łukowych [1]. Następnie została opracowana uproszczona metoda obliczeń według schematu przedstawionego na rys. 3 [6, 7].

### 3. Carrying capacity of lintels

By the end of the 19<sup>th</sup> century only the empirical ways of determining the carrying capacity of brick arched lintels [1] were applied. Then a simplified method of calculations was worked out according to the analysis chart presented in fig. 3 [6, 7].



Rys. 3. Schemat obliczeniowy dla odcinkowych nadproży łukowych  
Fig. 3. Analysis chart for segmental arched lintels

Według tej metody rozpór  $H$  określa się wzorem:

$$H = M / (d - 2a) \quad (1)$$

gdzie:  $M$  – moment zginający w środku rozpiętości,  $d = c + f$  – obliczeniowa wysokość nadproża,  $a$  – odległość wypadkowej trójkątnego wykresu naprężeń ściskających do krawędzi nadproża.

Obciążenie nadproży stanowi część muru usytuowanego nad łukiem oraz reakcję oporową stropów lub więźby dachowej (rys. 4). Doświadczalne wartości parametrów  $c$  i  $a$  w zależności od marki zaprawy i klasy cegły podano według [6, 7] w tab. 2. W tabeli tej przytoczono również maksymalne wartości rozpiętości  $l_{\max}$  nadproży w zależności od strzałki  $f$ . Według badań doświadczalnych nisz-

According to this method the thrust of an arch  $H$  is calculated in accordance with the following formula:

where:  $M$  – the bending moment in the centre of the thrust of an arch,  $d = c + f$  – the computational height of the lintel,  $a$  – the distance of the resultant of the triangular graph of compressive stresses to the edge of the lintel.

The load carried by the lintels is imposed by a part of the wall situated over the arch. It is also the bearing reaction of the ceilings or the rafter framing (fig. 4). The experimental values of parameters  $c$  and  $a$  depending on the mortar brand and brick class have been shown in table 2 [6, 7]. The maximum values of the thrust of an arch  $l_{\max}$  of lintels depending on the arch rise  $f$  have also been

czenie nadproży odcinkowych ( $f/l = 1/8 - 1/12$ ) następuje gdyż rozpór  $H$  przekracza wytrzymałość muru na ścinaniu wzdłuż spoin wspornych. Natomiast moment zginający wywołuje rozciąganie dolnej strefy nadproża co stanowi przyczynę jego spękania lub wypadanie cegieł. Poza tym nadproża sprawdza się na ścinanie w poprzek spoin wspornych [6]. Na skutek oddziaływania momentu zginającego i sił poprzecznych przy małych wysokościach  $d$  nadproża może powstać układ trójprzegubowy (rys. 4a).

cited in this table. The experimental study showed that the destruction of the segmental lintels ( $f/l = 1/8 - 1/12$ ) takes place because the thrust of an arch  $H$  exceeds the strength of the wall on shearing along the supporting joints, while the bending moment results in stretching the bottom zone of the lintel causing the crackings to appear or bricks to fall out. Besides, lintels are tested for shearing across the supporting joints [6]. As a result of the impact of the bending moment and transverse forces, a triple hinged system (fig. 4a) for small heights  $d$  of the lintel might form.



Rys. 4. Zniszczenie ceglanego nadproża łukowego z uwagi na: a – powstanie ustroju trójprzegubowego, b – powstanie wtórnego łuku  
 Fig. 4. Damage of brick, arched lintels' construction because of: a – triple-hinged framework, b – derivative arch

Tab. 2. Zależności obliczeniowe dla nadproży łukowych [6, 7]  
 Computational correlation for arched lintels [6, 7]

Marka zaprawy [MPa] Mortar brand [MPa]	$l_{max}$ [m]		$c/l$	$a/c$	
	Strzałka $f/l$ Arch rise $f/l$			Klasa cegły [MPa] Brick class [MPa]	
	1/8 – 1/12	1/5 – 1/6		7,5	5,0
10	3,5	4	0,06	0,10	–
5	3	3,5	0,06	0,12	0,15
3	2,5	3	0,06	0,15	0,25
0,8	2	2,5	0,08	0,20	0,25
0,4	1,75	2,25	0,10	0,25	0,30

Warto nadmienić, że praca nadproży różni się od pracy sklepień przede wszystkim z uwagi na inną formę przekazywania obciążeń (zasypka, posadzka nad sklepieniem) [3]. Natomiast wiotkie nadproża o dużych rozpiętościach i małych stosunkach  $c/l$  można obliczać jako sklepienia [6]. Z doświadczeń wynika, że wyżej wymienione teoretyczne stany graniczne nośności rzadko występują w rzeczywistości. Dotyczy to zwłaszcza ostrołuków. W istniejących metodach obliczeń nie uwzględnia się współpracy łuków z usytuowanymi nad nimi warstwami muru. O współpracy łuku z tymi warstwami lub z całym pasmem międzyokiennym świadczy charakter spękań w obszarze nadproży (rys. 4b).

#### 4. Morfologia spękań

Na rys. 5 podano najczęściej spotykane układy zarysowań i spękań odcinkowych nadproży łukowych. Próbę klasyfikacji tych uszkodzeń autorzy podjęli wykorzystując własne doświadczenie (ekspertyzy, projekty napraw, badania laboratoryjne) oraz opisy i fotografie dostępne w literaturze. Różnaita morfologia spękań wynika ze złożonego stanu naprężeń panującego w obszarze nadproży [4]. Decydujący wpływ mają naprężenia normalne rozciągające i styczne. Wypadanie cegieł z łuku (schemat a na rys. 5) lub jego spękanie w zworniku (schemat b) świadczy o przekroczeniu naprężeń rozciągających wywołanych momentem zginającym  $M$  wytrzymałości muru na rozciąganie w poprzek spoin wspornych. Rozwidlenie pęknięcia pionowego (schemat d) pojawia się zwykle w strefie oparcia belki stropowej. Natomiast powstanie wtórnego łuku ze zwornikiem w miejscu oparcia belki stropowej (schematy f, g, h) świadczy o współpracy wyżej usytuowanych poziomych warstw muru z nadprożem łukowym. Należy zaznaczyć, że według zaleceń projektowych [6] grubość tych warstw powinna być nie mniej jak 38 cm przy rozpiętości nadproża do 1,5 m i nie mniej jak 45 cm przy rozpiętości powyżej 1,5 m. Spękania ukośne pasma międzyokiennego (schemat l) związane jest z jego pionowym odkształceniem postaciowym wywołanym nierównomiernym osiadaniem podłoża. Szczególnymi przypadkami są spękania poziome (schemat i) i pionowe na całą wysokość pasma międzyokiennego (schematy e, c, k). Takie spękania powstają zwykle w nadprożach usytuowanych przy ścianach szczytowych na skutek oddziaływania nie zrównoważonego rozporu  $H$ . Z doświadczeń wynika, że im większa strzałka nadproży łukowych  $f/l$  i im mniejsza rozpiętość  $l$ , tym są one mniej wrażliwe na

It is worth mentioning that the work of lintels differs from the work of vaulting first of all in that the way the loads are transferred is different (backfill, floor over the vault) [3]. However slender lintels of large thrust of an arch and low ratio  $c/l$  may be calculated as vaults [6]. Experiments have shown that in practice the above mentioned theoretical boundary states of carrying capacities are rare. This is particularly true about ogives. The existing methods of calculation do not take into account the co-operation of arches with the layers of the wall situated over them. The character of cracks in the area of lintels testifies that such co-operation of an arch with these layers or with the whole strand between the windows does exist (fig.4b).

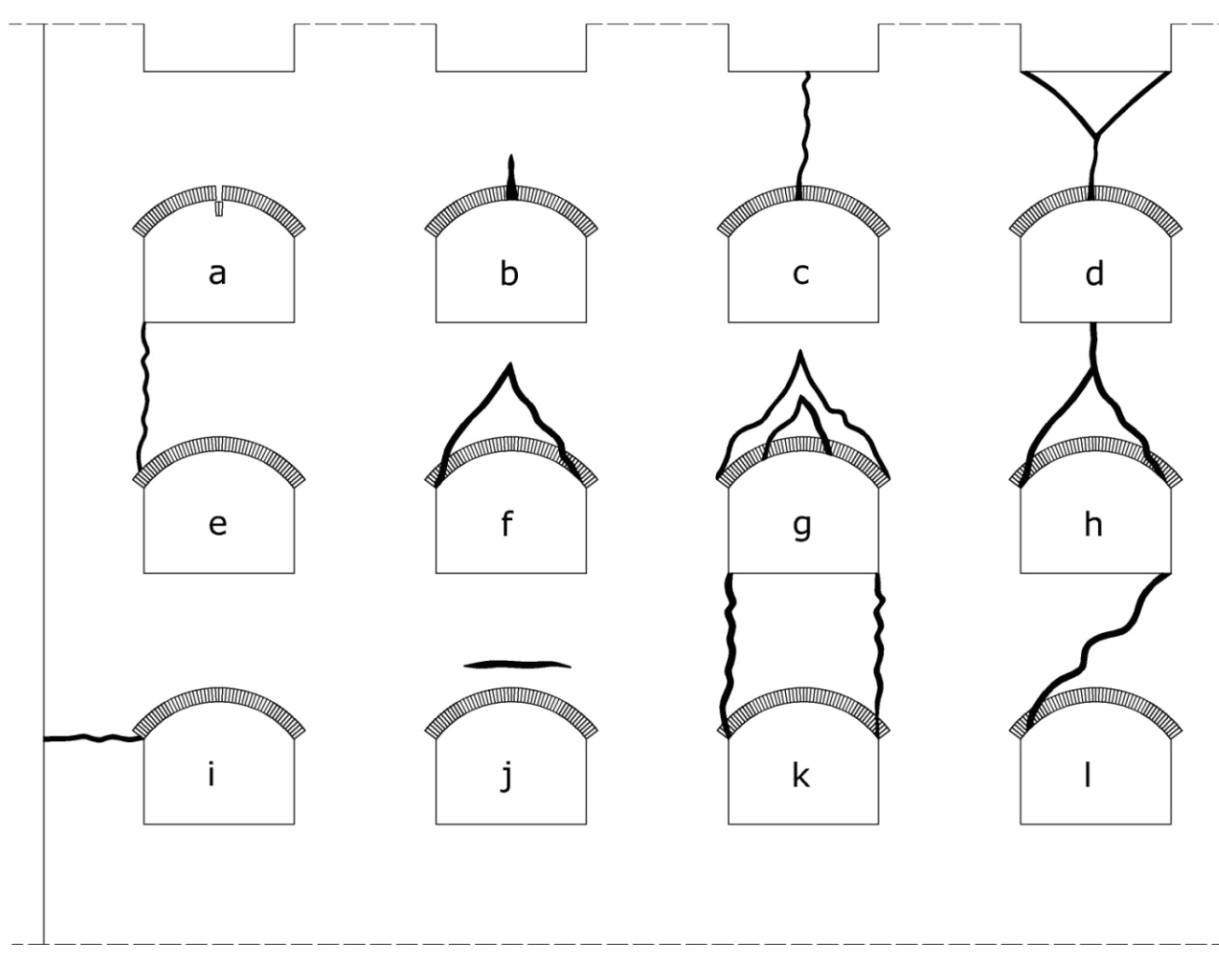
#### 4. Morphology of cracks

Fig. 5 shows the most frequent arrangements of cracks and scratches of segmental arched lintels. The authors have attempted to classify these damages using their own experience (evaluations, repairs projects, laboratory tests) as well as descriptions and photos found in the literature. Various morphology of the cracks results from the complex status of stresses in the area of lintels [4]. Normal tensile stresses and tangential stresses are decisive in this context. The bricks falling out of the arch (pattern a, fig.5) or fracturing in the coupling piece (pattern b) shows that the tensile stress produced by the bending moment  $M$  has exceeded the tensile strength of the wall across the supporting joints. The fork of the vertical crack (pattern d) usually appears in the area of floor joist bearing. However, the fact that a derivative arch with the coupling piece has been formed in the point of floor joist bearing (patterns f, g, h) shows the co-operation of the horizontal layers of the wall situated above with the arched lintel. It should be pointed out that the project recommends [6] the thickness of these layers to be no less than 38 cm for the thrust of an arch of lintel up to 1.5 m and no less than 45 cm for the thrust of an arch above 1.5 m. The slanting cracks running in the strands between the windows (pattern l) are connected with their vertical deformation due to uneven sagging of subsoil. The horizontal (pattern i) and the vertical cracks extending throughout the whole height of the strands between the windows (pattern e, c, k) are specific cases. Such cracks usually appear in the lintels situated near the gable walls as a result of the influence of non-balanced thrust of an arch  $H$ . This shows that that the larger the arch rise of arched lintels  $f/l$  is and the smaller thrust of an arch  $l$  is, the less sensitive to scratches



zarysowania i spękania. Pod tym względem najbardziej bezpieczne i trwałe są nadproża w postaci ostrołuków. Znacznie mniej zarysowań występuje w nadprożach nie obciążonych stropami.

and cracks the lintels are. From this point of view, the ogival lintels are the most safe and durable. There are considerably fewer scratches occurring in the lintels which are not put under the load of floors.



Rys. 5. Morfologia zarysowań i spękań w obszarze nadproży łukowych  
 Fig. 5. Morphology of scratches and cracks in arched lintels' nearness

Warto nadmienić, że propagację zarysowań i spękań potęguje oddziaływanie dynamiczne wywołane np. ruchami pojazdów lub urządzeń technologicznych. Pod takim obciążeniem następuje (zwłaszcza wskutek poluzowania i utraty przyczepności cegły do zaprawy) rozkruszenie struktury muru [5]. Obniża się wtedy wytrzymałość muru zwłaszcza na rozciąganie i ścinanie. Ten stan naprężeń zawsze panuje w strefie nadproży zarówno łukowych jak płaskich i klinowych, w związku z czym są one bardzo wrażliwe na oddziaływanie dynamiczne [6].

It is worth mentioning that propagation of scratches and cracks is enhanced by dynamic influences such as the movement of vehicles or technological devices. Under such loads (especially as a result of slackening and the loss of adhesiveness of the brick to the mortar) the wall structure crushes [5]. The strength of the wall deteriorates, especially in terms of resistance against tension and shearing. Such stresses prevail in the area of arched, flat and wedge-shaped lintels, which makes them very sensitive to dynamic influences [6].

## 5. Podsumowanie

Zarysowania i spękania murów w strefie nadproży nie tylko pogarszają użyteczność budynku, lecz mogą doprowadzić do awarii. Istniejące ceglane nadproże łukowe pracuje w złożonym stanie naprężeń, a przybliżone metody ich obliczeń nie w pełni odzwierciedlają rzeczywiste mechanizmy

## 5. Summary

Not only do the scratches and cracks of walls in the area of lintels worsen the usability of a building, but they also can result in a collapse. The existing brick arched lintel works under a complex state of stresses, and the methods of approximate calculation thereof do not fully reflect the actual mechanisms of destruc-

zniszczenia. W metodach tych np. nie uwzględnia się współpracy łuków z usytuowanymi nad nimi warstwami muru. Prowadzone przez autorów badania rzeczywistej pracy ceglanych nadproży łukowych w istniejących budynkach mają na celu oszacowanie ich rzeczywistej nośności i dokonania wyboru właściwych sposobów napraw.

tion. These methods do not take into account such factors as the co-operation of arches with the layers of the wall situated over them. The investigations of the actual work of brick arched lintels in the existing buildings, carried out by the authors, are aimed at estimation of their actual carrying capacity and selection of the proper methods of repairing.

## Literatura • References

- [1] Bargmann H., *Historische Bautabellen*, Normen Und Konstruktionshinweise 1870 – 1960, Auflage, Werner Verlag 2008.
- [2] Janowski Z., Hojdys Ł., Krajewski P., *Sklepienia zabytkowe – Klasyfikacja, ocena stanu technicznego i nośności, naprawy i wzmocnienia*, XXII Ogólnopolska konferencja warsztat pracy projektanta konstrukcji, 7-10 marca 2007, Szczyrk, PZITB, Bielsko-Biała 2007.
- [3] Jasięko J., Łodygowski T., Rapp P., *Naprawa, konserwacja i wzmocnianie wybranych zabytkowych konstrukcji ceglanych*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006
- [4] Kindracki J., *Nośność ścian ceglanych w strefie otworów okiennych*, Rozprawa doktorska pod kierunkiem prof. R. Orłowicza, Gliwice 1999.
- [5] Małyszko L., Orłowicz R., *Konstrukcje murowe. Zarysowania i naprawy*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko- Mazurskiego, Olsztyn 2000.
- [6] Oniszczuk L., *Kamiennye konstrukcji*, Strojizdat, Moskwa 1939.
- [7] *Tablice inżynierskie*. Tom III, Państwowe wydawnictwo naukowe, Poznań 1958.

---

\* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, Polska  
West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland

---

## Streszczenie

Niniejszy artykuł zawiera aktualną wiedzę o budowie łukowych nadproży. Zostało udowodnione, że dobrze znana teoria różni się od faktycznych prac budowlanych i że sprawdza się tylko w sporadycznych przypadkach. Dokonano analizy danych typowych typów morfologicznych pęknięć i rys. Wydział Inżynierii lądowej i Architektury Zachodu pomorskiej Politechniki rozpoczął badanie nad opisanym zagadnieniem.

## Abstract

The following article contains the current knowledge about construction of arched lintels. It had been proved that well – known theory differs from actual construction work and it proves correct only in occasional cases. There was made statistic analysis of typical morphological types of cracks and scratches. Department of Civil Engineering and Architecture in The West Pomeranian University of Technology has started research on the described issue.

Andrzej Rzeszotarski\*  
Romuald Orłowicz\*, Rafał Nowak\*

## Przyczyny uszkodzeń i naprawa wybranych zabytkowych sklepień ceglanych

## Causes of damages and repairs in antique brick vaults

### 1. Wprowadzenie

W artykule na przykładzie sklepień ceglanych wykonanych w zabytkowym budynku pocztowym przedstawiono konstrukcję sklepień ceglanych, ich pierwotne dopuszczalne obciążenia oraz skutki przeciążenia w trakcie eksploatacji i koncepcję naprawy powstałych uszkodzeń. Budynek pocztowy czterokondygnacyjny został wzniesiony w latach 1872-1875 [1]. Pierwsze opracowanie projektowe dotyczące piwnicy, parteru, I i II piętra wykonał Carl Schwatlo w 1871 roku. W roku 1872 został opracowany projekt uzupełniający przez Karla Friedricha Endella i pod kierunkiem którego w latach 1872-1875 rozbudowano kompleks pocztowy wg projektów Wolffa, polegający na nadbudowie paczkarń, wykonaniu szklanego przekrycia sali operacyjnej w budynku głównym oraz dobudowie trój-kondygnacyjnego przęsła do szczytu pomieszczeń paczkarń wraz z piętrowym półokrągłym ryzalitem. W latach 1886-1887 nastąpiła dalsza rozbudowa kompleksu pocztowego o budynek stajni, wozowni oraz nowej paczkarń. W latach 1887-1906 nastąpiła przebudowa kompleksu pocztowego wg koncepcji Wolffa, w wyniku której powstała nowa centrala telefoniczna oraz przebudowano wozownię i paczkarń. W latach 1919-1921 nastąpiła rozbudowa urzędu telegraficznego o jedną kondygnację. W latach 1945-1965 wykonano prace modernizacyjne kompleksu budynków pocztowych. W latach 1993-1995 nastąpiła renowacja głównej sali obsługi i skrzydła

### 1. Introduction

The article used an example of brick vaults executed in the antique post office building to present the construction of brick vaults, their prime admissible loads and the results of excessive load during exploitation thereof as well as the conception of repairing damages formed therein. The four-storey post office building was raised in years 1872-1875 [1]. The first project study relating to the cellar, the ground floor, 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> floor was made by Carl Schwatlo in 1871. In 1872 a supplementary design was made by Karl Friedrich Endell, under whose supervision in the years 1872-1875 the post office complex was extended according to designs by Wolff. The extension of the building consisted in extension of packing department upwards, making a glass roofing over the operating hall in the main building and building up a three-storey bay spanned at the top of the rooms of packing department together with a storey high semicircular risalit. In years 1886-1887 further extension of the post office complex took place; a building with stables, coach-house and a new packing department was put up. In years 1887-1906 the post office complex was rebuilt according to the Wolff's conception, which resulted in building a new telephone central station and the coach-house and packing department were rebuilt. In years 1919-1921 further extension of the telegraphic office by one more storey was made. In years 1945-1965 modernization works were done on the post office complex of buildings. In years 1993-1995 renovation of the main service hall and of the West

*Praca dopuszczona do druku po recenzjach*

*Article accepted for publishing after reviews*

zachodniego wraz z renowacją sklepień ceglanych części korytarza na I piętrze.

## 2. Opis konstrukcji

Kompleks obiektów pocztowych wykonany został jako murowany z różnymi stropami: na belkach drewnianych, odcinkowych na belkach stalowych oraz w postaci ceglanych sklepień.

Posadowienie kompleksu jest na gruncie niejednorodnym składającym się z warstwy o miąższości od 1-5 m torfu, pod którym występuje około 1,5 m mułu, a pod nim grunt nośny. W związku z tym budynek główny wraz z budynkiem paczkarni posadowiony został na palach drewnianych wbitych na głębokość 11 m poniżej poziomu terenu. Zostało wbitych 1500 szt. pali [1], na których ułożono drewniany ruszt i na nim masywne kamienne ściany fundamentowe o szerokości około 0,9 m w części dolnej do wysokości odsadzek 1,5-1,7 m powyżej poziomu rusztu. Powyżej wykonano ściany murowane o szerokości 0,77 m i wysokości od 3,8-4,1 m. Pomieszczenia piwnic pod całym budynkiem głównym mają wysokość 3,0 m i posiadają sklepienie ceglane oparte na arkadowych przęsłach. Z uwagi na duży spadek terenu w kierunku rzeki Odry, część piwnic znajduje się pod terenem, a część nad poziomem terenu. Podłogi piwnic oparte na drewnianych legarach ułożonych na ceglanych podmurówkach z przestrzenią podpodłogową wentylowaną za pomocą kominów. Ściany piwnic murowane z pustką powietrzną 6 cm na zaprawie wapienno-cementowej z odpowiednią ilością cegieł wiążących. Jako izolację przeciwwilgociową ścian piwnic zastosowano izolację asfaltową na całej powierzchni ścian poniżej terenu. Pomieszczenia o zwiększonej wilgotności, jak pralnia, magiel itp. zabezpieczono izolacją poziomą i pionową na bazie asfaltu.

Nadziemna część budynku głównego murowana z cegły ceramicznej pełnej z oblicówką ceramiczną. Od strony frontowej elewacje posiadają liczne zdobione elementy ceramiczne (rys. 1) murowane jednocześnie ze wznoszonymi murami. Stropy nad poszczególnymi kondygnacjami są belkowe drewniane



Rys. 1. Widok poczty od strony wejścia głównego  
Fig. 1. View of the post office building from the main entrance

wing took place, together with renovation of brick vaults in a part of the corridor on the first floor.

## 2. Description of the construction

The post office complex of objects was made as brick structure with various types of floors: on wooden beams, segmental on steel beams and in the form of brick vaults.

The foundation of the complex is on heterogeneous ground which consists from a layer of peat 1-5 m in thickness, under which there exists a layer of silt about 1,5 m in thickness, and underneath there is bearing ground. Due to this fact the main building together with the building of packing department have been settled on wooden pile foundations driven into the ground to the depth of 11 m below the level of the terrain. The number of piles driven into the ground was 1500 [1]. On the piles a wooden grillage was arranged and on this there were put up massive stone foundation walls of about 0,9 m in width at their bottom part, up to the set-off height 1.5-1.7 m above the level of the grillage. Above it brick walls were made of the width 0.77 m and the height from 3.8 to 4.1 m. The rooms of the cellars under the whole main building have 3.0 m in height and they have got brick vaults resting on arcaded spans. Due to large slope of the terrain towards the Odra river, a part of the cellars is underground, and a part is over the level of terrain. The floors of the cellars are supported on wooden joists arranged on brick underpinning works with space under the floor ventilated with the help of funnels. The walls of the cellars are brick walls with 6 cm air voids on the lime-cement mortar with suitable number of binding bricks. The anti-damping insulation of the cellars walls was made as asphalt insulation applied on the whole surface of the walls below the terrain. The rooms of increased dampness, such as laundry, mangle etc. have been protected with horizontal and vertical insulation on the base of asphalt.

The above-the-ground part of the main building is made from full ceramic brick with ceramic facing. The front façades have got numerous adorned ceramic units (fig. 1) laid simultaneously with raising the walls.

The above-the-ground part of the main building is made from full ceramic brick with ceramic facing. The front façades have got numerous adorned ceramic units (fig. 1) laid simultaneously with raising the walls.

w układzie poprzecznym z wyjątkiem odcinkowych stropów w korytarzach oraz ceglanych sklepień krzyżowych w pomieszczeniach nad partem wokół wejścia głównego i nad klatkami schodowymi. Więźby dachowe nad skrzydłami budynku głównego są drewniane o konstrukcji mieszanej (płatwiowo-kleszczowej z jedną ścianką stolcową i z zastrzałami) oraz konstrukcji stalowej w postaci kratownic nad nadbudowaną częścią starej paczkarni.

Pokrycie dachowe z blachy ocynkowanej i częściowo z papy termozgrzewalnej oraz zbrojonego szkła w świetlikach budynku głównego. Klatki schodowe betonowe, a głównie wykonane z konstrukcji stalowej kutej z marmurowymi stopniami. Posadzki we wszystkich pomieszczeniach dostępnych dla klientów wyłożone są płytkami ceramicznymi, w pozostałych pomieszczeniach podłogi drewniane, jedynie w ważniejszych pomieszczeniach dyrekcji ułożony jest parkiet.

Zespół budynku od początku powstania wyposażony był w instalację centralnego ogrzewania wodnego oraz system centralnej wentylacji – klimatyzacji. Świeże powietrze było doprowadzone do głównych pomieszczeń poprzez pionowe szachty, a następnie rozprowadzane małymi kanałami i rurami. Nawiew świeżego powietrza następował z wyrzutni pod stropem, a odprowadzenie zużytego powietrza poprzez kanały prowadzące do piwnicy i wyprowadzone do kanałów aspiracyjnych, w których występowały duże ruchy powietrza wywołane wyższą temperaturą z kotła grzewczego. Ponieważ wentylacja musiała być skuteczna również latem, dlatego obok kotła grzewczego ustawiono małe „palenisko letnie”.

### 3. Opis uszkodzeń sklepień ceglanych

Sklepienia ceglane nad pomieszczeniami wokół wejścia głównego do budynku wykonane są z cegły ceramicznej pełnej o grubości w polach 12 cm z żebrami o grubości 25 cm. Układ żeber w sklepieniach podano na rys. 2.

Zgodnie z danymi zawartymi w pracy [1] oraz wg [2] i [3], dopuszczalne obciążenie użytkowe dla pomieszczeń biurowych i mieszkalnych wynosiło 2,0 kN/m<sup>2</sup>. Pomieszczenia usytuowane nad tymi sklepieniami były przeznaczone na biurowe i w takiej formie użytkowane do lat czterdziestych ubiegłego stulecia. W końcu lat sześćdziesiątych i w latach siedemdziesiątych nastąpiła modernizacja wielu placówek pocztowych na terenie Pomorza Zachodniego [1]. W związku z tym te pomieszczenia zaadaptowano na inne potrzeby, zwiększając tym samym obciążenie użytkowe. Nadmie-

The floors over individual storeys are wooden beam floors in the transverse arrangement except for the segmental floors in corridors and brick cross-shaped vaults in the rooms over the ground floor around the main entrance and over the staircases. The rafter framings over the wings of the main building are wooden of mixed construction (of purlin-collar structure with one post truss wall with braces) and steel construction in the form of truss over the extension part of the old packing department.

Roof coverage is made from galvanized steel sheet and partly from thermally joined tar-board and reinforced glass in the skylights of the main building. The staircases are concrete, and mainly executed from forged steel construction with marble steps. The floors in all rooms accessible for customers are paved with ceramic tiles, in the remaining rooms floors are wooden, parquet floor is laid only in more important rooms of the management.

The complex of the building from the beginning of its history was equipped with the installation of water central heating and the system of central ventilation and air-conditioning. Fresh air was delivered to the main rooms through vertical wall channels, and then distributed through small channels and pipes. The intake of fresh air was from ventilation box under the ceiling, withdrawing of the used air through the channels leading to the cellar and led out to aspiration channels in which strong air movements took place due to higher temperature from the heating boiler. Because ventilation had to be also effective in the summer, this is why there was a small ‘summer hearth’ put next to the heating boiler.

### 3. Description of damages of brick vaults

Brick vaults over the rooms around the main entrance to the building are made from full ceramic brick of 12 cm in thickness, with fins of 25 cm in thickness. The arrangement of the fins in the vaults has been shown in fig. 2.

In accordance with the data contained in the study [1], and according to [2] and [3], the admissible operational load for offices and habitable rooms was 2.0 kN/m<sup>2</sup>. The rooms situated over these vaults were designed to be office rooms and in such form they were used till the fortieth years of the last century. In the end of the sixtieth and in the seventieth years the modernization of many post offices on the terrain of Western Pomerania took place [1]. Due to that, these rooms got adapted to different needs, thus enlarging the operational loads. One should also mention, that during

nić należy, że podczas długoletniego okresu eksploatacji głównego budynku (ponad 130 lat) nastąpiło pewne zużycie techniczne poszczególnych elementów układu konstrukcyjnego budynku.

W rozpatrywanych pomieszczeniach usytuowanych nad sklepieniem ceglany zmieniono funkcję użytkową z mieszkalno-biurowej na rozdzielnię paczek i wprowadzono mechaniczny przewóz paczek za pomocą wózków ręcznych i elektrycznych. Wskutek zwiększonego obciążenia użytkowego nastąpiło

uszkodzenie sklepień ceglanych w postaci pęknięć i zarysowań o różnej rozwartości, których charakter i przebieg przedstawiono na rys. 2.

Największe pęknięcia i zarysowania wystąpiły w środku rozpiętości łuku „A”, co zostało dokładnie ujawnione w wyniku dokonanych odwiertów na łuku i sklepieniach do powierzchni cegły (rys. 3). W największym pęknięciu w łuku „A”, po odkuciu tynku stwierdzono obłuzowane cegły oraz ubytki dolnych części cegieł. Na obłuzowanych ceglach łuku po ich zaklinowaniu klinami drewnianymi przed ich wypadnięciem i po ich zeszlifowaniu oraz na innych pęknięciach założono czujniki do rejestracji propagacji rys.

Uszkodzenia sklepień ceglanych przedstawione na rys. 3 nastąpiły wskutek ich przeciążenia składowymi paczkami oraz wózkami do ich transportu.

W czerwcu 2007 r. wykonana była ekspertyza [10], która dopuściła obciążenie użytkowe sklepienia w korytarzu położonym na

I piętrze w wysokości  $20,0 \text{ kN/m}^2$ , a w pozostałych



Rys. 2. Rzut sklepień z rysami i pęknięciami (linie przerywane)  
Fig. 2. Sketch of vaults with scratches and splits (discontinuous line)

occurred damage of brick vaults in the form of cracks and scratches of a variety of splitting, whose character and course have been presented on fig. 2.

The largest cracks and scratches occurred in the centre of the span of the arch 'A', which has been exactly disclosed in the result of testing bore-holes drilled on the arch and the vaults up to the surface of brick (fig. 3). In the largest crack in the arch 'A', slack bricks and material losses of the bottom part of bricks have been found after chiseling the plaster off. On the slack bricks of the arch, after wedging them up with wooden wedges to protect them from falling off and after grinding them, and on other cracks, sensors for registration of propagation of the scratches were installed.

Damages of brick vaults presented in fig. 3 occurred as the result of their overload with post parcels stored above and with trolleys for transportation of the parcels.

The structural survey carried out in June 2007 [10] allowed the operational load of the vault in the corridor

situated on the first floor to be up to  $20.0 \text{ kN/m}^2$ ,



Rys. 3. Widok spękanego łuku A i części sklepienia nr 4  
Fig. 3. View of the cracked arch A and part of vault no. 4

pomieszczeniach 5,0 kN/m<sup>2</sup>. Poza tym przyjęto w tej ekspertyzie dodatkowo obciążenie pomieszczeń w wysokości 20,0 kN od transportu wózkami paletowymi jako obciążenie krótkotrwałe.

#### 4. Analiza przyczyn powstałych uszkodzeń

Dla analizy przyczyn powstałych uszkodzeń ceglanych sklepień zamontowano na pęknięciach i rysach czujniki do obserwacji ich propagacji oraz wykonano badania geodezyjne osiadań budynku, których celowość wynikała z następujących przyczyn:

- posadowienia na słabym podłożu,
- wielokrotnej rozbudowy i modernizacji,
- ewentualnej zmiany poziomu wód gruntowych,
- przeciążenia z uwagi na zmianę funkcji wielu pomieszczeń,
- ewentualnego wpływu drgań wywołanych ruchem drogowym.

Pomiary nierównomierności osiadań wykonano za pomocą niwelacji cokołu budynku po jego obwodzie, a także niwelacji posadzek na parterze w sali operacyjnej w westybulu pod zarysowanym sklepieniem ceglany.

Wpływ nierównomierności osiadań pionowych ścian na ich stan graniczny użyteczności wg ustaleń normowych [4], sprawdza się wg wzoru:

$$\Theta_{sd} \leq \Theta_{adm}$$

gdzie  $\Theta_{adm} = \Delta u / L$  – kąt odkształcenia postaciowego, natomiast  $\Delta u$  – wartość różnicy pionowych przemieszczeń wyznaczonych na obydwu końcach wydzielonego pasma ściany o długości  $L$  z największą kumulacją odkształceń.

W przypadku, gdy pionowe przemieszczenia podłoża pod budynkiem zostały wywołane oddziaływaniami o charakterze długotrwałym lub gdy w murze zaszły już procesy reologiczne, można przyjmować zwiększoną wartość dopuszczalną kąta odkształcenia postaciowego

$$[\Theta_{adm}] = \Theta_{adm} \cdot (1 + \eta_{E\infty} \cdot \phi_{\infty}) = 0,5 \cdot 10^{-3} (1 + 0,3 \cdot 1,5) = 0,725 \cdot 10^{-3}$$

gdzie:  $\Theta_{adm} = 0,5 \cdot 10^{-3}$  – dopuszczalna wartość kąta odkształcenia postaciowego [4],  $\eta_{E\infty} = 0,3$  – współczynnik uwzględniający zmniejszenie pełzania muru na skutek redystrybucji sił wewnętrznych w konstrukcji oraz stosunek obciążenia działającego długotrwałe do obciążenia całkowitego konstrukcji murej,  $\phi_{\infty} = 1,5$  – końcowa wartość współczynnika pełzania.

Największa kumulacja odkształceń pionowych  $\Delta u = 40$  mm występuje w paśmie ściany o długości

and in the remaining rooms 5.0 kN/m<sup>2</sup>. Beside to that, it was accepted in that structural survey that the rooms may be loaded additionally to the level of 20.0 kN by transportation with pallet trolleys as short-term load.

#### 4. Analysis of the causes of formed damages

To carry out the analysis of the causes of the created damages of brick vaults the sensors were installed on cracks and scratches to observe their propagation and there was executed the geodesist's survey of subsidence of the building. The advisability of these activities resulted from the following causes:

- foundation of the building on a weak subsoil,
- multiple extension and modernization,
- possible change of the underground water level,
- overload due to the change of the function of many rooms,
- possible influence of vibrations due to traffic.

The measurements of inequality of subsiding have been executed by leveling of the pedestal of building following its periphery, and also by leveling of floors on the ground floor in the operating hall in the vestibule under the scratched brick vault.

The influence of inequality of subsiding of vertical walls on their boundary condition for ability to be used according to the settlements by standards [4], is checked with the use of the formula:

wherein  $\Theta_{adm} = \Delta u / L$  – the angle of non-dilatational strain, whereas  $\Delta u$  – the value of difference of vertical dislocation as determined on both ends of a isolated strip of the wall of the length  $L$  with the largest accumulation of strains.

In the case, when the vertical dislocation of the subsoil under the building have been caused by long-term influences, or when rheological processes have already taken place the wall, one can accept enlarged admissible value of the angle of the non-dilatational strain

wherein:  $\Theta_{adm} = 0,5 \cdot 10^{-3}$  – admissible value of the angle of non-dilatational strain [4],  $\eta_{E\infty} = 0,3$  – coefficient taking into account decrease of creep of the wall in the consequence of redistribution of internal forces in the construction and the ratio of the long-term working load to the total load of the brick wall construction,  $\phi_{\infty} = 1,5$  – the final value of the creep coefficient.

The largest accumulation of vertical strains  $\Delta u = 40$  mm occurs in the strip of the wall of the

$L = 4,2$  m przy wejściu głównym. Odształcenie postaciowe tego pasma z otworami okiennymi  $\Delta u = 40/4200 = 0,0095 = 9,52 \cdot 10^{-3}$  o 13 razy przekracza wartość dopuszczalnego kąta odształcenia postaciowego  $[\Theta_{adm}] = 0,725 \cdot 10^{-3}$ . Oznacza to, że w pasmach międzyokiennych na skutek tak dużego nierównomiernego osiadania ściany powinny byłyby powstać zarysowania ukośne [6, 7]. W rzeczywistości podczas wizji lokalnej podobnych zarysowań nie stwierdzono na wszystkich ścianach podłużnych budynku. Biorąc pod uwagę powyższe, podstawowa przyczyna powstałych uszkodzeń sklepień ceglanych związana jest ze zmianą funkcji pomieszczeń na I piętrze w stosunku do pierwotnego projektu [1], gdzie znajdowały się pomieszczenia: gabinet głównego dyrektora, przedpokój, pomieszczenia dla personelu nadzoru oraz korytarz łączący te pomieszczenia. Natomiast przesyłki pocztowe były składowane w piwnicach, a ich sortowanie odbywało się na parterze.

Obciążenie użytkowe dla pomieszczeń znajdujących się nad sklepieniami ceglanych wg normy DIN 1055 [2] wynosiło  $2,0 \text{ kN/m}^2$ . Należy nadmienić, że wg normy polskiej PN-82/B-02000, obciążenie użytkowe dla pomieszczeń biurowych również wynosi  $2,0 \text{ kN/m}^2$ , a dla pomieszczeń komunikacyjnych w biurach wynosi  $2,5 \text{ kN/m}^2$ .

Sklepienia ceglane będące przedmiotem ekspertyzy zostały zaprojektowane i wykonane dla ww. obciążeń użytkowych. Zgodnie z danymi pracy [8] wytrzymałość cegły stosowanej w XIX wieku wynosiła około  $f_b = 5,2 \div 6,0 \text{ MPa}$ , natomiast wytrzymałość murarskiej zaprawy wapiennej wynosiła  $f_m = 1,0 \div 2,0 \text{ MPa}$ , co odpowiada najniższej marce zaprawy wg aktualnych norm. Wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie wykonanego z takich materiałów wg normy [4] będzie w granicach:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} = 1,6 \div 2,2 \text{ MPa}$$

gdzie:  $K = 0,5$ .

Natomiast wytrzymałość obliczeniowa muru z uwzględnieniem współczynnika bezpieczeństwa  $\gamma_m = 3,0$  [13] wyniesie:

$$f_d = 0,5 \div 0,7 \text{ MPa}$$

Wg pracy Oniszczyka [9] sklepienia o stosunku strzałki do rozpiętości od  $1/6$  do  $1/12$  należy rozpatrywać jako sklepienia spłaszczone, a ich minimalna grubość winna wynosić (przy wytrzymałości muru na ściskanie  $0,7\text{-}0,8 \text{ MPa}$ ):

- przy rozpiętości do  $3,0 \text{ m} - \frac{1}{2}$  cegły,
- przy rozpiętości  $4\text{-}6 \text{ m} - 1,0$  cegła.

Zalecane minimalne grubości sklepień wyznaczono

length  $L = 4.2$  m near the main entrance. The non-dilatational strain of this strip with window openings  $\Delta u = 40/4200 = 0.0095 = 9.52 \cdot 10^{-3}$  exceeds about 13 times the admissible angle of the non-dilatational strain  $[\Theta_{adm}] = 0.725 \cdot 10^{-3}$ . This means, that in strips between the windows, as the result of so large unequal subsiding of the wall, there should occur slanting scratches [6, 7]. In fact no similar scratches on all the longitudinal walls of the building have been found during the on site inspection. Taking into consideration the above mentioned, the basic cause of the damages formed in brick vaults is connected with the change of the function of the rooms on the first floor in relation to their original project destination [1], where the following were provided to be: the manager's study, the hall, rooms for the supervision staff and the corridor linking these rooms. The post parcels were stored in the cellars, and their sorting was held on the ground floor.

Operational load for the rooms situated over the brick vaults according to the standard DIN 1055 [2] was  $2.0 \text{ kN/m}^2$ . It should be mentioned, that according to the Polish standard PN-82/B-02000, the operational load for office rooms also equals  $2.0 \text{ kN/m}^2$ , and for communication rooms in the offices it is  $2.5 \text{ kN/m}^2$ .

Brick vaults which are the object of the survey were designed and executed for the above mentioned operational load. According to the data in the study [8] strength of the brick applied in XIX century was about  $f_b = 5.2 \div 6.0 \text{ MPa}$ , whereas strength of bricklayer's lime mortar was  $f_m = 1.0 \div 2.0 \text{ MPa}$ , which corresponds to the lowest grade of mortar according to current standards. Characteristic compression strength of a brick wall made from such materials according to the standard [4] will be within the limits:

wherein:  $K = 0.5$

Whereas the computational strength of a brick wall, considering the coefficient of the safety  $\gamma_m = 3.0$  [13], will be:

According to the study by Oniszczyk [9] vaults with the ratio of the arch rise to the span of the arch from  $1/6$  to  $1/12$  should be regarded as flattened vaults, and their minimum wall thickness ought to be (at the wall compression strength  $0.7\text{-}0.8 \text{ MPa}$ ):

- for the arch span up to  $3.0 \text{ m} - \frac{1}{2}$  of a brick,
- for the arch span  $4\text{-}6 \text{ m} - 1.0$  of a brick.

The recommended minimum thickness of vaults



dla ich obciążenia nie przekraczającego  $5,0 \text{ kN/m}^2$ , w skład którego wchodzi obciążenie użytkowe, wszystkie warstwy stropu, oprócz ciężaru sklepienia.

W związku z powyższym określone w ekspertyzie [10] dopuszczalne obciążenie użytkowe dla przedmiotowych sklepień ceglanych znacznie przekraczało obciążenie określone wg pracy [9]. Szczególnie niebezpiecznym dla rozpatrywanych sklepień stanowiło użytkowe obciążenie skupione określone w ekspertyzie [10] w wysokości  $20,0 \text{ kN/m}^2$ .

O przeciążeniu rozpatrywanych sklepień takim obciążeniem użytkowym świadczy morfologia zarysowań podana na rys. 2. Z analizy morfologii zarysowań wynika, że nad pomieszczeniem nr 5 (patrz rys. 2), gdzie nie było ruchu wózków i magazynowania przesyłek (pomieszczenie skarbcza i administracyjne) nie wystąpiło zarysowanie sklepień ceglanych. Natomiast nad pozostałymi pomieszczeniami nr 1, 2, 3, 4, 6, gdzie odbywał się ruch wózków i magazynowanie przesyłek, wystąpiły zarysowania sklepień nad tymi pomieszczeniami. Przebieg zarysowań sklepień nad tymi pomieszczeniami pokrywa się z kierunkiem ruchu wózków i ciężarem składowanych przesyłek.

Najniebezpieczniejsze zarysowania wystąpiły w sklepieniu pod korytarzem I piętra, którego ciężar własny jest największy z uwagi na układ warstw, wynoszący około  $11,0 \text{ kN/m}^2$ . W korytarzu tym poza intensywnym ruchem wózków magazynowano największą ilość przesyłek.

Zdaniem autorów referatu, do powstania zarysowań sklepień ceglanych nie mogło przyczynić się nierównomierne osiadanie podłoża pod budynkiem. Mało prawdopodobnym wydaje się wpływ drgań od pojazdów poruszających się ulicami przyległymi do budynku. Drgania te są tłumione przez ściśliwy grunt zalegający w rejonie budynku Poczty oraz posadowienie budynku na palach i ruszcie drewnianym [11, 12, 13]. Poza tym konstrukcja nośna murowa budynku wykonana jest na podatnej zaprawie wapiennej. Należy nadmienić, że sklepienia jako konstrukcje rozporowe są odporne w dość znacznym zakresie na działania obciążeń dynamicznych a nawet sejsmicznych [14]. Natomiast wrażliwość muru na obciążenia dynamiczne wzrasta w przypadku istniejących zarysowań lub spękań, gdyż drgania zwiększają ich propagację [15].

## **5. Koncepcja naprawy powstałych uszkodzeń**

Zagadnienie napraw, wzmocnienia i konserwacji sklepień murowanych jest dość szeroko omówiona we współczesnej literaturze [5, 8, 17, 18, 19].

was determined for load not exceeding  $5.0 \text{ kN/m}^2$ , this includes operational load, all shells of the ceiling, except for the weight of the vault.

In the relationship with above mentioned, the admissible operational load for the brick vaults, as defined in the survey [10], considerably exceeded the load defined in the work [9]. The concentrated operational load defined in the survey [10], which was at the level of  $20.0 \text{ kN/m}^2$ , was particularly dangerous for the considered vaults.

The morphology of scratches as presented in fig. 2 testifies about the overload of the considered vaults with such operational load. From the analysis of morphology of scratches it is visible, that over the room no. 5 (see fig. 2), where there was no movement of trolleys and where no mail was stored (the strong-room and an administrative room) no scratches of the brick vaults have occurred. Whereas over the remaining rooms nos. 1, 2, 3, 4, 6, where the movement of trolleys was held and where mail was stored, there occurred scratches of the vaults. The course of the scratches of vaults over these rooms agrees with the direction of the movement of trolleys and the weight of stored mail.

The most dangerous scratches occurred in the vaults under the corridor of the first floor, whose own weight is the largest due to the arrangement of shells and is equal to about  $11.0 \text{ kN/m}^2$ . In this corridor, besides to intensive movement of trolleys, the largest quantity of mail was stored.

In the opinion of the authors of the report, unequal subsiding of the subsoil under the building could not have contributed to occurrence of scratches of the brick vaults. It is also not very likely that it was influenced by the vibrations from the traffic in the streets adjoining to the building. These vibrations are muffled by compressible ground lying in the region of the post office building and the foundation of the building on piles and wooden grillage [11, 12, 13]. Besides, the brick wall bearing construction of the building is made on yielding lime mortar. One should mention that vaults as stretching constructions are resistant in quite considerable range to the operation of dynamic loads and even to seismic ones [14]. However the sensitivity of the wall to dynamic loads grows up in case there exist scratches or cracks, because vibrations increase their propagation [15].

## **5. Conception of repairing of the created damages**

The question of repairs, strengthening and preservation of brick vaults is quite broadly discussed in the present literature [5, 8, 17, 18, 19].

Wybór sposobu napraw uszkodzonych sklepień zależy od wielu czynników i wymaga szczegółowej analizy co do jego efektywności. W związku z tym niżej przytoczono ewentualne sposoby napraw przedmiotowych sklepień przy założeniu, że będą one spełniać funkcję stropu między parterem a piętrem zgodnie z pierwotnym projektem, czyli będą przenosić obciążenie użytkowe nieprzekraczające  $2,0 \text{ kN/m}^2$  jak dla pomieszczeń biurowych [2]. Rozważano następujące sposoby napraw:

- Odciążenie sklepień poprzez wymianę istniejącej zasyпки na lżejszą, np. z keramzytu.
- Zastosowanie od spodu sklepień odciażającego płaszcza żelbetowego w postaci zamocowanych do sklepień siatek stalowych obetonowanych torkret – betonem o grubości ok. 60 mm.
- Odciążenie sklepień murowanych za pomocą rusztu stalowego opartego na ścianach nośnych i przenoszącego w całości obciążenie użytkowe.
- Zastosowanie żeber stalowych od spodu sklepienia wzmacniających nadproża łukowe.
- Zastosowanie żeber żelbetowych lub murowych usytuowanych od strony zewnętrznej spękanych łuków drzwiowych i okiennych.
- Zastosowanie ściągów stalowych w obrębie nadproży łukowych [8].
- Zastosowanie płaszcza żelbetowego lub żeber żelbetowych, stalowych lub ewentualnie z drewna klejonego, usytuowanych od góry sklepienia.
- Zbrojenie zarysowanych sklepień za pomocą prętów stalowych ze stali żebrowanej lub specjalnych prętów spiralnych.
- Zbrojenie zarysowanych i spękanych przesklepień za pomocą taśm lub mat z włókien sztucznych mocowanych do muru za pomocą specjalnych klejów [19, 20, 21].
- Iniekcja istniejących zarysowań i spękań [8]. Spełnia ona dwójaką rolę przy wzmacnianiu murów sklepień. Pierwszym celem jest wypełnienie wolnych przestrzeni i szczelin (rys i pęknięć), co ma stworzyć ze spękanego sklepienia materiał zhomogenizowany. Drugim celem iniekcji jest wzmocnienie zaprawy, która na skutek długotrwałej eksploatacji uległa uszkodzeniu lub została wykruszona ze spoin w sklepieniu.

Po analizie powyższych możliwości napraw powstałych uszkodzeń sklepień ceglanych przyjęto koncepcję polegającą na wzmocnieniu najbardziej spękanego łuku „A” od spodu konstrukcją stalową zakrytą tynkiem oraz wykonanie iniekcji uwidoczniionych pęknięć i zarysowań po odkuciu tynku za pomocą materiału iniekcyjnego o niskiej

The choice of the way of repairing of damaged vaults depends on many factors and requires a detailed analysis as to its effectiveness. Regarding this the possible ways of repairing of objective vaults have been quoted below, with the assumption that they will fulfill the function of the floor between the ground floor and the first floor as it had been provided in the original design, i.e. they will transfer operational load not exceeding  $2.0 \text{ kN/m}^2$  as provided for office rooms [2]. The following ways of repairs were considered:

- Relieving the vaults by replacing the existing backfill with lighter material, e.g. keramzite.
- Application from the bottom of the vaults a relieving reinforced concrete shell in the form of steel mesh fixed to the vaults gunnite covered, having about 60 mm in thickness.
- Relieving the brick vaults using steel grillage supported on the bearing walls and completely transferring the operational load.
- Application of steel fins from the bottom of the vault to strengthen arched lintels.
- Using reinforced concrete or brick fins situated from the external side of the cracked door and window arches.
- Using steel stays in the area of arched lintels [8].
- Using reinforced concrete shell or reinforced concrete fins, steel fins or alternatively fins made from plywood, situated from the top of the vaults.
- Reinforcement of the scratched vaults using steel rods from ribbed steel or special spiral rods.
- Reinforcement of the scratched and cracked vault constructions using the tapes or mats made from artificial fibers fixed to the wall using special glues [19, 20, 21].
- Injection of the existing scratches and cracks [8]. This fulfils double role in strengthening brick walls of vaults. The first purpose is filling free spaces and crevices (scratches and cracks) which has to turn the cracked vault into homogenous material. The second purpose of the injection is strengthening of the mortar which in the consequence of long-lasting exploitation underwent damage or crumbled out from the joints in vaults.

Having analyzed the above mentioned possibilities of repairing the damages formed in the brick vaults it was decided to accept the conception which consists in strengthening of the most cracked arch ‘A’ from the bottom with a steel construction covered with plaster and making injections of the visible scratches and cracks after chiseling off the plaster;

lepkości specjalnie opracowanego przez firmę MC Bauchemie na podstawie przeprowadzonych przez autorów badań składu zaprawy istniejącej w spoinach sklepień. Dla dodatkowego wzmocnienia sklepień i łuków ceglanych od ich spodu po usunięciu tynku zalecono zamontowanie siatek z włókna węglowego [23]. Szczególną uwagę zwraca się na fakt, że wymagające napraw sklepienia ceglane znajdują się w budynku zabytkowym i w związku z tym podlegają odpowiednim uzgodnieniom z konserwatorem zabytków [22].

the injection to be used is special low viscosity material worked out by firm MC Bauchemie on the basis of the investigation of the composition of the mortar existing in the joints of vaults, specially conducted by the authors of the article. To have the vaults and brick arches additionally strengthened from their bottom side after removal of the plaster it is recommended to install meshes from carbon fibers [23]. It is worth pointing out, that the brick vaults which require repairs are in an antique building and due to this suitable settlements with the conservator of relics are requested [22].

## Literatura • References

- [1] Makowska B., *Zespół budynków pocztowych przy ul. Dworcowej nr 20 w Szczecinie. Monografia architektoniczno-konserwatorska*, Warszawa 2001.
- [2] Verkerlast nach DIN 1055 Blatt 3, 1934.
- [3] Ahnert R., Krause K.H., *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz*, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1998.
- [4] PN-B-03002. *Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie*.
- [5] Janowski Z., *Analiza sklepień w obiektach zabytkowych*, XI Konferencja naukowo-techniczna „Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i zabytkowym” REMO 2004, Wrocław – Kliczków 2004.
- [6] Lewicki B., Jarmontowicz R., Kubica J., *Podstawy projektowania niezbrojonych konstrukcji murowych*, ITB, Warszawa 2001.
- [7] Kawulok M., *Ocena właściwości użytkowych budynku z uwagi na oddziaływanie górnicze*, ITB, Warszawa 2000.
- [8] Janowski Z., Hojdys Ł., Krajewski P., *Sklepienia zabytkowe – klasyfikacja, ocena stanu technicznego i nośności, naprawy i wzmocnienia*, Warsztat pracy projektanta konstrukcji. XXII Ogólnopolska Konferencja, Szczyrk 2007.
- [9] Oniszczyk L., *Kamiennye konstrukcje*, Strojizdat, Moskwa 1939.
- [10] *Ekspertyza konstrukcyjno-budowlana dot. stanu konstrukcji oraz wielkości dopuszczalnego obciążenia stropów pomieszczeń rozdzielni na I piętrze budynku przy ul. Dworcowej 20a*, Pracownia Projektowa „BAD-KON”, Gryfice, 2007.
- [11] Ciesielski R., *Określenie wpływu obciążeń dynamicznych na mury w budynkach zabytkowych*, V Konferencja Naukowo-Techniczna „Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”, Kraków 2000.
- [12] Ciesielski R., Maciąg E., *Drgania drogowe i ich wpływ na budynki*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990.
- [13] *Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków mieszkalnych przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków*, Instrukcja 348/98 Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 1998.
- [14] Sieczkowski M., Szolomicki J., *Metody obliczeń statyczno-wytrzymałościowych sklepień w budowalach gotyckich*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.
- [15] Małyszko L., Orłowicz R., *Konstrukcje murowe. Zarysowania i naprawy*, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn 2000.
- [16] *Ekspertyza budowlana dot. konstrukcji stropów korytarzy i pomieszczeń rozdzielni w budynku Urzędu Przewozu Poczty przy ul. Dworcowej 20b w Szczecinie*, Pracownia Projektowa „BAD-KON”, Gryfice 2008.
- [17] Janowski Z., *Przyczyny zawalenia sklepień i problemy związane z ich odbudową*, XII Konferencja Naukowo-Techniczna, Szczecin – Międzyzdroje 2005.
- [18] Janowski Z., Hojdys Ł., Krajewski P., (2006) *Uszkodzenia oraz analiza statyczna wpływu zasypki na pracę sklepień ceglanych*, VII Konferencja Naukowo-Techniczna „Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”, Kraków 2006.

- [19] Jasięko J., Łodygowski T., Rapp P., *Naprawa, konserwacja i wzmacnianie wybranych, zabytkowych konstrukcji ceglanych*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.
- [20] Małyszko L., Orłowicz R., *Wzmocnienie murów zginanych głównie w swojej płaszczyźnie*, X Konferencja Naukowo-Techniczna REMO, Wrocław – Kliczków 2002.
- [21] Orłowicz R. i in., *Wybrane aspekty wzmacniania filarów murowych za pomocą materiałów kompozytowych*, Przegląd Budowlany, 2004, nr 4.
- [22] Tajchman J., *Czynniki warunkujące i kształtujące ochronę i konserwację zabytków architektury*, (w:) *Architectura et historia. Studia Mariano Arszyński septuagenario dedicata*, Toruń 1999.
- [23] Aprobata techniczna IBDiM AT/2006-03-2005: *Zestaw materiałów Ruredil przeznaczonych do wzmocnień elementów konstrukcji murowych i betonowych*.

---

\* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, Polska  
West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland

---

## Streszczenie

W referacie omówiono dwa przykłady zastosowania szkła o dużych rozpiętościach, pełniącego funkcje konstrukcyjne, do ekspozycji elementów zabytkowych w budynkach. Szkło, ze względu na swą przezierność i neutralność architektoniczną pozwala na zachowanie cennych elementów zabytkowych tak, że pozostają one wbudowane tam, gdzie je odkryto, mogą być elegancko wyeksponowane, a jednocześnie funkcja budynku nie jest w żadnym stopniu zaburzona.

To rozwiązanie jakże częstych dylematów przy pracy z budynkami historycznymi: funkcjonalność nowoczesności – czy zachowanie historycznych wartości? Co poświęcić kosztem czego? Omówiona technologia w wielu przypadkach będzie rozwiązaniem zaspokajającym obie te potrzeby. A kluczowym argumentem może być jej łatwa dostępność i możliwość realizacji tu w Polsce.

## Abstract

The lecture describes two examples of the application, where a wide range glass is being used, as a structural component, in order to expose historic parts of the building. Glass, being transparent and architectural neutral allows preserving valuable historic elements especially that they remain integrated just as they were discovered, yet elegantly displayed, while at the same time none of the building's function is impaired.

It is a solution for common dilemmas when working with a historic building: functionality of modern ways or rather preserving its historic value? Which will be sacrificed as a cost? The described technology in many cases will fulfil both of those needs equally. And the key argument could be its availability and capability for its realization here in Poland.

Yoshinori Iwasaki\*

## Problems caused by excavation by conservation and archaeological study in Angkor monuments, Cambodia

## Problemy wywołane wykopaliskami w ramach konserwacji i badań archeologicznych zabytków w Angkor w Kambodży

### 1. Preface

The archaeological unit of JSA (Japanese Government Team for Safeguarding Angkor) has been performed field excavation since 1995. One of the sites in 1995 was re-excavation of the EFEO's (L'École française d'Extrême-Orient) trench site of the pavement at the foot of the foundation mound to study underground structure of the Northern Library of Bayon. Based upon geotechnical study, the back-filled ground was very loose state. After this experience, JSA had practiced backfill compaction for trenches in Angkor.

### 2. Re-excavation of trench at Northern Library at Bayon [2, 3]

The Northern Library at Bayon was one of the independent structures that JSA had planned to carry out conservation work.

To study the foundation structure of the foundation, JSA had selected the trenched site by EFEO in 1960s for re-excavation. As shown in fig.1, the number 4 indicates the trench position by EFEO. At the site, some disorder of the surface pavement with sagged stones were recognized and was decided to re-excavate (JSA trench in 1966 shown in fig.1). After excavating loose ground below the

### 1. Wstęp

Archeologiczna jednostka JSA (Japoński Rządowy Zespół ds. Ochrony Angkoru) wykonywała prace wykopaliskowe w terenie od 1995 r. W roku 1995 prowadziła między innymi ponowne wykopaliska rowów EFEO (L'École française d'Extrême-Orient: Francuska Szkoła Dalekiego Wschodu) w części chodnika u stóp fundamentu kopca, a celem prac było zbadanie podziemnej struktury Północnej Biblioteki Bajonu. Z badań geotechnicznych wynikało, że grunt zasypowy jest bardzo luźny. Po tych doświadczeniach JSA zastosowało zagęszczenie zasypki w rowach w Angkor.

### 2. Ponowne wykopy rowów w Bibliotece Północnej w Bajonie [2, 3]

Północna Biblioteka w Bajonie była jedną z samodzielnych struktur, które JSA zamierzało poddać konserwacji.

W celu zbadania konstrukcji fundamentu JSA wybrało miejsce, gdzie EFEO prowadziło wykopy w latach 60. XX w. Na rys. 1 numer 4 wskazuje położenie rowów wykopanych przez EFEO. W tym miejscu zaobserwowano nieregularność powierzchni chodnika i osiadanie kamieni. Podjęto decyzje o ponowieniu prac wykopaliskowych (Rów JSA z 1966 r. na rys. 1). Kiedy wykopano luźny nasyp

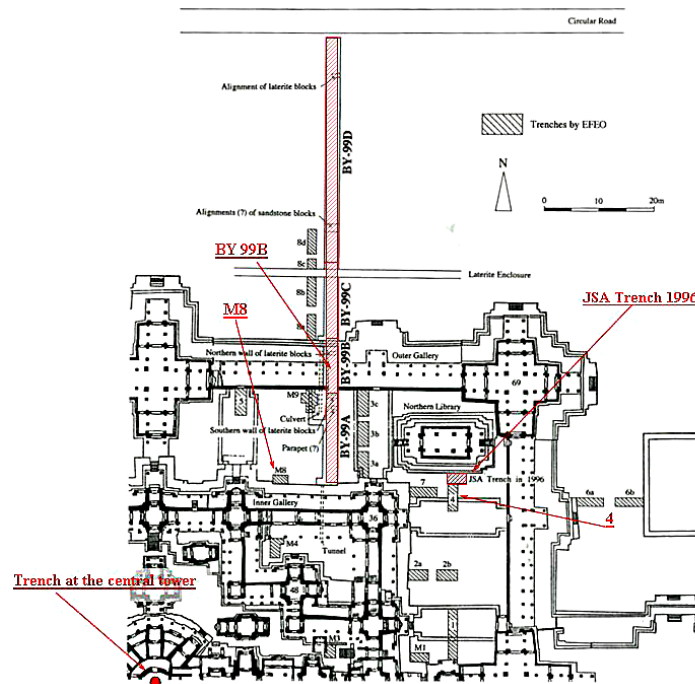


Fig. 1 Archaeological excavation sites in Bayon [1]  
 Ryc. 1. Miejsca wykopalisk archeologicznych w Bajonie [1]

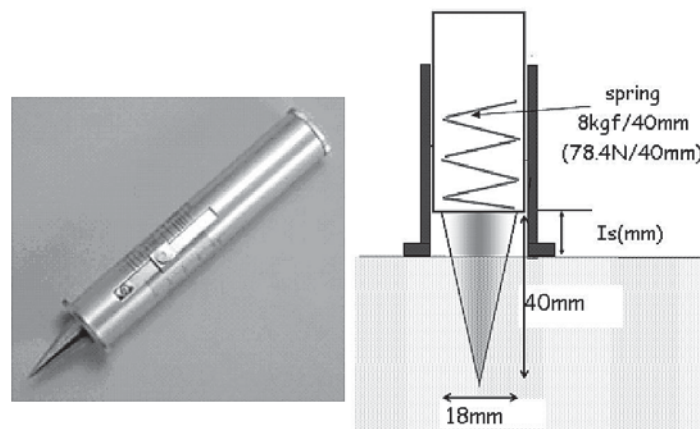


Fig 2. Yamanaka Soil Hardness Tester  
 Rys 2. Penetrometr Yamanaki

pavement, vertical wall of compacted dense soil had appeared [2].

To compare the fill-backed and the original grounds, Yamanaka Soil Hardness Tester was applied to study hardness of these soils. The Yamanaka Tester was developed to test soils for the agricultural engineering and is used widely at present. The tester consist of triangular cone with spring and shortened length of the spring is to be read when the cone is inserted into ground surface. JSA uses pocket type of the tester of the dimensions of dia = 50 mm, length = 230 mm, cone: length 40 m with dia 18 mm.

The tested results was as follows,  
 Ground Penetration Resistance by Yamanaka  
 Original fill 10.0-38.6 kgf/cm<sup>2</sup>  
 (av. 20.5)

poniżej chodnika, ukazała się pionowa ściana zagęszczonego gruntu [2].

W celu porównania gruntu zasypowego z naturalnym zastosowano tester wytrzymałości podłoża (penetrometr) Yamanaki, badając grunt z obu warstw. Tester Yamanaki opracowano do badań gruntów związanych z inżynierią rolniczą i jest on nadal szeroko stosowany. Tester składa się z trójkątnego stożka ze sprężyną. Skrócenie sprężyny odczytuje się po wprowadzeniu ostrza urządzenia w grunt. JSA używa przenośnego modelu testerów o wymiarach: średnica = 50 mm, długość = 230 mm, stożek: długość = 40 m i średnica = 18 mm.

Uzyskano następujące wyniki:  
 Opór podłoża przy penetracji wg Yamanaki  
 Pierwotne wypełnienie: 10.0-38.6 kgf/cm<sup>2</sup>  
 (średnio 20,5)

Back fill 2.0-6.4 kgf/cm<sup>2</sup> (av. 3.2)  
The backfilled ground was shown as only 1/7 hardness compared to the original compacted fill [3].

### 3. Backfill for long trench at Bayon [4, 5]

Some 3 m width of north western part of wall and pavement floor of the Outer Gallery was dismantled to construct a temporary access road for heavy duty machines of restoration work from Dec. 1995 to Jan. 1996 [4]. After the completion of the restoration work, a long trench was excavated to study the ground structure and backfilled before returning the temporary road to the original states from Nov. 1999 to Sep. 2000. The long trench consists of four parts (99A, 99B, 99C and 99D fig. 1), which are divided into two different backfilling types of 99B with heavy load of stone columns and masonry wall and others with only plain surface.

#### 3.1. Backfilling of trenches at plain ground [5]

Trenches at plain ground (99A, 99C, and 99D) were backfilled by the following procedures.

##### a. Backfilling soil material

Excavated soils had been stored with test of grain particle distribution and used later.

When additional soil was needed, sand was purchased and used after adjusting the grain size distribution.

##### b. Control of water contents

Since the water contents at the compaction could result in great effects on density, the water contents were checked if they are within a range of WC = 6-9% that was obtained by compaction test.

##### c. Compaction

Soil was spread about 10 cm in thickness for compaction and densified until the thickness became 7 cm. The compaction began with foot stepping, striking soil with rod first every corner and points, and ended with final hitting with "elephant foot (iron plate with squared shape of 15 x 15 cm<sup>2</sup>)."

The compaction was continued until the hardness became larger than  $q > 8 \text{ kgf/cm}^2$ .

##### d. Compaction of ground of 15cm beneath the stone pavement

Surface ground of 15cm in thickness directly beneath the pavement of stone and laterite block was constructed as slacked lime mixed soil using type-I material. Type-I material is the same component as used for restoration work of the North-

Grunt zasypowy 2.0-6.4 kgf/cm<sup>2</sup>  
(średnio 3,2)

Okazało się, zagęszczenie zasypki odpowiada jedynie 1/7 zagęszczenia pierwotnego wypełnienia [3].

### 3. Grunt użyty do zasypania długiego rowu w Bajonie [4, 5]

Aby przygotować tymczasową drogę dla ciężkich maszyn używanych przy pracach konserwacyjnych od grudnia 1995 r. do stycznia 1996 r., zdemontowano około 3m szerokości północno zachodniej części ściany i chodnika na podłodze Zewnętrznej Galerii [4]. Po zakończeniu prac konserwacyjnych wykopano długi rów dla zbadania struktury gruntu i gruntu użytego do zasypania przed przywróceniem pierwotnego stanu tymczasowej drogi między listopadem 1999 r. i wrześniem 2000 r. Długi rów składa się z czterech części (99A, 99B, 99C i 99D, rys. 1), do których zasypania użyto dwóch różnych rodzajów wypełnienia: z części 99B z ciężkimi kamiennymi kolumnami i murowaną ścianą i trzech pozostałych części ze zwykłą powierzchnią.

#### 3.1. Wypełnianie rowów na wolnym terenie [5]

Rowy na wolnym terenie (99A, 99C i 99D) były zasypany w następujący sposób.

##### a. Materiał gruntowy do zasypania

Wykopaną ziemię przechowywano według kryterium składu granulometrycznego, a później wykorzystywano ponownie.

Jeśli potrzebna była dodatkowy grunt, kupowano piasek, który był wykorzystywany po dostosowaniu składu granulometrycznego.

##### b. Kontrola zawartości wody

Ponieważ zawartość wody przy zagęszczaniu może mieć ogromny wpływ na gęstość, sprawdzano, czy zawartość wody mieści się w zakresie WC = 6-9%, uzyskanym w testach zagęszczenia.

##### c. Zagęszczanie

Grunt rozłożono w warstwie grubości około 10 cm i zagęszczano go do uzyskania grubości 7 cm. Zagęszczanie zaczynało się od udeptywania stopami, uderzania gruntu ubijakiem najpierw w narożach i punktowo, a kończyło się uderzeniem „stopą słonia” (kwadratową żelazną płytą o wymiarach 15 x 15 cm<sup>2</sup>). Zagęszczenie kontynuowano aż do przekroczenia wytrzymałości  $q > 8 \text{ kgf/cm}^2$ .

##### d. Zagęszczanie gruntu 15cm poniżej kamiennego chodnika

Ziemia na powierzchni o grubości 15 cm, położona bezpośrednio pod chodnikiem z kamienia i bloków z laterytu, powstała z gruntu wymieszanego z rozluźnionym wapnem i materiałem typu I. Mate-

ern Library of Bayon. Mixed ratio of Type-I is as follows,

Ratio; slacked lime: sand = 1:10 (mass ratio) with water contents of 6-9 %

The compaction procedure is the as shown in 3.1 as foot stepping, rod and elephant foot with initial thickness 10cm until the thickness became 7cm as well as Yamanaka hardness larger than 8 kgf/cm<sup>2</sup>.

### 3.2 Back filling of outer gallery[6] (Trench BY-99B)

The trench BY-99B was at the Outer Gallery of Bayon that is to support structural load of masonry wall and stone columns and was backfilled with slacken lime with Type II material. Type II contains 10% of clay compared to Type I and considered as more impervious than Type-I. The compaction was the same as 3.1.

### 4 Restoration of a failed pavement backfilled in 1937 at outer terrace of Inner Gallery (EFEO trench M8 in fig.1 [7])

Being requested by APSARA Authority (Authority for Protection and management of Angkor and the Region of Siem Reap), JSA carried out safeguarding work and restoration of the trench pit that had been excavated in 1937 of M8 shown in fig.1. After 60 years from excavation / backfilling, the pavement stones were found sagged and inclined towards the Inner Gallery.

riał typu I to ten sam komponent, który stosowano do prac konserwacyjnych w Północnej Bibliotece Bajonu. Proporcje materiału typu I są następujące:

Proporcja: rozluźnione wapno/piasek = 1:10 (proporcja masy) z zawartością wody na poziomie 6-9 %

Procedura zagęszczania jest taka, jak przedstawiona w p. 3.1: udeptywanie, ubijak i „stopa słonia” przy pierwotnej grubości 10cm, docelowej grubości 7cm oraz twardości wg Yamanaka powyżej 8 kgf/cm<sup>2</sup>.

### 3.2 Zасыpywanie rowów w zewnętrznej galerii [6] (Rów BY-99B)

Rów BY-99B znajdował się w Zewnętrznej Galerii Bajonu, która ma wspierać ciężar konstrukcji ściany murowanej i kamiennych kolumn. Został wypełniony wapnem gaszonym połączonym z materiałem typu II. Materiał typu II zawiera 10% gliny w przeciwieństwie do typu I i ma mniejszą przepuszczalność niż typ I. Stosowano zagęszczanie opisane w 3.1.

### 4 Restauracja uszkodzonego chodnika zasypanego w 1937 r. na zewnętrznym tarasie Galerii Wewnętrznej (rów EFEO nr M8 na ryc. 1[7])

Na prośbę APSARA (Urząd Ochrony i Zarządzania Angkoru i Regionu Siem Reap), JSA przeprowadziło prace ochronne i restauracyjne w miejscu rowu wykopanego w 1937 r. w M8 zgodnie z rys. 1. Sześćdziesiąt lat po wykopaliskach / zasypaniu okazało się, że kamienie chodnika osiadły i pochyliły się w stronę Galerii Wewnętrznej.



Fig . 3. Sagged and damaged pavement at the foundation along north-eastern side of Inner Gallery, where trenched in 1937  
Rys. 3. Zapadnięty i uszkodzony chodnik przy fundamencie wzdłuż północno- wschodniej ściany Galerii Wewnętrznej,  
w miejscu wykopów z 1937 r.



Fig. 4 shows a NS vertical section of pit M8 before the work with ground surface lines of solid and dotted lines for the center and edge positions of the trench pit. The sagging might have been caused by compaction due to water infiltration. Many pieces sandstones and laterite blocks that had covered ground surface were missing.

Rys. 4 przedstawia północno-południowy przekrój pionowy odcinka M8 przed pracami nad nasypem powierzchniowym z ciągłymi i kropkowanymi liniami na środku i krawędzi rowu. Osiadanie mogło być skutkiem zagęszczenia spowodowanego przedostaniem się wody. Brakowało wielu fragmentów piaskowca i bloków z laterytu, które pokrywały powierzchnię ziemi.

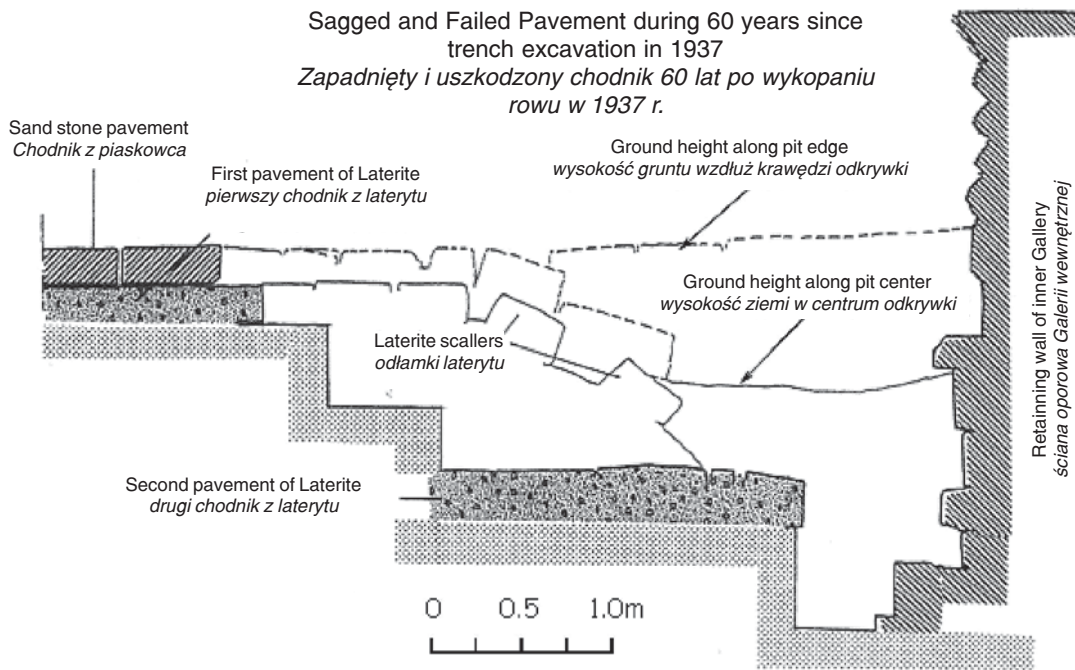


Fig. 4. NS vertical section of backfilled site of M8 by EFEO (before restoration)  
Rys. 4. Północno-południowy przekrój pionowy miejsca M8 wykopu EFEO (przed restauracją)

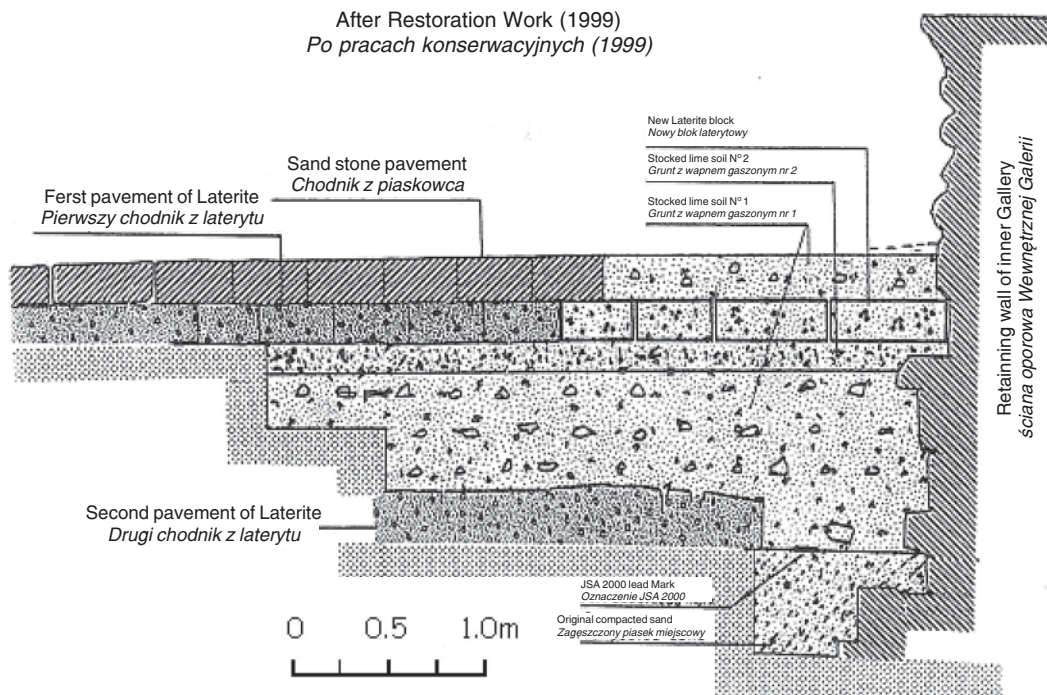


Fig. 5. NS vertical section of backfilled site of M8 by EFEO (after restoration)  
Rys. 5. Północno-południowy przekrój pionowy miejsca M8 wykopu EFEO (po restauracji)

The hardness of the ground by Yamanaka Tester in the pit was in the range of 0.7-2.5 kgf/cm<sup>2</sup> of extremely low value.

As shown in fig.4, the excavated soil reached about 14.14 m<sup>3</sup>. Back filling of the pit by compaction was performed by the following three stepwise method with different soil material.

As shown in fig. 5, the first bottom layer from the excavated level to the bottom of the second laterite block was backfilled by the original sand with initial thickness of 20 cm before compaction. The second layer was backfilled by slacked lime mixed with Type I material with the initial thickness of 15 cm.

At the boundary between the original sand and slacked lime mixed layer, a lead plate of dimension of 5 x 50 x 50 mm was inserted with letters of JSA1999.

The third layer of the ground 15cm in thickness beneath the pavement of laterite blocks was back-filled by slacked lime mixed with Type II material.

### **5. Backfilled vertical shaft excavated in 1933 at the Central Tower in Bayon**

JASA (Joint team of JSA and APSARA) had performed geotechnical boring study at the center of the foundation mound of the Central Tower, Bayon Temple in March 2009. In 1933, French team, EFEO, had excavated a shaft of about 14 m in depth at the center and found a stone Buddha statue of 4.5 m in total height, which was believed to be placed in the Chapel.

Według wskazań testera Yamanaki wytrzymałość gruntu w rowie wynosiła 0,7-2,5 kgf/cm<sup>2</sup>, co jest bardzo niską wartością.

Jak widać na rys. 4, wykopanego gruntu było około 14,14 m<sup>3</sup>. Ponowne wypełnienie rowu za pomocą zagęszczania zrealizowano w trzystopniowej procedurze z zastosowaniem różnych materiałów podłoża.

Rys. 5 pokazuje, że pierwsza warstwa od dna wykopu do dna drugiego bloku laterytu została zasypana warstwą piasku miejscowego o początkowej grubości 20 cm przed zagęszczeniem. Drugą warstwę wypełniono wapnem gaszonym wymieszanym z materiałem typu I, a jej początkowa grubość wyniosła 15 cm.

Na granicy pomiędzy piaskiem miejscowym a warstwą gaszonego wapna wstawiono ołowianą płytę o wymiarach 5 x 50 x 50 mm z napisem JSA1999.

Trzecia warstwa gruntu o grubości 15cm poniżej chodnika z bloków z laterytu została wypełniona rozluźnionym wapnem wymieszanym z materiałem typu II.

### **5. Zasypany pionowy szyb wykopany w 1933 w Wieży Centralnej w Bajonie**

JASA (wspólny zespół JSA i APSARA) wykonał za pomocą odwiertu badania geotechnologiczne w środku kopca fundamentu w Centralnej Wieży Świątyni Bajonu w marcu 2009 r. W 1933 r. francuski zespół badawczy EFEO wykopał szyb głębokości około 14 m na jej środku i odkrył kamienną statuetkę Buddy wysokości 4,5 m. Uznano, że statua znajdowała się w kaplicy.



Fig. 6. Bayon Temple, Angkor Thom  
Rys. 6. Świątynia Bajon w Angkor Thom

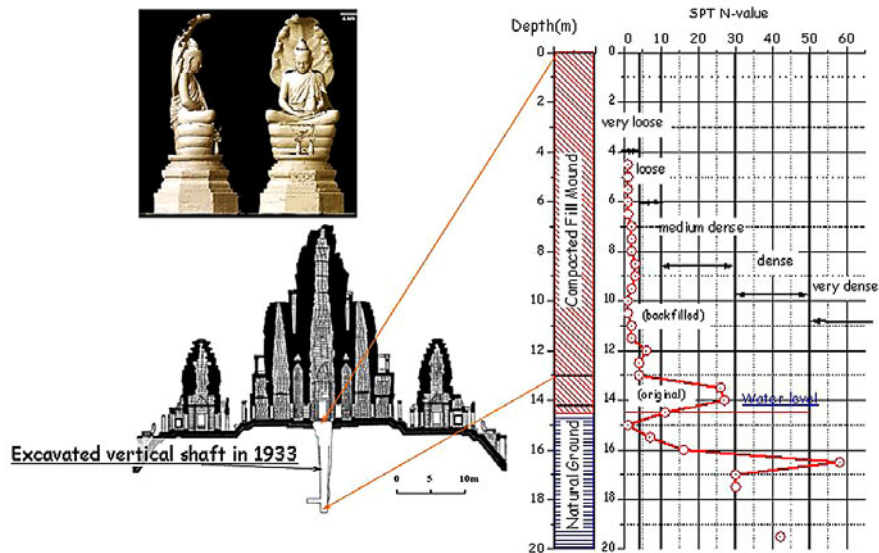


Fig. 7. Excavated shaft, Buddha Statue found in 1933, and Boring Result  
 Ryc. 7. Wykopany szyb, statua Buddy odnaleziona w 1933 r., wynik odwiertu

The boring results were shown in fig. 7. The standard penetration test was carried out and SPT-values are shown in the figure. The SPT values of the excavated and backfilled soil in the shaft were very loose to loose of  $SPT < 4$  and  $4 < SPT N < 10$ . The shaft wall was not protected with lining and it is potentially dangerous state.

## 6. Discussions with concluding remarks

The backfilled grounds at excavation pits and shaft (trench 4 in 1960s and M8 in 1930s) were very loose state.

When pit was backfilled with very loose soil, the ground becomes not only weak but also very pervious. The backfilled ground becomes easy to be eroded and mechanically unstable.

Wyniki odwiertu przedstawia rys. 7. Przeprowadzono sondowanie sondą SPT i na rycinie pokazano wyniki. Wartości SPT dla wydobytego i ponownie umieszczonego w szybie gruntu odpowiadały kategoriom bardzo luźne do luźne, czyli  $SPT < 4$  i  $4 < SPT N < 10$ . Ściana szybu nie była chroniona obudową, a jej stan mógł powodować zagrożenie.

## 6. Dyskusja i wnioski

Grunt wypełniający rowy i szyb (rów 4 w latach 60. XX w. i M8 w latach 30.) był bardzo luźna.

W wykopie wypełnionym luźną zasyrką grunt staje się słaby, a jego przepuszczalność rośnie. Grunt zasyrkowy łatwo ulega erozji i mechanicznej destabilizacji.



Fig. 8. The continued back filling practice without compaction in 2007  
 Rys. 8. Nadal stosowane zasypywanie bez zagęszczania w 2007 r.

The two cases show that the arrangement of pave stones above the pit were displaced compared to the surrounding ones at the trench 4 and the excessive settlement and inclination of the surface and failure of the pavement structure at the trench 8. The trench 4 was excavated in 1960s and M8 in 1937 and time of 50 and 70 years have past after the excavation and the backfilling. Adverse effects of loose backfilling appeared less than 100 years.

Excavation at historical sites is necessary to put back to original condition with enough consideration according to their character. Fig 6. shows that an excavated trench at the foot of the embankment of man made ancient yet living dam, West Barai, where the site is being backfilled without compaction after an archaeological study in July 2007.

JSA/JASA recognizes the importance of compaction of backfilling. They are preparing to take action of proposing to adapt some guidelines on backfilling of trenches in Angkor at the ICC (International Coordinating Committee) meeting for conservation of Angkor organized by UNESCO with cochairmen of French and Japanese Ambassadors in Cambodia.

Omówione przypadki dowodzą, że ułożony chodnik kamienny ponad dołem uległ deformacji w porównaniu z otaczającymi kamieniami przy rowie 4, zaś przy rowie 8 nastąpiło nadmierne osiadanie, nachylenie powierzchni i uszkodzenie struktury chodnika. Rów 4 wykopano w latach 60. XX w., zaś M8 w 1937 r., czyli od wykopów i wypełnienia upłynęło 50 i 70 lat. Negatywne skutki luźnego wypełnienia ujawniły się po upływie mniej niż 100 lat.

Wykopaliska w historycznych miejscach są niezbędne, aby odtworzyć oryginalny ich stan z odpowiednim szacunkiem dla ich charakteru. Rys. 6. pokazuje rów wykopany u podnóża brzegu sztucznej antycznej, ale wciąż działającej, tamy West Barai, wypełniany ponownie bez zagęszczenia po badaniach archeologicznych prowadzonych w lipcu 2007 r.

JSA/JASA zdaje sobie sprawę ze znaczenia zagęszczenia wypełnienia. Zespoły te planują przedstawić propozycję wprowadzenia wytycznych na temat wypełniania rowów w Angkor na spotkaniu ICC (Międzynarodowy Komitet Koordynacyjny) poświęconym konserwacji zabytków Angkor i organizowanym przez UNESCO, któremu współprzewodniczyć będą ambasadorowie Francji i Japonii w Kambodży.

## References • Literatura

- [1] KONG Vireak and KOU Vet, *Outline of archaeological investigation and theme for conservation and restoration*, The Bayon Master Plan for the Conservation and Restoration of the Bayon Complex, 2005, pp. 23-35.
- [2] Archaeological Report, 3. *Excavation of Northern Library of Bayon in Seventh Mission*, Annual Report 1996, JSA, pp. 143-152.
- [3] Geotechnical Report, 3. *Characteristics of ancient artificial fill*, Annual Report 1996, JSA, p.359.
- [4] Ishikawa, 5.3.1 *Dismantling the Outer Gallery*, Report on the conservation and restoration work of the Northern Library of Bayon, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia, JSA, March 2000, pp. 217-218 related Figures in p. 223-225.
- [5] Akazawa, *Report on the work of reinstating parts excavated for investigation around the temporary pathway at the Outer Gallery of Bayon-1- Outline*, Annual Report 2001, JSA, pp. 281-283.
- [6] Han Ritha, *Report on the work of reinstating parts excavated for investigation around the temporary pathway at the outer gallery of Bayon-5 – Back filling of trench BY99-B*, Annual Report 2001, JSA, pp. 317-338.
- [7] Han Ritha, *Report on the work of reinstating parts excavated for investigation around the temporary pathway at the outer gallery of Bayon-5 – Work of refilling old trench excavated by EFEO*, Annual Report 2001, JSA, pp. 339-350.

---

\* Dep. of World Heritage, Cyber University, Japan  
Wydział Światowego Dziedzictwa, Cyber University, Japonia

## Abstract

There are many excavated pits and trenches in Angkor Monuments, Cambodia to study archaeological as well as structural foundation. Ancient engineered soil mounds in Angkor were found densely compacted. The pits that had been excavated before 1994 when JSA had joined the safeguarding activity in Angkor were filled back the soil without compaction. The backfilled ground was very loose compared to the original one that had been compacted by old Khmer practice.

One of the adverse effects of very loose backfilling was reported. The sand of the ground was flown out and the pavement has sagged and failed at the site near the Inner Gallery where the pit was excavated in 1930s.

JSA and JASA have introduced backfilling work with compaction of soil at the excavated pit. Some common guidelines are necessary to avoid the foolish action without any consideration by conservation professionals.

## Streszczenie

W zabytkach Angkoru w Kambodży jest wiele odkrywek i wykopów, wykorzystywanych do badania fundamentów archeologicznych i konstrukcyjnych. Odkryto, że wykonane w starożytności kopce ziemne w Angkor były bardzo gęsto ubite. Doły wykopane przed 1994 r., zanim JSA przyłączyło się do działań ochronnych w Angkor, wypełniano gruntem bez zagęszczania. Grunt z wypełnień był o wiele luźniejszy od naturalnego ubijanego według praktyk starożytnych Khmerów.

Omówiono jeden z negatywnych skutków luźnych wypełnień. Piasek został wyparty, a w rezultacie chodnik zapadł się i uległ uszkodzeniu w pobliżu Galerii Wewnętrznej, gdzie wykopano dół w latach 30. XX w.

JSA i JASA dokonały wypełnień połączonych z zagęszczaniem podłoża w wykopanym wykopie. Potrzebne są wspólne wytyczne, aby uniknąć bezsensownych działań, które nie uwzględniają specjalistycznej wiedzy w zakresie konserwacji zabytków.

Görün Arun\*

## Ancient building foundation systems in seismic areas

### Fundamenty budowli starożytnych położonych na obszarach sejsmicznych

#### 1. Introduction

Generally, the old foundation systems that support the historical structures are different from the current practice in terms of materials used and foundation organization. Ancient building masters had introduced special techniques to control the underground water movement and to make the structure withstand the lateral forces.

Many historical masonry buildings in seismic areas are vulnerable to dynamic actions due to the ageing, environmental factors and mostly lack of knowledge in the interpretation of the building construction methods and details during intervention.

The ground response under seismic disturbances is a complicated issue. Local site conditions influence the amplitude, frequency content and duration of strong ground motion. The extent of their influence depends on the geometry and material properties of the subsurface materials on site topography and the characteristics of the superstructure. Seismic instability of a building may be of inertial instabilities and weakening instabilities. To prevent the deterioration of such elements in long term, the humidity resulted from underground water movement should be controlled.

Ancient building masters, using techniques developed by previous cultures, their own trial and error, and techniques transferred from one generation to another, were able to empirically size and design an effective underground drainage and a foundation system. The ignorance of the accumulation of master builder's knowledge and construction technique of their time may lead to incorrect intervention and long-term harmful effects on the structure.

#### 1. Wstęp

Zasadniczo, stare fundamenty będące podporą konstrukcji historycznych różnią się od obecnie stosowanych pod względem wykorzystanych materiałów i sposobu konstruowania. Starożytni budowniczcy wprowadzili specjalne techniki celem kontrolowania przepływu wody gruntowej oraz zabezpieczenia konstrukcji przed działaniem sił poprzecznych.

Wiele zabytkowych budynków murowanych znajdujących się na obszarach sejsmicznych jest narażonych na działania dynamiczne z powodu starzenia się, czynników środowiskowych i, przede wszystkim, z braku wiedzy przy interpretacji metod i danych budowy podczas prac interwencyjnych.

Reakcja gruntu na zaburzenia sejsmiczne jest procesem skomplikowanym. Warunki lokalne mają wpływ na amplitudę, częstotliwość drgań i czas trwania silnych ruchów mas gruntu. Zakres ich wpływów jest zależny od geometrii i właściwości podłoża gruntowego w lokalnej topografii oraz cech charakterystycznych nadbudowy. Niestabilność sejsmiczna budynku może obejmować niestabilność inercyjną i niestabilność osłabiającą. Celem uniknięcia niszczenia fundamentów w długim okresie czasu, należy kontrolować wilgotność będącą wynikiem przepływu wody gruntowej.

Starożytni budowniczcy, przy zastosowaniu technik opracowanych przez poprzednie kultury, za pomocą własnych prób i błędów oraz technik przekazywanych z pokolenia na pokolenie, byli w stanie empirycznie zmierzyć i zaprojektować skuteczny system odwadniania oraz system fundamentów. Nieznajomość ówczesnej wiedzy budowniczego oraz technik budowlanych stosowanych w jego czasach może doprowadzić do niewłaściwej interwencji oraz

The seismic zone map of Turkey in 2006 Specification for Structures to be built in Disaster Areas, classifies the country into five seismic zones- in which Zone 1 is most severe. During the investigation, it has been noticed that in seismic areas, the master builders tried to introduce special techniques to make the structure withstand the lateral forces in substructure and superstructure.

The main objective of this paper is to point out the design of historical foundation systems of master builders through reviewing archaeological and history of architecture publications, discussions with archaeologists and experiences met during diagnosis phase of restoration works. The study of ancient design methods can contribute to today's design considerations.

## 2. Underground Drainage system

Ancient building masters were aware that the water was the most serious non-seismic threat to masonry buildings in areas of both high and low seismicity. Depending on the porosity of foundation construction material and soil characteristics, it can damage the wall and soil by actually eroding away portions and by reducing the strength. To prevent weakening instability of the building through humidity resulted from underground water movement, they designed an effective underground drainage system.

In archaeological excavations, it is seen that surface and subsurface drainage was given high priority during its design and construction. The foundation rituals for temples, palaces, tombs, and forts actually consisted of marking the corners of the building, cutting the earth in the building site through to the water table which represented the upper limit of the water god. Then they constructed a well with galleries or channels to the ground level before starting the foundation wall construction. This construction system, constructing a well in the building, was practiced till late 19th century in important buildings.

The major components of the drainage system to drain interior ground surfaces of a building included wells or cisterns in the basement, galleries or channels that discharge the water out of the building, and gates for ventilation out of the building. The size of the galleries or channels connecting wells to each other or discharging water away from the building varies from 30-40cm to 1.0-2.5m depending on the size of the building. These are

może mieć długoterminowe szkodliwe skutki dla konstrukcji.

Mapa stref sejsmicznych w Turcji z 2006 roku ze specyfikacją dla konstrukcji budowanych na obszarach sejsmicznych dzieli kraj na pięć stref sejsmicznych, z których Strefa nr 1 jest najbardziej zagrożoną strefą. Podczas badań zauważono, iż na obszarach sejsmicznych budowniczcy próbowali wprowadzić specjalne techniki celem zabezpieczenia przed działaniem sił poprzecznych części podziemnej i nadziemnej konstrukcji.

Głównym celem niniejszego artykułu jest pokazanie sposobu projektowania fundamentów wykonanych przez budowniczych w zabytkowych budowlach na podstawie przeglądu archeologicznych oraz historycznych publikacji, na podstawie rozmów z archeologami i doświadczeń zdobytych na etapie prac konserwacyjnych. Zbadanie starożytnych metod projektowania może przyczynić się do rozwoju dzisiejszych metod projektowania.

## 2.Podziemny system odwadniania

Starożytni budowniczcy wiedzieli, że woda, poza zagrożeniami sejsmicznymi, jest najpoważniejszym zagrożeniem dla murowanych budowli znajdujących się na obszarach o zarówno wysokiej jak i niskiej aktywności sejsmicznej.

W zależności od porowatości materiału fundamentu i parametrów podłoża gruntowego, woda może uszkodzić zarówno fundamenty jak i podłoże, poprzez wyerodowanie części fundamentów i zmniejszenie wytrzymałości podłoża. W celu zapobieżenia osłabienia budynku spowodowanego wilgocią, będącą skutkiem migracji wody gruntowej, budowniczcy zaprojektowali efektywny podziemny system odwadniania.

Na podstawie wykopalisk archeologicznych wiadać, że drenaż powierzchniowy i podpowierzchniowy stanowił priorytet podczas projektu i budowy. Zazwyczaj techniki budowy fundamentów świątyń, pałaców, grobowców i fortów w rzeczywistości obejmowały oznaczenie naroży budynku, wycięcie gruntu w miejscu budowy aż do osiągnięcia górnego poziomu wody. Następnie, przed rozpoczęciem budowy fundamentów, budowniczcy konstruowali studnię z galeriami lub kanałami do poziomu gruntu. Taki system budowy polegający na tworzeniu studni w budynku był praktykowany do późnych lat XIX wieku w ważniejszych budowlach.

Główne elementy drenażu do celów odwadniania wewnętrznego podłoża budynku obejmowały studnie lub zbiorniki w piwnicy, galerie lub kanały, które wyprowadzały wodę z budynku oraz bramy do wentylacji powietrza z budynku. Rozmiar galerii lub

generally constructed of stones or bricks with mortar binding [1].

In settlements, the channels, penetrating the walls, generally continued to the other building's drainage system then was discharged to a channel along a main road or to a cistern or to a fountain tank. In most of the Byzantium buildings in and around Istanbul, the underground water was discharged to a cistern or the foundation of the buildings included cistern [2]. In the area of Topkapi Palace, more than forty cisterns were found within the substructures of buildings [3]. The twelfth-century church of Pammakaristos includes a large colonnaded and vaulted cistern that extends under the naos and parts of the ambulatory, now filled with soil (fig. 1). Yavuz Selim Mosque in Fatih district includes a large gallery heading toward a cistern that is blocked by the foundation of the mosque. There is also a cistern near the Fatih Mosque.

kanałów łączących ze sobą studnie lub odprowadzających wodę z budynku różnił się w zależności od rozmiaru budynku i wynosił od 30-40 cm do 1-2,5 m. Zwykle były one zbudowane z kamieni lub cegieł wiązanych zaprawą murarską [1].

Kanały przechodzące przez ściany zasadniczo dochodziły do systemu drenażu innego budynku, a następnie wychodziły do kanału znajdującego się wzdłuż głównej drogi, do zbiornika lub zbiornika fontanny. W większości budynków bizantyjskich znajdujących się w pobliżu Istanbułu woda podziemna była wyprowadzana do zbiornika lub fundamenty budowli posiadały taki zbiornik [2]. Na obszarze Pałacu Topkapi odnaleziono ponad czterdzieści zbiorników w podbudowie. [3]. XII-wieczny kościół w Pammakaristos posiada ogromny zbiornik wody z kolumnadą i sklepieniami, które rozpościerają się pod naosem i częściami ambitu obecnie wypełnionymi gruntem (rys. 1). Meczet Yavuz Selim w dystrykcie Fatih posiada ogromną galerię skierowaną do zbiornika, który jest zablokowany fundamentami meczetu. W pobliżu Meczetu w Fatih znajduje się również zbiornik.



Fig. 1. The cistern of church of Pammakaristos (Fethiye Mosque) in Fatih, Istanbul  
Rys. 1. Zbiornik w kościele w Pammakaristos (meczet Fethiye) w dystrykcie Fatih w Istanbule

Ottoman culture preferred discharging the wells to a nearby fountain tank. Several lined masonry houses in Galata district of Istanbul, suffering of moisture and tilting due to the soil settlement, had wells in their basement connected to each other by a channel system through all the settlement (fig. 2, 3). The newly built RC building in between them had blocked the subsurface water control system and water started to rise to the building softening the soil that had lead to the building settlement. Inspection of the subsurface drainage works under the district provided important information for the damage evaluation of these historical masonry buildings.

W kulturze otomańskiej preferowano odprowadzanie wody ze studni do najbliższego zbiornika z fontanną. Kilkanaście ustawionych w rzędzie kamiennych budynków w dzielnicy Galata w Istanbule, które odczuwały skutki wilgoci i przechylały się z powodu osiadania podłoża, posiadało w swoich piwnicach studnie połączone ze sobą za pomocą systemu kanałów na całym obszarze osady. (rys. 2, 3). Nowo wybudowany budynek RC, który stoi między nimi, zablokował system kontrolowania wody podpowierzchniowej i woda zaczęła podnosić się do budynku osłabiając podłoże, co doprowadziło do osiadania budynku. Inspekcja podpo-



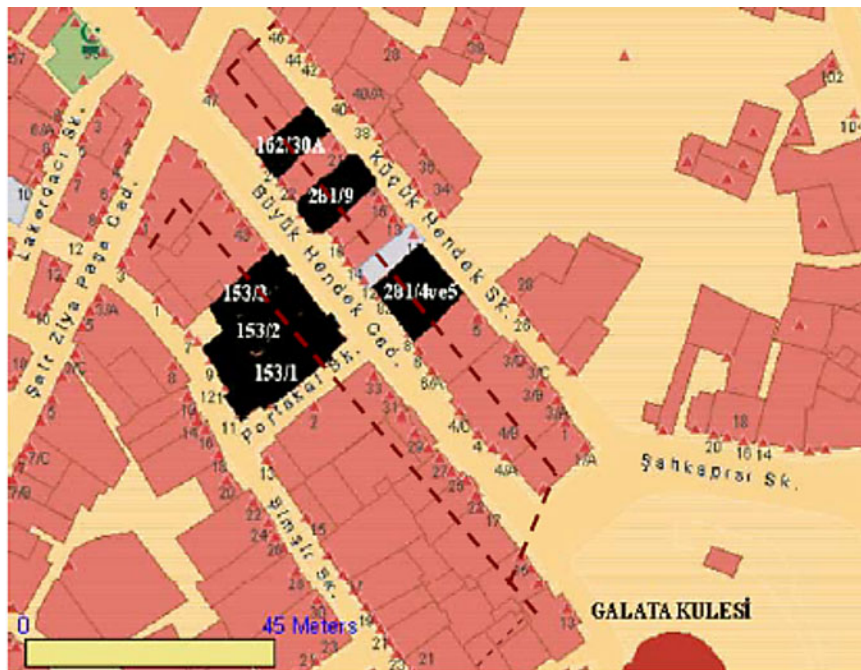


Fig. 2. Damaged houses in Galata district  
Rys. 2. Uszkodzone domy w dzielnicy Galata



Fig. 3. A well in the basement of a house in Galata district  
Rys. 3 Studnia w piwnicy domu w dzielnicy Galata



Fig. 4. The galleries within the foundation [7]  
Rys. 4. Galerie w fundamentach [7]

Similarly the church of Sts. Sergios and Bacchos constructed near South sea walls of Constantinople had a well underneath its naos, probably discharging the underground water to the fountain on one side and sea on the other. Construction of highway filling the sea in front of the edifice must have demolished the underground water discharge system that the building was suffering of moisture and partial settlement before its recent restoration.

In some cases, the galleries or channels were constructed within the foundations i.e. just below the foot touch (fig. 4). These tunnels served to keep the structure warm in the winter and cold in the summer while removing the moisture from underground water. The size and length of these gates varied according to the need and size of structure and air ventilation of structure.

### 3. Ancient Foundations

The walls of historical houses, monuments and fortresses constructed with different construction methods included foundation, stone socle and wall. Through history, methods and materials of foundations were generally the same as the walls which they support.

Foundations, as distributing the loads from superstructure to the earth below, have to resist compression, tension and shear stresses imposed by underground water pressure and earthquake forces. The thick ancient building foundations were generally a vertical wall going deep to the hard soil. During the process of time as the wall thicknesses became thinner consequently the smaller sizes of foundation walls widening at the foot were practiced.

The foundation construction of the walls depended on the type of soil. The nature of the soil depends upon its grain structure and the geological way the soil was laid down. Acceleration is generated by ground displacements, amplified or attenuated by the structure. To minimize amplification of acceleration input and prevent resonance, adequate construction would be stiff structure on soft soils, flexible structure on hard soils and rock.

In Carabulus, one of the state governments of late Hittites during 9 century BC at Zone 1 earthquake area of south east Turkey, 5m thick fortress foundation wall of adobe blocks was placed on a gravel bed over the hard soil [2]. Same system can be ob-

wierzchniowych prac drenażowych przeprowadzanych pod dzielnicą dostarczyła ważnych informacji dla celów oszacowania zniszczeń w zabytkowych budynkach murowanych.

Kościół Św. Sergiusza i Bachusa wybudowany w pobliżu południowych kamiennych nabrzeży morskich w Konstantynopolu posiadał studnię pod naosem, z której prawdopodobnie była wyprowadzana woda poziemia do fontanny z jednej strony i do morza z drugiej strony. Budowa nasypu autostradowego w pobliżu budynku prawdopodobnie zniszczyła podziemny system odwadniania. Budynek ten następnie został uszkodzony w wyniku działania wilgoci i osiadania części fundamentu przed ostatnio przeprowadzonymi pracami konserwatorskimi.

W niektórych przypadkach, galerie i kanały były budowane w fundamentach, tj. tuż pod poziomem gruntu (rys. 4). Tunele te służyły do utrzymywania konstrukcji w cieple podczas zimy i ochładzania jej w lecie oraz jednoczesnego usuwania wilgoci pochodzącej od wody gruntowej. Rozmiar i długość bram różniły się w zależności od potrzeby i rozmiaru konstrukcji oraz wentylacji powietrza w konstrukcji.

### 3. Starożytne fundamenty

Ściany zabytkowych domów, budowli i fortec zbudowane przy zastosowaniu różnych technik budowlanych składały się z fundamentu, kamiennego cokotu i ściany. Jak wskazuje historia, metody budowy fundamentów i wykorzystywane materiały były zasadniczo takie same jak przy budowie ściany, która podpierana się na takich fundamentach.

Jako, że fundamenty przenoszą obciążenia z nadbudowy na niżej znajdujące się podłoże, muszą być wytrzymałe na ściskanie, rozciąganie i naprężenia ścinające powstające w wyniku ciśnienia wody gruntowej i sił sejsmicznych. Grube fundamenty budynków starożytnych zasadniczo stanowiły pionową ścianę zatopioną głęboko w twardym podłożu. Z czasem grubość muru zmniejszała się i dlatego zaczęto praktykować budowę cieńszych murów rozszerzających się przy gruncie.

Budowa fundamentów ściany zależała od rodzaju podłoża. Rodzaj podłoża jest zależny od jego uziarnienia oraz budowy geologicznej. Przyspieszenie powstaje w wyniku przemieszczeń mas gruntowych i jest wzmacniane lub osłabiane przez konstrukcję. W celu zminimalizowania wzmacniania się przyspieszenia i zapobieżenia występowaniu rezonansu, konstrukcja powinna być sztywna podłożu miękkiego i podatna – w przypadku podłoża skalnego (słabo odkształcalnego).

W Carabulus za rządów późnych Hetytów w późnym okresie rządów Hetytów, w IX wieku p.n.e.,

served in Phaselis at zone 1 earthquake area of Antalya (fig. 5). A house foundation of 1.8m thick and 4m deep in Cereblus rested on soft soil without any gravel bed [2]. The foundations of masonry village houses at east Anatolia (zone 1 and 2) are still constructed on a layer of ~40cm sand. It is well known that a subsurface layer as pillow of sand, gravel or small stones can change the natural frequency of soil so that the heavy masonry building doesn't experience resonance.



Fig. 5. Foundation of a building in Phaselis  
Rys. 5. Fundamenty budynku w Phaselis

A tell formed with settlements constructed one over the other past era, at southeast, Zone 2 of Turkey, the foundation pits were down to the rock beds [2]. In seismic areas, if the rock bed was close to the surface, the rough surface of the rock was filled by small stones and the foundation walls rested on a transition layer assembled on this surface.

In Alaca Höyük from Chalcolithic era, at zone 1 EQ area on north of Turkey, a layer of three layers of adobe bricks of 10cm were found at the foundation base [2, 4]. Over this layer, there was a tilted wall of stone where the adobe brick wall was rested (fig. 6a). Foundation base formed with sun dried bricks are also encountered in Aslantaş at 1000 BC

w strefie sejsmicznej nr 1, znajdującej się w południowo-wschodniej Turcji, mury fundamentów fortecy o grubości 5 m, składające się z bloczków ceglanych suszonych na słońcu zostały umieszczone na żwirowym podsypce nad podłożem nieodkształcalnym [2]. Taki sam system można zauważyć w Phaselis w strefie sejsmicznej nr 1 na obszarze Antalyi (rys. 5). Fundamenty domu w Carablus o grubości 1,8 m i głębokości 4 m spoczywały na miękkim podłożu bez żadnej podsypki żwirowej [2]. Fundamenty kamiennych domów w wioskach we wschodniej Anatolii (w strefie nr 1 i 2) nadal są budowane na warstwie piasku o grubości 40 cm. Powszechnie wiadomo, iż warstwa podbudowy taka jak poduszka piaskowa, żwirowa lub drobnokamiennista może zmienić naturalną częstotliwość podłoża w taki sposób, że ciężki kamienny budynek nie będzie wzbudzony do rezonansu.

W południowo-wschodniej Turcji w strefie sejsmicznej 2 z osad wybudowanych jedna na drugiej w przeszłości uformował się kopiec, a dół fundamentów sięgał podłoża skalnego [2]. Na obszarach sejsmicznych w przypadku, gdy podłoże skalne znajdowało się blisko powierzchni, szorstka warstwa skały wypełniana była drobnymi kamieniami, a fundamenty spoczywały na uformowanej w ten sposób warstwie przejściowej.

W Alaca Höyük w okresie eneolitu w strefie sejsmicznej nr 1 na północy Turcji, przy podstawie fundamentów odkryto warstwę składającą się z trzech warstw cegieł suszonych na słońcu o grubości 10 cm [2, 4]. Nad tą warstwą znajdowała się nachylona kamienna ściana, na której spoczywała ściana z cegieł (rys. 6a). Podstawę fundamentu zbudowaną z cegieł suszonych na słońcu można również spotkać w Aslantaş w 1000 roku p.n.e. (w strefie sejsmicznej nr 2) (rys. 6b) oraz w budynkach urartyjskich i azuryjskich w strefach sejsmicznych nr 1 i 2 [2].

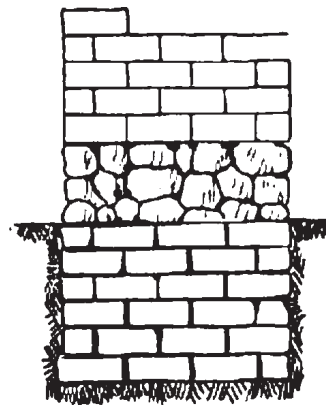
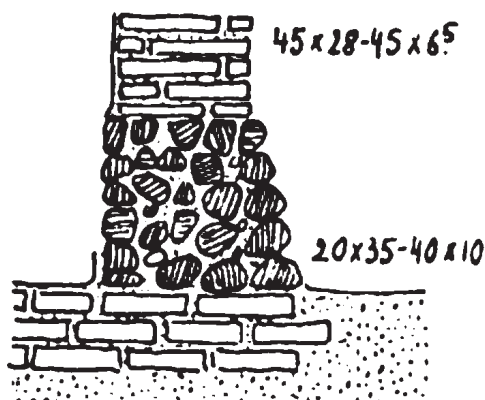


Fig. 6. Sun dried brick foundation base [2]  
Rys. 6. Podstawa fundamentów zbudowana z cegieł suszonych na słońcu [2]

(zone 2 EQ area) (fig. 6b) and in Urartian and Assyrian buildings at zones 1 and 2 EQ areas [2].

In early Bronze Age of Beycesultan at Zone 1 earthquake area of Denizli on west of Turkey, 1.25m thick, 0.8m high rubble stone foundation walls of a palace in layer V rested on round woods laid side by side filled with small stones [2]. The foundation of Konjic Bridge is also same [6] (fig. 7). The 3.8m high, 1.5-2.0m thick adobe walls in Acemhöyük (Zone 3 EQ area), rests on a layer of small limestone blocks covered with lime mortar that project 1.0-1.5m out from the wall [2]. It is also possible to encounter round wooden layer over the limestone layer (fig. 8). A single layer stone foundation with wooden grill is also found at the base of the city wall in Tarsus, Zone 2 earthquake area at south of Turkey, from early Bronze II era [2, 4]. The Suleymaniye Mosque foundation with footings getting larger with depth rests on the rock layer via wooden grillage filled with mortar. Use of small stone blocks and round wood under the foundation wall provides a flexible foundation base.

We wczesnym brązie w Beycesultan znajdującym się w strefie sejsmicznej nr 1 w Denizli na zachodzie Turcji, ściany fundamentowe pałacu zbudowane z otoczaka grubości 1,25 m i wysokości 0,8 m w warstwie V spoczywały na okrągłych belach drewnianych ułożonych jedna obok drugiej i wypełnionych małymi kamieniami [2]. Fundamenty mostu Konjic są również podobne [6] (rys. 7). Ściany w Acemhöyük (w strefie sejsmicznej nr 3) zbudowane z cegły suszonej na słońcu o grubości 1,5-2 m i wysokości 3,8 m spoczywają na warstwie małych wapiennych bloczków pokrytych zaprawą wapienną, która wystaje na 1 do 1,5 m ze ściany [2]. Można również zetknąć się z okrągłą drewnianą warstwą położoną nad warstwą wapienną (rys. 8). Fundamenty zbudowane z pojedynczej warstwy kamiennej z drewnianym rusztem można również znaleźć przy podstawie murów miejskich w tarsu (Tarsie) w strefie sejsmicznej nr 2 na południu Turcji. Fundamenty te pochodzą z drugiej fazy epoki brązu [2, 4]. Fundamenty meczetu Suleymaniye, których podstawa zwiększa się wraz z głębokością,

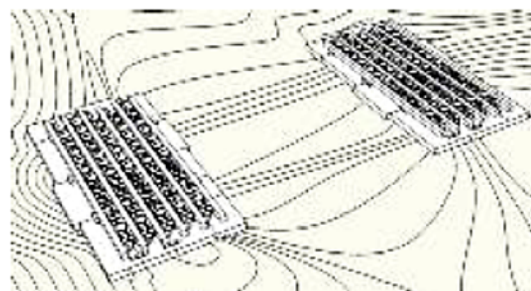


Fig. 7. Round wood foundation base of Konjic Bridge [6]

Rys. 7. Podstawa fundamentowa z okrągłego drewna na moście Konjic [6]

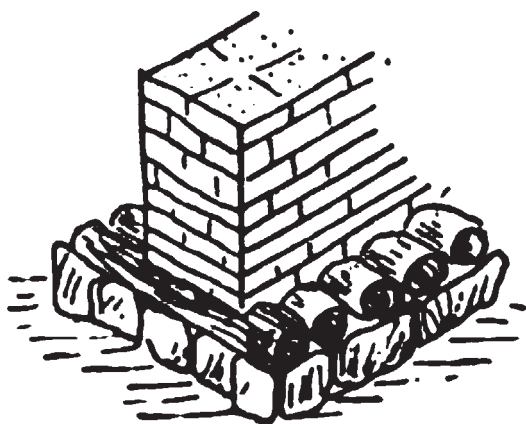


Fig. 8. Round wood foundation base over limestone blocks [2, 4, 5]

Rys. 8. Podstawa fundamentowa z okrągłego drewna nad wapiennymi bloczkami [2, 4, 5]

spoczywają na warstwie skalnej przedzielonej drewnianym rusztem wypełnionym zaprawą. Zastosowanie małych kamiennych bloczków i okrągłego drewna pod ścianą fundamentową zapewnia elastyczność podstawy fundamentów.

W przypadku, gdy podłoże skalne znajdowało się na powierzchni, skała była wycinana w formie koryta tak, by każdy kamień fundamentu mógł zostać umieszczony w skale, jak gdyby spoczywał w kołysce [2, 4] (rys. 9). Wycinanie wzdłuż długości ściany pogłębiało się na powierzchni skały i nie zawsze było prowadzone na tym samym poziomie.

Fundamenty skalne w formie koryta są często spotykane w Boğazköy w strefie sejsmicznej nr 3 w Turcji. Tutaj ogromne ciosane kamienie fundamentu spoczywały na wysokich krawędziach koryta zamiast w jego wnętrzu. [2, 4].

If the rock bed was on the surface, the rock was carved in the form of trough so that each stone of the foundation wall could be placed in the rock as if resting in a cradle [2, 4] (fig. 9). This carving along the wall length depended on the rock surface and was not always at the same level.

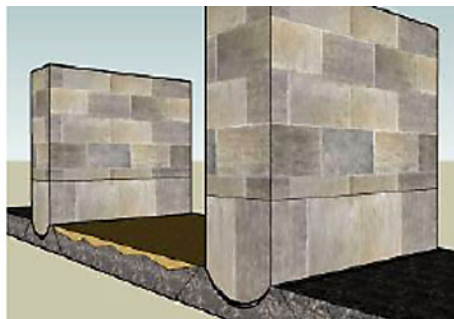


Fig. 9. The rock foundations in the form of trough [5]  
Rys. 9. Fundamenty skalne w formie koryta [5]

The rock foundations in the form of trough were often met in Bogazköy, zone 3 earthquake area in Turkey. Here the big dressed stones of the wall rested on the high edges of the trough, not inside [2, 4].

In the organization of building foundation grillage, if different components of a building were not of the same weight and would have settled differently, it is seen that the intersecting lines of the foundations are not bounded. In Fatih Mosque at Enez, the foundations of the lightweight, wooden-roofed exonarthex to the heavier main block of the building were not bonded, although these different weighing blocks were constructed at the same time [1]. Same practice of providing seismic joints can be seen in Yavuz Selim Mosque at Istanbul, Şadірvanaltı Mosque in Izmir and Double Hamam in Skopje.

i wieńczonego dachem egzonarteksu nie były powiązane z cięższym głównym blokiem budynku, chociaż bloczki takie o różnych ciężarach zostały zbudowane w tym samym czasie [1]. Taka sama praktyka polegająca na stosowaniu złączy sejsmicznych jest widoczna w meczecie Yavuz Selim w Istambule, w meczecie Şadірvanaltı w Izmirze i Double Hamam w Skopje.

Inną praktykę wykonywania fundamentów odkryto w XVI-wiecznym ośmiokątnym grobowcu w kompleksie meczetu Yavuz Selim. W odległości ok. 4 m od ośmiokątnego grobowca odkryto kamienną ścianę o grubości 2 m zakopaną 6 m w głąb ziemi, o takim samym kształcie ośmiokąta. Ściana ta przypominała ścianę oporową przyjmującą pierwszy wstrząs w przypadku trzęsienia



Fig. 10. Retaining wall of the tomb at Yavuz Selim Mosque  
Rys. 10. Ściana oporowa grobowca w meczecie Yavuz Selim

Another different foundation system practice was met at the 16th century octagonal tomb foundation of Yavuz Selim Mosque complex. Around 4m distance away from the octagonal tomb, 6m high buried stone wall of 2m thick in the same octagonal form was found as if a retaining wall to absorb the first shock of earthquake forces (fig. 10). Its effect on keeping the octagonal building from seismic forces has to be studied.

The construction of foundation wall was either solid or cavity wall constructed of two rows of stones, where the space between the rows is filled with the rubble and earth. Although the use of wood at the bases of foundation trenches was a standard practice, the use of wood ties in the cavity wall construction of the foundation has rarely been noted in the foundation systems. In the city walls of Istanbul, wooden grillage could be found in the walls.

#### 4. Conclusions

Ancient building masters, with accumulation of knowledge from previous cultures were able to empirically size and design an effective underground drainage and a foundation system. To provide the lateral stability of structures in seismic areas, building masters had introduced special techniques as:

- Changing the natural frequency of soil by placing a pillow layer of sand or gravel under the foundations,
- Providing a flexible base by carving the rock in the form of a trough and placing the foundation stone fitting in the trough,
- Providing flexible base by placing round wood at the foundation base,
- Providing seismic joints by not connecting the foundations of different weighing components of a building.

The thick layer of sand, gravel or stone pieces provided a change in the natural frequency of soil as well as adequate subsurface permeability to avoid a high water table condition.

As their engineering systems are different than modern structures it is necessary to investigate heritage buildings according to their own engineering point of view of their construction time in a diagnosis phase of an intervention.

ziemi (rys. 10). Należy jeszcze zbadać, czy ściana taka skutecznie chroni budynek przed siłami trzęsienia ziemi.

Konstrukcja ściany fundamentowej składała się z litego lub szczelinowego muru zbudowanego z dwóch rzędów kamieni, gdzie przestrzeń między rzędami była wypełniona gruzem i ziemią. Pomimo iż stosowanie drewna w podstawie rowów fundamentowych należało do standardowych praktyk, zastosowanie wiązań drewnianych w konstrukcji muru szczelinowego fundamentów było rzadko spotykane w budowie fundamentów. W murach miejskich Istanbulu można znaleźć drewniany ruszt.

#### 4. Wnioski

Dzięki wiedzy zdobytej od poprzednich kultur, starożytni budowniczcy mogli empirycznie zmierzyć i zaprojektować skuteczny podziemny system odwadniania i system fundamentów.

W celu zapewnienia stateczności poprzecznej konstrukcji na obszarach sejsmicznych, budowniczcy stosowali następujące techniki:

- zmiana częstości drgań własnych podłoża poprzez umieszczenie warstwy poduszki piaskowej lub żwirowej pod fundamentami,
- zapewnienie podatnej podstawy poprzez wycinanie skał w kształcie koryta i umieszczanie kamienia tworzących fundament w korycie,
- zapewnienie elastycznej podstawy poprzez umieszczenie okrągłego drewna w podstawie fundamentów,
- zapewnienie połączeń sejsmicznych w budynku poprzez zaniechanie łączenia fundamentów zbudowanych z komponentów o różnym ciężarze.

Gruba warstwa piasku, żwiru lub kamieni zmieniła częstość drgań własnych podłoża oraz odpowiednią przepuszczalność podłoża, co zapobiegało występowaniu wysokiego lustra wody.

Jako, że systemy inżynierskie starożytnych budowniczych różnią się od tych stosowanych w nowoczesnych konstrukcjach, na etapie diagnostycznych prac interwencyjnych konieczne jest zbadanie zabytkowych budynków pod kątem poglądów inżynierskich z czasów budowy takiego budynku.

#### References • Literatura

- [1] Ousterhoud, R., *Master Builders of Byzantium*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1999.
- [2] (1997-2007) In: *Turkish Ministry of Culture and Tourism Cultural Heritage and Museums General Directorate Archaeological Excavation Reports*.
- [3] Eyice, S., *Byzantium Ruins in Degirmentali, Tuzla*, (in Turkish) Sanat Tarihi Yilligi 5, 1973.

- [4] Naumann, R., *Old Anatolian Architecture*, (in Turkish), Third Edition, Publication of Turk History Association, Ankara, Turkey, 1991.
- [5] Bayraktar A., *Analytical Study of Historical Masonry Buildings* (in Turkish) Beta Publishing House, Istanbul, 2006.
- [6] Sert, H., *Konjic Bridge / Bosnia and Herzegovina*, In: Proceedings of the Int. Symposium on Studies on Historical Heritage – SHH07, Antalya, Turkey, 2007.
- [7] Bayraktar, A., Keypour, H., Fahjan, Y., Arun, G., *Historical Monuments and Their Foundations*, In: Proceedings of the Int. Symposium on Studies on Historical Heritage SHH07, Antalya, Turkey, 2007.
- [8] Tezcan, S., *Topkapi Palace and surrounding Byzantine Archaeology*, Istanbul, 1989.

---

\* Yildiz Technical University, Faculty of Architecture, Istanbul  
Politechnika Yildiz, Wydział Architektury w Istambule

---

## Abstract

The study of building construction method and structural details, such as foundations and other related sub structure elements, has a great importance in the interpretation of the building construction methods and details during investigation.

Substructure design was also an important consideration for ancient builders to control the underground water movement and to make their structure withstand the lateral forces. With the accumulation of knowledge from previous cultures, ancient building masters were able to empirically size and design a foundation system through; designing an effective underground drainage system, providing seismic joints and changing the natural frequency of soil .

The study of ancient substructure design methods through reviewing archaeological and history of architecture publications, discussions with archaeologists and experiences met during diagnosis phase of restoration works can contribute to diagnosis of historical buildings before any intervention design considerations.

## Streszczenie

Badanie metod konstrukcji budynku i detali konstrukcyjnych takich jak fundamenty i inne elementy związane z podłożem ma wielkie znaczenie dla interpretacji metod konstrukcji budynku i detali konstrukcyjnych na etapie oceny budynku.

Projekt podbudowy był również ważny dla starożytnych budowniczych do celów kontrolowania ruchu wody podziemnej i zabezpieczania konstrukcji przed działaniem sił poprzecznych. Dzięki wiedzy zdobytej od poprzednich kultur, starożytni budowniczcy mogli empirycznie zmierzyć i zaprojektować fundamenty poprzez zaprojektowanie skutecznego podziemnego systemu odwadniania, zapewnienie złączy sejsmicznych i zmianę naturalnej częstotliwości podłoża.

Badanie starożytnych metod projektowania podbudowy poprzez dokonanie przeglądu archeologicznego i historii publikacji dotyczących architektury, dyskusje z archeologami i doświadczenia zdobyte na etapie diagnostycznym prac konserwatorskich mogą wnieść wkład do diagnozy zabytków przed zaprojektowaniem prac interwencyjnych.

Maurizio Piazza\*, Mariapaola Riggio\*  
Roberto Tomasi\*, Albino Angeli\*\*

## Operational stages and criteria in the rehabilitation of timber floors in the Belasi Castle (Trentino, Italy)

## Etapy działania i kryteria w odnawianiu podłóg drewnianych w Pałacu Belasi (Trydent we Włoszech)

### 1. Introduction

The conservation of timber structures has improved in recent years with a growing appreciation of their historical significance. In order to provide guidance on interventions on timber structures of historical and cultural interest, *ad hoc* international and national technical committees, such as the ICOMOS IWC (International Wood Committee), the RILEM TC 215 AST (*In situ* assessment of timber), the Italian UNI-NORMAL WG 20 (Cultural Heritage-Wood and wooden materials), have been constituted.

The principle and criteria for the protection and preservation of historic structures defined at international level, and the standards on historic timber structures established by the Italian Standardisation body (UNI), have represented the doctrinal and normative framework, within which the restoration of the timber floors of the Belasi Castle (14th century), in Trentino, has been carried out.

In particular, the refurbishment of a simple board timber floor in the north-east wing of the Castle, by means of wood-wood composite structure assembled with inclined screw connectors, is described in this paper. The authors report and reference the decision procedures involved in both the investigation of the structure and the choice of the applied remedial measures.

### 1. Wstęp

Konserwacja konstrukcji drewnianych rozwinęła się w ostatnich latach, gdy wzrosła świadomość historycznego znaczenia tych konstrukcji. Aby przygotować wskazówki dotyczące interwencji w konstrukcje drewniane istotne pod względem historycznym i kulturowym, założono międzynarodowe i krajowe techniczne komitety *ad hoc*, takie jak ICOMOS IWC (Międzynarodowy Komitet ds. Drewna), RILEM TC 215 AST (ocena stanu drewna na miejscu), włoska UNI-NORMAL WG 20 (Dziedzictwo Kulturowe – drewno i materiały drewniane).

Zasady i kryteria ochrony i konserwacji historycznych konstrukcji zdefiniowane na poziomie międzynarodowym oraz normy dotyczące historycznych konstrukcji drewnianych opracowane przez włoski urząd ds. standaryzacji (UNI) stanowią ramy formalne i normatywne, w których mieściła się konserwacja drewnianych podłóg w zamku Belasi (XIV w.), w Trydencie.

Artykuł opisuje przede wszystkim renowację prostej podłogi z desek drewnianych w północno-wschodnim skrzydle zamku za pomocą złożonej konstrukcji z drewna łączonego z drewnem ukośnymi łącznikami gwintowanymi. Autorzy opisują i oceniają procesy decyzyjne na etapie badania konstrukcji i wyboru zastosowanych środków naprawczych.



Criteria enunciated in the “Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage”, developed by the ICOMOS ISCARSAH committee (International Committee on Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage) [1], have been considered.

The rehabilitation process has been articulated, according to the UNI standard 11138:2004 [2], as follows:

- preventative evaluation of the state of the artefact,
- intervention planning,
- intervention execution,
- control of the efficiency of the intervention.

## 2. The timber floors of Castel Belasi

The Belasi castle was founded in 1300 near Segonzone village, in the Non valley. It is one of the most interesting local examples of castle developed from the original medieval bastion, a pentagonal donjon surrounded by a bailey, into the residential palace, erected in the 15<sup>th</sup>-16<sup>th</sup> centuries and transformed during the 18<sup>th</sup> century (fig. 1).

The north-east wing is dated from the end of the 15<sup>th</sup> century, together with the building linking it to the donjon. It was the original residential core, relegated to servants’ quarters after the restoration works in the 18<sup>th</sup> century. It was also the part of the castle that suffered first, when the building was left in a state of neglect, in the first decades of the 20<sup>th</sup> century.

Indeed, the extinction of the Khuen family, owner of the castle, caused the gradual disrepair of the building. A timber slab in the north wing and parts of the roofs ruined, the shutters and doors were removed and the interiors were partially exposed to weathering. Since 1952 the local Superintendence of Cultur-



Fig. 1. View of the Belasi Castle  
Rys. 1. Widok zamku Belasi

Uwzględniono kryteria podane we „Wskazówkach na temat analizy, konserwacji i renowacji konstrukcji dziedzictwa architektonicznego”, przygotowanych przez komitet ICOMOS ISCARSAH (Międzynarodowy Komitet ds. Analizy i Renowacji Konstrukcji Dziedzictwa Architektonicznego) [1].

Proces odnawiania podzielono zgodnie z normą UNI nr 11138:2004 [2], czyli na:

- prewencyjną ocenę stanu konstrukcji,
- planowanie interwencji,
- właściwą interwencję,
- kontrolę skuteczności interwencji.

## 2. Podłogi drewniane w Castel Belasi

Zamek Belasi powstał w 1300 r. niedaleko wioski Segonzone w dolinie Non. Jest to jeden z najciekawszych w okolicy przykładów zamku powstałego z pierwotnego średniowiecznego bastionu, pięcokątnego donżonu otoczonego murami obronnymi, przekształconego w pałac mieszkalny wzniesiony w XV-XVI w. i przebudowany w XVIII w. (rys. 1).

Północno-wschodnie skrzydło pochodzi z końca XV w., kiedy to powstał także budynek łączący je z donżonem. To była pierwotna część mieszkalna, która po pracach renowacyjnych w XVIII w. została przekształcona w mieszkania dla służby. To właśnie ta część zamku ucierpiała jako pierwsza, kiedy zamek popadł w zapomnienie w pierwszych dziesięcioleciach XX w.

Faktycznie, kiedy umarli ostatni przedstawiciele rodziny Khuen, która była właścicielem zamku, budynek zaczął stopniowo niszczyć. Drewniane stropy w północnym skrzydle i część dachów zostało zniszczonych, okiennice i drzwi zniknęły i część wewnątrz była wystawiona na działanie zjawisk atmosferycznych.

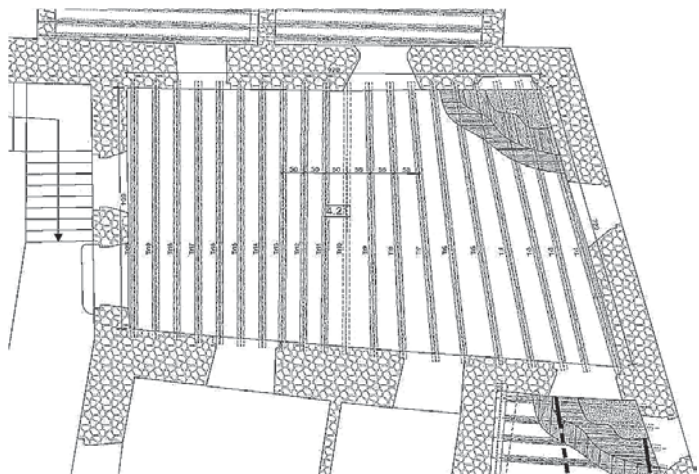


Fig. 2. Plan of the studied floor  
Rys. 2. Plan omawianej podłogi

al Heritage has carried out a series of punctual actions, in order to check the development of damages and decay. However, only in 2000 the castle was bought by the Trento Province, and a comprehensive conservation action was undertaken.

The first interventions on the timber floors involved the north-east wing, where simple board timber floors are present. The works started with the room in figure 2. The room has a trapezoidal shape; the twenty timber beams have variable reciprocal distances (99-50 cm) and span length (6-7.2 m).

Despite the simplicity of the structure, a throughout investigation campaign was carried out, in order to determine its current and future structural performance.

### **3. Preventative evaluation of the actual conditions**

The aim of a preventative evaluation is to understand the performance of the overall static suitability of a building and the role of the timber structure within the building. Therefore, it is propaedeutic, but not exclusively aimed, at the definition of possible intervention strategies.

It is the result of a systematic survey, carried out on several fronts, which can be summed up, according to the UNI standard 11138:2004, as following:

- historical analysis,
- geometrical characterization,
- characterization of decay,
- characterization of material,
- structural analysis.

The historical analysis is based on the scrutiny of documentary and material sources, in order to collect information about the past history of the studied structure; in particular, about contingent damages, disuse, demolition or modifications. A dendrochronological analysis of the wooden member [3] can play an important role in dating the artefact. Also a comparative analysis with nearby and contemporary structures can be helpful; in this case, typological correspondences and variances are evaluated.

The investigated documentary sources (i.e. [4]) and a survey of other castles in Trentino, namely the Valer castle (XII century), the Sporo-Ravina castle (XII century) and the Belfort castle (XIV century), gave information about the transformations incurred by the building. Dating of the studied floor, however, is still uncertain.

A detailed geometric survey was carried out on the structure and on each element. In order to record the contingent variation of dimension and shape of

ferycznych. Od 1952 r. miejscowy Inspektorat Dziedzictwa Kulturowego podjął serię szybkich działań, aby skontrolować postępy uszkodzeń i niszczenia. Ale dopiero w 2000 r., kiedy zamek został wykupiony przez Prowincję Trydent, została rozpoczęta kompleksowa konserwacja.

Pierwszą interwencję na podłogach drewnianych podjęto w północno-wschodnim skrzydle, gdzie znajdowały się proste podłogi z desek drewnianych. Prace rozpoczęto od pokoju pokazanego na rys. 2. Pokój ma kształt trapezu; dwadzieścia dźwigarów ma różne rozstawy (99-50 cm) i długości (6-7,2 m).

Pomimo prostoty tej konstrukcji, przeprowadzono dokładne badania, aby sprawdzić jej obecną i przyszłą efektywność.

### **3. Prewencyjna ocena aktualnego stanu**

Celem prewencyjnej oceny jest zrozumienie efektywności całej statycznej adaptacji budynku i roli konstrukcji drewnianej w tej budowlu. Dlatego jej podstawowym, choć nie jedynym zadaniem jest zdefiniowanie możliwych strategii interwencji.

Ocena ta jest oparta na systematycznych badaniach na kilku frontach, które można podsumować tak, jak w normie UNI nr 11138:2004:

- analiza historyczna,
- charakterystyka geometryczna,
- charakterystyka zniszczeń,
- charakterystyka materiału,
- analiza konstrukcji.

Analiza historyczna opiera się na zbadaniu źródeł archiwalnych i materialnych w celu zebraniu informacji o przeszłości danej konstrukcji; w szczególności o przypadkowych uszkodzeniach, niewłaściwym użytkowaniu, celowym niszczeniu lub zmianach. Analiza dendrochronologiczna elementów drewnianych [3] może grać istotną rolę w procesie datowania elementów. Pomocna może być także analiza porównawcza zestawiająca badaną konstrukcję z innymi pobliskimi lub współczesnymi konstrukcjami; ocenia się wówczas podobieństwa i różnice typologiczne.

Kwerenda dokumentów źródłowych (np. [4]) oraz badanie innych zamków w Trydencie, konkretnie zamku Valer (XII w.), zamku Sporo-Ravina (XII w.) oraz zamku Belfort (XIV w.), przyniosły dane na temat zmian, jakie zaszły w budynku. Nadal jednak nie ma pewności co do daty powstania badanej podłogi.

Całą konstrukcję oraz każdy jej element poddano szczegółowej analizie geometrycznej. Aby zapisać przypadkowe zmiany rozmiaru i kształtu prze-

the transverse section, which has to be taken into account in calculation, each member was surveyed at regular interval. The causes of the existing deformations, on single timber members and on the structure, have been indicated in the inspection report, distinguishing between the deformations deriving from applied stresses or creep effects, and those caused by material features. In particular, considerable deflection has been observed on some members.

In the phase of the decay characterization both biotic decay and mechanical damages should be evaluated. The interaction between biotic decay and microclimate conditions was analysed. For this purpose, the identification of the thermo-hygrometric environment [5] and the consequent hygrometric state of the wood is necessary. The investigated floor, even if protected by the roof, was subjected to temperature and humidity variations, because of the lack of external shutters at the windows.

Visual inspection was performed according to the UNI standard 11119:2004 [6]. Complementary to visual observations, resistance drilling tests were carried out, in order to identify and quantify deterioration of the timbers. Logs of multiple drillings along the length of the timber element were used to map the extent and penetration of deterioration in the member (fig. 3). The integral of the drill resistance function divided by the penetration length was used to give an objective interpretation of the tests [7] (fig. 4). Also this parameter, however, must be carefully determined, being affected i.e. by drill orientation and presence of splits or checks.

kroju poprzecznego, które trzeba uwzględnić w obliczeniach, każdy element sprawdzano kilkakrotnie. Przyczyny powstania odkształceń obecnych w poszczególnych elementach drewnianych i całej konstrukcji wskazano w raporcie z badań, w którym odróżniono odkształcenia spowodowane obciążeniem i ruchem od odkształceń wynikających z cech materiału. Zauważono w szczególności znaczne ugięcie niektórych elementów.

W fazie charakterystyki zniszczeń należy ocenić zarówno niszczenie biotyczne, jak i uszkodzenia mechaniczne. Zanalizowano interakcje między niszczeniem biotycznym a warunkami mikroklimatycznymi. W tym celu potrzebna jest znajomość środowiska termicznego i wilgotności [5] oraz wynikającego z nich stanu wilgotności drewna. Choć badana podłoga była chroniona dachem, podlegała działaniu temperatury i zmian wilgotności, ponieważ w oknach nie było okiennic.

Dokonano wzrokowej oceny zgodnie z normą UNI nr 11119:2004 [6]. Oprócz obserwacji wzrokowej przeprowadzono także wiercenia, aby zidentyfikować i uszeregować stan zniszczenia drewna. Za pomocą serii wierceń wzdłuż elementów drewnianych opracowano mapę zakresu i głębokości zniszczeń w poszczególnych elementach (rys. 3). Użyto całki funkcji odporności na wiercenie podzielonej przez głębokość, co pozwoliło na opracowanie obiektywnej interpretacji testu [7] (rys. 4). Również ten parametr wymaga staranności przy ustalaniu, ponieważ może go zniekształcić ustawienie wiertła lub obecność szczelin i pęknięć.

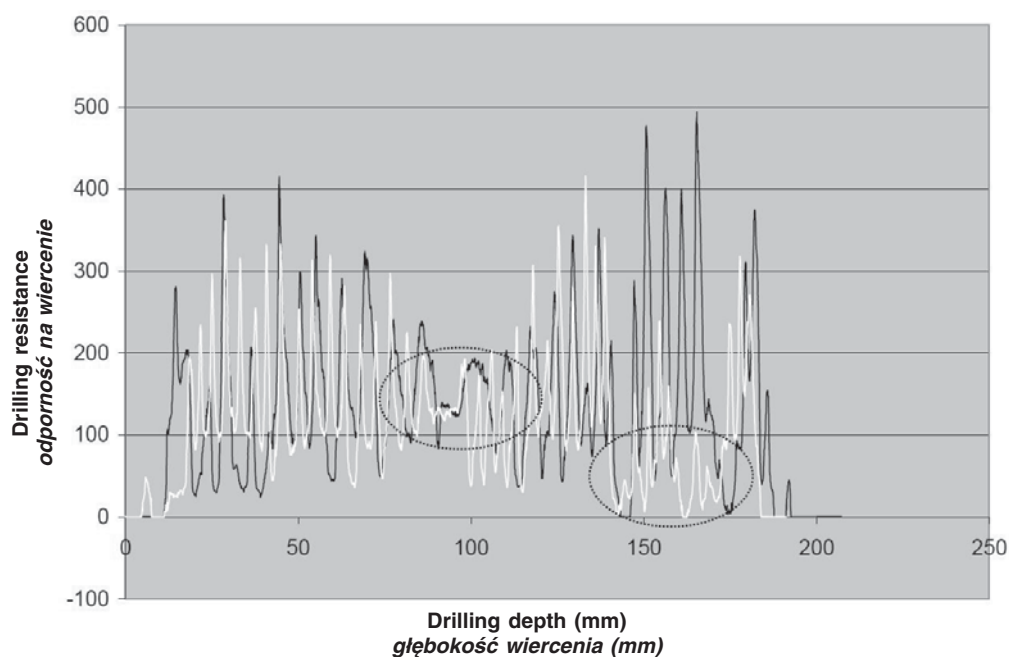


Fig.3. Superimposition of drilling patterns in two different sections of a member  
Rys. 3. Nałożone na siebie wzory wiercenia w dwóch różnych odcinkach jednego elementu

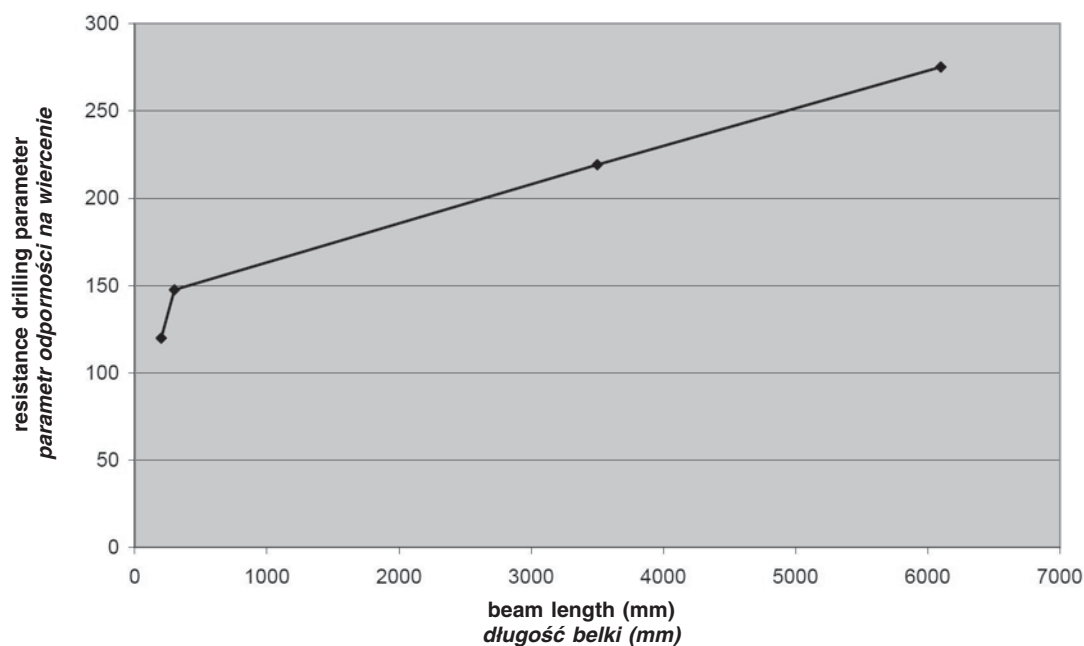


Fig.4. Curve of the drilling resistance parameter along the member  
Rys. 4. Krzywa parametru odporności na wiercenie wzdłuż elementu

The likely causes of deterioration were identified for the purpose of assessing the residual effective cross section of each member, establishing effective remedial treatments and repairs, and addressing long-term maintenance needs. The timbers that make up the floors beam were found to be generally in good condition. There are some exceptions. Some elements have deterioration on the upper face of the timber that penetrates to various depths, a condition called channelizing. This type of decay was caused by insect attack, in particular by saprophyte anobiid beetles (*Anobium punctatum*). Insects also severely infested the floorboards. More serious attacks have been found close to some beams bearings, where stagnation has favoured rot.

A diagnostics campaign for the characterization of the material was carried out, in order to assess the mechanical parameters of each wooden member. The mechanical characterization of timber elements on-site, especially of those which serve as load bearing structures in buildings of cultural interest, requires the avoidance, or at least the limitation, of damages to the structure and the single elements. In this case, the two alternative, or better, complementary approaches are the visual strength grading and the non-destructive measurements of properties.

Preliminary, wood species identification and moisture content estimation should be carried out, according to current standards. The identification of the wood species of the floor beams was carried out by means of macroscopic inspection method [8]. Visual examinations identified larch (*Larix decidua* Mill). The wood moisture content was estimated

Aby ocenić końcowy faktyczny przekrój każdego elementu, wyznaczyć efektywne procedury naprawcze i remontowe oraz rozważyć długoterminowe potrzeby konserwacji, zidentyfikowano prawdopodobne przyczyny zniszczeń. Okazało się, że drewno użyte do konstrukcji dźwigarów podłogi jest zasadniczo w dobrym stanie z kilkoma wyjątkami. W kilku elementach wykryto uszkodzenia górnej powierzchni drewna sięgające różnej głębokości, nazywane żłobkowaniem. Ten rodzaj uszkodzeń powodują insekty, zwłaszcza kołatek domowy (*Anobium punctatum*). Również deski podłogowe były mocno zaatakowane przez insekty. Poważniejsze uszkodzenia odkryto w pobliżu podpór dźwigarów, których położenie sprzyja rozwojowi procesów gnilnych.

Przeprowadzono diagnostykę, aby scharakteryzować materiał i ocenić parametry mechaniczne każdego elementu drewnianego. Mechaniczna charakterystyka elementów drewnianych na miejscu, zwłaszcza tych, na których opierają się obciążenia w budynku o dużym znaczeniu kulturowym, wymaga ostrożności, aby uniknąć, a przynajmniej ograniczyć uszkodzenia konstrukcji i poszczególnych elementów. W tym przypadku istnieją dwa alternatywne, a właściwie komplementarne podejścia: wizualne określenie wytrzymałości i określenie właściwości metodami nieniszczącymi.

Wstępną identyfikację gatunku drewna i oszacowanie zawartości wilgotności należy przeprowadzić zgodnie z obowiązującymi normami. Gatunek drewna w dźwigarach podłogi identyfikuje się metodą inspekcji makroskopowej [8]. Badanie wzrokowe pozwoliło na identyfikację modrzewia (*Larix decidua* Mill). Zawartość wilgoci w drewnie oszacowano

by pin type moisture meter [9]. Insulated needle electrodes were driven in about one-third the thickness of the wood to determine the average moisture content of the entire piece. According to UNI 11035:2003 [10], the measures on three faces of each element were averaged.

In order to visually grade the timbers, the strength affecting features of each wooden member (such as position of the pith, rate of growth, slope of grain) as well as the type, position and extension of main defects (i.e. knots, shrinkage shakes and checks) were surveyed according to the UNI standards 11035:2003 part 1 and 11119:2004 (Tab. 1). Visual analysis was particularly facilitated by the possibility of accessing the elements from both the intrados, by means of scaffolds, and from the extrados, after dismantling the decayed floorboards.

miernikiem wilgotności typu pin [9]. Elektrody z igieł z izolacją wprowadzono mniej więcej na głębokość jednej trzeciej grubości drewna, aby ustalić przeciętną zawartość wilgoci w całym elemencie. Zgodnie z normą UNI 11035:2003 [10], uśredniono pomiary z trzech powierzchni każdego elementu.

Aby sklasyfikować drewno wizualnie, zbadano siłę wpływającą na właściwości poszczególnych elementów drewnianych (np. położenie miękiszu, wskaźnik wzrostu, nachylenie słoje), a także rodzaj, położenie i zakres głównych uszkodzeń (np. sęków, pęknięć spowodowanych kurczeniem i zarysowań), zgodnie z normami UNI nr 11035:2003 część 1 i 11119:2004 (Tab. 1). Analiza wzrokowa była łatwiejsza, ponieważ można było dostać się do poszczególnych elementów zarówno od strony podniebienia (dzięki rusztowaniom), jak i od strony grzbietowej po zdemonstrowaniu zniszczonych desek podłogowych.

Tab. 1. Example of piecewise grading of a timber member  
Przykładowa klasyfikacja jednostkowa elementu drewnianego

Element <i>Element</i>	Wanes <i>Obliny</i>	Checks <i>Pęknięcia</i>	Knots <i>Sęki</i>	Knots groups <i>Grupy sęków</i>	Slope of grain <i>Nachylenie włókna</i>	Splits <i>Szczelina</i>	Strength class <i>Klasa wytrzymałości</i>
1-A	≤ 1/5	/	≤ 1/3	≤ 2/5	≤ 10%	/	II
A-A'	≤ 1/5	/	≤ 1/3	≤ 2/5	≤ 10%	/	II
A'-B	≤ 1/5	/	≤ 1/5	≤ 2/5	≤ 10%	/	II
B-C	≤ 1/8	/	≤ 1/3	≤ 2/5	≤ 10%	/	II
C-D	≤ 1/5	/	≤ 1/5	≤ 2/5	≤ 10%	/	II
D-E	≤ 1/8	/	≤ 1/5	≤ 2/5	= 10%	/	I
E-2	≤ 1/8	/	≤ 1/5	≤ 2/5	= 10%	/	I
Strength class of the beam II <i>Klasa wytrzymałości belki: II</i>							

Through the knowledge on wooden specie, geometry and morphology of the beam, defect position and extension and with the results from non destructive instrumental inspection, each timber element, and eventually a part of it, was graded according to strength [11].

Results of visual strength grading have to be considered indicative estimation of the inferred property. They shall be verified and compared with the results of other investigations.

In the reported study, the direct measurement of the bending stiffness of a single beam was carried out on site (Fig 5-6). For this purpose, after dismantling the decayed floorboards, a timber formwork was built on the beam, and then waterproofed with nylon sheets. The beam was instrumented at the intrados with five displacement sensors, and then monotonically loaded and unloading pouring water, with load steps of 0.5 kN/m<sup>2</sup> and maximum load

Dzięki dokładnej znajomości gatunku drewna, geometrii i morfologii belki, położenia i zakresu uszkodzeń połączonej z wynikami badań nieniszczących, każdemu elementowi drewnianemu, a nawet każdej jego części, przypisano klasę wytrzymałości [11].

Wyniki wizualnej klasyfikacji wytrzymałości należy traktować jako wskazówkę i oszacowanie tej cechy. Są one weryfikowane i porównywane z wynikami innych badań.

W omawianym przypadku na miejscu przeprowadzono bezpośredni pomiar odporności pojedynczych dźwigarów na zginanie (rys. 5-6). W tym celu, po rozebraniu zniszczonych desek podłogowych, na dźwigarach zbudowano drewnianą ramę i pokryto ją wodoodpornymi folią nylonową. Zbadano podniebienie belki za pomocą pięciu czujników przemieszczeń, a następnie ją obciążano i odciażano za pomocą wylewania wody. Interwały obciążenia

of  $2\text{ kN/m}^2$ . According to the picture the board cross-ly disposed to the beam were cut in the middle, in order to avoid load transmission to not investigated lateral beams.



Fig. 5. On site bending test: loading system  
Rys. 5. Test zginania na miejscu: system obciążania

#### 4. Planning intervention

On the basis of the accurate diagnostic survey, structural restoration interventions have been proposed for the refurbishment of the floor in object.

In order to preserve, as much as possible, the integrity of the existing timber beams, interventions have been kept to the minimum level meeting structural requirements. Substitution of members has been proposed only for those elements that were severely and extensively degraded. A total substitution, however, was necessary for the floorboards.

Recommendations emphasize the use of compatible materials and reversible repair techniques. These requirements are generally met in traditional solutions, which use wood to reinforce or substitute decayed elements or parts, often coupled with mechanical connections, such as nails, bolts, screws, bands and metallic plates.

In the proposed intervention both well-established and innovative wood-wood techniques have been adopted.

Local reconstruction by means of wooden prosthesis has been proposed to repair decayed beam heads. Such substitutions are made with the apposition of wood boards of larch, taken from sound parts of the dismantled elements, which have same seasoning and colour characteristics of the repaired members. The wooden boards are assembled with the system of gluing with bi-components resins in combination with mechanical connections, constituted by self-threading stainless steel.

In order to increase the bending stiffness of the main elements, an innovative refurbishment technique has been adopted, where the beams are cou-

wynosiły  $0,5\text{ kN/m}^2$ , zaś maksymalne obciążenie wyniosło  $2,0\text{ kN/m}^2$ . Jak widać na rysunkach, deski poprzecznie oparte na dźwigarze przecięto na pół, aby obciążenie nie przenosiło się i aby badanie nie objęło dźwigarów bocznych.

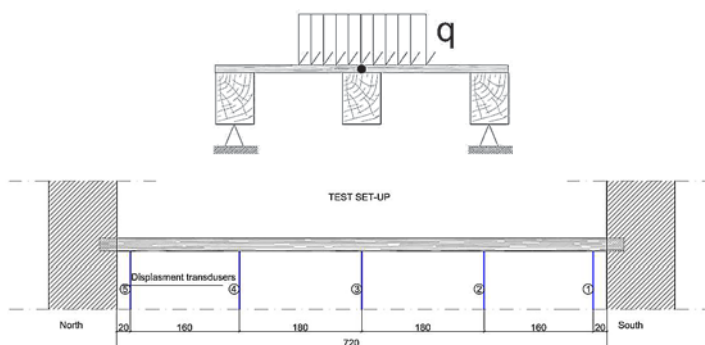


Fig. 6. On site bending test: measurement system  
Rys. 6. Test zginania na miejscu: system pomiarów

#### 4. Planowanie interwencji

Na podstawie dokładnych badań diagnostycznych zaproponowano interwencję konserwującą konstrukcję w celu odnowienia omawianego stropu.

Aby w miarę możliwości zachować ciągłość istniejących drewnianych dźwigarów, interwencję ograniczono do minimalnego poziomu spełniającego wymogi konstrukcyjne. Zaproponowano wymianę elementów tylko w przypadku tych części, które uległy poważnemu i rozległemu zniszczeniu. Konieczna była jednak całkowita wymiana desek podłogowych.

W zaleceniach podkreśla się konieczność używania kompatybilnych materiałów i odwracalnych technik naprawczych. Wymogi te są zwykle spełnione w przypadku tradycyjnych rozwiązań z wykorzystaniem drewna do wzmocnienia lub wymiany zniszczonych elementów lub części, zwykle z zastosowaniem połączeń mechanicznych, np. gwoździ, sworzni, śrub, taśm i płyt metalowych.

Zaproponowana interwencja obejmowała zarówno uznane, jak innowacyjne techniki połączenia drewno-drewno.

Do naprawy zniszczonych głowic dźwigarów zaproponowano miejscową rekonstrukcję za pomocą drewnianych protez. W takim przypadku stosuje się wstawianie drewnianych elementów z modrzewia, uzyskanych z niezniszczonych części rozmontowanych elementów, o takich samych właściwościach sezonowania i kolorystycznych co naprawiane elementy. Drewniane deski łączy się kompozycją klejową na bazie żywic dwukomponentowych oraz samogwintujących się łączników mechanicznych ze stali nierdzewnej.

Aby poprawić wytrzymałość głównych elementów na zginanie, zastosowano innowacyjną technikę

pled with thick timber planks, connected with crossed self tapping and full threaded screws, disposed with an inclination of 45°. The structural behaviour of the resulting timber composite structure is governed by the strength and stiffness of the connector system adopted. Therefore, before to implement the method through the reported in situ application, a comprehensive research was carry out, at the laboratory of Materials and Structural Testing at the University of Trento, with the scope of investigating the mechanical properties of continuous threaded screws connectors, and providing a reliable engineered model to predict strength and stiffness of the joints [12].

The advantages of the proposed method, compared with pioneering floor refurbishment systems, such as those, which couple the existing timber floor with a concrete slab [13], are the reversibility, the minimal sacrifice of material (the new timber planks could be placed over the existing floorboards, if sound), the compatibility and stability of the repair materials, the reduction of the original permanent loads. Moreover the proposed innovative connection system with crossly arranged screws proved to provide higher values of stiffness, when compared to traditional system with glued or dry steel bars inserted in predrilled holes perpendicular to the beam.

## 5. Execution and efficiency control of the intervention

An incremental approach has been adopted for the execution of the intervention.

In order to control on site the efficiency of the new refurbishment technique, the intervention was checked, first, only on the beam that was preliminary tested. The beam was coupled with glulam planks (strength class GL 24h according to EN 1194:1999 [14]), 70 mm in thickness. The new floorboard portion, large 500 mm, rested symmetrically and solely on the test beam. Self-tapping double thread screws of WT-T-8.2 type manufactured by SFS Intec were used, of two different lengths: L=190 and L=220 mm, strength class 10.9 ( $f_{u,k} = 1000$  MPa). The main feature is that each screw has two threads of different pitch but of equal length: one for penetrating and the other for tightening. The disposal of the inclined screws is designed to contribute to the stiffness of the connection, in case of both shear-compression and shear-tension load conditions. Moreover, screws are staggered, in order to avoid the occurrence of splits along the fiber. The geometric scheme of the connection system is illustrated in figure 9.

odnawiania, w której dźwigary są uzupełniane grubymi drewnianymi klepkami o skrzyżowanych wkrętach samogwintujących, które mogą odchyłać się o 45°. Funkcjonowanie powstałej w ten sposób złożonej konstrukcji drewnianej jest zależne od wytrzymałości i sztywności użytego systemu połączeń. Dlatego przed użyciem tej metody w praktyce na miejscu przeprowadzono kompleksowe badania w Laboratorium Materiałów i Testów Konstrukcyjnych Uniwersytetu Trydenckiego, których przedmiotem były mechaniczne właściwości samogwintujących złączy śrubowych. Owocem badań był wiarygodny model inżynierski pozwalający przewidywać wytrzymałość i sztywność złączy [12].

Proponowana metoda ma kilka zalet nad pionierskimi systemami renowacji podłóg, takimi jak uzupełnianie istniejącej posadzki drewnianej płytami betonowymi [13]: jest odwracalna, poświęca się bardzo niewiele materiału (nowe klepki drewniane można umieścić nad istniejącymi deskami podłogowymi, jeśli są one w dobrym stanie), kompatybilność i stabilność materiałów użytych do naprawy, redukcja pierwotnych obciążeń stałych. Poza tym dowiedziono, że proponowany innowacyjny system połączeń z krzyżowym ustawieniem wkrętów zapewnia większą sztywność w porównaniu do tradycyjnego systemu klejonych lub prętów stalowych umieszczanych w wywierconych wcześniej otworach prostopadłych do dźwigara.

## 5. Realizacja i kontrola skuteczności interwencji

W realizacji interwencji zastosowano podejście przyrostowe.

Aby skontrolować na miejscu skuteczność nowej techniki odnawiania, najpierw sprawdzono jakość interwencji w przypadku dźwigara wyłącznie po wstępnych testach. Dźwigar uzupełniono klepkami z mikrowczepami (klasa wytrzymałości GL 24h według normy EN 1194:1999 [14]), o grubości 70 mm. Nową część posadzki o wielkości 500 mm oparto symetrycznie i wyłącznie na testowanym dźwigarze. Zastosowano samogwintujące się podwójne śruby typu WT-T-8.2, wyprodukowane przez SFS Intec o dwóch różnych długościach: L=190 i L=220 mm, klasa wytrzymałości 10.9 ( $f_{u,k} = 1000$  MPa). Istotne jest, że każda śruba ma dwa gwinty o różnych podziałkach przy takiej samej długości: jeden służy do penetracji, a drugi do umacniania. Właściwości takich śrub mają zwiększyć sztywność łącza i odporność na obciążenia ścinające przy ściskaniu oraz przy rozciąganiu. Poza tym śruby mają układ schodkowy, aby zapobiec pęknięciom wzdłuż włókien. Schemat geometryczny systemu złączy pokazano na rys. 9.

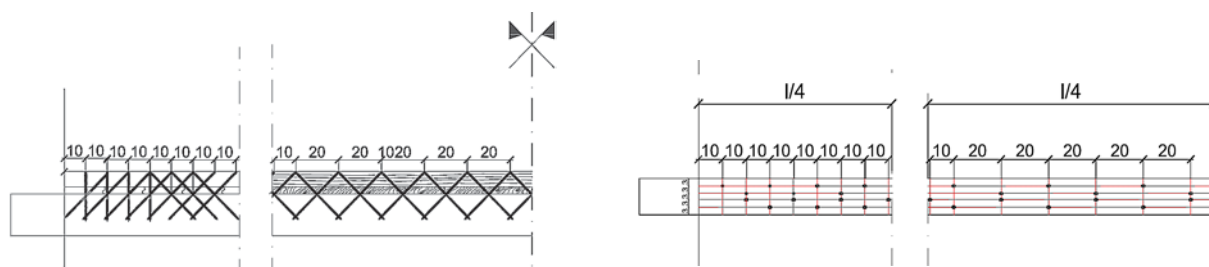


Fig. 7. Plan and section of the composite structure and geometry of the connections system  
Rys. 7. Plan i przekrój złożonej struktury i geometrii systemów łączenia

After the execution of the intervention, the repaired portion of the floor has been bending tested, as it was done with the unrepaired beam. In this case, the maximum test load was  $4.5 \text{ kN/m}^2$ , with load steps of  $0.5 \text{ kN/m}^2$ .

## 6. Discussion

Structural analysis refers not only to the present condition of the structure, but also to the situation after repairs, in order to evaluate their benefits.

In the case of the studied timber floor, a simplified planar frame analysis can be performed for the case of wood to wood composite structure with semi-rigid connection system. The mechanical parameters adopted in the model have been derived from the preliminary analysis on the existing timber, and from the model proposed by the authors for connections system [12].

Nevertheless, particular attention must be paid when modelling the boundary condition at the heads of beams. Indeed, the actual behaviour of the beam tested in situ differs from both the hypothesis of sim-

Po realizacji interwencji, naprawiony fragment podłogi poddano testom na zginanie, takim jak w przypadku nienaprawionego dźwigara. Tym razem maksymalne obciążenie wyniosło  $4,5 \text{ kN/m}^2$  przy interwałach  $0,5 \text{ kN/m}^2$ .

## 6. Dyskusja

Analiza konstrukcyjna odnosi się nie tylko do aktualnego stanu konstrukcji, ale także do sytuacji po naprawach, aby ocenić również korzyści z napraw.

W przypadku omawianej podłogi drewnianej można zastosować uproszczoną ramową analizę płaszczyznową do złożonej konstrukcji drewniano-drewnianej z półsztywnym systemem złączy. Parametry mechaniczne użyte w tym modelu wyprowadzono ze wstępnych analiz istniejącego drewna i z modelu zaproponowanego przez twórców systemu złączy [12].

Trzeba jednakże być szczególnie uważnym przy modelowaniu warunków granicznych przy głowicach dźwigarów. Faktyczne zachowanie dźwigara zbadane na miejscu różni się od hipotezy swobodnie opartego i

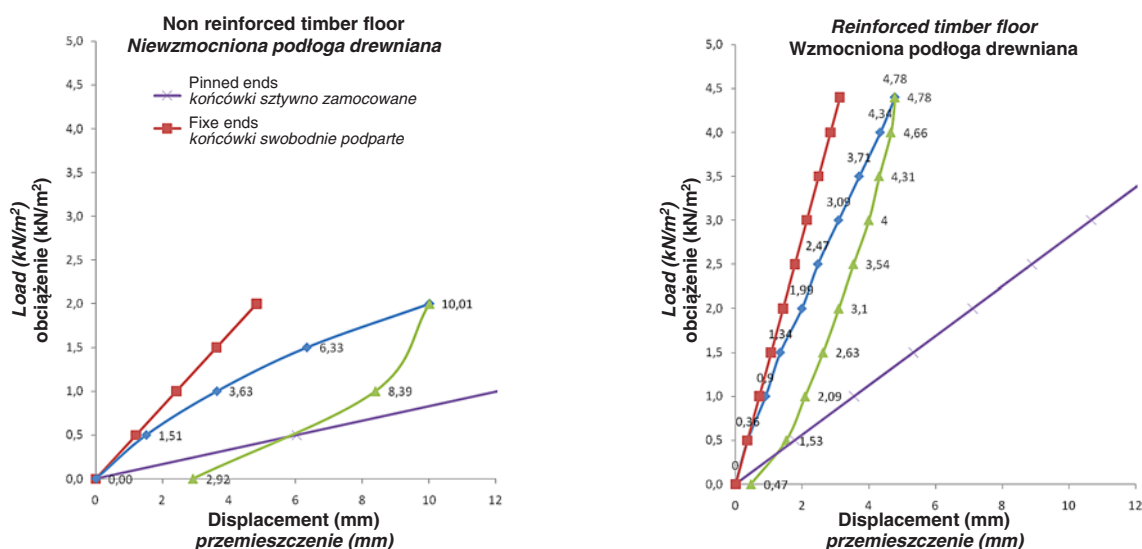


Fig. 8. Theoretical deflections, calculated modelling the element both as a simple-supported and as a fixed-fixed beam, compared with the experimental displacements for the cases of reinforced and unreinforced beams

Rys. 8. Teoretyczne odchylenia obliczone przy modelowaniu elementu zarówno przy założeniu swobodnego podparcia, jak i dźwigarów sztywno zamocowanych w porównaniu z eksperymentalnymi przemieszczeniami w przypadku wzmocnionych i niewzmocnionych dźwigarów



ply supported and fixed-fixed beam, being the constraints at the ends semi-rigid (fig. 10).

Even if the value of the experimental deflection in the initial phase is closer to that of the fixed-fixed beam, the real behaviour of the member deviates, in a non-linear way, from that depicted by this model.

## 7. Conclusions

Any planning for structural conservation requires investigative actions, based on the direct observation of material decay and structural damage, historical research etc., as well as on specific tests and mathematical models. Despite the difficulties of this multidisciplinary process, some guidelines and standards have been developing, specifically for historic structures, in order to avoid ambiguities and arbitrary decisions.

In particular, any intervention measure should be justified, through the diagnostic phase and the consequent safety evaluation, taking into account the uncertainties in the data assumed and the difficulties of a precise evaluation of the phenomena. Moreover, any intervention should be indispensable, minimal, reversible, compatible and use technologies possessing a proven performance. Therefore, both numerical and experimental tests, in laboratory and on site, have been carried out, in order to assess the efficiency of the proposed strengthening technique.

## Acknowledgements

The research was founded by the Italian ReLUIS Consortium, within the research program carried out for the Italian Agency for Emergency Management. M. Riggio was supported by the Provincia Autonoma di Trento, with the post-doc fellowship titled "DIGITIMBER (DIGItal technologies in TIMBER Restoration)". The Authors wish also to thank the company Rothoblaas s.r.l., for supplying the WT-T-8.2 screws and glued laminated wood, the Soprintendenza Beni architettonici P.A.T. and the SWS-Engineering S.p.A., for having trusted and encouraged the application of the implemented technology on site.

sztywno zamocowanego dźwigara z powodu ograniczeń przy półsztywnych zakończeniach (rys. 10).

Nawet jeśli wartość eksperymentalnego odchylenia w początkowej fazie jest bliższa wartościom zamocowanego dźwigara, faktyczne zachowanie elementów różni się w sposób nieliniowy od modelowego.

## 7. Wnioski

Planowanie konstrukcyjnej strukturalnej zawsze wymaga działalności badawczej w oparciu o bezpośrednią obserwację zniszczenia materiału i uszkodzeń konstrukcyjnych, o badania historyczne itp., a także specyficzne testy i modele matematyczne. Pomimo iż ten interdyscyplinarny proces jest bardzo trudny, stworzono pewne wytyczne i normy, zwłaszcza w odniesieniu do konstrukcji historycznych, aby uniknąć dwuznaczności i arbitralnych decyzji.

W szczególności należy uzasadnić interwencję w fazie diagnostycznej, a następnie w ocenie bezpieczeństwa, uwzględniając niepewność szacunkowych danych oraz trudności w precyzyjnej ocenie zjawisk. Interwencja powinna być ponadto niezbędna, minimalna, odwracalna, kompatybilna i powinna opierać się na technologiach o udowodnionej skuteczności. Dlatego przeprowadzono zarówno teoretyczne, jak i eksperymentalne badania laboratoryjne i na miejscu, aby ocenić skuteczność zaproponowanej techniki wzmocnienia.

## Podziękowania

Badania sfinansowało włoskie konsorcjum ReLUIS w ramach programu badawczego prowadzonego dla Włoskiej Agencji ds. Zarządzania Zagrożeniami. M. Riggio otrzymał od Autonomicznej Prowincji Trydentu stypendium podoktoranckie zatytułowane „DIGITIMBER (DIGItal technologies in TIMBER Restoration – Techniki Cyfrowe w Restoracji Drewna)”. Autorzy chcą także podziękować firmie Rothoblaas s.r.l., która dostarczyła śruby WT-T-8.2 i klejone laminowane drewno, urzędowi Soprintendenza Beni architettonici P.A.T. oraz SWS-Engineering S.p.A. za zaufanie i zachętę do zastosowania w praktyce realizowanej technologii.

## References • Literatura

- [1] ICOMOS, *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*, 2001.
- [2] UNI 11138, *Cultural heritage – Wooden artefacts – Building load bearing structures – Criteria for the preliminary evaluation, the design and the execution of works*. Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2004.
- [3] UNI 11141, *Cultural heritage – Wooden artefacts – Guidelines for wood dendrochronological dating*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2004.
- [4] Turrini M., *Castel Belasi e i conti Khuen*, Mondadori Printing, Cles (TN), 2000.
- [5] UNI 11202, *Cultural heritage – Wooden artefacts – Determination and classification of environmental conditions*. Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2007.
- [6] UNI 11119, *Cultural Heritage – Wooden artifacts – Load-bearing structures – On site inspections for the diagnosis of timber members*. Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2004.
- [7] Feio, A.O., Machado, J.S., and Lourenco, P.B., *Parallel to the Grain Behavior and NDT Correlations for Chestnut Wood (Castanea Sativa Mill)*. In: Proc: Conservation of Historic Wooden Structures. Florence 2005, (I), pp. 294-303.
- [8] UNI 11118, *Cultural heritage – Wooden artefacts – Criteria for the identification of the wood species*. Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2004.
- [9] EN 13183-2, *Moisture content of a piece of sawn timber – Part 2: Estimation by electrical resistance method*. European Committee for Standardization. Brussels, 2002.
- [10] UNI 11035-1, *Structural timber. Visual strength grading: terminology and measurement of features*. Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2003.
- [11] UNI 11035-2, *Structural timber. Visual strength grading rules and characteristic values for italian structural timber population*. Milano, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2003
- [12] Crosatti A., Piazza M., Tomasi R., Angeli A., Refurbishment of traditional timber floor with inclined screw connectors. In: *Proc. prohitech09, Protection of Historical Buildings 1<sup>st</sup> Int. Conf.* Rome, June 21<sup>st</sup>-24<sup>th</sup>, 2009.
- [13] Turrini G., Piazza M., *Il comportamento statico della struttura mista legno calcestruzzo*, in *Recupera*: 6, 1983.
- [14] EN 1194, *Timber structures – Glued laminated timber – Strength classes and determination of characteristic values*. European Committee for Standardization. Brussels, 1999.

---

\* Dep. of Mechanical and Structural Engineering, University of Trento, Trento, Italy  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Strukturalnej, Uniwersytet Trydencki, Trydent, Włochy  
\*\* Fixing Engineering, Rotho Blaas® Srl, Cortaccia (BZ)  
Inżynieria naprawcza, Rotho Blaas® Srl, Cortaccia (BZ)

---

## Abstract

Conservation is an elaborate and multidisciplinary process, involving different operational stages. Criteria for the preliminary evaluation, the intervention planning, execution and control, established both at international and national level, have been followed for the rehabilitation of a timber floor in the Belasi Castle (Trentino, Italy). In particular, the paper stresses the importance of the investigation actions, for the knowledge of the actual state of the structure, as well as for the choice, calibration and control of the repair intervention. *A fortiori*, comprehensive analyses are required, if new techniques are adopted, as the one described in the paper.

## Streszczenie

Konserwacja to skomplikowany i interdyscyplinarny proces złożony z wielu etapów. Kryteria wstępnej oceny, planowania interwencji, wykonania i kontroli, wprowadzone na poziomie międzynarodowym i krajowym, zostały zastosowane do odnowienia drewnianej podłogi w zamku Belasi (Trydent we Włoszech). Artykuł akcentuje szczególnie znaczenie działań badawczych dla poznania faktycznego stanu konstrukcji, a także wyboru, kalibracji i kontroli interwencji naprawczej. *A fortiori*, kompleksowe analizy są konieczne, jeśli używa się nowych technik, tak jak w przypadku omawianym w artykule.

Jerzy Jasieńko\*

Łukasz Bednarz\* , Tomasz Nowak\*

## Analiza stanu zachowania drewnianych stropów w Auli Leopoldyńskiej Uniwersytetu Wrocławskiego oraz w budynku głównego dworca kolejowego we Wrocławiu

## Analysis of the condition of preservation of wooden ceilings in the Leopoldina Assembly Hall at Wrocław University and in the building of the main railway station in Wrocław

### 1. Wstęp

Wrocław pomimo zniszczeń wojennych i powojennych zachował wiele budowli w stanie oryginalnym, między innymi: barokowy zespół głównych budynków Uniwersytetu Wrocławskiego z Aulą Leopoldyńską oraz neogotycki budynek kolejowego Dworca Głównego. Oba te obiekty pomimo swego zabytkowego charakteru z biegiem czasu zaczęły tracić swój dawny blask. Przeprowadzane remonty konserwatorskie nie zawsze wykonywane były w sposób kompleksowy lub w ogóle nie były przeprowadzane. Szczególnie ważnym wydaje się zainteresowanie elementami konstrukcyjnymi wykonanymi z drewna. Materiał ten jest szczególnie narażony na destrukcyjne działanie czynników zewnętrznych takich jak wilgoć, owady oraz grzyby i pleśnie.

### 2. Charakterystyka obiektów

#### Aula Leopoldyńska

Aula Leopoldyńska, pomyślana jako główne reprezentacyjne pomieszczenie nowo wznoszonego w latach 1728-1732 gmachu, znajduje się na pierwszym piętrze budynku głównego Uniwersytetu Wrocławskiego. Budynek ten należy do najznamienitszych zabytków budownictwa okresu baroku we Wrocławiu. Został wybudowany jako filozoficzne i teolo-

### 1. Introduction

In Wrocław, in spite of the war and post-war destructions, many buildings have been preserved in their original condition, amongst other things: the baroque complex of the main buildings of The Wrocław University with the Leopoldina Hall (assembly hall) and the neo-gothic building of The Main Railway Station. Both these objects in spite of their antique character began losing their former glitter as the time was passing. The conservator's repairs that were carried out were not always executed in the extensive way or no repairs were done at all. What seems particularly important is focusing on constructional elements made from wood. This material is particularly subject to destructive acting of such external factors as moisture, insects and fungi and moulds.

### 2. Characteristics of the objects

#### Leopoldina Hall

The Lepoldina Hall, conceived as the main stately room of the edifice newly raised in years 1728-1732, is on the first floor of the main building of Wrocław University. This building belongs to the most illustrious relics of building of the baroque period in Wrocław. It was built as the philosophical and theological Jesuit's college. Since 1811,

giczne kolegium jezuickie. Od roku 1811 po połączeniu tej szkoły z frankfurcką Viadriną została ona przekształcona w pełną, obejmującą wszystkie fakultety, szkołę wyższą. Aula (rys. 1), nazwana ku czci fundatora uniwersytetu, cesarza rzymskiego Leopolda I – Leopoldyńska, jest największą i najbardziej uroczystą salą w tym budynku. Ma długość około 37 m, szerokość wynoszącą przeciętnie 11,6 m, wysokość 7,4 m i jest oświetlona rozmieszczonymi nieregularnie oknami zwieńczonymi półkolistymi łukami, po dziewięć na zewnętrznych ścianach. W rozszerzeniu obu wschodnich przęseł, położonych najbliżej wejścia, znajduje się wsparta na filarach i hermach ściennych, wyprofilowana łukowato empora (rys. 2). Ponad wystającymi ze ścian wspornikami sklepienia wyłania się sufit w formie stosunkowo płaskiego, pozornego sklepienia kolebkowego z lunetami (rys. 3). Całą powierzchnię sufitu pokrywa bogate malowidło barokowe, korespondujące z podziałem sali na trzy części.

after connecting this school with Frankfurt's Viadrina, it became transformed into full-fledged higher school, including all the faculties. The assembly hall (fig. 1) was called Leopoldina Hall, to honor the founder of the university, the Roman Emperor Leopold I – it is the largest and the most solemn hall in this building. It is about 37 m long, with the average width 11.6 m and of 7.4 m high, and it is lighted up with irregularly disposed windows topped with semicircular arches, nine of them on each external wall. In the extension of both eastern spans, laid nearest to the entrance, there is a matroneum, which is supported on pillars and wall hermes, arch-like profiled (fig. 2). Above the Samson-posts of the vault protruding from the walls there opens the ceiling in the form of comparatively flat, apparent barrel vault with lunettes (fig. 3). The rich baroque painting covers the whole surface of the ceiling, corresponding with the division of the hall onto three parts.



Rys. 1. Aula Leopoldyńska – widok z empory  
 Fig. 1. The Leopoldina assembly hall – view from the matroneum

Po ponad wieku użytkowania, w 1896 r. powzięto decyzję o odnowieniu wielu elementów dekoracyjnych oraz konstrukcyjnych Auli. Zdecydowano również o wzmocnieniu istniejącego stropu drewnianego, dylowego, tworzącego konstrukcję nad sklepieniem pozornym Auli (rys. 4, 5). Przebudowa miała również na celu udostępnienie pomieszczenia ponad Aulą jako sal wykładowych (obecna Sala Bal-

After over a century of using the Hall, in 1896, a decision was taken to renovate many decorative and constructional elements thereof. It was also decided to strengthen the existing wooden ceiling, of plank construction, forming the construction over the apparent vault of the Hall (fig. 4, 5). The refurbishing was also intended to make the room above the hall accessible, to use it as lecture halls (the present Balz-



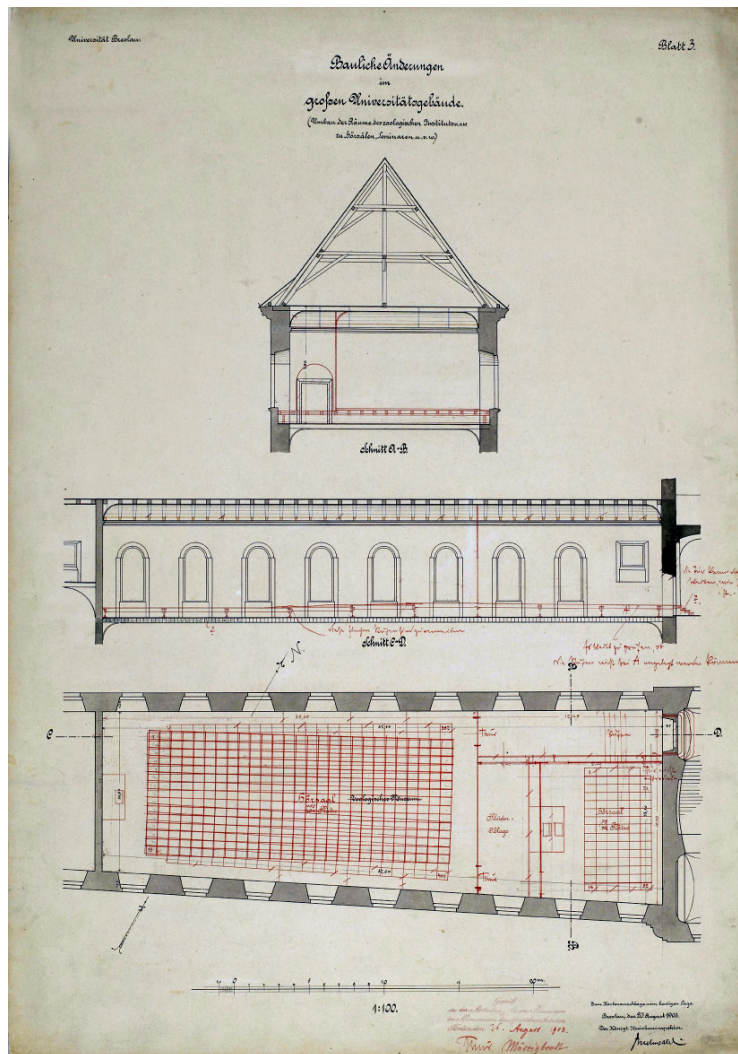
Rys. 2. Empora Auli Leopoldyńskiej  
 Fig. 2. Matroneum in the Leopoldina assembly hall

zera oraz Sala Polonii Wrocławskiej). W roku 1905, po wielu zmianach koncepcji wzmocnienia, w hucie żelaza Waltherhütte w Mikołowie (Górny Śląsk), wykonano zestaw 8 blachownic wraz z pojedynczym stężeniem kratowym pionowym. Podłogę w formie amfiteatralnej (z małym spadkiem) wykonano z desek mocowanych na gwoździe do belek drewnianych opartych na blachownicach. Wzdłuż ścian zewnętrznych, w pachach drewnianego sklepienia pozornego, podwieszono strop dylowy na kształtownikach mocowanych do blachownic. Taki układ statyczny pozostał do dnia dzisiejszego.

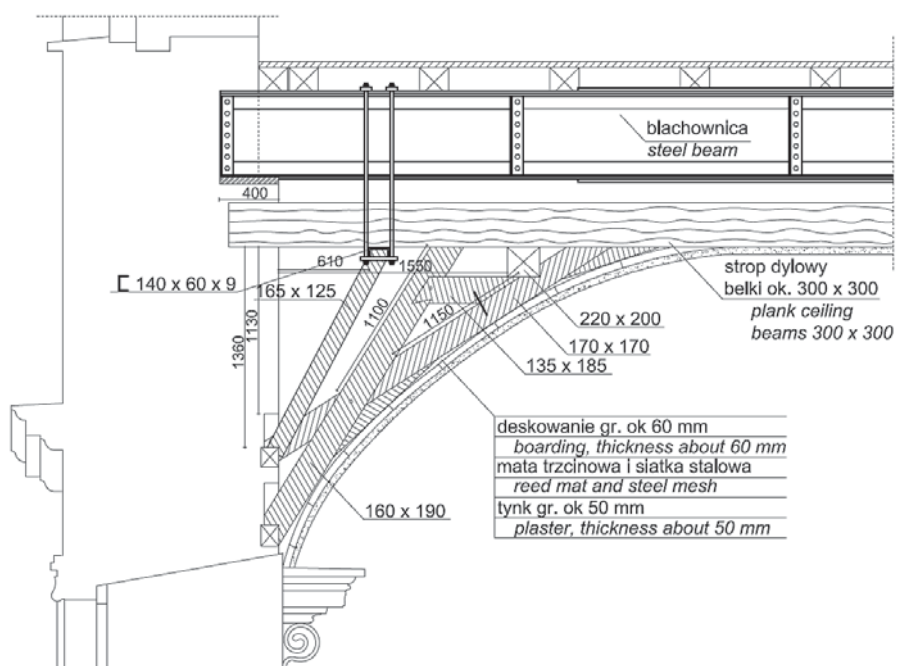
er's Hall and the Hall of Polish community abroad coming from Wrocław). In 1905, after many changes of the conception of strengthening, a set of 8 plate girders was made in the steelworks Waltherhütte in Mikołów (Upper Silesia), together with a single vertical truss bracing. The floor is laid amphitheatricaly (with small decline), it was made from boards fixed on nails to the wooden beams resting on plate girders. Along the external walls, in the haunches of apparent wooden vault, a plank ceiling was suspended on sections fixed to the plate girders. Such static arrangement has remained till today.



Rys. 3. Sufit – sklepienie pozorne Auli Leopoldyńskiej  
 Fig. 3. The ceiling – apparent vault of The Leopoldina Hall



Rys. 4. Koncepcja przebudowy stropu nad Aulą Leopoldyńską z roku 1903  
 Fig. 4. Conception of rebuilding of the ceiling over The Leopoldina Hall from 1903



Rys. 5. Przekrój przez strop nad Aulą  
 Fig. 5. Cross-section of the ceiling over the Assembly Hall

Prace konstrukcyjno – konserwatorskie mające na celu zachowanie tego unikalnego na skalę światową obiektu wymagają przeprowadzenia analizy stanu zachowania elementów drewnianych stropu, stanu zachowania blachownic stalowych oraz stanu zachowania elementów konstrukcji drewnianego sklepienia pozornego.

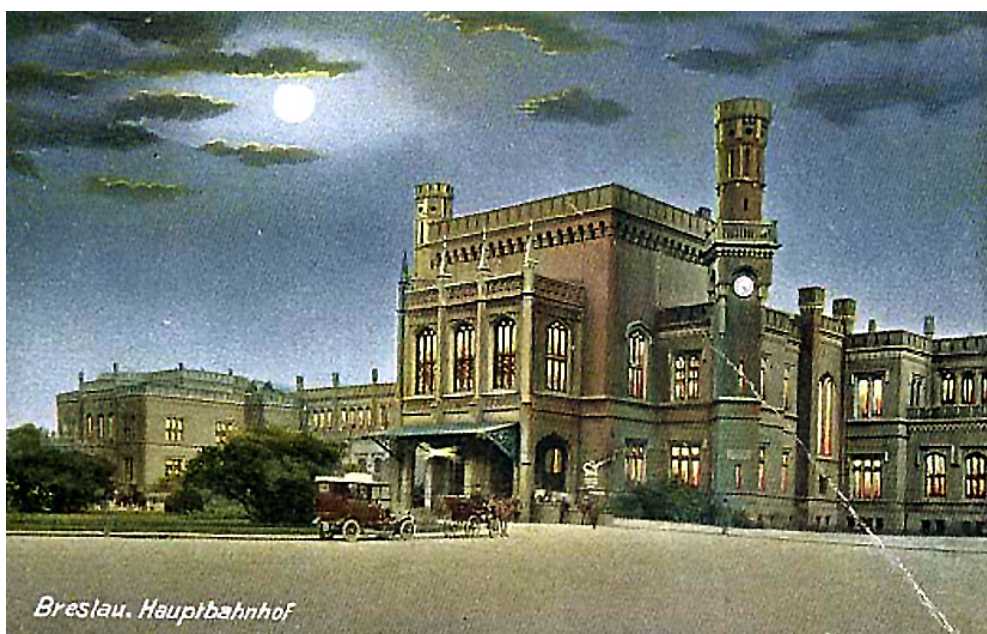
### Dworzec Główny

Dworzec Główny we Wrocławiu jest jedną z najstarszych tego typu budowli w Polsce. Wybudowany został w stylu angielskiego neogotyku, w latach 1855-1857, jako dworzec węzła Kolei Górnośląskiej Wrocławsko-Poznańsko-Głogowskiej (rys. 6). Projektantem, tej niegdyś największej, w swojej klasie budowli w Europie był niemiecki architekt – Wilhelm Grapow.

The construction conservator's works aimed at preservation of this unique all over the world object require the analysis of the condition of preservation of the wooden elements of the ceiling, the condition of preservation of steel plate girders and the condition of preservation of the construction elements of the apparent vault made of wood.

### Main Railway Station

The Main Railway Station in Wrocław is one of the oldest buildings of this type in Poland. It was built in the English Neo-gothic style, in years 1855-1857, as the railway station of the junction point of the Railway systems: Górny Śląsk (Upper Silesian) and Wrocław-Poznan-Głogow (fig. 6). The designer of this, once the largest building in this class in Europe, was a German architect – Wilhelm Grapow.



Rys. 6. Widok Dworca Głównego do strony obecnej ul. Piłsudskiego (przełom XIX i XX wieku)  
Fig. 6. View of the Main Railway Station from the side of the present Piłsudski Street (at the turn of XIX and XX century)



Rys. 7. Strop kasetonowy nad salą reprezentacyjną na I piętrze  
Fig. 7. The coffered ceiling over the stately hall on the 1<sup>st</sup> floor



Rys. 8. Strop z powalą o profilowanych belkach drewnianych i profilowanych drewnianych podciągach  
Fig. 8. The ceiling with wooden beams of profiled cross-sections and wooden binding joists of profiled cross-sections

Budynek Dworca składa się z pięciu części różniących się wymiarami i układem konstrukcyjnym oraz wystrojem artystycznym stropów i stopniem zniszczenia elementów drewnianych. W budynku występują różnego rodzaju stropy drewniane. Od szczególnie pięknej konstrukcji historycznej o bardzo bogatym wystroju i dużej wartości zabytkowej stropu kasetonowego nad salą reprezentacyjną (rys. 7), poprzez drewniane stropy z powałą ozdobną (rys. 8), aż po stropy drewniane listwowe z podsufitką bez elementów ozdobnych nie stanowiące szczególnie cennej substancji zabytkowej.

Zbudowany przed ponad 150 laty gmach, jest jednym z ważnych zabytkowych obiektów w pejzażu kulturowym Wrocławia. Przeprowadzana obecnie rewitalizacja dworca ma za zadanie zachowanie jego unikalnego, XIX wiecznego klimatu w historycznej bryle.

### **3. Badania i analiza stanu zachowania stropów drewnianych**

W obu rozpatrywanych przypadkach stwierdzono, że stropy drewniane stanowią szczególnie wartościową historyczną część konstrukcji o znacznej wartości artystycznej. Poza kilkoma fragmentami stropów w budynku Dworca Głównego należało by elementy drewniane stropów poddać remontowi i konserwacji i bezwzględnie zachować. Problem pojawia się w przypadku wprowadzenia nowych, dodatkowych obciążeń użytkowych i technologicznych związanych ze zmianą funkcji istniejących pomieszczeń. Niezbędnym staje się wykonanie analizy stanu zachowania stropów i zaproponowanie programu naprawczego (wzmocnienia) i konserwacyjnego.

W ramach analizy zachowania stropów prowadzącej do stworzenia właściwego programu wykonano badania konstrukcji. Badania te miały na celu określenie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych drewna rozpatrywanych stropów oraz określenie normowych parametrów wytrzymałości drewna, które mogły zostać przyjęte w końcowych analizach statycznych.

W ramach badań materiałowych przeprowadzono badania cech drewna, obejmujące m. in. oznaczenie: wilgotności, gęstości, wytrzymałości na zginanie statyczne, wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien, wytrzymałości na ściskanie w poprzek włókien. Badania wykonane zostały na próbkach wykonanych z pobranych fragmentów stropów.

W obu przypadkach na podstawie uzyskanych wyników z przeprowadzonych badań materiałowych oraz ich analizy przyjęto, że drewno stropów odpowiada klasie drewna C27.

The building of The Station consists of five parts, differing in their dimensions and constructional arrangement and in their artistic interior decorations of the ceilings and also in the extent of destruction of wooden elements. Various kinds of wooden ceilings occur in this building. Starting from particularly beautiful historical construction of very rich interior decorations and the coffered ceiling of large antique value over the stately hall (fig. 7), through wooden decorative ceilings (fig. 8), up to wooden slat ceilings with soffit ceiling without any decorative elements, not making up particularly valuable antique substance.

The edifice was built over 150 years ago, it is one of important antique objects in the cultural landscape of Wrocław. The revitalization of the station being carried out at present is aimed at preservation of its unique, XIX century climate in the historical mass of the building.

### **3. Investigations and analysis of the condition of preservation of wooden ceilings**

In both considered cases it was found that wooden ceilings made up particularly valuable historical part of the construction of considerable artistic value. Except for a few fragments of the ceilings in the building of the Main Railway Station all the wooden elements of the ceilings absolutely deserve to be redecorated and should undergo conservation to be preserved. The problem appears in the case of introducing new, additional exploitation and technological loads, connected with the functional change of the existing rooms. It becomes necessary to carry out an analysis of condition of preservation of the ceilings and to propose a program of their repair (strengthening) and conservation.

Within the analysis of preservation of the ceilings, leading to creation of proper program there were executed investigations of the construction. Those investigations were to determine some physical and mechanical properties of the wood of the considered ceilings and establishing of the normative parameters of strength of the wood, which could be accepted in the final static analyses.

The material investigations of the wood included the features of the wood, amongst other things: moisture, density, static bending strength, compression along the filaments strength, compression across the filaments strength. Investigations were executed on samples made from the taken fragments of ceilings.

In both cases, on the basis of the results obtained in the tests and their analysis, it was determined that the wood from the ceilings corresponded to wood of C27 class.



### Analiza dendrochronologiczna

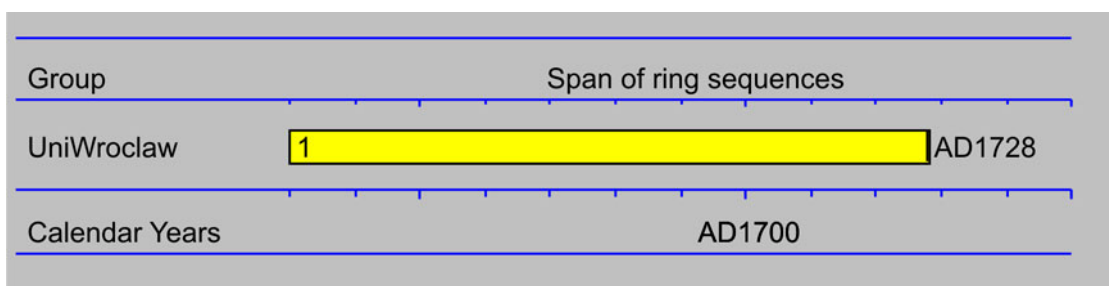
Materiał ze stropu dylowego Auli Leopoldyńskiej poddano analizie dendrochronologicznej drewna. Badaniom poddano próbkę drewna pobraną z obiektu w postaci plastra z pełnym przekrojem poprzecznym. Próbka została przygotowana do badań. Wykonano identyfikację gatunku drewna. Na powierzchni wyznaczono i przygotowano ścieżki pomiarowe, a następnie przy użyciu aparatu pomiarowego typu LINTAB pomierzono szerokości przyrostów rocznych drewna. Dokładność pomiaru wynosiła 0,01 mm. Synchronizację sekwencji przyrostowych i porównanie ich z chronologiami wzorcowymi przeprowadzono przy pomocy programów CATRAS v. 4.20, TSAPWin oraz DENDRO for WINDOWS.

W wyniku przeprowadzonej analizy określono, że próbka drewna należy do gatunku sosna pospolita (*Pinus sylvestris* L.). Położenie sekwencji przyrostowej w czasie zilustrowano na diagramie belkowym (rys. 9).

### Dendro-chronological analysis

The material from the plank ceiling of the Leopoldina Hall was subjected to the dendro-chronological analysis of the wood. The sample of wood, taken from the object in the form of a slice with full transverse section, underwent investigations. The sample was prepared to the investigations. The species of wood was identified. On the surface there were outlined measuring paths, which were then prepared, and then the widths of the annual growth of the wood was determined with the use of measuring apparatus of type LINTAB. The accuracy of the carried out measurements was 0.01 mm. Synchronizing of the annual growth sequences and comparison thereof with standard chronologies were done with software CATRAS v. 4.20, TSAPWin and DENDRO for WINDOWS.

In the result of the conducted analysis, it was qualified that the sample of wood belongs to the common pine species (*Pinus sylvestris* L.). The position of the annual growth sequence in the time was illustrated on a beam diagram (fig. 9).



Rys. 9. Datowanie serii przyrostowej próbki drewna z ze stropu dylowego nad Aulą Leopoldyńską  
Fig. 9. Date determining of the annual growth sequence for a sample of wood from the plank ceiling over the Leopoldina Hall

Otrzymane rezultaty jednoznacznie wskazują na ścinę drzewa późną jesienią 1728 roku lub zimą 1728/1729 roku, co w pełni pokrywa się z kwerendą historyczną. Wykorzystanie drewna w konstrukcji następowało z reguły w tym samym roku, co ścinka drzewa, po kilku miesiącach przeznaczonych na obróbkę, transport i sezonowanie drewna.

### Badania wilgotnościowe i rezystograficzne

Jako badania stanu materiału konstrukcji drewnianego stropu dylowego Auli, drewnianej konstrukcji sklepienia pozornego (skłonów) Auli oraz stropów dworca wykonano badania pomiaru wilgotności oraz badania rezystograficzne. W celu określenia stanu zachowania tkanki drzewnej w elementach konstrukcyjnych. Celem badań było ustalenie stanu drewna, charakteru zawilgocenia, określenie intensywności czynników zawilgaczających obiekt, określenie rodzaju i stopnia zasolenia substancji zabytkowej.

The results obtained unambiguously show that the tree was felled in late autumn 1728 or in winter 1728/1729, which completely agrees with the historical preliminary research. The utilization of the wood in the construction was as a rule done in the same year as felling the tree, after several months taken by processing, transportation and seasoning the wood.

### Moisture content measurements and resistographic investigations

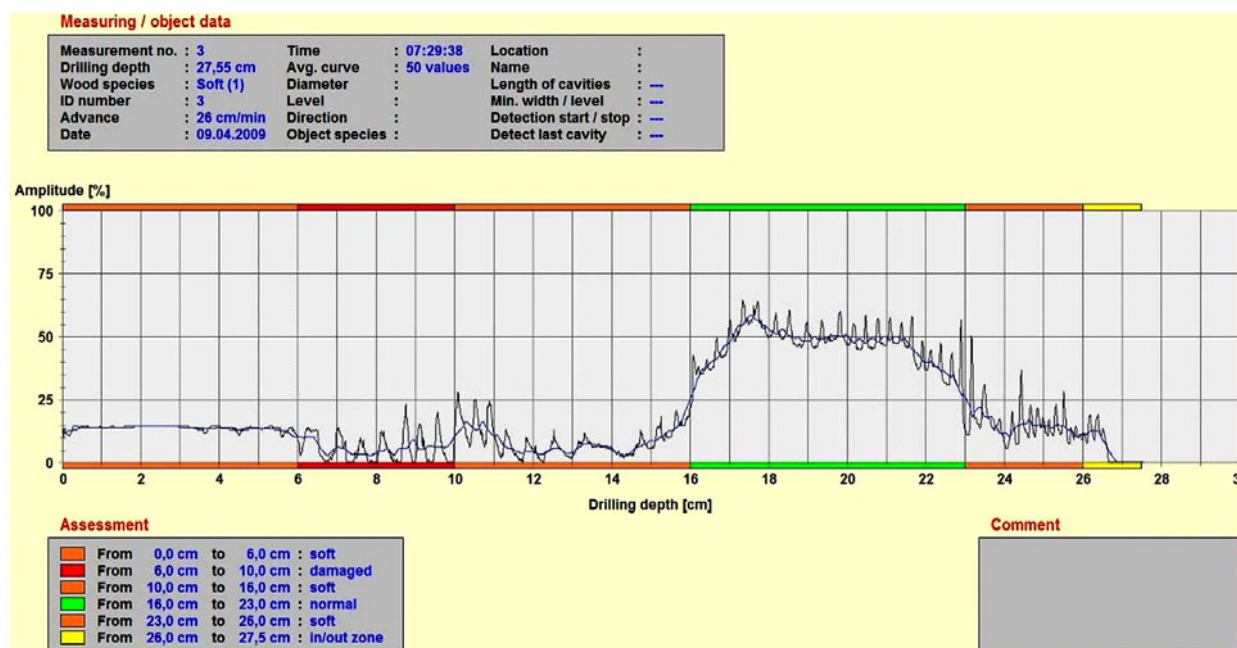
Within the scope of investigations of the condition of the construction material of the wooden plank ceiling of the Hall, of the wooden construction of the apparent vault (slopes) of the Hall and the ceilings of the railway station there were executed measurements of moisture content and resistographic investigations in order to determine the condition of preservation of the wood tissue in constructional elements. The aim of investigations was to qualify the condition of wood, the type of dampness, the intensity of factors making the object damp, and to determine the type and extent of salinity of the antique substance.

Badania wilgotności elementów drewnianych stropu dylowego Auli przeprowadzono stosując metodę opartą na pomiarach rezystancyjnych z użyciem wilgotnościomierza LB-796 firmy Lab-El przy pomocy sondy młotkowej LB-795. Urządzenie skalibrowano na drewno sosnowe.

Badania rezystograficzne ukierunkowano na określenie stanu zachowania tkanki drzewnej w elementach konstrukcyjnych. Wykonano je z użyciem rezystografu IML RESI F-400S. Metoda ta oparta jest na pomiarze oporu skrawania zapisanego w formie wykresu, podczas nawiercania elementu. Wiercenia wykonywano cienkim, elastycznym wiertłem o średnicy 3mm. W przypadku stropu Auli w celu uniknięcia przewiercenia się w strefę zdobionych polichromią tynków, rozłożonych bezpośrednio na podniebieniu stropu dylowego, odwierty wykonywano do szacowanej każdorazowo bezpiecznej głębokości, wynikającej z porównania wysokości dyla. Wyniki badań przedstawiono w postaci wykresów zależności amplitudy oporu od głębokości odwiertu, dla każdego punktu pomiarowego (rys. 10).

The investigations of moisture content of wooden elements of the plank ceiling of the Hall were conducted by the method based on resistance measurements with the use of hygrometer LB-796 made by the firm Lab-El, and with the use of hammer probe LB-795. The device was calibrated on pine wood.

The resistographic investigations were focused on qualification of the condition of preservation of wood tissue in the constructional elements. They were made with the use of resistograph IML RESI F-400S. This method is based on measurement of cutting resistance while drilling in element, written down in the format of a graph. Drillings were executed with thin, elastic boring bit of 3 mm in diameter. In the case of the ceiling of the Hall, in order to avoid drilling through in the zone adorned with plaster polychromy, spread directly on the intrados of plank ceiling, the bored holes were made up to the safe depth, which each time had been earlier estimated by comparing the height of the plank. The results of investigations were introduced in the form of graphs of dependence of the amplitude of resistance on the depth of bored hole, for each measuring point (fig. 10).



Rys. 10. Przykładowe wyniki pomiarów rezystograficznych dla belki stropu nad salą reprezentacyjną Dworca Głównego  
 Fig. 10. An example of results of resistographic measurements for the ceiling beam over the stately hall of the Main Railway Station

### Badania termowizyjne

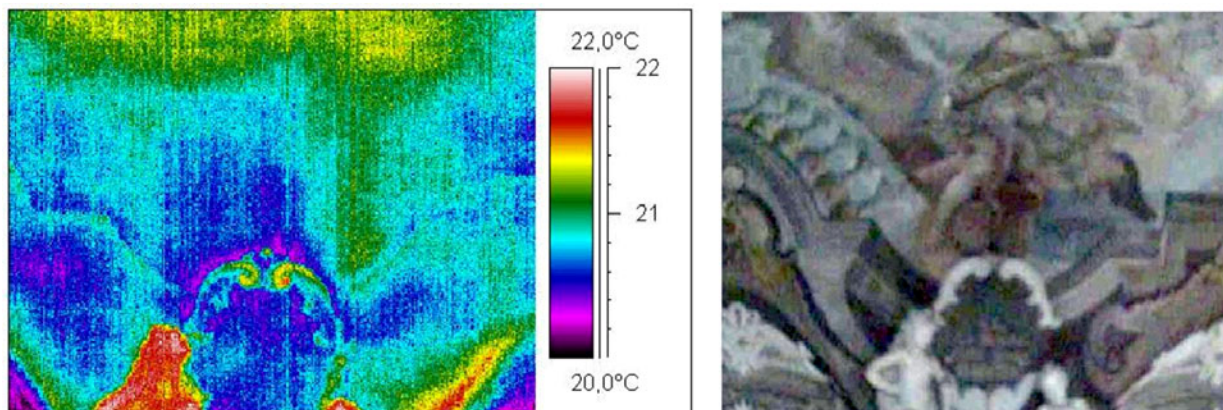
Badania termowizyjne podniebienia stropu dylowego w Auli Leopoldyńskiej zastosowano w celu nieniszczącego wyznaczenia obszarów niespójności pomiędzy bezpośrednim podkładem polichromii a dolną płaszczyzną stropu dylowego. Badania przeprowadzono poprzez pomiar rozkładu temperatury na powierzchni stropu od strony pomieszczenia Auli

### Thermovision investigation

Thermovision investigations of the intrados of the plank ceiling in the Leopoldina Hall were applied in order to determine in non-destructive way the areas of non-adherence between the direct plaster base of the polychromy and the bottom plane of the plank ceiling. The investigations were conducted by measurement of the distribution of temperature on

za pomocą kamery termowizyjnej ThermaCAM P65 firmy FLIR SYSTEMS. Zastosowany system pomiarowy umożliwił pomiar, wizualizację oraz rejestrację rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu (rys. 11) poprzez pomiar natężenia promieniowania podczerwonego (ciepłego) emitowanego przez obiekt.

the ceiling surface from the side of the Hall's room, using a thermovision camera ThermaCAM P65 of the firm FLIR SYSTEMS. The applied measuring system made possible measurement, visualization and registration of the distribution of temperature on the surface of the studied object (fig. 11) by measurements of the intensity of infra-red (thermal) radiation emitted by the object.



Rys. 11. Termogram części stropu nad sceną Auli z wyraźnie widocznym zróżnicowaniem wartości temperatury powierzchni  
 Fig. 11. Thermograph of a part of ceiling over the Hall's stage with clearly visible differentiation in the value of the surface temperature

Badania termowizyjne powierzchni polichromowanego podłoża pokazały, że metoda termografii podczerwonej może być skutecznym narzędziem pomiarowym w defektoskopii miejsc odspojenia podłoża od stropu. Niezbędnym warunkiem skuteczności pomiaru jest występowanie różnicy temperatury powietrza po obu stronach stropu co najmniej 5,0°C. Termogramy wyraźnie wskazały liczne obszary odspojen. Można je uznać za miarodajne zwłaszcza w obszarze „wypłaszczenia” podkładu tzn. w obszarze odpowiadającym ułożeniu podkładu poprzez matę trzcinową bezpośrednio na dolnych powierzchniach dyli.

#### Badania statyczne i dynamiczne

Przeprowadzone badania statyczne i dynamiczne miały na celu eksperymentalne określenie poziomu przemieszczeń badanych blachownic stropu nad Aulą Leopoldyńską. Wyniki badań pozwoliły określić czy występują jakiegokolwiek przemieszczenia blachownic stropu związane z ich obciążaniem tłumem w różnych schematach statycznych, oraz czy ma to wpływ na konstrukcję stropu dylowego oraz malowidło sklepienia pozornego Auli Leopoldina.

Ponieważ konstrukcja podkładu pod polichromię Auli Leopoldina jest w trudnym do określenia (w sensie statycznym i dynamicznym) stopniu połączona ze stropem Sali Balzera, nie było pełnej możliwości teoretycznego określenia wpływu przemieszczeń na zachowanie sufitu Auli. Zastosowano

Thermovision investigations of the surface of polychromy base showed that the method of infrared thermography could be an effective measuring tool in the flaw detection of detachment places of plaster base from the ceiling. The indispensable condition for effectiveness of the measurement is occurrence of temperature difference of the air on both sides of the ceiling, which must be at least 5.0°C. Thermographs clearly showed numerous areas of detachment. One can recognize them as reliable especially in the area where the plaster base 'gets flat' i.e. in the area corresponding to laying the plaster base through the reed mat directly on the bottom surfaces of the planks.

#### Static and dynamic investigations

Static and dynamic investigations were conducted in order to determine experimentally the level of dislocation of studied plate girders of the ceiling over the Leopoldina Hall. The results of investigations allow to determine if there had occurred any dislocation of the plate girders of the ceiling due to their load by the crowd in various static patterns, and if that had any influence on the construction of the plank ceiling and the painting of the apparent vault of the Leopoldina Hall.

Because the construction of plaster base under the polychromy of the Leopoldina Hall was joined with the ceiling of the Balzer's Hall in the way which was hard to determine (in the static and dynamic sense), it was not possible to determine theoretical-

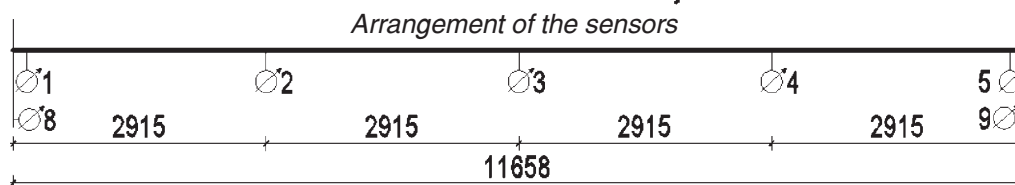
zatem eksperymentalną metodę badań obciążając badane elementy tłumem. Mierzono:

- przemieszczenia w 5 punktach konstrukcji blachownicy nr 4 (rys. 12),
- przemieszczenia w środku rozpiętości blachownic sąsiednich – nr 3 i nr 5,
- przemieszczenia względne stropu dylowego,
- przemieszczenia poziome blachownic w strefie oparcia na ścianach.

ly the influence of dislocations on preservation of the Leopoldina Hall's ceiling. Therefore an experimental method of investigations was applied so that the tested elements were put under load of the crowd. The following parameters were measured:

- dislocation in 5 points of the plate girder construction no. 4 (fig. 12),
- dislocation in the centre of the spread of adjacent plate girders – no. 3 and no. 5,
- relative dislocation of the plank ceiling,
- dislocation of horizontal plate girder in the zone of its support on the walls.

### Schemat rozmieszczenia czujników



Rys. 12. Schemat rozmieszczenia czujników indukcyjnych na blachownicach  
Fig. 12. Arrangement of the inductive sensors on the plate girders.

Do rejestracji wyników przemieszczeń użyto indukcyjnych czujników przemieszczeń W50 TS o zakresie pomiarowym  $\pm 50$  mm, klasy 0,5%, firmy Hottinger Baldwin Messtechnik (fot. 5.4 i 5.5) sprzężonych z komputerem PC (wyposażonym w oprogramowanie CATMAN firmy Hottinger Baldwin Messtechnik do współpracy komputera z urządzeniami pomiarowymi tej firmy) oraz wielokanałowego systemu pomiarowego SPIDER firmy Hottinger Baldwin Messtechnik.

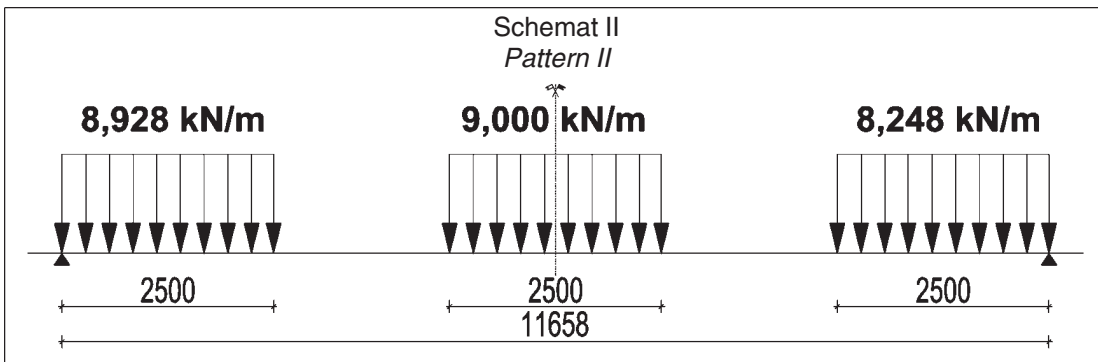
Program badań statycznych zrealizowano na fragmencie stropu o szerokości ok. 11,66 m i długości ok. 4 m położonym symetrycznie nad blachownicą nr 4 (rys. 12). Obciążenie użytkowe realizowane było przez 110 osobową grupę studentów uprzednio zważonych. Studenci ustawiali się w ściśle ustalonych polach, stopniowo wypełniając cały obszar podłogi w rejonie badanego obszaru, realizując zarówno symetryczne, jak i niesymetryczne schematy obciążenia (rys. 13, 14).

For registration of results of dislocations the inductive sensors of dislocation W50 TS of measuring range  $\pm 50$  mm, class 0.5 %, of firm Hottinger Baldwin Messtechnik (Photo 5.4 and 5.5) coupled with the PC computer (equipped with software CATMAN of firm Hottinger Baldwin Messtechnik for co-operation of a computer with measuring devices of this firm) and a multi-channel measuring system SPIDER of the firm Hottinger Baldwin Messtechnik were applied.

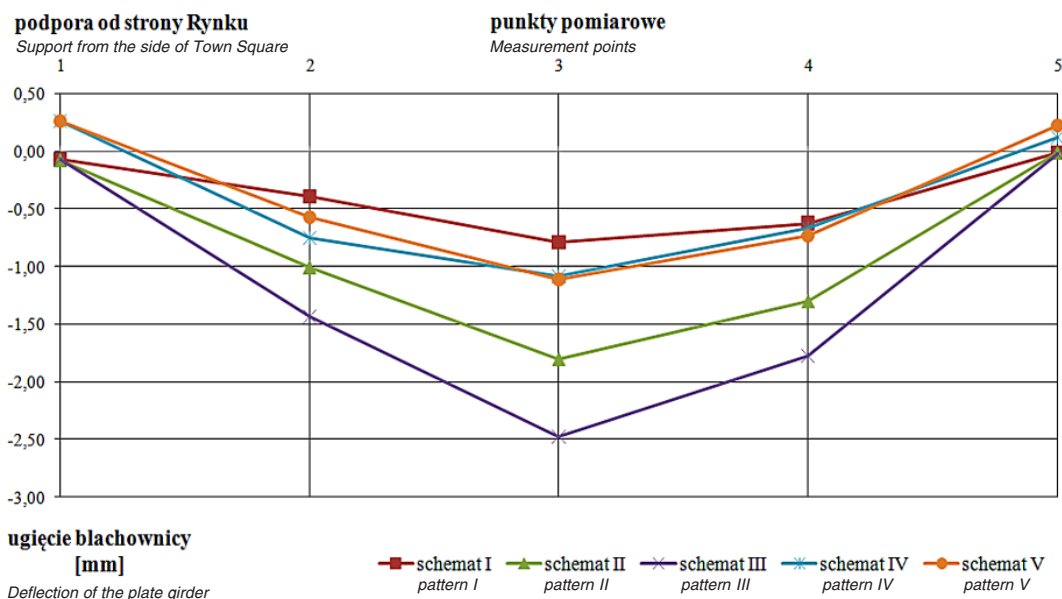
The program of static investigations was realized on a fragment of the ceiling of approx. 11.66 m in width and approx. 4 m in length, laid symmetrically over the plate girder no. 4 (fig. 12). The exploitation load was realized by a group of 110 students who had been earlier weighed. The students aligned in precisely established areas, gradually filling the whole area of the ceiling in the studied region, realizing both symmetrical, and asymmetrical pattern of load (fig. 13, 14).



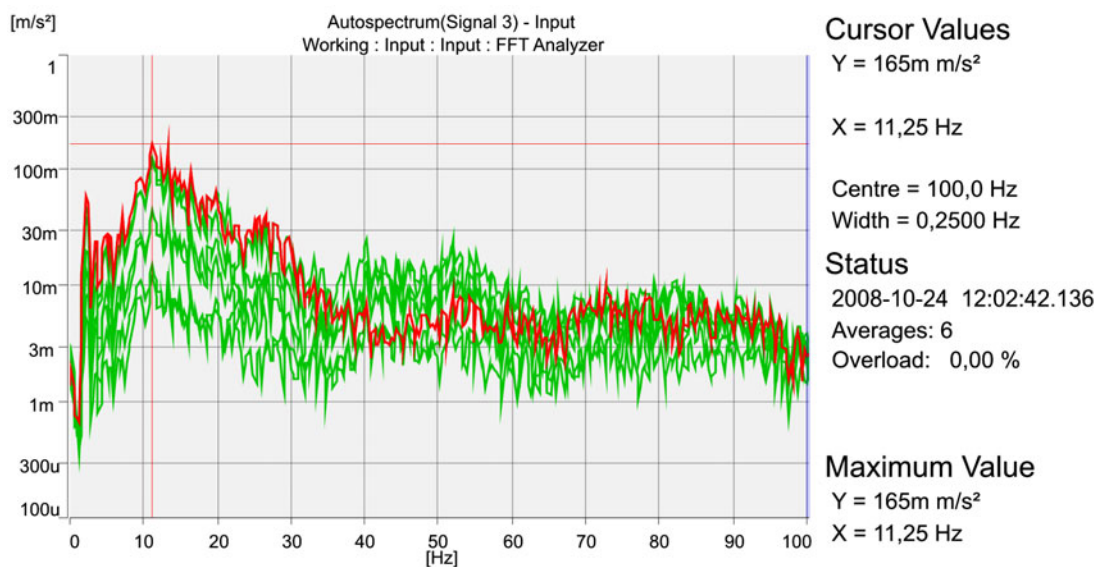
Rys. 13. Przykładowe pole na którym realizowano obciążenia statyczne  
Fig. 13. The example area on which static load were realized



Rys. 14. Przykładowy schemat statyczny obciążenia  
Fig. 14. The example static pattern of load



Rys. 15. Ugięcia blachownicy nr 4 przy różnych schematach obciążenia  
Fig. 15. Deflection of the plate girder no. 4 for various patterns of load



Rys. 16. Autospektrum sygnałów rejestrowanych w przykładowym pomiarze  
Fig. 16. Auto spectrum of signals recorded in the example measurement

Na podstawie wyników badań statycznych (rys. 15) i dynamicznych (rys. 16) stwierdzono, że istniejąca konstrukcja stalowa podtrzymująca podłogę Sali Balzera i podtrzymująca częściowo podwieszoną do niej drewnianą konstrukcję dylową Auli Leopoldyńskiej, umożliwia nierównomierne przenoszenie obciążeń i drgań wywołanych obciążeniem podłogi na konstrukcję sufitu. Drgania dyli drewnianych pod blachownicami stalowymi są dużo większe niż dyli usytuowanymi pośrodku między blachownicami. Drgania te mogą powodować zarysowania podkładu pod polichromię sufitu Auli w kierunku równoległym do dyli.

Do celów projektowych konieczne było ustalenie wytrzymałości obliczeniowej stali z której wykonano blachownice. Ze względu na brak możliwości pobrania z konstrukcji odpowiedniej liczby próbek stali do badań niszczących na rozciąganie, zdecydowano się na oszacowanie jej parametrów wytrzymałościowych na podstawie obszernych, nieniszczących badań twardości stali istniejącej konstrukcji za pomocą przenośnego twardościomierza Brinella typu PZ-3 firmy Zwick. Laboratoryjne badania wytrzymałości stali na rozciąganie ograniczono do 1 próbki stali pobranej ze środka blachownicy. Badanie przeprowadzono w Akredytowanym Laboratorium Badawczym Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej w maszynie wytrzymałościowej Zwick Roell UFP 400, skalibrowanej w klasie dokładności 0,5. Rezultaty z badań w niszczącej próbie rozciągania, zestawione w tab. 1 potwierdzają wartości granicy plastyczności  $R_e$ , jak i wytrzymałości doraźnej na rozciąganie  $R_m$  uzyskanych na podstawie nieniszczących badań twardości stali. Wartości granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie stali różnią się od siebie odpowiednio: niespełna 1% i 3,5%.

On the basis of results of static (fig. 15) and dynamic (fig. 16) investigations it was found that the existing steel construction supporting the floor of The Balzer's Hall and partly supporting the wooden plank construction of the Leopoldina Hall suspended underneath, enables unequal transfer of loads and vibrations caused by the floor load on the ceiling construction. The vibrations of wooden planks under the steel plate girders are a lot larger than of those planks which are situated between the plate girders, in the middle. These vibrations can cause scratching of the plaster base under the polychromy of the ceiling of the Hall in the direction parallel to the planks.

For the designing purposes it was necessary to establish the calculation strength of the steel from which plate girders were made. As it was not possible to take necessary number of steel samples for destructive tensile tests it was decided to estimate its strength parameters on the basis of the extensive, non-destructive hardness tests of the steel in the existing construction with the help of portable Brinell hardness testing machine of the type PZ-3 made by the firm Zwick. The laboratory investigations of tensile strength were limited to 1 coupon of steel taken from the plate girder web. The test was conducted at the Accredited Investigative Laboratory of Building Engineering Institute, Wrocław University of Technology in the testing machine Zwick Roell UFP 400, calibrated in the accuracy class 0.5. Results from investigations in the destructive tensile test, presented in Table 1, confirm the values of the yield point  $R_e$ , and tensile strength  $R_m$  which were obtained on the basis of non-destructive testing of steel hardness. The values of the yield point and tensile strength for steel differ from each other respectively by: almost 1% and 3.5 %.

Tab. 1. Porównanie wartości granicy wytrzymałości i wytrzymałości na rozciąganie badanej próbki na podstawie dwóch oznaczeń  
*Comparison of value of yield point and tensile strength of studied sample on basis of two tests*

Metoda oznaczenia <i>Method of determining</i>	Granica plastyczności <i>Yield point</i> $R_e$ [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie <i>Tensile strength</i> $R_m$ [MPa]
Na podstawie twardości Brinella <i>On the basis of Brinell hardness</i>	230,3	328,2
Na podstawie próby na rozciąganie <i>On the basis of tensile test</i>	232,0*	340,0

#### 4. Koncepcja wzmocnienia. Podsumowanie

Zasadniczymi elementami nośnymi stropu nad Aulą Leopoldyńską są stalowe nitowane blachownice o zróżnicowanej wysokości i rozpiętości, stężone w połowie rozpiętości kratownicowym stężeniem pionowym, wykonanym z kątowników. W strefie podpór do blachownic podwieszony został drewniany strop dyłowy. Podwieszenie to zostało wykonane za pomocą jarzm, złożonych z płaskowników ułożonych na pasach górnych blachownic, ciągów z prętów o średnicy 20 mm nagwintowanych na końcach i podwieszonych do blachownic ceownikami, na których spoczywają dyle. Związane to było z osłabieniem w wyniku destrukcji biologicznej końców dyli opartych na murach obiektu. W koncepcji wzmocnienia oddzielono konstrukcję podłogi stropu (blachownice stalowe) od konstrukcji sufitu Auli Leopoldina, przez niezależne podwieszenie dyli stropu. Zaproponowano podwieszenie stropu do ścian zewnętrznych poprzez wsporniki stalowe kotwione w ścianach zewnętrznych na kotwy stalowe rozprężne ze wspomaganiami połączenia spoiną klejową na bazie żywic epoksydowych. Wsporniki stalowe należy połączyć ze stropem dyłowym poprzez ciągną stalową (wprowadzając niewielką siłę naprężającą) z tłumikiem drgań oraz belkę drewnianą poprzeczną mocowaną do każdego dyla śrubą stalową wkręcaną ze wspomaganiami połączenia spoiną klejową na bazie żywicy epoksydowej.

W przypadku stropów w budynku Dworca Głównego na podstawie przeprowadzonych badań materiałowych i badań rezystograficznych, wykonanych obliczeń sprawdzających oraz przeprowadzonej analizy stanu i przyczyn ich zniszczenia, zdecydowano, że do bezwzględного zachowania i remontu kwalifikują się XIX wieczne stropy drewniane o bogatym wystroju i szczególnie wartościowej historycznej konstrukcji. Pozostałe stropy, bez ozdobnego wystroju, we wszystkich częściach budynku i na wszystkich kondygnacjach, zniszczone w różnym stopniu, nie stanowiące cennej substancji zabytkowej, kwalifikują się do wymiany, z uwagi na znaczną utratę cech technicznych.

Obok autorów w pracach badawczych wzięli udział: B. Gosowski, J. Dudkiewicz, H. Nowak, Z. Wójcicki, J. Grosseł, Z. Matros, P. Grabowski, J. Gańko z Politechniki Wrocławskiej T. Ważny z Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika w Toruniu oraz L. Engel, R. Misków z CCI.

#### 4. Conception of strengthening. Summary.

The principal load-bearing elements of the ceiling over the Leopoldina Hall are steel riveted plate girders of diverse height and span, strengthened in the half of their span with a vertical truss bracing, made from angle sections. In the zone of supports the wooden plank ceiling was suspended under the plate girder. This suspension was made using yokes, which consist of flat bars put on the upper chords of plate girders, strings made from rods of 20 mm in diameter, threaded on ends and suspended under the plate girders with U-sections on which the planks rest. It was connected with weakening of the ends of planks resting on the walls of the object due to their biological destruction. The conception of strengthening includes separating the construction of floor (steel plate girders) from the construction of the ceiling of the Leopoldina Hall, by independent suspending the planks of the ceiling. It was proposed to suspend the ceiling to the external walls through steel cantilevers anchored in the external walls with expandable steel anchors, where the connection is strengthened by glued joint on basis of epoxy resins. The cantilevers are to be tied with the plank ceiling with the help of steel string (applying a small tightening force) with the vibration damper and a wooden beam transversely fixed to each plank with a steel screw, the connection is to be aided by glue joint on the basis of epoxy resin.

In the case of ceilings in the building of the Main Railway Station, on the basis of conducted material tests and resistographic investigations, the calculations made for checking and the conducted analysis of their condition and the causes of their destruction, it was decided that XIX century wooden ceilings with rich decorations and of particularly valuable historical construction absolutely deserve preservation and repair. The remaining ceilings, without decorative elements, in all parts of the building and on all storeys, worn out to various extent, which do not make valuable antique substance, are qualified to be replaced, regarding their considerable loss of technical features.

In the investigative works the following persons participated beside the Authors: B. Gosowski, J. Dudkiewicz, H. Nowak, Z. Wójcicki, J. Grosseł, Z. Matros, P. Grabowski, J. Gańko from Wrocław University of Technology, T. Ważny from Nicolaus Copernik University in Toruń and L. Engel, R. Misków from CCI.

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska  
Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland

## Streszczenie

W artykule omówiono badania stropów drewnianych Auli Leopoldina Uniwersytetu Wrocławskiego oraz Głównego Dworca kolejowego we Wrocławiu. Podano zakres przeprowadzonych badań. Opiszano sposób wykonania oraz podano wyniki przeprowadzonych badań. Przedstawiono między innymi badania materiałowe, badania wilgotnościowe, badania rezystograficzne, badania dynamiczne konstrukcji, badania termograficzne. Określono przyczyny powstawania uszkodzeń cennych stropów i polichromii. Zaproponowano koncepcję konserwacji i wzmocnienia istniejących stropów.

## Abstract

In the article the investigations of the wooden ceilings of the assembly hall Leopoldina at Wrocław University and the Main Railway Station have been discussed. The scope of conducted investigations has been presented. The way of the realization has been described and the results of conducted investigations have been presented. The following investigations have been presented, amongst other: material, moisture, resistographic, thermographic and dynamic investigation of structures. The causes of occurring damages of wooden ceilings and valuable polychromy have been found. A conception of conservation and strengthening of the existing ceilings has been proposed.



Jerzy Jasieńko\*, Tomasz Nowak\*, Piotr Rapp\*\*

## Analiza pracy statycznej belek drewnianych wzmocnionych taśmami CFRP

## Analysis of static work of wooden beams strengthened with CFRP strips

### 1. Wprowadzenie

Potrzeba wzmocnienia lub naprawy belek drewnianych może wynikać z wielu przyczyn, m.in. destrukcyjnych działań otoczenia (pleśni, grzybów i owadów), uszkodzeń mechanicznych lub zwiększenia obciążeń konstrukcji.

Rozwój inżynierii materiałowej sprawił, że coraz częściej do wzmocniania wykorzystywane są kompozycje klejowe na bazie żywicy epoksydowej oraz kompozyty zbrojone włóknami – FRP (Fibre Reinforced Polymers).

Metody wzmocniania konstrukcji drewnianych z zastosowaniem kompozycji na bazie żywic epoksydowych, służące zarówno do wzmocnień strukturalnych przekrojów jak i do wytwarzania połączeń zespalających element wzmocniający z elementem wzmocnianym przedstawiono m.in. w pracach [1-4].

W problematyce utrzymania i konserwacji konstrukcyjnych elementów drewnianych w obiektach zabytkowych uwzględnia się nie tylko stan techniczny elementu, ale ponadto wartość historyczną (artystyczną i kulturową) obiektu jako całości wraz z jego detalem zdobniczym, występującym często w postaci snycerki i polichromii. Zaproponowane w pracy metody mogą być wykorzystane w pracach konserwatorskich. Wprowadzenie taśm CFRP do wnętrza przekroju drewnianego pozwala na zachowanie pierwotnego kształtu i wyglądu elementu. Ogranicza to również możliwość delaminacji połączenia klejowego „taśma-drewno” [5].

### 1. Introduction

The need to strengthen or repair wooden beams may result from many causes, amongst other destructive attack from the surroundings (mould, fungi and insects), mechanical damages or increase in the load of the construction.

Development of material engineering made the use of glue compositions on the basis of epoxy resin and fiber reinforced composite materials – FRP (Fiber Reinforced Polymers) for strengthening purposes more and more frequent.

Methods of strengthening of wooden constructions with the use of compositions on the basis of epoxy resins, which are applied both for structural strengthening of sections as well as for making joining connections of the strengthening element with the strengthened element have been presented amongst other in works [1-4].

When the problem of maintenance and conservation of constructional wooden elements in antique objects is concerned, it is not only technical condition of the element, but moreover the historical value (artistic and cultural) of object as the whole, together with its decorative details, which are often in the form of wood-carving and polychromy, that are taken into account. In this study methods have been proposed which can be used in conservator's works. Introducing CFRP strips to the interior of a wooden section allows preserve its original shape and the appearance of the element. This also limits the possibility of delamination of the glued connection 'strip-wood' [5].

## 2. Badania doświadczalne

### 2.1. Przedmiot i metodyka badań

Badania przeprowadzono w laboratorium Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Przedmiotem badań były ok. stuletnie drewniane belki stropowe wzmocnione na całej długości (poza serią belek F, gdzie zastosowano inny sposób wzmocnienia) taśmami CFRP. W programie badawczym zaproponowano wykorzystanie taśm węglowych do wzmocnienia i odtworzenia nośności belek z defektami takimi jak: korozja biologiczna, skręt włókien, pęknięcia drewna itp.

Belki w skali technicznej o długości 4000 mm i wymiarach przekroju  $120 \times 220$  mm zostały swobodnie podparte na obu końcach. Belki o rozpiętości w osiach podpór 3800 mm obciążono symetrycznie dwupunktowo siłami skupionymi (rys. 1).

Badaniom poddano 18 starych ok. stuletnich belek sosnowych (serie A, B, C, D, E, F) oraz 3 belki sosnowe z drewna nowego (seria G) – rys. 2. Belki serii A i G nie były wzmocnianie i stanowiły

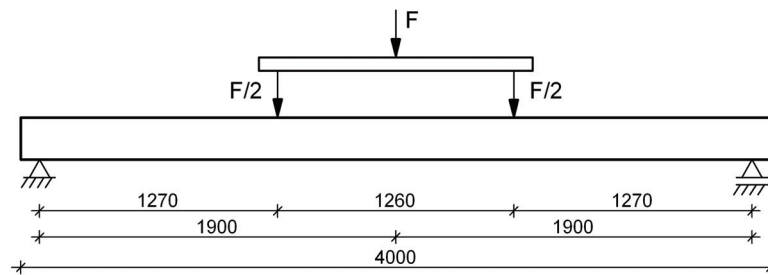
## 2. Experimental investigations

### 2.1. Object and methodology of investigations

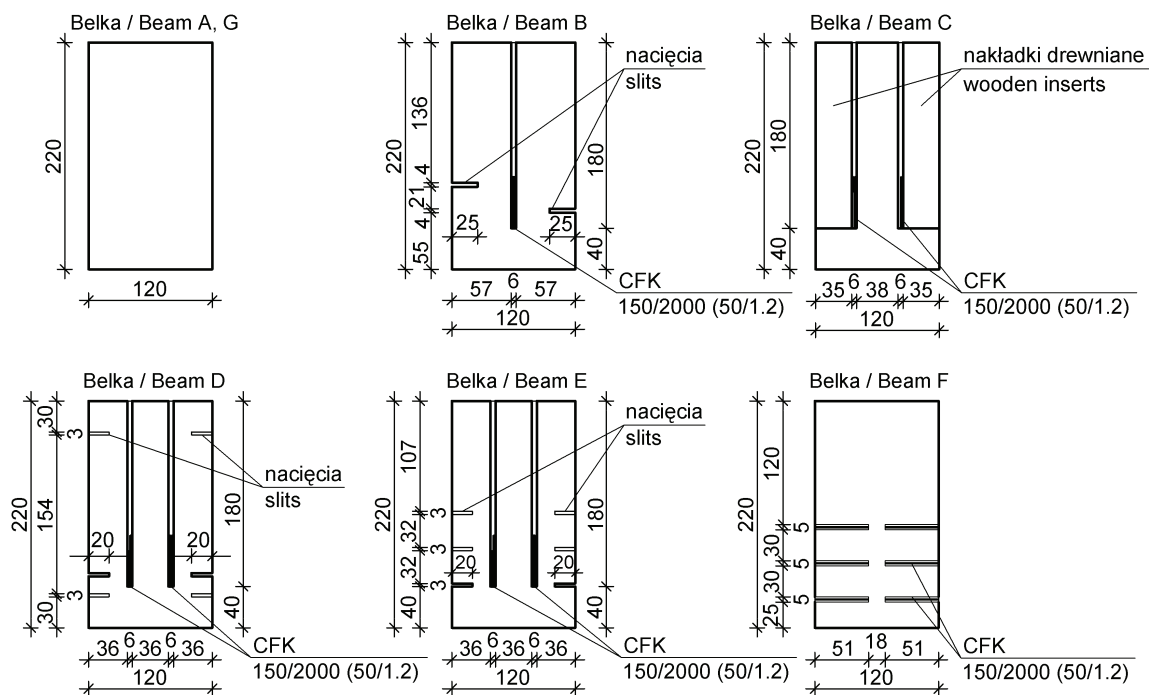
Investigations were conducted in the laboratory of The Institute of Building Engineering of Wrocław University of Technology. The object of investigations were hundred-year-old wooden ceiling beams, strengthened on the whole length with CFRP strips (except for the series of beams F, where different way of strengthening was applied). In the program of investigation it was proposed to use of carbon fiber strips for strengthening and reproducing the carrying capacity of beams with such defects as: biological corrosion, slope of grain, shake.

In the technical scale of investigation the beams of 4000 mm in length and dimensions of the section  $120 \times 220$  mm were freely supported on both ends. Beams of 3800 mm in span between the axes of supports were loaded symmetrically in two points with concentrated forces (fig. 1).

The investigations were carried out on 18 about hundred-year-old pine beams (series A, B, C, D, E, F) and 3 pine beams made from new wood



Rys. 1. Schemat obciążenia i wymiary badanych belek, [mm]  
Fig. 1. Loading configuration and dimensions of tested beams, [mm]



Rys. 2. Przekroje poprzeczne badanych belek, [mm]  
Fig. 2. Cross sections of tested beams, [mm]

poziom odniesienia dla oceny zmian w stosunku do belek wzmacnianych.

Do wzmocnienia zastosowano taśmy S&P Lamelle CFK (tab. 1) wklejone przy użyciu kleju na bazie żywicy epoksydowej S&P Resin 55, przeznaczonego do mat kompozytowych (ze względu na konsystencję).

Tab. 1. Dane techniczne zastosowanych taśm CFRP  
Technical data of applied CFRP strip

Rodzaj taśmy Kind of strip	Szerokość/wysokość taśmy Strip width/breadth b [mm]	Grubość taśmy Strip thickness t [mm]	Moduł Younga Young's modulus E [GPa]	Wytrzymałość na rozciąganie Tensile strength f <sub>t</sub> [MPa]
CFK S&P 150/2000	50	1.2	165	2800

Do rejestracji wyników użyto komputera PC oraz wielokanałowego systemu pomiarowego UPM 100 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik.

Podczas badania rejestrowano:

- wartość siły obciążającej - za pomocą zestawu komputerowego,
- przemieszczenie belki w środku oraz na podporach – czujniki indukcyjne W50 TS,
- odkształcenia w drewnie – tensometry elektrooporowe typu RL 300/50,
- odkształcenia w taśmie CFRP – tensometry elektrooporowe typu RL 120/20.

## 2.2. Wyniki badań

Wzrost nośności badanych belek wzmacnianych taśmami CFRP wyniósł od 21% dla belek serii F do nieco ponad 79% dla belek serii D [6-9].

W tablicy 2 przedstawiono wartości sił niszczących dla belek serii A i C. Wzrost nośności dla belek serii F w stosunku do belek serii A (belek referencyjnych – niewzmocnionych) wyznaczono wg wzoru (1).

$$\Delta F_u = \frac{F_{u,C} - F_{u,A}}{F_{u,C}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $F_u$  – wartość siły niszczącej dla poszczególnych serii belek.

(series G) – fig. 2. The beam of the series A and G were not strengthened and they made up the level of reference for the assessment of changes in relation to the beams strengthened.

Strengthening of the beams was made with strips of S&P Lamelle CFK (table 1) inserted with the use of glue on the basis of epoxy resin S&P Resin 55, designed for composite mats (because of its consistency).

The results of tests were registered with the use of a PC computer and a multi-channel measurement system UPM 100 made by firm Hottinger Baldwin Messtechnik.

During the tests the following were recorded:

- the value of loading force - using the computer set,
- the dislocation of the beam in the centre and on the supports – inductive sensors W50 TS,
- the deformation in the wood – electro-resistance strain gauges of type RL 300/50,
- the deformation in the CFRP strip – electro-resistance strain gauges of type RL 120/20.

## 2.2. Results of investigations

The increase in carrying capacity of studied beams strengthened with CFRP strips was from 21% for the beams in the series F to somewhat above 79% for the beams in the series D [6-9].

The values of ultimate forces for the beams in the series A and C were introduced in table 2. The increase in carrying capacity for the beams in series F in relation to the beams in series A (reference beams – non-strengthened) has been calculated with formula (1).

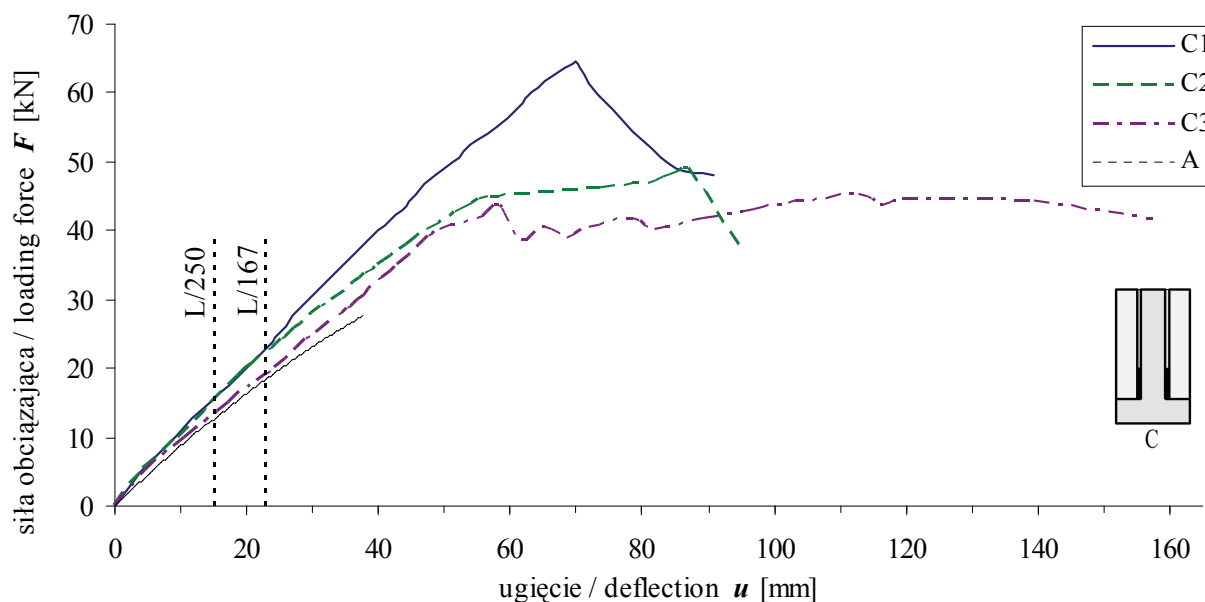
wherein:  $F_u$  – the value of ultimate force for individual series of beams.

Tab. 2. Wartości siły niszczącej badanych belek serii A i C  
Ultimate force values for tested beams in series A and C

		Belka Beam					
		A1	A2	A3	C1	C2	C3
siła niszcząca ultimate force	$F_u$ [kN]	27.02	30.69	35.01	64.20	49.00	45.25
średnia siła niszcząca mean ultimate force	$F_{u,av}$ [kN]	30.91			52.82		
wzrost nośności increase in load capacity	$\Delta F_u$ [%]	–			70.9		

Na przedstawionych ścieżkach równowagi statycznej (rys. 3) pokazano, dla porównania, linię trendu (wyznaczoną metodą najmniejszych kwadratów) dla trzech przebadanych belek świadków A. Liniami pionowymi zaznaczono graniczne ugięcie  $L/250$  dla stropów i  $L/167$ , czyli powiększone o 50% dla obiektów starych (historycznych), remontowanych [10].

On presented static equilibrium paths (fig. 3), the line of trend was shown for comparison (as determined by the least squares method) for three reference sample beams A that underwent examination. The boundary deflections  $L/250$  for floors and  $L/167$ , which is increased by about 50% for old (historical) repaired objects, were marked with vertical lines [10].



Rys. 3. Ścieżki równowagi belek serii C  
Fig. 3. Equilibrium paths for beams of series C

### 3. Analityczna weryfikacja wyników badań

W modelu zastępczych charakterystyk przekroju wzmocnienie jest uwzględnione przez zwiększenie wymiarów geometrycznych przekroju poprzecznego belki drewnianej.

Przystępując do analizy należy zwrócić uwagę na to, że drewno, podobnie jak wszelkie materiały drewnopochodne, przejawia własności nie tylko sprężyste ale i plastyczne oraz lepkosprężyste. W belkach dwumateriałowych na skutek odmiennych właściwości reologicznych użytych materiałów może dochodzić do redystrybucji naprężeń w przekroju [11]. Przy wyznaczaniu charakterystyk zastępczych wykorzystuje się jedynie sprężyste właściwości materiałów. Poniżej przedstawiono analizę teoretyczną, weryfikując przy jej pomocy wyniki badań uzyskane dla belek serii C. Moduł sprężystości drewna równy 7600 MPa został przyjęty na podstawie przeprowadzonych badań materiałowych.

Zastępcza szerokość  $b_{zast}$  drewna przypadająca na jedną taśmę:

$$b_{zast} = t_f \cdot \frac{E_f}{E_d} \quad (2)$$

### 3. Analytic verification of the results of investigations

In the model of equivalent characteristics of the section, the strengthening is considered by increasing geometrical dimensions of the transverse section of a wooden beam.

When attempting to the analysis it should be pointed out that wood, similarly to all materials of wooden origin, manifests not only elastic properties but also plastic and viscoelastic. In two-material beams, as the consequence of different rheological properties of the used materials there may occur redistribution of stresses in the section [11]. When the equivalent characteristics are determined, only elastic properties of materials are used. The theoretical analysis, to verify the results of investigations obtained for the beams of C series has been presented below. Modulus of elasticity for wood equal 7600 MPa was accepted on the basis of carried out material investigations.

The equivalent width  $b_{zast}$  of the wood per one strip:

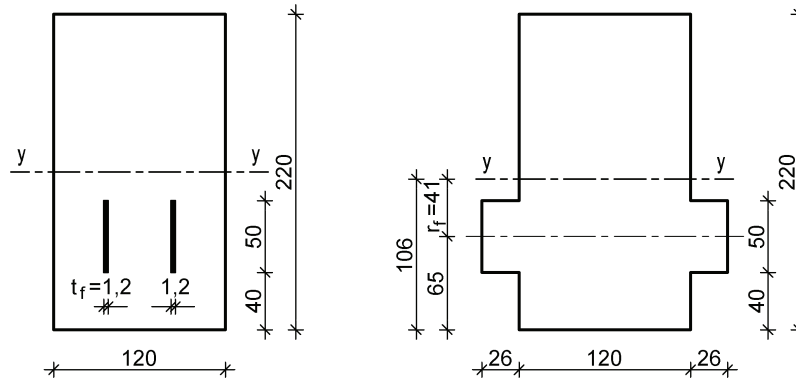
gdzie:  $t_f$  – grubość taśmy FRP,  $E_f$  – moduł sprężystości taśmy FRP,  $E_d$  – moduł sprężystości drewna.

Dla belki C:

wherein:  $t_f$  – thickness of the FRP strip,  $E_f$  – modulus of elasticity of the strip FRP,  $E_d$  – modulus of elasticity of the wood.

For the beam C:

$$b_{zast} = 1,2 \text{ mm} \cdot \frac{165 \text{ GPa}}{7,6 \text{ GPa}} = 26 \text{ mm}$$



Rys. 4. Przekrój zastępczy belki C  
Fig. 4. Equivalent cross-section of beam C

Moment bezwładności przekroju litego:

Moment of inertia for a cross-section of monolithic material:

$$I_y = 10648 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Moment bezwładności przekroju zastępczego:

Moment of inertia for an equivalent cross-section:

$$I_{y,zast} = 11181 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Zakłada się, że odkształcenia w drewnie i taśmie są jednakowe (w przybliżeniu). Stąd:

It is assumed that strains in the wood and in the strip are equal (approximately). Therefore:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_f = E_f \cdot \varepsilon \\ \sigma_d = E_d \cdot \varepsilon \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\sigma_f}{\sigma_d} = \frac{E_f}{E_d} \quad (3)$$

Naprężenie w taśmie przeliczone na naprężenie w drewnianym przekroju zastępczym:

Then the stress in the strip re-calculated to the stress in the equivalent cross-section of wood:

$$\sigma_{d,zast} = \sigma_f \cdot \frac{E_d}{E_f} \quad (4)$$

Moment zginający (belka obciążona jak na rys. 1):

Bending moment (beam loaded as in fig. 1):

$$M = \frac{F \cdot l}{6} \quad (5)$$

Naprężenie w przekroju zastępczym:

Stress in the equivalent cross-section:

$$\sigma_{zast} = \frac{M \cdot r_f}{I_{zast}} \quad (6)$$

Charakterystyka sztywności belki:

Rigidity characteristics of the beam:

$$F = k \cdot u \Rightarrow k = \frac{F}{u} \quad (7)$$

Dla belki zastępczej:

Dla belki zastępczej:

$$k_{obl} = \frac{F}{u} = \frac{1296}{23} \cdot \frac{E_d \cdot I_{y,zast}}{l^3} \quad (8)$$

Dla belki C:

For the beam C:

$$k_{obl} = \frac{1296}{23} \cdot \frac{E_d \cdot I_{y,zast}}{l^3} = \frac{1296}{23} \cdot \frac{0,76 \cdot 11181 \cdot 10^4}{3800^3} = 0,87 N/mm$$

W tabelicy 3 przedstawiono wyniki analizy naprężeń w taśmie przeliczonych na naprężenia w drewnianym przekroju zastępczym (wzór 4) oraz naprężeń w przekroju zastępczym (wzór 6) dla belek serii C. Ponadto zaprezentowano charakterystyki sztywności uzyskane w badaniach (wzór 7) i na podstawie charakterystyk zastępczych przekroju (wzór 8). Analizę przeprowadzono dla każdego przedstawionego w [9] poziomu obciążenia. Różnice naprężeń pomiędzy wynikami analitycznymi a wartościami uzyskanymi na podstawie badań obliczono na podstawie wzoru (9). Analogicznie uzyskano różnice sztywności.

The analysis of stress in the strip, re-calculated to the stress in the equivalent wooden cross section (formula 4) and the stress in the equivalent cross-section (formula 6) for the beams of series C have been presented in table 3. Moreover, the rigidity characteristics obtained in the investigations (example 7) and obtained on the basis of the equivalent characteristics of cross sections (formula 8) have been presented. The analysis was carried out for each level of applied load presented in [9]. The differences between the stress obtained from analytic results and that obtained on the basis of investigations were calculated on the basis of formula (9). The differences of rigidity have been obtained similarly.

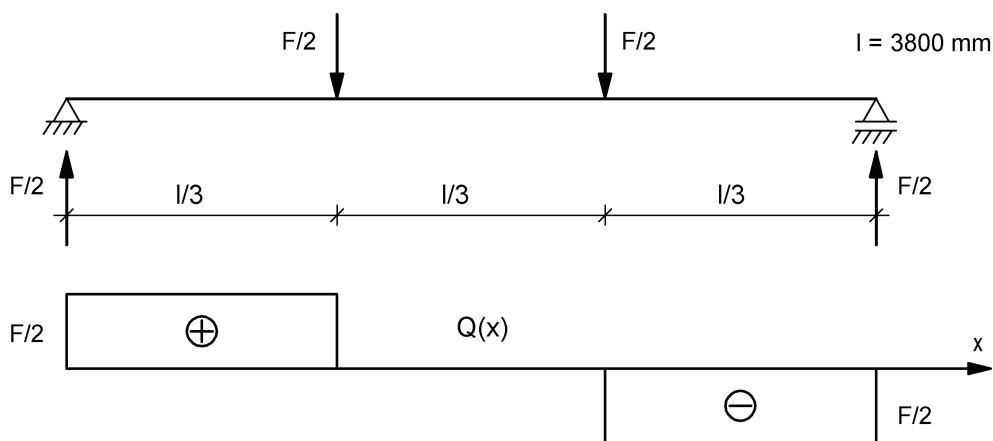
$$\Delta\sigma = \left| \frac{\sigma_{d,zast} - \sigma_{zast}}{\sigma_{d,zast}} \right| \cdot 100\% \quad (9)$$

Tab. 3. Porównanie wyników badań z wynikami analitycznymi, belki serii C  
Comparison of the results of experiments with the analytical results, beams of series C

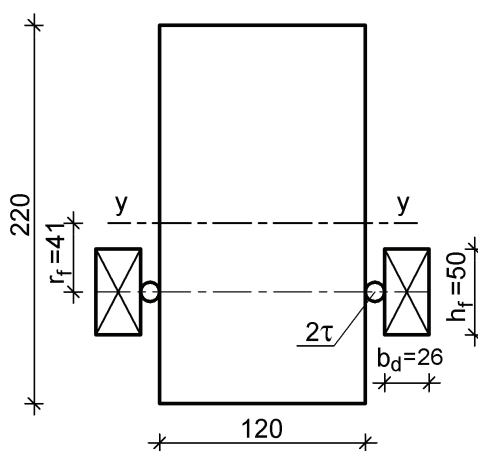
Belka	Siła F [kN]	Naprężenia normalne w taśmie (badania) $\sigma_f$ [MPa]	Naprężenia normalne zastępcze (wzór 4) $\sigma_{d,zast}$ [MPa]	Naprężenia normalne zastępcze (wzór 6) $\sigma_{zast}$ [MPa]	Różnica naprężeń $\Delta\sigma$ [%]	Ugięcie (badania) u [mm]	Współczynnik sztywności k [kN/mm]	Różnica sztywności $\Delta k$ [%]
Beam	Force F [kN]	Normal stress in the strip (experiment) $\sigma_f$ [MPa]	Equivalent normal stress (formula 4) $\sigma_{d,zast}$ [MPa]	Equivalent normal stress (formula 6) $\sigma_{zast}$ [MPa]	Difference in stresses $\Delta\sigma$ [%]	Deflection (experiment) u [mm]	Coefficient of rigidity k [kN/mm]	Difference in rigidity $\Delta k$ [%]
C1	10,13	42,50	1,96	2,35	22,0	9,37	1,08	19,9
	20,11	88,87	4,09	4,67	13,8	19,80	1,02	14,8
	30,15	136,75	6,30	7,00	10,1	29,68	1,02	14,8
	40,07	184,80	8,51	9,31	1,3	40,07	1,00	13,4
	50,05	236,04	10,87	11,62	2,7	51,17	0,98	11,5
	60,01	298,48	13,75	13,94	0,3	63,26	0,95	8,7
C2	9,98	43,09	1,98	2,32	24,3	9,59	1,04	16,8
	20,06	90,72	4,18	4,66	19,3	20,09	1,00	13,3
	30,00	134,69	6,20	6,97	11,7	33,05	0,91	4,6
	40,00	181,46	8,36	9,29	7,1	47,4	0,84	2,6
	44,92	204,88	9,44	10,43	3,4	58,68	0,77	13,1
C3	10,00	41,16	1,90	2,32	25,4	10,68	0,94	7,5
	20,18	95,59	4,40	4,69	29,1	24,15	0,84	3,6
	30,00	150,36	6,93	6,97	31,0	36,96	0,81	6,7
	35,09	178,25	8,21	8,15	31,4	42,79	0,82	5,6
	39,97	209,66	9,66	9,28	32,4	49,14	0,81	6,4

Naprężenia styczne w spoinie można wyznaczyć na podstawie wykresu sił tnących (rys. 5) oraz ideowego przekroju zastępczego belki (rys. 6).

Tangential stresses in the glued joint may be determined from the graph of shearing forces (fig. 5) and conceptual equivalent cross-section of the beam (fig. 6).



Rys. 5. Wykres sił tnących w próbie czteropunktowego zginania  
 Fig. 5. Graph of shearing forces in the four-point bending test



Rys. 6. Ideowy przekrój zastępczy belki C  
 Fig. 6. Conceptual equivalent cross-section of the beam C

Naprężenia styczne w rozpatrywanym przekroju można zapisać wzorem:

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q \cdot S_f}{h_f \cdot I_{y,zast}} \quad (10)$$

gdzie:

wherein:

$$Q = \frac{F}{2} \quad (11)$$

$$S_f = A_f \cdot r_f \quad (12)$$

$$A_f = b_d \cdot h_f \quad (13)$$

Ostatecznie naprężenia styczne wyrażają się wzorem:

Finally the tangential stresses are expressed in the formula:

$$\tau = \frac{F \cdot A_f \cdot r_f}{4 \cdot h_f \cdot I_{y,zast}} \quad (14)$$

W tabelicy 4 przedstawiono porównanie naprężeń stycznych w belce C uzyskanych w badaniach doświadczalnych oraz naprężeń obliczonych na podstawie wzoru (14).

The comparison of the tangential stresses in the beam C obtained in experimental investigations and the stresses calculated on the basis of formula (14) have been presented in table 4.

Tab. 4. Porównanie wartości naprężeń stycznych w spoinie, belki serii C  
*Comparison of the value of tangential stresses in the joint, beams of series C*

Belka <i>Beam</i>	Siła $F$ [kN] <i>Force <math>F</math></i> [kN]	Max naprężenie styczne w spoinie (uzyskane z badań) $\tau_{bad}$ [MPa] <i>Max tangential stress in the joint (experimental)</i> $\tau_{bad}$ [MPa]	Naprężenie styczne w spoinie wg wzoru (14) $\tau_{obl}$ [MPa] <i>Tangential stress in the joint according to formula (14)</i> $\tau_{obl}$ [MPa]	Procentowa różnica naprężeń $\Delta\tau$ [%] <i>Percentage difference in stresses</i> $\Delta\tau$ [%]
C1	10,13	0,027	0,024	11,3
	20,11	0,052	0,048	9,4
	30,15	0,081	0,072	12,6
	40,07	0,109	0,096	13,7
	50,05	0,136	0,119	13,7
	60,01	0,165	0,143	15,6
C2	10,13	0,027	0,024	11,3
	20,11	0,052	0,048	9,4
	30,15	0,081	0,072	12,6
	40,07	0,109	0,096	13,7
	50,05	0,136	0,119	13,7
C3	10,00	0,026	0,024	9,4
	20,18	0,052	0,048	9,2
	30,00	0,078	0,072	8,7
	35,09	0,104	0,095	9,4
	39,97	0,118	0,107	10,0

Maksymalne wartości naprężeń stycznych uzyskane w badaniach są wyższe od wartości obliczeniowych ze względu na nierównomierny przyrost siły (naprężeń normalnych) w taśmie. W miejscach, gdzie przyrost siły (naprężeń normalnych) w taśmie jest większy od teoretycznego, naprężenia styczne mają większą wartość. Różnice dla analizowanego modelu C są jednak dość nieznaczne i wynoszą ok. kilkunastu procent.

#### 4. Modelowanie nieliniowych właściwości belek wzmocnionych

Analizując rozkłady naprężeń normalnych w przekrojach badanych belek stwierdzono, że po przekroczeniu przez momenty zginające pewnych wartości, oznaczonych jako  $M_{sp}$ , belki wzmocnione zachowują się w sposób fizycznie nieliniowy. Zaobserwowaną nieliniowość można określić jako nieliniowość słabą. W pracy [9], w sposób szczegółowy, przedstawiono model obliczeniowy umożliwiającą identyfikację nieliniowych właściwości belek wzmocnionych na podstawie wyników badań doświadczalnych. Poniżej przedstawiono podstawowe założenia tego modelu.

Przyjmuje się, że całkowite wyteżenie przekroju belki następuje po osiągnięciu przez moment zginający wartości granicznej  $M_{gr}$ . Jako miarę wyteżenia przekroju obciążonego momentem  $M$  w zakresie od 0 do  $M_{gr}$  przyjmuje się parametr  $\alpha$  określony wzorem:

The maximum values of tangential stresses obtained in investigations are higher than the calculated values because of non-uniform increase in strength (normal stresses) in the strip. In the places where the increase in strength (normal stresses) in the strip is larger than the theoretical value, tangential stresses have larger value. However, the differences for the analyzed model C are insignificant enough and equal about a dozen or so percents.

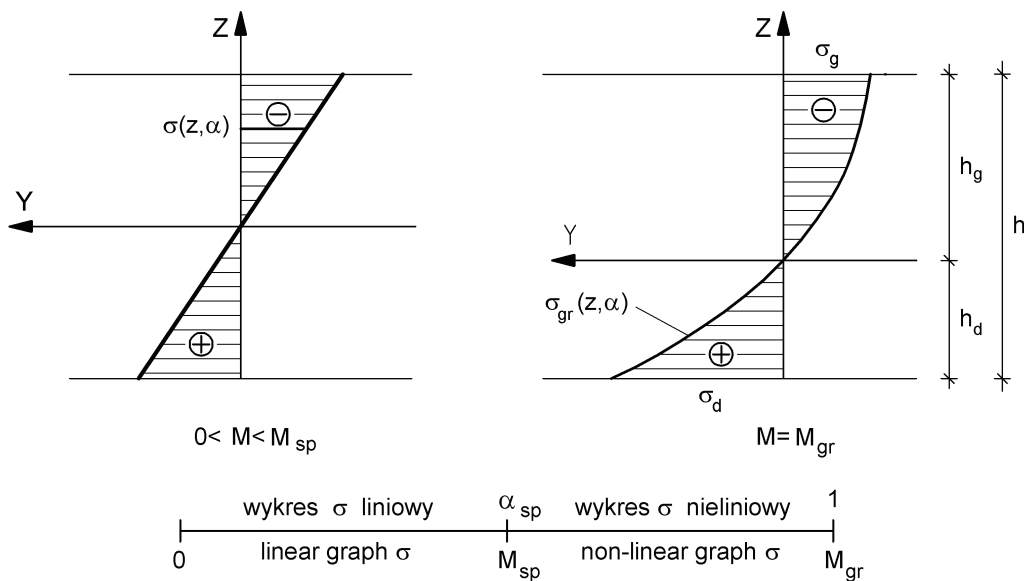
#### 4. Modeling of the non-linear properties of strengthened beams

Analyzing distributions of normal stresses in the sections of beams studied it was found out that after bending moments have exceeded certain values designed as  $M_{sp}$ , the strengthened beams behave in the physically non-linear way. One can qualify the observed nonlinearity as weak nonlinearity. In the work [9] a computational model enabling identification of non-linear properties of strengthened beams on the basis of the results of experimental investigations has been presented in a detailed manner. The basic foundations for that model have been presented below.

It is assumed that total effort of the section of the beam takes place after reaching the boundary value of the bending moment  $M_{gr}$ . The measure of effort of section put under load of the moment  $M$ , in the range from 0 to  $M_{gr}$  is expressed by parameter  $\alpha$  defined by the formula:



$$\alpha = \frac{M}{M_{gr}} \quad (15)$$



Rys. 7. Wykresy naprężeń w drewnie, w zakresie liniowym i nieliniowym  
 Fig. 7. Graphs of stresses in wood, within the linear and non-linear range

Zgodnie z rys. 7, rozdzielając cały zakres pracy przekroju na część liniową i nieliniową, naprężenie normalne w przekroju belki określa się wzorem:

According to fig. 7, dividing the whole range of work of the section on the linear and non-linear parts, the normal stress in the section of the beam is defined by the formula:

$$\sigma(z, \alpha) = \begin{cases} \sigma_{sp}(z, \alpha_{sp}) & \text{dla } 0 < \alpha \leq \alpha_{sp} \\ \sigma_{sp}(z, \alpha_{sp}) \cdot \frac{1-\alpha}{1-\alpha_{sp}} + \frac{\alpha-\alpha_{sp}}{1-\alpha_{sp}} \cdot \sigma_{gr}(z) & \text{dla } \alpha_{sp} < \alpha \leq 1 \end{cases} \quad (16)$$

Dla dowolnej wartości parametru  $\alpha$ , gdzie  $0 \leq \alpha \leq 1$ , związek między rozkładem odkształceń  $\varepsilon(z, \alpha)$  i rozkładem naprężeń  $\sigma(z, \alpha)$  przyjmuje się w postaci:

For the any value of parameter  $\alpha$ , where  $0 \leq \alpha \leq 1$  the relationship between the distribution of the strains  $\varepsilon(z, \alpha)$  and the distribution of stresses  $\sigma(z, \alpha)$  is assumed in the form:

$$\sigma(z, \alpha) = K_\alpha \cdot \varepsilon(z, \alpha) \quad (17)$$

gdzie  $K_\alpha$  oznacza współczynnik zależny od parametru  $\alpha$ . Współczynnik  $K_\alpha$  wyznacza się z warunku równowagi momentów:

wherein  $K_\alpha$  means the coefficient dependent on the parameter  $\alpha$ . The coefficient  $K_\alpha$  is determined from the condition of equilibrium of moments:

$$M_\alpha = \int \sigma(z, \alpha) y dA = K_\alpha \int \varepsilon(z, \alpha) z dA \quad (18)$$

Poza warunkiem równowagi momentów spełniony musi być również warunek równowagi naprężeń wzdłuż osi  $y$ :

In addition to the condition of equilibrium of moments there also must be fulfilled the condition of equilibrium of stresses along the axis  $y$ :

$$\int_0^h \sigma(z, \alpha) dz = 0 \quad (19)$$

Dla obciążeń  $M_\alpha$  rosnących od zera do pewnej wartości  $M_{sp}$  (rys. 7) materiał pracuje w zakresie liniowo sprężystym. Wtedy współczynnik  $K_\alpha$  ma stałą wartość i jest współczynnikiem sprężystości materiału w zakresie liniowym.

For loads  $M_\alpha$  increasing from zero to certain value  $M_{sp}$  (fig. 7) the material works in the linear-elastic range. Then coefficient  $K_\alpha$  has constant value and it is the coefficient of elasticity of the material in the linear range.

Dla  $\alpha > \alpha_{sp}$  materiał belki wzmocnionej zachowuje się w sposób nieliniowy. Wtedy współczynnik  $K_\alpha$  jest zmienny względem parametru  $\alpha$  i jest mniejszy od  $E_{sp}$ . Dla  $\alpha_{sp} < \alpha \leq 1$  współczynnik  $K_\alpha$  wyznaczony ze wzoru (18) nie jest modułem sprężystości, lecz jest parametrem, który można traktować jako pewną miarę zmniejszenia sztywności przekroju w zakresie pracy nieliniowej.

## 5. Podsumowanie

Procentowe różnice naprężeń i sztywności – dla belek serii B, C, D, E [9] – wahają się na poziomie 20%. We wszystkich analizowanych belkach sztywność uzyskana w badaniach jest wyższa niż teoretyczna.

Stwierdzono, że nacięcia o wymiarach zastosowanych w badaniach nie mają wpływu na wartości i rozkład naprężeń przy zginaniu. Pęknięcia skurczowe nie zmniejszają w istotny sposób nośności belki zginanej, wpływają za to na stan naprężeń stycznych w drewnie.

W rzeczywistości nie ma wyselekcjonowanego drewna, pomimo metod sortowania, natomiast uzyskanie dobrej zgodności dla drewna niewyselekcjonowanego (o różnym stopniu nasilenia wad drewna) pozwala przyjąć, że metoda może być stosowana w praktyce. Należałoby oczywiście przeanalizować liczniejszą próbę każdej z serii by móc stwierdzić jednoznacznie, że można odpowiedzialnie stosować zastępczy przekrój belki do analizy naprężeń i sztywności, również dla belek z poziomymi pęknięciami skurczowymi.

For  $\alpha > \alpha_{sp}$  the material of the strengthened beam behaves in a non-linear way. Then the coefficient  $K_\alpha$  is changing in relation to the parameter  $\alpha$  and it is lower than  $E_{sp}$ . For  $\alpha_{sp} < \alpha \leq 1$  the coefficient  $K_\alpha$  determined as in formula (18) is no longer the modulus of elasticity, but it becomes a parameter which can be treated as certain measure of decrease in the rigidity of the cross-section in the range of non-linear work.

## 5. Conclusions

Differences of stresses and rigidity – for the beams of the series B, C, D, E [9] – expressed in percentages oscillate at the level 20%. In all analyzed beams rigidity obtained in investigations is higher than theoretical value.

It was found out that incisions having dimensions such as those applied in the investigations did not have any influence on the values and distribution of stresses when bending. Shrinkage shakes do not reduce in essential way the carrying capacity of the beam being bent, but they influence on the state of tangential stresses in wood, instead.

There is no sorted wood in the reality, in spite of the methods of sorting, however, the fact that good agreement was obtained in the results for the unsorted wood (of various extent of intensity of the defects in the wood) allows to accept that the method can be applied in practice. One should, of course, analyze more numerous tests for each series, in order to be able to say unambiguously that one can in a responsible manner apply the equivalent cross-section of the beam for the analysis of stresses and rigidity, also for the beams with horizontal shrinkage shakes.

## Literatura • References

- [1] Bogacz W., Lis Z., Łodygowski T., Rapp P., *Badania i obliczenia belek drewnianych wzmocnionych wklejanymi taśmami z włókien węglowych (Investigations and calculations of wooden beams reinforced with inserted and glued strips from carbon fibers)*, Inżynieria i Budownictwo, 2007, No 10: 541-544.
- [2] Jasieńko J., *Połączenia klejowe i inżynierskie w naprawie, konserwacji i wzmocnieniu zabytkowych konstrukcji drewnianych. (Glued and engineering joints in repair, conservation and reinforcement of historical timber structures)*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003.
- [3] Radford D.W., Van Goethem D., Gutkowski R.M., Peterson M.L., *Composite repair of timber structures*. Construction and Building Materials, 2002, 16(7): 417-425.
- [4] Van Gemert D., Vanden Bosch M., *Structural restoration of wooden beams by means of epoxy resin*. Materials and Structures, 1987, 20(3): 165-170.
- [5] Brunner M., Schnueriger M., *Timber Beams Strengthened by Attaching Prestressed Carbon FRP Laminates with a Graded Anchoring Device*. In: Proceedings of the International Symposium on Bond Behavior of FRP in Structures, Hong Kong, China, December 7-9, 2005: 465-471.
- [6] Jankowski L.J., Jasieńko J., Nowak T.P., *Experimental assessment of CFRP reinforced wooden beams by 4-point bending tests and photoelastic coating technique*, Materials and Structures, 2009 (in press): DOI 10.1617/s11527-009-9476-0.

- [7] Jasięńko J, Nowak T., *Strengthening of bent timber beams in historical objects*. In: Proceedings of the 16th IWC international conference and symposium: from material to structure. Mechanical behaviour and failures of the timber structures, Florence-Venice-Vicenza, 11–16 November 2007: CD-ROM.
- [8] Jasięńko J., Nowak T., Bednarz Ł., *Reinforcement of bent timber beams in historic buildings*, In: Proceedings of the International Conference on Protection of Historical Buildings, Prohitech 09, Rome, Italy, 21-24 June 2009: 325-330.
- [9] Nowak T., *Analiza pracy statycznej zginanych belek drewnianych przy użyciu CFRP. (Analysis of the static work of bent wooden beams reinforced with CFRP)*. Praca doktorska (PhD thesis), Politechnika Wroclawska 2007: <http://www.dbc.wroc.pl/publication/1778>.
- [10] Polska norma (Polish Standard) PN-B-03150:2000. *Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie (Timber Structures - Structural analysis and design)*.
- [11] Plenzler R., *Redystrybucja naprężeń w zginanych elementach zespolonych z drewna i płyty pilśniowej (Stress redistribution in bent composite elements form Wood and fiberboard)*. In: Proceedings of Conference: Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych, Szczecin-Świnoujście, 27-28 września 1999: 67-76.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wrocław, Polska  
Wroclaw University of Technology, Wrocław, Poland

\*\* Politechnika Poznańska, Poznań, Polska  
Poznan University of Technology, Poznań, Poland

---

## Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań zabytkowych drewnianych belek stropowych wzmocnianych taśmami kompozytowymi CFRP. Eksperyment przeprowadzono na elementach w skali technicznej. Przedstawiono ponadto analizę teoretyczną uzyskanych rezultatów oraz założenia własnego modelu teoretycznego opisującego pracę belek wzmocnionych z uwzględnieniem fizycznej nieliniowości materiału belki. Zaproponowana metoda wzmocniania belek drewnianych, polegająca na wklejaniu taśm CFRP do wnętrza przekrojów może być z powodzeniem zastosowana w pracach konserwatorskich.

## Abstract

Selected results of investigations of antique wooden ceiling beams strengthened with composite material CFRP strips have been presented in the study. The experiment was carried out on elements in the technical scale. The theoretical analysis of the obtained results and the foundation for authors' own theoretical model describing the work of strengthened beams taking into consideration physical nonlinearity of the material of the beam has also been presented. The proposed method of strengthening of wooden beams, consisting in inserting CFRP strips to the interior of cross-sections, can be successfully applied in conservator's works.

Elżbieta Trocka-Leszczyńska\*

Elżbieta Rdzawska\*\*

## Przystosowanie domów przysłupowych do współczesnych potrzeb na terenie Górnych Łużyc

## Adaptation of post-supported houses to the present-day needs at the area of Upper Łużyce

### 1. Budownictwo lużyckie

Unikalną formą drewnianego budownictwa ludowego, występującą na styku Polski Niemiec i Czech, jest konstrukcja przysłupowa (niem. Umgebände<sup>1</sup> lub Umschrot, czes. hrážděná stavba), zwana też „łużycką”. Łączy ona w sobie różne typy konstrukcji, tj.: wieńcowe, ryglowe i słupowe a też murowane i polega na opasaniu zrębu parteru niezależną konstrukcją nośną, złożoną z rzędu pionowych słupów, podtrzymujących dach lub ścianę ryglową piętra (także wieńcową), niekiedy ściankę kolankową (ryglową lub wieńcową) [6].

Budynki przysłupowe, w wyniku oddziaływania miejscowych czynników, jak też rozwoju techniki, różnicowały się pod względem rozwiązań funkcjonalno przestrzennych, jak i konstrukcji. W ich obrębie można wyróżnić [1]:

- a) małe domy parterowe, wznoszone przez tkaczy (niem. *Weberhaus*), które występowały niekiedy ze ścianką kolankową (najczęściej ryglową na Dolnym Śląsku a wieńcową w Czechach),
- b) większe, parterowe (lub ze ścianką kolankową) domy tkaczy lub domy chłopskie (niem. *Weber-, Kleinbauernhaus*), w których występowała funkcje mieszkalne i gospodarcze występowały pod jednym dachem,
- c) najliczniej występujące piętrowe domy chłopskie (niem. *Bauernhaus*), z ryglowym piętrzem (na Dolnym Śląsku) a też z wieńcową ścianą na piętrze (w Czechach), często odeskowane, lub obłożone łupkiem,

### 1. The Lusitian building

An unique form of folk wooden building, that occurs at the point of contact of Poland, Germany and Czech, is the post-supported construction (Germ. Umgebände<sup>1</sup>, or Umschrot, Czech. hrážděná stavba), called also 'Lusitian'. It unites various types of half-timber constructions, i.e. topped, angle-braced and post and also brick constructions, and it consists in girding the framework of ground floor with an independent load-bearing construction which consists of a row of vertical posts, supporting the roof or the angle brace wall of the upper floor (also topped), sometimes the knee-wall (angle-braced or topped) [6].

Post-supported buildings, in the result of the influence of local factors as well as the development of technique, have diversified from the point of view of their functional and spatial solutions, and their construction. Amongst them one can distinguish the following [1]:

- a) small one-storey houses, raised by weavers (German *Weberhaus*), which sometimes had a knee-wall (most often angle braced in Lower Silesia and topped in Czech),
- b) larger, one-storey (or with a knee-wall) weavers' houses or peasant houses (German *Weber-, Kleinbauernhaus*), in which the habitable and farm functions took place under one roof,
- c) most often found two-storey peasant houses (German *Bauernhaus*), with the angle braced upper floor (on Lower Silesia) and also with the topped wall on the upper floor (in Czech), often with timbering, or clad with slate,

d) duże, piętrowe domy tkaczy, tzw. *faktorów* (niem. *Faktorenhaus*), o powierzchni co najmniej 10-krotnie większej od domu chłopskiego.

Domy przysłupowe do 1650 r. wznoszono w tzw. konstrukcjach jednorodnych, w których narożne i środkowe słupy przebiegały przez dwa piętra, a przedłużony miecz stanowił element konstrukcji ściany ryglowej piętra (lub ścianki kolankowej), przez co zwane były długomieczowymi (niem. *Geschosbau*) [2].

W latach 1650 r. do 1860 r. nastąpiło oddzielenie konstrukcji ryglowej piętra, od konstrukcji słupowej parteru, w której słupy miały wysokość kondygnacji i były powiązane z odrębnym oczepem za pomocą krótkich, prostych lub zaokrąglonych mieczy, stąd zwano je krótkomieczowymi (niem. *Stockwerkbauweise*) [1].

W drugiej połowie XVIII wieku zaczęto stosować, zamiast skomplikowanych połączeń słupa, miecza i oczepu, jeden miecz, wycięty w kształcie łuku, lub wyprofilowany odcinkowo, które w XIX wieku zatraciły rolę konstrukcyjną, ponieważ między słup a oczep, wprowadzano trójkątne drewniane kliny, niekiedy wyprofilowane w formie kamiennych głowic. Pod koniec XIX wieku elementy konstrukcyjne (słupy, belki rygla) znacznie pogrubiano, zwracając raczej uwagę na względy dekoracyjne, niż na ich potrzeby wytrzymałościowe [7].

Z 30 000 budynków przysłupowych występujących na obszarze Łużyc zachowało się do naszych czasów około 6000 obiektów, najliczniej na styku Polski Niemiec i Czech, między miejscowościami Bautzen (Budziszyn) – Zgorzelec (Görlitz), Česká Lipa – Jablonec, aż do Nysy Łużyckiej i Frydlandu [1], w tym około 700 obiektów – na terenie ziemi jeleniogórskiej w Polsce. Domy o konstrukcji przysłupowej, pochodzące głównie z XVIII i XIX wieku, w okresie powojennym pozostawały zaniedbane, m.in. ze względu na brak środków na ich remonty i uregulowanego prawa własności. Dopiero lata 90. XX wieku przyniosły w Polsce zmiany, które pozytywnie wpłynęły na ochronę tych obiektów. Przywracanie im pełni wartości użytkowych i technicznych nie może odbywać się jednak samowolnie, bez nadzoru architektonicznego i konserwatorskiego, ponieważ brak znajomości sztuki budowlanej, w tym zakresie, prowadzić może do zacierania oryginalnych cech architektury łużyckiej [7].

Powołanie „Krainy domów Przysłupowych” (niem. *Umgebndeland*), w której uczestniczą samorządy trzech krajów, jak też powstanie stowarzyszeń ochrony zabudowy przysłupowej i zaangażowanie prywatni właściciele, stwarzają obec-

d) large two-storey weavers' houses, so-called *factors' houses* (German *Faktorenhaus*), of the area at least 10-fold larger than a peasant house.

Post-supported houses up to 1650 were raised in the so-called homogeneous construction, in which corner and central posts ran through two floors and the prolonged angle brace made up a construction element of the angle braced wall of the upper floor (or the knee-wall), that is why they were called long angle-braced (German *Geschosbau*) [2].

Between the years 1650 to 1860 separation of the angle braced construction of the upper floor from the post construction of the ground floor took place, wherein posts had the height of the storey and were linked to a separate girt with the help of short, simple or rounded angle braces, that is why they were called short angle-braced (German *Stockwerkbauweise*) [1].

In the second half of XVIII century, a new construction was applied; instead of complex connections of a post, an angle brace and a girt, there was a single angle brace, cut in the shape of an arch, or segment profiled, which in XIX century lost its constructional role, because between the post and the girt were applied triangular wooden wedges, sometimes profiled in the form of stone caps. At the end of XIX century constructional units (posts, nogging-pieces) were made thicker, considering rather decorative regards, than their strength needs [7].

Out of 30,000 post-supported buildings which stood on the area of Łużyce, about 6000 objects remained preserved to our times, the largest number of which remained on the area of contact of Poland, Germany and Czech, between the towns Bautzen (Budziszyn) – Zgorzelec (Görlitz), Česká Lipa – Jablonec, up to Lusitan Nisse and Frydland [1], in this number about 700 objects on the terrain of the Jelenia Góra district in Poland. Houses of the post-supported construction, coming from XVIII and XIX centuries, in the post-war period were mostly neglected, amongst other due to lack of financial means for their repairs and the right of property not having been regulated. It was only in the 90-ties of XX century that the changes that took place in Poland favorably influenced on protection of these objects. However, restoring of these objects to full exploitation and technical value can not be done willfully, without any architectural and conservator's supervision, because lack of knowledge of the building art within this scope may lead to losing the original features of Lusitan architecture [7].

Arising of the institution called 'Land of post-supported houses' (German *Umgebndeland*), in which councils of three countries participate, and also coming to being the associations of protection

nie możliwości skutecznych działań – łącznie z wystąpieniem o wpisanie tego rejonu na listę obszarów chronionych.

## 2. Przystosowanie budynków do współczesnych potrzeb

Przykłady właściwej ochrony i odnowy zabudowy wsi łużyckich można już zauważyć po stronie niemieckiej, na obszarze Saksonii, gdzie służby konserwatorskie, wraz ze specjalnie do tego celu powołanymi organizacjami ochrony budownictwa przysłupowego, przy współfinansowaniu UNESCO, przeprowadziły rewitalizację kilku miejscowości i przywróciły wartości użytkowe występującym w ich obrębie obiektom. Na podstawie opracowanych kierunków rozwoju wsi, z pomocą finansową rządu wprowadza się stopniowo w życie kolejne etapy odnowy wsi łużyckich. Również po polskiej stronie zawiązują się w chwili obecnej struktury organizacyjne zmierzające do ochrony tych unikalnych konstrukcji.

W celu przywrócenia obiektom przysłupowym dawnych wartości technicznych i użytkowych podejmowane są różnego typu działania [9]:

- a) remonty i konserwacja, zgodnie z ich przeznaczeniem, z zachowaniem oryginalnych cech: funkcjonalno-przestrzennych, konstrukcyjnych architektonicznych,
- b) modernizacja, tj. ich przystosowania do współczesnych potrzeb użytkowych (sanitariaty, oświetlenie, instalacje) i wymagań technicznych, przy zachowaniu funkcji obiektu a też ich cech oryginalnych,
- c) adaptacja do nowych funkcji, m.in. na: muzea, izby regionalne, siedziby stowarzyszeń łużyckich, hotele, pensjonaty itp.,
- d) translokacja, tj. przeniesienie zabytkowych domów w nowe miejsca, w celu: ich dalszego użytkowania zgodnie z pierwotną funkcją i pokazania ich oryginalnego charakteru (np. w skansenach), lub adaptacji do nowych funkcji.

Każdy z obiektów przysłupowych, w zależności od przewidywanych przekształceń, powinien być rozpatrywany indywidualnie, ze względu na stan techniczny, wartość zabytkową i użytkową. W celu zilustrowania różnorodności tego typu działań przedstawione zostaną różne przykłady domów przysłupowych na terenie Niemiec (Górne Łużyce), które w wyniku działań ponownie stały się ważnymi elementami miejscowości łużyckich.

Wybrano kilka przykładów obiektów ze wsi rejonu Löbau-Zittau – różniących się skalą i funkcją, w których przeprowadzone działania pozwoliły na

of the post-supported buildings, and commitment of private owners, create at present the possibilities of effective activity – together with applying for including this area in the list of protected areas.

## 2. Adaptation of buildings to present needs

Examples of proper protection and renovation of the buildings of Lusitian villages can be noticed on the German side of the border, on the area of Saxony, where conservator's services, together with organizations for protection of the post-supported building, specially created for this purpose, with co-financing from UNESCO, have conducted revitalization of several localities and restored the objects standing on their grounds to usable condition. On the basis of worked out directions of development of village, with the financial help of the government, gradually next stages of renovation of Lusitian villages are being carried out. Also on the Polish side of the border organizational structures having as their objective protection of these unique constructions are now being organized.

In order to restore the post-supported objects to their former technical and usable value various types of activities are undertaken [9], which include the following:

- a) repairs and conservation, according to their destination, with preserving their original features: functional-spatial, constructional, architectural,
- b) modernization, i.e. adaptation of these objects to present exploitation needs (WCs, lighting, installations) and to technical requirements, while preserving the function of the object and also their original features,
- c) adaptation to new functions, amongst other to become: museums, regional rooms, the seats of Lusitian associations, hotels, boarding-houses, etc.
- d) translocation, i.e. transfer of these antique houses to new places, in order to: use them further on according to their original function and show their original character (e.g. in open air museums), or adapt them to new functions.

Each of the post-supported objects, depending on their foreseen transformations, should be considered individually, because of its technical condition, antique and usable value. In order to illustrate the diversity of this type of workings there will be presented various examples of post-supported houses on the terrain of Germany (Upper Łużyce), which in the result of such operations have again become important elements of Lusitian localities.

Several examples of objects have been chosen from the village of the region Löbau-Zittau – which

ich współczesne użytkowanie. Wśród analizowanych przykładów znajdują się adaptacje trzech budynków: parterowego domu mieszkalnego, domu piętrowego i zagrody wielobudynkowej, o różnych zakresach prac, tj. od ich przystosowania do funkcji mieszkalnych, albo funkcji usługowych dla szerszego grona użytkowników. Omówiono translokację nieużytkowanego obiektu

w nowe miejsce, jako jedną z możliwości przywrócenia zabytkowemu budynkowi wartości użytkowych i technicznych.

## 2.1. Adaptacja budynków przysłupowych do nowych funkcji

W celu zilustrowania problematyki adaptacji domów przysłupowych wybrano dwa obiekty o różnej skali z miejscowości Seifhennersdorf, jeden ze wsi Großschönau w Saksonii.

Pierwszy obiekt – to parterowy dom przysłupowy, ze ścianką kolankową i poddaszem użytkowym, wzniesiony w 1652 roku i częściowo przebudowany w XIX wieku.



Rys. 1. Dom przysłupowy ze ścianką kolankową z 1652 r., po remoncie nadal użytkowany jako budynek mieszkalny w Seifhennersdorf, Niemcy: po lewej widok, po prawej – rzut parteru (fot. Ingrid Singer, rys. I. Cieslak)

Fig. 1. A post-supported house with a knee-wall, from 1652, after the repair it is still used as a habitable building in Seifhennersdorf, Germany: to the left – the sight, to the right – the view of the ground floor (photo Ingrid Singer, fig. I. Cieslak)

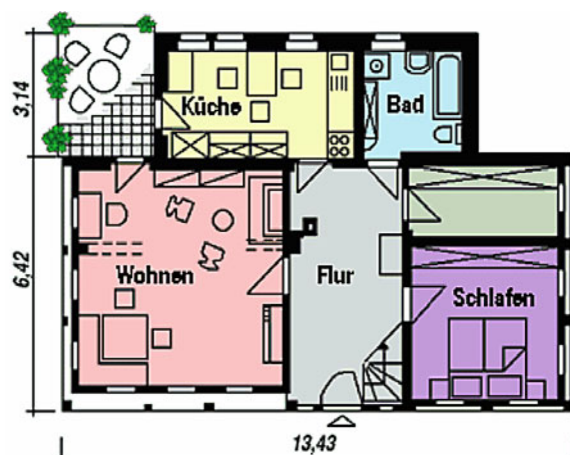
W latach 80. XX wieku budynek był w złym stanie technicznym, jednak, ze względu na jego walory historyczne, w 1987 roku zapadła decyzja o remoncie, którego głównym celem miało być ocalenie przeszło 300-letniej konstrukcji przysłupowej. Budynek poddano remontowi kapitalnemu i jego pomieszczenia adaptowano do współczesnych potrzeb. Elementy zniszczone w większości zastąpiono fragmentami z drewna w tym samym wieku, które odzyskano z innych rozebranych obiektów, lub wykonano je na nowo, jak np. ryglową ściankę kolankową zrekonstruowano tradycyjnymi metodami. Starszą część elewacji frontowej zajmuje konstrukcja przysłupowa, długomiczowa, niegdyś

differ in the scale and the function, and in which the conducted works allowed to use them now. Among the analyzed examples there are adaptations of three buildings: one-storey habitable house, two-storey house and a multi-building croft, of various scope of works, i.e. from their adaptation to habitable functions, up to service functions as public buildings. A translocation of a not used object to a new place has been discussed, as one of the possibilities of restoration of antique building to usable and technical value.

## 2.1. Adaptation of post-supported buildings to new functions

In order to illustrate the problems of adaptation of post-supported houses, two objects were chosen, of various scale, from the locality Seifhennersdorf, and one from the village Großschönau in Saxony.

The first object is a one-storey post-supported house, with knee-wall and usable loft, raised in 1652 and partly rebuilt in the XIX century.



In the 80-ties of XX century the building was in bad technical condition, however, because of his historical value, in 1987 the decision was made to have it repaired, main purpose of the repair was to rescue the over 300-year-old post-supported construction. The building underwent general overhaul and its rooms were adapted to present needs. The worn-out elements were replaced in the majority with elements made from timber of the same age, which was recovered from different demolished objects, or made anew, such as e.g. angle-braced knee-wall which was reconstructed by traditional methods. The older part of the front façade of the building consists of the post-supported, long angle-

o znacznym rozstawie słupów (tzw. *szerokoprześłowa*), teraz z dwoma słupami pośrednimi, dostawionymi w celu podparcia oczepu. W prawej, późniejszej części budynku występuje dwuprześłowa konstrukcja przysłupowa, w której specjalnie wyprofilowane rozpory z mieczami tworzą łukowe przęsła. Na parterze pozostały dwie izby, jedna szersza, osłonięta wysuniętym daszkiem, (górnolużycka), służąca jako pokój dzienny z tradycyjnym piecem kaflowym oraz druga izba ze ścianami drewnianymi – przeznaczona na sypialnię. Na poddaszu powstało niezależne mieszkanie dla gości z łazienką i aneksem kuchennym. Wnętrza wykończono w tradycyjny sposób, ponieważ pozostawiono widoczne belki stropowe, podłogi z desek i tradycyjne przesuwne, drewniane okiennice, jak też dawne umeblowanie. Z tyłu domu wymurowano współczesną przybudówkę, w której mieści się kuchnia i łazienka. Odtworzony dach dwuspadowy został pokryty łupkiem, a we frontowej połaci dachowej zrekonstruowano charakterystyczne lukarny. Remont obiektu został przeprowadzony przy poparciu Saksońskich Służb Konserwatorskich (niem. *Deutsche Stiftung Denkmalschutz und Denkmalmittel vom Freistaat Sachsen*).

Drugim przykładem przystosowania domu przysłupowego do współczesnych potrzeb jest dom wzniesiony w 1696 roku w miejscowości Großschönau, w rejonie Gór Żytawskich (niem. *Zittauer Gebirge*), w południowo-wschodnim zakątku Niemiec. Obiekt ten znajduje się w historycznym centrum wsi i ze względu na swoje usytuowanie nazywany jest *Inselhaus (Dom Wyspa)*, ponieważ łącznie z posesją tworzy „wyspę” pośrodku wsi. Celem właścicieli było możliwie jak najwierniejsze odrestaurowanie obiektu z zastosowaniem zarówno tradycyjnych metod przy remoncie konstrukcji, jak i nowoczesnych techniki umożliwiających zmniejszenie zużycia energii w użytkowaniu obiektu. Z pomocą specjalistów z Hochschule Zittau-Görlitz wykorzystano ciepło ze źródeł geotermalnych do poprawy bilansu energetycznego budynku, wprowadzono ogrzewanie ściennie, specjalne materiały termoizolacyjne.

Obiekt ten jest pełen kontrastów – ma typowy górnołużycki ogród i luksusowo wyposażoną kuchnię; tradycyjną sypialnię z malowanymi oryginalnymi ścianami i meblami oraz nowoczesną łazienkę. Połączenie cech zabytkowego obiektu i wyposażenia ze współczesnymi rozwiązaniami technicznymi zapewnia duży komfort użytkowania i jest przykładem możliwości przystosowania zabytkowego obiektu do współczesnych wymagań użytkowych, bez szkody dla historycznej substancji. Obiekt ten adaptowany na pensjonat o wysokim standar-

braced construction, formerly of considerable span of posts (so-called *wide-span*), now with two intermediate posts, delivered in order to support the girt. In the right side of the building, a later one, there is a two-span post-supported construction, in which specially profiled struts with angle braces create curved spans. On the ground floor there remained two rooms, one wider, covered with advanced little roof, (upper-Lusitian), serving as the day room with the traditional tiled stove and the second room with wooden walls – designed to be the bedroom. In the loft there has been made an independent flat for guests with the bathroom and kitchen annex. The interiors were finished in the traditional way, because the ceiling beams have been left visible, the floors are from wooden boards, and there are traditional sliding wooden shutters, as well as old-time furniture. At the back of the house a modern annex has been built from bricks, which comprises the kitchen and the bathroom. The reconstructed gable roof was covered with slate, and in the front roof slope characteristic lucarnes have been reconstructed. The repair of the object was conducted with the support of Saxon Conservator's Services (German *Deutsche Stiftung Denkmalschutz und Denkmalmittel vom Freistaat Sachsen*).

The second example of adaptation of a post-supported house to present needs is the house raised in 1696 in the locality Großschönau, in the region of Góry Żytawskie (German *Zittauer Gebirge*), in the south-east corner of Germany. This object is in the historical centre of the village and because of its location is called *Inselhaus (Island House)*, as together with the premises it forms an 'island' in the middle of the village. It was the owners' target to restore the object possibly in the most faithful way, with the use both the traditional methods for the repair of the construction, and the modern techniques, enabling decrease of energy consumption in exploitation of the object. With the help of experts from Hochschule Zittau-Görlitz the heat from geothermal springs was applied in order to improve the energetic balance of the building, there was installed in-wall heating, and special thermal-insulating materials.

This object is full of contrasts – a typical upper-Lusitian garden and luxuriously equipped kitchen; traditional bedroom with painted original walls and pieces of furniture and a modern bathroom. The connection of the features of antique object and equipment with present day technical solutions assures high comfort of use and is an example of the possibility of adaptation of an antique object to present exploitation requirements, without damage to the historical substance. This object has been





Rys. 2. Wnętrza adaptowanego domu łuzycyckiego na pensjonat w Großschönau, Niemcy: po lewej u góry – dom z ogrodem po prawej – kuchnia, u dołu po lewej – łazienka i pokój dzienny – po prawej (fot. L. Karwecka)

Fig. 2. The interiors of the Lusitian house adapted as a boarding house in Großschönau, Germany: top left – the house with the garden, to the right – the kitchen, bottom left – the bathroom and the living room to the right (photo L. Karwecka)

dzie, ze znakiem jakości – „Urlaub im Umgebendehaus”, jest dobrym przykładem właściwego zachowania i wyeksponowania tradycyjnych elementów, które wpłynęły na podniesienie jego wartości i atrakcyjności.

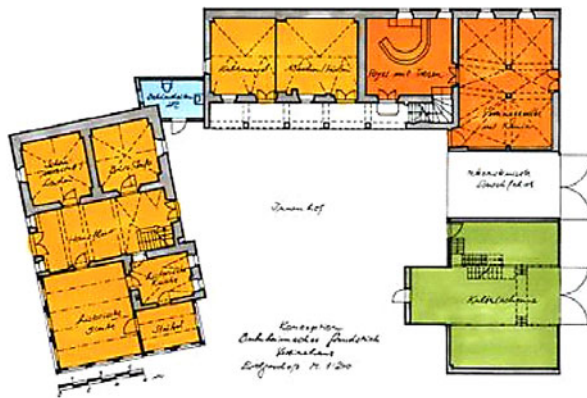
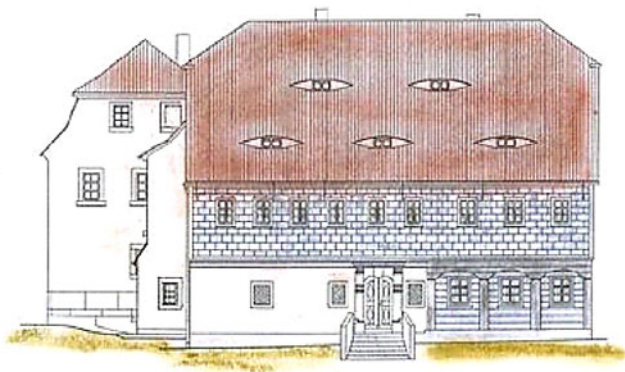
Trzecim przykładem jest zagroda, rodziny Bulnheim, wznoszona od XVII do XIX w., składająca się z trzech obiektów, tj.: domu przysłupowego, budynku gospodarczo-mieszkalnego łączącego dom z budynkiem gospodarczym i stodołą, które połączone ze sobą otaczają wewnętrzne podwórze gospodarcze, z 200-letnią lipą.

W latach 90. XX w. Urząd Miasta Seifhennersdorf postanowił wykupić i adaptować zniszczony obiekt na siedzibę Muzeum Tkactwa i Przędzal-

adapted to be a boarding-house of high standard, with the quality mark – ‘Urlaub im Umgebendehaus’. It is a good example of proper preserving and exhibiting the traditional elements, which influenced on lifting up its value and attractiveness.

The third example is a croft, owned by family Bulnheim, raised from XVII to XIX centuries, which consists of three objects, i.e.: the post-supported house, the farm – habitable building, joining the functions of a house with a farm building and a barn, which are joined together, surrounding the internal farmyard, with 200-year-old lime-tree.

In the 90-ties of XX century the Town Office of Seifhennersdorf decided to purchase and to adapt a worn out object as the seat of the Museum of Weav-



Rys. 3. Zagroda wielobudynkowa w Seifhennersdorf adaptowana na muzeum: u góry elewacje – inwentaryzacja, u dołu – rzut parteru (rys. I. Cieślak), zagroda od Rumburgerstraße, wewnętrzny dziedziniec z 200-letnią lipą (fot. E. Rdzawska i I. Cieślak)  
 Fig. 3. The multi-building croft in Seifhennersdorf adapted as a museum: at the top – the façades – catalogue, at the bottom – view of the ground floor (drawn by I. Cieślak), the croft from the side of Rumburgerstraße, the inner yard with a 200-year-old lime-tree (photo by E. Rdzawska and I. Cieślak)

nictwa. Adaptacja była finansowana ze środków własnych miasta i przez Krajowy Program Modernizacji „Odnowa Urbanistyczna” (Landessanierungsprogramm „Städtebauliche Erneuerung”), a realizację projektu prowadziło Biuro Architektoniczne CIESLAK.

Pierwszy budynek zagrody – dwukondygnacyjny dom przysłupowy z 1666 roku, z jedną izbą drewnianą w murowanym parterze, z dobrze zachowanymi sklepieniami w sieni i części gospodarczej oraz kamiennymi schodami i ozdobnym portalem od strony ogrodu adaptowano na pomieszczenia muzealne i mieszkanie kustosa. Konstrukcja ryglowa występująca na piętrze domu, po remoncie pozostała jak dawniej osłonięta, drewnianym szalunkiem stylizowanym w formie boniowania, z rzeźbionym oczepem przypominającym gzyms kordonowy. Budynek nakrywa odtworzony dwuspadowy dach naczółkowy, z pięcioma oknami typu „wół oko” od strony wejściowej.

Kolejny budynek w obrębie tej zagrody pochodzący z 1814 roku, łączący dom przysłupowy ze stodołą, ma od strony podwórza arkadowy podcień, przez który wchodzi się do pomieszczeń przekrytych sklepieniami (dawna obora, stajnia i wozownia), które adaptowano na winiarnię z kominkiem

ing and Spinning. The adaptation was funded from the town’s own financial means and by The National Modernization Program ‘Town-planning Renovation’ (Landessanierungsprogramm ‘Städtebauliche Erneuerung’), and The Architectural Office CIESLAK carried out the realization of the project.

The first building of the croft –two-storey post-supported house from 1666, with one wooden room in brick ground floor, with well preserved vaults in the hall and the farm part and with a stone flight of stairs and decorative portal from the side of the garden was adapted to museum rooms and the curator’s flat. Angle braced construction existing on the upper floor of the house, after the repair remained, as it used to be, covered with wooden boarding stylized in the form of rustication, with the carved girt reminding a cordon cornice. The building is covered with reproduced gable roof with a jerkin head, with five windows of the ‘bull’s eye’ type from the entrance side.

The next building in the grounds of this croft, coming from 1814, linking the post-supported house with the barn, has arched arcades from the side of the yard, through which one comes in to the rooms which are roof-covered with vaults (a former cowshed, stable and coach-house), which were adapted

(Piwnica Muzealna). Dawne pomieszczenia mieszkalne na piętrze zostały przekształcone w sale wystawiennicze Muzeum Tkactwa i Płóciennictwa, podobną funkcję uzyskała wyremontowana stodoła. Ze ścian piętra łącznika i stodoły usunięto tynki i pozostawiono odsłoniętą ścianę ryglową. Wymieniono też współczesną stolarkę okienną, na tradycyjną, przywracając pierwotny charakter elewacji. Otwarto także dawny przejazd, ułatwiający wejście z ulicy na podwórze.

Ta do niedawna niszcząca zagroda, która funkcjonowała w dobie „złotego okresu” przedsiębiorstwa i tkactwa, zaniedbana i opuszczona od II połowy XX wieku – ze względu na zbyt duże koszty utrzymania i utratę pierwotnej funkcji mieszkalno-gospodarczej – dopiero w latach 90. XX wieku, po właściwie przeprowadzonym remoncie i adaptacji, została uratowana jako zabytkowy zespół zabudowy łużyckiej i włączona w program funkcji usługowych miejscowości.

## 2.2. Translokacja domu przysłupowego

Jednym ze sposobów ratowania opuszczonych i niszczących budynków przysłupowych jest ich przenoszenie w inne miejsce, w którym może funkcjonować jako obiekt muzealny lub po adaptacji jako obiekt w strukturze miejscowości. Sytuacja taka wystąpiła w miejscowości Schönau-Berzdorf (Kleine Seite 13). Usytuowany tu piętrowy dom o konstrukcji przysłupowej szerokoprzęsłowej, długomiejscowej, datowany na przełom XVI/XVII wieku, ze względu na inne plany zagospodarowania tego terenu, został uratowany i przeniesiony w inne miejsce, w tej samej miejscowości i adaptowany na Dom Kultury Łużyckiej.

W procesie przenoszenia budynku zaproponowano trójfazowy system prac. Najpierw wykonano dokładną inwentaryzację i prace rozbiórkowe.



Rys. 4. Przeniesienie domu w miejscowości Schönau-Berzdorf: widok domu przed przeniesieniem – po lewej, rzut parteru – po prawej (www.umgebinde.de za zgodą)

Fig. 4. The transfer of the house in Schönau-Berzdorf: the view of the house before transfer – to the left, the view of the ground floor – to the right (with consent of www.umgebinde.de)

to the wine-vault with a fireplace (Museum Cellar). The former habitable rooms on the floor were transformed into exhibition halls of the Museum of Weaving and Linen-making, the repaired barn took a similar function. The plasters from the walls of the upper floor of the linking building and the barn were removed, leaving the uncovered angle braced wall. The modern window woodwork was replaced with traditional, restoring the original character of the façade. The former passage, facilitating entry from the street onto the yard got also opened.

This, until recently decaying croft, which functioned in the days of ‘golden period’ of spinning and weaving, abandoned and neglected from II half of XX century – due to too high costs of maintenance and loss of the original living – farm function – only in the 90-ties of XX century, after correctly conducted repair and adaptation, has been rescued as an antique complex of Lusitian buildings and included in the program of the service functions for the town.

## 2.2. Translocation of a post-supported house

One of the ways of rescuing abandoned and decaying post-supported buildings is their transfer to other place, where they can function as a museum objects or after adaptation as an object in the structure of the town. Such a situation occurred in the town Schönau-Berzdorf (Kleine Seite 13). Situated there two-storey house of post-supported wide-span, long angle braced construction, dated in the turnoff XVI / XVII centuries, because of the different plans of land development, were rescued and transferred into other place, in the same town, and adapted to The House of Lusitian Culture.

The three-phase system of works was proposed for the process of transfer of the building. Firstly a detailed stock-taking and dismantling works were executed. Because the building was small in size



Ponieważ budynek był niewielki i skonstruowany w formie jednej ramy konstrukcyjnej, a dystans do pokonania wynosił tylko 2 km, zdecydowano o przewiezieniu szkieletu domu w całości, na specjalnej platformie. Przedsięwzięcie wyglądało bardzo spektakularnie, gdy drewniana konstrukcja przewożona była na nowe miejsce, które zostało wcześniej przygotowane, tj. wykonano żelbetową płytę fundamentową i granitowy cokół. Po osadzeniu przeniesionej konstrukcji na cokole, uzupełniono brakujące elementy wieńcówki, a pola ryglówki – zgodnie z tradycyjnymi metodami – wypełniono gliną nałożoną na specjalnie przygotowane szczapy oplecione słomianymi warkoczami. Wymieniono też zniszczone belki stropowe, wybudowano nowy komin z piecem kaflowym (charakterystycznym dla tego regionu), który ogrzewa cały obiekt.

Zainstalowano nowy węzeł sanitarny, którego do tej pory nie było, wybudowano nowe schody. W obiekcie tym na piętrze odbywać się będą wystawy, zaś parter przeznaczony jest na spotkania w tradycyjnej izbie urządzonej na wzór górnołużycki.

Omawiany dom przysłupowy został wybrany ze względu na nietypowy sposób przetransportowania

and constructed in the form of a single constructional frame, and the distance to cover was only 2 km, it was decided to transport the skeleton of the house as a whole, on a special platform. The undertaking looked very spectacular, when the wooden construction was transported to the new place, which had been prepared earlier i.e. reinforced concrete foundation plate and granite pedestal were made. After placing the transferred construction on the pedestal, missing elements of the topping were replenished, and the fields of angle-bracing – according to traditional methods – were filled with clay applied on specially prepared slivers wrapped around with straw plaits. The worn out ceiling beams were also replaced, the new chimney was built with a tile stove (characteristic for this region), which heats up the whole object.

The new complex of bathroom and toilet, which was not there until now, has been provided, and a new staircase was built. Exhibitions will be held in this object on the upper floor, whereas the ground floor is designed for meetings in the traditional room arranged in the Upper Lusitian style.

The discussed post-supported house was chosen because of the atypical way of transporting the con-



Rys. 5. Translokacja domu w miejscowości Schönau-Berzdorf: u góry fazy przeniesienia szkieletu budynku, budynek w trakcie wykończenia – u dołu (fot. [www.umgebnde.de](http://www.umgebnde.de) za zgodą)

Fig. 5. Translocation of the house in the town of Schönau-Berzdorf: at the top – the phases of transfer of the building framework, at the bottom- the building during the finishing off. (photo. With consent of [www.umgebnde.de](http://www.umgebnde.de))

konstrukcji. Przeniesienie szkieletu budynku w całości znacznie ułatwiło i przyspieszyło prace budowlane, ponieważ nie było konieczne rozbieranie i składanie konstrukcji na nowym miejscu. Takie możliwości dała jednolita konstrukcja przysłupowa starszego typu, tzw. długomieczowa (niem. *Geschossbau*) – w której słupy i długie miecze stanowią elementy konstrukcji ryglowej piętra.

### 3. Podsumowanie

Unikalne obiekty o konstrukcji przysłupowej, występujące na terenie trzech państw – Polski, Niemiec i Czech, mają wysokie walory architektoniczne, historyczne i kulturowe. Niszczące szybko domy wymagają fachowej opieki konserwatorskiej i prawidłowo prowadzonych remontów, a ich liczne adaptacje odzwierciedlają przemiany społeczne i kulturowe zachodzące na tym terenie, a także coraz silniejsze tendencje do zachowania oryginalnej zabudowy i tradycyjnych krajobrazów wsi łużyckich. Budownictwo przysłupowe jest bowiem dziedzictwem kultury łużyckiej ciągle żywej w tradycji zamieszkujących ten obszar społeczności.

struction. Transfer of the skeleton of the building as a whole considerably facilitated and accelerated building works, because no disassembling and further putting together the construction on the new place was necessary. Such possibilities are owed to uniform post-supported construction of the older type, so-called long angle braced (German *Geschossbau*) – in which posts and long angle braces make up the elements of the half-timbered construction of the upper floor.

### 3. Conclusion

Unique objects of post-supported construction, occurring on the territory of three states – Poland, German and Czech, possess high architectural, historical and cultural values. Becoming fast spoiled, these houses require professional conservator's care and correctly run repairs, and their numerous adaptations reflect social and cultural transformations taking place on this territory, and also still stronger tendencies to preserve the original buildings and the traditional scenery of Lusitian villages. The post-supported building is the heritage of the Lusitian culture, which is still alive in the traditions of the inhabitants of this area.

### Literatura • References

- [1] Bernert K., *Umgebindehäuser*, Berlin, 1988.
- [2] Franke H., *Ostgermanische Holzbaukultur und ihre Bedeutung für das deutsche Siedlungswerk*, Breslau 1936.
- [3] Rdzawska E., *Architektura przysłupowa wschodnich Łużyc jako przedmiot ochrony konserwatorskiej*, (maszynopis), Gliwice 2001,
- [4] Rdzawska E., *Das Umgebindehaus östlich der Neiße . W : Umgebinde, Die Blauen Bücher*, Taunus, 2007, 157-160
- [5] Trocka-Leszczyńska E., *Wiejska zabudowa mieszkaniowa w regionie sudeckim*, Wrocław 1995.
- [6] Trocka-Leszczyńska E., *Drewniane przysłupowe domy łużyckie. Konserwacja i kontynuacja*, *Architectus* nr 2 (12), Wrocław 2002, 61-77.
- [7] Trocka-Leszczyńska E., *Umgebindehäuser in Niederschlesien. W: Umgebinde, Die Blauen Bücher*, Taunus, 2007, 148-156
- [8] Trocka-Leszczyńska E., Rdzawska E., *Problemy związane z zachowaniem zabudowy przysłupowej w Euroregionie Nysa. [w:] Specyfika przestrzeni regionalnej – jej ochrona, zachowanie i rozwój*, Białowieża 2004, 67-75.
- [9] Trocka-Leszczyńska E., Rdzawska E., *Budownictwo przysłupowe jako wspólne dziedzictwo trzech narodów – walory artystyczne detalu architektonicznego. [w:] Architektura ryglowa – wspólne dziedzictwo*, Szczecin 2003, 235-240

\*Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

\*\*Politechnika Śląska, Gliwice, Polska

\*Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

\*\*Silesian University of Technology

<sup>1</sup>Nazwę „Umgebinde”, wprowadził w 1893 r. Otto Gruner.

<sup>1</sup>Name „Umgebinde” was introduced in 1893 by Otto Gruner.

## Streszczenie

Tereny znajdujące się na pograniczu Polski, Niemiec i Czech słyną ze swojej unikalnej i charakterystycznej architektury, tak zwanej Łużyckiej (lub przysłupowej). Architektura Łużycka charakteryzuje się różnorodnością metod budowy, takich jak: drewniana budowa ramowa, rama, murarstwo jak również szerokie spektrum naturalnych materiałów budowlanych: drewno, kamień, cegła suszona na słońcu (cegła niewypalana), glina, słoma, łupek dachowy, wiklina i wyprawa ubijana. Ten styl budowy wymaga wyspecjalizowanych pracowników o zawodach, które są obecnie prawie zapomniane: cieśle, tkacze, kamieniarze, kowale.

Całe wsie i otaczająca natura tworzą piękne krajobrazy. Taki rodzaj architektury może przyciągnąć zainteresowanie turysty, ponieważ budowa tego rodzaju nie istnieje nigdzie indziej w Europie.

## Abstract

The areas situated on Polish, Czech and German border lands are famous for their unique and characteristic architecture, so called Lusitian (or post supported). The Lusitian architecture can be recognized by a variety of construction methods like: timber frame construction, framework, masonry as well as a large spectrum of natural building materials: timber, stone, dry-clay brick (adobe), clay, straw, slate, wattle and daub. This style of construction requires specialized workers from the crafts which are presently almost forgotten: carpenters, weavers, stone-cutters, blacksmith.

The whole villages and the surrounding nature form beautiful settings. Such kind of architecture can attract tourist's interests, as constructions of that kind do not exist anywhere else in Europe.

Barbara Misztal\*

## Wpływ degradacji matrycy na nośność krytyczną ściskanych prętów drewnianych

### Influence of degradation of matrix on critical carrying capacity of compressed wooden rods

#### 1. Wstęp

Podatność drewna na oddziaływanie środowiska spowodowała, że od wieków stosowano różnorodne metody jego zabezpieczenia. Aby zwiększyć trwałość obiektów z drewna stosowano metody chemiczne i fizyczne niszczące szkodliwe czynniki wpływu środowiska. Używano preparatów chemicznych niszczących biologiczne szkodniki drewna: grzyby, pleśnie i owady. Stosowano również metody fizyczne, w tym gotowanie np. desek na podobrazia [1] (2004). Zajmowano się zwykle tym co jest niszczące dla szkodników, mniej wpływem preparatu lub metody zabezpieczenia na właściwości drewna wynikające z jego budowy.

Kozakiewicz i Matejak w pracy [1] opisują skład chemiczny i fizyczną budowę drewna. Podają wymiary pojedynczego włókna drzewnego decydującego o wytrzymałości. W zależności od gatunku drewna ma ono różne wymiary, a typowe to długość około 3500  $\mu\text{m}$  i średnica około 1/15 do 1/20 długości. Włókna drzewne o różnorodnym upakowaniu, rozmieszczone są w masie komórek miękiszowych. Zarówno cechy włókien jak i komórek miękiszowych zależą od gatunku drzewa jaki i różnorodnych warunków, w których to drzewo wyrosło. Wspólne jest jednak to, że komórki miękiszowe jako żywe, odznaczają się podatnością lepkosprężystą, natomiast komórki tworzące włókna drzewne to komórki martwe, usztywniające kompozyt. Podstawowym budulcem komórek drewna jest celuloza i lignina, oraz hemicelulozy. Są one zbudowane z węgla, wodoru

#### 1. Introduction

Susceptibility of wood to the influence of the environment caused that there have been applied varied methods of its protection for ages. In order to increase strength of objects made from wood, chemical and physical methods which counteract the destructive influence of the environment were applied. Chemical preparations destructive to biological pests of wood: fungi, moulds and insects were used. Physical methods were also applied, in this boiling e.g. boards to be used as the base for painting [1] (2004). Usually it was rather the destructive action towards pests that was the object of interest than the influence of the preparation or the method of wood protection on the woods properties resulting from its structure.

Kozakiewicz and Matejak in their work [1] describe the chemical analysis and the physical structure of wood. They present the dimensions of a single wood filament which are decisive for its strength. Depending on the kind of wood it has various dimensions, and typically its length is about 3500  $\mu\text{m}$  and diameter about 1/15 to 1/20 of the length. Wood filaments of varied packing up are disposed in the mass of ground tissue cells. Both the features of filaments and of ground tissue cells depend on the species of the tree and on the varied conditions in which this tree grew. However, that ground tissue cells as living ones are characterized by viscoelastic strain, whereas cells forming wood filaments are dead cells, stiffening the composite material. The basic building material of the cells of wood are cellulose and lignin, and hemicelluloses. They are built from carbon,

i grup wodorotlenowych o różnorodnej budowie łańcuchowej.

Taka budowa drewna pozwala domniemywać, że każdy sposób oddziaływania na drewno: preparatami chemicznymi, temperaturą i ciśnieniem wywołuje procesy zmieniające właściwości fizyczne drewna, zwłaszcza właściwości mechaniczne miękiszu stanowiącego matrycę kompozytu.

## 2. Badania

Włóknista budowa pozwala na traktowanie drewna jako kompozytu włóknistego o matrycy lepko-sprężystej. Mianem matrycy określono zespół komórek w których rozmieszczone są włókna drzewne. Dla potrzeb wykorzystania drewna do budowy konstrukcji inżynierskich ważne jest poznanie wpływu metod przygotowania drewna na jego wytrzymałość. Dane na temat wytrzymałości drewna po impregnacji próżniowo ciśnieniowej środkiem solnym w temperaturach 20°C, 50°C, 100°C, 150°C, 200°C, 230°C opisano w pracy [2] (2004). Próbki badano statycznie i dynamicznie. W badaniach statycznych przeprowadzono badania: na zginanie, na ściskanie wzdłuż włókien, na ściskanie w poprzek włókien, na rozciąganie wzdłuż włókien. W badaniach dynamicznych badano wytrzymałość na zginanie dynamiczne i udarność drewna. Autorki [2] wykazały, że stosowanie metod impregnacji próżniowo ciśnieniowej środkiem solnym w istotny sposób wpływa na parametry wytrzymałościowe drewna. Jest to tendencja zmniejszenia wytrzymałości próbek impregnowanych w stosunku do próbek nieimpregnowanych. Bednarek, Kaliszek-Wietecha (2004) [2] podają, że związane to jest z naruszeniem struktury drewna na skutek oddziaływania za pomocą zmian ciśnienia i podciśnienia oraz wprowadzenia impregacyjnego środka solnego.

Zmiany w budowie drewna na skutek działania ciśnienia i temperatury ilustrują wyniki badań przeprowadzone przez Finnish ThermoWood Association podane w ThermoWood Handbook [3] (2003). Zbadano próbki drewna sosnowego i świerkowego poddanego wyparzaniu w temperaturze od 190°C do 240°C pod ciśnieniem.

Fotografie na rys. 1 [3] pokazują zmiany w budowie drewna przed i po procesie wyparzania w temperaturze 215°C. Można zauważyć ubytki materiału wypełniającego pomiędzy włóknami drewna, świadczące o degradacji matrycy kompozytu.

hydrogen and hydroxyl groups of varied chain structure.

Such structure of wood allows to allege that each way of treating wood: with chemical preparations, temperature and pressure results in processes changing physical properties of wood, especially the mechanical properties of the ground tissue making up the matrix of the composite material.

## 2. Investigations

Fibrous structure allows to treat wood as fibrous composite material of viscoelastic matrix. The name matrix applies to the aggregate of cells in which wood filaments are disposed. In order to utilize wood for building engineering constructions it is important to know the influence of the methods of wood preparation on its strength. Data concerning the subject of strength of wood after vacuum pressure impregnation with saline agent at temperatures 20°C, 50 °C, 100°C, 150°C, 200°C, 230°C were presented in the work [2] (2004). Samples were studied statically and dynamically. In the static investigations the following tests were conducted: bending, compression along the filaments, compression transversely to the filaments, tension along the filaments. In the dynamic investigations bending strength and impact resistance of wood were studied. The Authors [2] showed that applying methods of vacuum-pressure impregnation with a saline agent influenced on the strength parameters of wood essentially. There occurs some tendency to decrease the strength of impregnated samples in the relation to not impregnated samples. Bednarek, Kaliszek-Wietecha (2004) [2] presented that this is connected with disarrangement of the structure of wood in the consequence of acting using changes of pressure and underpressure and introducing the impregnating saline agent.

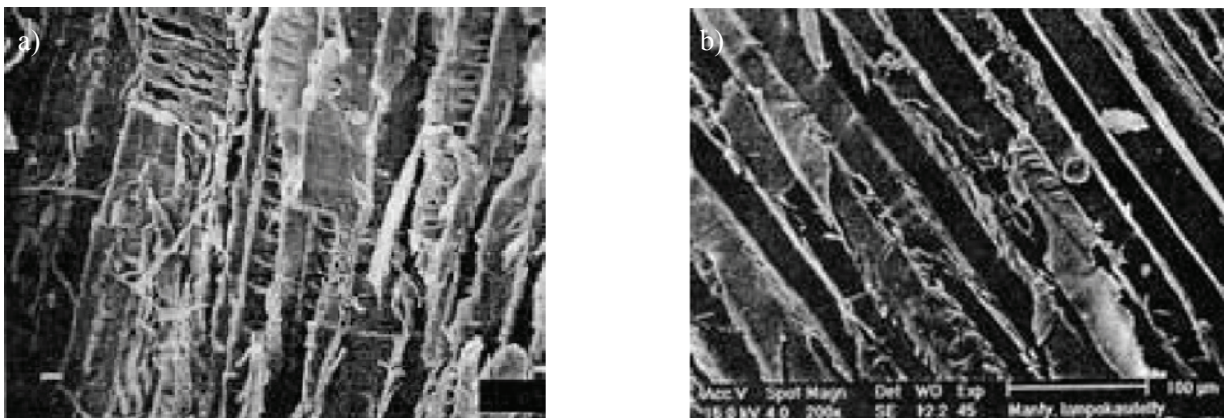
Changes in the structure of wood in the consequence of working of pressure and temperature are illustrated by the results of investigations conducted by Finnish ThermoWood Association laid out in ThermoWood Handbook [3] (2003). Samples of pine wood and spruce wood subjected to high pressure steaming at the temperature from 190°C to 240°C underwent testing.

Photographs in fig. 1 [3] show the changes in the structure of wood before and after process of steaming at temperature 215°C. One can notice losses of material filling spaces between the filaments of the wood, which testifies degradation of the matrix of the composite material.

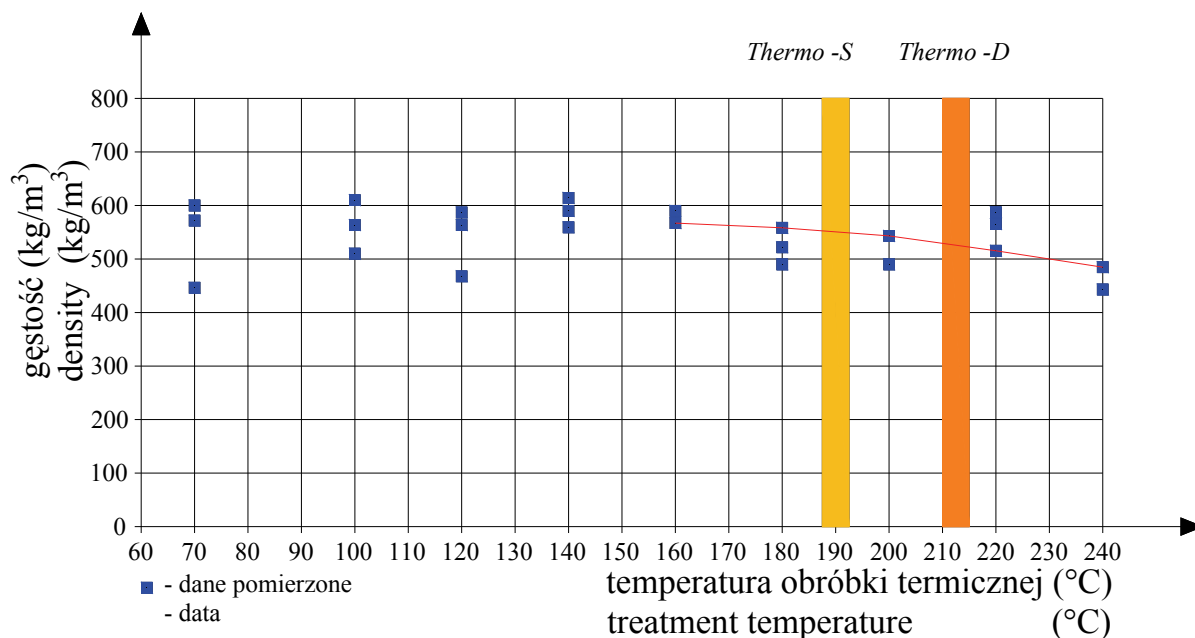


Potwierdzeniem degradacji matrycy są badania gęstości drewna sosnowego w funkcji temperatury pokazane na rys. 2.

The investigations of density of pinewood in the function of temperature showed on fig. 2 confirm the fact of degradation of the matrix.



Rys.1. Fotografie pod mikroskopem drewna sosnowego[3]: a) przed obróbką termiczną, b) po obróbce termicznej  
Fig. 1. Photomicrograph of pinewood [3]: a) before heat treatment, b) after heat treatment



Rys. 2. Zależność gęstości drewna sosny od temperatury [3]  
Fig. 2. Temperature dependence of the density of pinewood [3]

Na rys. 2 pokazano linią ciągłą wykres zmniejszania się gęstości drewna sosny wywołany wyparaniem desek w wysokich temperaturach, pod ciśnieniem. Im większa jest temperatura obróbki, tym większe jest zmniejszenie gęstości drewna. Zmniejszeniu gęstości drewna po procesie wyparzenia towarzyszą zmiany cech wytrzymałościowych. Wygrzewanie w podwyższonej temperaturze zmienia wytrzymałość na ściskanie i zginanie drewna. Z krótkich prób wytrzymałościowych drewna Thermowood, opracowanych w [3] wynika, że następuje zmiana wytrzymałości na ściskanie krótkich próbek z drewna świerku, wyparzanych w temperaturze 220 °C przez 1 godzinę (próbka 1) i przez 3 godziny (próbka 3), oraz w temperaturze 225 °C przez 2 godziny (próbka 2),

The graph in fig. 2 presents decreasing of pine wood density resulting from steaming boards in high temperatures, under the pressure (showed with the continuous line). The higher the temperature of the processing, the larger decrease of wood density is. The decrease in wood density after the process of steaming is accompanied by changes in the strength parameters. Heating in increased temperature changes compressive and bending strength of wood. From the short strength tests of the wood Thermowood, worked out in [3] it results that change of compressive strength of short samples made from spruce wood, steamed at the temperature 220°C for 1 hour (sample 1) and for 3 hours (sample 3), and at the temperature 225°C for 2 hours (sample 2), took place in relation

w stosunku do próbki świadka niepoddanej obróbce termicznej. W porównaniu z próbką niepoddana obróbce, autorzy [3] podają, że inny jest charakter zniszczenia próbek ściskanych. Próbki z drewna Thermowood, poddanego ścisnaniu rozsypują się. Taki model zniszczenia kruchego, nie poprzedzony znamioną dla drewna jednolitego emisją akustyczną, wymaga znaczącego zwiększenia współczynnika bezpieczeństwa konstrukcji.

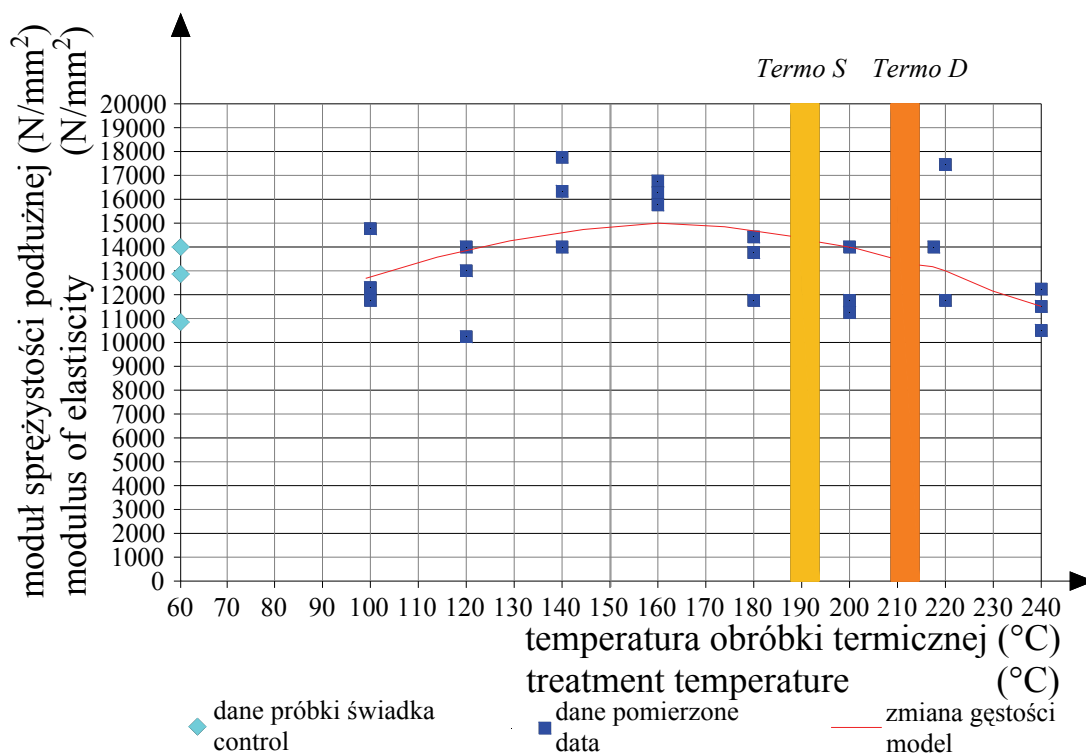
Autorka stara się wyjaśnić zjawisko kruchego pęknięcia drewna poddanego ścisnaniu po obróbce termicznej w odrębnej pracy, biorąc pod uwagę wyniki badań Finnish Thermowood Association podane w pracy [3] oraz prace [4] (1996) i [5] (1997)

Badania zmian modułu sprężystości podłużnej drewna sosnowego z [3] pokazano na rys. 3. Na wykresie (rys. 3) widać zmniejszenie modułu sprężystości drewna sosnowego poddanego obróbce termicznej w stosunku do próbek niepoddanych obróbce termicznej [3]. Im wyższa temperatura obróbki tym mniejszy jest moduł sprężystości podłużnej. Należy nadmienić, że moduł sprężystości podłużnej drewna wpływa na nośność krytyczną prętów o średniej i dużej długości.

to the reference sample not subjected to thermal processing. In comparison with the sample not subjected to the processing, authors [3] present that the character of destruction of the compressed samples is different. The samples from the wood Thermowood, crumble when subjected to pressure. Such model of fragile destruction, not preceded by acoustic emission characteristic for the solid wood, requires significant enlargement of the safety coefficient of the construction.

The author is trying to explain the phenomenon of fragile cracking of the wood after thermal processing subjected to compression in a separate work, taking into consideration the results of investigations of Finnish Thermowood Association presented in the work [3] and works [4] (1996) and [5] (1997).

The investigation of changes in the longitudinal modulus of elasticity of pine wood, from [3] have been shown in fig. 3. In this graph (fig. 3) it is visible that there is some decrease in the modulus of elasticity of the pine wood subjected to thermal processing in relation to the samples not subjected to thermal processing [3]. The higher temperature of the processing, the lower the longitudinal modulus of elasticity is. One should mention that the longitudinal modulus of elasticity of wood influences on critical carrying capacity of rods of average and large length.



Rys. 3. Zmniejszenie modułu sprężystości drewna sosny po obróbce termicznej [3]  
Fig. 3. Decrease in the modulus of elasticity of pinewood after heat treatment [3]

Średnie zmniejszenie modułu sprężystości drewna w temperaturze 240 °C w stosunku do drewna w temperaturze 60°C pokazane na rys. 3 wynosiło około 11%.

Average decrease in the modulus of elasticity of wood at temperature 240°C in relation to wood at temperature 60°C showed on fig. 3 was about 11%.

### 3. Nośność krytyczna prętów ściskanych

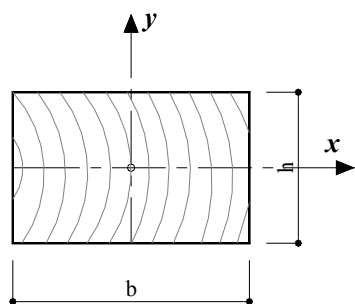
Degradacja miększu (żywych komórek, w których zatopione są włókna drzewne) zilustrowana na rys. 1 oraz zmniejszenie gęstości drewna sosny (rys. 2) sugeruje zmniejszenie modułu sprężystości podłużnej  $E$  mimośrodowo zginanych prętów drewnianych. Jednakże należy również oczekiwać znaczącego zmniejszenia modułu sprężystości poprzecznej  $G$  wskutek degradacji matrycy.

Wpływ degradacji miększu na wytrzymałość krytyczną drewna po obróbce termicznej można wyjaśnić na podstawie modelu kompozytu zbrojonego podłużnie włóknami. Zachowanie włókna zatopionego w lepko sprężystej matrycy opisał Kowal w pracy [4] (1996), jako zjawisko zależne od geometrii i rozmieszczenia włókien oraz właściwości matrycy. Na rys. 4 wg [4] pokazano generowanie sił poprzecznych wskutek amplifikacji poprzecznego wygięcia wstępnego  $y_0$  pręta. Wyboczenie związane ze ścisaniem dotyczy zarówno pręta jak i pojedynczego włókna. Siły poprzeczne stowarzyszone ze ścisaniem włókien, generują spiętrzenie odkształceń postaciowych na powierzchni włókien i naprężenie styczne w matrycy.

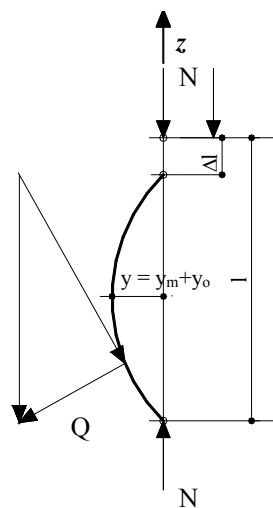
### 3. Critical carrying capacity of compressed rods

Degradation of the ground tissue (alive cells surrounding wood filaments) which has been illustrated in fig. 1 and the decrease in pine wood density (fig. 2) suggest decrease in the longitudinal modulus of elasticity  $E$  of wooden rods bent off-centre. Yet one should expect significant decrease in the modulus of rigidity  $G$  as a result of the degradation of matrix.

One can explain the influence of the degradation of ground tissue on the critical strength of wood after thermal processing on the basis of a model of composite material longitudinally reinforced with filaments. Kowal, in the work [4] (1996), described the performance of the filament surrounded by viscoelastic matrix as a phenomenon dependent on geometry and the distribution of filaments and the properties of the matrix. In fig. 4, according to [4], generating of transverse forces as a result of amplification of preliminary transverse deflection of the rod  $y_0$  was shown. Buckling connected with the compression regards both the rod and a single filament. Transverse forces associated with the compression of filaments generate piling up of non dilatational strain on the surface of filaments and tangential strain in the matrix.



a) przekrój pręta  
rod cross-section



b) generowanie siły poprzecznej  
transverse force generation

$y_0$  – wygięcie wstępne pręta,  $y_m$  – przemieszczenie wynikające ze zginania podłużnego  
 $y_0$  – preliminary deflection of the rod,  $y_m$  – dislocation resulting from longitudinal bending

Rys. 4. Generowanie sił poprzecznych w ściskanym pręcie drewnianym obciążonym wstępnym wygięciem [5]  
Fig. 4. Generation of transverse forces in a compressed wooden rod with preliminary deflection applied [5]

Kowal w pracy [4] opisuje przemieszczenie poprzeczne pręta ściskanego obciążonego wstępnym wygięciem równaniem (1):

$$EJy^{IV} + N \left( y + y_0 + \delta_0 \sin \frac{n\pi z}{l} \right)'' = 0 \quad (1)$$

Kowal, in the work [4], describes transverse dislocation of the compressed rod with preliminary deflection applied, with the help of equation (1):

gdzie:  $y_0 = \delta_0 \sin \frac{n\pi z}{l}$  – wstępne wygięcie,  $y_q$  – wpływ sił poprzecznych,  $EJy''''$  – jednostkowy opór pręta,  $Ny''$  – obciążenie zewnętrzne generujące siły poprzeczne.

Przemieszczenie  $y$  generuje siły poprzeczne stowarzyszone z wyboczeniem.

Nośność krytyczną ściskanych prętów drewnianych z uwzględnieniem wpływu sił poprzecznych Kowal [4] oblicza ze wzoru (2)

$$N_{kr} = \frac{N_e}{1 + \frac{N_e k}{AG_{zr}}} = N_e / \eta \quad (2)$$

gdzie:  $N_e$  – eulerowska nośność krytyczna,  $k$  – współczynnik kształtu przekroju pręta: -1,2 dla przekroju prostokątnego, 1,195 dla kołowego,  $A$  – przekrój pręta,  $G$  – moduł sprężystości poprzecznej drewna.

Współczynnik  $\eta$  wpływu sił poprzecznych zmniejszający nośność krytyczną prętów drewnianych obliczono ze wzoru(3):

$$\eta = 1 + \frac{\pi^2 Ek}{G \lambda^2} \quad (3)$$

gdzie  $\lambda = l_w / i_{\min}$ ,  $l_w$  – długość wyboczeniowa pręta,  $i_{\min}$  – promień bezwładności przekroju.

Na rys. 5 pokazano wykres sporządzony na podstawie [4] współczynnika  $\eta$  zmniejszającego nośność pręta kompozytowego w funkcji  $E/G$  oraz smukłości  $\lambda$ . Wykres sporządzono dla stosunków modułu sprężystości podłużnej  $E$  do modułu sprężystości poprzecznej  $G$  w przedziale od 8 do 60.

Największy wpływ sił poprzecznych na nośność krytyczną prętów drewnianych jest dla prętów o smukłości  $\lambda < 20$ . Im większa smukłość pręta tym bardziej nośność krytyczna pręta kompozytowego zbliża się do nośności eulerowskiej. Przy stałym stosunku  $E/G$  współczynnik  $\eta$  maleje wraz ze zwiększaniem smukłości. Przy stałej smukłości mniejszej od 80 współczynnik  $\eta$  znacząco rośnie wraz ze wzrostem stosunku  $E/G$ .

W miarę zwiększania stosunku  $E/G$  zmniejsza się nośność krytyczna prętów, szczególnie drewnianych, w których  $E/G$  jest rzędu 30.

W odniesieniu do drewna zjawiska te dotyczą prętów bez sęków.

Rys. 5 i 6 ilustrują jak ważna jest matryca w zwiększaniu nośności pojedynczych włókien obciążonych siłami poprzecznymi. Nośność pojedynczych włókien wpływa na nośność całego pręta drewnianego. W celu obliczenia nośności

wherein:  $y_0 = \delta_0 \sin \frac{n\pi z}{l}$  – preliminary deflection,

$y_q$  – influence of transverse forces,  $EJy''''$  – specific resistance of the rod,  $Ny''$  – external load generating transverse forces.

The dislocation  $y$  generates transverse forces associated with buckling.

Critical carrying capacity of compressed wooden rods taking into account the influence of transverse forces, Kowal [4] calculates from equation (2)

wherein:  $N_e$  – Euler's critical carrying capacity,  $k$  – the coefficient of shape of the cross-section of the rod: -1.2 for a rectangular section, 1.195 for a circular section,  $A$  – cross-section area of the rod,  $G$  – the modulus of rigidity of wood.

The coefficient  $\eta$  of the influence of transverse forces reducing critical carrying capacity of wooden rods was calculated from equation (3):

wherein:  $\lambda = l_w / i_{\min}$ ,  $l_w$  – buckling length of the rod,  $i_{\min}$  – radius of inertia of the section.

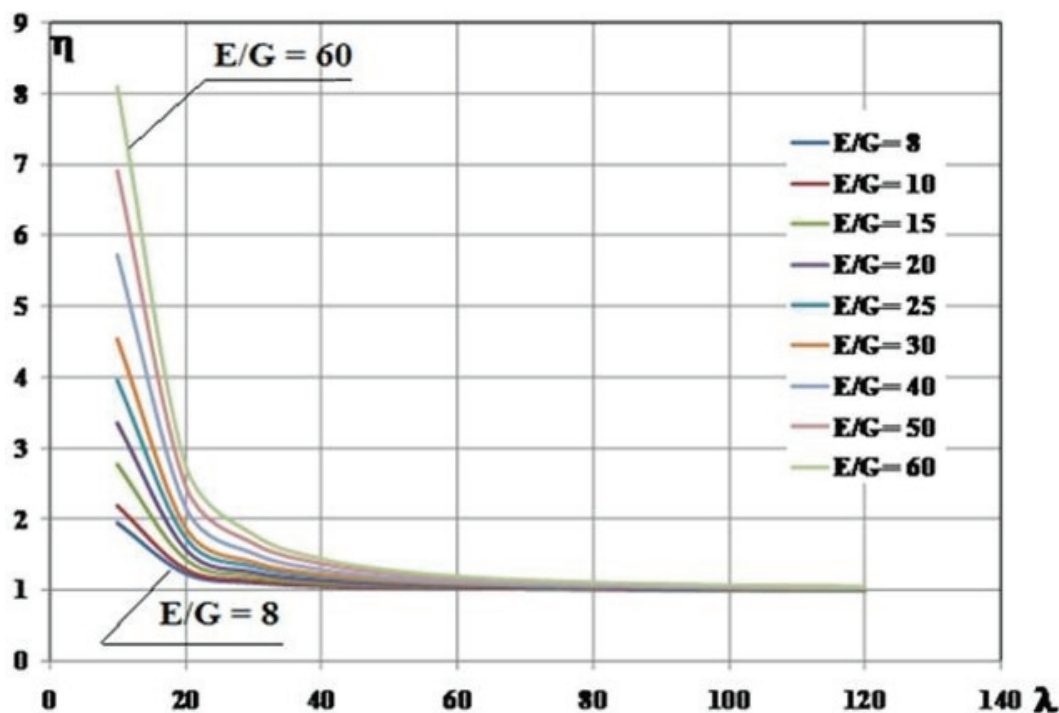
The graph prepared on the basis [4] shown in fig. 5 presents the coefficient  $\eta$  reducing carrying capacity of the composite rod in the function  $E/G$  and slenderness ratio  $\lambda$ . The graph has been prepared for the ratio of longitudinal modulus of elasticity  $E$  to modulus of rigidity  $G$  in the range from 8 to 60.

The largest influence of transverse forces on the critical carrying capacity of wooden rods is for the rods of slenderness ratio  $\lambda < 20$ . The higher the slenderness ratio of the rod, the more the critical carrying capacity of the composite rod approaches to the Euler's carrying capacity. For the constant ratio  $E/G$  the coefficient  $\eta$  diminishes together with the growth of slenderness ratio. For the constant slenderness ratio, lower than 80, the coefficient  $\eta$  significantly grows together with the growth of the ratio  $E/G$ .

As the ratio  $E/G$  increases the critical carrying capacity is reduced for rods, particularly wooden, in which  $E/G$  is in the range of 30.

In the reference to wood these phenomena relate to the rods without knots.

Figs. 5 and 6 illustrate how important the matrix is in enlarging the carrying capacity of single filaments put under load of transverse forces. The carrying capacity of single filaments influences on the carrying capacity of the whole wooden rod. In order



Rys. 5. Wykres współczynników zmniejszających nośność krytyczną prętów ściskanych  
 Fig. 5. Graph of the coefficients which reduce the critical carrying capacity of compressed rods

krytycznej prętów ściskanych z drewna poddanego obróbce termicznej należy zredukować moduł sprężystości podłużnej  $E_{sr} = Ek$ . Należałoby zredukować również moduł sprężystości poprzecznej  $G$ , jednakże w badaniach literaturowych, nie natrafiono na badania modułu sprężystości poprzecznej po obróbce termicznej.

Do wyznaczenia ścieżki równowagi statycznej 3 przyjęto zmniejszenie modułu sprężystości podłużnej według badań z pracy *ThermoWood Handbook*. Zmniejszenie modułów po procesie termicznym przyjęto do poziomu:  $E_t/E_0 = 0,89$ . Ponieważ w literaturze nie znaleziono danych na temat zmian modułu sprężystości  $G$  pod wpływem temperatury, założono, że degradacja będzie co najmniej równa degradacji modułu sprężystości podłużnej  $E$ .

Na rys. 6 pokazano zmniejszenie nośności pręta (krzywa 3), na skutek działania sił poprzecznych i zmniejszenia modułu sprężystości podłużnej drewna wskutek obróbki termicznej. Krzywa 1 obrazuje ścieżkę równowagi statycznej (SRS) bez uwzględniania wpływu sił poprzecznych. Krzywa 2 obrazuje przykład SRS z uwzględnieniem wpływu sił poprzecznych dla  $E/G = 20$ , smukłości  $\lambda = 40$ . Krzywa 3 obrazuje SRS takiego samego pręta z uwzględnieniem degradacji matrycy.

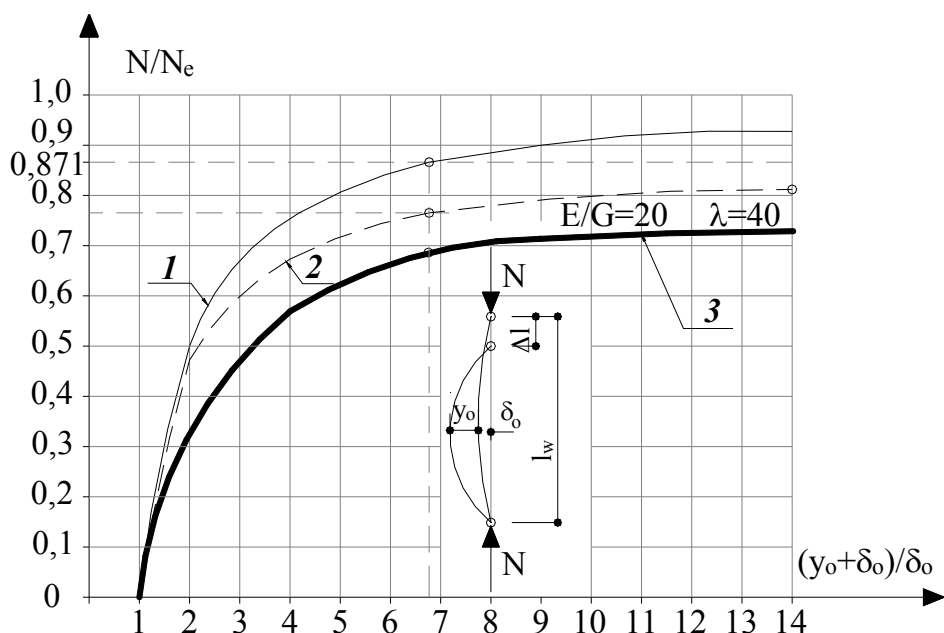
W pracy nie rozpatrywano zjawisk zachodzących w prętach o małej smukłości. Będzie to przedmiotem odrębnej pracy.

to calculate the critical carrying capacity of compressed rods made from the wood subjected to thermal processing the longitudinal modulus of elasticity should be reduced,  $E_{sr} = Ek$ . One should also reduce the modulus of rigidity  $G$ , yet in the literature research no investigation of the modulus of rigidity after the thermal processing have been found.

In order to determine the static equilibrium path 3, it was accepted to decrease the longitudinal modulus of elasticity according to investigations in the work *ThermoWood Handbook*. The decrease in the modulus after the thermal process was accepted to the level:  $E_t/E_0 = 0.89$ . As no data pertaining to the changes of the modulus of elasticity  $G$  under the influence of temperature were found in the literature, it was assumed that degradation will be at least equal degradation of the longitudinal modulus of elasticity  $E$ .

Decrease in carrying capacity of the rod (curve 3), in the consequence of working of transverse forces and the decrease in the longitudinal modulus of elasticity of wood as a result of thermal processing thereof has been shown in fig. 6. Curve 1 illustrates the static equilibrium path (SRS) without taking into account the influence of transverse forces. Curve 2 illustrates an example of SRS with taking into consideration the influence of transverse forces for  $E/G = 20$ , slenderness ratio  $\lambda = 40$ . Curve 3 illustrates SRS of the same rod with taking into consideration the degradation of the matrix.

The phenomena taking place in rods of low slenderness ratio were not considered in the work. This will be the object of a separate work.



Rys. 6. Przykład SRS: 1) bez wpływu sił poprzecznych, 2) z wpływem sił poprzecznych  
 $\delta_0$  – losowa imperfekcja elementu drewnianego  
 Fig. 6. Example SRS: 1) without effect of transverse forces, 2) with effect of transverse forces  
 $\delta_0$  – random imperfection of wooden element

#### 4. Wnioski

Degradacją matrycy można wytłumaczyć rozsiptywanie się prętów drewnianych, w krótkich próbach ściskania odnotowane w pracy [3]. Żle umocowane w matrycy włókna drzewne pękają lawinowo pod wpływem ściskania. W artykule nie rozpatrywano zjawisk zachodzących w prętach o małej smukłości. Będzie to przedmiotem odrębnej pracy.

W podsumowaniu należy podkreślić, że włókniasta budowa drewna upodabnia ten materiał budowlany do kompozytów włóknistych. Zjawisko wyboczenia pojedynczego włókna w matrycy lepko sprężystej przekłada się na globalną nośność ściskanych prętów z drewna z głośzą małej długości.

Z prac Kowala [4], [5] wynika, że nośność kompozytu włóknistego zależy od zamocowania włókien w lepko-sprężystej matrycy. Aby podnieść lub przynajmniej utrzymać wytrzymałość drewna należy zatroszczyć się o matrycę, w której naturalnie rozmieszczone są włókna. Współczesne metody przygotowania desek do budowy prętów z drewna klejonego i jednolitego, pomijają ten fakt, pomimo, że pojawiają się prace różnych badaczy sygnalizujących problem zmniejszania się wytrzymałości drewna zabezpieczonego preparatami solnymi lub metodami przemysłowymi, przed wbudowaniem w konstrukcję.

#### 4. Conclusions

It is the degradation of the matrix that can explain crumbling of wooden rods in the short tests of compression presented in the work [3]. The wood filaments which are poorly fixed in the matrix crack in the avalanche mode under the influence of compression. The phenomena taking place in rods of low slenderness ratio were not considered in the work. This will be the object of a separate work.

It should be pointed out in the summary that fibrous construction of wood makes this building material similar to the fibrous composite materials. The phenomenon of buckling of an individual filament in the viscoelastic matrix can be carried over to the global carrying capacity of compressed rods made from wood, especially of small length.

From Kowal works [4], [5] it results that carrying capacity of fibrous composite material depends on seizing the filaments in the viscoelastic matrix. In order to raise or at least keep at the same level the strength of wood one should take care of the matrix in which the filaments are naturally disposed. The present methods of preparation of boards for constructing beams/rods made from glued wood and made from solid wood, ignore this fact, in spite of various scientists having signaled the problem of decreasing of strength of timber elements which underwent protection with saline preparations or by industrial methods, before building them into the construction.

## Literatura • References

- [1] Kozakiewicz P., Matejak M., *Klimat a drewno zabytkowe*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2002.
- [2] Bednarek Z., Kaliszek-Wietecha A., *Wytrzymałość drewna impregnowanego ogniochronnym środkiem solnym metodą próżniowo-ciśnieniową*, 50. JUBILEUSZOWA KONFERENCJA NAUKOWA Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZTIB „Krynica 2004”, 12-17 września 2004.
- [3] Finnish Thermowood Association, *ThermoWood handbook*; Helsinki 2003; 08.04.2003 [www.thermowood.fi](http://www.thermowood.fi)
- [4] Kowal Z., *Nośność krytyczna słupów drewnianych jako kompozytów włóknistych*, Symposium „Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych”, Szczecin – Międzyzdroje 5-6 września 1996.
- [5] Kowal Z., Trąbski L., *Brittle Fracture of Compressed Composite Rods (Krucze pękanie krótkich ściskanych prętów kompozytowych)*, V International Symposium on Brittle Matrix Composite (BMC5), Warsaw 13-15 October 1997, s. 409-416.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska  
Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland

---

## Streszczenie

W artykule wykazano, że termomechaniczna i chemiczna obróbka hamująca korozję biologiczną wpływa na degradację pozakomórkowej matrycy. Degradacja zmniejsza moduł sprężystości drewna i zmienia mechanizm niszczenia drewna.

Powyższe zjawiska były włączone do teoretycznego oszacowania krytycznej nośności ściskanej belki drewnianej, poddanej traktowaniu termomechanicznemu. Efekt odkształcenia postaciowego był uwzględniony w analizie.

## Abstract

It was indicated in the paper that thermo-mechanical and chemical bio-corrosion inhibiting treatment influences on the extracellular matrix degradation. The degradation decreases the modulus of elasticity of wood and changes the mechanism of wood destruction.

The above phenomena were included in the theoretical estimation of the critical carrying capacity of compressed thermo-mechanically treated timber beams. Non-dilatational strain effect was included in the analysis.

Janusz Broł\*

## Wzmacnianie zginanych belek z drewna klejonego taśmami GARP na etapie produkcji

## Strengthening of bent glued laminated (glulam) beams with GARP tapes at the stage of production

### 1. Wstęp

Dążenie do jak najbardziej efektywnego wykorzystania materiału jest zjawiskiem dosyć powszechnym. Zagadnienie to nie ominęło także konstrukcji wykonywanych z naturalnego materiału, jakim jest drewno. Pierwotnie do budowy obiektów o konstrukcji drewnianych stosowano drewno lite, często obrabiane w sposób minimalny. Wadą takiego wykorzystania drewna są ograniczenia co do maksymalnych wymiarów przekroju elementów, oraz możliwości wykonywania elementów o znacznych rozpiętościach. Rozwój technologii klejenia drewna spowodował możliwość wykonywania elementów z drewna o znacznych przekrojach i długościach, co umożliwiło wykonywanie np. przekryć o konstrukcji drewnianej o dużych rozpiętościach. Dalszy rozwój technologii klejenia oraz rozwój kompozytów włóknistych spowodował możliwość bardziej efektywnego wykorzystywania drewna.

Wykorzystanie kompozytów włóknistych takich jak włókna węglowe, aramidowe lub szklane do wzmacniania konstrukcji drewnianych już na etapie produkcji skutecznie ogranicza zużycie drewna w elementach belkowych.

Wykonywanie wzmocnień konstrukcji włóknami aramidowo-szklanymi jest z praktycznego punktu widzenia analogiczne do wzmocnień wykonywanych innymi kompozytami włóknistymi. Jest to zagadnienie stosunkowo nowe, i słabo opisane w literaturze europejskiej. W dostępnej literaturze zazwyczaj jest tylko wzmiankowana możli-

### 1. Introduction

The endeavor to have the material as effectively utilized as it is possible is a general practice. This approach has found its place also when the constructions executed from such natural material as timber are concerned. Originally for building objects of wooden construction solid timber was applied often with possibly little working done on the wooden elements. The disadvantage of such utilization of timber are limitations as to maximum dimensions of the cross-section of elements, lack of possibility of making the elements of considerable span. Development of technology of gluing timber brought about the possibility of making elements from timber with considerable cross-section and length, which made possible constructing e.g. wooden construction roofing of large span. Further development of gluing technology and development of fibrous composite materials caused the possibility of more effective using of timber.

Utilization of such fibrous composite materials as: carbon fibers, aramid or glass fibers for strengthening wooden constructions already at the stage of production effectively cuts down consumption of timber in beam elements.

Making construction strengthening with the help of aramid-glass fibers is from the practical point of view analogous to strengthening made with the help of other types of fibrous composites. This is a comparatively new question, and in the European literature it is not much described. In the accessible literature it is usually only mentioned



wość wykonywania wzmocnień przy wykorzystaniu włókien aramidowych. Pomimo sporadycznych przykładów literaturowych, obecnie w Europie, w tym również od jesieni 2004 r. w Polsce (rys. 1), powstają nowo wznoszone obiekty z drewna klejonego warstwowo z elementami belkowymi wzmocnionymi, już na etapie produkcji, taśmami AFRP lub GARP.



Rys. 1. Pierwszy obiekt w Polsce z podciągami wzmocnionymi taśmami AFRP

Fig. 1 The first building in Poland with beams strengthened with AFRP bands

Sposób wzmocnienia polega na wklejeniu taśmy z włóknami aramidowymi (ale także aramidowo-węglowych lub szklano-węglowych) pod ostatnią warstwę drewna klejonego lub jako warstwę zewnętrzną, głównie w strefie włókien rozciąganych, ale także w strefie włókien ściskanych. Technologia wykonywania tego typu wzmocnień została opatentowana w USA przez D.A. Tingley'a z Wood Science & Technology Institute, LLC, Corvallis, Oregon U.S.A., oraz doczekała się opracowań normowych w postaci norm amerykańskich [6] i [7]. Według tych autorów to rozwiązanie pozwala zaoszczędzić od 25 do 40% drewna.

W artykule przedstawiono wyniki badań zginanych belek z drewna klejonego, w skali naturalnej, wzmacnianych taśmami zbrojonymi włóknami szklano-aramidowymi (GARP), nie dochodzącymi do podpór. Badania przeprowadzone w Katedrze Inżynierii Budowlanej Politechniki Śląskiej w Gliwicach w warunkach laboratoryjnych w końcowej części zostały rozszerzone o symulacje numeryczne zginanych belek [4].

## 2. Opis i wyniki badań

### 2.1. Opis badań

Badania skuteczności wzmocnień taśmami z włókien szklano-aramidowych zginanych belek z drewna klejonego warstwowo wykonano na modelach o wymiarach przekroju 140\*320 mm oraz długości 6200 mm, przy rozstawie podpór  $18h = 5760$  mm. W badaniach wykorzystano trzy rodzaje modeli:

- 5 modeli niewzmocnionych – oznaczonych w badaniach jako belki nr 1.11 do 1.15, wykonanych z drewna świerkowego klasy GL28 (rys 2a),
- 5 modeli wzmocnionych wewnętrznie – oznaczonych w badaniach jako belki nr 1.21 do 1.25,

that there exists a possibility of making strengthening with the use of aramid fibers. In spite of only sporadic literature examples, at present in Europe, including also Poland since autumn 2004 (fig. 1), new objects are raised, made from timber glued in layers with beam elements strengthened, already at the stage of production, with AFRP or GARP tapes. The way

of strengthening consists in inserting the tape made from aramid fibers (but also aramid-carbon or glass-carbon) under the last layer of the glued timber or as the external shell, mainly in the zone of stretched fibers, but also in the zone of compressed fibers. The technology of executing this type of strengthening was patented in the USA by D.A. Tingley from Wood Science & Technology Institute, LLC, Corvallis, Oregon U.S.A., and it has become the object of normative studies in the form of American Standards [6] and [7]. According to these authors, this solution allows to save from 25 to 40% timber.

The results of investigations in the natural scale of bent beams made from glued timber, strengthened with reinforcing tapes made from glass-aramid fibers (GARP), not coming up to the points of supporting, have been presented in this article. Investigations were carried out in laboratory conditions in the Building Engineering Department of Silesian Technical University in Gliwice, and in the final part become extended onto numeric simulations of bent beams [4].

## 2. Description and results of investigations

### 2.1. Description of the investigations

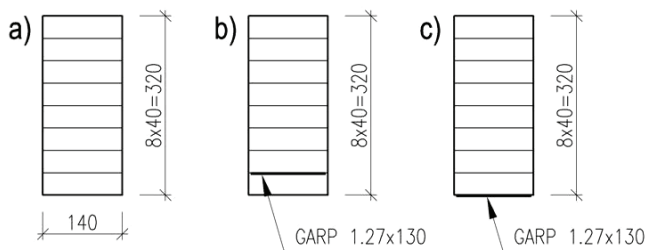
The investigation of strengthening effectiveness of bent beams made from layer glued timber strengthened with glass-aramid tapes has been made on models. Beams of the cross-section dimensions 140 \* 320 mm and of 6200 mm in length, with the spacing of supports  $18 h = 5760$  mm were used as models. Three kinds of models were used in the investigations:

- 5 models – not strengthened – designed in the investigations as beams nos. 1.11 to 1.15, made from the spruce wood of the class GL28 (fig. 2a),
- 5 models – strengthened internally – designed in the investigations as beams nos. 1.21 to 1.25,

wykonanych z drewna świerkowego klasy GL28 oraz wzmocnionych taśmą z włókien aramidowych wklejoną w przekrój belki w strefie środkowej (patrz rys 2b), wymiary taśmy GARP 1,27\*130\*3500 mm,

- 5 modeli wzmocnionych zewnętrznie – oznaczonych w badaniach jako belki nr 1.31 do 1.35. wykonanych z drewna świerkowego klasy GL28 oraz wzmocnionych taśmą z włókien aramidowych doklejoną do dolnej powierzchni belki w strefie środkowej (rys 2c), wymiary taśmy GARP 1,27\*130\*3500 mm.

Łącznie przebadano 15 modeli przygotowanych w warunkach przemysłowych przez firmę z Austrii. W trakcie badania dokonywano pomiaru wielkości ugięć dla poszczególnych poziomów obciążenia oraz wielkości siły niszczącej. Dodatkowo po dwa modele w poszczególnych grupach badano z tensometrycznym pomiarem odkształceń drewna w strefie środkowej belek, w celu określenia wpływu wzmocnienia na położenie osi obojętnej. W dwóch modelach ze wzmocnieniem doklejonym od dołu dokonano również pomiaru odkształceń taśmy. Wyników z pomiarów tensometrycznych nie zamieszczono w tym artykule, było one potrzebne do porównań z badaniami numerycznymi zamieszczonymi w [4]. Schemat badania modeli przedstawiano na rys. 3.

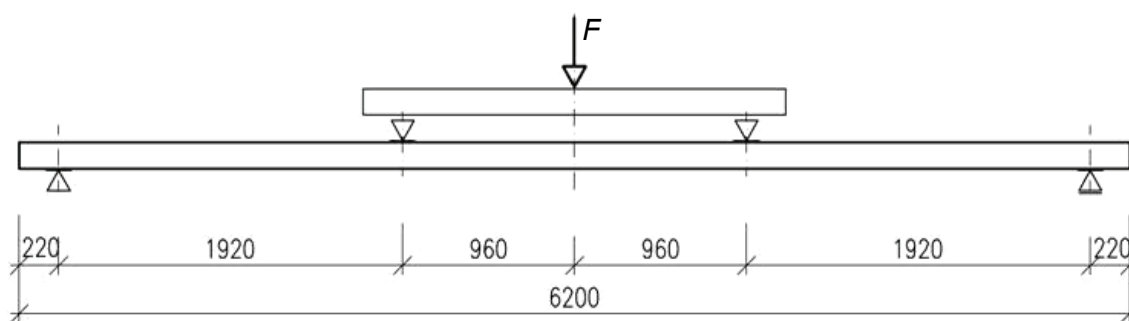


Rys. 2. Przekroje belek: a) niewzmocnionych; b) wzmocnionych wewnątrz; c) wzmocnionych zewnętrznie  
 Fig. 2. Cross-sections of the beams: a) non-strengthened; b) strengthened internally; c) strengthened externally

made from spruce wood of the class GL28 and strengthened with the tape from aramid fibers inserted in the cross-section of the beam in the central zone (see fig. 2b), dimensions of the tape GARP 1.27\*130\*3500 mm,

- 5 models – strengthened from outside – designed in the investigations as beams nos. 1.31 to 1.35, made from spruce wood of the class GL28, strengthened with the tape from aramid fibers glued on the bottom surface of the beam in the central zone (fig. 2c), dimensions of the tape GARP 1.27\*130\*3500 mm.

Altogether 15 models prepared in industrial conditions by a firm from Austria underwent testing. During the tests the magnitude of deflection for individual levels of load and the magnitude of destructive force were measured. Moreover, two models from each group were studied with tensometric measurement of the strains of the wood in the central zone of beams, in order to determine the influence of strengthening on the positioning of the neutral axis. The measurement of strains of the tape were also executed in two models with strengthening glued on from the bottom side. The results of tensometric measurements have not been put in this article, they were necessary for comparisons with numeric investigations presented in [4]. The pattern of investigation of models has been presented in fig. 3.



Rys. 3. Schemat obciążenia  
 Fig. 3. Scheme of applying the load

## 2.2. Wyniki badań laboratoryjnych i opis postaci zniszczenia

Wielkości sił niszczących uzyskanych w trakcie badań laboratoryjnych, poszczególnych belek z drewna klejonego warstwowo, niewzmocnionych oraz wzmocnionych, przedstawiono w tab. 1.

## 2.2. Results of laboratory investigations and description of the form of destruction

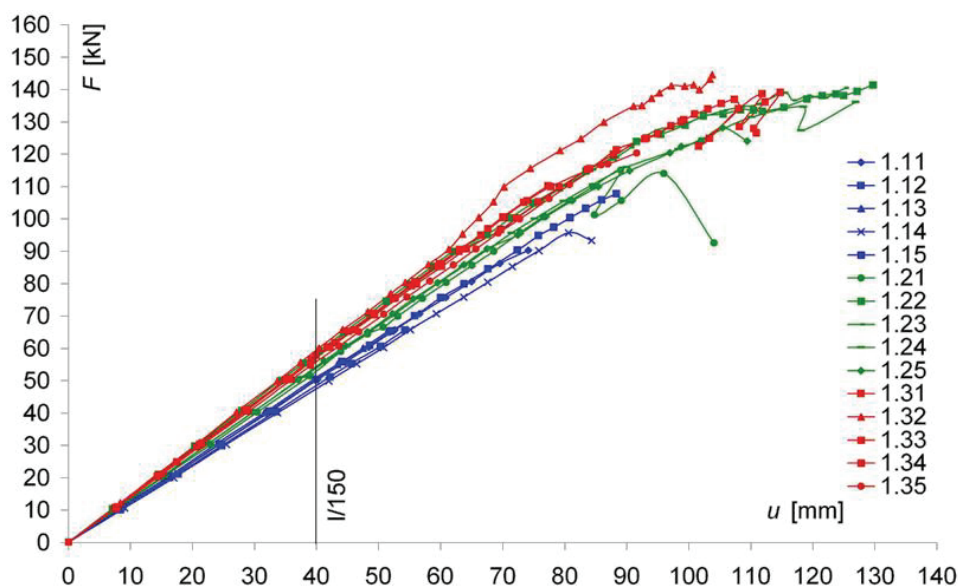
The magnitude of destructive forces obtained during the laboratory investigations, for individual beams made from timber glued in layers, not strengthened and strengthened, have been presented in table 1.

Tab. 1.

Nr belki <i>Beam No.</i>	Siła niszcząca [kN] <i>Destructive force [kN]</i>	Nr belki <i>Beam No.</i>	Siła niszcząca [kN] <i>Destructive force [kN]</i>	Nr belki <i>Beam No.</i>	Siła niszcząca [kN] <i>Destructive force [kN]</i>
1.11	90,3	1.21	117,0	1.31	138,0
1.12	107,7	1.22	141,3	1.32	144,6
1.13	67,0	1.23	140,5	1.33	130,1
1.14	95,7	1.24	136,1	1.34	176,0
1.15	67,0	1.25	124,1	1.35	130,0
Wartość średnia [kN] <i>Average value [kN]</i>	85,5		131,8		143,7
Odch. standardowe <i>Standard deviation</i>	18,1		10,8		19,0
Wytrzymałość [%] <i>Strength [%]</i>	100		154		168

Zależność ugięć od siły obciążającej przedstawiono na rys 4. Pomiaru wielkości ugięć nie prowadzono do pełnego zniszczenia. Z uwagi na badania elementów w skali naturalnej i niebezpieczeństwo uszkodzenia czujników, były one zdemontowywane po pojawieniu się pierwszych oznak zniszczenia. W tabelicy 1 oprócz wielkości sił niszczących dla poszczególnych belek, podano również wielkości średnie oraz odchylenie standardowe dla poszczególnych typów belek. Jak widać wzmocnianie elementów zginanych taśmami GARP wpływa korzystnie na nośność i sztywność belek zginanych, z tym, że wzrost sztywności jest niewielki, natomiast wzrost nośności jest istotny.

Dependence of deflection from the applied loading force has been presented in fig. 4. The measurement of the magnitude of deflection was not carried out to the point of complete destruction. Regarding the natural scale of tested elements and the danger of damage of sensors, they were taken off after the first signs of the destruction had appeared. In table 1 in addition to the magnitude of destructive forces for individual beams, average value and standard deviation have been also presented for individual types of beams. What can be seen from the results is that strengthening of bent elements with tapes GARP profitably influences on carrying capacity and the rigidity of the beams bent, with the provision that the growth of rigidity is little, but the growth of carrying capacity is essential.



Rys. 4. Wykres zależność  $F - u$  dla wszystkich modeli  
Fig. 4. Relationship  $F - u$  for all models

Zniszczenie belek nie wzmocnionych z drewna klejonego następowało zawsze poprzez pęknięcie włókien drewna w strefie włókien rozciąganych. Zastosowanie wzmocnienie w postaci taśmy GARP wklejonych w przekrój (rys. 2b) istotnie

The destruction of not strengthened beams made from glued timber always occurred by disrupting the fibers of wood in the zone of stretching the fibers. The applied strengthening in the form of the GARP tape inserted in the cross-section (fig. 2b) indeed

zmienia postać zniszczenia. W pierwszej kolejności zniszczenie następuje w strefie włókien ściskanych (uplastycznienie drewna) o wysokości ok. 40 do 80 mm, w dalszej kolejności następuje odspojenie się taśmy od drewna i zniszczenie belki. Belki ze wzmocnieniem doklejonym od spodu (rys. 2c) niszczą się głównie poprzez uplastycznienie się strefy ściskanej, w dwóch przypadkach jednak nastąpiło zniszczenie poprzez odspojenie się taśmy od drewna. Przykładowe formy zniszczenia belek wzmocnionych pokazano na rys. 5.



changed the form of destruction. The destruction occurs first of all in the zone of compressed fibers (plastification of the wood), the height is approx. 40 to 80 mm, then comes detaching of the tapes from the wood and destruction of the beam. Beams with strengthening glued on from the bottom side (fig.2c) are damaged mainly by plastification of the zone squeezed, however, in two cases there occurred destruction by detaching of the tapes from the wood. The example forms of destruction of strengthened beams have been shown in fig. 5.



Rys. 5. Przykładowe obrazy zniszczenia belek wzmocnionych  
Fig. 5. Exemplary modes of failure of strengthened beams

### 3. Sposób szacowania nośności belek zginanych wzmocnionych taśmami FRP

Jedynie normy, które uwzględniają problematykę wzmocniania konstrukcji drewnianych (klejonych) za pomocą kompozytów włóknistych są normy amerykańskie [6] i [7]. W normach tych przedstawiono sposób wyznaczania nośności i sztywności wzmocnionych już na etapie produkcji, belek drewnianych z drewna klejonego ze wzmocnieniem w strefie włókien rozciąganych, lub w strefie włókien rozciąganych i ściskanych. W normie uwzględniono również projektowanie wzmocnienia na środkowym odcinku belki – wzmocnienie nie doprowadzone do podpory.

Minimalny procent zbrojenia powinien być nie mniejszy niż 0,25%, natomiast maksymalny procent zbrojenia powinien być nie większy niż 2% w przypadku zbrojenia pojedynczego oraz 4% w przypadku zbrojenia podwójnego. Taśmy z materiałów kompozytowych mogą być wklejane w przekrój belki (pod ostatnią warstwę – rys. 6), bądź przyklejane do dolnej i górnej powierzchni.

W wyznaczeniu położenia osi bezwładności przekroju przy zginaniu poczyniono następujące założenia (wg [6] [7]):

### 3. The way of estimating carrying capacity for bent beams strengthened with FRP tapes

American Standards are the only standards which take into account the problems of strengthening of wooden constructions (glued) with the help of fibrous composites [6] and [7]. In these standards the way of determining carrying capacity and rigidity of wooden beams made from glued timber, strengthened already at the stage of production, with strengthening in the zone of stretched fibers or in the zone of fibers stretched and compressed, has been introduced. The standard also includes designing of the strengthening in the central section of the beam – strengthening not brought to the point of support.

Minimum percentage of the reinforcement should be not less than 0.25%, however, the maximum percentage of the reinforcement should be not larger than 2% in the case of single reinforcement and 4% in the case of the double reinforcement. Tapes from composite materials can be inserted in the cross-section of the beam (under the last layer – fig. 6), or glued on the bottom and upper surface.

The following assumptions have been made in order to determine the axis of inertia of the cross-section when bending (according to [6] [7]):

- rozróżniono moduły sprężystości drewna wzdłuż włókien przy ściskaniu i przy rozciąganiu,
- moduł sprężystości drewna przy rozciąganiu sprowadzono do modułu sprężystości drewna wzdłuż włókien przy ściskaniu za pomocą współczynnika

- the modulus of elasticity of the wood along the fibers when stretching has been distinguished from the modulus of elasticity when compressing,
- modulus of elasticity of the wood when stretching has been reduced to the modulus of elasticity of wood along fibers when compressing by using the coefficient

$$n' = \frac{E_{t,0,mean}}{E_{c,0,mean}} \quad (1)$$

- moduł sprężystości taśmy FRP przy rozciąganiu sprowadzono do modułu sprężystości drewna wzdłuż włókien przy ściskaniu za pomocą współczynnika

- the modulus of elasticity of the FRP tape when stretching has been reduced to the modulus of elasticity of wood along fibers when compressing using the coefficient

$$n = \frac{E_f}{E_{c,0,mean}} \quad (2)$$

gdzie:  $E_f$  – moduł sprężystości taśmy FRP przy rozciąganiu,  
 $E_{t,0,mean}$  – średni moduł sprężystości drewna przy rozciąganiu wzdłuż włókien,  
 $E_{c,0,mean}$  – średni moduł sprężystości drewna przy ściskaniu wzdłuż włókien.

wherein:  $E_f$  – modulus of elasticity of FRP tape when stretching,  
 $E_{t,0,mean}$  – average modulus of elasticity of wood when stretching along the fibers,  
 $E_{c,0,mean}$  – average modulus of elasticity of wood when compressing along the fibers.

Dla tak sprowadzonych modułów sztywności wysokość strefy ściskanej, w rozwiązaniu ze zbrojeniem tylko strefy rozciąganej, wynosi:

For so brought together moduluses of rigidity the height of the compressed zone, in the solution with the reinforcement of the stretched zone only, equals:

$$a = a' + M_t - N_t \quad (3)$$

gdzie:

wherein:

$$a' = h \frac{\sqrt{n'}}{1 + \sqrt{n'}} \quad (4)$$

$$N_t = n' d_1 (n - 1)^{0,63} \frac{t_f}{a'} \quad (5)$$

$$M_t = n' (n - 1)^{0,63} t_f \quad (6)$$

gdzie (oznaczenia na rys. 6):

- $h$  – wysokość belki,
- $t_f$  – grubość taśmy FRP,
- $t_1$  – grubość „otuliny” taśmy,
- $d_1$  – środek ciężkości zbrojenia.

Po wyznaczeniu osi obojętnej wzmocnionego elementu, obliczono moment bezwładności  $I_z$  sprowadzonego przekroju z wykorzystaniem twierdzenia Steinera:

wherein (designation as in fig. 6):

- $h$  – height of the beam,
- $t_f$  – thickness of the FRP tape,
- $t_1$  – thickness of ‘cleading’ of the tape,
- $d_1$  – centre of gravity of the reinforcement.

After determining the inert axis of the strengthened element, the moment of inertia  $I_z$  was calculated for the reduced cross-section with the use of the Steiner’s theorem:

$$I_z = \frac{b a^3}{3} + \frac{b n' h_t^3}{3} + b n t_1 \left[ \frac{t_1^2}{12} + (c - d_1)^2 \right] + b n' t_1 \left[ \frac{t_1^2}{12} + \left( c - \frac{t_1}{2} \right)^2 \right] \quad (7)$$

gdzie:

wherein:

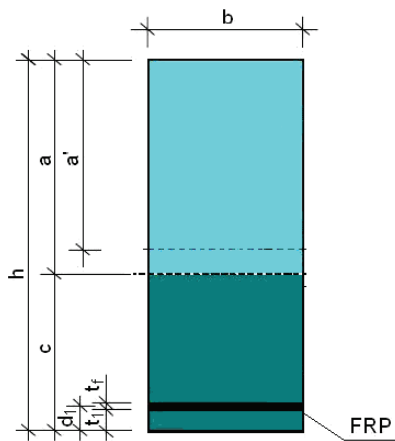
$$h_t = h - a - t_1 - t_f \quad (8)$$

$$c = h - a \quad (9)$$

Dla tak wyznaczonego spowodowanego momentu bezwładności ugięcie obliczane jest ze znanych wzorów z teorii sprężystości, w zależności od schematu obciążenia, z uwzględnieniem spowodowanego momentu bezwładności oraz średniego modułu sprężystości przy zginaniu  $E_{0, mean}$ .

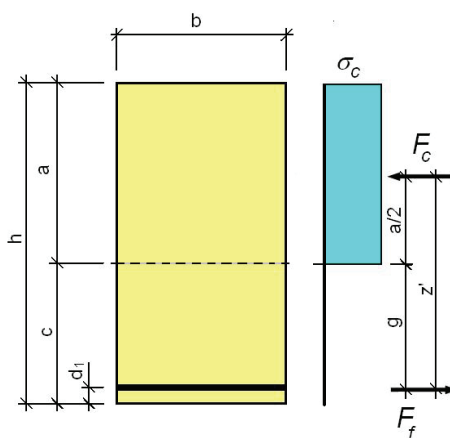
W [6] i [7] nośność przekroju wzmocnionego wyznaczana jest przy założeniu pełnego uplastycznienia strefy ściskanej (rys. 7). O nośności decyduje wyczerpanie nośności strefy ściskanej drewna. W wyznaczeniu nośności pominięto udział drewna w strefie włókien rozciąganych. Zakłada się, że naprężenia rozciągane przenosi taśma FRP, analogia do obliczania przekrojów żelbetowych. Poniżej przedstawiono sposób wyznaczenia nośności dla belek zginanych zbrojonych w strefie włókien rozciąganych.

Dla tak poczynionych założeń dopuszczalny moment przenoszony przez przekrój wynosi:



Rys. 6. Geometria przekroju i sposób wzmocnienia belek wg [7]

Fig. 6. Geometry of the cross-section and the method of strengthening of beams acc. to [7]



Rys. 7. Schemat obliczeniowy wg [7]

Fig. 7. Designing scheme acc. to [7]

For so determined reduced moment of inertia the deflection is calculated from well-known formulae from the theory of elasticity, depending on the pattern of the deflection, taking into consideration the reduced moment of inertia and the average modulus of elasticity for bending  $E_{0, mean}$ .

In [6] and [7] the carrying capacity of the strengthened cross-section is determined at the assumption of complete plastification of the zone compressed (fig. 7). The carrying capacity is decided upon by exhaustion of the carrying capacity of compressed zone of wood. The part of the wood where the fiber are stretched was neglected in determining of carrying capacity. It is assumed, that the tensile stress is carried by the FRP tape, this is analogical to the calculation of cross-sections for reinforced concrete. The way of determining carrying capacity for the bent beams reinforced in the zone of stretched fibers has been presented below.

For so made assumptions the admissible moment transferred by the cross-section is:

$$M_r = F_c * z', \quad (10)$$

gdzie:

wherein:

$$F_c = \sigma_c * a * b \quad (11)$$

$$z' = \frac{a}{2} + g = \frac{a}{2} + (c - d_1) = h - \frac{a}{2} - d_1 \quad (12)$$

Naprężenia rozciągające w taśmie FRP wyznaczono według wzoru:

Tensile stresses in the FRP tape have been determined according to the formula:

$$\sigma_f = \frac{M_r * (g + \frac{t_f}{2}) * n}{I_z} \quad (13)$$

Dopuszczalne naprężenia ścinające dla belek zbrojonych wyznaczano ze wzoru:

Admissible shearing stress for reinforced beams have been determined from the formula

$$\tau_f = \frac{2}{3} * f_v' * b * h \quad (14)$$

gdzie:

wherein:

$$f_v' = f_v + 20 \ln(x) \quad (15)$$

#### 4. Wnioski

Wzmacnianie belek drewnianych taśmami kompozytowymi może być ciekawą alternatywą podniesienia nośności i sztywności elementów zarówno już istniejących konstrukcji, jak i dopiero projektowanych. Dalszy rozwój technologii klejenia oraz rozwój kompozytów włóknistych spowodował również możliwość bardziej efektywnego wykorzystywania drewna. Wykorzystanie kompozytów włóknistych takich jak: włókna węglowe, aramidowe lub szklane do wzmacniania konstrukcji drewnianych już na etapie produkcji skutecznie ogranicza zużycie drewna w elementach belkowych.

W przedstawionych badaniach, na elementach w skali technicznej, stwierdzono, że sztywność wzrosła w małym zakresie (ugięcia zmalały o ok. 15%), natomiast średni wzrost nośności jest znaczny (o nawet 68%). Jak wynika także z badań [1], [2], [3], [4], [5] wykonywanie wzmocnień zginanych belek drewnianych kompozytami włóknistymi wpływa korzystnie przede wszystkim na nośność. Rozwiązanie to powinno być wykorzystywane szczególnie tam, gdzie o nośności elementu decyduje pierwszy stan graniczny – wytrzymałość materiału. Stosowanie tego rozwiązania w przypadku ograniczenia wielkości ugięć jest rozwiązaniem mniej efektywnym, ale możliwym. Celowym było by wtedy stosowanie taśm o wyższym module sprężystości.

Przedstawiony w punkcie 3 ogólny zarys metody szacowania nośności wg [6] i [7] jest ciekawym podejściem obliczeniowym dającym realne wyniki obliczeń. Jednak jest to metoda bazująca na stałych materiałowych „amerykańskich” i nie jest łatwa do bezpośredniego przełożenia do warunków krajowych, chociażby z uwagi na rozróżnienie modułów sprężystości przy ściskaniu i rozciąganiu a w związku z tym istnieje konieczność przyjmowania pewnych uproszczeń.

Analiza zawarta w pracy może być przydatna w zastosowaniu elementów z drewna klejonego warstwowo w obiektach historycznych w miejsce często stosowanych, nowo projektowanych konstrukcji z profili stalowych.

#### 4. Conclusions

Strengthening of wooden beams with composite tapes may be an interesting alternative for increasing carrying capacity and rigidity of elements both in already existing constructions and in only designed. Further development of the technology of gluing and development of fibrous composites has brought about the possibility of more effective using of timber. Utilization of such fibrous composites as carbon, aramid or glass fibers for strengthening wooden constructions already at the stage of production effectively cuts down consumption of timber in beam elements.

In the introduced investigations, on the elements in technical scale, it was found that rigidity grew up in a small range (the deflections decreased by approx. 15%), however the average growth of carrying capacity was considerable (even about 68%). As it also results from investigations [1], [2], [3], [4], [5] strengthening of bent wooden beams with fibrous composites positively influences first of all on carrying capacity. This solution should be applied especially where the first boundary state – the strength of material - decides about the carrying capacity of the element. Applying this solution in the case of limitation of the magnitude of deflection makes a less effective solution, but still possible. In such a case it would be purposeful applying tapes having higher modulus of elasticity.

Introduced in the point 3 general outline of the method of estimating carrying capacity according to [6] and [7] is an interesting computational approach giving realistic results of calculations. However, this is the method based on ‘American’ constants for material and it is not easy to be directly shifted to our domestic conditions, concerning the distinction between the moduluses of elasticity when stretching and when compressing, and due to this there is the necessity of accepting certain simplifications in the method.

The analysis described in the paper can be used in application of GLULAM timber structures in historical objects instead new designed structural steels profiles.

#### Literatura • References

- [1] Broł J., *Wzmacnianie stropów drewnianych taśmami z włókien węglowych*, VI Konferencja naukowa „Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych”, Międzyzdroje 27-29 maja 2004.
- [2] Broł J., Grygierek K., *Wzmacnianie zginanych belek drewnianych taśmami CFRP*, Conference on New Trends in Static and Dynamics of Buildings Bratislava, Slovakia, Faculty of Civil Engineering STU Bratislava Slovak Society of Mechanics SAS, October 20-21, 2005.

- [3] Brol J., *Skuteczność wzmacniania belek drewnianych taśmami CFRP*, VII Konferencja naukowa „Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych”, Międzyzdroje 12-13 maja 2006.
- [4] Brol J., Grygierek K., *Wzmacnianie zginanych belek z drewna klejonego taśmami GARP nie dochodzącymi do podpór*, 5<sup>th</sup> International Conference “New Trends on Statics and Dynamics of Buildings”, Bratislava Slovakia, 19 – 20 October, 2006, s. 51-54.
- [5] Brol J., *Wzmacnianie konstrukcji drewnianych kompozytami włóknistymi*, Konferencja „Problemy remontowe u budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych” REMO’2006, Wrocław – Kliczków, 6-8 grudnia 2006, stron 8; praca zbiorowa pod red. Jansieński J. i in., Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, Wrocław, 2006, s. 200-207.
- [6] Norma amerykańska US standard ICBO/Uniform Building Code 5100.
- [7] Norma amerykańska US standard ICBO/Uniform Building Code 6046.

---

\* Politechnika Śląska, Gliwice, Polska  
Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

---

## Streszczenie

Możliwości wzmocnienia belek z laminowanego klejonego drewna (glulam) równoległe do włókien, aby zwiększyć wytrzymałość na zginanie i sztywność osiową i ich obciążenie niszczące, były badane od szeregu lat. Jedną z metod polega na zastosowaniu taśm z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem (FRP) w roli rozciągliwego wzmocnienia. Zastosowano włókno szklane, aramidowe i węglowe. W artykule przedstawiono badania charakterystyk obciążenie – odkształcenie dla wzmocnionych belek glulam. W artykule zostały przedstawione testy w pełnej skali dla elementów wykonanych z laminowanego klejonego drewna wzmocnionych taśmami GARP.

## Abstract

The possibilities to reinforce glulam beams parallel to the fibers in order to increase bending and axial stiffness and ultimate load have been investigated for several years. One method consists in using Fiber-Reinforced Plastics (FRP) as tensile reinforcement. The fibers used were glass fibers, aramid fibers and carbon fibers. In the paper the load-deformation performance of reinforced glulam beams was studied. In this paper, full-scale tests of the elements made from glue-laminated timber reinforced with GARP strips have been presented.



Tomasz Tomaszek

## Ikonostas cerkwi z Miękisz Starego (krótka analiza konserwatorska)

### The iconostasis from the ceriew in Miękisz Stary (a brief conservational analysis)

Architektura drewniana jest jedną z najstarszych tradycji budowlanych rozpowszechnionych na terenie Polski. Szczególną rolę odegrała ona na terenach południowowschodnich, gdzie nastąpiło zderzenie dwu odłamów chrześcijańskiej religii: łacińskiego i bizantyńskiego. Tam też, na obecnych terenach województwa lubelskiego i podkarpackiego, do rozkwitu doszła zupełnie odrębna i architektonicznie unikalna grupa drewnianych świątyń, znanych w Polsce pod nazwą „cerkwi”.

Jak zauważa prof. Kadłuczka [8], „Te drewniane świątynie, wybudowane na obszarze wpływów tradycji ortodoksyjnych, są unikalnym przykładem połączenia podłużnego planu, który był niezmiernie popularny w kościołach Rzymsko-Katolickich, z centralnym planem, generalnie stosowanym we Wschodnio-Europejskiej i Bizantyjskiej kulturze.”<sup>1</sup>

Spośród zachowanych do dzisiaj budowli z tych terenów, na szczególną uwagę zasługuje drewniana świątynia greckokatolicka p.w. Pokrow Bogurodzicy z Miękisz Starego (XVII-XIX w.) (rys. 1), adaptująca na gruncie drewnianego budownictwa cerkiewnego rozwiązania konstrukcyjne i stylistyczne właściwe barokowej monumentalnej architekturze. Jest ona prawdopodobnie „( ) jedynym zachowanym przykładem drewnianej architektury cerkiewnej w południowo-wschodniej Polsce inspirowanej w szerokim zakresie murowanym barokowym budownictwem sakralnym. W tym nurcie mieści się również iluzjonistyczne malarstwo monumentalne, zdobiące powierzchnie ścienne i sklepienne nawy, babinca i prawdopodobnie sanktuarium (tam pod późniejszym przemalowaniem).”<sup>2</sup>

Wooden architecture is one of the oldest traditions of building prevalent in Poland. It has played the particular role in the southeastern areas of the country, where there was a clash of two factions of the Christian religion: Roman and Byzantine. There also, in the current areas of Lubelskie and Podkarpackie provinces, came to the splendor a completely separate and structurally unique group of wooden churches, known in Poland under the name „cerkiew”, (Orthodox church).

As pointed out by Kadłuczka [8], „These wooden temples, built in the circle of the Orthodox religion, are unique examples of a combination of a longitudinal plan that was widespread in Roman Catholic churches with a central layout, generally applied in the Eastern European and Byzantine culture”<sup>1</sup>.

Among the structures from this region, which have survived until today, the special attention deserves a wooden Greek-Catholic temple of the Protection of the Purest Mother of God from Miękisz Stary (XVII-XIX century) (fig. 1). It assimilated, on the basics of the building tradition of the wooden Orthodox churches, stylistic and design solutions appropriate to the monumental Baroque architecture. It is probably „(...) the only surviving example of wooden architecture of the Orthodox church in south-eastern Poland, inspired by a wide range of masonry construction of the Baroque churches. This trend is emulated also by the illusionist, monumental paintings, decorating wall surfaces and the vaulting of the nave, porch and probably the sanctuary (where the subsequent repainting).”<sup>2</sup>



Rys. 1. Cerkiew w Mięksiszu Starym, fotografia z 1987 roku, (z archiwów Zbiorów Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie)  
 Fig. 1. Cerkiew in Mięksisz Stary, 1987 (from the archives of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle)

Do podstawowego wyposażenia cerkwi należał również wielostrefowy, ramowy ikonostas, wykonany około 1815 roku, a przewieziony z pozostałym ruchomym wyposażeniem cerkwi do Wojewódzkiej Składnicy Zabytków Ruchomych w Łańcucie w 1964 i 1965 roku<sup>3</sup>.

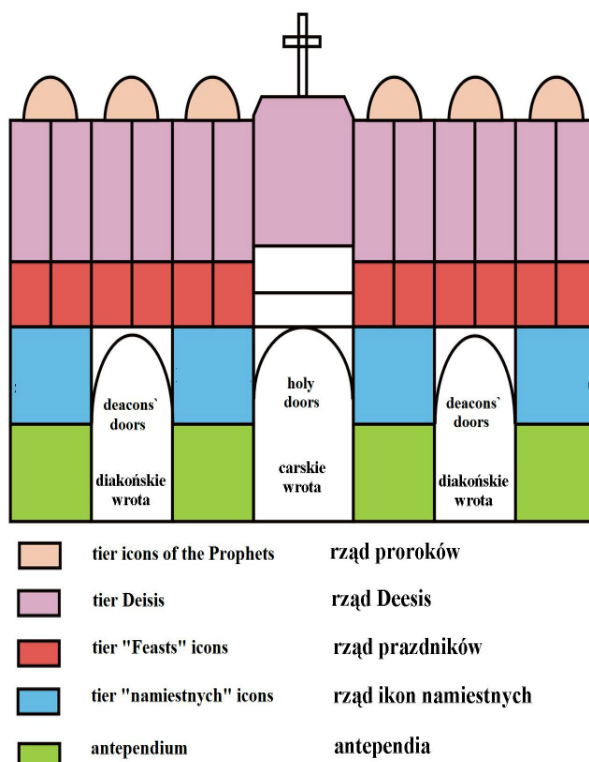
Pomimo swojego wyjątkowego miejsca w historii architektury, cerkiew w Mięksiszu Starym chyli się obecnie ku całkowitej ruinie i wymaga podjęcia natychmiastowych prac ratunkowych, remontowych i konserwatorskich. Jednym z przedsięwzięć gwarantującym powrót do jej dawnej świetności powinna być konserwacja oryginalnego ikonostasu i jego powrót na pierwotne miejsce w świątyni.

Ikonostas z cerkwi w Mięksiszu Starym jest w miarę typowym przykładem XIX wiecznego ikonostasu z tych terenów (rys. 2). Posiada on wysoką strefę ikon namiestnych, rozczłonkowaną pilastrami, z wrotami carskimi i parą drzwi diakańskich, poszerzoną o dwurzędowe boczne kioty. Powyżej rzędu namiestnego znajdują się dwa pasy cyklu ikon świątecznych z centralnie umiesz-

The basic equipment for the temple was also multi-zone iconostasis, made around 1815 and transported from the church together with the other movable furniture to the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle in 1964 and 1965.<sup>3</sup>

Despite its unique place in the history of architecture, the Orthodox church in Mięksisz Stary is coming now to the total ruin and require urgent work of rescue, repair and maintenance. One of the projects that ensure a return to its former glory should be the preservation of the original iconostasis and its return to the original place in the temple.

The iconostasis of the Orthodox church in Mięksisz Stary is a typical example of nineteenth century iconostasis of these sites (fig. 2). It has high tier "namiestnych" icons, dismembered by pilasters, with a Holy Doors and the pair of the Deacons' Doors, extended to two-row side "kioty". Above this there are two rows of the "Feasts" icons with the image of the Last Supper in the center. Traditionally, the tier Deisis icons is located above it. And finally, in the



Rys 2. Schemat ikonostasu  
 Fig. 2. Diagram of the iconostasis

czonym obrazem Ostatniej Wieczerzy. Powyżej umieszczony został tradycyjnie rząd Deesis. W zwieńczeniu znalazły się obrazy Proroków i Bogurodzicy Panagii oraz duży krzyż z rzeźbioną figurą Chrystusa.

Archiwalne zdjęcie przedstawiające wnętrze cerkwi wraz z ikonostasem (rys. 3), oraz szkice wykonane podczas późniejszej jego rozbiórki (rys. 4), stanowią unikatową dokumentację o niezwykle ważnym znaczeniu konserwatorskim. Stanowi ona wyznacznik tego, w jaki sposób ikonostas powinien być na nowo złożony razem i pokazuje jak był on umiejscowiony w świątyni.

crowning on the top of the iconostasis there are icons of the Prophets, the Mother of God (*Panagii*) and a large cross with a carved figure of Christ.

The archive photo, showing the interior of the church together with iconostasis, (fig. 3) as well as the sketches made during his subsequent demolition, (fig. 4) make a unique documentation of a conservational importance. It is a determinant of how the iconostasis should be re-submitted together and shows how it was placed in the temple.

According to the preliminary studies, conducted by the author of this coverage during the early October 2009 in the collections of the Department of



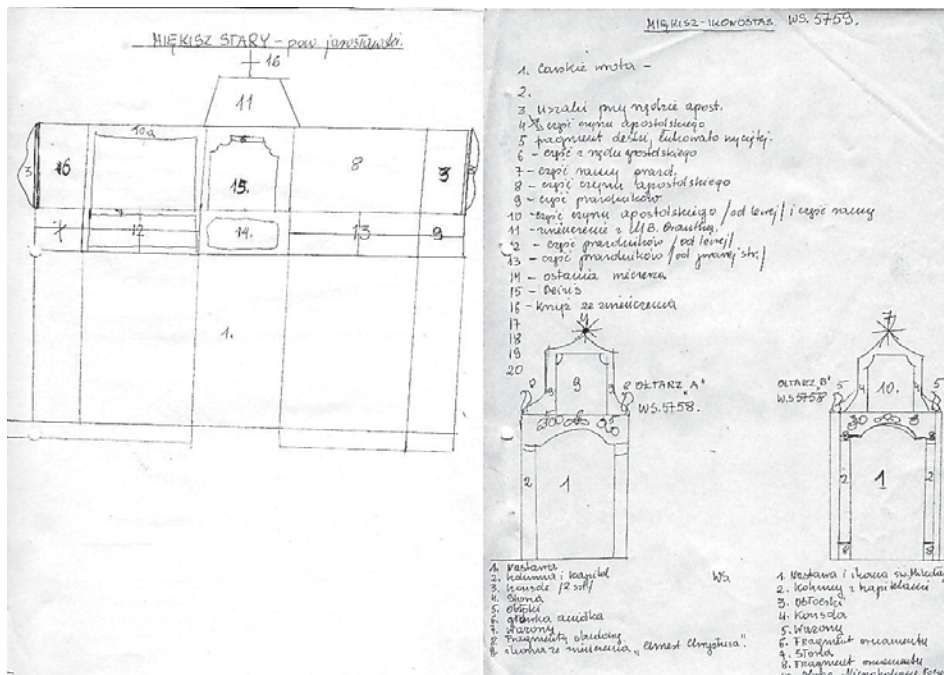
Rys. 3. Wnętrze cerkwi w Miększysu Starym wraz z ikonostasem, fotografia z 1964 roku, (z archiwów Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie)

Fig. 3. Interior of the Orthodox church in Mięksisz Stary along with the old iconostasis, 1964 (from the archives of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle)

Według przeprowadzonego przez autora tego opracowania wstępnego rozeznania, dokonanego na początku października 2009 roku w zbiorach Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie, do dnia dzisiejszego zachowały się wszystkie przewiezione tu w 1964 roku części ikonostasu. Pomimo, że przechowywane są one w magazynie w stałych warunkach klimatycznych, wymagają jak naj-

the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle, to this day preserved are all transported here in 1964 parts of the iconostasis. Despite that they are stored in a warehouse in constant climatic conditions they require maintenance as soon as possible before securing them to further destruction.

Some of the icons have a local loss in the layer of paint and a layer of ground, exposing the wood-



Rys. 4. Rysunki inwentaryzacyjne z roku 1964 wykonane podczas demontażu ikonostasu z cerkwi w Miękiysz Starym (z archiwów Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcutcie)  
 Fig. 4. Inventory drawings made in 1964 during the dismantling of the iconostasis (from the archives of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle)

szybszej konserwacji zabezpieczającej je przed ich dalszą destrukcją.

Część ikon posiada miejscowe ubytki w warstwie malarskiej i warstwie zaprawy, odsłaniające podobrazie drewniane, lub ubytki głębsze, sięgające warstwy drewna (rys. 5). Podobne ubytki zauważalne są w elementach snyczerki, stanowiącej obra-

en foundation, or deeper losses, reaching layer of wood (fig. 5). Similar losses are noticeable in the woodwork items, which are framing the painted representations. Wood is in a fairly good condition, although its structure is locally weakened by insects and should be eventually subjected to structural impregnation, e.g. using Paraloid B-72.



Rys. 5. Fragment jednej z ikon świątecznych, pierwotnie umiejscowionej w ikonostasie po skrajnej, prawej stronie, obecnie w zbiorach Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcutcie, autor fotografii Tomasz Tomaszek, październik 2009  
 Fig. 5. A fragment of the icon from the 'namiestnych' tier, originally located in iconostasis at the extreme right, now in the collections of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle, author of photography Tomasz Tomaszek, October 2009

mowanie malowanych przedstawień. Kondycja drewna jest w dość dobrym stanie, aczkolwiek jego struktura jest miejscowo osłabiona w skutek działania drewnojadów i powinna zostać docelowo poddana impregnacji strukturalnej, np. przy użyciu Paraloidu B-72.

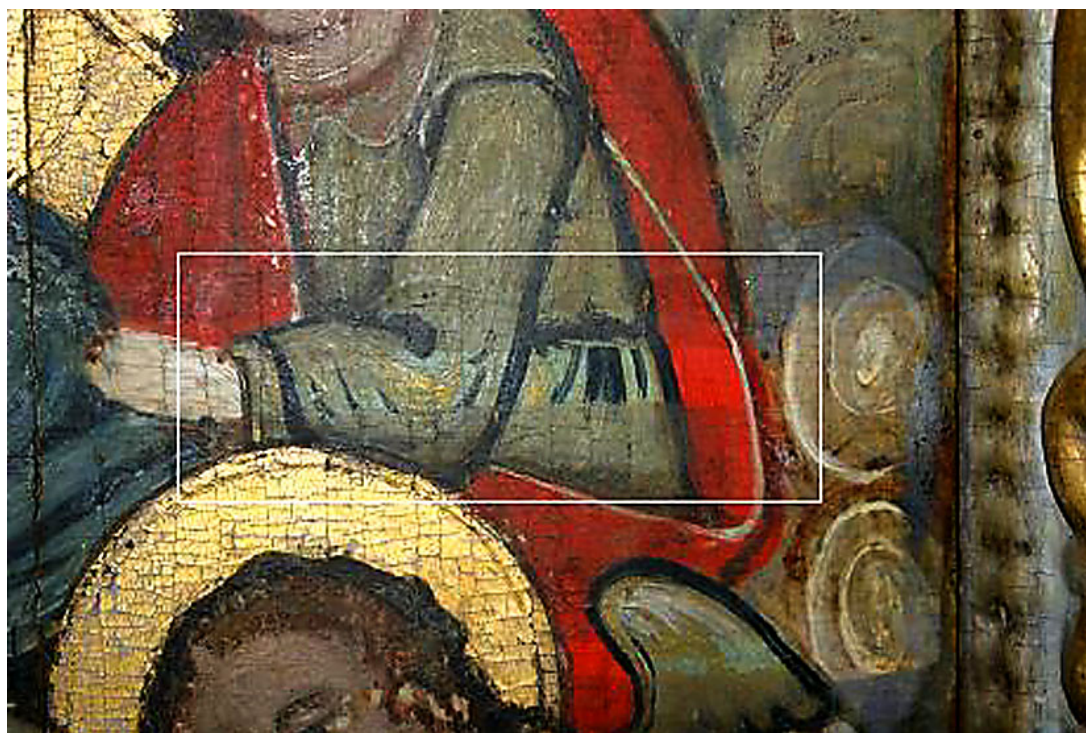
W kilku przypadkach, jak np. ikona Chrystus Pantokrator, zauważalny jest proces odłuszczenia warstwy malarskiej wraz z zaprawą. Zniszczeniom tym można zapobiec wykonując w trybie pilnym zabezpieczenie tych miejsc podklejając je bibułka japońską<sup>4</sup>.

Wcześniej, prawdopodobnie w pracowni konserwatorskiej Muzeum Zamku w Łańcucie<sup>5</sup>, wykonane zostały z interesującego nas ikonostasu odkrywki konserwatorskie w warstwie malarskiej przedstawienia i na elementach snycerki wybranych ikon. Z odkrywek tych wynika jasno, że ikonostas został całościowo lub przynajmniej częściowo przemalowany w czasie późniejszym niż jego powstanie. Przemalowanie to, będące prawdopodobnie efektem odnawiania wystroju cerkwi w związku z 950 rocznicą chrztu Rusi Kijowskiej w roku 1938<sup>6</sup>, zmieniło nieco kolorystykę oryginalną – szczególnie snycerki (rys. 7) – oraz pierwotną kompozycję przedstawienia. Jak wyraźnie widać na załączonej poniżej fotografii, szaty ukazanych postaci straciły swój graficzny rysunek fałd i załamań materiału na skutek wypełnienia ich obrysu jednolitym, płaskim kolorem (rys. 6).

In some cases, such as the icon of *Christ Pantokrator*, noticeable is the process of flaking of the layer of paint and ground together. This damage should be prevented urgently, by gluing to the damaged surface the Japanese tissue.<sup>4</sup>

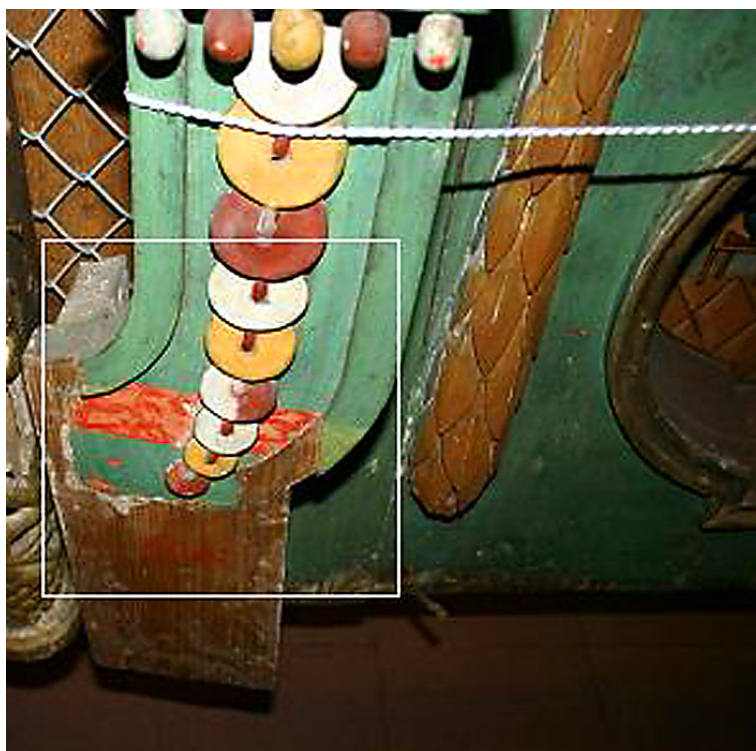
Earlier, probably in the restoration workshop of the Museum of the Łańcut Castle<sup>5</sup>, conservational excavations have been made in the paint layers of the image and of the woodwork on the selected items from the iconostasis of interest to us. From these excavations we could see clearly that the iconostasis was wholly (or at least partially) repainted at a later time than its rise. This repainting, which is likely the result of renewing the furnishings of the church in connection with the 950 anniversary of the baptism of Kievan Rus in 1938<sup>6</sup>, changed slightly the original color – especially on the elements of the wood carvings (fig. 7) – and the presentation of original compositions. As clearly shown in the accompanying photograph below, the apparel of some figures have lost their graphical drawing of the clothes folds as a result of the fulfillment of their contour by a single, flat color (fig. 6).

Everything seems to indicate that, the parallel with the implementation of the excavations to the original paint layers, some attempts were also made in removing the dirt and the old varnish from the surface of paintings (fig. 8). As it is apparent from the data obtained<sup>7</sup>, the original varnish may be the oil lacquer,



Rys. 6. Fragment jednej z ikon świątecznych ikonostasu z Miększa Starego, miejsce wykonania odkrywki do oryginalnej warstwy malarskiej (zaznaczone w białej ramce), autor fotografii Tomasz Tomaszek, październik 2009

Fig. 6. A fragment of the one of the icons from the 'namiestnych' tier, it is showing the place of the excavation to the original layer of paint (marked in white box), the author of photography Tomasz Tomaszek, October 2009



Rys. 7. Fragment snycerki z ikonostasu z Mięksisza Starego, w białej ramce widać wykonaną odkrywkę do oryginalnej, czerwonej warstwy malarskiej o bogatej strukturze ornamentacyjnej, przykrytej późniejszym zielonym, płaskim przemalowaniem, autor fotografii Tomasz Tomaszek, październik 2009

*Fig. 7. Fragment of the wood carvings from the iconostasis, the white box indicates the place where the excavation to the original layer of red paint was done, (later covered with green, flat repainting), the author of photography Tomasz Tomaszek, October 2009*

Wszystko wskazuje na to, że równoległe z wykonaniem odkrywek do oryginalnej warstwy malarskiej, przeprowadzono również próby usuwania brudu i werniksu z powierzchni malowideł (rys. 8). Jak

sometimes applied to the icons in this region instead of the resins varnishes. The composition of the substances used, however, requires further, more analytical research and can not be determined at this time.



Rys. 8. Fragment ikony z rzędu Deesis ikonostasu z Mięksisza Starego, ukazujący miejsce usunięcia starego werniksu wraz z warstwą brudu z warstwy malarskiej, autor fotografii Tomasz Tomaszek, październik 2009

*Fig. 8. A fragment of the icon from the Deesis tier, showing a place where the old varnish was removed from the layer of paint, photography by Tomasz Tomaszek, October 2009*

wynika z uzyskanych danych<sup>7</sup>, werniksem tym może być lakier olejny, czasami stosowany na tych terenach zamiast werniksów żywicznych. Skład użytej substancji wymaga jednak dalszych, dodatkowych badań i nie może być w tym momencie przesadzony.

Uzyskane dzięki powyżej opisanym odkrywkom informacje pozwalają przypuszczać, że oryginalna warstwa malarska jest w miarę dobrze zachowana i pierwotna kompozycja posiada większe walory artystyczne niż późniejsze przemalowania. Z tego względu należy wziąć pod uwagę całkowite usunięcie owych przemalowań i odsłonięcie oryginalnego przedstawienia. Ale decyzja ta powinna być jeszcze przedyskutowana po wcześniej wykonanych dodatkowych analizach i badaniach.

Po wykonaniu kompleksowej konserwacji wszystkich zachowanych elementów ikonostasu należy dążyć do jego ponownego złożenia w jedną, homogeniczną całość a następnie umiejscowienia go w cerkwi w Mięksiszu Starym<sup>8</sup> w taki sam sposób jak był on tam kiedyś przewidziany.

Nawiązując do J. Giemzy [6], konstrukcja ikonostasu zmieniała się w sposób istotny w czasie, aż w okresie XVI wieku „( ) scalenie kompozycyjne i stylistyczne ikonostasu oraz jego dalsze rozbudowanie ku górze sprawiło, że zyskał on własną konstrukcję nośną stając się autonomicznym elementem wyposażenia cerkiewnego, niezależnym od konstrukcji ściany pomiędzy sanktuarium a nawą.”<sup>9</sup>

Według wstępnych ustaleń i analiz, podobnie był zbudowany ikonostas w Mięksiszu Starym, który był zupełnie niezależną konstrukcją stojącą bezpośrednio na podłodze i niezamocowaną w sposób stały do żadnej ze ścian. Archiwalne zdjęcie wnętrza cerkwi, wykonane już po rozebraniu ikonostasu, ukazuje miejsca gdzie ikonostas przylegał do ściany (rys. 9), prawdopodobnie się na niej jedynie wspierając<sup>10</sup>. Wątpliwe jest jednak by był do niej w jakikolwiek sposób przymocowany, jeżeli już to prawdopodobnie nie inaczej niż za pomocą np. haków<sup>11</sup>. Istnieje też przypuszczenie, że ikonostas mógł być przymocowany na stałe do drewnianej podłogi cerkwi, lecz na dzień dzisiejszy jest to niezmiernie trudne do potwierdzenia czy tak było i jak to ewentualnie zostało rozwiązane. Pamiętać przy tym należy, że najniższa część ikonostasu, którą stanowiły skrzyniowe antepedia, była wystarczająco stabilna by utrzymać nadbudowaną nad nią resztę ikonostasu w sposób konstrukcyjnie samodzielny.

Należy dodatkowo zauważyć, że poszczególne ikony ikonostasu łączone były ze sobą na pionowy czop, i że ten sposób łączenia jest wystarczający dla utrzymania wszystkich warstw poziomych ikonostasu w pozycji pionowej w sposób samodzielny i konstrukcyjnie stabilny.

The information obtained through the excavations described above suggests that the original layer of paint is reasonably well preserved and the original composition has greater artistic merit than the later paintings. It is therefore necessary to take into account the removal of the later repainting and unveiling of the original composition. But the final decision should be further discussed after previously performed additional analysis and testing.

After completing a comprehensive conservation of the all survived elements of the iconostasis, it should seek a re-submission in one, homogeneous whole and then it should be located in the Orthodox church in Mięksisz Stary<sup>8</sup> in the same way as it was there once expected.

Referring to J. Giemza [6], the construction of the iconostasis evolved significantly over time, until in the sixteenth century „(...) compositional and stylistic integration of the iconostasis and the further extension of it upright meant that it gained its self-supporting structure to become an autonomous part of the equipment of the Orthodox church, independent of the wall structure between the sanctuary and the nave.”<sup>9</sup>

According to preliminary findings and analysis, the iconostasis from the Orthodox church in Mięksisz Stary was built in the similar way. It made a completely independent construction directly standing on the floor and unattached on a permanent basis to any of the walls. Archival photo, taken inside the temple after the demolition of the iconostasis, shows the place where the iconostasis stuck to the wall (fig. 9), probably only being supported on it<sup>10</sup>. It is doubtful, however, that it was in any way attached to the wall, but if it happened, it was done probably no different than by using hooks<sup>11</sup>. There is also a presumption that the iconostasis could be permanently attached to the wooden floor of the church, but today it is extremely difficult to ascertain whether this was possible and how it was solved. It should be borne in mind that the lowest part of the iconostasis, which consisted of the “box” antependia, was sufficiently stable to maintain the rest of the iconostasis on it in a stand-alone design.

It should also be noted that the various icons of the iconostasis were combined with each other on a vertical pivot, and that this kind of the merger is enough sufficient to sustain all the horizontal layers of the iconostasis in a vertical position in an autonomous and stable design.

There is no doubt, however, that the restored iconostasis of the Orthodox church in Mięksisz Stary may need extra structural reinforcements. These reinforcements could strengthen it with additional vertical support, and provide protection against

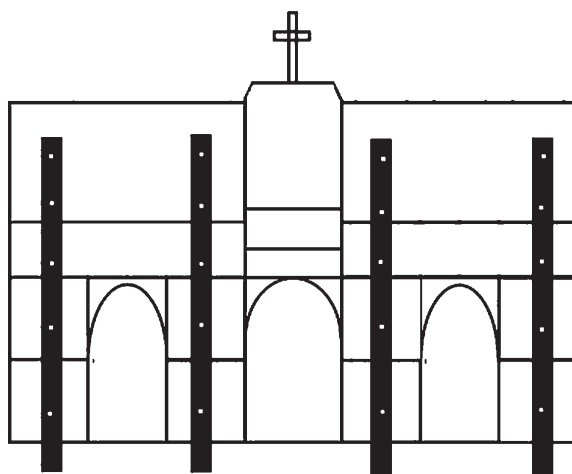


Rys. 9. Wnętrze cerkwi od strony nawy patrząc w kierunku sanktuarium, po zdemontowaniu ikonostasu, widoczny zakres (ciemniejszy kolor drewna) miejsca przylegania ikonostasu do ściany nawy od strony sanktuarium, fotografia z 1987 roku, (z archiwów Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcutcie)

*Fig. 9. Look at inside of the church from the side of nave towards the sanctuary, after the dismantling of the iconostasis, it is easy to see the area (darker color of the wood) of adjacency of the iconostasis to the wall of the nave from the side of the sanctuary, taken 1987, (from the archives of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle)*

Nie ulega jednak wątpliwości, że przywracany ikonostas do cerkwi w Miękiszu Starym może potrzebować dodatkowych wzmocnień strukturalnych. Te wzmocnienia nadałyby mu dodatkowe wsparcie pionowe i zapewniły zabezpieczenie przed ewentualną utratą stabilności. Zatem, na obecnym etapie analiz konserwatorskich, proponuje się wykonanie pionowej konstrukcji nośnej w postaci pionowych, drewnianych listew na stałe zamocowanych w podłodze. Ich wysokość powinna być nieco niższa niż wysokość ikonostasu (rys. 10). Listwy te powinny znajdować się na odwrocie ikonostasu (albo od od-

a possible loss of stability. Thus, at this stage of analysis of conservation, it is proposed to make a vertical support structure in the form of vertical wooden slats permanently mounted in the floor. Their height should be slightly lower than the height of the iconostasis (fig. 10). These slats should be located on the back of the iconostasis and all the individual elements of iconostasis should be attached to these slats on a movable way – that is, allowing their easy removal of the structure (dismantling), and allowing the natural work of the wood and its possible deformations in time.



Rys. 10. Schemat konstrukcji wzmacniającej i stabilizującej ikonostas (wykonanej od odwrocia) – widoczne pionowe listwy, nieco niższe niż wysokość ikonostasu, wpuszczone w podłogę (zamocowane na sposób stały w podłodze) – białe „punkty” na listwach to proponowane miejsca łączenia na sposób ruchomy (np. haki) poszczególnych części ikonostasu z owymi listwami konstrukcji stabilizującej

*Fig. 10. Diagram of the strengthening and stabilizing structure proposed for the iconostasis (made from its back) – noticeable the vertical slats, slightly lower than the height of the iconostasis, recessed into the ground (mounted on a permanent basis in the floor) – white „spots” on the slats indicate proposed place of the movable connection (e.g., hooks) between the individual parts of the iconostasis and these molded, stabilizing structure*



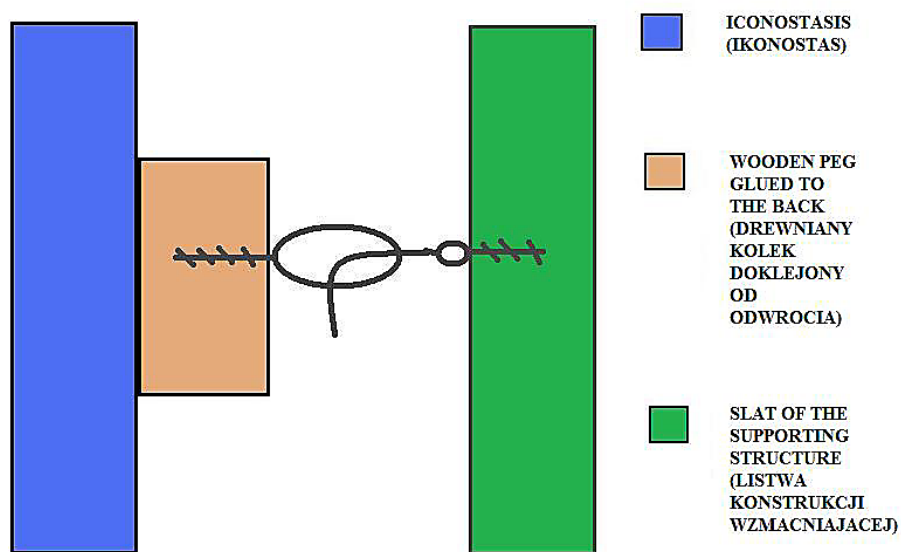
wrocia), a same poszczególne części ikonostasu powinny zostać zamocowane do tych listew w sposób ruchomy – tzn. pozwalający na ich łatwe usunięcie z konstrukcji (zdemontowanie) oraz umożliwiające naturalną pracę drewna i jego ewentualne odkształcenia w czasie.

Jakakolwiek ingerencja w strukturę oryginalnego drewna ikonostasu powinna być ograniczona do minimum, dlatego sensownym wydaje się rozważenie możliwości zamocowania ikonostasu do proponowanej konstrukcji nośnej za pomocą metalowych haków.

Haki owe mogłyby być z jednej strony na stałe połączone (wkręcone) w listwy konstrukcji wzmacniającej, a z drugiej strony wprowadzane (mocowane) w „kółka” przymocowane w odwrocie poszczególnych części ikonostasu. Pamiętając o tym, że założeniem jest w miarę możliwości nie ingerowanie w strukturę oryginalnego drewna, owe „kółka” powinny być zamocowane (wkręcone) nie bezpośrednio w odwrocie elementów ikonostasu a w drewniane kołki, które następnie powinny zostać przyklejone do odwrocia (rys. 11). Jako lepsze należy użyć dwuskładnikowy klej żywiczny-epoksydowy (np. klej o nazwie UHU, produkowany w Niemczech). Lepiszczce to nie wsiąka w strukturę drewna i jednocześnie po zaschnięciu tworzy mocne i trwałe, oraz wodoodporne wiązanie. Gwarantuje to bezpieczeństwo oryginalnego drewna przy jednoczesnym bardzo dobrym połączeniu go z doklejanym drewnianym kołkiem. Kołek ten w razie potrzeby może być usunięty w sposób mechaniczny. Podobnie daje się usunąć wyschniętą warstwę kleju na powierzchni drewna. Ten sposób mocowania wydaje się być ze wszech miar najwłaściwszym rozwiązaniem i daje gwarancje nie naruszenia oryginalnej struktury drewna<sup>12</sup>.

Any interference in the structure of the iconostasis' original wood should be kept to a minimum, so it seems reasonable to consider the possibility of attachment of the iconostasis to the proposed supporting structure by using the metal hooks.

These hooks, from the one side, could be attached (screwed) to the construction of the reinforcing slats in permanent way, and on the other side they could be hooked against the „round handles” attached to the back parts of the iconostasis. Bearing in mind that our aim is as far as possible not to interfere in the structure of the original wood, these „round handles” should be fixed (screwed) not directly in the back parts of the iconostasis but into the small wooden pegs, which should be next glued to the back of the each element (fig. 11). As a binder, it is proposed to use a two-component epoxy-resin adhesive (for example, glue called UHU and produced in Germany). This kind of the binder is not soaking into the structure of wood, while the drying process creates a strong, long lasting, and waterproof bond. This ensures the safety of the original wood and, at the same time, it guarantees a very good fastening between the two components. Later, if necessary, the peg may be removed by mechanical means. Similarly, the dried layer of the adhesive can be removed mechanically from the surface of the wood. This method of attachment appears to be in every respect the most appropriate solution, giving the guarantee of not interfering with the original structure of the wood.<sup>12</sup>



Rys. 11. Schemat ewentualnego zamocowania elementów ikonostasu od odwrocia do listew konstrukcji wzmacniającej za pomocą haków

Fig. 11. Diagram of the possible attachment of the element of the iconostasis (from its back) to the slat of the strengthening structure by using metal hook

<sup>1</sup> Kadłuczka A. (2006) „Project Report” z „Rescuing the Hidden European Wooden Churches Heritage – an International Methodology for Implementing a Database for Restoration Projects”, pod naukową edycją Gennaro Tampone oraz Michela Semplici, Italia., (powyższy tekst w oryginalnej wersji angielskiej: „These wooden temples, built in the circle of the Orthodox religion, are unique examples of a combination of a longitudinal plan that was widespread in Roman Catholic churches with a central layout, generally applied in the Eastern European and Byzantine culture”, wolne tłumaczenie na język polski: Tomasz Tomaszek)

<sup>2</sup> Giemza J. (2006) „Cerkiew p.w. Pokrow Bogurodzicy w Miększym Starym”, Łańcut

<sup>3</sup> Patrz: Karta Ewidencyjna Zabytku- Obiekt: Cerkiew Gr. – Kat. p.w. Pokrow Przczystej Bogarodzicy w Miększym Starym, archiwum Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie

<sup>4</sup> To pozwoli na uratowanie tych fragmentów przed rozpadem właściwej konserwacji

<sup>5</sup> Według rozmowy z p. J. Giemzą, kustoszem Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie, odkrytki te mogły być wykonane przez mgr Cichorzewską w latach 60tych, kiedy była ona kierownikiem pracowni konserwacji tej jednostki

<sup>6</sup> Praktyka odnawiania cerkwi z okazji 950 rocznicy chrztu Rusi Kijowskiej była dość powszechna na tych terenach. Innym przykładem, potwierdzającym to założenie, było całkowite przemalowanie XVIII wiecznego ikonostasu cerkwi w Mołodyczu –więcej informacji na ten temat znajduje się w pracy dyplomowej T. Tomaszka: “Konserwacja Zachowawcza ikony Śmierć Marii Egipcjanki – antepedium ikonostasu z Mołodycza datowanego na koniec XVIII wieku, pochodzącej ze zbiorów Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum-Zamek w Łańcucie”, napisanej w pracowni konserwacji malowideł sztalugowych na drewnie ASP w Krakowie, 2000 rok

<sup>7</sup> Dane te pochodzą od p. J. Giemzy, kustosa Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie

<sup>8</sup> Oczywiście będzie to możliwe jedynie po wcześniejszej, kompleksowej konserwacji cerkwi i zapewnieniu właściwych warunków w jej wnętrzu – np. stałej wilgotności.

<sup>9</sup> Giemza J. (2006) „O sztuce sakralnej przemyskiej eparchii”, Słowem i obrazem, Łańcut.

<sup>10</sup> Jak to łatwo zauważyć na załączonym zdjęciu, ściana nawy w miejscu połączenia ze znacznie węższym sanktuarium była na tyle szeroka po obu stronach prześwitu, że mogła dawać doskonale wsparcie dla przylegającej tam konstrukcji ikonostasu (zakładając, że ikonostas przylegał do ściany bezpośrednio całą powierzchnią, a nie jedynie pod kątem wspierając się jednocześnie na ścianach bocznych nawy – ta druga wersja wydaje się być bardziej przekonująca po przeanalizowaniu archiwalnych fotografii).

<sup>11</sup> Ten sposób przymocowania, np. za pomocą haków, pozostaje w tym momencie jedynie w sferze domniemań, ponieważ nie znaleziono dotychczas żadnych danych potwierdzających tą hipotezę. Z rozmów przeprowadzonych z J. Giemzą, kustoszem Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie, wynika, że bardzo prawdopodobne jest, iż ikonostas cerkwi z Miększa Starego był samodzielną konstrukcją nośną, wspierającą się bezpośrednio na podłodze cerkwi i nieprzymocowaną w żaden sposób do ścian nawy od strony sanktuarium.

<sup>12</sup> Sposób ten był już przez autora artykułu stosowany, między innymi podczas wklejania na odwrocie ikony z Mołodycza konstrukcji szpongi powierzchniowej – więcej informacji znajduje się w pracy dyplomowej T. Tomaszka: “Konserwacja Zachowawcza ikony Śmierć Marii Egipcjanki – antepedium ikonostasu z Mołodycza datowanego na koniec XVIII wieku, pochodzącej ze zbiorów Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum-Zamek w Łańcucie”, napisanej w pracowni konserwacji malowideł sztalugowych na drewnie ASP w Krakowie, 2000 rok

<sup>1</sup> Kadłuczka A. (2006) „Project Report” in „Rescuing the Hidden European Wooden Churches Heritage – an International Methodology for Implementing a Database for Restoration Projects”, Scientific Editors: Gennaro Tampone and Michela Semplici, Italy, 68

<sup>2</sup> Giemza J. (2006) „Cerkiew p.w. Pokrow Bogurodzicy w Miększym Starym”, Łańcut

<sup>3</sup> See: the evidence card of the Orthodox church of the Protection of the Purest Mother of God in Miększy Stary (in the archives of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle)

<sup>4</sup> This would allow saving those fragments before the proper conservation

<sup>5</sup> According to J. Giemza, curator of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle, excavations may have been made by Ms Cichorzewska in 60s, when she was the studio manager of the conservation unit

<sup>6</sup> The practice of renewing the churches to celebrate 950 anniversary of the baptism of Kievan Rus’ was quite common in these areas. Another example, confirming this assumption, was the total repainting of the eighteenth century iconostasis of the Orthodox church in Mołodycz – more information on this topic is included in conservational documentation: „Preserving Conservation of the icon *The Death of Mary the Egyptian* – the antepedium of the iconostasis from Mołodycz, dated at the end of the eighteenth century and originating in the collections of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle”, written as a MA dissertation by T. Tomaszek at the Department of Conservation and Restoration the Objects of Art, Academy of Fine Art, Krakow, 2000

<sup>7</sup> These data came from J. Giemza, curator of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle

<sup>8</sup> It will be possible only after an earlier, comprehensive conservation of the church and providing the right conditions in its interior – such as a constant humidity.

<sup>9</sup> Giemza J. (2006) „O sztuce sakralnej przemyskiej eparchii”, Słowem i obrazem, Łańcut

<sup>10</sup> As it is easy to see at the attached photo, the wall of the nave at the connection with the much narrower sanctuary was so extensive on both sides of clearance, that the ideally was able to give support to the adjoining there the structure of the iconostasis (assuming that the iconostasis stuck to the wall surface directly on the whole surface, and not only at the angle and at the same time supporting the side walls of the nave – the second version seems to be more convincing, after examining archival photographs).

<sup>11</sup> This way of attachment, for example by using the hooks, remains at this point only in the sphere of conjecture, as no data yet were found supporting this hypothesis. From the discussions with J. Giemza, curator of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle, it follows that it is very likely that the iconostasis of the Orthodox church in Miększy Stary was an independent, self-supporting structure, leaning directly on the floor of the church and not attached in any way to the walls of the nave from the side of the sanctuary.

<sup>12</sup> This method has already been used by the author, among other things during the conservational work on the icon from Mołodycz – the stabilized slat was glued to its back – more information is included in conservational documentation: „Preserving conservation of the icon *The Death of Mary the Egyptian* – the antepedium of the iconostasis from Mołodycz, dated at the end of the eighteenth century and originating in the collections of the Department of the Eastern Church Art in the Museum of the Łańcut Castle”, written as MA dissertation by T. Tomaszek at the Department of Conservation and Restoration the Objects of Art, Academy of Fine Art, Krakow, 2000

## Literatura • References

- [1] Ciabach J., *Właściwości i zastosowanie Paraloidu B-72*, [w:] *Ochrona Zabytków*, Warszawa 1982, nr 1-2.
- [2] Dokumentacja fotograficzna, PP PKZ Warszawa, 1964-1968, Archiwum Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie.
- [3] Dokumentacja wizytacyjna z lat 1960-2000, T. I-IV, Dział Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie.
- [4] Giemza J., *Cerkiew p.w. Pokrow Bogurodzicy w Miększu Starym*, Łańcut 2006.
- [5] Giemza J., *Losy cerkwi w Polsce po 1944 roku*, Rzeszów 1997.
- [6] Giemza J., *O sztuce sakralnej przemyskiej eparchii*, Słowem i obrazem, Łańcut 2006.
- [7] Jarema W., *Tradycji i nowwedennja w pobudowi ikonostasiw XVII ta XVIII stolit u zachidnych oblastjach Ukrainy*, [w:] *Prawoslawnyj Wistnyk*, nr 5, 1961.
- [8] Kadłuczka A., *Project Report*, [w:] „Rescuing the Hidden European Wooden Churches Heritage – an International Methodology for Implementing a Database for Restoration Projects”, pod naukową edycją Gennaro Tampone oraz Michela Semplici, Italia, 2006.
- [9] Karta Ewidencyjna Zabytku – Obiekt: Cerkiew Gr. – Kat. p.w. Pokrow Przczystej Bogarodzicy w Miększu Starym, archiwum Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum Zamku w Łańcucie, opr. J. Giemza, 1994
- [10] Saładiak A., *Pamiętki i zabytki kultury ukraińskiej w Polsce*, Warszawa 1993.
- [11] Szematyzmy duchowieństwa grecko-katolickiego z lat: 1877,1879,1927,1936, 1938-39.
- [12] Tomaszek T., *Konserwacja Zachowawcza ikony Śmierć Marii Egipcjanki – antepedium ikonostasu z Molodycza datowanego na koniec XVIII wieku, pochodzącej ze zbiorów Działu Sztuki Cerkiewnej Muzeum-Zamek w Łańcucie*, praca dyplomowa napisana pod kierunkiem St. Wykł. Grażyny Korpala w pracowni konserwacji malowideł sztalugowych na drewnie Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie, 2000, (kopia przechowywana w archiwum dyplomowym WKiRDS ASP w Krakowie).

Ryszard Antonowicz\*

Adam Klimek\*

## Wzmocnienie dachu z drewna klejonego poprzez zmianę schematu statycznego

## Glulam timber roof strengthening by changing its static scheme

### 1. Wstęp

W pracy przedstawiono sposób wzmocnienia nowej, ramowej konstrukcji dachu z drewna klejonego na zabytkowym budynku dawnego spichlerza słodowego, przebudowanym na budynek apartamentowy. Sposób oraz zakres przebudowy i wzmocnień pozostałych elementów konstrukcyjnych omówiono szczegółowo w pracy [1].

### 2. Ogólny opis budynku

Budynek pochodzi z II połowy XVI wieku, posiadał pierwotnie konstrukcję murowano-drewnianą. Piwnica została przekryta sklepieniami żaglowymi. Ponad poziomem sklepień, w kondygnacji parteru, wmurowano jeden poziom ścian z cegły pełnej, zwieńczony stropem o konstrukcji drewnianej. Budynek był zaduszony stromym dachem drewnianym.

W 1970 roku obiekt uległ pożarowi, rozebrano wówczas spaloną część więźby dachowej oraz pozostałości stropów. Pozostały następujące elementy konstrukcyjne:

- mury i filary piwnic,
- sklepienia nad piwnicami.

W 2007 roku obiekt znalazł nowego właściciela, który postanowił przebudować go na budynek apartamentowy. Ponad poziomem sklepień nad piwnicą nadbudowano 3 poziomy stropów żelbetowych, zachowując zbliżoną do historycznej konstrukcję dachu (rys. 1). Dach zaprojektowano i wykonano z drewna klejonego w postaci ram o zróżnicowanych schematach statycznych:

### 1. Introduction

The paper presents the method of strengthening of the new glulam timber roof frames in a 16<sup>th</sup> century historical granary which was remodeled into an apartment building. It also describes in detail the way as well as the scope of remodeling and strengthening of other construction elements [1].

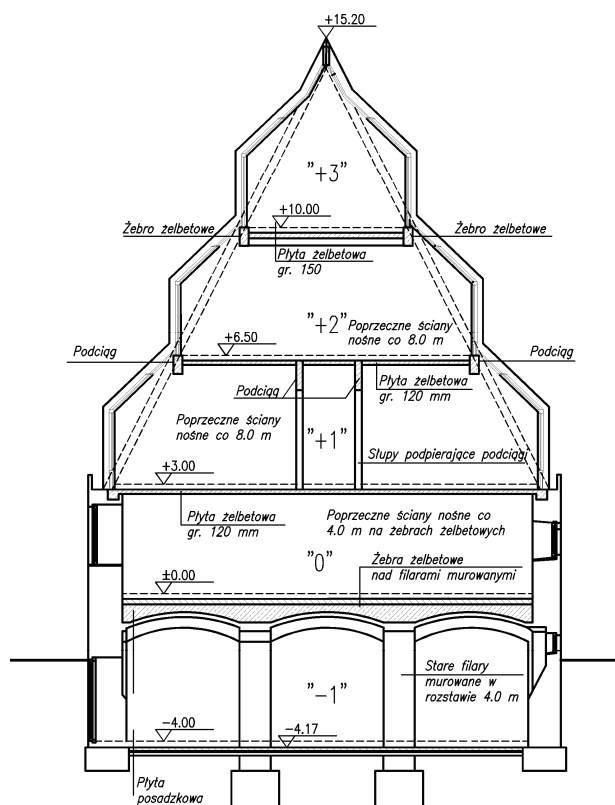
### 2. General description of the building

The building was constructed in the second half of the 16<sup>th</sup> century and originally it was a masonry and timber structure. The basement was covered with sail vaults. Above the vaults at ground floor one level of solid brick walls was erected and covered with wood construction ceiling. The building had a steel timber roof.

In 1970, there was a fire of the building and then the part of the roof truss system which suffered in the fire as well as the remains of the floors were disassembled. The following construction elements remained:

- walls and basement pillars,
- basement vaults.

In 2007, a new owner of the building decided to remodel it into an apartment building. 3 floors of reinforced concrete were built above the basement vaults, maintaining the roof structure similar to the original one (fig. 1). The roof was designed and made of glulam timber in the form of frames with varied static schemes:



Rys. 1. Widok dachu w czasie budowy oraz przekrój przez budynek  
 Fig. 1. General view of roof and the building vertical cross section

- w kondygnacji +1 oraz +2 wykonano całkowite przeszklenia ścian oraz połaci dachowych w postaci tafli szklanych zamocowanych do trójprzegubowych ram, składających się ze słupków oraz krokwi, montowanych odpowiednio do stropów niższej i wyższej kondygnacji; na połacie dachowe założono ponadto żaluzje z drewna egzotycznego;
- w kondygnacji +3 dach zaprojektowano w postaci sztywnych ram drewnianych w rozstawach 1.20 m; podobnie jak na niższych kondygnacjach dach został niemal całkowicie przeszklony.

- floor +1 and +2 had glazing walls and glass roof slopes fixed to three-hinged frames made of columns and rafters fastened to the floors of upper and lower stories; roof slopes were covered with exotic wood louvers;
- floor +3 roof was designed in the form of rigid timber frames spread every 1.20 m; similarly to lower floors almost the whole roof was glazed.

### 3. Wada konstrukcji dachu oraz jej wzmocnienie

Konstrukcja dachu w poziomach +1 oraz +2 zachowywała się poprawnie, natomiast w poziomie +3 ujawniła charakterystyczne odkształcenia już na etapie montażu, po obciążeniu połaci dachowych ciężarem szkła. Charakter odkształceń konstrukcji ramowej pokazano na rys. 2.

Ramy, widoczne na rys. 2, zostały wykonane z drewna klejonego o przekroju 6×15 cm. Przyczyną występujących odkształceń były zbyt słabe węzły narożne ram, które – występując w miejscach maksymalnych momentów zginających – nie były dostatecznie sztywne.

Według wykonanych przez projektanta dachu obliczeń statycznych wartość momentu zginającego

### 3. Defect of the roof construction and its strengthening

The construction of the roof at level +1 and +2 behaved correctly, whereas level +3 demonstrated specific deformations already at the assembly stage, after glass load was applied to the roof slopes. Fig. 2 shows the deformation pattern of the frame structure.

The frames seen in fig. 2 were made of 6×15 cm glulam timber. The deformations were caused by too weak frame corners which were not rigid enough as bending moments are the biggest in these places.

According to the static calculations made by the designer of the roof the value of the bending moment from complete loads in the frame corner was almost 9 kNm, which causes bending stresses in timber of about 40 MPa, so it

od kompletnych obciążeń w narożu ramy wynosiła prawie 9 kNm, który powoduje naprężenia zginające w drewnie rzędu 40 MPa, a więc przekracza zarówno obliczeniową wytrzymałość drewna na zginanie, jak i praktycznie wyklucza możliwość skonstrowania sztywnego połączenia pomiędzy ryglem a słupkiem ramy drewnianej.



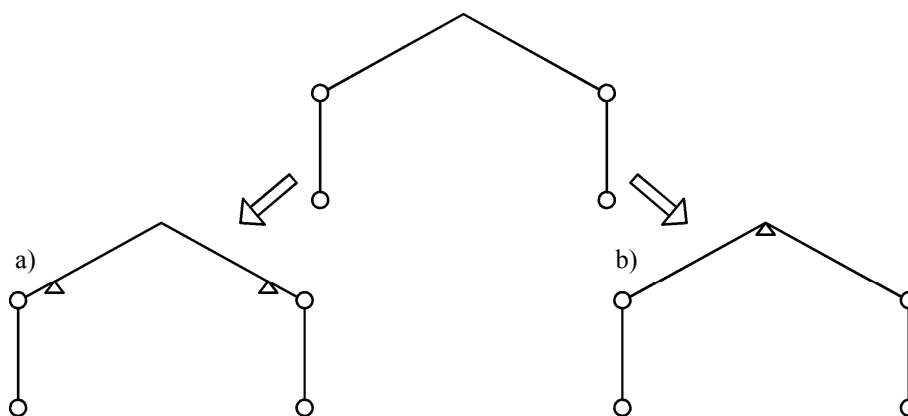
Rys. 2. Charakter odkształceń dachu  
Fig. 2. The roof deformation pattern

W tej sytuacji jedyną możliwą drogą zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji była zmiana układu sił w ramie, którą można było osiągnąć tylko poprzez zmianę jej schematu statycznego. Rozpatrzono 2 warianty konstrukcyjne wzmocnienia:

- wariant 1: poprzez wprowadzenie 2 płatwi w narożach ram drewnianych na podobieństwo układu płatwiowo-kleszczowego (rys. 3a),
- wariant 2: poprzez podparcie kaleniczy ramy płatwią kalenicową (rys. 3b).

of forces in the frame, which could be achieved only by changing its static scheme. Two variants of construction strengthening were considered:

- variant 1: inserting two purlins in the timber frame corners similar to purlin and ties roof truss (fig. 3a),
- variant 2: supporting the roof ridge with a ridge purlin (fig. 3b).



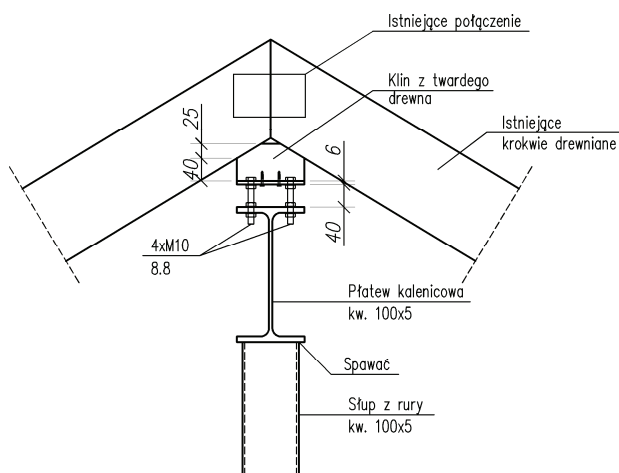
Rys. 3. Sposoby zmiany schematu statycznego ram drewnianych  
Fig. 3. Methods of timber frame static scheme modification

Skonstruowanie w naturze założonych schematów statycznych stanowiło dużą trudność ze względu na fakt, że konstrukcja drewniana była już w całości wykonana, na ramach drewnianych zostało zamontowane szkło oraz w znacznej części pozostałe wykończenia, a w przestrzeni pod kalenicą zamontowano już ciągi instalacyjne. Ostatecznie za prostszy do wykonania uznano wariant 2, którego dodatkową zaletą była możliwość całkowitego zasłonięcia nowo wprowadzonych elementów konstrukcyjnych warstwami sufitowymi.

Podparcie węzłów kalenicowych wykonano za pomocą płatwi stalowej z kształtownika IPE240,

Constructing the assumed static schemes on site was a big difficulty due to the fact that the timber structure was already completed; glass was assembled on the timber frames as well as many other fixtures and installation ducts were already assembled under the ridge. Finally variant 2 was chosen as easier to execute and its additional benefit was a possibility of covering completely the newly inserted construction elements with ceiling layers.

The roof ridge joints were supported with a IPE240 steel purlin member based on 100×5 square columns. The steel columns were placed



Rys. 4. Konstrukcja podparcia węzła kalenicowego płytą stalową  
Fig. 4. Steel purlin structure supporting roof ridge joints



Rys. 5. Wykonane wzmocnienie dachu  
Fig. 5. Roof ridge after strengthening

opartej na słupach z rur kwadratowych 100×5. Słupy stalowe ustawiono w nieregularnych odległościach od 6 do 8 m, wkomponowano je bowiem w układ ścian działowych na poddaszu. W celu zmniejszenia zginania płaty w przestrzeni nadsufitowej wykonano małe miecze stalowe (rys. 5). Płatew transportowano na poddasze w krótkich odcinkach, które łączono poprzez spawanie, a następnie podnoszono i stawiano na słupach.

W celu zapewnienia współpracy nowych i starych elementów zaprojektowano regulowane połączenie, umożliwiające wyparcie do góry istniejącej konstrukcji dachu, jak na rys. 4 i 5. Po zmontowaniu konstrukcji stalowej wprowadzono wstępne naprężenia w układ podpierający poprzez dokręcenie śrub, widocznych na rys. 4 i 5. Mechanizm ten umożliwił również częściowe wyprostowanie odkształconej konstrukcji drewnianej.

irregularly 6 to 8 m apart from one another as they were integrated into the layout of the partition walls in the attic. In order to reduce the bending of the purlin above the ceiling small steel braces were added (fig. 5). The purlin was transported to the attic in short sections which were then welded, lifted and placed on the columns.

In order to assure the cooperation between the new and old elements an adjustable connection was designed, enabling pushing of the existing roof structure upwards as in fig. 4 and 5. After assembling the steel structure the preliminary stresses were applied to the supporting system by tightening the bolts, which are seen in fig. 4 and 5. This mechanism also enabled the partial straightening of the deformed timber construction.

## Literatura • References

- [1] Antonowicz R., Klimek A., *Przebudowa zabytkowego spichlerza słodowego na budynek apartamentowy*, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2009.

\* Politechnika Wroclawska, Wrocław, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

## Streszczenie

W pracy przedstawiono sposób wzmocnienia nowej, ramowej konstrukcji dachu z drewna klejonego na zabytkowym budynku dawnego spichlerza. Kalenica rami została podparta płytą stalową w węzłach kalenicowych. Efekt wzmocnienia osiągnięto poprzez podniesienie węzłów kalenicowych.

## Abstract

The paper presents the method of strengthening of the new glulam timber roof frames in a 16<sup>th</sup> century historical granary. The frames have been supported in the roof ridge joints by steel structure. The effect of the strengthening has been achieved by lifting of ridge joints.

Leszek Konarzewski\*

## Renowacja elewacji Hali Stulecia we Wrocławiu – projekt a realizacja

### Renovation of the façade of Centennial Hall in Wrocław – design versus its accomplishment

#### 1. Renowacja powierzchni betonowej – wymogi architektoniczne dla powierzchni

##### 1.1. Opis stanu istniejącego

Hala Stulecia zwana po II wojnie Halą Ludową, wybitne dzieło sztuki i techniki inżynierskiej architekta Maxa Berga i konstruktora Gintera Trauera, poddawana jest od 1996 roku gruntownej modernizacji [1]. W początku bieżącego roku rozpoczął się kolejny etap remontu. Proces renowacji elewacji, dachów i stolarki okiennej Hali, poprzedzony został ekspertyzami, badaniami stratygraficznymi oraz dokumentacją projektową.

Hala Stulecia wykonana została jako struktura betonowa z widocznym rysunkiem szalunków. Różny stopień zniszczenia blisko 100-letniej budowli wynika z niejednakowej struktury betonu, spowodowanej użyciem nie zawsze jednorodnej wielkości kruszywa, a co za tym idzie różnej wytrzymałości betonu i związanej z tym odporności na warunki atmosferyczne. Nie bez znaczenia był też zapewne pośpiech, towarzyszący wznoszeniu w bardzo krótkim czasie tak wielkiej i skomplikowanej budowli (rys. 1).

Powierzchnia betonu była w wielu miejscach popękana, z licznymi uszkodzeniami i ubytkami. Fragmenty elewacji o wypłukanej powierzchni i odsłoniętym kruszywie, w znacznej części bazaltowym, potęgowały poczucie zabrudzenia. Widoczne też były wcześniejsze na-prawy zabezpieczenia pęknięć nieodpowiednimi, z punktu widzenia współczesnych technik napraw, środkami, które

#### 1. Renovation of concrete surface – architectural requirements for surfaces

##### 1.1. Description of the present condition

The Centennial Hall, after the World War II called the Public Hall, an outstanding achievement of art and engineering technology designed by Max Berg, an architect, Günther Trauer, a constructor, has been completely modernized since 1996. At the beginning of this year another stage of its renovation was begun. The process of renovation of the façade, roofs and window woodwork was preceded by the expert's study, along with stratigraphic examination and design documentation.

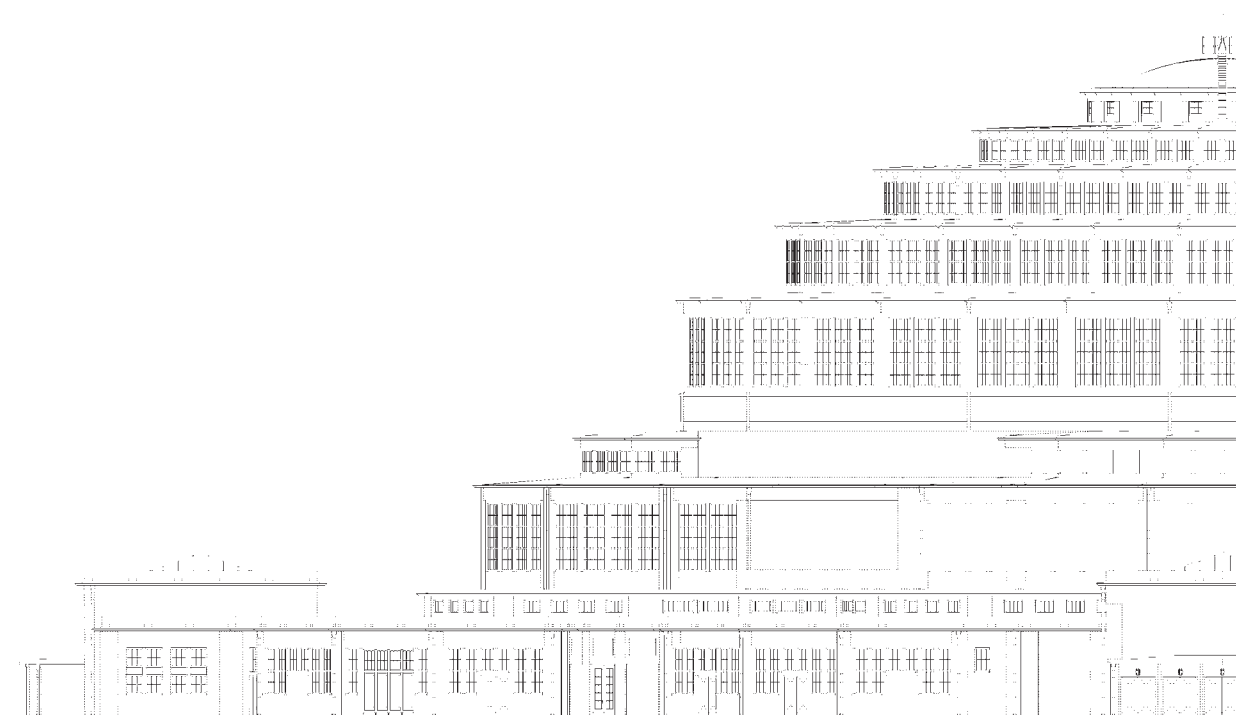
The Centennial Hall was made as a concrete structure with the visible relief of boarding. Different stage of destruction of this nearly 100-year-old building results from the different structure of the concrete, caused by the use of aggregate of not always homogeneous size and, what follows, various strength of the concrete and connected with this resistance to weather condition. It was also for sure not without meaning, that it was constructed in a hurry, which accompanied raising in a very short time such a great and difficult edifice (fig. 1).

The surface of concrete was cracked in many places, with numerous damages and losses. The fragments of the façade, of washed out surface and uncovered aggregate, in a big part basaltic, made the feeling of dirtiness of the building even stronger. There were also visible earlier repairs, protective works on cracks done in improper, from the point of view of modern





Rys.1. Widok ściany Hali Stulecia we Wrocławiu przed renowacją elewacji  
*Fig. 1. The view of the wall of the Centennial Hall in Wrocław before the elevation renovation*



Rys. 2. Elewacja Hali Stulecia z widocznym rysunkiem szalunków  
*Fig. 2. The Centennial Hall façade with a visible relief of boarding*

należało usunąć. Cała zewnętrzna powierzchnia Hali wymagała więc kompleksowych prac konserwatorsko-remontowych.

Na większości powierzchni elewacji Hali, a bardzo wyraźnie w osłoniętych od warunków atmosferycznych miejscach a także w zagłębieniach struktury betonu były widoczne żółtawe pozostałości powłok scalających. Na podstawie wstęp-

technique, repairs, with the means which were to be removed. Then, the whole external surface of the Hall required complex conservator's-repair works.

On the majority of the surfaces of the façade of the Hall, and very clearly in the places covered from weather condition and also in the cavities of the structure of the concrete there were also visible yellowish remainders of integrating coatings. It was

nych badań stwierdzono, że są to bardzo cienkie powłoki, z pigmentem mineralnym o żółtym kolorze. [2]

Wyróżnić można było następujące powierzchnie elewacji:

- 1) powierzchnie pierwotnego betonu o widocznym pionowym rysunku szalunków (pilastry, narożniki ścian),
- 2) powierzchnie pierwotnego betonu o widocznym poziomym rysunku szalunków (ściany między pilastrami, nadproża),
- 3) powierzchnie gładko zatarte, (filarki międzyokienne, gzymsy, attyka nad gł. wejściem),
- 4) powierzchnie pierwotnego betonu o zniszczonej fakturze, odsłoniętej strukturze krużywca
- 5) fragmenty powierzchni głęboko uszkodzone, ubytki, pęknięcia, odspojenia,
- 6) powierzchnie betonowe, wtórne (prefabrykowane attyk wokół kularów),
- 7) powierzchnie tynkowane murowanych wnęk okiennych i drzwiowych.

## 1.2. Opis prac renowacji powierzchni elewacji

Renowację powierzchni betonowej elewacji Hali poprzedziło przeprowadzenie prac czyszczenia elewacji w sposób nie powodujący uszkodzeń. Założono zastosowanie technologii strumieniowości w osłonie wodnej, dwuetapowo. W I etapie mycie i czyszczenie całej powierzchni w sposób nie niszczący jej faktury, w II etapie czyszczenie mocniejsze, tylko powierzchni do napraw, powierzchni ubytków i odspojeń. Następnie prowadzenie prac naprawczych i, w razie potrzeby, zabezpieczających wewnętrzną strukturę betonu i żelbetu, koniecznych napraw uszkodzeń betonu i zbrojenia, reprofilacji ubytków, wypełnień pęknięć, a także niezbędnego zabezpieczenia czy uzupełnienia głęboko wypłukanej przez deszcz i wiatr struktury betonu. Działając zgodnie ze sztuką konserwacji ważne było, aby nie odtwarzać w pełni pierwotnej powierzchni, nie „idealizować” jej faktury, lecz by przy całym procesie renowacji odczuwalny był duch stuletniej budowli. Zalecano więc, w przypadku dużych ubytków i odspojeń, odtworzyć powierzchnię, nawiązując do powierzchni bezpośrednio przyległej lub powierzchni analogicznych elementów, pozostawić natomiast drobne ubytki i wypłukania faktury betonu, które nie naruszają jego wytrzymałości ani zasadniczo nie różnią się od powierzchni sąsiednich, czy miejsc innych elementów tego rodzaju (rys. 3).

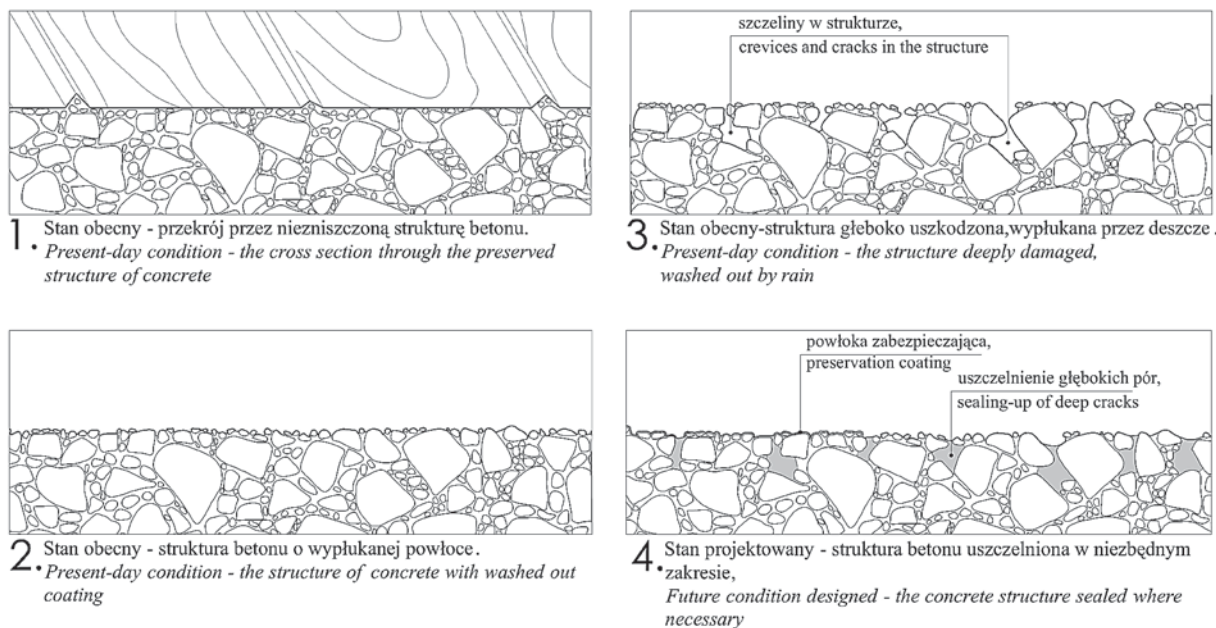
confirmed on the basis of preliminary investigations that these were very thin coatings, with mineral pigment of yellow color. [2]

One can distinguish the following surfaces of the façade:

- 1) the surfaces of original concrete with the vertical relief of boarding visible, (pilasters, corners of the walls),
- 2) the surfaces of original concrete with the horizontal relief of boarding visible (walls between pilasters, lintels),
- 3) trowelled surfaces (little pillars between the windows, cornices, attic over the main entrance),
- 4) the surfaces of the original concrete with worn out surface quality, uncovered structure of aggregate
- 5) fragments of the surface deeply damaged, losses, cracks, detachments,
- 6) concrete surfaces, secondary (prefabricated attics around the lobby),
- 7) plastered surfaces of brick window and door niches.

## 1.2. The description of the renovation works of the façade surface

Renovation of the surface of the concrete façade of the Hall was preceded by execution of the works of cleaning the façade in the way not causing damages. The use of the sandblasting technology in the water shielding, in two stages, was chosen. In the first stage washing and cleaning of the whole surface in the way not destructive to its surface quality, in the second stage stronger cleaning, only of the parts of the surface to be repaired, the surface of losses and detachments. Then there were to be carried out the repairing works, and if need be, works for protecting the internal structure of concrete and reinforced concrete, necessary repairs of the damages of concrete and reinforcements, re-profiling of losses, fillings of cracks, and also indispensable protection or filling up of the concrete structure deeply washed out by rain and wind. Acting up to the art of conservation it was important not to reproduce completely the original surface, not to ‘idealize’ its surface quality, but the spirit of the hundred-year-old building was to be perceptible throughout the whole process of renovation. So it was recommended, in the case of large losses and detachments, to reproduce the surface, associating it to the surface directly adjacent or to the surface of analogous elements, however, leaving small losses and washouts of the surface quality of the concrete, which would not impair its strength neither be fundamentally different from neighboring surfaces, or the places of the other elements of this kind (fig. 3).



Rys.3. Renowacja powierzchni elewacji betonowej w zależności od stopnia zniszczenia powierzchni  
Fig 3. The method of concrete surface renovation in relation to the extent of destruction

Wypełniono wszystkie pęknięcia i rysy w sposób w pełni zabezpieczający technicznie strukturę wewnętrzną, lecz pozostawiając delikatny ślad wgłębienia na powierzchni, zwłaszcza tych pęknięć, które mają charakter dylatacji.

Strukturę betonu wzmocniono impregnując w sposób przepuszczalny dla pary wodnej w wymaganych parametrach i hydrofilnie, a po nałożeniu odpowiedniego podkładu, scalono kolorystycznie specjalnymi powłokami laserunkowymi, dla uzyskania koloru betonu nawiązującego do pierwotnej kolorystyki.

Attyki nad kolumnami i ich mocowanie oraz kolumny portyku wejścia głównego, poddane zostały koniecznym pracom naprawczym w poprzednim etapie remontu. Pozostawiono wówczas do wykończenia ich zewnętrzną powierzchnię, do czasu kompleksowej renowacji całej elewacji.

Kolejność wykonywanych czynności:

- powierzchnie elewacji oczyszczono w sposób nie niszczący jej zewnętrznej faktury,
- dokonano niezbędnego oczyszczenia powierzchni głęboko uszkodzonej,
- wykonano prace naprawcze struktury betonu i żelbetu,
- powierzchnię, tam gdzie było konieczne, zaimpregnowano poprzez głęboką penetrację wzmacniającą ich wewnętrzną strukturę,
- pokryto mocno wypłukaną powierzchnię tzw. farbą (powłoką) podkładową, która wypełniła ubytki i pęknięcia oraz wystające ziarna kruszywa,
- całość pokryto laserunkową powłoką scalającą, której kolor i tonację ustalono po wykonaniu

All the crevices and scratches were filled in the way providing complete technical protection of the internal structure, but leaving a gentle trace of the depression on the surface, especially for these crevices which have the character of expansion joints.

The structure of concrete was strengthened by impregnating it in the way providing penetration of water vapor up to required parameters and making it hydrophilic, and after applying on it suitable ground coat it was integrated, in terms of color, with the help of special glaze coats, in order to obtain the color of concrete resembling its original coloring.

The attics over the lobby and their fixing and the columns of the portico of the main entrance had been subjected to necessary repair works in the previous stage of the repair. Then their external surface was left to be finished when a complex renovation of the whole façade should be made.

The order of executed actions:

- the surfaces of the façade were cleaned in the way not destructive to their external surface quality,
- indispensable cleaning of the surface deeply damaged was executed,
- the repair works of the structure of concrete and reinforced concrete were carried out,
- the surface was impregnated wherever it was necessary, by deep penetration strengthening its internal structure,
- the surface which had been severely washed out was covered with so-called ground coat paint (layer) which filled in the losses and crevices and protruding grains of aggregate,
- the whole surface was covered with integrating glaze coat, whose color and hue were established

dotychczasowych badań i szeregu próbach zakończonych komisyjnym wyborem.

### 1.3. Barwa elewacji i opis scalenia kolorystycznego

Na próbkach pobranego materiału (odłamanych fragmentach), wyraźnie widoczna była powłoka o żółto-złotawym odcieniu pochodząca prawdopodobnie z lat 30-tych, którą pokryta była cała powierzchnia elewacji Hali (rys. 4).

Wraz z rozpoczęciem prac projektowych, zlecono więc wykonanie dodatkowych badań stratygraficznych, które ujawniły rodzaj i charakter tej powłoki. Jak określił to w swej pracy Ryszard Wójtowicz, były to cienkie powłoki mineralne, farby wapienne z pigmentem żelazowym, utrwalone dodatkowo i zabezpieczone szkłem wodnym. [3]



Rys. 4. Próbką betonu z elewacji z przed renowacji z widoczną warstwą ochronną  
Fig. 4. A sample of concrete taken from the façade before the renovation with the protective layer visible

Projektując, rozważano następujące warianty kolorystyczne:

- 1) utrzymanie Hali w naturalnym kolorze zastosowanego materiału, szarego betonu, za czym przemawiały współczesne możliwości naprawy i renowacji,
- 2) wykonanie powierzchni Hali w kolorze zrealizowanej prawdopodobnie w latach trzydziestych powłoki złotawego ugru, którą to powłoką wg badań stratygraficznych, była pokryta cała powierzchnia Hali.
- 3) utrzymanie powierzchni Hali w kolorze zastosowanego pierwotnie betonu, jednak z podbarwieniem tej powierzchni w tonacji zastosowanej wówczas powłoki scalającej.

Uznano, że z uwagi na upływ czasu i odczucia estetyczne, stopień odtworzenia koloru Hali poprzedzić winny dodatkowe badania i próby kolorystyczne na elewacji. Po analizach kolorystycznych i konsultacjach wstępnie wybrano trzecie, pośrednie co do intensywności zastosowanego koloru, rozwiązanie.

after having carried out additional investigations and a number of tests before the final Commission's choice.

### 1.3. The color of the façade and description of color integrating

On the samples of the taken material (broken away fragments) there was clearly visible coat of yellow-golden-hue, which covered the whole surface of the façade of the Hall, probably originated from the 30-ties (fig. 4).

Together with the beginning of designing works, additional stratigraphic investigations were ordered, which disclosed the kind and the character of this coat. As Ryszard Wójtowicz qualified those in his work, they were thin mineral coats of limewash with iron-oxide pigment, additionally strengthened and protected with water-glass. [3]

When designing, the following variants of coloring were considered:

- 1) leaving the Hall in the natural color of applied material, grey concrete, the solution which was supported by the possibilities of repair and renovation at the time,
- 2) realization of the surface of the Hall in the color in which it was probably realized in the thirties, the coat of golden-hued ochre, which according to stratigraphic investigations used to cover the whole surface of the Hall.
- 3) keeping the surface of the Hall in the color of originally applied concrete, however, with adding more colors to this surface in the hue of the thence applied integrating coat.

It was agreed upon, that due to the passed time and aesthetical feelings, the extent of restoring the color of the Hall should be determined with the help of additional investigations and color tests on the façade. After color analyses and consultations the third option was chosen, which was a half-way solution as to the intensity of the applied color.

#### 1.4. Zastosowane materiały do scalenia kolorystycznego

Dla scalenia kolorystycznego uzgodniono zastosowanie powłoki laserunkowej złożonej z dwóch wymieszanych ze sobą w odpowiedniej proporcji, składników: KEIM Concretal-Lasur + KEIM Concretal-Fixativ. Kolor farby oraz stopień rozcieńczenia ustalono poprzez aplikacje próbne i poddano ocenie nadzoru konserwatorskiego i autorskiego. Dopuszczalny opór dyfuzyjny  $S_d = 0,02$  m.

Dla dodatkowego zabezpieczenia powierzchni od poziomu V, narażonego w bardziej intensywny sposób na działanie czynników atmosferycznych, zalecono wykonać dodatkową powłokę z zastosowaniem bezbarwnego materiału KEIM Lotexan lub równorzędnego.

#### 1.5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że powierzchnia betonowa Hali zachowała się w dość dobrym stanie, nie kruszy się, nie rozpada. Powodem jest stosunkowo dobra, jak na ówczesne czasy, jakość wykonania betonu a także zastosowany wówczas sposób zabezpieczenia betonowej powierzchni preparatem szkła wodnego.

Po oczyszczeniu i naprawach, uzyskany efekt podbarwienia betonu i jego powierzchniowe zabezpieczenie powłokami o podobnym spoiwie pozwolił nie tylko przywrócić powierzchni betonu dawną tonację, ale ponownie zabezpieczyć tę powierzchnię na kolejne kilkadziesiąt lat, a także w pełni uwidocznił a nawet podkreślił fakturę i rysunek tej powierzchni (rys. 5).

#### 1.4. Materials applied to color integrating

In order to integrate the coloring it was agreed to use a glaze coat which consisted of two components mixed together in suitable proportion: KEIM Concretal-Lasur + KEIM Concretal-Fixativ. The color of paint and the ratio of thinning were established by test applications and subject to the opinion of conservator's and author's supervision. The admissible diffusion resistance  $S_d = 0.02$  m.

For additional protection of the surface from the level V, exposed to more intense exposition to acting of atmospheric factors, it was recommended to apply an additional coat with the use of colorless material KEIM Lotexan or equivalent.

#### 1.5. Conclusions

The conclusion from the conducted investigations is that the concrete surface of the Hall remained preserved in quite good condition, it does not crumble, it does not fall apart. This is due to comparatively good, as for those times, quality of realization of the concrete and also to thence applied way of protection of the concrete surface with a preparation of water-glass.

After cleaning and repairs, the obtained effect adding more colors to the concrete and surface protection thereof with coats of similar binder not only allowed to restore the surface of the concrete to the former hue, but also to have this surface protected again for the next dozens of years, and also to demonstrate in full and even emphasize the surface quality and the relief thereof (fig. 5).



Rys. 5. Widok ściany Hali Stulecia po renowacji  
Fig. 5. The view of the wall of the Centennial Hall after renovation

## 2. Renowacja stolarki okiennej górnej części Hali i piwnic

### 2.1. Stan istniejący

Przewidziana do napraw i renowacji stolarka okienna pochodzi z początku zeszłego wieku. Przez okres blisko 100 lat istnienia obiektu podlegała różnego typu naprawom, uzupełnianiu i wymianie głównie zniszczonych części lub całości skrzydeł okiennych.

Jak pisze Jerzy Ilkosz, dawne okna były to okna wykonane z twardego drewna odmiany mahoni, tzw. drewna żelazowego o kolorze rdzawo czerwonym. [4]

Okna krosnowe rozwierane na zewnątrz, były wypełnione pojedynczymi szybami grubości ok. 3 mm, mocowanymi na kit w ramiakach skrzydeł i szczeblinach. Okna mocowane do węgarków wewnętrznych poprzez specjalne kotwy, uszczelnione tradycyjnie, posiadały także wykonane w późniejszym okresie uszczelki filcowe. Według inwentaryzacji i opinii wykonanej pod kierunkiem prof. Tajchmana, stan techniczny okien jest bardzo różny. [5] Część okien była w dobrym stanie i nadaje się do renowacji, część była mocno zniszczona, wymagająca gruntownej renowacji, naprawy bądź odtworzenia elementów skrzydeł i okuć, zgodnie z wzorami okien pierwotnych.

W poziomach górnych do renowacji było 613 okien i 3 drzwi o różnej wielkości, o różnej powierzchni pojedynczych okien od 1,2 do 7,7 m<sup>2</sup>.

W poziomie piwnic dodatkowo 33 okna i dwoje wrót – dojścia do podziemia.

Stan okien był dość zróżnicowany; generalnie, wyżej położone okna były w gorszym stanie technicznym, poza ostatnimi trzema poziomami okien, które podlegały renowacji w latach

80-tych. Jak stwierdzono w ekspertyzie stolarki okiennej, okna po stronie zachodniej są w najgorszym stanie. Powodem uszkodzeń jest także zastosowanie pierwotnie elementów o zbyt małym przekroju, szczególnie szczeblin, a po części brak właściwej konserwacji okien.

### 2.2. Zakres prac objętych remontem

Po starannym ponumerowaniu okien, zdjęciu skrzydeł, wyjęciu ram okiennych, przetransportowano okna do warsztatu stolarni w specjalnych pojemnikach. Po usunięciu szyb i demontażu okuć, okna starannie oczyszczono metodą termiczną i mechaniczną, powierzchnię przeszlifowano. Elementy zniszczone biologicznie czy mechanicznie wymieniono na nowe, wykonane wg opracowa-

## 2. Renovation of the window woodwork of the upper piece of Hall and cellars

### 2.1. The existing condition

The window woodwork, which was to undergo repair and renovation, comes from the beginning of the last century. For the period of nearly 100 years of existence of the object it was subject to various types of repairs, replenishing and replacement, mainly of the worn out parts or the whole sashes.

As Jerzy Ilkosz has written, former windows were made from hard wood of the mahogany species, so-called iron-wood of rusty-reddish color. [4]

Windows with muntins opening to outside, were glazed with single panes of the thickness about 3 mm approx., fixed on putty in the stiles and rails and glazing bars. Windows fixed to internal break jambs with special anchors, sealed up traditionally, were also provided with felt seals fitted in in the later period. According to stock-taking and opinion made under the direction of prof. Tajchman, technical condition of windows is very different [5]. A part of the windows was in a good condition and was fit for renovation, a part was badly worn out, requiring extensive renovation, repair or remaking the elements of sash and furniture, reconstructed in accordance with the examples of original windows.

At the upper levels there were 613 windows and 3 doors of various sizes to undergo renovation, of various area of an individual window from 1.2 to 7.7 m<sup>2</sup>.

At the level of cellars there were additionally 33 windows and two gates – access to the underground.

The condition of windows was quite diverse; generally, the windows which were situated higher were in worse technical condition, except for the three highest levels of the windows which had undergone renovation in the 80-ties. As it was found out in the evaluation of window woodwork, the windows on the western side were in the worst condition. Other reasons for damages were that originally used elements were of too small sections, especially in glazing bars, and that there was no proper conservation of windows.

### 2.2. The scope of works included in the overhauling

After careful numbering the windows, taking off the sashes, extraction of window frames, the windows were transported to the woodworking shop in special containers. After removing glass panes and disassembling the furniture, the windows were thoroughly cleaned by thermal and mechanical methods, the surface was re-grinded. The elements which were biologically decayed or mechanically damaged

nej dokumentacji. Wymianie podlegały przede wszystkim zniszczone szczebliny oraz wtórnie wykonane szczebliny z drewna sosnowego, ramiaki dolne mocno uszkodzone i inne ramiaki z dużą ilością uszkodzeń.

Zgodnie z ekspertyzą, jeśli wielkość zniszczenia przekraczała 50% powierzchni, okno kwalifikowało się do odtworzenia w całości, a elementy w dobrym stanie do naprawy innych okien. Płaszczyzny i krawędzie uszkodzone punktowo o powierzchni powyżej 2 cm<sup>2</sup> poddano flekowaniu ubytków, natomiast drobne pęknięcia i wylupania, nie wpływające na nośność elementu, odpowiednio szpachlowano. Elementy drewniane ram, ramiaków, okapników i szprosów, po zmontowaniu i sklejeniu, poddano procesowi zabezpieczenia, impregnacji i malowania farbami nawierzchniowymi zgodnie z technologią konserwatorską stolarki drewnianej. Elementy metalowe zawiasów czopowych, uchwytów, zakrętek i innych zamknięć oraz narożników usztywniających po demontażu poddano selekcji, eliminując elementy nieoryginalne. Konieczną ilość elementów odtworzono wg załączonych w projekcie wzorów. Elementy szczeblin ze względu na stopień zniszczenia wymagały w znacznej części wymiany. Zaprojektowano powiększenie ich głębokości z uwagi na znacznie mniejszą grubość niż innych elementów skrzydła okiennego.

W projekcie zakładano, że elementy drewniane podlegać będą impregnacji preparatem bezbarwnym specjalnym do drewna twardego, następnie podkładem barwiącym dla uzyskania zadanego koloru, a następnie malowane natryskowo lakierem laserunkowym. W realizacji nieco zmodyfikowano sam proces wykańczania, stosując powłokę kryjącą.

Generalnie nie przewidywało się uszczelk dla poddanych renowacji okien ze względu na utrzymanie koniecznej infiltracji, wymiany powietrza w sali widowiskowej Hali. Założono jedynie konieczność wprowadzenia punktowo uszczelk-podkładek dla uniknięcia luzów i drżenia okien.

Pierwotnie przewidziane szkło bezpieczne, gładkie, klejone z dwóch tafli grubości po 2 mm z folią bezbarwną, matową w środku, zostało (po dodatkowych analizach i uzgodnieniach z Konserwatorem Zabytków), zastąpione szkłem ornamentowym o odcieniu żółtym. Przeprowadzone dodatkowe badania materiałów archiwalnych pozwoliły dotrzeć do wzorów dawnego producenta szkła i zastosować szkło o parametrach zbliżonych do pierwotnie użytego. Łączna powierzchnia okien do konserwacji i renowacji wyniosła 2.454,4 m<sup>2</sup>.

were replaced with new ones, made according to the worked out documentation. First of all, the glazing bars which were damaged and those made secondarily from pine wood, the sills which were badly damaged and other stiles and rails with large extent of damage.

According to the evaluation, if the size of destruction exceeded 50% of the area of the window, it was qualified as to be entirely reconstructed, and the elements in good condition to be used for repairing other windows. The planes and edges damaged at points, of the area above 2 cm<sup>2</sup> underwent piecing-in of the lost material, whereas small crevices and plucking out, not influencing the carrying capacity of the element, were suitably putty filled. The wooden elements of frames, stiles and rails, drip-caps and glazing bars, after assembling and gluing up, were subjected to the process of protective impregnation and painting with surface paints according to the technology of conservation of wooden woodwork. The metal elements of pintle hinges, chucks, turn buttons and other locks, and rigidity-adding corners after disassembling were subjected to selection, eliminating non-original elements. The necessary quantity of elements was reproduced according to patterns enclosed to the design. Elements of glazing bars in their large part required replacement, due to their extent of destruction. Their depth was designed to be increased, due to their considerably smaller thickness than that of other elements of the window sash.

It was agreed upon in the design, that the wooden elements would be subject to impregnation with special colorless preparation for hard wood, then painted with coloring priming in order to obtain the required color, and then spray-painted with glaze varnish. In the realization the process of finishing off was somewhat modified, by applying a covering coat.

Generally no seals were to be installed in the windows that underwent renovation, because of the necessity to keep necessary air inflow, in order to exchange the air in the assembly hall of the Hall. It was designed only to put in seals-washers at some points in order to avoid free-play and vibration of windows.

Originally designed safe, smooth, laminated glass from two glass panes of thickness 2 mm with colorless, dull film in between, was (after additional analyses and co-ordinations made with The Conservator of Relics) replaced with ornament glass of yellow tint. Additional investigations conducted on archive materials allowed to find some samples from the former glass manufacturer and to apply the glass of similar parameters as that used originally. Total area of the windows to undergo conservation and renovation was 2,454.4 m<sup>2</sup>.

### 2.3. Zastosowane materiały

Do naprawy i uzupełnień stolarki zastosowano drewno twarde, jak stosowane pierwotnie.

Gatunek drewna – drewno twarde, egzotyczne typu mahoń o odcieniu rdzawo-czerwonym, typu Merbau, Iroko. Impregnat – preparat bezbarwny typu Rustikal Concept Conditioner. Podkład – Rustikal KP Exstra – kolor G 0707. Malowanie – natryskowo lakierem wysokiej klasy, Rustikal Concept TOP R-2 – kolor E 0707, standard SIGMA. Kity – specjalny silikon szklarski, brązowy, Producent Den Braven, Tecseal Tecsil nr 469.

Szkoło bezpieczne, ornamentowe w odcieniu żółtym, jak pierwotnie zastosowano.

Wszystkie niezbędne obróbki blacharskie wykonano z blachy miedzianej.

Rodzaj metalu dla okuć – stal galwanizowana lub malowana w kolorze ciemno-szarym.

### 2.4. Zakres dopuszczalnych zmian, wnioski

Po uzgodnieniu z nadzorem konserwatorskim dopuszczono możliwość zachowania i renowacji okien wtórnych z okresu międzywojennego i powojennych pod warunkiem, że były wzorowane na oknach pierwotnych i wykonane z odpowiedniej klasy drewna twardego. Nie było dopuszczalne natomiast pozostawienie współczesnych okuć, jak zawiasy wkręcane, czy inne elementy okien dorabianych znacznie później, nie wzorowanych na elementach z epoki. Dopuszczono tolerancję wymiarową 0,5 mm, dla dorabianych elementów drewnianych w wymiarach przekrojów, z wyjątkiem szprosów, których głębokość należało powiększyć, zgodnie z projektem.

Stolarka po renowacji stanowi obecnie istotną wartość zabytkowej budowli (rys. 6).

### 2.3. Applied materials

Hard wood just like the originally used was applied for repairs and for making up elements of woodwork.

The species of wood – hard, exotic wood of mahogany type of rusty-reddish tint, of the Merbau, Iroko type. The impregnating agent was colorless preparation of the type Rustikal Concept Conditioner. Primer paint was Rustikal KP Exstra – color G 0707. Painting – spray painting with varnish of high class, Rustikal Concept TOP R-2 – color E 0707, standard SIGMA. The putties – special brown silicone glazing putty, Manufacturer – Den Braven, Tecseal Tecsil no. 469.

Safe, ornamented glass in the yellow tint, just like originally applied.

All indispensable flashing were executed from copper sheet.

The kind of metal for furniture – galvanized steel or dark-grey painted steel.

### 2.4. The range of admissible changes, conclusions

After the co-ordination with conservator's supervision the possibility of preservation and renovation of secondary installed windows from the inter-war and post-war period was admitted, providing that they were made up to the pattern of the original windows and made from suitable class of hard wood. It was not admissible, however, to leave presently installed furniture, such as screwed in hinges, or other elements of windows made to considerably later, not made up to the pattern of the elements from the epoch. The dimension tolerance in the sections for wooden elements made up later was 0.5 mm, except for the glazing bars, whose depth was to be increased according to the design.

At present the woodwork after renovation makes up essential value of the antique building (fig. 6).



Rys. 6. Widok przykładowego okna Hali Stulecia po renowacji  
Fig. 6. The view of an example window of the Centennial Hall after renovation



### **2.5. Naprawa i uzupełnienie stolarki okiennej dolnego poziomu kularów Hali**

Przewidziana do uzupełnień i renowacji stolarka okienna została wymieniona sukcesywnie w latach 1997-2006 głównie w pomieszczeniach przeznaczonych do stałej pracy ludzi. Okna zostały wykonane w większości we współcześnie realizowanym systemie okien drewnianych z szybami zespolonymi. Utrzymany został w tych oknach ogólny podział i kolorystyka skrzydeł, natomiast szczeliny zostały wykonane jedynie jako wewnętrzne międzyszybowe. Brak było także drewnianych okapników nadparapetowych, których nie przewidywał zastosowany systemy stolarki okiennej, szczególnie dla okien nieotwieranych.

Projekt przewidywał więc przeprowadzenie niezbędnych prac uzupełniających tak, aby maksymalnie zbliżyć wygląd tych okien do stolarki pierwotnej.

Wielkość powierzchni okien parteru poddanych uzupełnieniom – 441,2 m<sup>2</sup>.

### **3. Inne prace naprawcze i wzmacniające**

Integralnym elementem prac renowacyjnych elewacji, były wykonywane prace naprawcze i zabezpieczające głębokie uszkodzenia i konstrukcję budynku.

#### **3.1. Naprawa konstrukcji betonowej ścian Hali**

Działania naprawcze poprzedziło wykonanie niezbędnych ocen i ekspertyz stanu konstrukcji oraz stopnia i rodzajów uszkodzeń. Określono w niej typy uszkodzeń jak: rysy, pęknięcia, szczeliny, ubytki, odspojenia oraz sposób ich napraw a także potrzebę wzmocnienia niektórych głównych elementów konstrukcji. [6]

Jak pisze Lech Czarnecki, analizując rodzaje zabezpieczeń i napraw konstrukcji betonowych, podstawowym warunkiem skuteczności i trwałości naprawy jest zapewnienie odpowiedniej przyczepności materiału do podłoża. [7]

Prace naprawcze wykonane były więc zgodnie z zasadami napraw struktur betonowych, przy pomocy jednorodnej technologii i z zastosowaniem materiałów firmy STO-ispo.

Wyjątkowym problemem było wzmocnienie pierścienia rozciąganego kopuły żebrowej Hali.

Po przeprowadzeniu dodatkowych badań i analizy pracy tej konstrukcji, zastosowano wzmocnienie przy pomocy kabli stalowych napiętych wstępnie na powierzchni bębna pierścienia rozciąganego

### **2.5. Repair and completion of the window woodwork at the bottom level of the lobby of the Hall**

Provided for completion and renovation window woodwork was successively replaced in years 1997-2006, mainly in the rooms designed for the people to work permanently therein. Most of the windows were made as wooden windows with combined glass panes, which was the system realized at the time. General division and colors of sashes in those windows was kept up, however, glazing bars were made only as internal between the panes. Also, there was lack of wooden drip caps over the sills, which were not provided in the applied systems of window woodwork, particularly for windows not to be opened.

The design provided for execution of indispensable supplementary works, so as to maximally bring the appearance of these windows close to the original woodwork.

The area of the windows at the ground floor subjected to completion was 441.2 m<sup>2</sup>.

### **3. Other repair and strengthening works**

The repair works and works protecting deep damages and the construction of the building, done on the façade, made an integral element of renovation works.

#### **3.1. Repair of concrete construction of the walls of the Hall**

The repair works were preceded by carrying out indispensable assessments and expert evaluations of the condition of construction and the extent and kinds of damages. Within these activities the types of damages were qualified as: scratches, cracks, crevices, losses, detachments; the way of repairing thereof and also the need of strengthening of some of the main elements of the construction were determined. [6]

As Lech Czarnecki has written, analyzing the kinds of protective workings and repairs of concrete constructions, the basic condition of effectiveness and durability of the repair is to provide suitable adhesiveness of the repairing material to the base material. [7]

The repair works were done in accordance with the principles of repairing concrete structures always applying the same technology and using materials of firm STO-ispo.

The exceptional problem was strengthening of the spread ring of the ribbed dome of the Hall.

After execution of additional investigations and analysis of the work of this construction, the strengthening was made with the help of steel cables, prelimi-

go, zabezpieczonych antykorozyjnie i antyogniowo. Warstwa betonu osłaniającego niskoskurczowego, fakturą i kolorem nie mogła odbiegać znacząco od pozostałej elewacji obiektu. Wzmocnienie opracował zespół ZB-P OSTY Wrocław.

### 3.2. Remont powierzchni dachów

Przewidziany do remontu dach to pasy stropodachu o zmiennej szerokości, obiegające wokół salę widowiskową Hali. Stropodach wykonany jest jako nie przewietrzany w konstrukcji żelbetowej. Płyta żelbetowa ze spadkiem ok. 4% grubości ok. 10 cm z żebrami w rozstawie od 2 ÷ 3 m, zakończona jest szerokim, także żelbetowym gzymsem.

Remont przewidywał przeprowadzenie kompleksowych prac remontowych, ocieplenie i ponowne pokrycie poprzedzone niezbędnymi pracami przygotowawczymi.

Łączna pow. dachu o podłożu betonowym do ocieplenia i pokrycia wynosiła – 7.694 m<sup>2</sup>.

Przewidziane obecnie do remontu wyposażenie metalowe elewacji i dachów górnej części Hali, zostało zrealizowane w latach 1998-99 jako kolejny etap przebudowy i remontu, w tym maszt flagowy składany, ośmiokątny pomost ażurowy wokół masztu, zewnętrzne drabiny wjazdowe a także balustrada na dachu klatki schodowej pochodząca z lat 20-tych.

Projekt przewidywał przeprowadzenie kompleksowej renowacji elementów stalowych.

## 4. Uwagi i wnioski końcowe

Całość prac wymagała zachowania zasad sztuki konserwatorskiej (była wykonywana pod nadzorem konserwatorskim), zachowania należytej staranności i przestrzegania przepisów Sanepidu i BHP. Zastosowane środki i materiały musiały posiadać niezbędne atesty i dopuszczenia PZH, ITB i P.Poż.

W całym procesie renowacji za główne zadanie uznano zachowanie autentyczności zastosowanych wówczas materiałów. Zastosowanie takich technologii i produktów, aby utrzymując zabytkowy charakter Hali, mogła ona jak najdłużej pełnić rolę głównej areny widowiskowo-wystawowej Wrocławia.

W procesie renowacji Hali uczestniczyli:

- projekt renowacji elewacji wykonała pracownia APP-KONARZEWSKI – Wrocław,
- renowację betonu wykonała firma POLSKIE MOSTY Sp. z o.o. – Wrocław,
- renowację stolarki okiennej wykonywała firma – AGAD – Toruń,

narily stretched on the surface of the drum of the spread ring, anti-corrosion and fire-proof protected. The surface quality and color of the layer of the covering low-shrinking concrete were not to be significantly distinct from the surface quality and color of the rest of the façade of the object. The strengthening was worked out by the team ZB-P MOSTY (BRIDGES) Wrocław.

### 3.2. Repair of the surface of roofs

The roof provided for the repair is made as strips of flat roof of varied width, encircling around the assembly hall of the Hall. The flat roof is made as not aired reinforced concrete construction. The reinforced concrete plate is with the decline of approx. 4%, approx. 10 cm in thickness with fins in spacing from 2 ÷ 3 m, finished with a wide, also reinforced concrete cornice.

The provided overhauling consisted in execution of complex repair works, thermal insulation and making again the covering, preceded with indispensable preparatory works.

The total area of the concrete base roof to be thermally insulated and covered was 7,694 m<sup>2</sup>.

Provided for repair at present metal fittings for the façade and the roofs of the upper part of the Hall, was realized in years 1998-99 as the next stage of reconstruction and repair, including in this the collapsible flag pole, the octagonal open-work platform around the pole, the external access ladders and also the balustrade on the roof of the staircase, coming from the twenties of XX century.

The project provided execution of complex renovation of steel elements.

## 4. Remarks and final conclusions

The whole of works required following the principles of the conservator's art (it was executed under conservator's supervision), keeping appropriate care, and following the rules and regulations of Safety at Work (BHP) and Sanitary Inspection (Sanepid). The applied means and materials had to have indispensable certificates and admittances issued by State Hygienic Inspection (PZH), Technical Building Institution (ITB) and Fire Dept.

In the whole process of renovation the main task was to preserve authenticity of the materials applied at the time. Such technologies and products were to be applied that while preserving antique character of the Hall, the latter should be able to fulfill the role of the main show and exhibition arena for Wrocław as long as possible.

In the process of renovation of the Hall participated:

- the design of the renovation of the façade was made by the studio APP-KONARZEWSKI - Wrocław,

- renowacje dachów i elementów metalowych firma – LINK Sp. z o.o. Wrocław,
- generalnym wykonawcą była firma ALPINE Bau GmbH – oddział Mysłowice.
- the renovations of the concrete were done by the firm POLSKIE MOSTY Sp. z o.o. (POLISH BRIDGES Co, Ltd) -Wrocław,
- the renovations of window woodwork was done by the firm – AGAD -Toruń,
- the renovations of roofs and metal elements – the firm – LINK Sp. z o.o. (Co. Ltd) Wrocław,
- the general contractor was ALPINE Bau GmbH
- branch Mysłowice.

## Literatura • References

- [1] Konarzewski L., *Projekt i realizacja przebudowy wnętrza Hali Ludowej we Wrocławiu w latach 1995 – 97*, Architektura Wrocławia tom 4 – Gmach, pod redakcją Jerzego Rozpędowskiego, Instytut Historii Architektury, Sztuki i Techniki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998.
- [2] Wójtowicz R., *Rozpoznanie konserwatorskie pierwotnej kolorystyki elementów architektury Hali Ludowej we Wrocławiu*, Wrocław 2005.
- [3] Wójtowicz R., *Rozpoznanie konserwatorskie i badanie kolorystyki ścian zewnętrznych Hali Stulecia we Wrocławiu*, Wrocław 2009
- [4] Ilkosz J., *Hala Stulecia i Tereny Wystawowe we Wrocławiu – dzieło Maksa Berga*, Wrocław 2005.
- [5] Tajchman J., Schaaf U., Bożejewicz E., *Dokumentacja konserwatorska stolarki okiennej Hali Ludowej – Hali Stulecia we Wrocławiu, Badania historyczne i ekspertyza stanu zachowania*, Toruń 2007.
- [6] Persona M., *Ekspertyza stanu technicznego konstrukcji budynku Hali Ludowej we Wrocławiu*, Wrocław 2007
- [7] Czarnecki L., Łukowski P., *Naprawy i konserwacje konstrukcji betonowych w świetle norm europejskich, artykuł w czasopiśmie Polski Cement – budownictwo, technologie, architektura nr 4 (44)*, Warszawa 2008

---

\*Politechnika Wroclawska Wrocław, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

---

## Streszczenie

Hala Stulecia, po II wojnie światowej nazwana Halą Ludową, wybitne osiągnięcie sztuki i techniki inżynierskiej, zaprojektowana przez architekta Maxa Berga i konstruktora Günthera Trauera, podlega całkowitej modernizacji od roku 1996. Na początku bieżącego roku rozpoczął się następny etap jej renowacji. Proces renowacji elewacji, stropów i stolarki okiennej został poprzedzony badaniami specjalistów, oraz badaniem stratygraficznym i dokumentacją projektową. Hala Stulecia została zbudowana jako konstrukcja betonowa z widoczną strukturą szalunków. Renowacja powierzchni betonowej elewacji obejmowała konieczne naprawy warstw betonu i żelbetu, jak również zakonserwowanie betonowej konstrukcji, która została głęboko wypłukana, i w końcu – ujednolicenie koloru elewacji przez odpowiednie oszklenie. W procesie renowacji zastosowano technikę betonowych napraw, opracowaną przez firmę STO-ispo, a materiały dla wzmocnienia betonu i jego konserwacji zapewniła firma KEIM.

## Abstract

The Centennial Hall, after the World War II called the Public Hall, an outstanding achievement of art and engineering technology designed by Max Berg, an architect, and Günther Trauer, a constructor, has been completely modernized since 1996. At the beginning of this year another stage of its renovation begun. The process of renovation of the façade, roofs and window woodwork was preceded by the expert's study, along with stratigraphic examination and design documentation. The Centennial Hall was accomplished as a concrete structure with visible boarding relief. The renovation of the concrete surface of façade included necessary repairs of the concrete and reinforced-concrete layers, as well as preserving the concrete structure, which had been deeply washed out, and finally – making the color of the façade uniform by appropriate glazing. In the renovation process the technique of concrete repairs developed by STO-ispo company, and the materials for concrete strengthening and preserving made by KEIM company were applied.

Andrzej Kadłuczka

## Modernizacja Galerii Sztuki Polskiej XIX wieku Muzeum Narodowego w Sukiennicach w Krakowie; wybrana problematyka projektowo-konserwatorska

## Modernisation of the Gallery of the Polish Art of the 19<sup>th</sup> Century in Sukiennice (Cloth Hall) in Cracow; select design and conservation problems and their solutions

Sukiennice Krakowskie w ciągu ponad 750 lat funkcjonowania przechodziły liczne transformacje tak formy jak i substancji budowlanej. Pierwsze kramy kupieckie powstały zapewne wkrótce po wydaniu aktu lokacyjnego w 1257 roku, w którym książę Bolesław Wstydlawy złożył obietnicę ich wybudowania. Stan badań nie pozwala jednak na jednoznaczne określenie ich pierwotnej lokalizacji, kształtu i rozwiązań funkcjonalno-budowlanych<sup>1</sup>.

Nowe, gotyckie Sukiennice rozpoczęto budować z inicjatywy Kazimierza Wielkiego około połowy XIV wieku. Powstała wówczas obszerna hala o długości ponad 100 metrów, wzdłuż której po obu jej stronach usytuowano murowane kramy sukienne z pięknymi kamiennymi portalami otwierającymi je do wnętrza hali. Budowla ta dotrwała do 1555 roku, kiedy to strawił ją pożar, jeden z największych w historii Krakowa. Odbudowane ponownie Sukiennice otrzymały nową, potężną kolebkę zbudowaną przez mistrza Pankracego, dodatkowe piętro nad nią, oraz dach pogrążony ukryty za ozdobną, monumentalną attyką zaprojektowaną i wykonaną przez włoskiego architekta Jana Marię Padovano.

W latach 1875-1879 w ramach wielkiej akcji porządkowania historycznego centrum Krakowa z Rynkiem Głównym włącznie, podjęto dzieło restauracji Sukiennic w oparciu o projekt przygotowany przez Tomasza Prylińskiego. Wprowadził on wzdłuż obu długich elewacji podcienia osłonięte neogotyckimi arkadami, oraz ryzality które wraz

During over 750 years of its existence, the Cracow's *Sukiennice*, or the Cloth Hall, has undergone several transformations, both of its form and structure. The first merchants' stalls were built, most likely, soon after the issuing of the Act of Location by the Prince Bolesław Wstydlawy (Boleslas the Bashful) in the year 1257. The Prince promised the erection of such halls. However, the current state of research does not allow to pinpoint their original location, form and functional and structural solutions<sup>1</sup>.

The construction of the new, Gothic Cloth Hall commenced around the mid-14<sup>th</sup> century, and was initiated by the King Kazimierz Wielki (Casimir the Great). The large hall had over 100 m length; on its both sides cloth stalls themselves were situated, with beautiful stone portals that opened onto the hall. The building endured till the year 1555, when it was consumed by the great fire of Cracow. The Cloth hall was, however, rebuilt – and it received the new, imposing vault that was constructed by one master Pankracy, as well as an additional floor above the vault and the roof that was sunken behind the ornamental and monumental parapet wall. The parapet wall was designed and completed by the Italian architect Giovanni Maria Padovano.

In the years 1875-1879, during the great action of ordering of the historic centre of Cracow, including the Main Market Square, the restoration of the Cloth Hall was undertaken, according to the design by Tomasz Pryliński. He introduced the ar-

z przebudowanym całkowicie piętnem zostały przeznaczone na potrzeby nowo powstałej instytucji – pierwszego w na ziemiach dawnej Rzeczypospolitej Muzeum Narodowego, które właśnie w Sukiennicach w 1884 roku otworzyło pierwszą stałą wystawę prezentującą XIX-wiecznych mistrzów historycznego malarstwa polskiego, przekształconą później w oddział Muzeum Narodowego zwany Galerią Sztuki Polskiej XIX wieku w Sukiennicach.

Ponad 100 letni okres jej użytkowania, postęp w dziedzinie muzealnictwa, form zabezpieczania i udostępniania zbiorów, zwłaszcza wzrost znaczenia muzeum jako placówki dydaktyczno-naukowej promującej kulturę uniwersalną i narodową, spowodował konieczność przystąpienia do opracowania nowej wizji Galerii. W oparciu o wytyczne i program opracowany przez ekspertów Muzeum Narodowego, zespół Studia Architektonicznego ARCHECON<sup>2</sup> przygotował koncepcję, a następnie dokumentację modernizacji i restauracji Galerii.

Z jednej strony artystyczne i historyczne walory gmachu Sukiennic jako zabytku narodowego najwyższej klasy, z drugiej rola Galerii Sztuki Polskiej XIX wieku jako instytucji kultury realizującej szeroko rozumiany proces edukacji społecznej dla którego należało stworzyć właściwe warunki funkcjonalne i techniczno-technologiczne spowodowały, że opracowany przez Muzeum Narodowe w Krakowie program p.n. Projekt NOWE SUKINNICE znalazł uznanie i finansowe wsparcie norweskiego mechanizmu finansowego<sup>3</sup>. W wyniku aplikacji do Norway Grants Muzeum Narodowe uzyskało 20,9 mln zł (60% kosztów inwestycji), oraz wsparcie ze strony Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego w wysokości 13,9 mln zł (40 % kosztów). Łącznie Projekt NOWE SUKIENNICE wyceniony został na kwotę 34,8 mln zł (8,7 mln euro).

Podstawowe zagadnienia niezbędne do rozwiązania w projekcie restauracji i modernizacji Galerii Sztuki Polskiej XIX wieku w Sukiennicach ujęte zostały w czterech podstawowych obszarach:

- funkcjonalno-przestrzennym (modernizacja techniczno-użytkowa poprzez wymianę przestarzałej infrastruktury, uzyskanie dodatkowej powierzchni, udostępnienie obiektu dla osób niepełnosprawnych i ogólne polepszenie warunków o pracy personelu)
- konserwatorsko-historycznym (zachowanie i wyeksponowanie nowych wartości zabytkowych ujawnionych w toku prac remontowych)
- muzealnym (unowocześnienie systemów i technologii przechowywania konserwacji i ekspozycji zbiorów)
- bezpieczeństwa (nowoczesne systemy zasilania, ochrony p.pożarowej i bhp, monitorin-

gades in Gothic Revival style, parallel to the two longitudinal elevations, as well as side pavilions. The latter, along with the first floor (which underwent a complete rebuilding), were dedicated to the newly created institution – the first National Museum in the historic territories of the old Commonwealth of Poland. It was just in the Cloth Hall, where the first permanent exhibition of the then contemporary, 19<sup>th</sup> century Polish historical paintings was opened – in the year 1884. Later, the exhibition was transformed into the branch of the National Museum, known as the Gallery of the Polish Art of the 19<sup>th</sup> century.

Over 100 years that elapsed since the opening of the Gallery saw a great progress in the thinking of museum exhibitions, of their security and modes of exposition, as well as the increase in the meaning of a museum as an educational institution that disseminates both the universal and national culture and art. This caused the necessity of elaboration of a new concept of the Gallery. The design team of the ARCHECON Architectural Studio<sup>2</sup> prepared the design concept, and later the complete documentation of modernisation and restoration of the Gallery. The designs were based on the programme that was prepared by the experts of the National Museum.

On one hand the artistic and historic values of the Cloth Hall as a monument of the highest rank, and on the other the role of the Gallery of Polish Art of the 19<sup>th</sup> Century as a major educational institution that had been in urgent need of adequate functional and technological solutions, resulted in the recognition of the programme (called THE NEW CLOTH HALL Project) by the Norway Grants<sup>3</sup>. Following the application, the National Museum gained 20,9 mln zloty (60% of the total cost), as well as the support of the Ministry of Culture and National Heritage – 13,9 mln zloty (40 %). Jointly, THE NEW CLOTH HALL Project's cost amounted to 34,8 mln zloty (8,7 mln Euro).

The main issues that required adequate solutions in the design of restoration and modernisation of the Gallery of the Polish Art of the 19<sup>th</sup> Century in the Cloth Hall were grouped in the following four aspects:

- functional and spatial solutions (technical modernisation through the exchange of the exploited infrastructure, gaining of additional space, accessibility for the disabled, and general amendment of work conditions for the museum staff)
- conservation and historic aspects (preservation of the existing historic values and exposition of values that were found during the conservation works)

gu i sygnalizacji spełniające nowe standardy techniczne).

W obszarze funkcjonalno-przestrzennym przy zachowaniu historycznej sekwencji ciągu ekspozycyjnego Galerii zaproponowano zmianę systemu oświetlenia poprzez likwidację zdewastowanych sufitowych paneli nieskutecznie rozpraszających światło dzienne, wspomaganych punktowymi naświetlaczami i zastąpienie ich nowoczesnym stropem z oświetleniem sztucznym sterowanym komputerowo. Rozwiązanie to oparto na doświadczeniach wielu europejskich galerii malarstwa funkcjonujących w zmodernizowanych obiektach historycznych jak i nowych realizacjach architektonicznych. Wprawdzie oświetlenie naturalne jak i sztuczne jest wciąż obecnie stosowane w równej mierze, niemniej jednak, coraz częściej stosuje się światło sztuczne jako medium w pełni kontrolowane<sup>4</sup>. Niebezpieczeństwo dla eksponatu zwiększa się znacznie wraz ze wzrostem oświetlenia emitującego widmo o niższych długościach fali. Zależność tę ukazuje tablica 1.

Wg Mullera i Schmitza w przeciętnych warunkach przyjmuje się jako minimalne wartości oświe-

- museum organisation (modernisation of systems and technologies of storage, conservation and exposition of the collection)
- security (modern systems of power supply, anti-fire protection, monitoring and signalling that comply to the recent technical standards).

In respect of the functional and spatial solutions, the most important proposal regarded the change of the lighting system, while the historic sequence of the exposition was preserved. The devastated old panels, which dispersed daylight in an inefficient manner, were liquidated and replaced by the modern ceiling with the computer-controlled artificial daylight. Such a solution was based upon experiences of many European galleries that function in historic buildings as well as in newly completed structures.

The natural and artificial lighting is still used to a similar extent. Nevertheless, the artificial light is used increasingly often, as an entirely controlled medium<sup>4</sup>. The threat to exhibits increases significantly along with the increase of the lighting with the spectrum of lower wavelength. This relation is demonstrated by the table no 1.

Tab. 1

Długość fali widma w nm <i>Spectrum wavelength, nm</i>	Rodzaj widma <i>Spectrum</i>	Poziom czynnika niszczącego <i>Level of destruction</i>
546	żółto-zielone <i>yellow-green</i>	1
436	niebieskie <i>blue</i>	22
405	niebiesko-fioletowe <i>blue-violet</i>	60
389	fioletowe <i>violet</i>	90
365	ultrafioletowe <i>ultraviolet</i>	135

Wg. H.O.F. Muller, H.J. Schmitz, *Lighting Design in Museum, w: A Design Manual. Museum Buildings*, Birkhauser, Basel 2004  
According to: H.O.F. Muller, H.J. Schmitz, *Lighting Design in Museums, in: A Design Manual. Museum Buildings*, Birkhauser, Basel 2004

tlenia na poziomie 50 luksów dla grafiki i tekstyliów oraz 150 luksów dla malarstwa. Ale są to wartości przyjęte doświadczalnie i w praktyce w zależności od rodzaju ekspozycji winny być modyfikowane z uwzględnieniem właściwej kompozycji widma światła i poziomu radiacji. Dlatego też, w wyniku konsultacji z muzealnikami i producentami nowoczesnych systemów oświetleniowych, dla Galerii eksponującej głównie zbiory malarstwa olejnego przyjęto jako wartość maksymalną 250 luksów z uwzględnieniem następujących czynników:

- określenia zróżnicowanych maksymalnych wartości intensywności – określenie limitu dla dopuszczalnego czasu trwania iluminacji eksponowanych obiektów

According to Muller and Schmitz, in average conditions one assumes the minimum level of lighting at 50 lux for prints and textiles and at 150 lux for paintings. However, these are the values that were assumed experimentally – and they are due to modifications related to the adequate composition of the spectrum and level of radiation. The Gallery at the Cloth Hall exhibits mainly oil paintings. Thus, as a result of consultations with museum experts and manufacturers of lighting systems, one established the maximum lighting level at 250 lux. The following factors were taken into consideration:

- definition of varied, maximum values of intensity of illumination, depending on the kind of a light source

- całkowitej ochrony przed promieniowaniem ultrafioletowym i wygaszania iluminacji poza czasem publicznej ekspozycji
- klasyfikacji indywidualnej dzieł sztuki (eksponatów) pod kątem dopuszczalnej intensywności oświetlenia.

Pierwotny system oświetlenia ekspozycji zastosowany przez Prylińskiego bazował na oświetleniu naturalnym przenikającym przez szklane elementy dachu do przestrzeni poddasza oddzielonego od sal wystawowych osiowo skomponowanym plafonem wykonanym w konstrukcji stalowej wypełnionej szkłem rozpraszającym światło dzienne. Na przełomie lat 60. i 70. ub. stulecia w wyniku modernizacji gmachu Sukiennic wprowadzono potężne, poprzecznie ułożone dźwigary strunobetonowe stężające mury magistralne hali i niosące żelbetową konstrukcję dachu pogrążonego. Wprowadzenie koryta odwadniającego w osi dachu spowodowało konieczność zamiany oświetlenia poprzez plafon centralny i rozbitcie systemu na dwa pasy oświetleniowe prowadzone wzdłuż ścian iluminujące wnętrze poprzez zewnętrzne świetliki połaciowe światłem naturalnym, wspomaganym światłem sztucznym emitowanym przez naświetlacz lampowe umieszczone w przestrzeni poddasza.

Koncepcja rewitalizacji Galerii Sztuki Polskiej XIX wieku oparła się na przesłankach technologicznych i kompozycyjnych, t.j. na wprowadzeniu oświetlenia ekspozycji komputerowo kontrolowanym i sterowanym światłem sztucznym oraz powrotu do plafonu centralnego, z rysunkiem nawiązującym charakterem do rozwiązań historycznych. Plafon ten maskujący system oświetlenia sztucznego firmy ES-System wykonano jako strukturę rastrową opartą na siatce modularnej kwadratowej o wymiarach 65 x 65 cm i 130 x 130 cm, zbudowaną z profili aluminiowych o szerokości 35 i 50 mm i parametrach zgodnych z systemem np. MB-SR50 Metalplast Bielsko. Jest on podwieszony bezpośrednio do istniejących belek strunobetonowych przy pomocy zawiesi z obustronnymi ciężkami stalowymi.

Pola rastra aluminiowego wypełnione są panelami z zestawem świetlówek emitujących światło białe i osłonięte płytami rozpraszającymi. W wyniku badań uwzględniających walory akustyczne materiału, jego niepalność i przepuszczalność światła, a także łatwość demontażu dla konserwacji systemu, w miejsce pierwotnie projektowanej napinanej powłoki typu DPS zgodnej ze standardem Barissoll, zastosowano poliwęglanowe płyty PCV. Przeprowadzone na budowie próby potwierdziły zasadność przyjętych rozwiązań.

Jednym z podstawowych warunków technicznych jakim winny odpowiadać obiekty publiczne jest zapewnienie właściwej, sprawnie działającej komunikacji pionowej z uwzględnieniem dostępności dla osób nie-

- definicji limitu akceptable period of illumination of exhibits
- total protection from the ultraviolet radiation and dimming of illumination in times when the exhibits are not viewed by the public
- individual classification of the works of art in respect of the acceptable lighting intensity.

The original system of lighting that was once used by Pryliński was based on the natural light that permeated through glass elements of the roof to the attic spaces. The latter were separated from exhibition halls by the axially composed ceiling (plafond) with steel structure, filled with glazing that dispersed the daylight. At the end of the 1960s, during the then modernisation of the Cloth Hall, large girders of prestressed concrete were laid transversally, in order to stiffen the longitudinal perimeter walls of the hall and to bear the concrete structure of the sunken roof. The introduction of the drain in the longitudinal axis of the roof caused the necessity to change the lighting system. The central glazed plafond was divided into two bands of lighting that were led along the walls, illuminating the interior with daylight which penetrated through the external skylights, and this was amplified by the artificial light. The latter was emitted by lamps that were situated in the spaces of the attics.

The concept of the renovation of the Gallery of the Polish Art of the 19th Century was based upon both technological and compositional guidelines. The first were fulfilled through the introduction of computer-controlled artificial light, and the second – through a return to the concept of the central plafond, with the linear composition that tied in with the historical solutions. The plafond, which masks the system of artificial lighting (elaborated by the firm ES-System), was completed as a grid structure, based on the modular square grid of 65 x 65 cm and 130 x 130 cm. The grid was constructed of aluminium profiles (35 and 50 mm wide) and parameters that complied with the systemic solutions, for example those of MB-SR50 Metalplast Bielsko. The ceiling is suspended directly from the prestressed concrete girders by means of hangers with steel tensile cables on both sides.

The fields of the aluminium grid are filled with panels with sets of fluorescent tubes that emit white light, and that are covered with screens dispersing the light. As a consequence of tests of acoustic values of the materials, as well as the flexibility of dismantling of the installation for the conservation of the lighting system, instead of the originally designed tensile membrane of the DPS type, comply-

pełnosprawnych. Warunek ten, zwłaszcza w przypadku obiektów zabytkowych wysokiej wartości, często pozostaje w sprzeczności z zasadami ochrony tych wartości, stając się przedmiotem odstępstw. W przypadku Galerii, możliwe najszersze udostępnienie jej pomieszczeń osobom niepełnosprawnym stało się priorytetem, stąd też kluczem do rozwiązania problemu stał się wybór miejsca, w którym szyb windy nie powodowałby ingerencji w elementy konstrukcyjne gmachu. W wyniku analizy struktury obiektu uznano, że jedynym rozwiązaniem, w którym szyb windy nie musi naruszyć elementów konstrukcyjnych i może tym samym spełnić kryteria konserwatorskie jest budowa dźwigu osobowego hydraulicznego z kabiną dostosowaną do potrzeb transportu osób niepełnosprawnych wewnątrz reprezentacyjnej, spiralnej klatki schodowej sąsiadującej z projektowanym wejściem do Galerii Sztuki Polskiej XIX wieku Muzeum Narodowego.

Zaprojektowany dźwig będzie wykonany jako jednostka nietypowa z szybem zamkniętym w pełni przeszklonym i dostosowany gabarytami do wymiarów klatki. Projektowana wysokość wznoszenia, licząc od przystanku początkowego do przystanku końcowego wynosi 8590 mm.

ing with the Barissoll standard, polycarbonate panels PCV were used. The tests on the construction site proved that the latter solution was right.

It has to be observed that one of the basic technical conditions and requirements in case of public buildings is their accessibility by means of adequate and disabled-friendly vertical circulation. This requirement often remains in stark contrast with the need of protection of historic values in listed structures. Thus it creates exceptional solutions. In case of the Gallery, the prospective broad accessibility for the impaired persons became a priority. The key problem became the choice of a place for the lift – where the lift would not interfere with the historic structural elements of the listed edifice. As a result of the structural analysis one came to the conclusion that the only solution where the elevator does have not interfere with the aforementioned elements and thus it may comply with the requirements of the art of conservation, is the construction of the hydraulic, glazed passenger elevator within the stairwell of the representational, spiral staircase. The grand staircase is situated next to the redesigned entrance to the Gallery of the

Tab. 2 Parametry projektowanego dźwigu (wymiarów w mm)  
*Parameters of the lift*

Klasyfikacja dźwigu <i>Classification of the lift</i>	Minimalna wysokość wznoszenia <i>Maximum elevation</i>	Udźwig w KG <i>Max load</i>	Prędkość w m/s <i>Speed in m/s</i>	Ilość osób <i>No of persons</i>	Światło drzwi <i>Door width</i>	Średnica wewnętrzna kabiny <i>Internal diameter</i>	Średnica światła szybu <i>Diameter of the shaft aperture</i>
Osobowy z kabiną dla osób n.p. <i>Accessible for the disabled</i>	9000	630	1,0	8	900	1400	1950

Projektowane przystanki odpowiadają poziomom użytkowym:

P1 (parter)	+ 0.05
P2 (półpiętro, poziom tarasu)	+ 6.61
P3 (piętro, poziom Galerii)	+ 8.64

Zaprojektowano kabinę dźwigu typu „pełnopanoramycznego” (360°), komunikowaną dwustronnie, na rzucie koła z konstrukcją z wypełnieniem ze szkła hartowanego i sufitem szklanym, mocowaną do platformy podłogowej. Podłoga podestu kabiny wykładana sztucznym granitem, elementy metalowe ze stali nierdzewnej w kolorze „satyna ciemna”. Należy przewidzieć punktowe oświetlenie kabiny zamocowane w szklanym suficie.

Oslonę szybu stanowią panele ze szkła hartowanego gięte do powierzchni będącej wycinkiem walca wg promienia odpowiadającego wewnętrznym wymiarom spirali klatki schodowej (wymiar należy sprawdzić w naturze). Są one mocowane do elementów konstrukcyjnych szybu i stanowią zabezpieczenie przed działaniem ognia, wilgoci i wody.

Polish Art of the 19<sup>th</sup> Century. The lift will be fully glazed and individually designed. Its designed elevation, calculated from the first to the last stop of the lift, is 8590 mm. The designed stops correspond to the usable levels:

P1 (ground floor)	+ 0.05
P2 (mezzanine, terrace level)	+ 6.61
P3 (1 <sup>st</sup> floor, Gallery level)	+ 8.64

Thus, the elevator was designed as a panoramic one, (360° view), with access on both sides, based on a circular plan, with the steel structure filled with reinforced glass with glass ceiling. The structure is mounted to the floor platform, which itself is laid with artificial granite. Structural elements are of stainless steel (dark satin).

The elevator shaft is protected by panels of reinforced glass that are bent to fit the cylindrical surface, whose radius is adequate to the internal



Problemem konstrukcyjnym było wykonanie podszybia windy hydraulicznej z możliwością wprowadzenia osłony hydraulicznego podnośnika na głębokość około 450 cm poniżej poziomu przystanku początkowego.

Podszybie wykonano jako zbrojoną nieckę o grubości ścianek 20 cm, i głębokości max. 1400 mm. W dnie podszybia osadzono metodą wiercenia rurę stalową o wewnętrznej średnicy max. 700 mm i do głębokości 3000 mm, w której zamontowane zostanie teleskopowe urządzenie podnoszące (max. średnica 500 mm) wraz z rurą do przewodów zasilających.

Wyposażenie dźwigu zaprojektowano na bazie najwyższych parametrów użytkowych dostępnych dzięki stałemu postępowi.

Zastosowano sterowanie typu „Bionic 002” oparte na technologii wieloprotokowej o niskim zużyciu energii i zdecentralizowany system sterowania pamięciowego z główną tablicą sterowania umieszczoną przy przedniej ścianie szybu obok drzwi najwyższego przystanku. Przewidziano następujące funkcje sterowania:

- auto-diagnozowanie i auto-testowanie
  - drzwi z zabezpieczeniem za pomocą fotokomórki
  - kontrola przeciążenia
  - moduł do połączenia z całodobowym Pogotowiem Dźwigowym
  - automatyczny powrót na poziom przystanku podstawowego z pozostałych pięter (alternatywa)
  - ograniczony dostęp do piętra na podstawie kodu PIN wczytanego w panel sterowania (włączany i wyłączany)
  - Interkom pomiędzy kabiną i główną tablicą sterowania
  - kabina przelotowa
  - otwieranie drzwi podczas dojazdu
  - oświetlenie pięter
  - sterowanie p/pożarowe
  - kurtyna świetlna
  - automatyczna redukcja oświetlenia w kabinie
  - automatyczna ewakuacja do najbliższego piętra (napęd ACVF)
  - rezerwacja jazdy kabiną
  - opcja dla niepełnosprawnych
  - licznik ilości jazd kabiną
  - sygnał alarmowy
  - wezwanie kabiny przy pomocy klucza
- oraz szczegółowe warunki jakie winny spełniać elementy sterowania i kontroli w kabinie i na przystankach jak:
- indywidualnie zaprojektowany, odporny na stłuczenie szklany panel dyspozycji z klawiaturą dotykową
  - oznaczenia w alfabecie Braille’a
  - wzrokowa i akustyczna informacja przyjęcia wezwania

dimensions of the spiral staircase. The panels are mounted to the structural elements of the shaft and protect it from fire, humidity and water.

The completion of the lowered space under the shaft of the hydraulic elevator (for the hydraulic lift, at the depth of ca 450 cm below the first stop). Thus the space was built as a reinforced basin with walls 20 cm thick, and maximum depth of 1400 mm. In the bottom of the basin the steel pipe was positioned by means of drilling (internal diameter max. 700 mm, max. depth 3000 mm), in which a telescopic lift will be situated, along with the pipes and cables.

The elevator design uses state-of-the-art solutions, including the „Bionic 002” steering system, based on multi-process technology, whereby the main control panel is situated at the front wall of the shaft, next to the door of the highest stop. The following control functions were provided:

- auto-diagnose and auto-testing
- door secured by a photocell
- overload control
- communication module with the elevator emergency
- automatic return to the ground floor (optional)
- limited access to the 1<sup>st</sup> floor by means of the PIN code (optional)
- Intercom
- opening of doors during the approaching stops
- lighting of floors
- anti-fire control
- light curtain
- automatic reduction of lighting in the lift
- automatic evacuation to the nearest floor (ACVF drive)
- reservation of rides
- option for the disabled
- counter of rides
- alarm signal
- summoning of the lift by means of a key;

as well as specific conditions that should be fulfilled by the elements of steering and control, both in the lift and on the stops, such as:

- individually designed, resistant glass control panel with sensors
- signs in Braille alphabet
- visual and acoustic confirmation of dispositions
- floor and level indicator
- direction indicators

- piętrowskazywacz
- strzałki kierunku dla kontroli jazdy
- poziomy panel dyspozycji dla osób n.p.
- potwierdzenie przyjęcia wezwania (wzrokowe)
- przyciski „góra” i „dół” na głównym piętrze dla sterownia zbiorczego w dół
- sygnał przed przybyciem kabiny na każdym piętrze wzrokowy i akustyczny
- wskaźniki pozycji kabiny
- wskaźniki kierunku ruchu kabiny na każdym poziomie

Najistotniejszym elementem nowego programu funkcjonalno-przestrzennego był pomysł adaptacji przestrzeni znajdującej się pod dachami pulpitowymi spadającymi na tarasy po obu stronach murów konstrukcyjnych hali głównej. Dotąd była ona wykorzystywana wyłącznie do celów rozprowadzenia ciągów wentylacyjnych.

W projekcie przewidziano wprowadzenie nowej konstrukcji tych dachów z równoczesną korektą ich nachylenia, tak by uzyskać możliwość użytkowania uzyskanych w ten sposób pomieszczeń, a zarazem nie zmienić zasadniczo bryły obiektu. Stworzono tym samym możliwość innej, korzystniejszej organizacji części publicznej Galerii i powiększenia jej niewystarczającego zaplecza sanitarnego, technicznego i multimedialnego.

Konstrukcja nowych dachów pulpitowych oparta została na technologii pochylonej, szczelnej ścianki osłonowej niesionej przez system belek krokwiowych z drewna klejonego. Moduł rozstawu belek jest zarazem modułem paneli osłonowych (dachowych) krytych blachą miedzianą, patynowaną, oraz paneli doświetlających, które będą wykonane ze szkła matowego, ze specjalnym nadrukiem i zabezpieczonego pod względem radiacji ultrafioletowej. Pozwoli to na upodobnienie nowego dachu do rozwiązania historycznego. Ścianka parapetowa na której od strony zewnętrznej oparta została konstrukcja pulpitu pełni także funkcje stelażu do podwieszenia kanałów wentylacyjnych i innych instalacji, osłoniętych od strony tarasu ciągami krat maskujących.

Nachylenie połączy dachowych dobrano z uwzględnieniem minimalnej wysokości użytkowej wnętrza, korygując je także pod kątem widoczności z zewnątrz. Wykonane studium widokowe zarówno od strony wschodniej jak i zachodniej udokumentowało możliwość podniesienia krawędzi dachu do poziomu neogotyckiej balustrady, bez szkody dla historycznego widoku budynku. Wykres widoczności wykonany z punktów widokowych zlokalizowanych u wylotu ulic Siennej i Szewskiej, określił maksymalną wysokość tej krawędzi.

Rozwiązanie to pozwoliło na uzyskanie dodatkowej powierzchni użytkowej dostępnej z pół podestów

- horizontal control panel for the disabled persons
- signal of arrival of the lift – at every level
- indicators of direction of movement of the lift – at every level

The most important element of the new functional and spatial programme was the concept of conversion of spaces under the shed roofs next to the terraces on both sides of the structural walls of the main hall. Until now the spaces were used solely for ventilation shafts. Our design foresaw the introduction of the new roof structure, along with the correction of their slope, so that there is the possibility of use of the attic spaces without major changes of the building's mass.

Thus the possibility of another, more advantageous organisation of the public exhibition spaces of the Gallery was created, along with the extension of its now insufficient serving spaces (lavatories, technical facilities, multimedia etc.).

The structure of the new shed roofs was based upon the technology of an inclined, watertight curtain wall that is borne by rafters of glued timber. The module of the beams is identical with that of sandwich (roof) panels, covered with copper tin, and with lighting panels that shall be completed in matte glass with special print. The glass panels shall be ultraviolet-safe. This design allows for the far-reaching similarity of the current solutions to historic ones. The parapet wall, on which the structure of the shed roof is supported, is also used as a support for suspended ventilation shafts and other installations. The latter are invisible from the terrace, as they are masked by the sequence of screens.

The inclination of roof surfaces was chosen regarding the minimum usable height of the spaces, and corrected in respect of the visibility from the Market Square. The visibility study that was conducted documented the possibility of raising the edge of the roof to the level of the Gothic Revival balustrade, without doing harm to the historic silhouette of the building. The diagram of visibility, executed from the viewpoints that were located at the merging of Sienna and Szewska Street to the main Market Square, defined the maximum height of this edge.

The above solution allowed for gaining of additional usable surfaces, accessible from the landings of the spiral staircase from the east. Through the newly designed connection to the attics under shed roofs, one enters the eastern terraces with the spectacular view. In the attic spaces a cafe bar was situated, along with the necessary serving spaces (norther side), and a multipurpose room with technical spaces (southern side).

okrągłych schodów od strony wschodniej, skąd poprzez zaprojektowany łącznik z dachem pulpitowym umożliwiony został publiczny dostęp do tarasów widokowych. W obu poddaszach wschodnich zlokalizowano cafe bar z zapleczem i zespołem sanitarnym (strona północna), oraz pomieszczenie wielofunkcyjne i zaplecze techniczne (strona południowa).

Od strony zachodniej nowe pomieszczenia przeznaczone będą dla zaplecza technicznego (z możliwością dostępu od strony tarasu) oraz dla pomieszczenia edukacyjnego z zapleczem biurowym w części południowej i pomieszczenia biurowo-gospodarczego w części północnej. Obie części są powiązane z pomieszczeniami ryzalitów i dodatkowo wyposażone w dostęp do nie publicznej części obu tarasów.

Realizacja tego rozwiązania nastęrczyła jednak wykonawcy wiele trudności. Ograniczenie wymiarów wysokościowych pomieszczeń pod dachami pulpitowymi wynikało z określenia w warunkach konserwatorskich nieprzekraczalnych poziomów dla górnej i dolnej krawędzi dachu, oraz z przyjętego w dokumentacji poziomu użytkowego poddasza. Projektowana jako odciążająca płyta żelbetowa założona ponad sklepieniami lokali parteru dostosowana była do niezbędnych parametrów użytkowych pomieszczeń i uwzględniała poprowadzenie pod nią, w pachach sklepiennych ciągów instalacji wentylacji mechanicznej, c.o., wody ziębniczej, zasilania energetycznego i instalacji elektrycznych. Odślonienie sklepień w całości, możliwe dopiero w trakcie prac budowlanych i komputerowy pomiar każdego profilu, ujawniły ich wyjątkowe nieregularności wymagające indywidualnych rozwiązań dla każdego segmentu oddzielnie, ale z zachowaniem jednego poziomu użytkowego. Realizacja przyjętych założeń okazała się możliwa, ale wymagała zmian w trasach ciągów instalacyjnych i ścisłej koordynacji międzybranżowej na budowie. Dodatkowym utrudnieniem było odkrycie w pachach sklepiennych fragmentów dekoracji malarskiej z XV i XVI wieku, która zgodnie z zaleceniami MWKZ została wyeksponowana w specjalnie skonstruowanych wnękach podpodłogowych.

Przyjęte do realizacji rozwiązania funkcjonalne zakładały przywrócenie tarasom widokowym od strony wschodniej funkcji tarasów publicznych. Są one wyjątkowo atrakcyjne; stąd właśnie można podziwiać najbardziej atrakcyjną wschodnią stronę Rynku Głównego z średniowiecznymi kościołami NMP, św. Barbary i św. Wojciecha, kamienicami krakowskiego patrycjatu m.inn.: Szarą, Montelupich, Pod Jaszczurami, czy Bonerów z renesansową attyką i pomnikiem Adama Mickiewicza na pierwszym planie z odtworzoną XIX wieczną brukowaną rozetą.

Aby stworzyć bezpieczną posadzkę tarasów zastosowano rozwiązanie dwu powłokowe. Powłoko-

From the west, the new rooms will be used as serving spaces (accessible from the terrace) and as educational rooms with necessary offices (from the south) and for more offices and serving spaces (from the north). Both sides are linked to the rooms in the Cloth Hall's side pavilions, and accessible from the public parts of the terraces.

However, the completion of this solution caused many difficulties for the contractor. The limitation of dimensions of height under the shed roofs resulted from the definition of the highest and lowest edges of the roof, that was imposed by the State Conservation Service, as well as from the accepted level of the usable spaces in the attic. The reinforced concrete slab over the vaults of rooms of the ground floor, was designed to take load from the vaults. The design foresaw the laying of diverse services (ventilation, air-conditioning, electrical cables etc.) The exposition of vaults during the construction proved their exceptional irregularities, which demanded individual solutions for each bay. Nevertheless, the usable level had to be maintained. The completion of works turned out to be possible; however, it demanded changes in the services design and utterly strict coordination on site. Moreover, during the works, the valuable fragments of the 15<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> century wall paintings were discovered in the vaults; according to the requirements of the State Conservator of the Małopolska Voivodship, they were exposed in the specially designed niches under the floor.

The accepted structural solutions foresaw the return of the old function for the terraces on the eastern side: that of the publicly accessible spaces. The terraces are exceptionally attractive; one is able to admire the most spectacular, eastern side of the Main Market Square -with the medieval churches of Most Holy Virgin Mary, St. Barbara, St. Adalbert, patricians' houses (such as those of the Montelupi or Boner families) and the monument to Adam Mickiewicz, with the restored 19<sup>th</sup> century paving in the form of a rosette.

In order to create a safe floor of the terraces, the double-shell solution was accepted. The lower shell is inclined, provides the drainage of rainwater and contains insulation. The upper one is a modular floor of sandwich panels. Its structural layer is an aluminum raster with the glued upper layer of artificial stone of specially chosen roughness, texture, and colour.

Next to the creation of a safe and comfortable floor of the terrace, another problem was posed by the original balustrade designed by Pryliński. Its height did not comply with today's building code,

ka dolna ze spadkiem zapewnia odprowadzenie wody opadowej i zawiera warstwy izolacji wilgociowej i termicznej. Powłoka górna, to modułarna posadzka dystansowa z płyt warstwowych. Warstwę konstrukcyjną nośną stanowi aluminiowy plaster miodu z klejoną górną warstwą z sztucznego kamienia o specjalnie dobranej szorstkości, fakturze i kolorze.

Obok stworzenia bezpiecznej i komfortowej posadki tarasu, problemem była wysokość oryginalnej kamiennej neogotyckiej balustrady, której wysokość nie spełniała norm bhp, a jej podniesienie do wymaganych rozmiarów nie było możliwe ze względów konserwatorskich. Przyjęto zatem rozwiązanie w formie poziomego szklanego parapetu ograniczającego dostęp do balustrady i nie widocznego z zewnątrz. Szczegóły rozwiązania ukazuje załączony do tekstu rysunek.

Realizacja restauracji i modernizacji Galerii Sztuki Polskiej XIX wieku Muzeum Narodowego w Sukiennicach potwierdziła znaną specyfikę projektu konserwatorskiego, który w trakcie prac budowlanych musi ulegać nieraz nawet daleko idącym zmianom, wynikającym z nowych odkryć i niespodzianek kryjących się w murach ponad 700-letniej budowli.

whereby the raising of the balustrade to the required dimension was ruled out from the point of view of conservation. Thus the solution was found – in form of a horizontal glass sill that limits the access to the balustrade and is not visible from the outside. The details of this solution are shown on the attached drawing.

The completion of the restoration and modernisation of the Gallery of the Polish Art of the 19<sup>th</sup> Century at the Cloth Hall has proved, once again, that designs for conservation are projects of a very specific kind. During the actual works on site, the designs must undergo even far-reaching changes that result from new discoveries and surprises that were hidden in the walls of a historic building. In this case, the edifice was replete with them – as *Sukiennice* are over 700 years old.

<sup>1</sup> C. Buško, W. Głowa, *Czy książę Bolesław dotrzymał słowa danego krakowskim mieszczanom?*. w: I Forum Architecturae Poloniae Medievalis 2007, praca zbiorowa pod red. K. Stali, Kraków 2007, s. 47-68

<sup>2</sup> Zespół ARCHECON-u w składzie: prof. arch. Andrzej Kadłuczka (gł. proj.), arch. Jacek Jaśko, arch. Katarzyna Kowalska, arch. Iwona Mróz, arch. Dominik Przygodzki

<sup>3</sup> Norweski Mechanizm Finansowy i Mechanizm Finansowy Europejskiego Obszaru Gospodarczego są instrumentami finansowymi, które przeznaczono dla nowych państw członkowskich Unii Europejskiej.

Są to dodatkowe, obok Funduszy Strukturalnych i Funduszy Spójności, źródła bezzwrotnej pomocy zagranicznej. Państwami – Darczyńcami są 3 kraje EFTA (European Free Trade Association – Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu) – Norwegia, Islandia i Lichtenstein, nie należące do Unii Europejskiej.

Kraje te w zamian za możliwość korzystania ze swobód Jednolitego Rynku Europejskiego, same nie będąc członkami Unii Europejskiej zobowiązały się stworzyć Norweski Mechanizm Finansowy (norway grants) i Mechanizm Finansowy EOG (eea grants), których celem będzie udzielanie pomocy finansowej mniej zamożnym członkom UE posiadającym najniższy poziom PKB. ([www.norwaygrants.pl](http://www.norwaygrants.pl)).

<sup>4</sup> H.O.F. Muller, H.J. Schmitz, *Lighting Design in Museum*, w: *A Design Manual. Museum Buildings*, Birkhauser, Basel 2004; “Access to the majority of exhibits presented in museums is visual. Light therefore has to serve the museum in a very conventional sense. As a controllable medium, artificial light is particularly suitable for making exhibits visible to visitors”, s. 56

<sup>1</sup> C. Buško, W. Głowa, *Czy książę Bolesław dotrzymał słowa danego krakowskim mieszczanom?*. in: I Forum Architecturae Poloniae Medievalis 2007, ed. by K. Stala, Kraków 2007, pp. 47-68

<sup>2</sup> ARCHECON design team: Architect Prof. Andrzej Kadłuczka (design principal), architects: Jacek Jaśko, Katarzyna Kowalska, Iwona Mróz, Dominik Przygodzki

<sup>3</sup> Norway Grants and Financial Mechanism of the European Economics Area Financial Mechanism are financial instruments dedicated for the new member states of the European Union. Apart from the Structural Funds and the Cohesion Fund, they are the main sources of the non-refundable foreign financial aid. Donor states are 3 countries of the EFTA (European Free Trade Association) - Norway, Iceland and Liechtenstein. The donor states, which are not members of the EU, enjoy the liberties of the European free market, and thus decided – in exchange – to create the EEA Grants and Norway Grants, which aim at supporting the less affluent member states of the EU, with the lowest GNP. ([www.norwaygrants.pl](http://www.norwaygrants.pl)).

<sup>4</sup> H.O.F. Muller, H.J. Schmitz, *Lighting Design in Museums*, w: *A Design Manual. Museum Buildings*, Birkhauser, Basel 2004; “Access to the majority of exhibits presented in museums is visual. Light therefore has to serve the museum in a very conventional sense. As a controllable medium, artificial light is particularly suitable for making exhibits visible to visitors”, s. 56

Paweł Jaskanis\*

## Prace konserwatorskie w Muzeum Pałacu w Wilanowie po 2003 roku

### Conservator's works in the Museum Palace in Wilanów after 2003

Do niedawna aktualny był obraz muzeum wilanowskiego, ugruntowany po 1945 roku, jako rezydencjonalnego muzeum sztuki, zwolnionego z obowiązku systematycznego urządzania wystaw czasowych, edukacji przyrodniczej oraz realizacji programów szeroko rozumianej, prospołecznej animacji kulturowej. Tymczasem potencjał rozwoju muzeum skłania do przeciwnego widzenia jego walorów. Strategia rozwoju instytucji określa je jako harmonijne połączenie kultury z naturą, a nakreślony program zmierza w stronę zbudowania muzeum narracyjnego o istniejących i dawnych zasobach kulturowych i przyrodniczych.

Osią tych opowieści jest *genius loci*, stawiący także o strukturze strategii działania i kierunkach strategii cząstkowych – wystawienniczej, konserwatorskiej, gospodarki muzealiami, przyrodniczej, edukacyjnej, wizerunkowej etc. Głównymi bohaterami opowieści są najbardziej znani twórcy Wilanowa: Jan III (1629-1696), król i zwycięski wódz, przez wieki symbol sukcesu politycznego, militarnego i kulturalnego, oraz Stanisław Kostka Potocki (1755-1821), obywatel czynny w służbie publicznej, społecznik, erudyta, zapalony kolekcjoner, archeolog, krytyk i historyk sztuki. Wilanowska tradycja muzealna, zapoczątkowana przez niego 5 sierpnia 1805 r. udostępnieniem dla wszystkich swojej kolekcji i wnętrz rezydencji Jana III, należy do najstarszych w Polsce. Jej wyjątkowość wzmacnia nieprzerwana obecność cennych zbiorów w tym samym miejscu oraz ich geneza. Od momentu powołania celem muzeum było i jest

Until recently, the current image of the Wilanów museum was that well-grounded after 1945 as a residence-type museum of the art, exempted from the duty of systematic providing temporary exhibitions, natural education and realization of programs of broadly understood, society-oriented cultural animation. Meanwhile, the development potential of the museum induces to the opposite seeing its values. The strategy of development of the institution defines it as a harmonious connection of culture with the nature, and the outlined program aims toward building a narrative museum with presently existing and former cultural and natural resources.

The axis of these tales is its *genius loci*, also making up the structure of the operating strategy and the directions of partial strategies – expository, conservator's, management of the museum resources, natural, educational, image-making etc. The main heroes of the tale are the best known creators of Wilanów: John III (1629-1696), king and victorious commander, for centuries the symbol of political, military and cultural success, and Stanisław Kostka Potocki (1755-1821), a citizen active in the public service, a social welfare activist, an erudite person, a keen collector, archaeologist, an art critic and a historian of the art. The Wilanów's museum tradition, which was initiated by him on 5<sup>th</sup> August 1805, by his making all his own collection and the interiors of residence of king John III available to the public, belongs to the oldest in Poland. Its exceptionality is strengthened by uninterrupted presence of valuable collections in the same place and the origin thereof. Since the moment it was called into being the objec-

wychowanie społeczeństwa przez sztukę i historię. Działania konserwatorskie, rozpoczęte na szeroką skalę w 2003 r., są nie tylko ważnym składnikiem ochrony i zachowania, ale również interpretowania wilanowskiego *genius loci*. Rozumiemy je nie tylko jako wartość odziedziczoną, ale również jako część współczesnego, wciąż na nowo rozpoznawanego i przeżywanego świata z jego bogactwem nowoczesnych technologii, zjawisk kultury i środków komunikacji społecznej. Kulturowaniu tradycji muzealnej świątyni sztuki i historii towarzyszy zatem imperatyw rozwojowy w stronę forum dla dialogu publiczności ze specjalistami różnych zawodów. W ostatnich latach potrzeby wyznaczyły wiodącą rolę konserwatorom zabytków i współpracującymi z nimi naukowcom<sup>1</sup>.

### **1. Nowy kostium barwny elewacji Pałacu w Wilanowie**

Ogólny zły stan zachowania pałacu, a w szczególności katastrofalny stan dekoracji rzeźbiarskiej, tynków i stolarki okiennej, wymusiły szeroko zakrojone działania ratownicze. Muzeum Pałac w Wilanowie we współpracy z Międzyuczelnianym Instytutem Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki warszawskiej i krakowskiej Akademii Sztuk Pięknych podjęło w 2003 r. na szeroką skalę interwencyjne prace konserwatorskie. Ich przeprowadzenie nie byłoby możliwe bez rozbudowanego programu badawczego. Dokonano wielu interesujących odkryć, które pozwoliły na zweryfikowanie i uzupełnienie dotychczasowej wiedzy – między innymi o barwnym kostiumie elewacji oraz wyglądzie przyległego do pałacu ogrodu wschodniego i muru oporowego z Grotą Sobieskiego.

Odkrycia architektoniczne i archeologiczne stały się impulsem do ponownej analizy utrwalonych w obszernej literaturze przedmiotu dawnych wniosków. Niektóre z wprowadzonych podczas rozległych prac konserwatorskich przed pół wiekiem rozwiązań technicznych i estetycznych nie wytrzymały próby czasu, jak dość powszechne stosowanie cementu czy neutralnego – klasycznego, „konserwatorskiego” kostiumu barwnego.

Wszystkie prace były precyzyjnie dokumentowane. Duża liczba wykonanych sond schodkowych, odkrywek i badań murów, analiz chemicznych tynków i pigmentów, a także zastosowanie urządzeń pomiarowych barwy, obiektywizujących subiektywne wrażenia ludzkiego oka, umożliwiły doprecyzowanie założeń programu i położenie nacisku na jakościowe cechy. Do prac

tive of the museum has always been the education of the society by art and history.

Conservator's workings, begun on the wide scale in 2003, make not only an important component of protection and preservation, but also of interpreting the Wilanów's *genius loci*. We understand it not only as an inherited value, but also as a part of the contemporary, still anew recognized and experienced world with its wealth of modern technologies, the cultural phenomena and the means of social communication. The imperative to develop towards creating the forum for the dialogue of the public with the experts of various trades goes in hand with cultivating the tradition of the museum as a temple of art and history. In the recent years the needs have assigned the leading role to the conservators of relics and scientists co-operating with them<sup>1</sup>.

### **1. The new colorful outfit of the façade of the Palace in Wilanów**

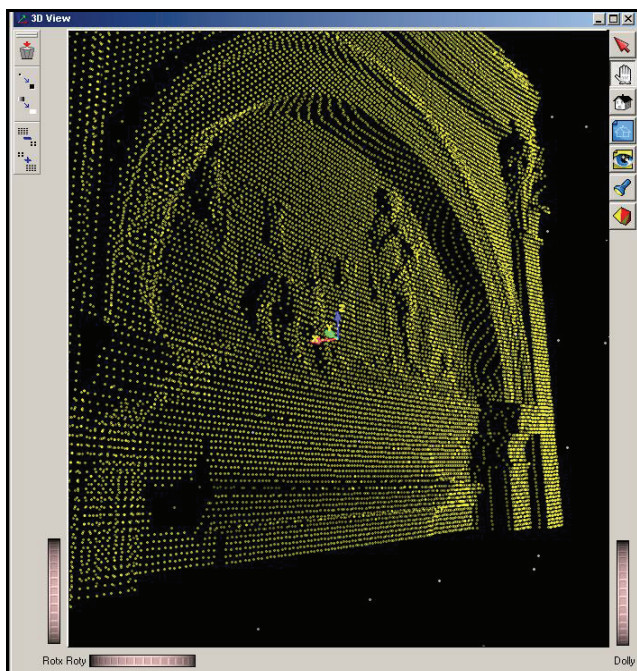
Generally bad condition of preservation of the palace, and especially the catastrophic condition of the sculptor's decoration, plasters and window woodwork, compelled to start vastly conceived rescue workings. The Palace Museum in Wilanów in cooperation with The Inter-University Institute of Conservation and Renovation of Works of Art in Warsaw and The Cracov Academy of Fine Arts in 2003 undertook intervention conservator's works of a wide range. Their execution would not be possible without a complex investigative program. There have been made many interesting discoveries, which allowed to verify and supplement the hitherto existing knowledge – among others about the colorful outfit of the façade and the appearance of the eastern garden adjacent to the palace and the retaining wall with The Sobieski Cave.

Architectural and archaeological discoveries become the impulse to renewed analysis of former conclusions fixed in the vast literature of the object. Some of the technical and aesthetical solutions introduced during extensive conservator's works half a century ago, such as quite common applying of cement or neutral – classic color 'conservator's' outfit, have not stood the test of time.

All works were documented exactly. The large number of carried out step probes, strip tests and investigations of walls, chemical analyses of plasters and pigments, and also application of color measuring devices, rendering the subjective impressions of the human eye objective, made possible to set precisely the foundations of the program and emphasize the qualitative aspects. For these works

wykorzystywano m.in. lasery skanujące elewacje pałacowe, kamery termowizyjne, spektrofotometry i nowoczesne systemy odgromowe. Każdy ujawniony element struktury i wystroju pałacu był i jest przedmiotem badań i dokumentacji, a następnie analizy potencjału ujawnionych fenomenów w określeniu poprawnego historycznie wyglądu poszczególnych części kompozycyjnych budowli. Archiwizowanie pobranych historycznych próbek i współcześnie zastosowanych materiałów ma zapewnić przyszłym pokoleniom konserwatorów elementarną wiedzę o zrealizowanych przez poprzedników rozwiązaniach technologicznych. Jednocześnie fasady pałacowe poddawane są stałemu monitoringowi, który pozwoli na uchwycenie czasu i miejsc, w których rozpoczyna się proces degradacji tynków czy zmiany kolorystyki pałacowych elewacji<sup>2</sup>.

amongst other there were applied lasers for scanning the palace façades, thermovision cameras, spectrophotometers and modern lightning arrester systems. Each discovered element of the structure and the interior decorations of the palace has been the object of investigations and documentation, and then of the analysis of the potential of the disclosed phenomena to determine historically correct appearance of individual compositional parts of the building. Forming archives of taken historical samples and contemporarily applied materials is to provide future generations of conservators with elementary knowledge about the technological solutions applied by their predecessors. Simultaneously the Palace façades are subjected to permanent monitoring which will allow to capture the time and places in which the process of degradation of plasters begins or changes in the coloring of the palace façades<sup>2</sup>.



Rys. 1. Restytucja fasady na ekranie na podstawie danych ze skanowania laserowego

Fig. 1. Restitution of the façades on screen on the basis of data from laser scanning

Zebrane dotąd dane pozwalają na hipotetyczne wyodrębnienie dwóch faz w barwieniu tectoniki architektonicznej w epoce baroku, odpowiadających kolejnym rozbudowom pałacu. Na białych, lekko rozróżwionych laserunkiem ścianach wielki porządek w latach 1681-88 był zapewne barwy ceglastej różu o nieustalanej intensywności. Zachowały się szczątkowe fragmenty tego koloru na niektórych pilastrach wieżowych. Barwionych w masie jest kilka kapiteli i kroksztyny. W latach 90. XVII w. wielki porządek i elementy architektoniczne, jak obramienia okienne, w tym także piaskowcowe, zostały pomalowane na żółto w od-



Rys. 2. Prace konserwatorskie przy rzeźbach na elewacjach pałacu

Fig. 2. Conservator's works on sculptures on the façades of the palace

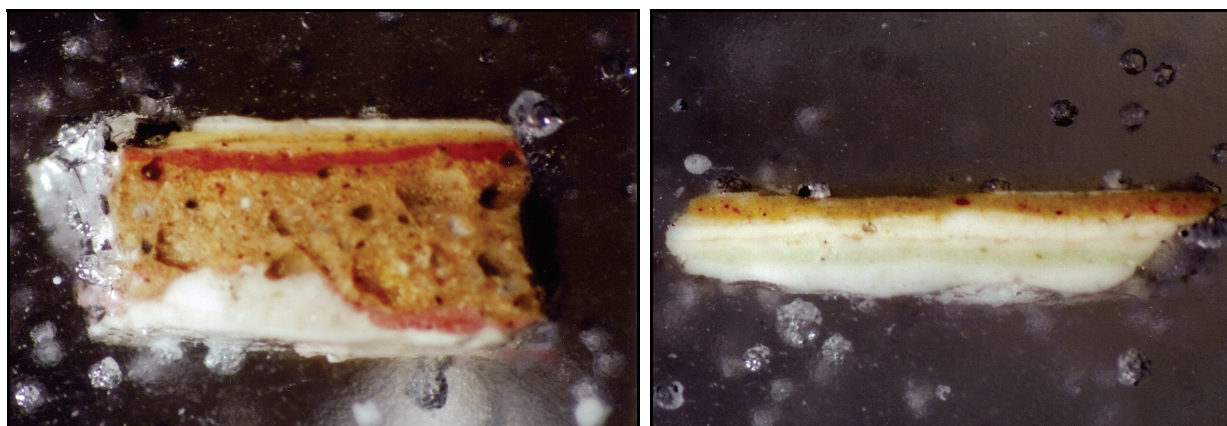
The data collected so far allow to single out two phases in dyeing the architectural tectonic in the epoch of the baroque, which correspond to the following extensions of the palace. On the white walls, slightly pink hued with glaze, the great order in years 1681-88 was surely the color of brick pink of non established intensity. The residual fragments of this color have been preserved on some tower pilasters. Several capitals and corbels were bulk dyed. In the 90-ties of XVII century great order and architectural elements, such as window framing, in this also made from sandstone, became painted yellow in the shade pretending ducat

cieniu naśladowującym złoto dukatowe. W obu fazach dekoracja rzeźbiarska przynajmniej niektórych elementów była czerwona w odcieniu wiśniowym, jak sam to określił Jan III Sobieski w dopisku na liście do niego z dnia 31 października 1681 r. od budowniczego pałacu Augustyna Locciego<sup>3</sup>. Niektóre rzeźby w niszach w elewacjach frontowych galerii ogrodowych do dzisiaj zachowały w załomkach modelunku fragmenty wiśniowego, a na nim żółtego opracowania kolorystycznego. Odpowiadają mu ostatnio odkryte czerwone, walorowo zróżnicowane podkreślenia iluzjonistycznych profili w portalu wejścia do skarbcza Sobieskiego w wieży południowej. Z tzw. fazy żółtej pochodzą ślady malowanego cienia, dobrze czytelne przy niektórych wolutach kapiteli i przy portalach frontowych w galeriach ogrodowych. Na boku cokołu przy portalu południowym ujawniono wryty szkic barokowego inicjału z czytelnymi literami R[ex] J[oannes] T[ercius]. Tworzące je rowki są wycięte w najstarszej warstwie tynku i wypełnione żółtą farbą. Cokół jest dostawiony do ściany, zaś stojąca na nim półkolumna została wyszpaldowana dla wzmocnienia plastyczności pierwotnego trzonu. Wydaje się, że w II i III fazie rozbudowy pałacu (czyli najogólniej lata 80. i 90. XVII w.) odcienie czerwieni stosowano dla podkreślenia zasadniczych pod względem przekazywanych treści dekoracji artystycznej i elementów tektoniki architektonicznej, wkomponując je w żółcie na pozostałych składowych elewacji. Zaskoczyła nas trwałość tradycji stosowania żółci zastąpionej na całych ścianach beżem dopiero ok. 1900 r. Nawet neorenesansowa elewacja pn. skrzydła pn. korespondowała z kodem kolorystycznym króla Jana III. Jego „czerwona część” zachowała się utleniona na szaro, patynując zabytek.

Pierwotne, dla żyjących pokoleń nowe kolory elewacji wilanowskiego pałacu do dziś budzą żywe

gold. In both phases sculptor's decoration, at least in some elements, was red in the cherry tint, as king John III Sobieski described it himself in the postscript to the letter sent to him on 31<sup>st</sup> October 1681 by Augustine Locci<sup>3</sup>, the builder of the palace. Some sculptures in niches in the façades of front garden galleries have kept till today fragments of cherry color with yellow color work, in the caving of the modeling. This corresponds to recently discovered red, diverse in intensity accents of illusionistic profiles in the entrance portal to Sobieski's treasury in the south tower. The traces of the painted shadow come from the so-called yellow phase, well readable at some volutes of capitals and near front portals in garden galleries. On the side of the pedestal near the south portal there has been discovered engraved draft of a baroque initial with readable letters R[ex] J[oannes] T[ercius]. The grooves forming it are cut in the oldest layer of the plaster filled with yellow paint. The pedestal is standing at the wall, while the half column standing on it became scone brick filled in order to strengthen the plasticity of the primal shaft. It seems that in the II and III phase of the extension of the palace (that is most generally in the 80-ies and 90-ies of XVII century) the red tints were applied in order to emphasize the principal communicative contents of the artistic decoration and the elements of architectural tectonic, matching them to the yellow pigments on the remaining components of the façades. The durability of the tradition of applying yellow color was surprising, as it was replaced by beige on the whole walls only about 1900. Even the neo-renaissance north façade of the north wing corresponded with king John's color code. His 'red part' remained as oxidized to grey color, adding cobwebs of antiquity to the relic.

Original colors of the façade of the Wilanów palace, which to the contemporary public seem new,



Rys. 3-4. Próbkę kolorów na elewacji pałacowej  
Fig. 3-4. Samples of colors on the palace façade



reakcje u publiczności, początkowo oparte na zaskoczeniu i zmieszaniu zupełnie odmienną od poprzedniej szatą barwną. Z wychowania domowego i szkolnego oraz obserwacji otaczającej nas architektury większość społeczeństwa, a przynajmniej ta jego część, która zwiedza zabytki lub profesjonalnie zajmuje się ich badaniem i renowacją, ma upodobania kolorystyczne odpowiadające kanonowi architektury klasycystycznej. Na tak ukształtowany gust z pewnością od 2. połowy XVIII w. wpływ mieli tzw. klasycy, a z czasem konserwatorzy zabytków. Pomijając problem genezy poglądów i ich zmian, można stwierdzić panowanie do niedawna w ochronie zabytków budownictwa neutralnej, złamanej bieli czy dla baroku jednolitego, delikatnego żółcienia, uchodzących za oczywisty środek „uczytelniania” zabytkowego charakteru obiektu, nawet, jeśli znamy oryginalną kolorystykę elewacji.

Przed konserwacją kolor elewacji wilanowskich był na tyle neutralny i już przybrudzony, że nie był postrzegany jako składowa *decorum* jednego z najpiękniejszych pałaców w Polsce i niezwykłego przykładu architektury barokowej. Obecnie stanowi jego integralny element i otwiera pole do różnorodnych interpretacji – na pałac możemy patrzeć umownie dostrzegając w nim białą, marmurową budowlę, opiętą złotą koronką tektoniki korynckiego porządku architektonicznego z porfirowymi aplikami najważniejszych pod względem przekazywanych treści scenami, gloryfikujących króla Jana III i królową Marię Kazimię. Inny kierunek poszukiwań dają same kolory. Żółty i czerwony należą do barw podstawowych, których znaczenie dla sztuki było w tamtym czasie dyskutowane w Akademii Francuskiej. Dodajmy do tego błękit nieba lub bliski mu turkus grynszpanu na miedzianych blachach<sup>4</sup>.

wake their live reactions, which consist in surprise and confusion with this new color outfit completely different from the previous one. From home and school education as well as from the observation of the architecture surrounding us, the majority of the society, and at least this part of it who go visiting relics or professionally deal with their investigation and renovation, have their own color fancies, concerning the canon of neoclassical architecture. This so shaped taste for sure was influenced from the 2<sup>nd</sup> half of XVIII century by the so-called classics, and as the time went by, the conservators of relics. Ignoring the problem of the origin of opinions and their changes, one can say that as the rule, until recently, for the purposes of protection the relics of building it was neutral off-white or uniform delicate yellowish for baroque that was applied for the object as the obvious means of ‘making readable’ the antique character of the object, even if we know the original coloring of the façade.

The color of the façades of Wilanów was so much neutral before conservation, and already dirtied up, that it was not perceived as the component of *decorum* of one of the most beautiful palaces in Poland and an unusual example of baroque architecture. Now the color makes up its integral element and opens the field for a variety of interpretations – we can look at it conventionally, perceiving in it the white, marble building laced with the gold tectonic of the Corinthian architectural order with porphyry decorations of the most important, as regards their contents, scenes glorifying king John III and queen Maria Kazimiera. Colors themselves give another direction of research. Yellow and red belong to the basic colors, whose meaning for the art was at that time discussed at The French Academy. Let's add to this the blue of the sky or close to it turquoise of verdigris on copper metal sheets<sup>4</sup>.



Rys. 5. Elewacja pałacu od dziedzińca w nowej szacie kolorystycznej  
Fig. 5. Façade of palace from the piazza in the new color outfit



Rys. 6. Elewacja pałacu od ogrodu w nowej szacie kolorystycznej  
Fig. 6. The façade of the palace from the garden in the new color outfit

## 2. Projekt *Restauracja wnętrza pierwszego w Polsce muzeum sztuki – Muzeum Pałac w Wilanowie (2005-2007)*

Środki Unii Europejskiej (dofinansowanie 75% wartości projektu) zostały wykorzystane na szeroką skalę w ramach projektu *Restauracja wnętrza pierwszego w Polsce muzeum sztuki – Muzeum Pałac w Wilanowie*, realizowanego przy dofinansowaniu z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego w zakresie Działania 1.4. – *Rozwój turystyki i kultury*. Głównym przedsięwzięciem w ramach projektu były prace badawcze i konserwatorsko-restauratorskie w *Pokojach Chińskich i Myśliwskich*.

Stan konstrukcji i dekoracji *Pokoju Chińskiego i Myśliwskiego*, powstałych w latach 80. XIX wieku, dzięki Aleksandrze Augustowej Potockiej, w ostatnich dziesięcioleciach stale się pogarszał. Postępujące deformacje i odpadanie elementów wystroju spowodowały, że konieczne stało się lokalne podstemplowanie sufitów. Przyjętym założeniem prac było dotarcie do oryginalnych najstarszych warstw dekoracji, przeprowadzenie badań, całkowite usunięcie późniejszych nawarstwień, konserwacja i zabezpieczenie oryginalnej substancji oraz uzupełnienie i rekonstrukcja zniszczonych obszarów. Działania poprzedziło wykonanie badań *in situ*, badań laboratoryjnych, w tym fizyko-chemicznych, mikrobiologicznych, dendrologicznych i badań dotyczących stanu zachowania konstrukcji nośnych (powstałych w latach 60. XX wieku) w odniesieniu do oryginalnych partii sufitów.

Konserwacja polegała na całkowitym demontażu wystroju aż do ceglanego muru. W *Pokojach Chińskich* zdjęto papierowe tapety, a następnie pod-

## 2. Project *Renovation of the interiors of the first in Poland museum of art – Museum Palace in Wilanów (2005-2007)*

Financial means from European Union (refinancing 75% of the value of the project) became used on the large scale within the project *Renovation of the interiors of the first in Poland museum of art – Museum Palace in Wilanów*, which is realized with refinancing from The European Regional Development Fund within the Integrated Operating Program for Regional Development in the range of Action 1.4. – *Development of Tourism and Culture*. Investigative and conservator's – renovation works in the *Chinese Rooms and Hunting Rooms* were the main undertaking within the project.

The condition of construction and decoration of the *Chinese Rooms and Hunting Rooms*, formed in the 80-ies of XIX century thanks to Alexandra Augustowa Potocka, in the last decades has been continually getting worse. Advancing deformations and falling off elements of interior decorations made it necessary to have the ceilings locally propped. It was the agreed upon foundation for the works to reach to the original oldest layers of decoration, to carry out investigations, totally remove the later accumulations, conservation and protection of the original substance and making up and reconstruction of worn out areas. The action within this scope was preceded by investigations *in situ*, laboratory investigations, in this physical-chemical, microbiological, dendrological and investigations relating to the condition of preservation of the load-bearing constructions (originated in the 60-ties of XX century) in reference to the original parts of ceilings.

Conservation consisted in total disassembling the interior decorations up to the brick wall. In the *Chinese Rooms* paper wallpapers were taken off,



Rys. 7. Zniszczenia belek konstrukcyjnych kasetonów w Dużym Pokoju Chińskim

Fig. 7. Destruction of constructional beams of coffers in Large Chinese Room



Rys. 8. Pokoje Chińskie po konserwacji

Fig. 8. Chinese Rooms after conservation

dano je procesom odkwaszenia, a także oczyszczania mechanicznego i chemicznego. Zdemonstrowano również dekoracyjne elementy drewniane i niektóre gipsowe, zdjęto boazerię, oczyszczono i podklejono powierzchnię malatur, elementów drewnianych wystroju, usunięto przemalowania i pociemniałe retusze konserwatorskie, wykonano impregnację i zabezpieczenie przeciwgrzybiczne uszkodzonych fragmentów stropu oraz zastrzyki grawitacyjne i ciśnieniowe w miejscach odwarstwień tynku i sztablatur. Wykonano także rekonstrukcje zniszczonych fragmentów belek stropowych, założono wielowarstwowe kity oraz łąty wapienno-piaskowe w miejscu ubytków tynków, jak również przygotowano podłoże pod rekonstrukcję warstwy malarskiej, a następnie rozpoczęto jej retuszowanie. Po zakończeniu prac w 2007 roku w amfiladzie *Pokoju Chińskich i Myśliwskich* oraz przyległej sieni na piętrze południowego skrzydła pałacu znalazła się nowa, stała ekspozycja unikalnych kolekcji rzemiosła artystycznego, głównie porcelany z Miśni i Chin, biskwitów, szkła, złotnictwa empirowego, ebenistyki, zegarów i malarstwa na papierze ze wschodniej Azji.

Projekt objął również prace badawcze i konserwatorsko-restauratorskie w sieni i klatce schodowej, *Sypialni Królowej*, *Antygabiniecie Królowej*, *Gabiniecie Zwierciadlanym* oraz opracowanie wytycznych dalszego postępowania konserwatorskiego w innych, zabytkowych wnętrzach na parterze pałacu<sup>5</sup>.

### **3. Ukończenie prac konserwatorskich przy elewacjach pałacowych**

W 2007 roku Muzeum Pałac w Wilanowie podpisało z Ministerstwem Kultury i Dziedzictwa Narodowego umowę finansową o dofinansowanie projektu *Renowacja królewskiego zespołu pałacowo-ogrodowego w Wilanowie – etap II, Priorytet 3. – Ochrona kulturowego dziedzictwa europejskiego, w tym transport publiczny i odnowa miast*, ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego. W ramach projektu prace konserwatorsko-restauratorskie prowadzone od lipca 2007 r. do grudnia 2008 r. przez Międzyuczelniany Instytut Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki, objęły pozostałą część elewacji Pałacu w Wilanowie (elewacja południowa skrzydła południowego, elewacja północna skrzydła północnego, elewacja od strony ogrodu) oraz elewacje Łazienki Lubomirskiej, tzw. Marconiówki. Po zakończeniu prac elewacje pałacowe przywróciły blask dawnej rezy-

and then subject to the processes of de-acidifying, and also to mechanical and chemical cleaning. Also decorative wooden elements and some plaster were disassembled, the paneling was taken off, cleaned and the surfaces of wall painting and wooden elements of interior decorations were glued underneath, the repainting and darkened conservator's retouching was removed, the damaged fragments of the ceiling got impregnated and anti fungi protection was applied and there were gravitational and pressure injections made in the places of defoliation of the plaster and smooth plastering. The reconstructions of the worn out fragments of ceiling beams was also made, multi-layer putty and lime-sand patches were put on in the place where plaster was lost, and underlying base was prepared for reconstruction of painter's layer, and then retouching thereof was begun. After completing works in 2007 in the *Chinese Rooms and Hunting Rooms* amphillade and the adjacent hall, the first floor of the south wing of the palace became the place for exhibition of unique collections of artistic craft, mainly china from Meissen and China, bisques, glass, Empire goldsmithery, cabinet-making, clocks and eastern Asia painting on the paper.

The project also included investigative works and conservator's-renovation works in the hall and the staircase, *Queen's Bedroom*, *Queen's Antechamber*, *Mirror Study* and the working out the guidelines for further conservator's proceeding in other antique interiors on the ground floor of the palace<sup>5</sup>.

### **3. Completion of conservator's works on the palace façades**

In 2007 The Museum Palace in Wilanów signed a financial contract with the Ministry of Culture and National Heritage pertaining to subsidiary financing of the project *Renovation of the royal palace and gardens complex in Wilanów – stage II, Priority 3. – Protection of the cultural European heritage, in this public transportation and renovation of cities*, from the means of The Financial Mechanism for European Economic Area. Within this project the conservator's-renovation works, carried out from July 2007 to December 2008 by The Inter-University Institute of Preservation and Renovation of Works of Art, included the remaining part of the façade of the Palace in Wilanów (the south façade of the south wing, the northern façade of the northern wing, the façade from the side of the garden) and the façades of The Lubomirska's Bathroom, so-called Marconiówka. After completing the works, the Palace

dencji króla Jana III Sobieskiego, odsłaniając jej nowe barwy i odrestaurowane rzeźby, płaskorzeźby i malowidła ścienne wykonane w technice al-fresco. Prace te były kontynuacją wcześniejszych zabiegów konserwatorskich na elewacjach pałacowych od strony dziedzińca.



Rys. 9. Szata kolorystyczna w korpusie głównym pałacu od strony dziedzińca

Fig. 9. The color outfit of the main body of the palace from the side of the piazza

Środki Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego przyznane Muzeum w 2008 roku w ramach programu *Dziedzictwo kulturowe*, Priorytet 1. – *Rewaloryzacja zabytków nieruchomych i ruchomych*, pozwoliły na ukończenie prac. Wykonano wówczas m.in. konserwację i remont południowego fragmentu muru oporowego, prace restauratorsko-konserwatorskie ośmiu zewnętrznych drzwi korpusu głównego i skrzydeł pałacu, zabezpieczające prace konserwatorskie przy wykonanych z narzutu oraz polichromowanych elementach wystroju elewacji ogrodowej korpusu głównego pałacu: płaskorzeźbionym zegarze słonecznym, motywach z Uranosem, Sybillą i personifikacją Sławy.

#### 4. Prace archeologiczne w Muzeum Pałacu w Wilanowie

Realizacja programu archeologicznych badań wykopaliskowych związanego z akcją restauracji Pałacu w Wilanowie i rewitalizacji przestrzeni ogrodowej otaczającej rezydencję, została zapoczątkowana już w 2003 r. w ramach współ-

façades restored the glitter of the king John III Sobieski's former residence, exposing its new colors and restored sculptures, bas-reliefs and wall paintings executed in the al-fresco technique. These works were the continuation of earlier conservator's activities on the palace façades from the side of the piazza.



Rys. 10. Odrestaurowana elewacja północna skrzydła północnego

Fig. 10. Restored northern façade of the northern wing

The financial means from Minister of Culture and National Heritage assigned to the Museum in 2008 within the program *Cultural Heritage*, Priority 1. – *Revaluation of immovable and movable relics* allowed to bring the works to completion. Amongst other the following was accomplished: conservation and repair of the south fragment of the retaining wall, renovation-conservator's works of eight external doors of the main body and the wings of the palace, protecting conservator's works on the elements of the garden façade decorations of the main body of the building, executed by floating coat and the polychromic ones: bas-relief sundial, motives with Uranos, Sybill and personification of Fame.

#### 4. Archaeological works at Museum Palace in Wilanów

Realization of the program of archaeological investigations of excavations connected with the action of renovation of Palace in Wilanów and revitalization of the garden environment surrounding the residence, was begun already in 2003, within the

pracy Muzeum i Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków. W roku 2008 nastąpiła zmiana instytucji realizującej program badawczy przy utrzymaniu tej samej obsady osobowej. Od II kwartału 2008 r. za organizację i przebieg badań archeologicznych odpowiedzialny jest „Zespół Archeologiczno-Konserwatorski – Andrzej Gołembnik”.

W roku 2003 prace skoncentrowane były na dziedzińcu pałacu i w pobliżu muru oporowego. Priorytetem było odkrycie sposobu wznoszenia muru oraz określenie jego pierwotnej formy i poziomu użytkowego ogrodu z przełomu XVII i XVIII w. Wiadomo, że teren ten był niższy o ok. 20 centymetrów – schody wiodące na taras były pierwotnie o jeden stopień wyższe. W roku 2007 odkryto zachodni kraniec południowego Muru Oporowego, wyznaczającego zasięg Tarasu Górnego, dzięki któremu określono definitywnie sposób budowy muru. Zgodnie z przyjętą koncepcją rebarokizacji mur oporowy zostanie zrekonstruowany w kształcie, jaki widnieje na obrazach Canaletta z 1776 i 1777 roku.

Innym doniosłym odkryciem archeologicznym było odsłonięcie konstrukcji fundamentu ogrodzenia dzielącego część reprezentacyjną i gospodarczą rezydencji wilanowskiej, czyli pierwotny barokowy dziedziniec. W roku 2008 udokumentowano pierwotny poziom użytkowy dwóch najstarszych poziomów dziedzińca pałacowego. Wyzwaniem na dalszą przyszłość będzie odtworzenie kształtu owego dwudzielnego dziedzińca, którego krzywizny i oś kompozycyjna całości założenia pałacowo-ogrodowego dawniej uwypuklały urodę architektury i ułatwiały odczytanie znaczeń. Przywrócenie pierwotnego poziomu nawierzchni dziedzińca przez obniżenie spowoduje odzyskanie miejscami do ok. 4% wysokości elewacji, co ma znaczenie dla oryginalnej proporcji architektonicznej. Mamy nadzieję, że barokowy dziedziniec odtworzymy przed 2014 r., o ile Muzeum zdobędzie odpowiednie środki i uzyska odpowiednie poparcie autorytetów i opinii społecznej. Wstępne sondáže w tej sprawie budzą szerokie zainteresowanie i aprobatę.

Badania archeologiczne przynoszą również wiedzę o historii Wilanowa (*alias* Milanowa) sprzed rządów Jana III Sobieskiego. W 2007 roku udało się określić zasięg średniowiecznego cmentarzyska znajdującego się w linii Alei Grabowej i po południowej stronie Oranżerii, zaś rok później na południowym skraju obecnego dziedzińca natrafiono na dwa pochówki szkieletowe, datowane przez archeologów na koniec XI w. Według opinii współpracującego z archeologami antropologa, mogą one stanowić dowód obecności krótkotrwa-

co-operation of Museum and National Centre of Investigations and Documentation of Relics. The change of the institution realizing the investigative program, while keeping the same personal content of the working team, took place in 2008. Since the II quarter of 2008 it is ‘The Archeological-Conservator’s Team – Andrzej Gołembnik’ that is responsible for organization and proceeding of archaeological investigations.

In the year 2003 works were focused upon the piazza of the palace and close to the retaining wall. The priority was to discover the way of raising the wall and to determine its original form and the level of usable garden from the turn of XVII and XVIII centuries. It is known that this terrain was lower by about 20 centimeters – the flight of stairs leading up to the berm was originally higher by one step. The western border of the south Retaining Wall, marking out the range of the Upper Berm, was discovered in 2007, thanks to which the way of building the wall was definitely determined. Up to the agreed upon conception of restoring baroque features of the retaining wall it will be reconstructed in the shape which is visible on paintings by Canaletto from 1776 and 1777.

Another momentous archaeological discovery was exposure of the construction of the foundation of the partition between the representative and the household parts of the Wilanów residence, which was the original baroque piazza. In 2008 the documentary evidence of the original usable level of the oldest two levels of the palace piazza was made. The challenge for the future will be reproducing the shape of the two-part piazza, whose curvatures and the composition axis of the whole of the palace-gardens complex formerly emphasized the beauty of architecture and facilitated reading out the meanings. Restoration of the original level of the surface of the piazza by lowering thereof will result in some places in recovery up to approx. 4% of the height of the façade, which is important for the original architectural proportion. We hope that we will reproduce the baroque piazza before 2014, if the Museum acquires suitable means and gets suitable support of the authorities and the public opinion. Preliminary survey in this matter wake wide interest and approval.

Archaeological investigations also bring knowledge about the history of Wilanów (*alias* Milanow) from the times before the reign of John III Sobieski. In 2007 the range of mediaeval burial ground being in the line of the Hardbeam Alley and on the south side of the Orangery was successfully established, while a year later on the south edge of the present piazza two skeletal burials were discovered, dated by archaeologists at the end of XI century. According to the opinion of an anthropologist co-operating with the archaeologists,



Rys. 11. Prace archeologiczne na tarasie górnym  
 Fig. 11. Archaeological works on upper berm

łego siedliska ludności pochodzenia skandynawskiego. Na terenie Tarasu Górnego odsłonięto pozostałości dworskiej zabudowy, datowanej przez archeologów na schyłek XV wieku.

Wszystkie dotychczasowe odkrycia archeologiczne udokumentowane zostały przy zastosowaniu najnowszych osiągnięć metodyki badawczej i unikatowej techniki dokumentacyjnej. Wykonana w czasie prac archeologicznych dokumentacja fotogrametryczna zapisana została w archiwum zorganizowanym w systemie CAD (rysunek utworzony po skanowaniu obiektu laserowym skanem 3D), stanowiąc rzetelną podstawę prac zmierzających do zastosowania technik GIS (System Informacji Geograficznej). Ten sam system funkcjonuje zresztą w odniesieniu do zasobów muzealnych i powierzchni architektonicznych<sup>6</sup>.

### 5. Konserwacje towarzyszące wystawie „Święto Baroku. Sztuka w służbie prymasa Michała Stefana Radziejowskiego (1645-1705)”

Rozległy program prac konserwatorskich towarzyszył również zorganizowanej w 2009 roku wystawie czasowej „Święto Baroku. Sztuka w służbie prymasa Michała Stefana Radziejowskiego (1645-1705)”. Konserwatorzy Muzeum, współpracując ze specjalistami z innych ośrodków naukowych, przygotowali do celów ekspozycyjnych ogromną ilość dzieł wypożyczoną od instytucji kościelnych. Niejednokrotnie działania konserwatorskie były niezbędne z punktu widzenia zachowania obiektów zabytkowych. Dzięki podjętym pracom udało się m.in. odzyskać pierwotną kolorystykę obrazu ołtarzowego „Ukrzyżowanie” (ob. w kościele w Aleksandrowie Kujawskim), czy przywrócić blask brukselskim gobelinom przechowywanym w katedrze na Wawelu. Muzeum



Rys. 12. Fragment muru oporowego w trakcie prac konserwatorskich  
 Fig. 12. Fragment of retaining wall during the conservator's works

this might be the proof of the presence of a short-lasting settlement of a population of the Scandinavian origin. On the area of the Upper Berm remainders of the court buildings dated by archaeologists at the decline of XV century were uncovered.

All hitherto existing archaeological discoveries were supplied with documentary evidence with the use of state-of-the-art achievements of investigative methodology and unique technique of documentation. The archaeological photogrammetric documentation was filed with the help of the system CAD (drawing created after scanning the object with a 3D laser scanner), making up a reliable basis for works aimed at the use of technique GIS (Geographical Information System). The same system functions in the reference to the museum resources and architectural surfaces, anyway<sup>6</sup>.

### 5. Conservations accompanying the exhibition “Baroque Festival. Art in the service of Primate Michael Stefan Radziejowski (1645-1705)”

A vast program of conservator's works accompanied temporary exhibition “Baroque Festival. Art in the service of Primate Michael Stefan Radziejowski (1645-1705)” organized and held in 2009. The conservators of the Museum, co-operating with experts from other scientific centers, prepared for the exhibition a huge quantity of works borrowed from church institutions. From the point of view of preservation of antique objects conservator's workings were more than once indispensable. It was due to those undertaken works, that, amongst other, recovering of the original coloring of the altar painting “The Crucifixion” (now in the church in Aleksandrów Kujawski) was successfully accomplished, just like restoring the Brussels tapestry kept in the cathedral on Wawel back to its

Pałac w Wilanowie włączyło się również w cykl prac konserwatorskich w warszawskim kościele św. Krzyża, dokonując restauracji połączonej drewnianej rzeźby prymasa Radziejowskiego z jego nagrobka<sup>7</sup>.

## 6. Plany Muzeum w zakresie konserwacji

30 września 2008 r. Muzeum Pałac w Wilanowie złożyło wniosek o dofinansowanie projektu *Rewitalizacja i digitalizacja XVII-to wiecznego zespołu pałacowo-ogrodowego w Wilanowie – etap III* w ramach Działania 11.1. – *Ochrona i zachowanie dziedzictwa kulturowego o znaczeniu ponadregionalnym*, Priorytet 11. – *Kultura i dziedzictwo kulturowe*, Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko. Minister Kultury i Dziedzictwa Narodowego w dniu 15 czerwca 2009 roku przyznał dofinansowanie dla tego projektu.

W ramach projektu przewidziano kompleksowe i całościowe prace rewitalizacyjne czterech zabytkowych ogrodów – wschodniego (taras górny), północnego, różanego i Parku przy Oranżerii. Prace te będą polegały m.in. na ukształtowaniu terenu, wytyczeniu i budowie alejek spacerowych, konserwacji elementów architektury ogrodowej, przede wszystkim Ogrodu Północnego (m.in. Ława i Posągi Jana Kochanowskiego i Franciszka Karpińskiego w Gaju Akademosa, które w ramach praktyk studenckich Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej poddane zostały skanowaniu 3D) i Ogrodu Różanego. Całościowej rewaloryzacji poddana zostanie Pergola Południowa, znajdująca się po południowej stronie Pałacu w Wilanowie, między Ogrodem Różanym a Tarasem Górnym. Odtworzenie jej pierwotnego piękna oraz okalających ją murków, pozwoli na kompleksowe zamknięcie czynności rewaloryzacyjnych przy Ogrodzie Różanym. Działaniom tym będą towarzyszyły – podobnie jak w poprzednich latach – rozległe prace archeologiczne.

We wnętrzach pałacu zostaną przeprowadzone prace konserwatorsko-restauratorskie wraz z koniecznym rozpoznaniem warunków konserwatorsko-mikrobiologicznych w sześciu prywatnych apartamentach króla Jana III Sobieskiego (korpus główny pałacu) – *Pokoju Chińskim*, *Garderie Króla*, *Sypialni Króla*, *Pokoju Holenderskim*, *Wielkiej Sieni*, *Gabiniecie al fresco malowanym*. Kolejnym elementem projektu, połączonym z kompleksową konserwacją tych apartamentów, jest adaptacja oraz włączenie do ciągu zwiedzania nie udostępnianych dotychczas pomieszczeń Pałacu w Wilanowie objętych projektem.

glitter. The Museum Palace in Wilanów also joined in to the cycle of conservator's works in Warsaw church of The Holy Cross, making renovation of gold-plated wooden sculpture of Primate Radziejowski from his tombstone<sup>7</sup>.

## 6. Plans of Museum in the scope of conservation

On 30<sup>th</sup> September 2008 the Museum Palace in Wilanów applied for subsidiary financing of the project *Revitalization and digitalisation of XVII century palace-gardens complex in Wilanów – stage III* within the Action 11.1 – *Protection and preservation of the cultural heritage of the above-regional importance*, Priority 11. – *Culture and cultural heritage*, the Operating Program Infrastructure and Environment. The Minister of Culture and National Heritage granted on 15<sup>th</sup> June 2009 refinancing for this project.

Within the project complex and covering the whole revitalization works for four antique gardens were foreseen – the eastern (the upper berm), the northern, the rose and the Park at the Orangery. These works will consist, amongst other, in forming the terrain, laying-out and building of walking paths, conservation of the elements of the garden architecture, first of all of The Northern Garden (amongst other the Bench and the Statues of Jan Kochanowski and Franciszek Karpiński in the Academos Grove, which were subjected 3D scanning within the students' practices of the Department of Mechatronics of Warsaw Technical University) and of the Rose Garden. The South Pergola, situated on the south side of the Palace in Wilanów between the Rose Garden and the Upper Berm, will undergo general revalorization. Reproducing its original beauty and reproducing the surrounding little walls will allow to close up the revalorization action at the Rose garden as a complex. These actions will be accompanied by extensive archaeological works – similarly as in the previous years.

In the interiors of the palace there will be carried out conservator's-renovation works, together with necessary recognition of the conservator's-microbiology conditions in the six private apartments of king John III Sobieski (the main body of the palace) – *the Chinese Room*, *the King's Wardrobe*, *the King's Bedroom*, *the Dutch Room*, *the Great Hall*, *the Study Painted al Fresco*. The next element of the project, linked with the complex preservation of these apartments, is adaptation of the rooms of the Palace in Wilanów so far not available, and joining them in to the track of sightseeing.

Dopełnieniem tych zadań będzie realizacja projektu *Rewitalizacja zabytkowych ogrodów i parków w XVII-wiecznym barokowym zespole pałacowo-ogrodowym w Wilanowie*, finansowanego ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach Programu Priorytetowego *Program dla przedsięwzięć służących ochronie przyrody i krajobrazu*. Przewidziane projektem prace obejmą rewitalizację, rekompozycję i rewaloryzację Ogrodu Wschodniego (Taras Górny), Ogrodu Różanego, Ogrodu Północnego i Parku przy Oranżerii<sup>8</sup>.

Istotnym punktem projektu *Rewitalizacja i digitalizacja XVII-to wiecznego zespołu pałacowo-ogrodowego w Wilanowie – etap III* jest również utworzenie w Muzeum Wilanowskim „pracowni 3D” wraz z przeprowadzeniem digitalizacji 3D wybranej kolekcji zbiorów wilanowskich. Rezultatem działania jest utworzenie „cyfrowych” narzędzi służących edukowaniu, kształtowaniu i rozwojowi społeczeństwa informatycznego. Dzięki stworzeniu i wyposażeniu w profesjonalny sprzęt „pracowni 3D” będzie możliwe stworzenie struktury bazodanowej wykorzystującej środowisko GIS, porządkującej wyniki wieloletnich badań wykopaliskowych prowadzonych na terenie rezydencji w Wilanowie. Jednym z celów zadania jest również wykonanie przestrzennej digitalizacji 3D wybranych obiektów znajdujących się w kolekcji Muzeum Pałacu w Wilanowie. Muzeum współpracuje na tym polu z zespołem dr. Roberta Sitnika z Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Jest to pierwsza tak dokładna dokumentacja – w Pokoju Chińskim skanowanie odbywało się z dokładnością do 0,05 mm w każdym z trzech wymiarów. Uzyskana w ten sposób dokumentacja bazowa, odpowiednio przetworzona będzie stanowić wysokiej jakości GIS-owską, wielowarstwową dokumentację konserwatorską, służącą również celom edukacyjnym i marketingowym oraz badaniom porównawczym.

Celem kolejnego działania jest dalsza rozbudowa wortalu Muzeum Pałacu w Wilanowie, za pośrednictwem którego nie tylko informujemy, ale także prezentujemy wiedzę o kulturze i historii Polski, opowiadamy o dziejach pałacu w Wilanowie i najcenniejszych dziełach ze zbiorów muzeum (w języku polskim i językach obcych). Jednym z elementów projektu jest stworzenie do końca 2009 roku 12 filmów dokumentalnych o historii i mieszkańcach pałacu. Kontynuujemy również rozwój internetowej encyklopedii, której zasoby tworzone są we współpracy z badaczami i publicystami, przekazującymi nam – w popularnej formie – wyniki swoich badań naukowych. Efektem realizacji projektu będzie nowy wortal muzeum, z dużymi zasobami wiedzy i atrakcyjnymi prezentacjami multimedialnymi.

These tasks will be completed with realization of the project *Revitalization of antique gardens and parks in XVII century baroque palace-gardens complex in Wilanów*, financed from the means of the National Fund for Protection of Environment and Water Management within the Preference Program *Program for the undertakings serving the protection of nature and scenery*. The works provided by the project will include revitalization, re-composition and revalorization of the Eastern Garden (the Upper Berm), the Rose Garden, the Northern Garden and the Park at the Orangery<sup>8</sup>.

The essential point of the project *Revitalization and digitalisation of XVII century palace-gardens complex in Wilanów - stage III* is also creation a ‘3D studio’ in the Museum Wilanów, together with execution of 3D digitalization of selected collections of Wilanów gatherings. The result of the working will be creation of the ‘digital’ tools serving for educational purposes, formation and development of the information technology oriented society. Thanks to creation the ‘3D studio’ and equipping it with professional equipment it will be possible to create the database structure using the GIS environment to put in order the results of many years' excavation investigations carried out on the terrain of the residence in Wilanów. The realization of spatial 3D digitalization of chosen objects from the collection of the Museum Palace in Wilanów is also one of the tasks. The museum co-operates in this field with the team of Robert Sitnik, Ph.D., from The Department of Mechatronics of Warsaw Technical University. This is first so exact documentation – scanning in the Chinese Room was done with precision of up to 0.05 mm in each of three dimensions. Thus obtained base documentation will be suitably processed to make up high quality GIS, multi-layer conservator's documentation, used also for educational and marketing purposes and comparative investigations.

The aim of the next works is further extension of the vortal of The Museum Palace in Wilanów, with the help of which we not only inform, but also present knowledge about the culture and history of Poland, we tell about the history of the palace in Wilanów and the most valuable works of art from the museum's collections (in Polish and in other languages). One of the elements of the project is to create by the end of 2009 12 documentaries about the history and the occupants of the palace. We also continue development of the internet encyclopedia, whose resources are created in the co-operation with scientists and journalists passing on to us - in a popular form - the results of scientific investigations. The effect of realization of the project will be the new museum's vortal with large resources of knowledge and attractive multimedia presentations.



## Literatura • References

- [1] <http://www.wilanow-palac.pl/>, stan na 21.10.2009.
- [2] Bagiński W., *Monitoring fasad pałacu jako element systemu ochrony barw rezydencji wilanowskiej*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2009, s. 142-147.
- [3] Bunsch E., Dziedzic A., *Dokumentacja zabytków ruchomych – skanowanie 3D*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 56-57.
- [4] Gołębniak A., Morysiński T., *Nowa metodyka i nowoczesne technologie*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 58-61.
- [5] Starzyński J., *Wilanów. Dzieje budowy pałacu za Jana III*, PWN, Warszawa 1976, s. 98.
- [6] Koss A., Marczak J., *Pomiar i analiza barw elewacji pałacu w Wilanowie*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2009, s. 100-105.
- [7] Koss A., Procyk W., *Rekonstrukcja kolorystyki i barokowego wystroju elewacji pałacu w Wilanowie*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 67-69.
- [8] Bałaż M., Jaskanis P., Projekt pt. *Restauracja wnętrza pierwszego w Polsce Muzeum sztuki – Muzeum Pałac w Wilanowie*, realizowany przy dofinansowaniu z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego w zakresie Działania 1.4: *Rozwój turystyki i kultur*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 28-29.
- [9] Chmielewski K., *Badania wystroju artystycznego pomieszczeń parterowych w pałacu*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 36-37.
- [10] Lubryczyńska M., *Gabinet Zwierciadlany*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 32-35.
- [11] Mazur A., *Konserwacja Pokoi Chińskich i Myśliwskich oraz Sieni w skrzydle południowym pałacu w Wilanowie*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2009, s. 90-99.
- [12] Mazur A., *Pokoje chińskie i myśliwskie*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 30-31.
- [13] <http://www.a.golembnik.pl/wilanow/index.php>, stan na 21.10.2009.
- [14] Gołębniak A., *Pałac i ogrody w Wilanowie – badania archeologiczne Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków w sezonie 2003*, [w:] Monument. Studia i Materiały Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków, 2004, s. 135-160.
- [15] Gołębniak A., Morysiński T., *Badania archeologiczne 2003-2005 r.*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 62-65.
- [16] Szambelan R., *Nowe narzędzia konserwacji prewencyjnej związane z możliwościami wykorzystania geograficznych systemów informacyjnych (GIS) do sprawowania nadzoru nad zasobami muzealnymi i powierzchniami architektury*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2009, s. 148-153.
- [17] „Święto Baroku. Sztuka w służbie prymasa Michała Stefana Radziejowskiego (1645-1705)”. *Prace konserwatorskie*, Muzeum Pałac w Wilanowie, Warszawa 2009.
- [18] Jaskanis P., *The Wilanów Park Open to Everyone – a Wish or a Common Practice*, [in:] Coxen A., Furmanik B. (ed.), *My place: historic European parks and their communities*, National Centre for Historical Monument Studies and Documentation, Warszawa 2006, s. 142-147.

---

\* Muzeum Pałac w Wilanowie, Polska

\* Wilanow Palace Museum, Poland

<sup>1</sup> Zob.: <http://www.wilanow-palac.pl/>, stan na 21.10.2009.

<sup>2</sup> Zob. Bagiński W., *Monitoring fasad pałacu jako element systemu ochrony barw rezydencji wilanowskiej*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2009, s. 142-147; Bunsch E., Dziedzic A., *Dokumentacja zabytków ruchomych – skanowanie 3D*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 56-57; Gołębniak A., Morysiński T., *Nowa metodyka i nowoczesne technologie*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 58-61.

<sup>3</sup> Starzyński J., *Wilanów. Dzieje budowy pałacu za Jana III*, PWN, Warszawa 1976, s. 98.

<sup>4</sup> Zob. Koss A., Marczak J., *Pomiar i analiza barw elewacji pałacu w Wilanowie*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2009, s. 100-105; Koss A., Procyk W., *Rekonstrukcja*

<sup>1</sup> See: <http://www.Wilanow-palac.pl/>, status on 21.10.2009.

<sup>2</sup> See. Bagiński W., *Monitoring of the façades of palace as an element of the system of protection of colors of the Wilanów residence*, [in:] Wilanów conservator's review 2009, pp. 142-147; Bunsch E., Dziedzic A., *Documentation of movable relics -3D scanning*, [in:] Wilanów conservator's review 2005, pp. 56-57; Gołębniak A., Morysiński T., *New methodology and modern technologies*, [in:] Wilanów conservator's review 2005, pp. 58-61.

<sup>3</sup> Starzyński J., *Wilanów. History of building the palace during Jan III times*, PWN, Warsaw 1976, pp. 98

<sup>4</sup> See. Koss A., Marczak J., *Measurement and analysis of the colors of the façade of the palace in Wilanów*, [in:] Wilanów conservator's review 2009, pp. 100-105; Koss A.,

kolorystyki i barokowego wystroju elewacji pałacu w Wilanowie, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 67-69.

<sup>5</sup> Zob. Bałaż M., Jaskanis P., Projekt pt. *Restauracja wnętrza pierwszego w Polsce Muzeum sztuki – Muzeum Pałac w Wilanowie*, realizowany przy dofinansowaniu z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego w zakresie Działania 1.4: *Rozwój turystyki i kultur*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 28-29; Chmielewski K., *Badania wystroju artystycznego pomieszczeń parterowych w pałacu*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 36-37; Lubryczyńska M., *Gabinet Zwierciadlany*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 32-35; Mazur A., *Konserwacja Pokoi Chińskich i Myśliwskich oraz Sieni w skrzydle południowym pałacu w Wilanowie*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2009, s. 90-99; Mazur A., *Pokoje chińskie i myśliwskie*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 30-31.

<sup>6</sup> Zob.: <http://www.a.golembnik.pl/wilanow/index.php>, stan na 21.10.2009; Gołembnik A., *Pałac i ogrody w Wilanowie – badania archeologiczne Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków w sezonie 2003*, [w:] Monument. Studia i Materiały Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków, 2004, s. 135-160; Gołembnik A., Morysiński T., *Badania archeologiczne 2003-2005 r.*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2005, s. 62-65; Szambelan R., *Nowe narzędzia konserwacji prewencyjnej związane z możliwościami wykorzystania geograficznych systemów informacyjnych (GIS) do sprawowania nadzoru nad zasobami muzealnymi i powierzchniami architektury*, [w:] Wilanowski informator konserwatorski 2009, s. 148-153.

<sup>7</sup> Zob. „*Święto Baroku. Sztuka w służbie prymasa Michała Stefana Radziejowskiego (1645-1705)*”. *Prace konserwatorskie*, Muzeum Pałac w Wilanowie, Warszawa 2009.

<sup>8</sup> Jaskanis P., *The Wilanów Park Open to Everyone – a Wish or a Common Practice*, [in:] Coxen A., Furmanik B. (ed.), *My place: historic European parks and their communities*, National Centre for Historical Monument Studies and Documentation, Warszawa 2006, s. 142-147.

Procyk W., *Reconstruction of the coloring and the baroque interior decorations of the façade of the palace in Wilanów*, [in:] Wilanów conservator's review 2005, pp. 67-69.

<sup>5</sup> See: M. Bałaż, Jaskanis P., Project : *Renovation of interiors of the first Museum of art in Poland – Museum Palace in Wilanów*, realized with refinancing from The European Regional Development Fund within the Integrated Operating Program Regional Development in the range of Actions 1.4: *Development of tourism and culture*, [in:] Wilanów conservator's review, pp. 28-29; Chmielewski K., *Investigation of the artistic decorations of the interior of ground floor rooms in the palace*, [in:] Wilanów conservator's review 2005, pp. 36-37; M. Lubryczyńska, *Mirror Study*, [in:] Wilanów conservator's review 2005, pp. 32-35; Mazurian A., *Conservation of the Chinese Rooms and the Hunting Rooms and the Hall in the south wing of the palace in Wilanów*, [in:] Wilanów conservator's review 2009, pp. 90-99; Mazurian A., *The Chinese and the Hunting Rooms*, [in:] Wilanów conservator's review 2005, pp. 30-31.

<sup>6</sup> See: <http://www.a.golembnik.pl/Wilanow/index.php>, the state on 21.10.2009; Gołembnik A., *The Palace and gardens in Wilanów – archaeological investigations of The National Centre for Investigations and Documentation of Relics in the season 2003*, [in:] Monument. Studies and Resources of National Centre for Investigations and Documentation of Relics, 2004, pp. 135-160; Gołembnik A., Morysiński T., *Archaeological Investigations 2003-2005*, [in:] Wilanów conservator's review 2005, pp. 62-65; Szambelan R., *New tools of preventive conservation associated with the possibilities of utilization of geographical informative systems (GIS) for keeping supervision over museum resources and the surfaces of architecture*, [in:] Wilanów conservator's review 2009, pp. 148-153.

<sup>7</sup> See: “*The Baroque Festival. Art in the service of Primate Michael Stefan Radziejowski (1645-1705)*”. *Conservator's works*, Museum Palace in Wilanów, Warsaw 2009.

<sup>8</sup> Jaskanis P., *The Wilanów Park Open to Everyone – a Wish or a Common Practice*, [in:] Coxen A., Furmanik B. (ed.), *My place: historic European parks and their compartments*, National Centre for Historical Monument Studies and Documentation, Warszawa 2006, pp. 142-147.

## Streszczenie

Od kilku lat w Pałacu Wilanowskim i jego otoczeniu są prowadzone na dużą skalę prace konserwatorskie i restauracyjne. Zadania konserwatorskie podjęte na elewacji Pałacu, ścianie oporowej i wnętrzach Pałacu były pilnie potrzebne, uwzględniając zły stan zachowania Pałacu i długoterminowe plany pełnego odrestaurowania Pałacu do jego poprzedniej świetności. Aspekt współpracy jest decydujący dla wielu aktualnych zadań konserwacji. Wewnętrzny zespół specjalistów konserwacji Muzeum regularnie współpracuje z zewnętrznymi ekspertami i podwyjętymi z zewnątrz kontrahentami. Warto wspomnieć różnorodność funduszy, skutecznie pozyskanych z Programów Operacyjnych UE, jak również od Ministerstwa Kultury i darów Dziedzictwa Narodowego.

## Abstract

Large-scale conservation and restoration work has been in progress for several years in the Wilanów Palace and its surroundings. The conservation tasks undertaken on the Palace façades, the retaining wall and the Palace interiors were badly needed, given the Palace's poor state of preservation and the long-term plans to fully restore the Palace to its former glory. The cooperation aspect is crucial for many of the current conservation tasks. The Museum's in-house team of conservation specialists regularly cooperates with external experts and outsourced contractors. Worth-mentioning is the diversity of funds, successfully taken from EU Operating Programs, as well as from Ministry of Culture and National Heritage donations.

Andrzej Gaczoł\*

## Krypta pod kaplicą Morstinów w Wieliczce. Rekonstrukcja, konserwacja, adaptacja

## The crypt under the Morstins' Chapel in Wieliczka. Reconstruction, conservation, adaptation

Od wielu lat starałem się penetrować zawiłą przeszłość kaplicy Morstinów, przylegającej do południowej ściany prezbiterium kościoła parafialnego pw. św. Klemensa w Wieliczce – jedynej pozostałości po dawnej farze wielickiej sięgającej swymi początkami do przełomu XIII i XIV w., rozebranej przez Austriaków po 1786 roku<sup>1</sup>.

Z przekazów źródłowych wynikało, że w 1690 r. wdowa po Władysławie Morstinie (Morsztynie) z pobliskiego Raciborska, staroście kowalskim i bachmistrzu wielickim, który zmarł w 1689 r.<sup>2</sup>, *kazała wznieść dużym kosztem nad grobem męża kaplicę, a co żeby szybko zrealizować użyła Ojców Jezuitów, architekta i budowniczego, którzy w tym roku (1690) dzieło zaczęli, z wielkim smakiem, przy pochwałach innych oraz dla naszego zachwyty (...)*<sup>3</sup>.

Czytając powyższy fragment *Historii Domu Zakonnego Towarzystwa Jezusowego w Krakowie* możemy wywnioskować, że projektantem nekropolii był ksiądz jezuita Jan Ignacy Delamars (1655-1719)<sup>4</sup>, a budowniczymi jezuita Piotr Abramowicz lub Stanisław Solski<sup>5</sup>. W pierwszej chwili może nas to zaskakiwać: jezuita budujący na zlecenie Barbary z Moskorzowskich Morstinowej (zm. w 1697 r.), wnuczki wybitnego pisarza ariańskiego, polityka i adwersarza księdza Piotra Skargi, Hieronima Moskorzowskiego vel Moskorzewskiego (ok. 1560-1625). Otóż, pani Barbara o siedem lat dłużej od swego męża zwlekała z decyzją o konwersji, ale za to działalnością po 1667 r. zyskała sobie miano *znakomitej dobrodziejki kościoła i domu zakonnego krakowskich jezuitów*<sup>6</sup>.

For many years I have attempted to penetrate the complicated past of the Morstins' chapel, adjacent to the southern wall of the presbytery of the parish church dedicated to St Clement in Wieliczka, the only remaining part of the old Wieliczka church dating back to the turn of the 14th century, which was torn down by the Austrians after the year 1786<sup>1</sup>.

Looking at the sources I have concluded that in the year 1690 the widow of Władysław Morstin (the alternative spelling Morsztyn) from the neighbouring Raciborsko, the starost of Kowal and mining foreman (the so-called bachmistrz) who died in 1689<sup>2</sup>, 'ordered to erect a chapel over her husband's grave and in order to realise her intention quickly she used the Jesuits, an architect and a builder, who have begun their work this year (1690), most tastefully, being praised by others and much to our delight (...)'<sup>3</sup>.

Reading the above-quoted fragment of *Historia Domu Zakonnego Towarzystwa Jezusowego w Krakowie* [The History of the Religious House of the Society of Jesus] we can conclude that the designer of the necropolis was the Jesuit Father Jan Ignacy Delamars (1655-1719)<sup>4</sup> and the builder was either Fr Piotr Abramowicz or Fr Stanisław Solski<sup>5</sup> from the Society of Jesus. At first, we can be surprised: some Jesuits building the chapel ordered by Barbara Morstin (maiden name Moskorzowska, who died in 1697), the granddaughter of Mr Hieronim Moskorzowski (or Moskorzewski, ca. 1560-1625), who was an outstanding Arian writer, politician and adversary of Fr Piotr Skarga. Now, Barbara who lived seven years longer than her husband hesitated to get converted but thanks to her activities undertaken after 1667 she won the title of 'excellent benefactress of the church and religious house of the Cracovian Jesuits'<sup>6</sup>.

Przez wiele lat kaplica była bardzo zaniedbana, zniszczona od zewnątrz i od wewnątrz oraz wykorzystywana jako magazyn niepotrzebnych kościelnych sprzętów<sup>7</sup>. Dopiero w 1985 r., po licznych naciskach ze strony urzędu konserwatorskiego, ówczesny proboszcz wielickiej parafii wystąpił z formalnym wnioskiem o określenie wielkości szkód górniczych w całym kościele, a w szczególności w kaplicy Morstinów oraz o ujęcie dofinansowania remontu kaplicy w wo-



Rys. 1. Wieliczka. Fragment panoramy miasta z XVIII w. W centrum widoczny zburzony kościół gotycki z kaplicą grobową Morstinów nakrytą kopułą na wysokim bębnie. Kopia rysunku wykonana przez A. Długosza w 1960 r. ze zbiorów autora

Fig. 1. Wieliczka. A fragment of the panorama of the 18th century town. In the centre: the ruined Gothic church with the sepulchral chapel of the Morstins, covered with a dome placed on a high drum. A copy of the drawing made by A. Długosz in 1960. From the Author's archives

jewódzkim planie ochrony zabytków przygotowanym przez Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków w Krakowie. Ówczesna sytuacja społeczna i gospodarcza państwa nie sprzyjała szybkiemu podjęciu prac. Niemniej, ze strony Kopalni Soli w Wieliczce bardzo szybko przygotowano stosowną opinię budowlaną, w której stwierdzono, iż wobec faktu położenia kościoła nad najstarszymi wyrobiskami kopalnianymi doszło w kaplicy do pęknięć fundamentów, ścian, gzymsów i stropu, nadproży i łuków okiennych oraz do dużej deformacji posadzki kamiennej<sup>8</sup>.

W trakcie badań sondażowych, rozpoczętych w 1989 r. w kaplicy przez Kopalnię Soli w ramach przygotowań do wspomnianego procesu usunięcia szkód górniczych, odkryto znaczne fragmenty zniszczonego sklepienia krypty grobowej pod kaplicą. Z radością przyjąłem wówczas wymagania konstruktorów: należy wykonać kotwiącą płytę żelbetową w poziomie istniejącej od XIX wieku posadzki kaplicy oraz żelbetowe wieńce u spodu fundamentów, tak na zewnątrz jak i wewnątrz nekropolii<sup>9</sup>. Należało zatem usunąć w całości gruz wypełniający zdewastowaną kryptę!

Powróćmy na chwilę do dalszej analizy dokumentów. Ludwik Morstin, jeden z potomków Władysława, zanotował w 1851 r., że Austriacy po pierwszym rozbiórce Polski, rozbierając wielicki gotycki kościół parafialny *pod pretekstem, iż nadto ciąży na kopalnię – jak napisał – kaplicę familijną z miedzi obdarli i gontem przykryli, grób Morstinowski zasypali. Austriakom spodobało się*

The chapel was neglected to a large extent; its internal and external walls were ruined. Additionally, it was used as a depository for unnecessary church fittings<sup>7</sup>. It was only in 1985, after much pressure exerted by the conservator's office, that the parish priest of the church in Wieliczka wrote an official request to the Salt Mine in Wieliczka to define the damages in the entire church, especially in the Morstins' chapel, caused by the mine and to consider the possibility of funding the renovation

of the chapel in the monument preservation plan that was being prepared by the Monuments Revalorization Enterprise in Kraków. In those days the social and economic situation of the state did not favour a rapid realisation of such works. Nevertheless, the Salt Mine in Wieliczka wrote an appropriate construction opinion, stating that due to the location of the church under the oldest workings there were fissures in the foundations, walls, cornices and vaulted ceiling, lintels and window arches, and the stone floor was largely deformed<sup>8</sup>.

During the survey work, which the Salt Mine began in the chapel in 1989 in order to plan the above-mentioned removal of the damages, some considerable fragments of the destroyed vaulted ceiling of the sepulchral crypt under the chapel were discovered. Then I accepted the constructors' requirements with joy: a steel-reinforced concrete anchor plate should be horizontally inserted in the 19th c. floor of the chapel and steel-reinforced concrete rims should be fixed at the bottom of the foundations, both outside and inside the necropolis<sup>9</sup>. That's why the rubble from the devastated crypt needed to be removed completely!

Let us continue the analysis of the documents. Ludwik Morstin, one of the descendents of Władysław, noted in 1851 that after the first partition of Poland the Austrians, pulling down the Gothic parish church in Wieliczka 'under the pretext that it poses a serious threat to the mine' – as he wrote – tore off the family chapel from copper and they shingled the roof; they covered the Morstins' grave. The Austri-



Rys. 3. Płd.-zach. część krypty pod kaplicą Morstinów po odgruzowaniu w 1991 r. Fot. J. Doraczek, ze zbiorów Archiwum WKZ w Krakowie  
 Fig. 3. The south-western part of the crypt under the Morstins' chapel after the rubble was removed in 1991. Photo by J. Doraczek, from the archives of the WKZ in Kraków

Rys. 2. Widok zewnętrzny kaplicy Morstinów (bez kopuły) przy kościele józefińskim z XIX w. Stan z 1991 r. Fot. ze zbiorów autora  
 Fig. 2. The view of the Morstins' chapel (without the dome) at the Church of St. Joseph (19th c.). The photo was taken in 1991. From the Author's archives



Rys. 4. Fragment zachowanych szerokich żeber sklepienych schodzących do poziomu posadzki krypty po odgruzowaniu w 1991 r. Fot. J. Doraczek, ze zbiorów Archiwum WKZ w Krakowie

Fig. 4. A fragment of the preserved wide ribs descending to the floor of the crypt after the rubble was removed in 1991. Photo by J. Doraczek, from the archives of the WKZ in Kraków



Rys. 5. Odkryte w 1991 r. oryginalne schody i wejście do krypty. Fot. J. Doraczek, ze zbiorów WKZ w Krakowie

Fig. 5. The original stairs and descent to the crypt, discovered in 1991. Photo by J. Doraczek, from the archives of the WKZ in Kraków

wyrzucić ciała Morstinów z trumien metalowych i marmurowych i te trumny przez licytację sprzedać. (...) Kilku Morstinów poległo na wojnach, tu tylko wspomnę Michała (syna Władysława – AG) pod Parkanami poległego (1683),

ans were pleased to throw the corpses of Morstins out of their metal and marble coffins, and they decided to sell these coffins on (by) auction (...). Several Morstins died in wars. I want to mention only Michał [son of Władysław] who was killed in the

którego zwłoki do grobu rodzinnego sprowadzone spoczęły w Wieliczce. W kilkadziesiąt lat później widział Michała Wojciech Morstin jeszcze dobrze zachowanego, od szabli miał czaszkę od tułowia odciętą. Piękny mężczyzna leżał w szacie pańskiej aksamitnej<sup>10</sup>.

Nie było więc zaskoczeniem, że wśród gruzu wypełniającego wnętrze „Morstinowskiego grobu” znaleziono tylko bardzo nieliczne fragmenty kamieniarki oraz chaotycznie porzucane czaszki i szczątki szkieletów, zapewne w większości przedstawicieli rodu Morstinów. Do najcenniejszych znalezisk należały wspomniane murowane elementy dawnego sklepienia krypty, dobrze zachowane przy ścianach zewnętrznych kaplicy. Miłą niespodzianką było także odkrycie doskonale zachowanych schodów do „Morstinowskiego grobu”, rozpoczynających swój bieg za XIX-wiecznym ołtarzem Matki Boskiej Różańcowej, stojącym w prawej, bocznej nawie obecnego kościoła oraz okazałego, barokowego portalu kamiennego, dekorującego zejście do podziemi. W trakcie badań archeologicznych i architektonicznych, którymi kierowali archeolog mgr Sławomir Dryja oraz architekt – konserwator mgr inż. Jan Janczykowski, ustalono, że ośmioboczną kaplicę wzniesiono w 1690 r. wykorzystując w części dawne fundamenty gotyckiej, kwadratowej w rzucie kaplicy bachmistrzowskiej pw. św. św. Piotra i Pawła<sup>11</sup>.

Po wywiezieniu gruzu i po stosownych konsultacjach oraz analizie ekonomicznej, przy pełnym poparciu ówczesnego wojewódzkiego konserwatora zabytków w Krakowie Janusza Smólskiego<sup>12</sup>, zapadła w 1991 r. decyzja o odtworzeniu ceglano-sklepienia krypty według siedemnastowiecznych metod. Bez zbędnych szczegółowych projektów, tylko pod stałym nadzorem mgra inż. Jerzego Tylutkiego z Krakowa, młodzi wykonawcy zatrudnieni w ówczesnym Oddziale „Wawel” Pracowni Konserwacji Zabytków w Krakowie sprawnie przesklepili kryptę<sup>13</sup>.

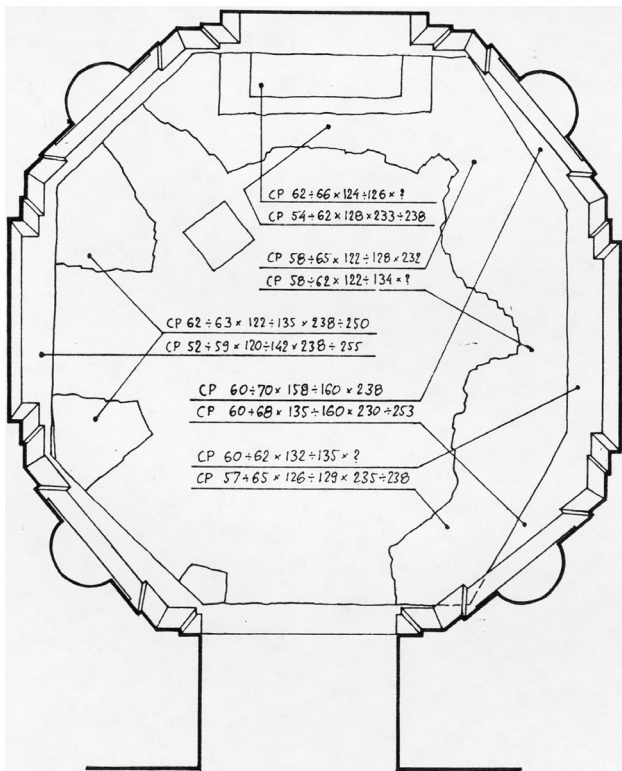
Jak już wspominałem, w gruzowisku wypełniającym wnętrze zdewastowanej krypty było bardzo mało interesujących znalezisk, m.in. brakowało szczątków dawnej kopuły, którą nad kaplicą grobową wznieśli jezuici-budowniczości, a którą zburzyli Austriacy. Sztukatorskie dekoracje wewnątrz kopuły wykonał twórca najwyższej europejskiej klasy: Baltazar Fontana (1658-1733)<sup>14</sup>. W 1693 r. znana nam już pani Barbara Morstina zawarła umowę z Fontaną i *Pakoszem Trebellerem jegoż kompanem, a rzemiosła sztukatorskiego współpomocnikiem, o roboty sztukatorskie w kaplicy wielickiej (...) tak w samej latarni na tejże odstającej kaplicy, jako i na wszystkich podniebieniach kaplicznych po okna dolne (...)*<sup>15</sup>.

battle of Parkany (1683) and whose mortal remains were brought and buried in the family grave in Wieliczka. Several years later Wojciech Morstin saw Michał's body still well preserved. His head was cut off with a sabre. The handsome man was lying in some crimson and velvet robe<sup>10</sup>.

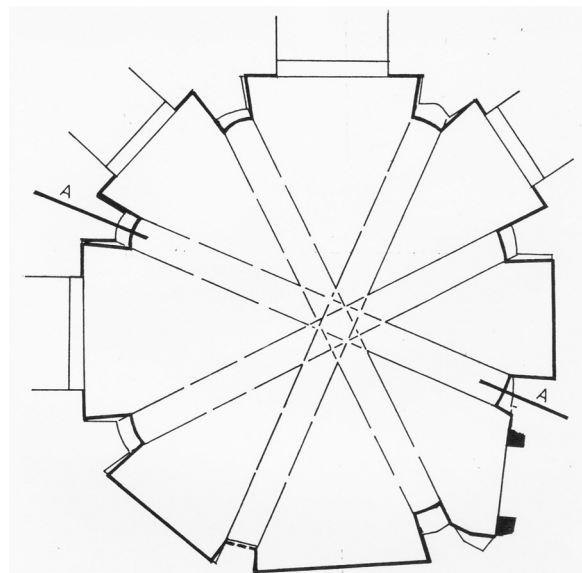
Therefore, it was not surprising to find only few fragments of ornamental stonework and chaotically scattered skulls and skeleton pieces, most likely belonging to the family of the Morstins, in the rubble that filled the interior of 'the Morstins' grave'. The most valuable findings included the above-mentioned elements of the former vaulted ceiling of the crypt, which were well preserved at the external walls of the chapel. It was a nice surprise to find the stairs to 'the Morstins' grave' excellently preserved, with the first step behind the 19th century picture of the Mother of God of the Rosary, which was in the right aisle of the present church, and the magnificent Baroque stone portal that decoratively marked the exit to the basement. During the archaeological and architectonic research supervised by the archaeologist Sławomir Dryja, and the architect-engineer Jan Janczykowski it was concluded that the octagonal chapel was erected in 1690, partly using the old foundations of the Gothic quadrangle chapel devoted to St Peter and St Paul and built by the foreman<sup>11</sup>.

After the rubble had been removed and suitable consultations and economic analyses had been made, having the full support of Janusz Smólski<sup>12</sup> from the Monuments Conservation Enterprise in Kraków, it was decided in 1991 to reconstruct the brick vault of the crypt according to the 17th century methods. Without unnecessary detailed projects, only under the constant supervision of the engineer Jerzy Tylutki from Kraków, the young scientists, employed in the 'Wawel' Department of the Monuments Conservation Workshop in Kraków, built the vaulted ceiling of the crypt successfully<sup>13</sup>.

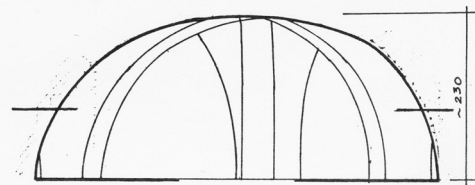
As I have already mentioned there were very few interesting findings in the rubble that filled the interior of the devastated crypt. For example, there were no remains of the former dome that the Jesuit builders had erected over the sepulchral chapel and which the Austrians had destroyed. The stucco works inside the dome were made by the eminent European master Baltazar Fontana (1658-1733)<sup>14</sup>. In the year 1693, the above-mentioned Barbara Morstin signed an agreement with Fontana and 'Pakosz Trebeller, his companion and helper, concerning the stucco work in the Wielicka chapel (...) in both the lantern placed in this detached chapel and all little roofs of the chapel and the lower windows (...)'<sup>15</sup>.



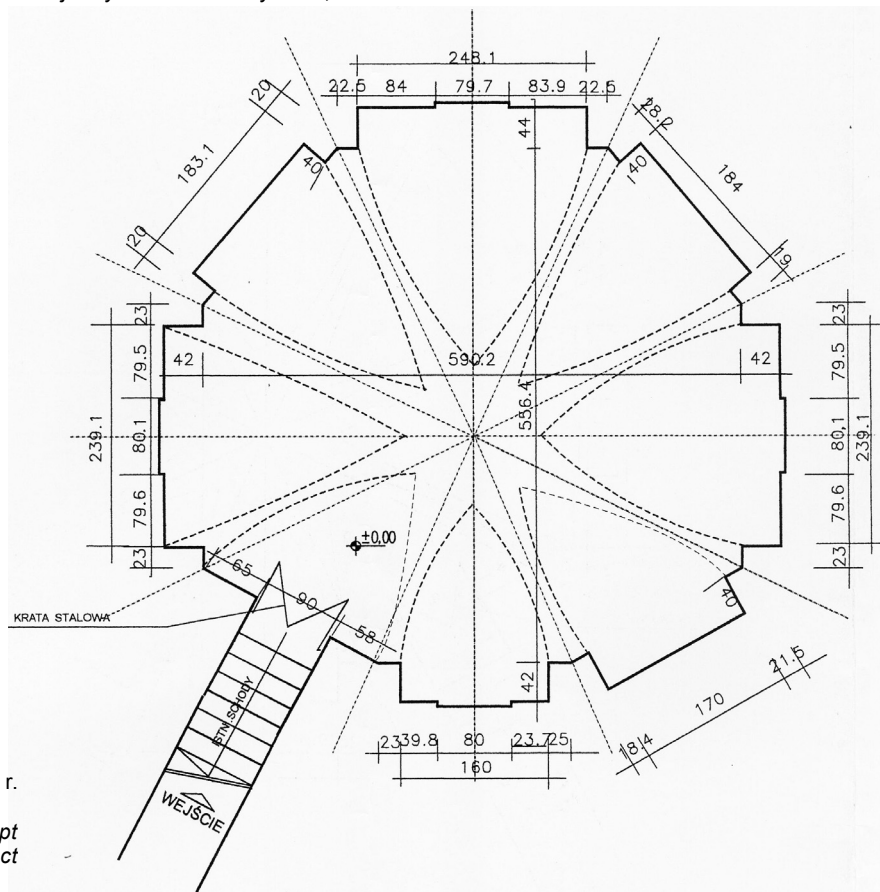
Rys. 6. Inwentaryzacja zachowanych reliktów w odgruzowanej krypcie w 1991 r. Rys. arch. Jan Janczykowski  
 Fig. 6. The inventory of the preserved remains after the rubble was removed from the crypt in 1991. Drawing by architect Jan Janczykowski



## REKONSTRUKCJA SKLEPIENIA (SCHEMAT) 1:50



Rys. 7. Schemat rekonstrukcji sklepienia nad kryptą według zachowanych fragmentów żeber. Proj. arch. J. Janczykowski, 1991  
 Fig. 7. The scheme of the reconstruction of the vault over the crypt according to the preserved fragments of the ribs. Project by architect J. Janczykowski, 1991



Rys. 8. Inwentaryzacja krypty z 2009 r. Autor: arch. Bogusław Kulka  
 Fig. 8. The inventory of the crypt made in 2009. The author: architect Bogusław Kulka

Brak szczątków kopuły i fontanowskich sztukaterii w gruzie wypełniającym od dwustu lat dawną kryptę tak przekonująco uzasadnił J. Janczykowski: *W następstwie lokalnego trzęsienia ziemi, 27 lutego 1786 r. runęła kopuła kaplicy niszcząca sklepienie krypty. Z uwagi na fakt, że kaplica Morstinów przejęła wówczas funkcje wielickiego kościoła parafialnego, usunięto z jej wnętrza gruz z zawalonych sklepień i prawdopodobnie wykonano prowizoryczny strop drewniany. Szczątki Morstinów złożono w płytkim wykopie wykonanym w środkowej i południowo-zachodniej części krypty. Dopiero w pierwszych latach XIX w., kiedy była już gotowa główna nawa józefińskiego kościoła<sup>16</sup>, kryptę pod kaplicą zasypano gruzem z resztek gotyckiego kościoła i na zasypie ułożono nową posadzkę<sup>17</sup>.*

Schodząc po ponad dwustu latach do wnętrza odtworzonej krypty zauważamy, że postawiona została na planie ośmioboku, nieznacznie zdeformowanego w części zachodniej, prawdopodobnie z konieczności wpisania barokowej nekropolii w mury fundamentowe wspomnianej, średniowiecznej kaplicy bachmistrzowskiej<sup>18</sup>. Krypta ukształtowana została bardzo ciekawie. Zastosowane sklepienie żebrowe z bardzo szerokimi żebrami schodzącymi przy ścianach do poziomu posadzki i rozpiętymi pomiędzy nimi półeliptycznymi lunetami – rzadko pojawia się w architekturze polskiego baroku<sup>19</sup>. Niewielki „grób Morstinowski” oświetlony jest trzema oknami w kamiennych obramieniach, które w pełni zostały przywrócone i zabezpieczone ozdobnymi kratami. Przywrócone zostało także pierwotne zejście do krypty, a barokowy portal – poddany zabiegom konserwatorskim<sup>20</sup>.

Z uwagi na konflikt z ówczesnym gospodarzem parafii wielickiej, który od początku nie był entuzjastą prowadzonych działań, prace w krypcie nie zostały zakończone. Zakończony został tylko remont i konserwacja kaplicy, w tym przede wszystkim wystroju sztukatorskiego ścian zewnętrznych i wewnętrznych oraz głównego ołtarza pw. Zesłania Ducha Świętego. Prace finansowane były z państwowych środków konserwatorskich w formie dotacji bezzwrotnej (z ówczesnego Funduszu Rozwoju Kultury do 1990 r. oraz później budżetu Wojewody Krakowskiego) przy współdziałaniu Kopalni Soli „Wieliczka” (w zakresie usuwania szkód górniczych)<sup>21</sup>.

Konserwatorzy wystroju rzeźbiarskiego kaplicy (art. art. kons. Marek Sawicki, Kazimierz Bednarz i Paweł Dziurawiec) zastanawiali się wielokrotnie, czy projekt bądź wykonawstwo zachowanej kamieniarki wewnętrznej i zewnętrznej można przypisać Baltazarowi Fontanie? Dokumenty

The lack of the remains of the dome and Fontana's stucco work in the rubble that had filled the old chapel for 200 years was convincingly justified by J. Janczykowski, 'Because of the local earthquake on 27 February 1786 the dome fell down destroying the vault of the crypt. Considering the fact that the Morstins' chapel assumed the function of the parish church in Wieliczka the rubble from the fallen vault was removed from it and probably a temporary wooden ceiling was made. The mortal remains of the Morstins were placed in the shallow ditch made in the central and south-western part of the crypt. Only in the first years of the 19th century, when the nave of St Joseph's church was ready, the crypt under the chapel was filled with the rubble from the ruins of the Gothic church and a new floor was laid on the top.'

Going down to the reconstructed crypt after over 200 years we can see that it was octagonal, slightly deformed in its western part, probably because the builders had to fit the Baroque necropolis to the foundations of the above-mentioned Mediaeval chapel built by the mine foreman. The crypt was interestingly shaped. The ribbed vault with very wide ribs descending at the walls to the level of the floor and with the semi-elliptic lunettes stretching out between them can be rarely found in the Polish Baroque architecture. The small 'Morstins' grave' is illuminated by the light of three stone-framed windows, which have been fully reconstructed and secured by ornamented gratings. The original descent to the crypt has been reconstructed and the Baroque portal has been renovated.

Because of the conflict with the parish priest in Wieliczka, who from the very beginning was not enthusiastic about the reconstruction of the crypt, the works have not been completed yet. The repairs and conservation of the chapel, including the stucco work of the external and internal walls as well as the main altar depicting the Coming of the Holy Spirit, were finished. The works were financed from the state conservation funds in the form of free subsidies (till 1990 it was from the Fund for Development of Culture and later from the budget of the Kraków's Governor) with the support of the Salt Mine 'Wieliczka' (to remove the mine damages).

The conservators working on the sculptural decoration of the chapel (Marek Sawicki, Kazimierz Bednarz and Paweł Dziurawiec) kept wondering whether the design or the realisation of the preserved interior and exterior stonework could be ascribed to Baltazar Fontana. The archival documents





Rys. 9. Widok fragmentu odtworzonego sklepienia nad kryptą grobową od góry kaplicy Morstinów. Fot. A.J. Gaczoł, 1991  
 Fig. 9. The view of the fragment of the reconstructed vault over the sepulchral crypt as seen from the top of the Morstins' chapel. Photo by A.J. Gaczoł, 1991



Rys. 10. Widok wnętrza kaplicy po pracach konserwatorskich. Fot. A.J. Gaczoł, 2009  
 Fig. 10. The view of the interior of the chapel after the conservation has been made. Photo by A.J. Gaczoł, 2009



Rys. 11. Widok odnowionego portalu z 1693 r. wiodącego z nawy bocznej kościoła do krypty „morstinowskiej”. Fot. A.J. Gaczoł, 2009  
 Fig. 11. The view of the restored portal of 1693 leading from the aisle to the Morstins' crypt. Photo by A.J. Gaczoł, 2009

archiwalne nic o tym nie mówią<sup>22</sup>, a charakter tejże kamieniarki, w tym tablicy fundacyjnej – pomimo wysokiego poziomu i biegłości warsztatu – jest może bardziej północny i brakuje jej rzymskiej błyskotliwości i finezji. Nie zapominajmy jednak o fakcie, że Fontana pojawił się w Wieliczce jako początkujący twórca-sztukator, będący po raz pierwszy w Polsce.

Przez wiele lat krypta pozostawała pusta, urządzona tymczasowo i nieestetycznie. Obecny proboszcz i dziekan wielicki, ks. Zbigniew Gerle – wielki odnowiciel całego zespołu kościelnego i plebańskiego – po przeprowadzeniu niezwykle pracochłonnych i ważnych prac remontowych oraz konserwatorskich w kościele, zaproponował adaptację krypty celem wyeksponowania w niej najcenniejszych zabytków bogatego skarbcza parafialnego<sup>23</sup>. A zasób ich jest wspaniały. Wystarczy tylko wymienić: późnogotycką monstrancję z 1490 r., jedną z najstarszych i najpiękniejszych w Polsce, ufundowaną przez księdza Jana Borzymowskiego – żupnika krakowskiego, kielich z końca XV w. przypisywany słynnemu złotnikowi krakowskiemu Marcinowi Marcińcowi oraz interesujące wyroby gdańskiej proweniencji, jak tacę i dzbanek wykonane ok. 1650 r. przez Krystiana Paulesena, znakomitego złotnika gdańskiego<sup>24</sup>.

Projekt ekspozycji przygotowali Franciszek Rzepka i Jacek Jeż z pracowni „Off Art Studio” w Zabrze w 2008 r., a projekt budowlany adaptacji krypty na potrzeby ekspozycyjne opracował mgr inż. arch. Bogusław Kulka w 2009 r. Projekt przewidywał przede wszystkim obniżenie posadzki krypty do poziomu  $-0,45$  cm od istniejącego, wykonanie nowych warstw podposadzkowych i nowej posadzki z płytek marmurowych czarno-białych, w celu utrzymania barokowego charakteru wnętrza. Z uwagi na wielką wartość proponowanych do prezentacji eksponatów do krypty wprowadzono urządzenia klimatyzacyjne oraz instalację przeciwwłamaniową zapewniającą pełny monitoring. Podstawowym problemem, z którym przyszło się zmierzyć podczas prac adaptacyjnych, było pojawienie się wody gruntowej<sup>25</sup>. Konieczne było dodatkowe wzmocnienie izolacji przeciwwilgociowej oraz ułożenie stosownego drenażu i stworzenie możliwości automatycznego przepompowywania nadmiaru wody gromadzącej się w systemie drenażowym do studzienki na zewnątrz kaplicy, przy jej ścianie zachodniej. Pojawienie się wód gruntowych nie było to zaskoczeniem, bowiem już od początku *w grobie pod kaplicą była cysterna, a z tej woda pompowana być powinna przez człeka z dóbr Pawlikowic<sup>26</sup>, aby się w grób nie wylewała<sup>27</sup>.*

do not say anything about it<sup>22</sup> and the character of this stonework, including the foundational tablet – despite the high level and mastery of the technique – is perhaps more northern and lacks the Roman brilliancy and finesse. However, we should not forget that Fontana came to Wieliczka as a beginner in stucco works, being in Poland for the first time.

For many years the crypt was empty, arranged temporarily and non-aesthetically. The present parish priest and at the same time the Wieliczka dean Fr Zbigniew Gerle, a great restorer of the whole complex of the church and parsonage, suggested adopting the crypt as an exhibition place for the most valuable objects of the parish treasury after the extremely time-consuming and important restoration and conservation works had been completed in the church<sup>23</sup>. The parish treasury is truly magnificent. Suffice to mention the late Gothic monstrance dated 1490, one of the oldest and most beautiful ones in Poland, funded by Fr Jan Borzymowski, a Cracovian salt dealer; the chalice from the late 15th century attributed to the famous goldsmith from Kraków Marcin Marciniec and several interesting works made in Gdańsk such as the tray and jar made ca. 1650 by Krystian Paulesen, an outstanding goldsmith from Gdańsk<sup>24</sup>.

The project of the exhibition was made by Franciszek Rzepka and Jacek Jeż from the atelier ‘Off Art Studio’ in Zabrze in the year 2008. The construction design of the adaptation of the crypt was made by the engineer and architect Bogusław Kulka in 2009. First of all, the project intended to lower the floor of the crypt to minus 0.45 m level compared with the existing one, preparing new layers under the floor and a new floor of marble black and white tiles to maintain the Baroque character of the crypt. Considering the big value of the proposed exhibits air-conditioning and monitoring systems were installed. The fundamental problem that the workers faced was ground water<sup>25</sup>. They had to make some extra anti-damp isolation and appropriate drainage as well as to ensure automatic pumping of the excess water gathered in the drainage system into the sink basin outside the chapel at its western wall. The outflow of ground water did not surprise us because from the beginning ‘there was a cistern in the grave under the chapel and some fellow from the estate of Pawlikowice<sup>26</sup> should pump water from it so that the grave was not flooded with water<sup>27</sup>’.



Rys. 12. Koncepcja adaptacji krypty na cele ekspozycji muzealnej z 2009 r. Autorzy: Franciszek Rzepka, Jacek Jeż – Off art Studio Zabrze  
 Fig. 12. The conception of the adaptation of the crypt as an exhibition place, 2009. Authors: Franciszek Rzepka and Jacek Jeż – Off art Studio Zabrze



Rys. 13. Prace przy pogłębianiu krypty. W środku zdjęcia, u podstawy żebra widoczne szczątki szkieletów, które zostały pochowane pod posadzką krypty. Widoczna również woda gruntowa, zbierająca się w wykopach. Fot. A.J. Gaczoł, 2009  
 Fig. 13. The works aiming at deepening the crypt. In the centre: the remains of the skeletons, buried under the floor of the crypt, at the foundation of the rib and the ground water gathered in the ditch. Photo by A.J. Gaczoł, 2009



Rys. 14. „Zagadkowy” kanał wiodący pod prezbiterium kościoła odkryty w 2009 r. Fot. A.J. Gaczoł

Fig. 14. The 'mysterious' canal running under the presbytery of the church, discovered in 2009. Photo by A.J. Gaczoł

Prace budowlane prowadzone były pod nadzorem archeologicznym oraz architektonicznym<sup>28</sup>. Nadzór okazał się konieczny, bowiem odnaleziono m.in. XVII-wieczny niski, sklepiony, ceglany kanał biegnący łukiem pod prezbiterium kościoła. Kanał ten od strony kaplicy rozpoczyna się poza zachowanymi szczątkowo gotyckimi fundamentami murów prezbiterium XIV-wiecznego kościoła, nie dochodzi jednakże do ścian barokowej krypty. Cel wykonania tegoż kanału pozostanie zagadką do rozwiązania podczas następných prac w podziemiach kościoła.

The construction works were supervised by archaeologists and architects<sup>28</sup>. The supervision turned out to be necessary since among other findings they discovered the 17<sup>th</sup> century small, vaulted, brick canal running along the arch under the presbytery of the church. From the side of the chapel the canal begins behind the fractionally preserved Gothic foundations of the walls of the presbytery of the 14<sup>th</sup> century church but it does not reach the walls of the Baroque crypt. The purpose of the construction of this canal remains a mystery to be solved during the following works in the basement of the church.

---

\* Politechnika Krakowska, Wydział Architektury, Kraków, Polska  
Cracow University of Technology, Faculty of Architecture, Cracow, Poland

<sup>1</sup> Patrz: A. Gaczoł, *Odkrycia w Wieliczce*, (w:) „Spotkania z Zabytkami”, Nr 11(69) z 1992 r., s. 2-4.

<sup>2</sup> Władysław Morstin z Raciborska w pobliżu Wieliczki (zm.1689 r.), starosta kowalski i bachmistrz wielicki. Był godnym przedstawicielem sławnego rodu i prowadził niezwykle intensywny tryb życia. Arianin i działacz sejmikowy, po przejściu na katolicyzm posel na sejm konwokacyjny i stronnik Jana III Sobieskiego. W 1660 r. uzyskał bachmistrzostwo wielickie, które wiązało się z technicznym nadzorem prac w kopalni soli i od XVI w. było w rękach rodu Morstinów. Patrz: K. Niesiecki, *Herbarz Polski*, Lipsk 1841, s. 466; A. Przyboś, *Morsztyn (Morstin) Władysław*, (w:) „Polski Słownik Biograficzny” (dalej: PSB), t. XXI, Wrocław 1976, s. 830-832; E. M. Rostworowski, *Popioły i korzenie. Szkice historyczne i rodzinne*, Kraków 1985, s. 376-377 i 380-382.

<sup>3</sup> *Historia Domu Zakonnego Towarzystwa Jezusowego w Krakowie. Rok 1690*. Wypis ze zbiorów Centralnego Archiwum Jezuitów w Rzymie, ARSI, Pol. 56 f, 111v., uzyskany przez autora. Patrz także: „Uwiedomienie o Fundatorze, Czasie Fundacji Altarii, czyli Kaplicy i Kapelanii Morstinowskiej w Wieliczce z 1774 r.”, Archiwum Główne Akt Dawnych w Warszawie, Zbiory przejęte z Biblioteki Narodowej, Zbiory Morstinów, nr 33; A. Gaczoł, *Zabytki sztuki w Wieliczce*, (w:) *Wieliczka. Dzieje miasta (do roku 1980)*, pod red. S. Gawędy, A. Jodłowskiego i J. Piotrowicza, Kraków 1990, s. 344.

<sup>4</sup> Jan Ignacy Delamars (1656–1719) ksiądz jezuita – projektant m.in. kościoła jezuickiego w Krasnymstawie oraz wyposażenia wnętrza kościoła św. Barbary i kaplicy domu nowicjateckiego w Krakowie. Patrz: J. Paszenda, *Jan Delamars – nieznaną artystą małopolski na przełomie XVII i XVIII wieku*, „Biuletyn Historii Sztuki”, R. 28, nr 2, 1966, s. 255-257; *Encyklopedia wiedzy o jezuitach na ziemiach Polski i Litwy 1564-1995*, oprac. L. Grzebień SJ z zespołem, Kraków 1996, s.122.

<sup>5</sup> Piotr Abramowicz (1619-1697) ksiądz jezuita – kierował budowlami m.in. kolegium jezuickiego w Wąlczu i kościoła, obecnej fary w Poznaniu. Stanisław Solski (1622-1701) ksiądz jezuita – nadworny architekt biskupa krakowskiego Jana Małachowskiego, prefekt budowy kościoła św. Piotra w Krakowie, zbudował także m.in. klasztor wizytek w Krakowie, autor dzieł *Geometra polski* (Kraków 1683-86) i *Architekt polski* (Kraków 1688). Patrz: *Encyklopedia wiedzy o jezuitach...*, op. cit. s. 1, 632.

<sup>6</sup> *Historia Domu Zakonnego...*, *Rok 1690*, op. cit.

<sup>7</sup> Z zachowanych źródeł wynikało, że ostatnie „odnowienie” wnętrza kaplicy przeprowadzono ok.1910 r. Wspomina

o tym Feliks Piestrak w *Przewodniku po Wieliczce i jej kopalniach*, wydany w 1912 r. Istnieją przypuszczenia, że próbowano wówczas odnaleźć kryptę. Na początku lat trzydziestych XX w. wprowadzono na zewnątrz kaplicy nowy cokół i uzupełniono zniszczone elementy kamieniarskie. W czasie późniejszych remontów kościoła parafialnego nie remontowano wnętrza kaplicy. Patrz: E. Kalwajtys, K. Ochaniak, *Kościół p.w. św. Klemensa w Wieliczce (architektura i wyposażenie)*, (w:) „Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce” (dalej: „SMDŻ”), t. XXI, Wieliczka 2001, s. 41-43 i 50-54.

<sup>8</sup> Opinia konstruktora i biegłego sądowego, inż. Kazimierza Deca z 10 X 1986 r. została zatwierdzona w orzeczeniu ówczesnej Okręgowej Komisji do Spraw Szkód Górniczych przy Okręgowym Urzędzie Górniczym w Krakowie z 27 X 1986 r. Kopalnia Soli „Wieliczka” została zobowiązana do usunięcia szkody po wykonaniu stosownej dokumentacji technicznej. Kopie wspomnianych dokumentów w zbiorach autora.

<sup>9</sup> Projekt zabezpieczeń górniczych i konstrukcyjnych przygotowała początkowo na zlecenie Kopalni Soli spółka „Polstar”, a później w 1991 r., na zlecenie inwestora zastępczego, którym został Zarząd Rewaloryzacji Zespołów Zabytkowych Krakowa - biuro projektowe „Atelier TES” z Krakowa, którym kierował mgr inż. Zdzisław Trzepla.

<sup>10</sup> L. Morstin, *Wspomnienia*, przygotował do druku K. Estreicher, (w:) „Rocznik Krakowski”, t. XLI, Kraków 1970, s. 74. Ludwik Morstin, autor *Wspomnień*, żył w latach 1785 – 1865.

<sup>11</sup> J. Janczykowski, S. Dryja z zespołem, *Nadzór badawczy przy pracach w krypcie kaplicy Morstinów w Wieliczce*, Kraków-Wieliczka, marzec-czerwiec 1991, mpis; Ł. Walczy, *Dzieje kościoła parafialnego św. Klemensa w Wieliczce do 1785 roku*, (w:) „SMDŻ”, t. XXI, Wieliczka 2001, s. 16-17.

<sup>12</sup> Inicjując i nadzorując przebieg prac w kaplicy w latach 1988-1992 byłem zastępcą wojewódzkiego konserwatora zabytków w Krakowie i zajmowałem się szczególnie ochroną konserwatorską Wieliczki, podziemnej i nadziemnej. W latach 1993 – 2003 byłem Małopolskim Wojewódzkim Konserwatorem Zabytków w Krakowie.

<sup>13</sup> Autorem rysunków budowlanych, roboczych był mgr inż. architekt Jan Janczykowski, od 1 III 2003 r. wojewódzki konserwator zabytków w Krakowie.

<sup>14</sup> J. Pagaczewski, *Baltazar Fontana w Krakowie*, (w:) „Rocznik Krakowski”, t. XI, Kraków 1909, s. 1-50; Tenże, *Baltazar Fontana*, (w:) PSB t. VII/1, z. 31, Kraków 1948, s. 52-54; M. Karpowicz, *Baltazar Fontana*, Warszawa 1994.

Patrz także: J. Samek, *Uniwersytecka Kolegiata Świętej Anny w Krakowie*, Kraków 2000, s. 28-32.

<sup>15</sup> Fragmenty zaginionego kontraktu Baltazara Fontany z Barbarą Morstinową, który przechowywany był w dawnym Archiwum Wodzickich w pałacu w Kościelnikach (obecnie na terenie Krakowa) cyt. za: J. Pagaczewski, *Baltazar Fontana w Krakowie*, op. cit., s. 11-12.

<sup>16</sup> Nowy kościół wielicki wzniesiony na relikwach gotyckiej fary konsekrował biskup tyniecki, rezydujący wówczas w Bochni, Grzegorz Tomasz Ziegler 4 IV 1825 r.

<sup>17</sup> J. Janczykowski, *Nadzór badawczy przy pracach...*, op. cit., s.16.

<sup>18</sup> Pierwotną kaplicę ufundowali w XIV w. Jordanowie z Zakliczyna, którzy pierwsi sprawowali urząd bachmistrzów (góromistrzów), czyli technicznych kierowników kopalni soli, przed Morstinami. Patrz: Ł. Walczy, *Dzieje kościoła parafialnego...*, op. cit., s. 12.

<sup>19</sup> Analogie można znaleźć tylko w krypcie kościoła Filipinów w Gostyniu z lat siedemdziesiątych XVII wieku.

<sup>20</sup> Prace konserwatorskie przy portalu wykonał w latach 1992 – 1993 art. kons. Tomasz Dziurawiec w ramach pracy dyplomowej na Wydziale Konserwacji Dzieł Sztuki Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie.

<sup>21</sup> Tylko koszt wykonania nowych, niewielkich okien, krat i drzwi wiodących z kościoła do krypty ponosiła wielicka parafia. Parafia sfinansowała również końcowe prace konserwa-

torskie wewnątrz kaplicy (malowanie stropu i ścian, witraże, posadzka).

<sup>22</sup> Julian Pagaczewski stwierdził zdecydowanie na początku XX wieku: *w kaplicy nie ma już stiuków Fontany*. Patrz: J. Pagaczewski, *Baltazar Fontana w Krakowie...*, op. cit., s. 12.

<sup>23</sup> Ks. Z. Gerlemu udało się uzyskać na ten cel dotację z Urzędu Miasta i Gminy w Wieliczce w 2009 r.

<sup>24</sup> L. Lepszy, *Skarbiec wielicki na wystawie sztuki*, (w:) „Czas”, R. XL. Kraków 1887, nr 230 z dnia 8 X; A. Gaczoł, *Zabytki sztuki w Wieliczce*, op. cit. i tam zestawiona późniejsza, bogata literatura dotycząca przedmiotów w wielickim kościelnym skarbcu.

<sup>25</sup> Na terenie Wieliczki bardzo często pojawia się woda gruntowa płytko pod powierzchnią terenu, co jest związane z zalegającymi warstwami glin i lessów, towarzyszących pokładom soli.

<sup>26</sup> Wieś Pawlikowice koło Raciborska należała do rozległych dóbr Morstinów w okolicach Wieliczki.

<sup>27</sup> *Opisanie kaplicy Bachmistrzowskiej fundacji (...) Prześwieconego Domu Morsztynów w kościele Farnym Wielickim...* z 1751 r. AGAD z BN, Zbiór Morsztynów nr 32.

<sup>28</sup> Nadzór archeologiczny pełnili pp. Beata Kuraś-Pawlikowska i Szymon Pawlikowski – Firma Archeologiczna „Beta”, a nadzór architektoniczny i budowlany dr inż. arch. Andrzej Gaczoł. Konsultant: dr inż. arch. Marek Łukacz.

Elżbieta Przesmycka\*

## Problemy konserwacji architektury modernistycznej w Polsce

### Problems of conservation of modernist architecture in Poland

#### 1. Wstęp

W ostatnich latach obserwujemy w Polsce duże zainteresowanie architekturą okresu międzywojennego. Równolegle daje się zaobserwować powszechne niszczenie charakterystycznych, identyfikujących ją elementów wystroju i kształtu architektonicznego.

Nie istnieje w kraju skuteczna ochrona tego typu architektury. Nawet wybitne dzieła urbanistyczne i architektoniczne z lat międzywojennych nie są chronione prawnie. Na naszych oczach tysiące metrów kwadratowych elewacji pokrytych szlachetnymi mineralnymi tynkami znika pod warstwą styropianowych dociepleń. Unikalne już dziś systemy charakterystycznej stolarki drzwiowej i okiennej są wymieniane na współczesną różniącą się przekrojami profili i rozmieszczeniem podziałów. Dotyczy to zarówno obiektów architektury mieszkalnej, budynków publicznych, jak i zabudowy poprzemysłowej. Zaznaczyć trzeba, że architektura okresu międzywojennego w Polsce cechowała się wielką różnorodnością stylową, co miało odbicie w różnorodnych materiałach budowlanych używanych do jej wznoszenia i stosowanych do wykończenia zewnętrznego i wewnętrznego.

Do analiz i przeglądu stanu zachowania wybrano reprezentatywne przykłady architektury z miast obszarów Centralnego Okręgu Przemysłowego, tj. Lublina, Skarżyska Kamiennej, Ostrowca Świętokrzyskiego, Mielca, Chełma Lubelskiego i Stalowej Woli.

#### 1. Introduction

In the recent years in Poland great interest in the architecture of the interwar period has been noticeable. Simultaneously one can observe general decay of characteristic elements of interior decorations and architectural shape, making its identity.

In the country there is lack of effective protection of this type of architecture. Even prominent town-planning and architectural works from the interwar years are not protected by law. We are witnessing how thousands of square meters of façades covered in noble mineral plasters disappears under the layers of styropore thermal insulation. The systems of characteristic door and window woodwork, which are unique, are replaced now with present ones, which are different in their sections of profiles and distribution of divisions. This concerns all the objects: of habitable architecture, public buildings, and the post-industrial buildings. It must be pointed out that the architecture of the interwar period in Poland was characteristic in its great variety in style, which had its reflection in the variety of building materials used to raising thereof and applied to the finishing up, both external and internal.

To carry out the analysis and review of the condition of preservation that architecture, representative examples thereof have been selected from the towns of the areas of The Central Industrial Region, i.e. Lublin, Skarżysko-Kamienna, Ostrowiec Świętokrzyski, Mielec, Chełm Lubelski and Stalowa Wola.

## **2. Charakterystyka inwestycji okresu międzywojennego**

Budowę Centralnego Okręgu Przemysłowego (COP) poprzedzał okres wzmożonych inwestycji mający na celu poprawę warunków życia obywateli odrodzonego państwa. Okres od listopada 1918 roku do 1922 roku możemy określić, jako czas budowy podstaw gospodarczych Rzeczypospolitej. W tym trudnym okresie tworzono od podstaw administrację, armię, i odbudowywano przemysł oraz rolnictwo zniszczone wojną. Zaczęto tworzyć podstawy polityki rozwoju kraju. W 1928 roku w Polsce osiągnięto najwyższy poziom produkcji przemysłowej i najniższe bezrobocie.

## **3. Budownictwo i architektura okresu międzywojennego w Polsce południowo wschodniej (COP)**

Zakończenie działań wojennych w 1918 roku i odrodzenie państwa polskiego zainicjowało rozwój gospodarczy kraju. Przełożyło się to na silny ruch inwestycyjny i budowlany, co z kolei wpłynęło na rozwój przestrzenny miast.

Po doświadczeniach wojny polsko-sowieckiej, w roku 1921 gen. Kazimierz Sosnkowski wystąpił z koncepcją zlokalizowania polskiego przemysłu zbrojeniowego w tzw. trójkącie bezpieczeństwa, który miał znajdować się w rejonie Sandomierza w widłach Wisły i Sanu.

W latach 1923-1929 w Polsce udało się zbudować kilka zakładów przemysłu zbrojeniowego na terenach staropolskiego zagłębia przemysłowego (Skarżysko, Radom, Starachowice, Pionki). Od 1932 roku dało się zaobserwować stopniowy wzrost wytwórczości fabrycznej, zaś jej przyspieszenie nastąpiło dopiero na jesieni 1935 roku.

Do koncepcji budowy Centralnego Okręgu Przemysłowego powrócono w 1928 roku. Przyznano wówczas specjalne ulgi podatkowe dla przedsiębiorstw powstających i działających w tzw. trójkącie bezpieczeństwa. COP podzielono na trzy regiony: „A” – Kielecki region surowcowy, „B” – Lubelski region aprowizacyjny, „C” – Sandomierski region przetwórczy – obszar w widłach Wisły i Sanu. Planistyczne granice COP ulegały zmianom i ostatecznie zawarły się w 46 powiatach na obszarze czterech województw: kieleckiego, krakowskiego, lubelskiego i lwowskiego obejmując je tylko częściowo.

W ramach programu COP zakończono lub rozpoczęto budowę wielu nowych obiektów przemysłowych. W zakresie energetyki rozpoczęto budo-

## **2. Characteristics of the investment of the interwar period**

Building the Central Industrial Region (COP) was preceded by a period of intensive investments aimed at improvement of living conditions of the citizens of the reborn state. The period from November 1918 to 1922 can be described as the time of building up of the economic base for The Republic of Poland. In that difficult period administration and army were to be created from the scratch, and industry and agriculture that had been destroyed by the war were being reconstructed. Creation of the basis for the politics of development of the country had just been started. The highest level of the industrial production and the lowest unemployment were reached in Poland in 1928.

## **3. Building and architecture of interwar period in south-eastern Poland (COP)**

End of hostilities in 1918 and the rebirth of Polish state initiated economic development of the country. This resulted in strong investment and building movement, which in turn influenced on the urban development.

In 1921 due to the experience from the Polish-Soviet war, general Kazimierz Sosnkowski came out with the conception of situating the Polish armaments industry in the so-called delta of safety which was to be in the region of Sandomierz, where the San river makes a tributary to the Vistula river.

In years 1923-1929 Poland managed to build several plants of armaments industry on the terrains of ancient Polish industrial region (Skarżysko, Radom, Starachowice, Pionki). Since 1932 gradual growth of factories' output could be noticed, whereas acceleration thereof did not take place until the autumn 1935.

The idea of building The Central Industrial Region was brought forth again in 1928. Then special tax exemption was granted to the enterprises coming into being and acting in the so-called delta of safety. COP became divided on three regions: 'A' - Kielecki raw material region, 'B' - Lubelski food-providing region, 'C' - Sandomierski processing region – the San – Vistula tributary area. The planning borders for COP were changing and they finally consisted of 46 administrative districts being parts of four provinces: Kielce, Cracow, Lublin and Lvov.

Within the COP building program there was commenced building of many new industrial objects. In the scope of power industry the building of hydroelectric power station was begun in Rożnow, Stalowa Wola, Mościce, Poreba, Starachowice and Lublin.

wę elektrowni wodnej w Rożnowie, elektrowni w Stalowej Woli, Mościcach, Porębie, Starachowicach i Lublinie.

W Starachowicach rozbudowano fabrykę dział i amunicji, w Radomiu fabrykę broni, w Mielcu fabrykę samolotów, w Rzeszowie obrabiarek H. Cegielskiego, powstała Wytwórnia Silników Lotniczych, oraz odlewnia lekkich stopów Leszczyńskiego i fabryka reflektorów. W Sanoku wzniesiono Fabrykę Broni i Obrabiarek M. Zieleniewskiego.

Industrializacja kraju pozwoliła na stworzenie interesujących realizacji budownictwa przemysłowego. W Stalowej Woli rozpoczęto budowę huty wraz z fabryką armat. W Tarnobrzegu uruchomiono rafinerię miedzi. W Lublinie powstała fabryka płatowców „Plage i Laškiewicz”, fabryka masek gazowych i drutu kolczastego oraz zaczęto budowę fabryki samochodów ciężarowych na licencji General Motors. W Kraśniku powstała fabryka łożysk a w Kurowie zakłady skórzanego. W Ostrowcu Świętokrzyskim wzniesiono odlewnię wież pancernych. W okolicach Dębicy zaczęto wznosić walcownię miedzi i aluminium zaś w Poniatowej fabrykę materiałów i aparatów teletechnicznych.

Budowa tzw. COP stała się największym przedsięwzięciem gospodarczym Rzeczypospolitej. Oceniając dziś realizację tych zamierzeń, można stwierdzić na wielu przykładach pozostałych jeszcze obiektów, iż był to proces kompleksowej przebudowy sposobu życia wielu mieszkańców. Nie sposób analizować samego budownictwa przemysłowego bez odniesienia się do towarzyszących mu procesów tworzenia osiedli mieszkaniowych dla pracowników zakładów, zwanych przeważnie koloniami.

#### 4. Budownictwo przemysłowe

W 1922 roku powstało w Warszawie Biuro Projektów Centralnego Zarządu Wytwórni Wojskowych, gdzie między innymi opracowywano dokumentację projektową trzech dużych nowoczesnych fabryk amunicji w oparciu o nowoczesne technologie i zrealizowanych dzięki zaciągnięciu pożyczki finansowej od rządu francuskiego. Były to: Fabryka Amunicji w Skarżysku, Fabryki Prochu w Pionkach i fabryki broni w Radomiu, nazywany wówczas „trójkątem bezpieczeństwa” [2]. W następnych latach główną rolę w tworzeniu fabryk zbrojeniowych miał Centralny Zarząd Wytwórni Wojskowych w Warszawie. Budżet CZWW ustalał Minister Spraw Wojskowych w porozumieniu z Ministrem Skarbu w formie tzw. budżetu dodatkowego [1].

Budynki fabryczne w większości zakładów przemysłowych COP budowano w oparciu o kon-

The following plants were expanded: in Starachowice the factory of cannons and ammunition, in Radom the factory of firearms, in Mielec the factory of aircrafts, in Rzeszow the factory of machine tools H. Cegielski; new factories came into being: the Factory of Aircraft Engines, the foundry of light alloys Leszczyński and the factory of anti-aircraft searchlights. In Sanok the Factory of Fire-arms and Machine Tools Zieleniewski was raised.

The industrialization of the country allowed to create interesting realizations of the industrial building. In Stalowa Wola the building of steelworks and the factory of cannons were started. The refinery of copper was started in Tarnobrzeg. In Lublin the factory of airframes ‘Plage and Laškiewicz’, the factory of gas-masks and barbed wire came into being, and the construction of the factory of trucks on General Motors’ license was begun. The factory of bearings came into being in Kraśnik and in Kurow leather products factory. The foundry of armored towers was raised in Ostrowiec Świętokrzyski. In the neighborhood of Dębica the construction of copper and aluminum rolling-mill was started, whereas in Poniatowa the factory of materials and apparatuses for telecommunication.

Building of so-called COP became the largest economic undertaking of The Republic. Estimating realization of these intentions today, one can affirm, on the examples of many still existing objects, that it was a process of complex changing of the way of living for many occupants of that area. It is not possible to carry out an analysis of the industrial building itself without the reference to the accompanying it processes of creating housing estates for workers of the plants, mostly called ‘colonies’.

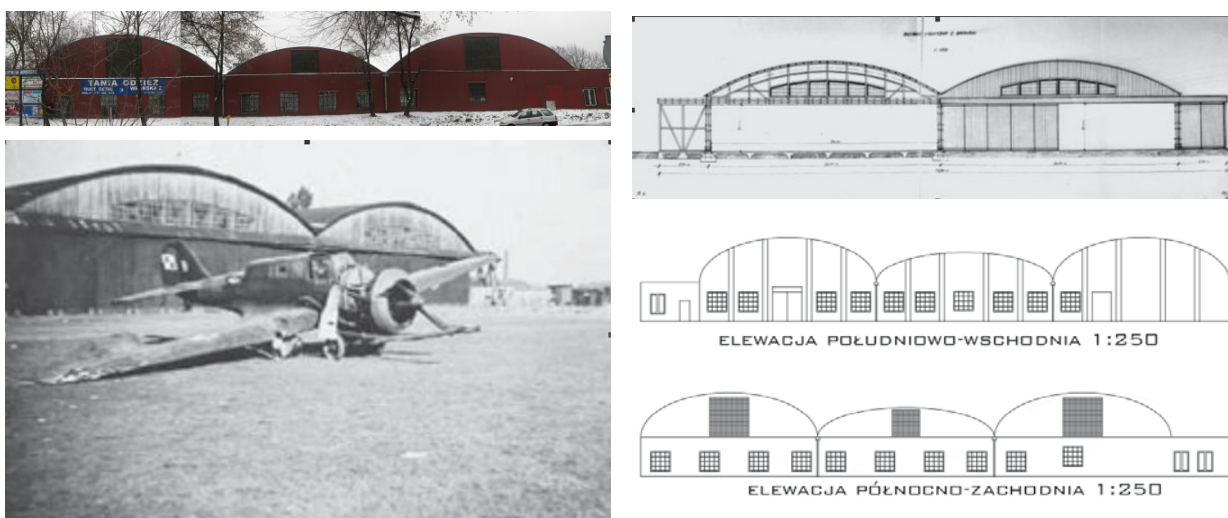
#### 4. Industrial building

In 1922 in Warsaw there came into being the Designing Office for Central Management of Military Factories, where amongst others the designing documentation for three large modern factories of ammunition was created, supported on modern technologies and realized thanks to the loans from the French government. The following plants: The Factory of Ammunition in Skarżysko, The Factory of Gunpowder in Pionki and the Factory of Firearms in Radom, made up what was at the time called ‘delta of safety’ [2]. In the following years the main part in creating armaments factories was played by Central Management of Military Factories (CZWW) in Warsaw. The budget of the CZWW was being established by the Minister of Military Issues in agreement with the Minister Of Finance in the form of so-called additional budget [1].



strukcje szkieletową z zastosowaniem dźwigarów stalowych. Wypełnienie stanowiła najczęściej cegła piaskowa, (Skarżysko, Ostrowiec, Kurów, Lublin) bądź cegła ceramiczna (Stalowa Wola). Ta różnorodność technik wznoszenia stanowi o unikatowości pozostałych jeszcze obiektów. Na szczególną uwagę zasługują budynki hangarów. Funkcja wymusiła w tym przypadku zastosowanie konstrukcji o dużych rozpiętościach. Pojawiły się obiekty prezentujące najnowszą myśl techniczną, charakteryzujące się prostotą i finezją rozwiązań technicznych. Jednym z charakterystycznych jest zachowany do dzisiaj hangar w konstrukcji żelbetowej w Lublinie.

Factory buildings in the majority of industrial plants at COP were constructed on the basis of skeleton constructions with the use of steel girders. The filling was mostly sand brick, (Skarżysko, Ostrowiec, Kurów, Lublin) or ceramic brick (Stalowa Wola). This variety of the techniques of raising decides on the uniqueness of still remaining objects. The buildings of hangars deserve special attention. In this case it was the function that extorted the use of large span constructions. There appeared objects which represented state-of-the-art technique, being characterized by simplicity and finesse of technical solutions. One of characteristic construction is the hangar built as reinforced concrete construction in Lublin, which has remained till today.



Rys. 1 Zachowany hangar przy ulicy Męczenników Majdanka, fotografia hangaru z lat 30-tych, zbiory Teatru NN.  
 Fig. 1. The preserved hangar in Lublin, at Męczenników Majdanka Street. Photography from the 30-ties, from the collection of Theater NN

W 1937 roku w Stalowej Woli zaczęto wznosić budynki fabryczne w konstrukcji szkieletowo-stalowej. Żelbetowe fundamenty palowe pod hale fabryczne zaczęto jeszcze w maju 1937 roku. Już podczas zimy 1937/38 montowano pierwsze konstrukcje stalowe wykonane w Hucie Pokój. Łączna powierzchnia wszystkich obiektów przemysłowych wynosiła 89.868 m<sup>2</sup>.

Lokalizację Państwowej Fabryki Amunicji w Skarżysku Kamiennym ustalono na długo przed powstaniem COP. Wynikała ona z analiz skutków użycia samolotów wojskowych w I wojnie światowej. Stąd też na lokalizację fabryk wybierano miejsca ukryte w lasach, ale blisko tras kolejowych. Jednocześnie były to obiekty znakomicie maskowane przed nalotami samolotowymi, przez specyficzne rozplanowanie budynków fabrycznych w formie podobnej do układów urbanistycznych osiedli mieszkaniowych, z ulicami z sadzonymi w razie potrzeby drzewami, oraz z dachami maskowanymi przez zasadzoną roślinność. W zespole do pielęgnacji

In 1937 In Stalowa Wola raising factory buildings in the skeleton-steel construction was commenced. Reinforced concrete pile foundation under the shops were begun in May 1937. The first steel constructions, which had been made at the Steel Works Pokój, were assembled in winter 1937/38. The total area of all industrial objects was 89,868 m<sup>2</sup>.

The location of The State Factory of Ammunition in Skarżysko-Kamienna had been established long before COP came into being. It resulted from analyses of the effects of use of military airplanes in WWI. This is why these plants were situated in the places hidden in forests, yet close to railway lines. The objects were simultaneously well masked from air raids, by specific designing the factory buildings in arrangements of housing estates similar to urban, with streets where if need be trees could be planted, and with roofs masked by vegetation planted thereon. There was a team taking care of the greenery, in which a professional gardener was



Rys. 2 Zabudowa Huty Stalowa Wola- hale fabryczne (fot. autor)  
 Fig. 2. The factory buildings of steelworks in Stalowa Wola – shops (photo by author)



Rys. 3. Rzeźnia miejska w 1929 roku (zdjęcie z lat 30-tych, zbiory Teatru NN) i stan obecny (2007), (fot. autor)  
 Fig. 3. Municipal Slaughterhouse in 1929 (photography from the 30-ties, from the collection of Theater NN) and its present condition (2007) (photo by author)

cji zieleni był zatrudniony ogrodnik. Budynki fabryki wznoszono w konstrukcji nośnej żelbetowej, bądź murowanej z cegły, a elewacje wykonywano z cegły piaskowej i spoinowanych płyt piaskowcowych. Była to identyczna technologia wykończenia elewacji jak w budownictwie mieszkaniowym.

## 5. Budownictwo mieszkaniowe

Zabudowie przemysłowej towarzyszył rozwój zabudowy mieszkaniowej. Do wybuchu II wojny światowej, w Centralnym Okręgu Przemysłowym zbudowano lub rozpoczęto budowę prawie 7100 budynków mieszkalnych. Wznoszono zarówno kolonie mieszkaniowe dla robotników jak też osiedla dla kadry urzędniczej. Charakterystyczny był rozmach w realizacji założeń osiedli spółdzielczych, nawiązujących często do idei miast i dzielnic – ogrodów.

W przypadku architektury wielu osiedli mieszkaniowych, idee modernistycznego funkcjonalizmu mieszały się z eklektycznym klasycyzującym stylem miejscowym tworząc inny wymiar, architektury miejscowej, nie do końca może docenionej. Architektura ta była wynikiem trudnych okoliczności tworzenia nowej państwowości opartej na korzeniach tradycji miejscowej szlachty, ziemiaństwa i chłopów. Stylistyka budynków projektowanych do roku 1925 przybierała często formy historyczne związane z tradycją narodową. Budynki realizowane po roku 1926 charakteryzowały się powtarzalnością i seryjnością, kubicznymi formami i oszczędnym detalem,

employed. The buildings of the factory were raised as the load-bearing construction from reinforced concrete, or as a brick construction, and the façades were made from sand brick and pointed sandstone plates. It was an identical technology of finishing the façades as that applied in the habitable building.

## 5. Housing building

The industrial building was accompanied by development of the housing buildings. Until the breakout of WWII, in the Central Industrial Region almost 7100 habitable buildings were built or their construction began. Both housing colonies for blue-collar workers and housing estates for clerical personnel were raised there. The realization of these complexes of cooperative housing estates was characterized by profusion, often linking to the idea of cities and districts-gardens.

In the case of architecture of many housing estates, the ideas of modernist functionality are intermixed with eclectic classicistic local style, creating a new dimension of local architecture, maybe not being appreciated as it deserves. This architecture was the result of the difficult circumstances of creating a new state, rooted in the tradition of local gentry, rich landowners and peasants. The stylistics of buildings projected until 1925 often took historical forms connected with the national tradition. Buildings realized after 1926 were characterized by repeatability and seriality, cubic forms and pared-

uwzględniały program „mieszkania minimum”, oraz warunki higieny, socjologii i ekonomii.

W większości kolonii powstałych do roku 1935 zabudowę mieszkaniową tworzyły parterowe domy z poddaszem użytkowym, jednorodzinne lub dwurodzinne nawiązujące formą do dworów polskich. Domy wielorodzinne były dwukondygnacyjne lub trzykondygnacyjnych usytuowane w pierzejach głównych ulic. Budynki mieszkalne wznoszone w tym okresie najczęściej posiadały wysokie, łamane dachy kryte dachówką ceramiczną. W zależności od lokalizacji różniły się formą architektoniczną, a przede wszystkim wystrojem zewnętrznym i zastosowanymi materiałami elewacyjnymi.

down detail, they took into account the program ‘flat of the minimum’, and conditions of hygiene, sociology and economy.

In the majority of colonies formed till 1935 the housing building was created in the form of one-storey houses with a usable loft, single-family or semi-detached, referring in their form to Polish manors. Multi-family houses were two- or three-storey buildings situated in the frontages of main streets. Habitable buildings raised in this period most often had high, mansard roofs covered with ceramic tile. They differed in their architectural form depending on the location, and first of all in their external decorations and applied façade materials.



Rys. 4. Fragmenty elewacji budynków mieszkalnych w Skarżysku (fot. autor)  
Fig. 4. Parts of façade of housing buildings in Skarżysko (photo by author)

W 1923 roku rozpoczęto budowę Domów mieszkalnych dla dyrekcji w Kolonii Górnej Skarżysku Kamiennej. W odległości około kilometra od zakładu wybudowano osiedla mieszkaniowe – Kolonię Urzędniczą<sup>1</sup> i Kolonię Robotniczą.

Większość budynków została zrealizowana, jako obiekty murowane z cegły piaskowej z zastosowaniem do wykończenia elewacji okładziny z miejscowego kamienia (piaskowca). Formą architektoniczną przypominały kamienice czynszowe, zaś mniejsze wznoszono w oparciu o formy narodowe. Interesującą formę zabudowy prezentuje kompleks Kolonii Rejów o zabudowie barakowej położonej na zboczu wzgórza<sup>2</sup>.

In 1923 building of habitable houses for the management was begun in The Upper Colony in Skarżysko-Kamienna. There were also built the Clerical Colony<sup>1</sup> and the Blue-collar Workers' Colony housing estates at the distance of about one kilometer away from the plant.

The majority of buildings was realized as brick objects from sand brick with the use of locally quarried stone (sandstone) for the finish cladding of the façade. In their architectural form they reminded tenements houses, while the smaller ones were raised on the basis of national forms. The complex of Colony Rejów presents an interesting form of hut-shape buildings laid on the slope of a hill<sup>2</sup>.



Rys. 5. Willa dyrektorska w Mielcu i Stalowej Woli (fot. autor)  
Fig. 5. The villa of a manager in Mielec and Stalowa Wola (photo by author)

Równoległe ze wznoszeniem fabryki i budynków mieszkalnych powstawały budynki szkół, przedszkoli, ośrodki zdrowia, domy ludowe, kina i ośrodki sportowe oraz kościoły rzymsko katolickie<sup>3</sup>.

W 1937 w Stalowej Woli powstał ciekawy zespół osiedli mieszkaniowych zrealizowanych „na surowym korzeniu” w stylu modernizmu funkcjonalnego. W 1937 roku wybudowano 6 pierwszych baraków mieszkalnych dla pracowników, z kanalizacją i wodociągami, zaś w czerwcu tegoż roku rozpoczęto wznoszenie pierwszych bloków mieszkalnych według zatwierdzonego wcześniej planu urbanistycznego opracowanego przez arch. Rudzińskiego. Osiedle miało liczyć 20 tys. mieszkańców a docelowo 50 tys. Rys. 5. przedstawia typową architekturę kolonii urzędniczej i robotniczej Stalowej Woli oraz przykład architektury willi dyrektorskich tamże i w Mielcu.

Domy mieszkaniowe wznoszono „seryjnie” oddając do użytku po kilkanaście bloków mieszkalnych. Ogólnie w ciągu trzech lat, do wybuchu wojny oddano do użytku 970 mieszkań<sup>4</sup>. Z biegiem czasu wykształciły się kolonie: Robotnicza, Majsterska, Urzędnicza i Dyrektorska. W 1938 roku wzniesiono jeszcze dwa hotele liczące w sumie 90 pokoi.

Architektura kolonii domów bliźniaczych oraz wolnostojących pod względem stylowym reprezentuje formy uproszczonego, kubicznego funkcjonalistycznego występującego w architekturze polskiej w latach 1925-1934.

Przeważająca część zabudowy powstała pod koniec lat trzydziestych a więc w okresie drugiej fazy rozwoju funkcjonalizmu w Polsce, która przypada na lata 1935-1939. Tu dominują obiekty o wyraźnych cechach nowoczesnej architektury. Elewacje cechują linearne poziome i pionowe podziały.

Simultaneously with raising the factory and the habitable buildings there came into being buildings of schools, nursery schools, the health centers, community houses, cinemas and sport centers and Roman-Catholic churches<sup>3</sup>.

In 1937 in Stalowa Wola there was realized an interesting complex of housing estates built in an undeveloped area in the style of functional modernism. The first 6 habitable hut-form houses were built in 1937 for blue-collar workers, with the sewage system and water-supply, whereas raising of first habitable blocks according to the earlier approved town-planning design worked out by Rudziński, an architect, was begun in June of the same year. The housing estate was to be for 20 thousand occupants with the prospects to 50 thousand occupants in the future. fig. 5. presents a typical architecture of the clerical and blue-collar workers' colony in Stalowa Wola and an example of the architecture of manager's villas therein and in Mielec.

Housing buildings were raised 'in series' commissioning for exploitation a dozen or so habitable blocks at a run. Altogether throughout three years, up to the outbreak of war there were commissioned 970 flats<sup>4</sup>. By the time the colonies were formed: Blue-collar Workers', Foremen's, Clerical and Manager's. In 1938 additionally two hotels, altogether with 90 rooms, were built.

The architecture of the colony of identical houses and detached houses represents the forms of simplified, cubic, functional architectural style which was to be found in Polish architecture in years 1925-1934.

The predominant part of the buildings came into being in the latter part of the thirties, in the period of the second phase of development of the functionalism in Poland, which falls in years 1935-1939. The objects which predominate there are of clear features of modern architecture. The façades feature linear horizontal and perpendicular divisions.



Rys. 6. Budynek kolonii kolejarzy w Lublinie po termorenowacji (fot. autor)  
Fig. 6. Railwaymen's colony building in Lublin after thermal insulation (photo by author)

## 6. Architektura monumentalna

Do tego typu obiektów można zaliczyć powstające w okresie międzywojennym budynki administracji państwowej, poczty, starostwa, budynki dyrekcji dużych zakładów przemysłowych (np. Huta Stalowa Wola, Skarżysko, Zakłady Mięsne w Lublinie) oraz budynki użyteczności publicznej: szkoły, domy ludowe, łaźnie. Cechuje je duża wartość architektoniczna, dbałość o szczegóły wykończenia elewacji i wnętrz, najczęściej reprezentacyjnych.



Rys. 7. HSW – budynek dyrekcji, Chełm, gmach dyrekcji kolei (fot. autor)  
Fig. 7. HSW – the edifice of railway management in Chełm (photo by author)

W okresie międzywojennym w 1926 roku rząd Polski podjął decyzję o przeniesieniu Dyrekcji Polskich Kolei Państwowych z Radomia do Chełma, jako miejsca centralnie położonego w ówczesnych granicach kraju. Na tej podstawie władze miasta zleciły wykonanie koncepcji zagospodarowania przestrzennego nowego założenia dzielnicy kolejowej. Projekt „Nowego Miasta” został opracowany przez architektów: Adama Kuncewicza i Adama Paprockiego dla obszaru o powierzchni 430 ha.

## 6. Monumental architecture

For this type of objects one can assign buildings of state administration, post offices, district governor's seat, buildings of the management of large industrial plants coming into being in the interwar period (e.g. Stalowa Wola Steelworks, Skarżysko, Meat Plant in Lublin) and the buildings of public usefulness: schools, community houses, baths. They feature high architectural value, care about the details of the finishing off of the façade and interiors, most often of fine appearance.



In the interwar period, in 1926, the Polish government made a decision about the transfer of Polish Railways Managements from Radom to Chełm, as it was the place most centrally located in relation to the Polish borders of the time. Based upon that decision the town authorities charged the realization of the town-planning conception for a new railwaymen's district. The project 'New City' was worked out by architects: Adam Kuncewicz and Adam Paprocki for the terrain of 430 ha in area. The realization of the



Rys. 8. Widok szkoły w Lublinie przed i po dociepleniu (fot. autor)  
Fig. 8. A view of school in Lublin, before and after insulation works (photo by author)

Realizację projektu rozpoczęto od budowy kolonii urzędniczej, tzw. „Dyrekcji” przeznaczonej dla pracowników kolei, którzy mieli się tu przenieść z Radomia i monumentalnego budynku „Dyrekcji” [7].

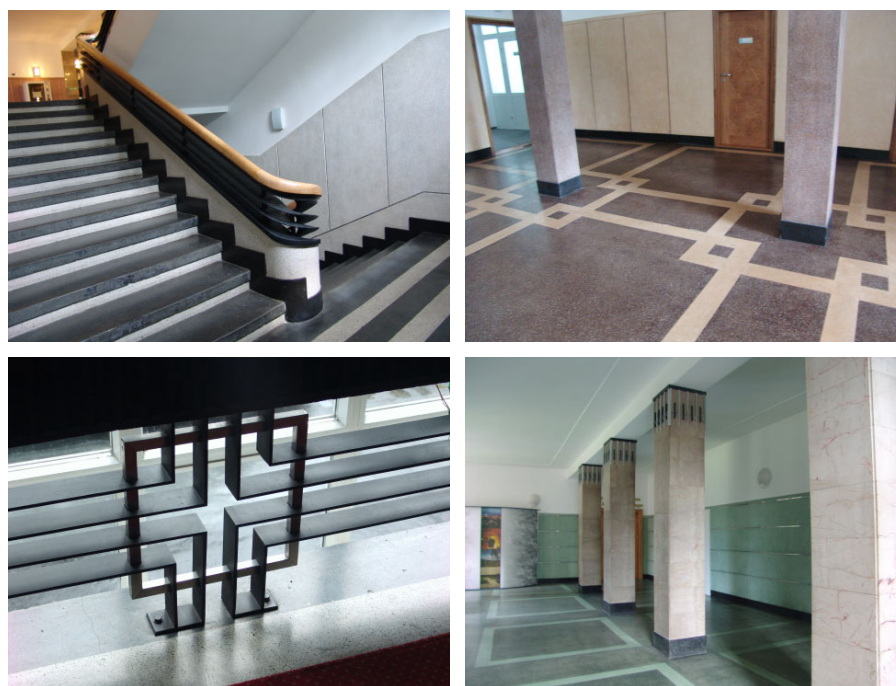
Często występującym detalem architektonicznym były gęste żłobkowania wyrobione w tynku, różne faktury i ceramiczne okładziny elewacyjne. Po 1934 roku zaczęły pojawiać się budynki o większych walorach plastycznych, wzbogacone elementami detalu architektonicznego. Występowały nowe ukształtowania bryły, płynne załamania, falujące uskoki, wyokrąglenia naroży, pokazały się wyraźne faktury tynków i okładzin. Budynki przybierała nowe formy funkcjonalistyczne charakterystyczne dla nurtu „funkcjonalizmu ekspresyjnego”<sup>5</sup>. Główną ich ozdobą, stają się wtedy wyprawy tynkowe o dużych walorach estetycznych, często o elegancyjnej fakturze żłobkowań nawiązujących do wypraw kamiennych, które także pojawiają się w architekturze modernizmu, głównie dużych miast i ważnych gmachów publicznych

project was begun from building of the so-called clerical colony ‘Management’, designed for the railway employees who were to move there from Radom, and building of a monumental edifice ‘Management’ [7].

The architectural detail which often occurred there were dense flutings worked out in plaster, various surface qualities and ceramic façade claddings. After 1934 there started to appear the buildings of larger fine arts values, enriched in the elements of architectural detail. There appeared new forms of shaping the mass of building, smooth corners of the surface, wave-shaped set-offs, rounding of the corners, the distinct surface qualities of plasters and cladding. The buildings took new functional forms characteristic for the ‘expression functionality’ trend<sup>5</sup>. The main decoration thereof sometimes became plaster finishing of high aesthetical values, often with elegant fluting surface quality, linking to stone surfaces, which also appear in the architecture of the modernism, mainly in large cities and on important public edifices.



Rys. 9. Detal elewacji Domu Kolejarza w Skarżysku Kamiennej. (fot. autor)  
 Fig. 9. A detail of façade of The Railwayman's House in Skarżysko Kamienna (photo by author)



Rys. 10. Detale wnętrz- dyrekcja HSW, stolarka drzwiowa budynku KUL (fot. autor)  
 Fig. 10. The interior details – the building of HSW management, doors woodwork of Catholic University of Lublin (photo by author)

## 7. Obecny stan zachowania obiektów architektury COP

Ostatnie dziesięć lat przyniosło wiele zmian w wyglądzie architektury modernistycznej. Wobec upadku przemysłu, architektura fabryk i zakładów w szybkim tempie niszczy się. Zmiana właścicieli powoduje, że zabudowa ulega transformacji, bądź wyburzeniom. Tak dzieje się między innymi w Skarżysku Kamiennej, Ostrowcu Świętokrzyskim, Mielcu, Lublinie i Stalowej Woli. Zabudowa mieszkalna, dawniej pracownicza ulega procesom prywatyzacji, a co za tym idzie nie kontrolowanym procesom unowocześniania z pocieplaniem i wymianą stolarki okiennej i drzwiowej. Stosowana przy termomodernizacjach kolorystyka w żaden sposób nie nawiązuje do oryginalnego charakteru budynków. Nawet tak jednolite stylistycznie i urbanistycznie osiedle jak w Stalowej Woli, zatraciło swoją modernistyczną stylistykę. Całkowita wymiana stolarki zagubiła historyczne podziały. Proces wymiany dachów ceramicznych (w Skarżysku Kamiennej już od lat 70) dopełnia zniszczenia tej architektury.

Na przykładzie Stalowej Woli można stwierdzić, iż w pewnym sensie jest to jedyne miasto, gdzie poprzez działalność informacyjną nie zatracono wszystkich wartości architektury modernistycznej. Brak jednak wyczulenia na szczegóły powoduje wprowadzanie współczesnej stolarki różniącej się znacznie od oryginalnej. Brak materiałów, którymi można by było uzupełnić zniszczenia powoduje stosowanie zamienników o dużo niższej jakości. Dotyczy to głównie okładzin klinkierowych, których obecnie się nie produkuje. Oryginalne, niegdyś projektowane dla danego typu budynku, np. o przekroju kwadratowym zastępują rury o kształtach typowych.

## 8. Wnioski

Wszystkie przedstawione realizacje budownictwa mieszkaniowego i przemysłowego i publicznego cechowało dobre jakościowo wykończenie i funkcjonalność. Budownictwo zakładów przemysłowych stosowało już nowoczesne rozwiązania techniczne przy dbałości o wyraz architektoniczny obiektów. I tak zabudowa zakładów w Skarżysku Kamiennej nawiązywała stylem do funkcjonalizmu, ale z użyciem miejscowych materiałów budowlanych. Głównym materiałem konstrukcyjnym była cegła wapienna, zaś do wykończenia płaszczyzn elewacyjnych używano łamanego piaskowca. Formy budynków mieszkalnych kolonii robotniczych wznoszono z ta-

## 7. Present condition of the preservation of the objects of COP architecture

Last ten years have brought many changes in the appearance of modernist architecture. In the face of the decline of industry, the architecture of factories and plants becomes spoiled at a quick rate. Changing of the owners causes that the buildings undergo transformation, or demolition. This is going on, amongst others, in Skarżysko-Kamienna, Ostrowiec Świętokrzyski, Mielec, Lublin and Stalowa Wola. The habitable buildings, formerly assigned for the workers, undergoes the processes of privatization, and what follows, there start uncontrolled processes of modernizing, with thermal insulating and replacement of window and door woodwork. In no way does the coloring applied at thermal insulating link to the original character of buildings. Even so uniform in style and urban design housing estate as that in Stalowa Wola has lost its modernist stylistics. The complete replacement of the woodwork caused that buildings have lost their historical divisions. The process of replacement of ceramic roofs (in Skarżysko Kamienna it has been taking place since 70-ties) completes the destruction of this architecture.

Using Stalowa Wola as an example one can state that this is in a way the only town where not all the values of modernist architecture have been lost due to informative activity. However, lack of sensitivity to the details causes introducing there modern woodwork, which considerably differs from the original. Lack of materials with which one could make up the destructions causes that substitute materials are applied, which are of much lower quality. This relates mainly to the clinker brick cladding, which are no longer produced nowadays. Gutters, which used to be designed specially for the given type of the building, e.g. of square section, are replaced with pipes of typical shapes.

## 8. Conclusions

All the presented here realizations of industrial and public buildings featured good quality finishing-off and functionality. Building of industrial plants applied modern technical solution simultaneously taking care about the architectural expression of the objects. And so the buildings of the plant in Skarżysko-Kamienna referred in its style to functionality, but with the use of local building materials. The main constructional material was lime brick, whereas broken sandstone was used for the finish of the façade planes. The forms of habitable buildings for blue-collar workers' colonies were raised from the same materials, while the roofs were mainly

kich samych materiałów, zaś dachy kryto głównie dachówką ceramiczną. Osiedla pracownicze Huty Stalowa Wola reprezentowały cechy funkcjonalizmu i budynki wznoszono głównie z cegły o elewacjach z tynkami mineralnymi. Powszechnie stosowano okładziny klinkierowe w częściach przyziemia i parterów. Te same materiały były stosowane do podkreślenia form elewacyjnych budynków dyrekcji i innych znaczniejszych budynków publicznych, takich jak szkoły, szpitale, starostwa i inne. Całość dopełniała stolarka okienna o typowych poziomych podziałach okien i drzwi. Wykończenie wewnątrz klatek schodowych i mieszkań uzupełniało powszechnie stosowane lastryko i płytki ceramiczne. Te właśnie elementy wykończenia budynków stanowiły o ich wysokim standardzie i tworzyły obraz polskiej architektury między wojennej.

Pochodzące z tego okresu inwestycje przemysłowe i komunalne w większości przypadków przez długie lata pełniły swoją pierwotną funkcję. Obiekty zlokalizowane na obrzeżach miasta w latach 20-tych są dzisiaj stopniowo wchłaniane w strefę śródmiejską. Uwarunkowania gospodarcze, polityczne i prawne, wymuszają konieczność zmiany funkcji, a w przypadku braku zainteresowania inwestycyjnego obiektem, prowadzą do jego opuszczenia i w konsekwencji śmierci technicznej. Brak uwrażliwienia społeczeństwa na formę detali architektonicznych, jakość tynków, lastryka, czy oryginalność poręczy, balustrad, klamek itp. powoduje niszczenie większości elementów wykończeniowych powodując nieodwracalne zmiany wyrazu tej architektury.

Wydaje się, iż aby zapobiec nie kontrolowanym do końca działaniom inwestorów prywatnych i publicznych należy podjąć pilne działania:

- edukacyjno-szkoleniowe, w zakresie uświadczenia wartości tej architektury dla przyszłych pokoleń, szczególnie w jej jakości w sensie użytych naturalnych materiałów,
- w podjęciu przez służby ochrony konserwatorskiej odpowiednich kroków zmierzających do objęcia skuteczną ochroną spuścizny architektonicznej okresu międzywojennego,
- prowadzenia i upowszechnienia badań nad możliwością produkcji materiałów budowlanych do prowadzenia remontów, np.: tynków, lastryka, płytek ceramicznych barwionych w masie oraz produkcji drobnych elementów wyposażenia wewnątrz.

covered with ceramic tile. The housing estates for workers in Stalowa Wola Steelworks featured functionality and the buildings were raised mainly from brick with façades with mineral plasters. In the parts of basement and ground floor it was common to use clinker cladding. The same materials were applied to emphasize the forms of façades of management buildings and other more prominent public buildings, such as schools, hospitals, district governor's seat and other. Window woodwork of typical horizontal divisions of windows and doors completed the whole. Finish off in the interiors of staircases and flats was completed with the universally applied terrazzo and ceramic tiles. These very elements of the finish of buildings decided about their high standard and created the image of Polish architecture between the wars.

Industrial and municipal investments coming from that period in the majority of cases fulfilled their original functions for long years. The objects situated on the outskirts the city in the 20-ties, today are being gradually absorbed in the downtown zone. Economic, political and legal conditions extort the necessity to change their function, and in the case of lack of the investment interest in the object, lead to its neglect and in the consequence to the technical death. Lack of sensitiveness of the society to the form of architectural details, the quality of plasters, terrazzo, or the originality of balustrades, door handles, etc. causes decay of the majority of finishing elements bringing in irreversible changes of the expression of this architecture.

It seems, that in order to prevent the activities of private and public investors, which are not controlled to the end, the following actions should be taken urgently:

- educational-training, within the scope of making aware about the value of this architecture for the future generations, particularly in its quality in the sense of used natural materials,
- undertaking by the conservator's services suitable steps in order to provide effective protection the architectural legacy of the interwar period,
- carry out and popularize the investigations on the possibility of production of building materials suitable for making repairs, e.g.: plasters, terrazzo, ceramic tiles dyed in mass and production of small elements of the interior equipment.



## Literatura • References

- [1] Dziennik Nr 21 Rozkazów Ministerstwa Spraw Wojskowych z dnia 5 czerwca 1923 roku
- [2] Juchnowicz B., *Szkice o państwowej Fabryce Amunicji w Skarżysku-Kamiennej w latach 1922-1939*, maszynopis
- [3] Kaczura W., *Struktura przestrzenna miasta Chełma*, Chełm 1997
- [4] Koziejowski W., „Dyrekcja”, *Studium historyczno-urbanistyczne*, Tom I., Chełm 1988
- [5] Kuncewicz A., Paprocki A., *Opis techniczny do szkicu rozbudowy miasta Chełma*, 1926

---

\* Politechnika Wroclawska, Wrocław, Polska

\* Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

<sup>1</sup> Kolonia Urzędnicza (1924-1925) składa się z 10 domów murowanych, 2-piętrowych w sumie 24 mieszkania 4-izbowe, 5-izbowych – 18, 6-izbowych 8, i jedno 9-izbowe.

<sup>2</sup> 420 jednopokojowych, 230 dwupokojowych, 163 trzypokojowych, 157 cztero i sześciopokojowych.

<sup>1</sup> The Clerical colony (1924-1925) consists of 10 2-storey brick houses, in total 24 4-chamber flats, 18 5-chamber, 8 6-chamber, and one 9-chamber.

<sup>2</sup> 420 one-room, 230 two-room, 163 three-room, 157 four-room and six-room.

## Streszczenie

W ostatnich latach obserwujemy duże zainteresowanie architekturą okresu międzywojennego w Polsce. Jednakże daje się zaobserwować powszechne niszczenie charakterystycznych, identyfikujących ją elementów wystroju i kształtu architektonicznego.

Spowodowane jest to głównie brakiem wiedzy na temat jej kulturowego znaczenia w kształtowaniu wizerunku miast okresu międzywojennego oraz brakiem skutecznych form ochrony konserwatorskiej architektury tego okresu. Praca omawia stan zachowania technicznego architektury modernistycznej z okresu międzywojennego w Polsce i przedstawia stosowane metody konserwacji obiektów z tego okresu, ze szczególnym uwzględnieniem sposobów właściwej konserwacji. Na przykładzie wybranych obiektów architektury z Centralnego Okręgu Przemysłowego przedstawiono aktualny stan konserwacji architektury modernistycznej w Polsce.

## Abstract

In last years in Poland we may observe a great interest in the architecture of the inter-war era. However, there may be noticed a widespread destruction of typical architectural elements and details that identify this architecture. It is mostly caused by lack of knowledge of its cultural importance in shaping the vision of the cities of the interwar era, as well as by lack of successful forms of conservator's protection of modernistic architecture. The article presents the actual technical state of preservation of modernist interwar architecture in Poland and shows methods of conservation of such objects, in particular the right methods. The examples of architecture built in COP (Central Industrial District) demonstrate the present state of modernistic architecture conservation in Poland.

Jerzy Jasieńko\*, Andrzej Kadłuczka\*\*  
Jolanta Sroczyńska\*\*, Katarzyna Kadłuczka\*\*, Tomasz Nowak\*

## Kolegiata Św. Trójcy w Ołyce na Wołyniu (Ukraina) – rejestracja stanu zachowania, problemy konserwatorskie

### The Holy Trinity Collegiate Church in Ołyka in Volhynia (Ukraine) – records of preserved condition and maintenance problems

Kolegiata p.w. Świętej Trójcy w Ołyce, na Wołyniu jest jednym z bardziej znanych i cenionych zabytków sztuki sakralnej okresu wczesnego baroku na ziemiach dawnej Rzeczypospolitej Obojga Narodów [1]. Kościół ten należy do znaczących obiektów tworzących polskie dziedzictwo kulturowe, dziś znajdujących się poza granicami kraju. Jego stan techniczny wymaga pilnej interwencji konserwatorskiej. Podstawą wszelkich działań jest inwentaryzacja obiektu wraz z jego stałym wystrojem, kwerendą archiwalną i badaniami konserwatorskimi, które pozwoliłyby na rzetelne opisanie stanu zachowania obiektu, zebranie porzucanych w różnych publikacjach informacji, tworzących historię obiektu, a wreszcie próbę rekonstrukcji zniszczonych elementów, w oparciu o zebrany materiał archiwalny. Opracowane ekspertyzy konserwatorskie i budowlane pozwolą na określenie skali działań konserwatorskich, potrzebnych do przeprowadzenia wszystkich prac, mających na celu przywrócenie świetności kolegiacie.

W czerwcu 2007 roku grupa studentów i pracowników naukowych Politechniki Krakowskiej i Politechniki Wrocławskiej, pod kierownictwem profesorów: Jerzego Jasieńki i Andrzeja Kadłuczki, rozpoczęła dwuletni program, współfinansowany przez Ministerstwo Kultury i Ochrony Dziedzictwa Kulturowego. Ma on na celu wykonanie kompleksowej

The Holy Trinity Church in Ołyka, Volhynia, is one of the most famous and valuable pieces of sacral architecture dating back to the early Baroque and located in the area of the former Polish-Lithuanian Commonwealth. The church belongs to significant objects of the Polish heritage, which is now beyond the borders of Poland. The technical condition of the church requires urgent maintenance works. All the activities are based upon a survey of the entire facility, including all decorations, search query and maintenance research, which would make it possible to provide a reliable description of the preserved condition of the building, collection of information scattered through various sources and creating the history of the building and would also make it possible to attempt to reconstruct the damaged elements on the basis of the archival material collected. The prepared expert art restorer's opinions and construction expertises will make it possible to assess the scope maintenance works necessary for performance of all works aimed at restoration of magnificence of the collegiate church.

In June 2007 a group of students and academics from Technical University of Kraków and Technical University of Wrocław as supervised by Prof. Jerzy Jasieńko and Prof. Andrzej Kadłuczka started their two-year program co-financed by the Ministry of Culture and Cultural Heritage Protection. The

inwentaryzacji architektoniczno-konstrukcyjnej obiektu, wraz ze stałym wystrojem wnętrza, kwerendę archiwalną, opis stanu zachowania poszczególnych elementów wystroju i analizę statyczną całego budynku.

Druga część projektu zakładała opracowanie koncepcji architektonicznej restauracji obiektu, a analiza archiwalnych fotografii i opisów, miała doprowadzić do próby, teoretycznej rekonstrukcji zniszczonych elementów wystroju. Podjęto się też próby opracowania ekspertyzy konstrukcyjnej obiektu, wraz z wnioskami dotyczącymi niezbędnych zabezpieczeń i nowej koncepcji użytkowania obiektu.



Rys. 1. Obrys fasady w proporcjach  
*Fig. 1. Handdrawings of façade in proportion*

Kolegiata w Ołyce nie ma jak dotychczas żadnego opracowania, które zbierałoby wiedzę o obiekcie w świetle nowych badań. Ostatnia monografia, związana z opisem całego miasta a w tym i kolegiaty, napisana przez St. Tomkowicza [2], pochodzi z 1922 roku. Artykuł M. Brykowskiej [3] koncentruje się bardziej na zebranych faktach historycznych, nie podając stanu zachowania obiektu.

Prace inwentaryzacyjne przeprowadzone przez zespół, polegały na klasycznym rysunku w proporcjach wyznaczonego elementu, który stanowił podstawę dla nanoszenia zdejmowanych wymiarów. Odreśny rysunek detalu jest szczególnie ważny przy tak rozrzeźbionych elementach, o zatartych

programu ma na celu dostarczenie kompletnego architektonicznego i konstrukcyjnego zwiastowania obiektu, w tym stałego wystroju wnętrza, kwerendę archiwalną, opis stanu zachowania poszczególnych elementów wystroju i analizę statyczną całego budynku.

Druga część projektu zakładała opracowanie koncepcji architektonicznej restauracji obiektu, a analiza archiwalnych fotografii i opisów, miała doprowadzić do próby, teoretycznej rekonstrukcji zniszczonych elementów wystroju. Podjęto się też próby opracowania ekspertyzy konstrukcyjnej obiektu, wraz z wnioskami dotyczącymi niezbędnych zabezpieczeń i nowej koncepcji użytkowania obiektu.



Rys. 2. Prace inwentaryzacyjne we wnętrzu  
*Fig. 2. Inventarisation works of the interior*

So far the Collegiate Church in Ołyka has not been described in any publication, which would contain knowledge about the building in the light of the recent research. The recent monograph presenting a description of the entire city, including the collegiate church, was written by St. Tomkowicz [2] in 1922. M. Brykowska [3] focuses more upon the collected historical facts and does not provide any information about the preserved condition of the building.

The survey works conducted by our group involved preparation of a classical drawing in the proportion of the designated element, which constituted a basis for application of measurements taken. A hand-made drawing of the detail is particularly important in the case of sculptured elements with worn

lub wręcz całkowicie zniszczonych krawędziach. W tym przypadku inwentaryzujący szuka trudno do odczytania profili w elementach sąsiednich, np. w przeciwnym narożu mierzonej ramy, lub w innym kapitulu sąsiedniej kolumny, z tego samego ołtarza, lepiej zachowanym. Metoda ta jest niewątpliwie bardziej żmudna, ale daje mniej przekłamań. Fotografia detalu jest tylko elementem wspomagającym. Na tak ustawionej bazie nanosi się wymiary, zdejmowane „w ciągu”, aby możliwie w pełni zredukować błędy pomiaru. Zdejmując płaskorzeźby, stosowano ramy z siatkami mierzniczymi w rozstawie co 10 na 10 cm. Tablice z napisami inwentaryzowano stosując tzw. *przecierkę*. Generalne wymiary, zwłaszcza w miejscach trudnodostępnych, zdejmowano przy użyciu mierników laserowych.

Kwerenda archiwalna doprowadziła do zebrania kilkunastu pozycji, zawierających opisy obiektu - od najwcześniejszego, pochodzącego ze źródeł pamiątkarskich takich jak [4] (pisanego na bieżąco przez Stanisława Radziwiłła, fundatora obiektu), czy obszernego dzieła Sz. Starowolskiego [5] z 1655 r., po opisy sprzed II wojny światowej. Nieocenionym źródłem wiedzy okazały się odnalezione archiwalne zdjęcia i pocztówki, które pokazują stan zachowania świątyni sprzed powojennej dewastacji.

Prezentację wyników prac w postaci rysunku inwentaryzacyjnego, opisu stanu zachowania i wniosków konserwatorskich ograniczono do jednego wybranego elementu – elewacji frontowej kościoła. Przyjęta metoda, zakres i sposób opracowania jest taki sam dla każdego elementu wystroju czyli wszystkich pozostałych elewacji, a także wystroju wnętrza – dla ołtarzy, epitafiów, nagrobków, figury apostołów, chóru czy stalli.

Fasada, z frontonem zamkniętym tympanonem i dwiema stosunkowo niskimi wieżami, jest bardzo typowa dla baroku. Bogato rozczłonkowany fronton ozdobiony jest zdwojonymi pilastrami zakończonymi korynckimi kapitelami, wykonanymi z ciemnego piaskowca.

Między pilastrami ustawiono w konchowych wnękach posągi patronów fundatora. Każda z wnęk ma profilowane obramienie z przewiązaniem szerszym pasem, przechodzącym przez całe pole wnęki. Posągi, ustawione w kontrapoście są naturalnej wielkości. Rzeźby są malowane a kolory są czytelne także dzisiaj. Wymagają jednak konserwacji i uzupełnień. Po lewej stronie umieszczono postać św. Wojciecha, pod nim św. Piotra. Prawą, górną wnękę zajmuje posąg św. Stanisława a pod nim umieszczono rzeźbę św. Pawła. Wszystkie wyrzeźbione zostały przez Melchiora Erlenberga. Wszyst-

or even entirely destroyed edges. In such a case, the surveyor looks for barely legible profiles in adjacent elements, for example in the opposite corner of the measured frame or in other and better preserved cap of the adjacent column and in the same altar. This method may undoubtedly require much work, but it causes less distortions. A photograph of the detail is only an ancillary element. Such a base is used for application of measurements that are made “continuously” in order to reduce measurement errors to the greatest reasonable extent. Bas-reliefs were measured with the use of frames with measurement grids with spacing of every 10 per 10 cm. Boards with inscriptions were surveyed with the use of so-called *rubbing method*. General measurements, especially those in barely accessible places, were made with the use of laser measurement devices.

The search query resulted in collection of several works containing descriptions of the building ranging from the oldest description found in [4] as written by Stanisław Radziwiłł, a founder of the building, on a day-to-day basis and a comprehensive work [5] by Sz. Starowolski in 1655 to the description dating back to the period before WWII. The most valuable sources of knowledge included archival photographs and postcards, which show the preserved condition of the church in the period before it was devastated in WWII.

We decided to limit the results including the survey drawing, the description of the preserved condition and art restorers' conclusions, to one selected element of the front façade of the church. The assumed method, the scope and manner of development is the same as for each element of the decoration, i.e. all other facades, as well as the interior decoration, including altars, epitaphs, gravestones, figures of apostles, organ gallery or stalls.

The façade with its frontage enclosed by tympanum and two relatively low towers is very typical of the Baroque period. The richly dismembered frontage is decorated with double pilasters ended with Corinthian caps made of dark sandstone.

Between pilasters statues of the founder's patrons were placed in conch-shaped recesses. Each of the recesses has profiled frame tied with a wider belt across the entire recess field. The statues, as captured in contrapposto, are of natural sizes. Sculptures are painted and the colours are still visible. However, they require maintenance and supplementation works. On the left side there is a statue of St. Adalbert with the statue of St. Peter below. The right upper recess is occupied by the statue of St. Stanislaw with the statue of St. Paul below. All sculptures were made by Melchior Erlenberg. Fortunately, all the sculptures have been preserved, but have some defects. The stat-

kie rzeźby szczęśliwie zostały zachowane, choć mają pewne braki. Postać św. Wojciech jest w dość dobrym stanie, choć uzupełnień wymagają same dłonie oraz lewa stopa. Rzeźba św. Piotra nie ma rąk od nadgarstka i przodu stóp. Posąg św. Stanisława, umieszczony w górnej wnęce po prawej stronie nie ma pastorału ani lewej dłoni. U stóp figury znajduje się mała figura donatora- również bez obu dłoni. W posagu św. Piotra brak lewej dłoni i przedniego fragmentu lewej stopy. Uzupełnienia częściowego wymagają też palce prawej dłoni, trzymające książkę. Pod wnękami w płytkich wnękach z płasko profilowaną ramą umieszczono tablice z czarnego marmuru, na których wykuto napisy łacińskie określające świętych, jednak bez wymieniania bezpośrednio ich imion. Tak więc pod postacią św. Wojciecha jest płyta z napisem *SARMATICAЕ GENTIS INSTRUTOR*. Marmur płyty bardzo zmatowiały z uszkodzeniami w części dolnej. Napis wykuto dużymi rzymskimi kapitalikami. Rozmieszczony został równomiernie na całej tablicy w 2 rzędach, jednak bez względu na podział liter w wyrazie. W pierwszym rzędzie mamy więc litery: *SARMATICAЕGEN*, a w drugim: *TISINSTRUCTOR*. Pod wnęką z posągiem św. Piotra powinna być płyta z tego samego czarnego marmuru z napisem: „Iani tor Caeli” wskazujący na tego właśnie świętego. Tablica ta była jeszcze przed wojną, gdyż znajdujemy ją na przedwojennych fotografiach i w opisie Tomkowicza. Niestety przez jej stosunkowo niskie umiejscowienie na fasadzie, stała się stosunkowo łatwym łupem złodziei, prawdopodobnie już po II wojnie światowej. Podobnie znikła tablica spod najniższej wnęki po prawej stronie. Wg Tomkowicza był tam napis określający św. Pawła: *MVNDI MAGISTER*. Zachowała się natomiast wyższa tablica, umieszczona pod wnęką ze św. Stanisławem. Tym razem napis *TRIENNALIS MORTVI IN POLONIA SVSCITATOR* rozmieszczono w 3 rzędach, rozkładając podobnie jak w tablicy przeciwległej litery tak by w całości wypełniły pole, bez odstępów i bez względu na układ w wyrazie. tak więc pierwszy rząd stanowi napis: *TRIENNALISMORTVI*, kolejny: *INPOLONIASVSCI* a w ostatnim rzędzie pozostał wyśrodkowany napis: *TATOR* Mimo używania kapitalików, napisy wyróżniają początek wyrazu przez nieznaczne powiększenie początkowej litery wyrazu.

W części centralnej parteru umieszczono portal wejściowy z czarnego marmuru. Główne wejście do kościoła podniesione jest o 5 stopni od poziomu terenu. Otwór wejściowy zamknięty jest spłaszczonym pół-łukiem o płaskim profilowaniu w formie dwóch listew i płaszczyzny wklęsłej mie-

ue of St. Adalbert is in good condition, although the hands and the left foot need to be supplemented. The statue of St. Peter is devoid of hands from the wrist and the front part of the feet. The statue of St. Stanislaw placed in the upper recess on the right side does not have a crosier and left hand. At the bottom of the statue there is a little statue of the founder, which is also devoid of both hands. The fingers of the right hand holding a book also need to be supplemented. Under the recesses and in shallow recesses with flat profiled frame, black marble boards were placed, on which they carved Latin inscriptions of names of the saints, however, no names were mentioned directly. Thus, under the statue of St. Adalbert there is a board with the inscription saying *SARMATICAЕ GENTIS INSTRUTOR*. The board marble is faded and its upper part is damaged. The inscription was carved in Roman small caps. The inscription was distributed evenly across the entire board in 2 rows, however, regardless of the division of letters in a word. Thus, there are the following letters in the first row: *SARMATICAЕGEN*, and: *TISINSTRUCTOR* in the other row. Under the recess with the statue of St. Peter there should be a board made of the same marble with the inscription of “Iani tor Caeli” indicating to the patron saint. The board used to be there even before WWII, as we can find it in the pre-war photographs and the description delivered by Tomkowicz. Unfortunately, due to the fact that it was placed low on the façade, it could have been easily stolen by thieves probably after WWII. The board located under the lowest recess on the right side was probably stolen as well. According to Tomkowicz, the board contained the inscription of *MVNDI MAGISTER*, which identified St. Paul. The board located higher and under the recess with the statue of St. Stanislaw has been preserved. In this case, the inscription of *TRIENNALIS MORTVI IN POLONIA SVSCITATOR* was distributed in 3 rows, similarly to the opposite table, with letters arranged in such a manner that they fill the entire field without any spaces and regardless of arrangement of the letters in a word. Thus, the first row contains the following inscription: *TRIENNALISMORTVI*, the other: *INPOLONIASVSCI* and the last one has the following inscription in the middle: *TATOR*. In spite of the use of small caps, the words are distinguished by slightly enlarged first letters.

In the central part of the ground floor, an entrance portal made of black marble was placed. The main entrance in the church is raised by 5 degrees in relation to the ground level. The entrance opening is enclosed with a flattened semi-arch with low profiles in the form of two strips with concave place between the strips. The arch part contains 5 keystones locking arch parts together and crossing to the side of the entrance and through the entire width of the entrance.

dzy nimi. W partii łuku znajduje się 5 zworników, będących przewiązaniem całości, przechodzącymi na bok wejścia, na całą grubość wejścia. Po bokach obramienia stoją czarne, marmurowe proste kolumny, o głowicach doryckich, stojących na bazach, składających się z 3 torusów, przedzielonych plintami. Bazy i głowice kolumn są z białego marmuru. Bazy kolumn stoją na płasko profilowanych stylobatach, które z kolei stoją na coko-

On the sides of the frame there are black straight marble columns with Doric column caps standing on the bases composed of 3 toruses divided by plinths. The bases and heads of the columns are made of white marble. The column bases stand on flat profiled stylobates, which, in turn, stand on the socle. The socles of the portal are much lower than the socle of the entire church. Stylobates and socles were made of brick clad with black marble panels. Both columns



Rys. 3. Górny ryzalit fasady – fragment (fot. M. Biernat)  
Fig. 3. The part of the upper part of the façade  
(photo by M. Biernat)



Rys. 4. Posąg św. Stanisława we wnęce z figurką donatora u stóp – fragment fasady (fot. M. Biernat)  
Fig. 4. Statue of St. Stanislaus in the niche with the donor figure beneath – part of façade (photo by M. Biernat)

le. Cokoły portalu są dużo niższe niż cokół całego kościoła. Stylobaty i cokoły zrobiono z cegły okładanej czarnymi, marmurowymi płycinami. Obie kolumny znacznie uszkodzone, zwłaszcza w dolnej partii kolumn i baz. Uszkodzenia mechaniczne są najprawdopodobniej dziełem tych samych barbarzyńców, którzy już po wojnie stopniowo dewastowali kościół. Jednak destrukcja zaczęła się jeszcze przed wojną. Na zdjęciu z 1929 r, zrobionym podczas wizyty prezydenta Ignacego Mościckiego na Wołyniu w lipcu, widać liczne spękania na prawym członie kolumny a w jej dolnej partii nawet dość głębokie ubytki. Nad profilowanym łukiem znajduje się belkowanie. Pod belkowaniem, w narożach wypełniających łuk wejścia przyczępione były małe uskrzydłone główki aniołków z białego marmuru. Dziś oczywiście na próżno tych

are considerably damaged, especially in the bottom part of the columns and bases. The mechanical damage was probably caused by the same barbarian, who gradually devastated the church after WWII. In the picture taken in July 1929 during the visit of Ignacy Mościcki, the President, in Volhynia, numerous cracks are visible on the right unit of the columns and even quite deep defects in the bottom part. Above the profiled arch there is entablature. Under the entablature in the corners filling the entrance arch, small winged heads of little white marble angels were attached. Obviously, there are no traces of such decorations today. Above the entablature there is a considerably protruding horizontal cornice, above which, within the column belt, there are protruding arched side drip edges. The drip edges are broken in 2 places as well as graded and broken in the Baroque manner. In the

ozdób szukać. Nad belkowaniem jest poziomy bardzo wydatny gzyms nad którym, w pasie kolumn, są wysunięte, łukowate obdasznice boczne. Obdasznice te są złamane w 2 miejscach, stopniowane i gierowane. W centrum umieszczono kwadratową płytę, obramowaną z 3 stron profilowaną ramą z tzw. uszami w narożach. Na osi ramy mała, okrągła płytka z wypukłymi literami IHS. W uszach górnych na filunku okrągłe płaskie guzy. Płyta z ramą popękana. W polu płyty, wg opisu Tomkiewicza był płaskorzeźbiony mały kartusz z białego marmuru w otoczeniu lambrekinów, zwieńczony 3 płaskorzeźbionymi hełmami. W kartuszu orzeł z tarczą czwór-dzielną z herbami: Trąby, Korczaka, Nałęcz i nieco zmienionego Odrowąża (podobnego do Ogończyka). Nad hełmami: pół orła z Trąbami herbowymi na piersiach. Płyta zwieńczona jest frontonem o wydatnym gzymsie, z licznymi uszkodzeniami. Na szczycie frontonu mały akroterion, wcinający się w gzyms parapetowy okna, doświetlającego chór muzyczny, zakończone łukiem z profilowaną ramą z przewiązaniem u nasady łuku. Nad oknem, na poziomie kapiteli znajduje się kolejna tablica z czarnego marmuru, obramowana prostym profilem. Zachowana jest

centre a square board was placed with its 3 sides enclosed with a profiled frame with so-called *ears* in the corners. In the frame axis there is a round plate with convex "IHS" inscription. In the upper ears of the panel there are round flat bumps. The framed plate is cracked. According to the description delivered by Tomkiewicz, in the plate field there used to be a bas-relief small white marble cartouche surrounded by pelmets and crowned with 3 bas-relief helmets. The cartouche contains an eagle with a four-fold shield with the following coats of arms: Trąba, Korczak, Nałęcz and slightly changed Odrowąża coat of arms (resembling Ogończyk coat of arms). Above the helmets there is a half of the eagle with Trąba coat of arms on its breast. The plate is crowned with a fronton with a protruding cornice and numerous defects. At the top of the fronton there is a little acroterion indenting in the parapet of the window providing additional light to the organ gallery and ended with an arch with profiled frame tied at the base of the arch. Above the window and at the level of caps there is another black marble table framed with a straight profile. It has been entirely preserved, although it requires complete cleaning due to the fact that the inscription appearing in the plate is barely legible at the moment.

*D.O.M.*

*Templum hoc in honorem SS. et individuae Trinitatis dedicatum consecratumque est ab III et RR.*

*Dnō D. Andrea Gembicki Epō Luceor.*

*Multis praelatis magnatibusque praesentibus Anno Dñi MDCXXX Augusti*

*XXVI cuius dedicationis memoria proxy*

*ma Dñica post festum S. Barthol. apli aeuiternum celebrabitur.*

w całości, jednak wymaga gruntownego odczyszczenia, gdyż znajdujący się na niej napis jest obecnie słabo czytelny. Wg Tomkiewicza, napis wyrity kapitalikami głosił:

Między pilastrami, skrajnej pary znajdują się 3 małe, prostokątne otwory, doświetlające klatki schodowe prowadzące na wieże.

W pasie kapiteli lizen, w polach nad wnękami z posagami znajdują się bogato zdobione rozety kamienne również z tego samego materiału co głowice.

Nad kapitalami jest architrav składający się z trzech *fasciae*, z których najwyższy jest najbardziej wysunięty. Nad architravem jest szeroki prosty fryz, na którym widniał napis: *DEVS DE TVIS DONIS TIBI OFFERIMUS*, rozciągnięty na całej szerokości fasady. Kapitaliki napisu mają ok 75 cm i są wykonane z blachy miedzianej i są przybite bezpośrednio do tynku. W niektórych literach jest brak fragmentów, np. w słowie *TIBI*, litera *T*

According to Tomkiewicz, the inscription made in small caps said:

Between the pilasters of the extreme pair there are 3 rectangular openings, which provide additional light into the staircases leading to the towers.

In the belt of the cap lisenés and in the fields over the recesses with statues there are richly decorated stone rosettes made of the same material as the heads.

Over the caps there is an architrave composed of three *fasciae*, the highest of which is the most protruding. Over the architrave there is a wide straight frieze, on which there used to be the following inscription: *DEVS DE TVIS DONIS TIBI OFFERIMUS* spearing over the entire width of the façade. The small caps in the inscription are approximately 75 cm high and are made of copper sheet and nailed directly to the plaster. There are fragments missing in some letters, e.g. in the word *TIBI*, the letter *T* does not have a roof and in the word *OFFERIMVS* the letters *O* and *R* are incomplete.

nie ma daszka, a w słowie *OFFERIMVS*, litery *O* i *R* są niepełne.

Nad fryzmem jest szeroki gzyms główny, złamany nad lizenami środkowymi, tworzący płaski ryzalit. Nad ryzalitem zakomponowano łuk, którego obramienie górne stworzone jest przez rozdzielony górną część gzymsu. Pole środkowe łuku zajmuje prostokątne pole z prostym obramieniem, zakończone delikatnym łukiem. Całe pole wypełniono kamienną rzeźbą, która przedstawia pełną rzeźbę półfigury Boga Ojca z rozłożonymi rekami, wynurzająca się z półwypukłych skrzydeł, udających chmury, wśród których umieszczono główki anielskie. Rzeźba jest naturalnych rozmiarów, dość znacznie wysunięta przed lico. Postać jest malowana podobnie jak główki aniołków. Po obu stronach łuku, nad zdwojonymi skrajnymi lizenami są płaskie pola, na których zamontowano okrągłe tarcze zegarów wieżowych. Tarcze składają się z kilku desek złączonych na styk. Lewy zegar zachował jeszcze nabite rzymskie cyfry prawdopodobnie z miedzi, podzielone gwiazdkami, obwiedzione z obu stron wąskim pasem blaszanego pierścienia. Pole środkowe jest puste, ale widać jeszcze ślady blachy w postaci słońca z promieniami. Zegar prawy nie ma już na cyferblacie nic. Pola nad wnękami posagów, między płyciną z zegarem a łukiem są obecnie puste- jednak jak wskazują przedwojenne zdjęcia, musiały być tam przyczepione ozdoby, gdyż wyraźnie widać ciemny ślad po jakiejś płycie w formie spłaszczonego czworoboku, ułożonego dłuższą przekątną, równoległe do gzymsu. ozdoby te były zamieszczone symetrycznie, po obu stronach łuku. całość tego poziomu fasady zwieńcza wydatny gzyms koronujący.

Nad gzymsem wieńczącym, w części centralnego ryzalitu, znajduje się attyka, zwieńczona drugim małym gzymsem. W centralnej części II piętra fasady umieszczono duże kwadratowe pole, wypełnione stiukową płaskorzeźbą postaci Matki Boskiej, stojącej na półksiężycu z 2 aniołami wzniesionymi nad postacią i podtrzymującymi nad jej głową koronę. Tło stanowią liczne skrzydła udające obłoki, w partii środkowej- uskrzydłone twarze cherubinów a u stóp całe postacie kłęczących aniołów. Płaskorzeźba ujęta jest w dość mocną, rozglifioną ramę. Nie widać śladów farby. Całość płaskorzeźby jest dość dobrze zachowana, poza drobnym fragmentem w lewym górnym rogu. Ramę flankują zdwojone lizeny, mniejsze niż w części dolnej fasady, zakończone jońskimi kapitelami z kamiennymi girlandami pod wolutami. Całość frontonu wieńczy wspomniany już gzyms zakończonym trójkątnym szczytem, obramionym gzymsem, ze stiukowym płaskorzeźbionym hierogramem, otoczonym promieniami słońca. Obdasznicę trójkąta

Over the frieze there is a wide main cornice broken over central lisenens, creating a flat projection. Over the projection an arch was made with its upper frame created by the divided upper part of the cornice. The central field of the arch is occupied by a rectangular field with a straight frame ended with a delicate arch. The entire field was filled with a stone sculpture of a half-figure of God the Father with its hands spread apart and emerging from semi-convex twirl imitating clouds, among which little angels' heads were placed. The sculpture is of a natural size and protrudes over the face quite considerably. The figure is probably painted, similarly to the little angels' heads. On both sides of the arch and over the double extreme lisenens there are flat fields, in which round dials of tower clocks were fixed. The dials are composed of several contact-connected boards. The left clock still has Roman ciphers, probably made of copper, which are divided by stars and surrounded with a narrow sheet ring belt on both sides. The central field is empty, however, there are still traces of sheet in the form of a sun with rays. The right clock does not contain any elements on its dial. The fields between the recesses for statues between the panel and the clock are now empty. However, as photographs taken before WWII show, there used to be decorations attached there, as there is a dark discernible trace, which was probably left by a board in the form of a flattened quadrilateral placed with its longer diagonal parallel to the cornice. The decorations were placed symmetrically on both sides of the arch. The entire façade level is crowned with a protruding crowning cornice.

Above the crowning cornice and in the part of the central panel there is an attic crowned with the other little cornice. In the central part of the second floor of the façade they placed a large square field filled with a stucco sculpture of Mother of God standing on a semi-moon with 2 angels raised above the figure supporting a crown above the head of the figure. The background includes numerous twirls imitating clouds, in the central part there are winged faces of cherubs and at the bottom there are figures of kneeling angels. The bas-relief is enclosed with quite a strong frame with bevelled edges. There are no traces of paint. The entire bas-relief has been preserved quite well apart from a small fragment in its upper corner. The frame is flanked by double lisenens, which are smaller than in the bottom part of the façade and are ended with Ionian caps with stone garlands under the volutes. The entire fronton is crowned with the above-mentioned cornice ended with a triangular gable framed with cornice with stucco bas-relief hierogram surrounded by sunrays. Drip edges of the triangle were



obrobione blachą. Na bokach umocowano 2 półleżące postacie aniołów.

Fronton ma 2 spływy, które niegdyś ozdobione były ornamentem wstęgowym, zachowanym fragmentarycznie do dziś. Spływy dochodzą od góry do wieżyczek glorietek, umieszczonych nad parami skrajnych lizen. Wieżyczki mają po 4 lekkie filary narożne, na które nałożono pilastry zakończone małym gzymsem, tworzącym rodzaj architrawy. Wieżyczki są zdecydowanie niższe niż fronton centralny. Nakryte były barokowymi hełmami z blachy.

Całość fasady jest otynkowana. Nie wiadomo nic na temat tego czy była ona monochromatyczna, grając tylko kolorem czarnych i białych marmurów, z których wykonano ozdobne detale, czy dodatkowo kolorowana, jak to widać na fragmentach obecnie. Opis kościoła Ignacego Kraszewskiego zawarty w [6] z 1840 r. przekazuje wielkie oburzenie autora – „...i posągi podobne, które wandalska ręka świeżych restauratorów kolorowo pomalowała”. Tak więc jest sugestia, że kolory są następstwem prac restauracyjnych obiektu, które podjęto przed 1840 rokiem.



Rys. 5. Fasada kolegiaty (uzupełniane elementy zaznaczono innym kolorem)

Fig. 5. The façade of Collegiate (the supplemented elements are marked with other colour)

Kolegiata nie ma izolacji poziomej, odcinającej ściany od fundamentów. Ołyka ma bardzo wysoki poziom wód gruntowych, zarówno zamek jak i miasto otoczone są licznymi rozlewiskami. Wilgoć zawarta w ziemi podciągana jest przez mury a zawarte w nich chlorki, azotany i siarczany wiążą się z parą wodną w powietrzu i tym samym prowadzą do pojawiania się plam rozlewających się w postaci

made of sheet. On the sides they fixed 2 half-lying figures of angels.

The fronton has 2 slopes, which used to be decorated with a ribbon ornament, the fragments of which have been preserved. The slopes lead up to gloriettes placed above the pairs of extreme lisenés. The gloriettes have their 4 light corner pillars, upon which they put pilasters ended with a little cornice creating a kind of an architrave. The gloriettes are located considerably lower than the central fronton. They used to be covered with Baroque sheet helmets.

The entire façade is plastered. We do not know whether it was monochromatic and used only colours of black and white marble, of which decorative details were made, or whether it was additionally coloured as seen in the present fragments. In his description of the church [6] written in 1840 Ignacy Kraszewski shows his great indignation saying: „...and similar statues, which were coloured by the new barbarian art restorers”. Thus, the author suggests that the colours appeared as a result of the maintenance works conducted in the facility before 1840.



Rys. 6. Fasada kolegiaty (fot. M. Biernat)

Fig. 6. The façade of Collegiate (photo by M. Biernat)

The collegiate church does not have horizontal insulation, which would separate the wall from foundations. In Ołyka there is a high level of ground waters and both the castle and the city are surrounded by numerous pools. The dampness contained in the earth is absorbed by walls and its components such as chlorides, nitrates and sulphates merge with water steam in the air and create spills in the form

wykwitów soli higroskopijnych. Sole w materiałach porowatych przemieszczają się pod wpływem wody. Ich krystalizacja zmierza do rozsadzenia struktury, rozwarstwienia i powstawania wżerów, które widać wyraźnie w dolnych partiach elewacji. Uszkodzone fragmenty gzymsów czy obramień spowodowane są też przez wieloletnie ubytki ofasowania na obdasznicach czy gzymsach koronujących. Uporczywie spływające wody deszczowe spowodowały praktycznie wypłukanie marmurowych profili detalu. Każde spękanie jest też potencjalnie niebezpieczne przez możliwość osadzenia się tam nasion roślin, przenoszonych przez wiatr. W przypadku ukorzenienia takiej rośliny rosnące korzenie rozsadzają kamień. Również okres zimy jest niebezpieczny dla uszkodzonego detalu. Formułujący się tam lód, z nagromadzonej w szczelinie wody, rozsada dalej kamień. Wreszcie trzeba wziąć pod uwagę dużą ilość elementów detalu wystroju, wyraźnie wysuniętych poza lico co jest doskonałym miejscem dla usadzenia się tam ptactwa. Bardzo żrące odchody ptasie są niebezpieczne dla struktury kamienia. Drewniane tarcze cyferblatów narażone są na utratę własności mechanicznych, pod wpływem działania niepożądanych czynników zewnętrznych. Osłabienie jego struktury może doprowadzić do utraty adhezji kolejnych warstw, znajdujących się na podłożu. Wahanie temperatury, nagłe zmiany i skoki wilgotnościowe są momentalnie rejestrowane przez tak czułą i niestabilną tkankę jaką jest celuloza. Na skutek powyższych przyczyn, traci ona spójność i w efekcie rozpoczyna się proces próchnienia drewna. Dodatkowo przy sprzyjających warunkach środowiskowych, drewno zostało zaatakowane przez owadzie szkodniki z gatunku: *kołatek domowy* (*anobium punctatum*), co wynika ze wstępnej obserwacji. Chodniki drążone są przede wszystkim w obszarze drewna wczesnego, luźno wypełnione mączką i jajczkowanymi ekskrementami. Powstają okrągłe otwory wylotowe, o średnicy 2-3 mm. *Kołatek* (*anobidae*), atakuje zarówno drewno drzew iglastych jak i liściastych.

Jakiegokolwiek działania konserwatorskie i renowacyjne, można rozpocząć dopiero po przeprowadzeniu dokładnych badań specjalistycznych, które pozwolą na podjęcie właściwych decyzji w trosce o ochronę zabytku. Dokonanie wyboru środków i ustalenie kolejności ich stosowania, musi wynikać ze znajomości obiektu pod względem technologicznym i głębokiej świadomości zagrożeń, jakie niesie ze sobą niewłaściwe postępowanie wynikające z naszej niewiedzy. Podjęte rozwiązania mają zagwarantować nie tylko skuteczność działania, ale i jak najmniejszą ingerencję w oryginalną strukturę zabytku, przy zachowaniu ostrożności i bezpieczeństwa. Po

of absorbent salt effloresce. The salts contained in porous materials spread with the water. Salt crystallisation results in splitting and lamination of the structure and causes corrosion pits, which are easily discernible in the bottom parts of the façade. The fragments of cornices or frames were also damaged due to long-term defects in metalwork of the drip edges or crowning cornices. The notorious flow of storm water practically washed out the marble profiles of the detail. Each crack is also potentially dangerous due to the fact that it accepts plant seeds brought by wind. If a plant is rooted, the roots may split the stone. The winter period is also dangerous for the damaged detail. The ice formed from water accumulated in the crack may spilt the stone further. Finally, one has to take into account a large number of elements of detail decoration, which are considerably protruding over the face, which makes it a perfect place for birds to sit on. Everyone knows that bird excrements have caustic properties and, therefore, they are dangerous for the stone structure. The wooden dials of clocks are prone to loss of their mechanical properties due to unfavourable weather conditions. Weakening of the clock structure may lead to loss of adhesion of other layers found beneath. Temperature fluctuations, sudden changes and the increase in humidity are instantaneously recorded by such a sensitive and unstable tissue as cellulose. As a result of this, it loses its coherence and timber starts to decay. Additionally, favourable weather conditions caused the timber to be attacked by pests such as *the common furniture beetle* (*anobium punctatum*), as results from an initial observation. Corridors are bored, most of all, in the early timber area and they are filled with starch and oval excrements. The pest creates round outlet holes with the diameter of 2-3 mm. *The common furniture beetle* (*anobidae*) attacks both the timber of both coniferous and deciduous trees.

Any maintenance and renovation works may commence only upon performance of specialist research, which will make it possible to make proper decisions in order to protect the building. The selection of recourses and determination of order of their use must result from the technological knowledge of the facility and deep awareness of hazards caused by improper activities resulting from our ignorance. The applied solutions not only have to guarantee effectiveness, but also the least reasonable interference in the original structure of the building in compliance with any care and safety measures. Upon separation of the foundations of the facility from dampness sources, we may proceed to perform further protective activities (i.e. consolidation and reinforcement and even possi-

odcięciu fundamentów obiektu od źródła wilgoci i osuszeniu murów, można dopiero przejść do kolejnych zabiegów zabezpieczających (tj. konsolidacja i wzmocnienie, a nawet ewentualna wymiana elementów konstrukcyjnych). Kolejnym etapem będzie przeprowadzenie odsalania, dezynfekcji, dezynsekcji (kamień i drewno). Następnie – wykonanie zabiegu impregnacji: powierzchniowej, czy przez nawiercone otwory lub iniekcyjnej, uzupełnienie ubytków i konserwacja estetyczna. Istotne jest też jak najszybsze zamontowanie siatki, ochraniającej wystające gzymsy i rzeźby przed pactedem.

Należy pamiętać, że ochrona dziedzictwa kultury i sztuki powinna zmierzać w kierunku przywrócenia pierwotnej formy i wymaga indywidualnego spojrzenia za każdym razem.

Zestawienie rysunku inwentaryzacyjnego z próbą rekonstrukcji, pokazuje procent uzupełnień, wyrysowanych na podstawie archiwalnych fotografii. W projekcie rekonstrukcji uzupełniane elementy zaznaczono innym kolorem (rys. 5).

ble replacement of structural elements). Another stage shall involve desalination, disinfection and extermination of insects (stone and timber). Next, we shall proceed to surface wood preservation by ways of drilled holes or injection, supplementation of effects and aesthetic maintenance. It is also essential that a net protecting protruding cornices and sculptures against birds should be installed as soon as possible.

We have to bear in mind that protection of cultural and artistic heritage should aim at restoration of works of art to their previous form and it requires individual approach in each case.

The comparison between the survey drawing and the reconstruction attempt shows the percentage of supplementations as drawn on the basis of archival photographs. In the reconstruction design the supplemented elements are marked with other colour (fig. 5).

## Literatura • References

- [1] Wolczański J., *Świątynie Wołynia*, Kraków 2000.
- [2] Tomkowicz S., *Ołyka*, Kraków 1922.
- [3] Brykowska M. *Urbanistyka i architektura Ołyki w XVI-XVIIw, Studium Orbis Charisteria Theresiae Zarębska, Anno Jubilaei Oblata*, Warszawa 2003, 37-50.
- [4] Radziwiłł St., *Pamiętniki rzeczy znaczniejszych, które się działy w Polsce od śmierci Zygmunta III*, tom 2, Poznań 1839.
- [5] Starowolski Sz., *Monumenta Sarmatarum*, Kraków 1655, 522-525
- [6] Kraszewski J. I., *Wspomnienia z Wołynia, Polesia i Litwy*, Wilno 1840, 77- 84.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska  
Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland

\*\* Politechnika Krakowska, Kraków, Polska  
Cracow University of Technology, Cracow, Poland

Łukasz Drobiec\*

## Remont konserwatorski elewacji Kościoła Mariackiego w Katowicach

### Conservatory rebuilding of the elevation of the Mariacki Church in Katowice

#### 1. Wstęp

Każdy zabytkowy obiekt po pewnym czasie eksploatacji wymaga przeprowadzenia kompleksowego remontu konserwatorskiego. Obiekty usytuowane na terenie śląska oprócz zwykłych procesów starzenia materiałów obarczone są dodatkowo wpływami od eksploatacji górniczej oraz działaniem znacznie zanieczyszczonego środowiska zewnętrznego. Powoduje to niestety konieczność prowadzenia częstszych prac renowacyjnych.

W przypadku Kościoła Mariackiego w Katowicach dotychczasowe prace koncentrowały się wokół usuwania spękań na ścianach i posadzce bez wyeliminowania przyczyn ich powstawania. Pierwszych napraw dokonano w 1978 r., kiedy to spękane laskowania okien wieży wymieniono na elementy żelbetowe. W latach 1981-1982 wykonano naprawy spękanych murów wieży stosując iniekcję z kompozycji żywicznej. W 1993 r. wykonano naprawy balustrad balkonów i sterczyn wieży przy pomocy betonu i zapraw cementowych oraz uzupełniono spoinowanie zewnętrznych kamiennych elementów murowych zaprawą cementową. W 2005 roku przeprowadzono remont pomieszczenia dzwonów polegający na oczyszczeniu powierzchni ścian i wykonaniu nowych tynków, wyremontowaniu stropu i założeniu nowych żaluzji stalowych. Wnętrze kościoła remontowano wielokrotnie, natomiast elewacja poddawana była jedynie remontom doraźnym. Dopiero po blisko 140 latach od wybudowania obiekt doczekał się kompleksowego remontu konserwatorskiego elewacji. Prace podzielono na kilka etapów. W etapie pierwszym wymieniono pokrycie dachu i wzmocniono konstrukcję więźby dachowej. Etap dru-

#### 1. Introduction

Each historic object after a period of use requires to undergo a complete conservatory refurbishment. Objects located in Silesia, besides the natural processes of ageing, are additionally suffering from the impact of mining activity and from the highly polluted environment which, unfortunately, necessitates more frequent renovation work to be conducted.

In the case of Mariacki Church in Katowice, the work conducted so far has concentrated on removing the cracks in the walls and floor without eliminating their causes. The first repairs were done in 1978, when the cracked tracery of the tower windows were replaced with reinforced concrete elements. In the years 1981-1982, repairs of the cracked tower walls were carried out by applying an injection of a resinous composition. In 1993, repairs to balcony railings and tower pinnacles were performed with the use of concrete and cement mortar, and joints in the outer masonry elements of walls were filled in with cement mortar. In 2005, renovation of the bell room was conducted which involved cleansing the wall surface, putting new plaster, repairing the ceiling and putting up new steel shutters. The church interior has been repaired many times, while the elevation has merely been sporadically repaired. Only after almost 140 years since the object was erected has it undergone a complex conservatory rebuilding of the elevation. The work was divided into several stages. At the first stage the roof covering was replaced and the rafter framing reinforced. The second stage involved renovation of the tower walls, and current-

gi polegał na renowacji murów wieży, a obecnie trwają prace etapu trzeciego – remont ścian zewnętrznych bryły głównej. W pracy opisano problemy związane z pracami remontowymi Kościoła Mariackiego w Katowicach.

## 2. Historia i konstrukcja Kościoła Mariackiego

Kościół Niepokalanego Poczęcia Najświętszej Marii Panny w Katowicach, znany jako Kościół Mariacki, jest najstarszym zachowanym parafialnym kościołem katolickim Katowic. Zbudowano go w latach 1862-1870, w stylu neogotyckim, na planie krzyża łacińskiego, według projektu znanego architekta Alexisa Langer. Poświęcenia kościoła dokonał 20 listopada 1870 roku wrocławski biskup sufragan Adrian Włodarski [1].

Kościół w rzucie poziomym ma wymiary około 50,0 m × 28,5 m. Nawa główna ma szerokość 15,0 m i wysokość 15,0 m. Kościół jest zorientowany na osi wschód-zachód, z głównym wejściem od strony zachodniej. Archiwalne szkice elewacji kościoła pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Szkice kościoła: a) elewacja zachodnia, b) elewacja południowa  
Fig. 1. Design of the Church: a) front facade, b) view of the south side

Układ przestrzenny Kościoła Mariackiego stanowi czteroprzęsłowa, jednonawowa bryła z rzędem bocznych kaplic, z przejściami między przyporami wykonanymi w taki sposób, że sprawiają one wrażenie naw bocznych. Kościół ma transept i jedno-przęsłowe wieloboczne prezbiterium, do którego przylega zakrystia. Na piętrze przy prezbiterium

ly the works of the third stage are being conducted – the renovation of the outer walls of the main structure. This study describes the problems connected with renovation work carried out in the Mariacki Church in Katowice.

## 2. The history and construction of the Mariacki Church

The Church of the Immaculate Conception of the Virgin Mary in Katowice, known as Mariacki Church, is the oldest preserved Catholic parish church in Katowice. It was built in the years 1862-1870, in the neo-Gothic style, on the plan of a Latin cross, according to the design of a well-known architect Alexis Langer. The church was consecrated on November 20, 1870, by Adrian Włodarski, the bishop suffragan of Wrocław [1].

In its horizontal projection the church measures approximately 50.0 m × 28.5 m. The main nave is 15.0 m wide and 15.0 m high. The church is oriented along the east – west axis, with its main entrance situated on the west side. Archive sketches of the church elevation are show in fig. 1.

The spatial layout of the Mariacki Church encompasses a four-span, one-nave main structure with a row of side chapels, with passages between buttresses constructed in such a way that they seem to be side aisles. The church has a transept and a one-span polygonal presbytery, to which the sacristy adjoins. On the first floor, next to the presbytery,

znajduje się oratorium. Od strony frontowej (zachodniej) kościół ma wysoką (około 71 m) oktagonalną wieżę, którą poprzedza duża kruchta wykonana na rzucie połowy sześciokąta. Dwie mniejsze kruchty znajdują się przy bocznych wyjściach na przedłużeniach ramion transeptu.

Kościół posadowiono na kamiennych fundamentach na poziomie około 2,65 m poniżej poziomu posadzki i przyległego terenu. Ściany zewnętrzne i przypory wykonano jako dwuwarstwowe z cegły na zaprawie wapiennej oraz z okładziny zewnętrznej z ciosów piaskowca, układanych również na zaprawie wapiennej. Łamany piaskowiec pochodzi z nieistniejącego już kamieniołomu położonego nieopodal katowickiego Ronda i szosy na Kochłowice. Strop chóru oraz sklepienia nad nawami wykonano jako ceramiczne. Budowę fundamentów, ścian i sklepień kościoła nadzorował budowniczy Juliusz Hasse.

Nawę główną nad sklepieniami oraz prezbiterium przekrywa drewniana więźba dachowa, pokryta łupkiem. Więźba ma oryginalną ciesielską konstrukcję, a jej wykonawcą był mistrz dekarSKI Gimmer z Wrocławia. Konstrukcja więźby jest jętkowa wieszarowa dwuwieszakowa z zaopatrzonymi w wieszaki wiązarami pełnymi oraz wiązarami niepełnymi (wg terminologii zaproponowanej w pracy [2]). Więźba, pomimo że wykazuje pewne ingerencje remontowe, zachowała większość elementów pierwotnych, w tym wszystkie najważniejsze dla nośnej funkcji ustroju.

Konstrukcja ścian wieży, podobnie jak i całego kościoła, jest dwuwarstwowa murowana z cegły i kamienia. Wieżę od poziomu +41,0 m wieńczy murowany ostrosłupowy hełm. W wieży, na wysokości od +20,0 m do +27,8 m, znajduje się pomieszczenie dzwonów.

### **3. Wymiana pokrycia dachu i naprawy więźby**

Pierwszym etapem remontu konserwatorskiego elewacji Kościoła Mariackiego w Katowicach była wymiana pokrycia dachu. Oryginalny łupek wykazywał szereg uszkodzeń w postaci spękań i ubytków. Pokrycie dachu było nieszczelne, co prowadziło do degradacji elementów konstrukcji więźby dachowej. W 2006 r. przystąpiono do wymiany pokrycia dachu. Po rozbiórce istniejącego pokrycia szczegółowo oceniono stan techniczny elementów więźby. Do wymiany zakwalifikowano jedynie cztery krokwie koszowe, dwie krokwie usytuowane przy jednym z koszy oraz deskowania w rejonie koszy. Zakres uszkodzeń tych elementów nie pozwalał bowiem na dalszą ich eksploatację. Widok wymienionych elementów pokazano na rys. 2.

there is an oratory. On the front side (western) the church has a tall (about 71 m) octagonal tower, preceded by a huge porch constructed on the plan of half a hexagon. Two smaller porches are situated at the side entrances in the longer arms of the transept.

The church was built on stone foundations, approximately 2.65 m below the level of the floor and the adjacent area. The outside walls and buttresses were built from two layers, first bricks on lime mortar and then an outer facing from sandstone blocks, also laid on lime mortar. Broken sandstone came from the no longer existing quarry, located in the vicinity of the Katowice Roundabout and the road to Kochłowice. The ceilings of the choir and of the vault over the naves were ceramic. Construction of the foundations, walls and vaults of the church was supervised by the master builder Juliusz Hasse.

The main nave over the vaults and the presbytery are covered with a wooden roof truss, covered with slate. The original woodwork construction of the roof truss, which was made by a master roofer Gimmer from Wrocław, has been preserved. The roofing is a tie beam construction queen post truss with full and partial trusses provided with suspension rods (according to the terminology proposed in this study [2]). The roof truss, although it shows some traces of repairs, has maintained the majority of original elements, including all those essential for the load – bearing function of the structure.

Similarly to the whole church, the structure of the tower walls has two layers built of brick and stone. At the level of +41.0 m the tower is topped with a masonry pyramid-shaped dome. In the tower, at the height from +20.0 m up to +27.8 m, there is a room housing the bells.

### **3. Replacement of roof covering and roof truss repairs**

The first stage of the conservatory rebuilding of the elevation of the Mariacki Church in Katowice involved the replacement of the roofing. The original slate showed serious damage in the form of cracks and chips. Roof covering was leaky, which led to the deterioration of the elements of the rafter framing construction. In 2006, the process of replacing the roof covering commenced. After the existing roof covering has been dismantled, the technical state of the roof truss elements was thoroughly assessed. Only four valley rafters, two rafters situated at one of the valleys, and planks in the vicinity of the valleys were qualified for replacement. Those elements were so seriously damaged that they could not be used any longer. The replaced elements have been

Po naprawie konstrukcji wykonano nowe pokrycie dachu z hiszpańskiego łupka, wykonano ponadto obróbki blacharskie oraz nową instalację odgromową (rys. 3).

shown in fig. 2. After the construction had been repaired, the new roofing was made from Spanish slate, flashing work was carried out and a new lightning protection system was installed (fig. 3).



Rys. 2. Wymienione krokwie koszowe  
Fig. 2. Replaced valley rafters



Rys. 3. Wymienione pokrycie dachu  
Fig. 3. The new roofing

#### 4. Naprawy murów wewnętrznych

Drugi etap prac w Kościele Mariackim obejmował remont konserwatorski wieży oraz zabudowanie nowych dzwonów, natomiast trzeci etap remont ścian nawy i prezbiterium. Przed przystąpieniem do prac związanych z oczyszczeniem elewacji wykonano szczegółowy przegląd stanu konstrukcji murów wewnętrznych. Jedynymi stwierdzonymi uszkodzeniami były zarysowania pod dawną drewnianą, nieużytkowaną już konstrukcją pod dzwony. Rysy mają dłu-

#### 4. Repairs to the internal walls

The second stage of work on the Mariacki Church encompassed conservatory rebuilding of the tower and the supporting structure for the new bells, while the third stage involved renovating the walls of the nave and the presbytery. Before commencing the work connected with cleansing the elevation, a thorough inspection of the state of the outer masonry construction was conducted. The only damage found were the cracks under the old, no-longer-used wooden bell-

gość około 1,5 m oraz rozwartość do 1,2 mm i były już częściowo naprawiane przez zatarcie zaprawą cementową (rys. 4). Ponieważ zarysowania są wynikiem danych obciążeń i występują lokalnie zalecono porządzenie monitoringu rozwarcia rys, a w razie ich pogłębiania naprawę przez zszycie. W miejscach dawnych napraw murów metodą iniekcji kompozycjami żywicznymi nie stwierdzono występowania ponownych zarysowań (rys. 5).

Podczas oględzin w kilku miejscach na powierzchni wieży stwierdzono występowanie śladów po ostrzale artyleryjskim z czasów II wojny światowej. Od strony północnej stwierdzono występowanie 2 otworów o powierzchni około 0,5 m<sup>2</sup> każdy, zaś od strony południowej otwór o powierzchni ponad 1 m<sup>2</sup>. Zgodnie z relacją naocznego świadka mógł on powstać w wyniku ostrzału z radzieckiego czołgu próbującego zestrzelić niemieckiego snajpera. Fakt ten nie jest jednak potwierdzony źródłami historycznymi. Uszkodzenia od ostrzału artyleryjskiego zostały w przeszłości naprawione przez przemurowanie lub zabetonowanie (rys. 6). Na podstawie oceny stanu zdecydowano się pozostawić wykonane naprawy murów wewnętrznych i jedynie wymienić lub uzupełnić kamienne elementy elewacyjne.

supporting structure. The cracks are about 1.5 m long and up to 1.2 mm wide and have already been partially repaired by floating with cement mortar (fig. 4). Since the cracks result from given loads and occur locally, monitoring the crack width was advised, and in case of their deepening it was suggested they should be stitched together. In places of previous repairs of masonry using the method of resinous composite injection no new cracking was discovered (fig. 5).

During the inspection, traces of artillery fire from the period of World War II were discovered in some places on the tower surface. On the north side 2 holes were found, covering the surface of approximately 0.5 m<sup>2</sup> each, while on the south side one whole was found measuring over 1 m<sup>2</sup>. According to an eyewitness' relation, the opening could have been made by a Soviet tank firing in order to shoot down a German sniper. However, this information has not been confirmed by historical sources. The damage from artillery fire was repaired in the past by walling over or filling in with concrete (fig. 6). On the basis of assessing the state, it was decided that the previous repairs of the inside walls should remain, while only masonry elements of the elevation would be replaced or filled in.



Rys. 4. Zarysowania murów pod dawną konstrukcją wsporczą pod dzwony  
 Fig. 4. Masonry scratches under the old bell-supporting structure



Rys. 5. Brak uszkodzeń w miejscu dawnych napraw metodą iniekcji  
 Fig. 5. No damage in the old repaired places





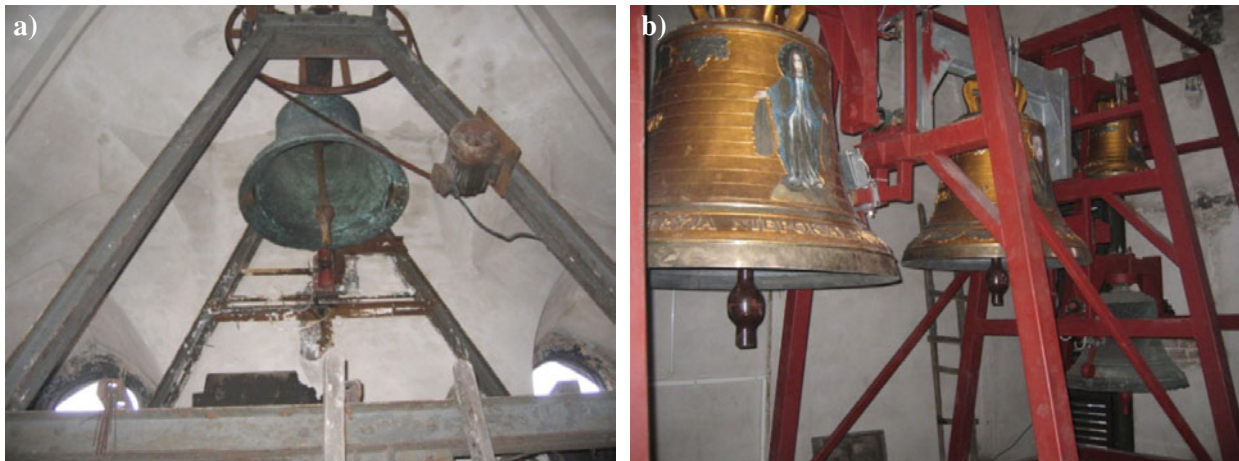
Rys. 6. Dawne naprawy w miejscu uszkodzeń spowodowanych ostrzałem artyleryjskim  
*Fig. 6. Previous repairs to the places damaged in the artillery fire*

## 5. Zabudowa nowych dzwonów

Od połowy XX wieku w wieży kościoła Mariackiego znajdował się jeden dzwon o masie 290 kg. Dzwon ten zawieszono na wsporczej stalowej konstrukcji koźłowej (rys. 7a), opartej na ścianach za pośrednictwem wmurowanych par ceowników [140]. Pierwotnie w wieży kościoła były jednak 3 dzwony, które zostały zdemontowane przez okupanta w latach 40 XX wieku. W ramach drugiego etapu remontu konserwatorskiego kościoła, zaplanowano przywrócenie stanu pierwotnego przez zabudowanie 3 nowych dzwonów, nazwanych: „Maryja Niepokalana” o masie 1200 kg, „Szramek” o masie 600 kg i „Damian”, ważący 130 kg. Przeprowadzono analizę statyczno-wytrzymałościową istniejącej stalowej konstrukcji koźłowej, która wykluczyła możliwość jej dalszego wykorzystania. Zaprojektowano nową konstrukcję pod dzwony oraz przy pomocy modelowania numerycznego przeprowadzono modalną analizę wpływu nowych dzwonów na konstrukcję wieży kościoła, która wykazała że zamontowanie 3 nowych dzwonów nie spowoduje uszkodzeń murów kościoła. Szczegółowy opis tej analizy zamieszczono w pracy [3]. Nową konstrukcję pod dzwony (rys. 7b) zakotwiono w murach wieży i zamontowano na elastomerowych wibroizolatorach, których zadaniem jest zmniejszenie wpływu drgań przenoszonych bezpośrednio na mury wieży.

## 5. The new bell structure

Since the mid-20th century, there has been one bell weighing 290 kg hanging in the belfry of the Mariacki Church. The bell was suspended from a steel trestle structure (fig. 7a), propped against the walls by means of built-in pairs of C-beams [140]. Originally, however, the church tower housed three bells, which were dismantled by the occupying forces in the 1940s. The second stage of the conservatory rebuilding of the church involved restoring it to its original state by installing 3 new bells, called: “Immaculate Mary” weighing 1200 kg, “Szramek” weighing 600 kg and “Damian”, weighing 130 kg. A static-endurance analysis of the existing steel trestle construction was conducted, which excluded the possibility of its further use. Therefore, a new bell structure was designed and, with the help of numeric modelling, a modal analysis of the impact of the new bells on the church tower construction was carried out, which showed that installing 3 new bells will not cause any damage to the church walls. A detailed description of the analysis has been enclosed in the study [3]. The new bell-supporting structure (fig. 7b) was anchored in the tower walls and mounted on elastomeric vibro-insulators, which are to reduce the impact of vibrations transferred directly to the tower walls.



Rys. 7. Stary dzwon (a) i nowe dzwony na nowej konstrukcji kozłowej (b)  
 Fig. 7. The old bell (a) and the new bells on the new supporting structure (b)

## 6. Remont konserwatorski murów zewnętrznych

Mury Kościoła Mariackiego przed przystąpieniem do remontu konserwatorskiego wykazywały znaczne uszkodzenia w postaci nalotu na kamiennych elementach okładziny zewnętrznej, ubytków korozyjnych elementów murowych i zaprawy, odspojeń elementów kamiennych, braków i ubytków kamiennych elementów detalu architektonicznego oraz wadliwego sposobu odprowadzenia wody z balkonów.

Czarny nalot na powierzchni murów kościoła jest wynikiem długoletniego działania agresywnego środowiska górnego śląska, a także zawartości pierwiastków żelaza w piaskowcu. Uszkodzenia korozyjne kamiennych elementów oraz spoin występowały lokalnie na wszystkich elewacjach. Część z tych uszkodzeń spowodowana była wcześniejszymi niefachowymi naprawami. Na rys. 8 przedstawiono uszkodzenia kamiennych elementów okładziny spowodowane wtórnym spoinowaniem zaprawą cementową. Miejsca większych ubytków elementów kamiennych okładziny zewnętrznej podczas wcześniejszych napraw zamurowywano cegłą i tynkowano (rys. 9). Uszkodzone elementy detalu architektonicznego wymieniano na betonowe.

Oczyszczenie elewacji z czarnego nalotu przeprowadzono metodą przegrzanej pary. W tym celu zastosowano specjalną pastę zawierającą fluorek amonu jednego z wiodących producentów materiałów do renowacji obiektów zabytkowych. Zastosowania tego materiału pozwoliło na usunięcie nalotu i wydobyć pierwotnego koloru kamienia. Wtórne spoinowania elementów kamiennych zaprawą cementową zostały usunięte i zastąpione spoiną wapienną przeznaczoną do stosowania w obiektach zabytkowych (rys. 10).

Odtworzono ponad 30 wielkogabarytowych kamiennych elementów wystroju architektonicznego, w tym czołganki, kamienne balustrady, kwiatony,

## 6. Conservatory rebuilding of the outside walls

Before the conservatory rebuilding the walls of the Mariacki Church showed significant damage in the form of coating on the masonry elements of the outer facing, corrosive loss in masonry elements and mortar, debonding in stone elements, losses and gaps in stone elements of architectonic detail as well as a faulty way of channelling rainwater from balconies.

Black coating on the surface of the church walls is the result of prolonged influence of the aggressive environment of Upper Silesia, and of the iron content in sandstone. Corrosive damage to masonry elements and joints occurred locally in all the elevations. Some of the damage was caused by previous, unprofessional repairs. Fig. 8 presents damage to the masonry elements of facing caused by repeated cement mortar pointing. The places of more serious damage to stone elements of outer facing were filled in with bricks and re-plastered during previous repairs (fig. 9). The damaged elements of architectonic detail were replaced with concrete.

Removing the black coating from the church elevation was performed using the method of overheated steam. For this purpose a special paste containing ammonium fluoride, made by one of the leading producers of materials for renovating historic monuments, was applied. The application of this material allowed for removing the coating and highlighting the original colour of masonry. Secondary pointing of stone elements with cement mortar was also removed and replaced with lime grout intended for use in historic monuments (fig. 10).

Over 30 large-scale masonry elements of architectonic decoration have been reconstructed, including crockets, stone balusters, finials, gar-



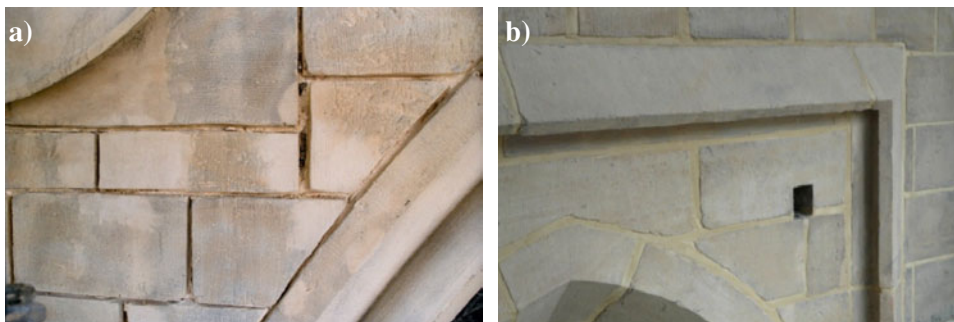
Rys. 8. Ubytki elementów kamiennych spowodowane spoinowaniem zaprawą cementową  
 Fig. 8. Defect of the stone masonry units caused by cement mortar pointing



Rys. 9. Uszkodzenia elewacji Kościoła Mariackiego w Katowicach  
 Fig. 9. Damage of the church facade

rzygacze i sterczyń (rys. 11). Wtórne betonowe laskowania okien wymieniono na kamienne. Przeprowadzenie prac wymagało zastosowania w miejscach uszkodzeń lub ubytków kilkuset nowych ciosów kamiennych. Ponieważ oryginalne elementy mają prążkowaną fakturę w nowych elementach wykonano podobną przy zastosowaniu gradzin.

goyles and pinnacles (fig. 11). Secondary concrete tracery in windows was replaced with stone. The work required using several hundred new stone blocks to replace the damaged or missing elements. Because the original elements have striated texture, the new elements were given similar by using special chisels.



Rys. 10. Usunięcie spoinowania zaprawą cementową (a) i nowe spoiny wapienne (b)  
 Fig. 10. Removal of the cement mortar pointing (a) and new lime mortar joints (b)



Rys. 11. Szczegóły elewacji po przeprowadzeniu prac renowacyjnych  
 Fig. 11. Details of the renovation works

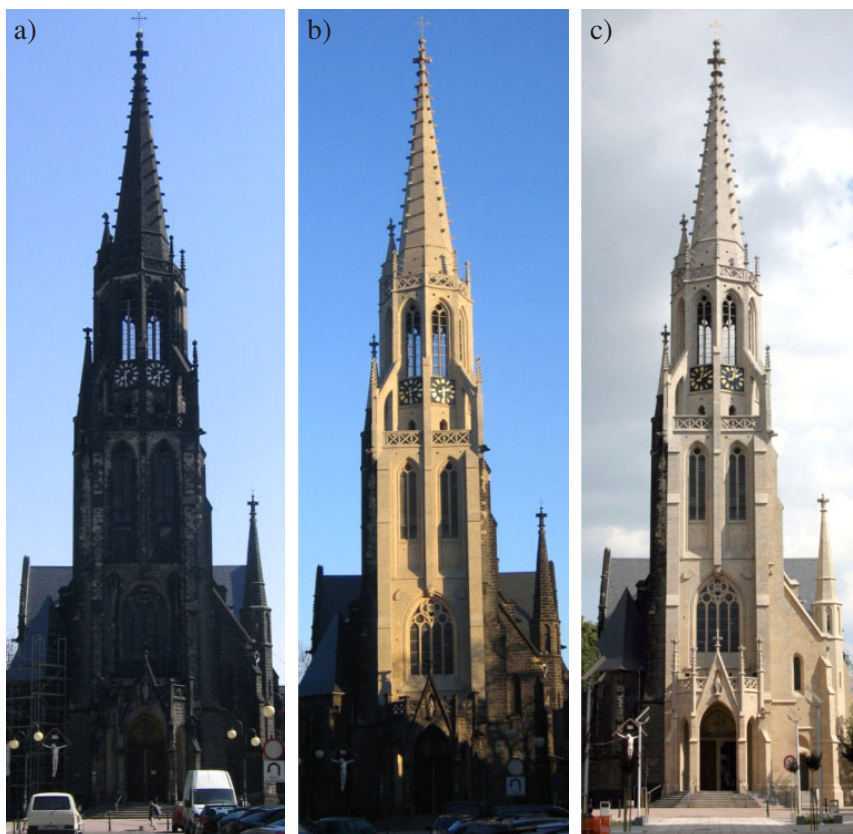
## 7. Podsumowanie

Remont konserwatorski wielkogabarytowych obiektów sakralnych jest procesem kosztownym ale i żmudnym. Prace muszą być wykonywane z należytą starannością, zgodnie ze sztuką konserwatorską i budowlaną. Właśnie mijają 3 lata od podjęcia prac nad elewacją Kościoła Mariackiego w Katowicach. Trwają prace ostatniego, trzeciego etapu obejmujące swym zakresem ściany nawy i prezbiterium. Zakończenie prac planuje się na drugą połowę 2010 r, jednak już teraz wyraźnie jest widoczny efekt wykonanych prac (rys. 12).

## 7. Summary

Conservatory rebuilding of large-scale church objects is an expensive and laborious process. The work has to be performed with meticulous care, according to the conservation and building rules. 3 years have just passed since the work on the elevation of the Mariacki Church in Katowice commenced. The third and final stage, which encompasses work on the walls and presbytery, is currently under way. It is to be completed in the second half of 2010, but even now the effects of all the work which has been done are clearly visible (fig. 12).

*translation Violetta Marzec*



Rys. 12. Kościół Mariacki: a) marzec 2007 r., b) grudzień 2008 r. c) marzec 2009 r.  
 Fig. 12. The Mariacki Church: a) March 2007, b) December 2008, c) March 2009

## Literatura • References

- [1] Suchoń A., *Początki kościoła i parafii pod wezwaniem Niepokalanego Poczęcia NMP w Katowicach na podstawie materiałów archiwalnych*. Sympozjum Naukowe Kościół Mariacki w Katowicach. Fakty i Ludzie. 11-20. Katowice 2006
- [2] Tajchman J., *Propozycja systematyki i uporządkowania terminologii ciesielskich konstrukcji dachowych na terenie Polski od XIV do XX w.*, Monument (2): 7-35, 2005
- [3] Gromysz K., Drobiec Ł., Pająk Z., *Problemy zabudowania nowych dzwonów w wieży Kościoła Mariackiego w Katowicach*. VIII Konferencja Naukowo-Techniczna. Inżynierskie Problemy Odnowy Staromiejskich Zespołów Zabytkowych. Kraków 2008.

\* Politechnika Śląska, Gliwice, Polska

\* Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

## Streszczenie

W pracy opisano problemy związane z konserwatorskim remontem elewacji kościoła Mariackiego w Katowicach. Po blisko 140 latach od wybudowania obiekt czekał się kompleksowej renowacji. Prace podzielono na kilka części: wymieniono pokrycie dachu i wzmocniono konstrukcję drewnianej więźby dachowej, oczyszczono i wyremontowano wieżę, w wieży zabudowano 3 nowe dzwony, a w ostatnim etapie renowacji poddano główną bryłę kościoła. W czasie remontu odtworzono ponad 30 wielkogabarytowych kamiennych elementów wystroju architektonicznego, a w miejscach uszkodzeń lub ubytków zastosowano kilkuset nowych ciosów kamiennych.

## Abstract

In the paper the problematic issues of conservatory rebuilding of the elevation of the Mariacki Church, which is located in Katowice, were presented. After almost 140 years since the church had been built, the complex conservatory rebuilding of the elevation was carried out. The works were divided into several stages. The first part included replacement of the roof covering and reinforcement of the rafter framing. The second part was to renovate the walls of the tower, and now the works of the third part are being conducted – the renovation of the outside walls of the main structure.

Jerzy Skarbek\*  
Andrzej Peszko\*\*

## Kamienica mieszczańska w Brzegu. Geneza, formy rozwoju oraz sposoby dekoracji fasad i elewacji na podstawie wyników badań i prac konserwatorskich przeprowadzonych w latach 1998-2009

## Tenement houses of burgesses in Brzeg. The origin, forms of development and ways of decorating facades and elevations on the basis of research results and conservation work conducted in the years 1998-2009

Lokacja Brzegu położonego położnego na wysokim brzegu Odry, w połowie drogi między Wrocławem a Opolem na skrzyżowaniu *Via Regia* oraz drogi wiodącej z południa na północ nastąpiła około 1247 r. Pierwszy dokument lokacyjny nie zachował się a główne założenia lokacji znamy jedynie z datowanego na 1250 r. odpisu. Miasto powstało na bazie trzech osad o charakterze rybacko handlowym. W rejonie dzisiejszego Placu Moniuszki i Placu Bramy Wrocławskiej znajdowała się osada *Wissoke brzegh* (wz. 1234) posiadająca znamiona osady typu miejskiego (*civitas*), z dworem książęcym (*curia*) kościołem (Najświętszej Marii Panny) i szpitalem (św. Ducha). Na przestrzeni pomiędzy dzisiejszą przeprawą mostową a Placem Młynów położona była osada Małkowice (wz. 1251), której ludność po lokacji przeniesiono w rejon obecnej ulicy Rybackiej. Podstawą lokacji była także akcja przesiedleńcza ludności trzeciej osady – położonych na zachód od siedziby książęcego klucznika Ratajów. Wytyczenie miasta częściowo w oparciu o struktury dawnych osad (Wysokiego Brzegu oraz Małkowic) wpłynęło na nieznaczne zachwianie regularności założenia urbanistycznego. Najwymowniejszym tego przejawem jest przebieg dzisiejszej ul. Długiej, od najdawniejszych czasów stanowiącej odcinek *Via*

Brzeg, located on the steep bank of the River Oder, half way between Wrocław and Opole, at the crossroads of *Via Regia* and the route leading from the south to the north, was granted its town charter about 1247. The first town charter was not preserved, and the main ideas of establishing the town are known from its copy dated at 1250. The city was founded on the basis of three fishing and trading settlements. In the vicinity of the present-day Moniuszko Square and Wrocław Gate Square, there used to be a settlement called *Wissoke brzegh* (1234) which possessed features characteristic for a city-type settlement (*civitas*), with a ducal court (*curia*), a church (of the Virgin Mary) and a hospital (of the Holy Spirit). In the area between the present-day bridge crossing and the Mill Square the settlement of Małkowice (1251) was located, whose inhabitants were transferred to the area of the nowadays Rybacka Street, after establishing the city. Resettlement of the inhabitants of the third settlement, Rataje, located westward from the seat of the ducal steward, was also the basis of establishing the city. Delineating the city area on the basis of the former settlement structures (Wysoki Brzeg and Małkowice) caused a slight imbalance in the regularity of the urban layout. It is best exemplified by the course of the present-day Długa Street, which

*Regia*. Wzorem innych miast w trakcie lokacji wytyczono prostokątny rynek oraz siatkę przecinających się pod kątem prostym ulic. Pod względem powierzchni dwumorgowy rynek w Brzegu należy zaliczyć do grupy rynków większych, licznie reprezentowanych na terenie Śląska. Na południowy wschód od rynku wyznaczono teren pod budowę fary. Poszczególne bloki podzielono na parcele. Według Janusza Pudełki pierwotne działki były przeważnie dwukrotnie szersze, od tych, jakie utrwaliły się w wyniku późniejszych podziałów i wynosiły w przybliżeniu 60 x 120 stóp<sup>1</sup>. Na temat najstarszej zabudowy brzeskich posesji niewiele możemy dzisiaj powiedzieć. Należy jednakże zakładać, że w pierwszych dziesięcioleciach po lokacji miała ona charakter nietrwały. W roku 1976 w rejonie dzisiejszej ul. Polskiej i Wysokiej natrafiono na dobrze zachowane przyziemie domu zamieszkałego jeszcze w 2 poł. XIV i na pocz. XV w. Wzniesiono go w konstrukcji ramowo-słupowej, w układzie kalenicowym. Składał się z części mieszkalnej i gospodarczej, wyposażony był w piec kopułowy, a podłogę stanowiło klepisko<sup>2</sup>. Ulicę Polską, pozostającą w znacznej odległości od rynku zamieszkiwała uboższa ludność polskojęzyczna. W rejonie tym budownictwo drewniane, a w szczególności realizowane w konstrukcji ryglowej, przeważało aż do końca XVIII w. Należy przyjąć, że konstrukcja wieńcowa, ryglowa, a nawet sumikowo-łątkowa i kosznicowa dominowały w zabudowie Brzegu w pierwszych dziesięcioleciach po lokacji. Budynki miały raczej charakter wolnostojący, co bardziej przypominało zabudowę charakterystyczną dla wsi.

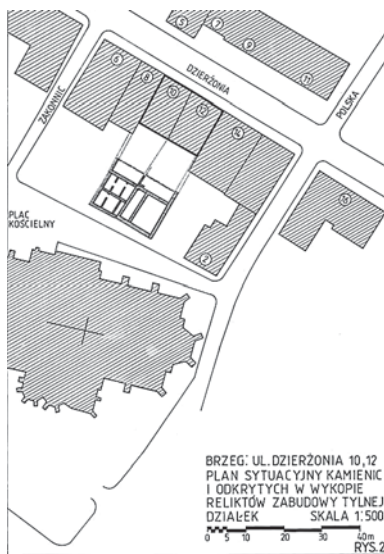
Najstarsza wiadomość o budowaniu murowanych domów na terenie Brzegu pochodzi z roku 1318, natomiast z roku 1398 pochodzi informacja o umożliwieniu mieszkańcom nabywania cegieł z cegielni miejskiej po obniżonej cenie<sup>3</sup>. Cały XIV w. to okres wzmożonego ruchu budowlanego na terenie Brzegu. W 1311 r. miasto stało się siedzibą książęcą, a w roku 1327 brzescy mieszkańcy jako pierwsi na Śląsku wykupili dziedziczne wójtostwo. Rozbudowywany został zamek książęcy, rozbudowano obiekty należące do franciszkanów, wzniesiono zabudowania Kolegiaty św. Jadwigi oraz kościół i klasztor dominikanów. Miasto opasano murem obronnym, a około 1360 r. przystąpiono do budowy jednej z największych świątyń na Śląsku – kościoła św. Mikołaja. W obrębie rynku powstały pierwsze murowane obiekty handlowe (1309 – budowa murowanych kramów) i municypalne – około 1300 wieża ratusza, a przed 1358 r. ratusz. Pierwsze murowane domy mieszczkańskie zaczęto wznosić zapewne wzdłuż pierzei rynkowych oraz przy

has constituted a fragment of *Via Regia* since time immemorial. Following the pattern of other cities, a rectangular market square and a grid of streets criss-crossing at right angles were laid out in Brzeg. As far as its surface is concerned, the 2 – morga market square in Brzeg (1 morga = 1.4 acre) must be numbered among the larger ones, frequently encountered in Silesia. The area for the parish church was located to the south east from the market square. Particular blocks were divided into lots. According to Janusz Pudełko, the original plots were generally twice as wide as those which resulted from the later divisions and measured approximately 60 x 120 feet<sup>1</sup>. We cannot say much nowadays in reference to the oldest building property in Brzeg. However, it should be assumed that during the first several dozen years after establishing the city, it was of temporary character. In 1976, in the region of the present-day Polska and Wysoka streets, a well-preserved basement was found belonging to a house which was still inhabited in the second half of the 14<sup>th</sup> and at the beginning of the 15<sup>th</sup> century. It was erected using the frame-and-column construction with a ridge layout. It consisted of residential and utility sections, and was furnished with a domed stove and dirt floor<sup>2</sup>. Polska Street, which was fairly remote from the market square, was inhabited by poorer Polish-speaking people. In this region wooden structures, particularly realized using the beam construction, dominated until the end of the 18<sup>th</sup> century. It should be assumed that the corner-notched construction, beam construction, vertical-post log construction or even wattling were predominant among building constructions in Brzeg during the first decades after granting the town charter. Buildings were mostly detached, which resembled the layout characteristic for rural areas.

The oldest information referring to building brick houses in Brzeg comes from 1318, while the information about allowing the town inhabitants to purchase bricks from the municipal brickyard at a lower price comes from 1398<sup>3</sup>. The whole 14<sup>th</sup> century was a period of intensive building activity in Brzeg. In 1311, the town became a ducal seat, and in 1327 the burgesses of Brzeg as the first in Silesia purchased the hereditary office of wójt (town-reeve). The duke's castle was expanded, as well as objects belonging to the Franciscans, the collegiate church of St. Hedwig and the church and monastery of the Dominicans were erected. The town was surrounded with a defensive wall, and in about 1360 the construction of one of the largest churches in Silesia was commenced – the church of St. Nicholas. The first brick municipal and trading buildings (1309 – the brick market stalls were built) appeared within

ulicach wiodących ku bramom miejskim, w blokach zabudowy stanowiących najbliższe sąsiedztwo rynku. Granice występowania gotyckich relikwów kamienic mieszczańskich wytycza od pn. ul. Panieńska, od wsch. ul. Polska, od pd. środkowy i wschodni odcinek ul. Długiej. Od zachodu gotyckie kamienice wznoszono wzdłuż całej ul. Zamkowej i, w znacznie mniejszym stopniu, równoległej do niej ul Chopina. Proces kształtowania się zabudowy parceli mieszczańskiej na obszarze Brzegu najpełniej prześledzony został na przykładzie dwóch, obecnie niezależnych kamienic – Dzierżonia 10 i 12, położonych w pd. pierzei ulicy, w bezpośrednim sąsiedztwie kościoła św. Mikołaja. Badania przeprowadzono w roku 2006 i 2007 i objęto nimi zarówno obie kamienice, jak i wnętrza działek<sup>4</sup>. Badaniem objęty został obszar o łącznej powierzchni 18 x 39 m (rys.1). Odpowiadałoby to w przybliżeniu średniowiecznej działce o wymiarach 62,5 x 135,5 stóp flamandzkich, czyli mniej więcej tyle ile, wg Janusza Pudełki, mogła wynosić pierwotna wielkość działki lokacyjnej. W trakcie prac ustalono, że murowana, gotycka kamienica narastała etapowo w obrębie parceli, która swą szerokością obejmowała obie badane kamienice. Najstarszy murowany obiekt powstał w trakcie frontowym dzisiejszej kamienicy Dzierżonia 10, przy czym dostawiono go do wcześniej wybudowanej kamienicy Dzierżonia 8. Budynek posiadał trzy elewacje – frontową, południową i wschodnią (rys. 2). Stwierdzenie elewacji wschodniej świadczy, że teren zajmowany obecnie przez kamienicę Dzierżonia 12 pozostawał w owym czasie niezabudowany<sup>5</sup>. W dalszej kolejności ów początkowo niewielki obiekt zaczęto rozbudowywać etapami (dodając trakty i pasma), aż do zamknięcia zabudowy w obrysie obejmującym obie badane kamienice<sup>6</sup>. O tym, że na pewnym etapie średniowiecznego rozwoju zabudowy na obu parcelach funkcjonował jeden budynek świadczy

the market square. The first brick houses for townsmen may have been built along the market frontages and along the streets leading towards the town gates, in building blocks in the direct vicinity of the market. The boundaries within which the relics of burgesses tenement houses occur, are outlined by Panieńska Street in the north, Polska Street in the east, the middle and eastern fragments of Długa Street in the south. In the west, Gothic tenement houses were erected along the whole Zamkowa Street and, to a smaller degree, along the parallel Chopin Street. The process in which the burgess building plots were shaped in Brzeg was most thoroughly examined on the examples of two, presently independent, tenement houses – 10 and 12 Dzierżonia Street, located in the southern frontage of the street in the vicinity of St. Nicholas' Church. The research was conducted in 2006 and 2007 and encompassed both tenement houses and the internal area of the plots<sup>4</sup>. The research covered the area of 18 x 39 m (fig. 1). It would have been an equivalent of a medieval plot measuring 62.5 x 135.5 Flemish feet which, according to Janusz Pudełko, might have been the size of the original plot in the chartered town. During the work it was established that the Gothic brick tenement house grew gradually within the building plot, which was broad enough to encompass both tenement houses in question. The oldest brick structure was built along the front section of the present-day 10 Dzierżonia St. tenement house, but was added to a previously built tenement house at 8 Dzierżonia St. The building had three elevations – the front, southern and eastern one (fig.2). Finding the eastern elevation is a confirmation that the area currently occupied by the tenement house at 12 Dzierżonia St. remained empty at that



Rys. 1. Lokalizacja kamienic i parceli ul. Dzierżonia 10 i 12 w ciągu zabudowy pierzejowej

Fig. 1. Location of the tenement houses and building plots at 10 and 12 Dzierżonia Street within the frontage development



Rys. 2. Fragment profilowanego obramienia otworu wejściowego w elewacji wschodniej kamienicy Dzierżonia 10. Foto A. Peszko

Fig. 2. Fragment of a profiled jamb of a door opening in the eastern elevation of the tenement house at 10 Dzierżonia St. Photo: A Peszko

time<sup>5</sup>. Later on, the initially small structure was extended in stages (by adding sections and strips) until it filled in the outline encompassing both the ex-



stwierdzona wspólna gotycka fasada, a także fakt skomunikowania obu części gotyckimi otworami drzwiowymi<sup>7</sup>. W trakcie prac badawczych w obrębie obu parcel stwierdzono, że ich południową granicę stanowił pierwotnie mur kurtynowy wzniesiony z kamieni eratycznych, stanowiący zarazem mur cmentarny okalający od północy cmentarz przy kościele św. Mikołaja. Mur posadowiono na zasypie piwnic średniowiecznych oficyn o konstrukcji drewnianej szkieletowej. Kolejne przekształcenia zabudowy oficynowej miały miejsce w renesansie i baroku. Powstałe wówczas obiekty oficynowe w układzie szczytowym widoczne są na rysunkach sporządzonych około 1750 r. przez F.B. Wernehra. Pod koniec XVIII i na początku XIX w. na działkach postawiono obiekty sanitarne. Pozostałościami po nich były zbiorniki ustępowe w północnej części zabudowy oficynowej<sup>8</sup>. Zasięg zabudowy całości bloku zabudowy zamkniętego ulicami: Dzierżonia, Polska, Plac Kościelny, Zakonnice dokumentują m.in. opracowane w 1953 r. przez Poznańskie Pracownice Konserwacji Zabytków „Wnioski konserwatorskie do planu rozbiórkowo porządkowego zabytkowego śródmieścia Brzegu”. Ostatecznie obiekty oficynowe opisywanego kwartału zostały rozebrane w latach 60 XX wieku.

Pod względem geograficznym Brzeg położony jest na terenie Niziny Śląskiej, co w zasadniczy sposób wpływało na technikę wznoszonych tu od XIII w. murowanych budynków. Podstawowym budulcem przez setki lat pozostawała tu cegła. Jednak z uwagi na niewielką odległość terenów wyżynnych często sięgano również po kamień, z którego odkuwano głównie detal architektoniczny – był to zarówno granit ściągany z pobliskiego Strzelina, jak i piaskowiec sprowadzany z dalej położonych kamieniołomów. Zastosowanie kamienia dla detalu architektonicznego w średniowieczu było praktykowane przede wszystkim w odniesieniu do budowli monumentalnych. W czasach nowożytnych odkuwano z niego również bogate detale kamienic mieszczkańskich. W przypadku gotyckich kamienic brzeskich użycie kamienia było jednakże bardzo ograniczone. Sporadycznie spotykamy proste, granitowe ościeża drzwi lub okien. Takie, półkolistie zamknięte, granitowe ościeże zachowało się w otworze przejściu przy ul. Reja 5. W elewację tylną kamienicy Dzierżonia 10 wmurowane zostały wtórnie fragmenty granitowego ościeża okiennego lub drzwiowego. W trakcie remontu kamienicy przy ul. Chopina 1 natrafiono na proste granitowe obramienie okna piwnicznego. Kamienia eratycznego, łamanego granitu lub rudy darniowej używano głównie do budowy fundamentów. Wyższe partie murów wznoszono z cegieł. Z materiału tego budowa-

minated tenement houses<sup>6</sup>. At a certain stage of their medieval development one building seems to have occupied both plots which has been confirmed by the discovery of a Gothic façade and the fact that both parts were joined by Gothic communicating doors<sup>7</sup>. During the research on both plots it was found out that their southern boundary was originally constituted by a curtain wall built from erratic stones, which was also a cemetery wall surrounding from the north the graveyard by St. Nicholas' Church. The wall was founded on filled in cellars of medieval outhouses with wooden skeleton construction. The next transformations of outhouses took place during the Renaissance and Baroque periods. The outhouses erected then with their gable layout can be seen on sketches drawn about 1750 by F.B. Wernehr. Towards the end of the 18<sup>th</sup> and at the beginning of the 19<sup>th</sup> century, sanitary objects were built on the plots, the remains of which were sanitary containers found in the northern part of the outbuildings<sup>8</sup>. The range of the building development enclosed by the streets: Dzierżonia, Polska, Plac Kościelny and Zakonnice, is documented in e.g. "Conservatory conclusions for the demolition – clearing plan for the historic centre of Brzeg" prepared in 1953 by Monument Conservation Office from Poznań. Eventually the outbuildings in the described quarter were dismantled during the 1960s.

Geographically, Brzeg is located in the area of the Silesian Lowland which significantly influenced the technique of the masonry buildings erected there since the 13<sup>th</sup> century. Brick was the main building material for hundreds of years. However, because of the closeness to upland areas, stone was also frequently used, mostly for architectonic detail – it was granite obtained in nearby Strzelno, as well as sandstone transported from the farther located quarries. In the medieval period, the use of stone in architectonic detail concerned mainly monumental buildings. In modern times, also lavish details of burghesses tenement houses were made from it. In the case of Gothic tenement houses in Brzeg, however, the use of stone was very limited. We can only sporadically encounter simple granite door or window frames. Such a granite frame, enclosed with a semicircle, was preserved in the opening of a passage at 5 Rej Street. Fragments of granite window or door frame were built into the back elevation of the tenement house at 10 Dzierżonia St. During the renovation of a tenement house at 1 Chopin St. a simple granite frame of a cellar window was discovered. Erratic stones, broken granite or bog ore was used mainly as foundation material, whereas higher parts of walls were built from brick. The latter material was also used to built vaults, which were mainly

no również sklepienia. Zasklepiano głównie piwnice. Stosowano kolebki o łuku pełnym, niekiedy lekko zastrzonym. W badanych piwnicach traktu frontowego kamienic Dzierżonia 10 i 12 stwierdzono, że pierwotnie przykrywał je strop. Dopiero w późniejszym czasie, jednakże jeszcze w tradycji budownictwa gotyckiego, stropy zastąpiono sklepieniami. W żadnej z brzeskich kamienic nie zachowało się gotyckie sklepienie w partiach nadziemnych<sup>9</sup>. Poszczególne pomieszczenia przykrywano raczej stropami belkowymi. Niekiedy stropy mogły być wsparte na arkadkowych odsadzkach. Na ślady takiej odsadzki natrafiono w kamienicy Dzierżonia 12. Wydaje się, że dosyć powszechną praktyką było stosowanie arkadowych wnęk we wnętrzach parteru. Takie ostrołuczne wnęki spotykamy w sieni kamienicy Reja 7 oraz w pomieszczeniu frontowym (obecnie sklep) w kamienicy Staromiejska 4. Ościeża arkady w kamienicy Reja 7 wykonano z cegły o wklęsłym, ćwierćkolistym profilu (rys. 3). Arkadowe wnęki, jednakże już o łuku odcinkowym, spotykamy również w kamienicach o murach nowożytnych.

Za sprawą prac badawczych i konserwatorskich, jakie prowadzono w trakcie remontów elewacji kamienic realizowanych od roku 1998 posiadamy stosunkowo dużą wiedzę na temat wyglądu zewnętrznych gotyckich kamienic brzeskich. Wiedza ta odnosi się w największym stopniu do poziomu 1 piętra. Dysponujemy również pewnymi informacjami na temat formy szczytów. Niestety białą plamę stanowi forma partiórów, a to z uwagi na fakt, że zdecydowana większość kamienic w centrum miasta posiada w przyziemiu fasad wielkie, wtórnie przebite witryny sklepów.

Ceglane mury kamienic wznoszono w wątku jednowozówkowym. Powszechną praktyką było stosowanie techniki *opus emplecton*. W elewacjach, i to nie tylko frontowych, do celów zdobniczych stosowano zendrówki układane główkowo. Starannie opracowywano spoiny – w spoinach poziomych wykonywano podcięcie, pionowe kształtowano trójkątnie. Niekiedy zaprawę nacinano jedynie ostrym narzędziem. W większości badanych obiektów spoiny malowano na czerwono, upodabniając ich kolor do koloru cegły. W żadnej z poddanych badaniom fasad nie natrafiono na kompletne średniowieczne okno. Przyczyna tego stanu rzeczy jest prosta – w osiach okien gotyckich w trakcie późniejszych przebudów

used in cellars; especially barrel vaults with full arches, sometimes slightly pointed were applied. In the examined cellars in the front section of the tenement houses at 10 and 12 Dzierżonia St., it was discovered that they were initially covered with a ceiling which later, though still within the tradition of Gothic constructions, was replaced with vaults. No Gothic vault has been found in the above – ground parts<sup>9</sup> of any of the tenement houses in Brzeg. Particular rooms were usually covered with beam ceilings, which sometimes were supported by arcaded set-offs. Traces of such a set-off were found in the tenement house at 12 Dzierżonia St. Using arcaded alcoves in ground floor interiors seems to have been a fairly common practice. Such ogival alcoves can be found in the hall of the tenement house at 7 Rej St., and in the front room (currently a shop) in the tenement house at 4 Staromiejska St. The jambs of the arcade at 7 Rej St. was made from brick with cavetto moulding (fig. 3). Arcaded alcoves, but with segmental arches, are also encountered in the tenement houses with modern walls.

Brick walls of tenement houses were built using a one-stretcher bond. The technique called *opus emplecton* was commonly used. In elevations, and not only at the front, headers of black 'zendrówka' bricks were used for decorative purposes. The joints were carefully worked – the horizontal joints were undercut, while the vertical were shaped into triangle. Sometimes mortar was merely cut with a sharp tool. In the majority of the examined constructions the joints were painted red, making the shade resemble the colour of brick. In none of the examined facades has a complete medieval window been found, for the simple reason that during later renovations new and much larger windows were cut out in the axes of the Gothic ones. Nevertheless, rare relics allow for drawing limited conclusions concerning the shape of windows in the oldest tenement houses. In the basement of the façade of the tenement house at 1 Młynarska St. a fragment of a segmental arch lintel was preserved. Among the relics of the no-longer-existing tenement house, adjacent to the lot at 5 Dzierżonia St., also in the basement, an inside fragment of a window recess was discovered. In the quite well examined elevation of the tenement house at 2 Rynek no outside shape of window openings were found on the



Rys. 3 Brzeg, ul. Reja 7, ostrołuczna, arkadowa wnęką na parterze kamienicy. Foto A. Peszko  
Fig. 3. Brzeg, 3 Rej St., ogival arcaded recess in the tenement house ground floor. Photo A. Peszko

przebijano nowe, znacznie większe okna. Tym nie mniej nikielki relikty pozwalają na wyciągnięcie ograniczonych wniosków odnośnie kształtów okien najstarszych kamienic. W przyziemiu fasady kamienicy przy ul. Młynarskiej 1 zachował się fragment nadproża o łuku odcinkowym. W reliktach nieistniejącej kamienicy przyległych do posesji Dzierżonia 5, również w partii przyziemia, zachował się fragment wnęki okiennej od strony wnętrza. W dość dokładnie przebadanej elewacji kamienicy Rynek 2 nie natrafiono na zewnętrzny kształt otworów okiennych na poziomie 1 piętra. W trakcie prowadzonego remontu stwierdzono jednakże, że sklepienie odcinkowe, szerokie na 1 metr wnęki okienne od strony wnętrza powstały w okresie gotyku. Znaczna szerokość wnęki oraz odcinkowe nadproże nie determinowały jednak ostatecznie wielkości i kształtu okna od strony zewnętrznej. Potwierdzeniem tego, niech będzie przykład fragmentów okna, jakie odkryto na 2 piętrze elewacji południowej (bocznej) kamienicy Sukiennice 5. Z okna tego zachowało się jedno ościeże, dwa klince nadproża oraz wypełnienie pachy jednoznacznie wskazujące na ostrołuczną formę nadproża. W trakcie rekonstrukcji okazało się, że okno zostało zamurowane w charakterystyczny sposób – najpierw zamurowano na tzw. „12” sam otwór od strony zewnętrznej, likwidując przy tym nadproże i lewe ościeże. Od strony wnętrza funkcjonowała w dalszym ciągu obszerna wnęka okienna w murze grubym na 1 m., przesklepią głębokim łukiem odcinkowym. Wnęka stanowiła część wnętrza, ustawiono w niej drewniany regał. Nie wiadomo dokładnie, kiedy wnękę wraz z regałem zamurowano cegłą na tzw. „6”, przez co dotrwała do naszych czasów w swej niezmięnionej gotyckiej formie. Przypadek ten pokazuje nam zatem obszerną wnękę okienną od strony wnętrza, sklepioną odcinkowo i niewielkie okienko zamknięte ostrołucznie. Jest wielce prawdopodobne, że w podobny sposób musiały być kształtowane inne gotyckie okna kamienic, przy czym kształty ich nadproży mogły być oczywiście różne. Takie rozwiązanie w średniowieczu miało wymiar czysto praktyczny – wnęka okienna stanowiła rodzaj niewielkiego, dobrze oświetlonego wnętrza, natomiast mały otwór okna faktycznego dawał się łatwo wypełnić czy to okiennicami, czy też kosztownym wówczas szkłem.

Niedostatek otworów okiennych w elewacjach kamienic rekompensowano dla celów dekoracyjnych wielkimi blendami, które zdobiono malowanymi motywami oszklenia. Tego rodzaju blendy stały się jednym z podstawowych elementów podziału architektonicznego gotyckich kamienic brzeskich. W roku 1999 w trakcie remontu elewacji, na pozór „gomulkowskiego” bloku we wschodniej pierzei rynku natknięto się na stosunkowo dobrze zachowaną fasa-

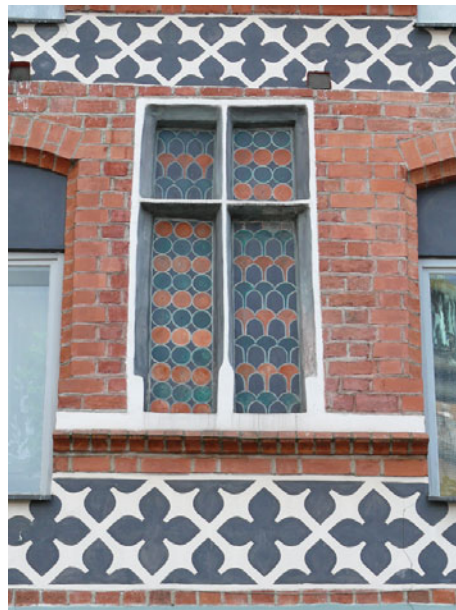
first floor. During the renovation, it was found out, however, that vaulted with segmental arch 1-metre-wide window recesses inside were made during the Gothic period. A considerable width of the recess and its segmental lintel did not finally determine the size and shape of the window from the outside. That can be confirmed by the example of window fragments discovered on the second floor of the southern (side) elevation of the tenement house at 5 Sukiennice. One jamb, two lintel vaussouirs and the abutment which were left from the window clearly indicate the ogival form of the lintel. During the reconstruction it turned out that the window was walled-in in a very characteristic way – first it was walled-in from the outside, eliminating the lintel and the left jamb. A spacious window recess in a 1-metre-thick wall, vaulted with a segmental arch still functioned on the inside. The recess constituted a part of the interior, wooden shelves were fitted in it. It is not known when exactly the recess and shelves were walled in with brick, due to which it was preserved until the present times in its original Gothic form. This example shows us a spacious window recess on the inside, vaulted with a segmental arch, and a small ogival window. It is highly likely that other Gothic windows in tenement houses must have been similarly shaped, though their lintels may have varied. In the medieval period, such a design had a purely practical dimension – the window recess constituted a sort of small, well-lit interior, while the small opening of the actual window was easy to fill in with shutters or the very expensive glass.

The insufficient number of windows in the tenement house elevations was compensated, for decorative purposes, with huge blind windows decorated with painted motifs imitating glazing. Such blind windows became one of the basic elements of architectonic division of Gothic tenement houses in Brzeg. In 1999, while renovating the elevation of an apparently 1960s block of flats in the eastern frontage of the market square, a relatively well-preserved façade of a Gothic tenement house was discovered. On the first floor level two rectangular blind windows were found with a brick cross division. Their jambs were shaped from profiled brick with cavetto moulding ending in a decorative detail; the cross division was given a similar profile. The jambs and the bottoms of the blind windows were covered with a thin layer of plaster, and each panel was painted with an imitation of lead-framed glazing. There were two types of ‘glazing’ used within each panel composed into a chessboard: in one section there were red and green circles of crown glass, while in the adjacent

dę gotyckiej kamienicy. Na poziomie 1 piętra odkryto dwie prostokątne blendy z ceglany podziałem krzyżowym. Ościeża blend ukształtowano z profilowanej cegły z ćwierćkolistą wklęsłą zakończoną śmigą. Podobny profil uzyskał podział krzyżowy. Ościeża oraz dno blend pokryto tynkiem cienkowarstwowym. W poszczególnych kwaterach wymalowano motywy oszklenia w ołów. Zastosowano dwa rodzaje „oszklenia” zestawione w obrębie każdej z blend w kompozycję szachownicy. Polega to na tym, że gdy w jednej kwadrze występują czerwone i zielone gomółki, to w kwadrze sąsiedniej są to czerwone i zielone ostrołuczne lancety (rys. 4). Kontury „szybek” obwiedziono szarą farbą, co ma imitować ołowiane kształtki. Takie same, lecz nieco większe blendy odkryto na tej samej elewacji na poziomie drugiego piętra. W kamienicy gotyckiej był to już niższy poziom szczytu, szerokością równy dolnym partiom elewacji. Jedyną ostrołuczną blendę odsłonięto na 1 piętrze, na styku z elewacją kamienicy sąsiedniej Rynek 3. Również tutaj nadproże ukształtowano z cegieł o wklęsłowym profilu. Pozostałe fragmenty ościeża są prostokątne. Dno blendy oraz nadproże pokryto tynkiem cienkowarstwowym. W obrębie blendy wymalowano motyw maswerkowy. Zachowane nieliczne relikty dekoracji malarskiej, w tym fragment rybiego pęcherza o kolorze czerwonym sugeruje, że mógł być to maswerk dwulancetowy z wirującą rozetą. W trakcie prac badawczych odsłonięto także dwa fryzy i relikty gzymsów. Oba fryzy – dolny nad parterem i górny u nasady szczytu, to płyciny cofnięte o 4 cm względem lica fasady, długie niemal na całą szerokość elewacji, szerokie na około 50 cm. Dno płycin pokryte było tynkiem cienkowarstwowym malowanym na czarno, na który to kolor naniesiono białą farbą linearny rysunek. Nikły stopień zachowania tynku nie pozwala na określenie rodzaju kompozycji, jaką tu zastosowano. Nad każdym z fryzów pozostawiono jedną warstwę cegieł, powyżej znajdował się gzyms z cegły o układzie rolkowym, na którym oparto blendy odpowiednio piętra i szczytu. Gzymsy zostały skute, jednakże w niektórych ceglach zachowały się fragmenty skośnego poszuru.

W roku 2002 przystąpiono do remontu elewacji kamienicy Sukiennice 5 zlokalizowanej w we

section they were red and green ogival leaf-shaped pieces (fig. 4). The contours of individual pieces were painted with grey paint, which was to imitate leaded frames. Similar though slightly bigger blind windows were discovered on the same elevation on the second-floor level. In a Gothic tenement house it was a lower level of the gable, equal in width to the lower sections of the elevation. The only ogival blind window was uncovered on the 1<sup>st</sup> floor, at the junction with the elevation of the adjacent tenement house at 3 Rynek. The lintel here was also shaped from bricks with cavetto moulding, while the remaining fragments of the jamb are rectangular. The bottom and the lintel of the blind



Rys 4. Brzeg, Rynek 2, fryzy z motywem maswerkowym oraz dekoracyjna blenda z imitacją oszklenia

Fig. 4. Brzeg, 2 Rynek, friezes with tracery motif and a decorative blind window with imitation of glazing

window were covered with a thin layer of plaster, with tracery motif painted within the panel. The delicate relics of the decoration, including a fragment of a fish bladder painted red, suggests that it might have been a double-lancet tracery with a rosette. During the research, two friezes and relics of cornices were revealed. Both friezes: the lower over the ground floor and the higher at the base of the gable, are panels receded 4 cm deep from the facade surface, stretching almost across the whole elevation, and about 50 cm wide. The bottom of the panels was covered with a thin layer of plaster painted black, on which background a linear sketch was drawn with white paint. The badly preserved

plaster does not allow for identifying the type of composition that had been applied here. Over each frieze one layer of bricks was left, then there was a rolled cornice made of brick on which the blind windows of the first floor and the gable, respectively, were supported. The cornices had been hacked off, but there were fragments of diagonal reinforcement preserved on some bricks.

In 2002, renovating of the elevation of the tenement house at 5 Sukiennice commenced, located in the east part of the central market block. During the work it was discovered that in the southern part of the building there are embedded perfectly preserved walls of a Gothic tenement house erected over two clothier's chambers. The tenement house originally had at least three elevations – the facade facing the east side of the market, southern

wschodniej części bloku śródrynkowego. W trakcie prac odkryto, że w południowej części budynku tkwią świetnie zachowane mury gotyckiej kamienicy wzniesionej nad dwoma komorami sukiennicznymi. Kamienica ta pierwotnie miała przynajmniej trzy elewacje – fasadę zwróconą ku wschodniej stronie rynku, elewację boczną południową, zwróconą ku ulicze Sukiennice i północną, zwróconą ku północnej stronie rynku. Elewacja północna uległa likwidacji wskutek budowy w czasach nowożytnych sąsiednich kamienic – ostatecznie na początku XIX w. trzy kamienice – gotycką i dwie przyległe od północy połączono w jedną całość określoną dzisiaj jako Sukiennice 5. W trakcie prac badawczych i konserwatorskich odsłonięto bogaty wystrój fasady gotyckiej kamienicy. Wiele wskazuje na to, że fasada wschodnia na poziomie obu pięter w ogóle nie miała okien. Na każdej kondygnacji znajdowało się jedynie trzy prostokątne blendy o podziale krzyżowym, podobnych jak w kamienicy Rynek 2, z tą różnicą, że słupek i ślemię mają tu przekrój prostokątny<sup>10</sup>. Spośród sześciu blend niemal w całości zachowały się dwie blendy osi środkowej. Również tutaj zastosowano dekorację malarską na tynku cienkowarstwowym mającą stworzyć pozór okien faktycznych. W dolnych kwaterach wymalowano czarną farbą imitację drewnianych okiennic z okuciami zawiasów zakończonymi trójlistnie, malowanymi białą farbą. W górnych kwaterach wymalowano imitację oszklenia na romb (rys. 5). Ościeża blend oraz pasy wokół nich, szerokie na około 12 cm, pokryto pobiałą wapienną. Fasadę pierwotnie zdobiły dwa fryzy – niższy między piętrami i wyższy u nasady szczytu. Oba mają formę płycin cofniętych 4 cm względem lica fasady,

długich na niemal całą jej szerokość. W znacznym procencie zachował się jedynie fryz międzykondygnacyjny. Zaraz po odsłonięciu jego dno pokrywał szary tynk, na którym wymalowano gotyckim krojem liter sentencję stanowiącą cytat z biblii (rys. 6). W tej formie fryz stanowił element renesansowego wystroju kamienicy, jaki pojawił się tu zapewne w 4 ćw. XVI w. Relikty tego wystroju, złożonego z pasów tynku zatartego na gładko, otaczających pola wypełnione tynkiem rapowanym, zachowały się w wielu miejscach fasady. W obrębie renesansowej

side elevation facing Sukiennice St, and northern facing the north side of the market. The northern elevation was destroyed when the two adjacent tenement houses were built in modern times; finally, at the beginning of the 19<sup>th</sup> century, three tenement houses – the Gothic one and two adjacent on the north side – were combined into one nowadays referred to as 5 Sukiennice. During the research and conservation work, lavish facade ornamentation of the Gothic tenement house was uncovered. Much seems to indicate that the eastern facade did not have any window on either floor level. On each floor there were only three rectangular blind windows with a cross division, similar to those in the tenement house at 2 Rynek, the only difference being that muntin bars were rectangular in cross-section<sup>10</sup>. From the six blind windows, two blind windows of the central axis were preserved almost intact. Decorative painting on a thin layer of plaster was also used here to create the illusion of actual windows. In the lower panels imitations of wooden shutters were painted in black, with hinge fittings ending in a trefoil painted in white. The upper panels were an imitation of rhomboid glazing (fig. 5). The jambs of blind windows and strips



Rys 5. Brzeg, Sukiennice 5, średniowieczna blenda z imitacją oszklenia na romb – górne kwatery blend. Foto A. Peszko  
 Fig 5. Brzeg, 5 Sukiennice, a medieval blind window with imitation of rhomboid glazing – upper panels of the blind window. Photo: A. Peszko

around them, about 12 cm wide, were covered with lime whitewash. The facade was originally decorated by two friezes – the lower between the floors and the higher at the base of the gable. Both were in the form of panels receded by 4cm from the surface of the facade, and stretching almost all the way across it. Only the frieze between the floors was preserved to a considerable degree. After it was revealed, its bottom was covered

with grey plaster on which a biblical quotation was painted in Gothic letters (fig. 6). In this form the frieze constituted an element of the Renaissance decoration of the tenement house, which may have appeared in the last quarter of the 16<sup>th</sup> century. The relics of this ornamentation made from strips of smoothed plaster surrounding panels filled with textured plaster, were preserved in several places on the facade. A test sample was removed within the Renaissance inscription, and an older Gothic frieze was revealed with tracery motifs consisting

inskrypcji wykonano odkrywkę odsłaniając starszy, gotycki fryz o motywach maswerkowych złożonych z trój i czteroliści. Podjęto decyzję o wykonaniu transferu inskrypcji wraz z tynkiem. Dzięki temu zabiegowi uratowano renesansową inskrypcję, odsłaniając tym samym gotycką dekorację maswerkową *in situ*. Transfer wraz z nowym podłożem został przeniesiony i wyeksponowany w holu ratusza. Drugi fryz, u nasady szczytu zachował się fragmentarycznie. Z ocalonych szczątkowych relikwów udało się jednak odczytać jego formę. Była to również dekoracja o motywach maswerkowych, złożona z okrągłych rozet wypełnionych motywem czteroliścia. Podczas prac konserwatorskich przeprowadzonych w 2007 r.

przy elewacji południowej kamienicy Sukiennice 5 odsłonięto wielką połączoną ceglana w wątku jednowozówkowym, wspominane wcześniej ostrołuczne okno oraz gzyms wieńczący, złożony z dwóch warstw cegieł u układzie rolkowym – każda warstwa o ćwierćkolistym profilu wklęsłym. Spoiny gzymsu pomalowano farbą o kolorze ceglonym. Czoło podobnego gzymsu odkryto w północnym, górnym narożniku fasady, co jednoznacznie wskazuje na to, że budynek posiadał również elewację północną. Jej istnienie zdaje się potwierdzać również inna okoliczność. Otóż na poziomie obu pięter fasady nie stwierdzono otworów okiennych; w wielkiej połączony elewacji południowej odkryto tylko jedno niewielkie okienko (rys. 7). W związku z tym nasuwa się wniosek, że doświetlenie wnętrza budynku musiało się odbywać za pośrednictwem okien, które umieszczono w elewacji północnej<sup>11</sup>. W trakcie prac konserwatorskich na elewacji południowej natknięto się również na pozostałość szczytu zachodniego. Zachowała się jego nasada z dwoma warstwami cegieł, wskazującymi na to, że posia-



Rys 6. Brzeg, Sukiennice 5, odsłonięta średnio-wieczna blenda oraz fryz z dekoracyjną, szesnastowieczną inskrypcją. Foto A. Peszko  
 Fig. 6. Brzeg, 5 Sukiennice, a discovered medieval blind window, and a frieze with a decorative 16<sup>th</sup> – century inscription. Photo: A. Peszko

discovered with the already mentioned ogival window, and a crowning cornice made from two layers of bricks – each layer with a cavetto moulding. Cornice joints were painted in brick-red. The head of a similar cornice was discovered in the northern, upper corner of the facade, which clearly indicates that the building also possessed northern elevation. Its existence seems to be confirmed also



Rys 7. Brzeg, Sukiennice 5, elewacje wschodnia i południowa po zakończeniu prac konserwatorskich. Foto A. Peszko  
 Fig. 7. Brzeg, 5 Sukiennice, eastern and southern elevations after conservation work. Photo: A. Peszko

of trefoils and quatrefoils. A decision was made to transfer the plaster with the inscription, thanks to which a Renaissance inscription was saved while a Gothic tracery decoration was uncovered *in situ*. The inscription with its new grounding was transferred and exhibited in the town hall. The other frieze at the base of the gable was only fragmentarily preserved. However, the preserved relics allowed for identifying its form. It was also a decoration with tracery ornaments, consisting of rosettes containing quatrefoil motifs. During the conservation work carried out in 2007, by the southern elevation of the tenement house at 5 Sukiennice a large area of brick face-work with one-stretcher bond was

by another circumstance: there were no window openings found on both floor levels of the facade; only one small window was discovered in the large surface of the southern elevation (fig. 7). Therefore, it seems a logical conclusion that the building interior must have been lit through the windows in the northern elevation<sup>11</sup>. During conservation work on the southern elevation, the remains of western gable were found. Its base was preserved with two layers of bricks, which indicate that it had edges finished with the so called 'cat run'.

In 2006, the authorities of Brzeg were finally persuaded to undertake research work within the above mentioned

dał on krawędzie wykończone tzw. kocim biegiem.

W roku 2006 udało się przekonać władze Brzegu do podjęcia prac badawczych w obrębie wspomnianych, niemal w całości wykwaterowanych kamienic Dzierżonia 10 i 12. Odkryto wówczas znaczne fragmenty gotyckiej fasady, która w ramach jednej kompozycji obejmowała szerokość obu kamienic. Piętro kamienic zdobiły prostokątne blendy w kształcie podobne do tych z kamienicy Rynek 2<sup>12</sup>. Również tu dno blend wypełniono malowaną imitacją oszklenia. W dwóch są to białe i czerwone motywy lancetowe, w jednej ośmiokątne, szare „szybki” z wtopionymi między nie, mniejszymi „szybkami” kwadratowymi o kolorze czerwonym (rys. 8). W trakcie badań odsłonięto również fragmenty dwóch fryzów – jednego nad parterem, drugiego nad 1 piętrem. Dolny fryz złożony był ze skomponowanych w dwóch poziomach maswerkowych motywów cztero i trójliścia. Górny fryz, znacznie szerszy wypełniał maswerkowy motyw z przenikających się arkadek, o „sercowym” wykroju (rys. 9, 10). Na styku obu obecnych elewacji, ponad górnym fryzem natrafiono na ślad kosza, co może sugerować, że wyżej znajdowało się

tenement houses at 10 and 12 Dzierżonia St., the inhabitants of which had been almost completely relocated. Considerable fragments of a Gothic facade were discovered, which stretched across the width of both houses within one composition. The first floor of the two houses was decorated with rectangular blind windows, the shape of which resembled those from the tenement house at 2 Rynek<sup>12</sup>. Here also the bottom of blind windows was painted to imitate glazing. Two windows contain white and red leaf-shaped motifs, one contains octagonal grey “crown glass” with smaller square pieces of red “crown glass” inserted in between (fig. 8). During research fragments of two friezes were also revealed – one over the ground floor, and the other over the first floor. The lower frieze consisted of tracery motifs of trefoil and quatrefoil composed on two levels, while the higher much wider frieze was filled with a tracery motif of overlapping heart-shaped arcades (fig. 9, 10). Where both elevations joined, over the higher frieze, traces of a valley were found which would suggest that a two-gabled top of the Gothic eleva-



Rys 8. Brzeg, Dzierżonia 10, fragment blendy z dekoracją imitującą szklenie. Foto A. Peszko

Fig. 8. Brzeg, 10 Dzierżonia St., fragment of a blind window with the decorative imitation of glazing. Photo: A. Peszko

tenement house at 2 Rynek<sup>12</sup>. Here also the bottom of blind windows was painted to imitate glazing. Two windows contain white and red leaf-shaped motifs, one contains octagonal grey “crown glass” with smaller square pieces of red “crown glass” inserted in between (fig. 8). During research fragments of two friezes were also revealed – one over the ground floor, and the other over the first floor. The lower

frieze consisted of tracery motifs of trefoil and quatrefoil composed on two levels, while the higher much wider frieze was filled with a tracery motif of overlapping heart-shaped arcades (fig. 9, 10). Where both elevations joined, over the higher frieze, traces of a valley were found which would suggest that a two-gabled top of the Gothic eleva-



Rys 9. Brzeg, Dzierżonia 10, fragment dekoracyjnego fryzu.

Foto A. Peszko

Fig. 9. Brzeg, 10 Dzierżonia St., fragment of a decorative frieze.

Photo: A. Peszko



Rys 10. Brzeg, Dzierżonia 10, fragmenty blendy i dekoracyjnego fryzu. Foto A. Peszko

Fig. 10. Brzeg, 10 Dzierżonia St., fragments of blind windows and a decorative frieze.

Photo: A. Peszko

dwuszczytowe zwieńczenie gotyckiej elewacji<sup>13</sup>. Najciekawszym bodajże odkryciem w obrębie badanych elewacji było odnalezienie znacznych połączeń tynku cienkowarstwowego, którym pokryte było całe pierwsze piętro gotyckiej fasady. Na szarym tynku wymalowano cienką, białą linią poziome i pionowe podziały naśladowujące wążek lica z ciosów kamiennych z wyraźnym zaznaczeniem spoin. „Spoiny” z lica ściany przechodzą na wklęsłowy profil ościeży blend malowane w kolorze ciemnoszarym, co dodatkowo podkreślało rzeźbienie fasady (rys. 11).

W obrębie elewacji tylnych omawianych kamienic odsłonięto znaczne połączenia ceglano-licowe w jednowozówkowym wążku, z zendrówkowymi główkami i starannie opracowanymi spoinami. Na odcinku kamienicy Dzierżonia 10 odkryto fragment ostrołucznego otworu drzwiowego o krawędziach z cegły o ćwierćkolistym profilu wklęsłowym. Na poziomie I piętra tej samej elewacji natrafiono na dobrze zachowany ostrołuczny otwór, który mógł być oknem, lub raczej niewielkimi drzwiami dostępnymi przez zewnętrzne schody.

Przy omawianiu wystroju fasad gotyckich kamienic brzeskich, na uwagę zasługuje jeszcze jeden relikwiot średnio-wiecznej architektury. Podczas remontu elewacji kamienicy Rynek 7 w 2000 r., odsłonięto na poziomie I piętra niemal w całości zachowaną blendę zamkniętą łukiem w typie oślego grzbietu. Jej krawędzie mają profil wałka. Tynkowane dno pomalowano na czarno, i na tym tle wymalowano dwulancetowy maswerk roz-budowany zarówno w partii łuku, jak i nad linią parapetu (rys. 12). Ponadto w obrębie tej elewacji, w zwieńczeniu I piętra, natknięto się na ceglana, zębatą rolękę z cegłami układanymi pod kątem 45 stopni.



Rys. 11. Brzeg, ul. Dzierżonia 10, podziały naśladowujące wążek lica z ciosów kamiennych z wyraźnym zaznaczeniem spoin. Foto A. Peszko  
 Fig. 11. Brzeg, 10 Dzierżonia St., divisions imitating the bond in stone-block face-work, with clearly marked joints. Photo: A. Peszko



Rys 12. Brzeg, Rynek 7, blendy z dekoracją maswerkowa zamknięta łukiem z oślim grzbietem. Foto A. Peszko  
 Fig. 12. Brzeg, 7 Rynek, a blind window with tracery decoration, enclosed with a 'donkey back' arch. Photo: A. Peszko

tion might have been above it<sup>13</sup>. The most interesting discovery within the researched elevations was finding considerable areas of thin-layered plaster which covered the whole first floor of the Gothic facade. With a thin white line against grey plaster the horizontal and vertical divisions were painted to imitate the bond of stone-block face-work, with clearly marked joints. The “joints” from the face-work pass onto the cavetto moulding of the blind window jamb painted dark grey, which additionally emphasised sculpturing of the facade (fig. 11)

Within the back elevations of the discussed tenement houses, considerable areas of brick face-work were discovered with one-stretcher bond, with ‘zendrówka’ brick headers and carefully worked joints. At 10 Dzierżonia St. a fragment of ogival door opening was discovered with edges made from brick with cavetto profile. On the first floor level of the same elevation, a well preserved ogival opening was found which might have been a window or a small door accessible by outside stairs.

When discussing the facade ornamentation of Gothic tenement houses, one more relic of medieval architecture is worth mentioning. While renovating the elevation of the tenement house at 7 Rynek in 2000, an almost perfectly preserved blind window enclosed with an arch in the shape of ‘donkey’s back’ was found at the first floor level. Its edges were roll-shaped, and the plastered bottom painted black as background for double leaf-shaped tracery extending along the arch and over the line of the window sill (fig. 12). Moreover, a serrated layer of bricks laid at the angle of 45 degrees as found within the elevation at the crown of the first floor.



Zabudowa mieszkalna w Brzegu przez setki lat realizowana była w przeważającej części w obrębie działek lokacyjnych o zbliżonej wielkości. Pojęciem kamienicy mieszczańskiej zwykło się określać budynki stawiane od frontu parcel, pełniące funkcję mieszkalną, często również produkcyjną i magazynową. Kamienice tego typu miały zbliżone gabaryty, a także podobny układ funkcjonalny. Od początku w mieście wyznaczone były również tereny przeznaczone pod innego typu zabudowę, na przykład sakralną lub handlową. Wskutek przemian społeczno-gospodarczych dochodziło niekiedy do zaniku pewnych funkcji, wówczas sposób zagospodarowania danego terenu ulegał zmianie. Takich obszarów w Brzegu możemy wymienić kilka. Dobrym przykładem jest dawny klasztor franciszkański. Pomiedzy 1524 a 1526 r. Brzeg staje się miastem protestanckim. W 1527 r. brzeski klasztor franciszkanów opuszcza ostatni zakonnik. Kościół wraz z klasztorem przejęły wówczas władze miejskie. Kościół adaptowany został na arsenał. Zabudowania klasztorne częściowo rozebrano. Część nie poddaną rozbiórkom przekształcono w pomieszczenia magazynowe oraz w kamienice, które po dzień dzisiejszy kryją wczesnogotyckie wnętrza pofranciszkańskiego klasztoru. Rozplanowanie tych kamienic siłą rzeczy różniło się od standardowej kamienicy w innych rejonach miasta.

Z punktu widzenia genezy powstania brzeskiej kamienicy mieszczańskiej na uwagę zasługuje także nie istniejąca już dziś grupa kamienic przy Placu Moniuszki (dawniej Stiftplatz). Rozebrane po 1945 r. kamienice zajmowały przestrzeń w północno-zachodniej części dzisiejszej ulicy Chopina, naprzeciw budynku Gimnazjum Piastowskiego. Pierwotnie były domami należącymi do kolegiaty św. Jadwigi, ufundowanej przy zamku książęcym w 2 poł. XIV w. Zajmowały niemal całą powierzchnię działki i nie posiadały typowego dla kamienicy zaplecza. Przeprowadzone dotychczas prace archeologiczne doprowadziły do odkrycia gotyckich piwnic wspomnianych obiektów (rys. 13).

Kolejnym przykładem może być zespół domów w bloku śródrynkowym. Przestrzeń pośrodku rynku w momencie lokacji wyznaczona została przede wszystkim dla celów handlowych.

For hundreds of years, housing development in Brzeg was mostly realised within the charter plots of similar size. The term *burgess tenement house* used to refer to buildings located at the front of the plot, serving residential functions, but also used for production and storage. Buildings of that type were of similar size and functional layout. From the very beginning there were areas in the town clearly destined for another type of building development, for instance church or trade-oriented. Because of socio-economic changes some functions sometimes disappeared, and then the way in which a given area of land was developed changed as well. Several such areas in Brzeg could be mentioned, and a good example is the old Franciscan monastery. Between 1524 and 1526, Brzeg became a Protestant city, and in 1527 the last monk abandoned the Franciscan monastery. The church and the monastery were then taken over by the municipal authorities. The church was converted into an arsenal, while the monastery buildings were partially demolished. The part which was not demolished, was converted into storage rooms and tenement houses which hide early – Gothic interiors of a Franciscan monastery up to this day. The layout of such tenement houses was naturally different from a standard tenement house in other areas of the city.

From the perspective of the origins of the *burgess tenement house* in Brzeg, a no-longer existing cluster of tenement houses at Plac Moniuszki (formerly *Stifplatz*) deserves mentioning. Demolished after 1945, the tenement houses covered the area round the north-western section of the present-day Chopin St., opposite the building of Gimnazjum Piastowskie. Originally they were houses owned by the collegiate church of St. Hedwig, founded nearby the duke's castle in the second half of the 14<sup>th</sup> century. They covered almost the whole area of the plot and did not have the backrooms so typical for such a house. The archaeological excavations conducted so far, led to discovering Gothic cellars of the above mentioned objects (fig. 13).

The complex of houses in the central market block can be used as the next example. The area inside the market square was meant to be used primarily for trading since the moment when the



Rys 13. Brzeg, Plac Moniuszki, średniowieczna piwnica zabudowań kolegiaty św. Jadwigi. Foto A. Peszko  
 Fig. 13. Brzeg, Plac Moniuszki, a medieval cellar found in the buildings of the collegiate church of St. Hedwig. Photo: A. Peszko

Tu wzniesiono budynki sukiennic podzielone na komory (sklepy) oraz ciągi kramów i bud. W XIV w pojawił się ratusz, który z biegiem czasu zajął całą zachodnią część bloku. Komory i kramy we wschodniej części nadbudowano natomiast domami, których pierwotna powierzchnia zabudowy niekiedy nie przekraczała 25 m<sup>2</sup>. Kamieniczki te przypominały ściśle przylegające do siebie wieże i siłą rzeczy nie posiadały typowego dla kamienicy mieszczańskiej zaplecza w postaci podwórka i zabudowy gospodarczej. Takim przykładem jest omówiona wyżej kamienica Sukiennice 5, która powstała w wyniku nadbudowy dwóch komór sukienniczych. Nie wiadomo jednak, czy dodane piętra od początku miały funkcję mieszkalną, czy może raczej magazynową.

Jeszcze inną genezę ma kamienica stojąca u zbiegu ul. Długiej i Jabłkowej (ul. Jabłkowa 6). W maju 2007 roku skuto zagrażający przechodniom tynk z części południowej elewacji domu. Na poziomie obejmującym całe 1 piętro ukazał się dwuwozówkowy, trzynastowieczny watek ceglany. Wstępna analiza rozplanowania budynku pozwoliła stwierdzić, że miał on pierwotnie jednoprzestrzenny plan prostokąta (w proporcjach boków zbliżonego raczej do kwadratu) o wymiarach 11 x 9 m. Według najstarszego widoku Brzegu z roku 1536, a także według jednego z widoków F.B. Wernhera w miejscu tym do połowy XVIII w. stał wielokondygnacyjny budynek o cechach wieży, przykryty wysokim dachem czterospadowym. Niewątpliwie musiała być to budowla o charakterze mieszkalno-obronnym (wieża mieszkalna) zbudowana jeszcze w XIII w. w środku miasta, pośród parcel mieszczańskich. Górne kondygnacje wieży zniesiono około 1750 r., a w końcu XIX w. obiekt gruntownie przebudowano, zacierając w dużym stopniu pierwotne cechy budowli.

W kwestii nietypowej historii, odbiegającej od dziejów rozwoju przeciętnej kamienicy, należałoby jeszcze zwrócić uwagę na niepozorny dom przy ul. Długiej 61. W roku 1797 brzeska gmina żydowska wykupiła w tym miejscu mieszczańską parcelę i w ciągu dwóch następnych lat wzniosła na niej wczesnoklasycystyczną synagogę<sup>14</sup>. Świątynia funkcjonowała do momentu sławnej „Nocy Kryształowej”, kiedy to zdemolowano ją, a w następnych latach adaptowano na dom<sup>15</sup>. Obecnie kamienica, z częściowo zachowanym klasycystycznym detalem, w niczym nie zdradza swej pierwotnej funkcji.

Niniejszy artykuł, w skrócie omawiający rezultaty badań nad zachowaną substancją brzeskich kamienic, ma na celu zasygnalizowanie potrzeby podjęcia w najbliższej przyszłości kompleksowych, systematycznych i profesjonalnych prac badawczych. Powinny one uwzględniać zarówno samą substancję zabytkową, badania archeologiczne, jak również

charter was granted. Here the cloth hall building was erected, divided into chambers (shops) and strings of market stalls. In the 14<sup>th</sup> century, the town hall was erected which, gradually, took over the whole western section of the block. Chambers and stalls in the eastern part were built over with houses, whose original building area did not exceed 25m<sup>2</sup>. These tenement houses resembled close-fitting towers and, naturally, did not possess the backyard and outbuildings, so typical for a burgess house. The above mentioned tenement house at 5 Sukiennice which was created as a result of adding a superstructure over two clothier's chambers. It is not known, however, whether the initial function of the added floors was to be residential or merely storage.

The tenement house located on the corner of Długa and Jabłkowa Streets (6 Jabłkowa St.) has yet another origin. In May 2007, the plaster on the southern elevation, which might have posed a threat to passers-by, was hacked off. At the level of the first floor and stretching across its entire width a 13<sup>th</sup>-century two-stretcher brick bond was uncovered. The initial analysis of the building layout allowed for concluding that it originally had a one-dimensional plan of a rectangle (though resembling a square in its proportions) measuring 11 x 9 m. According to the oldest panorama of Brzeg, from 1536, as well as one of the views by F. B. Wernher, a multi-storey tower-like building covered with a tall hipped roof stood in this place until the 18<sup>th</sup> century. It must have been a residential as well as defensive building (a dwelling tower), erected in the 13<sup>th</sup> century in the city centre, among burgesses' plots of land. The upper storeys of the tower must have been demolished about 1750, and at the end of the 19<sup>th</sup> century it must have been completely refurbished which largely caused the original features to become obliterated.

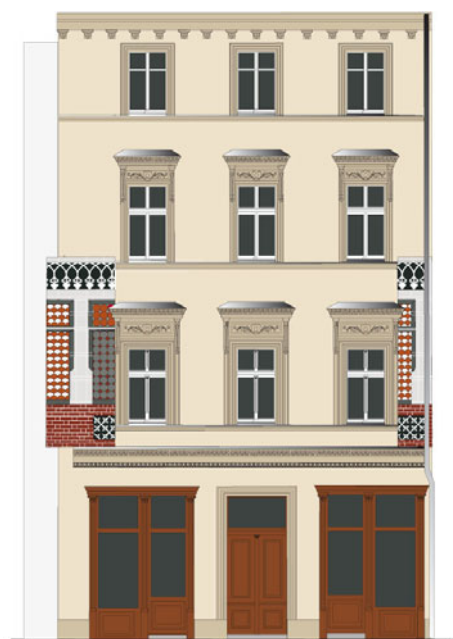
As far as unusual history is concerned, vastly different from the history of an ordinary tenement house, one should mention the inconspicuous house at 61 Długa St. In 1767, the Jewish community in Brzeg purchased the building plot there, and within the next two years had an early Classicist synagogue erected there<sup>14</sup>. The temple functioned until the infamous "Crystal Night", when it was completely wrecked, and later on it was converted into a house<sup>15</sup>. Nowadays, the tenement house with partially preserved Classicist detail in no way reveals its original function.

This article, briefly discussing the results of research on the preserved historic substance of the tenement houses in Brzeg, is to signal that it necessary for complex, systematic and professional research work to be carried out in the near future. The

gruntowną kwerendę archiwalną. Rezultaty tych badań powinny stać się podstawą dla planowej rewitalizacji brzeskiej starówki. Zakładając, że w najbliższych latach uda się uruchomić jakiś program badawczo-konserwatorski dla brzeskiego śródmieścia, powinien on zakładać wyeksponowanie najcenniejszych relikwów, które uda się odsonić w trakcie prac badawczych. Dotyczy to zwłaszcza pozostałości gotyckich, które umiejętnie wkomponowane w dziewiętnasto i dwudziestowieczne elewacje stanowiąc będą dodatkowy walor estetyczny, a także poglądowy i dydaktyczny. Program taki z góry powinien wykluczyć wyłącznie technokratyczne podejście do zachowanej substancji zabytkowej, czemu sprzyjają obecnie istniejące przepisy prawa budowlanego (i nie tylko), a także postawy i opinie wielu osób (w myśl zasady „rozebrać rudery i budować na nowo”). Musi on być starannie wyważonym kompromisem między postulatami konserwatorskimi, możliwościami inwestorów i szeroko rozumianymi wymogami współczesności.

work should encompass the historic substance itself, archeological research, as well as a thorough archival research, the results of which should become the basis for a methodical revitalisation of the old town in Brzeg. Assuming that a research – conservatory programme for the city centre in Brzeg could be launched within the next few years, its main aim ought to be exhibiting the most precious relics discovered during the research work. It refers particularly to Gothic remains which, skilfully incorporated into the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup>-century elevations will be of additional esthetic, visual and didactic value. Such a programme should exclude in advance the purely technocratic approach to the preserved historic substance, which is encouraged (and not only) by the currently existing building regulations, and the attitudes and opinions of many people (representing the rule “demolish the ruins and build from scratch”). It should be a well balanced compromise between conservators’ demands, investors’ possibilities and widely understood modern requirements.

*translation Violetta Marzec*



Rys. 14. Propozycja ekspozycji gotyckich fragmentów w elewacji kamienicy przy ul. Dzierżonia 10 (projekt J. Skarbek) oraz widok na blok śródrzynekowy ze wschodnią i południową elewacją sukienic po pracach konserwatorskich (foto. A. Peszko)  
 Fig. 14. Suggestion of displaying the Gothic fragments in the elevation of the tenement house at 10 Dzierżonia St. (designed by J. Skarbek) and a view of the central market block with the eastern and southern elevation of the cloth hall after conservation work (Photo.: A. Peszko)

## Literatura • References

- [1] Burnita J., Lasota C., Skarbek J., Janczewski P., *Wstępne wyniki badań architektonicznych kamienicy przy ul. Dzierżonia nr 12 w Brzegu i odkrytych w wykopie relikwów zabudowy tylnej działki*, mps. Wrocław 2007.
- [2] Dziewulski W., Golachowski S., *Brzeg. Studia z historii budowy miast polskich*, Warszawa 1957.
- [3] Kubów P., *Brzeg doby feudalnej w świetle badań archeologicznych przeprowadzonych w latach 1966-1966*. In: *Szkice brzeskie*, 36-38, Opole 1981.

- [4] Lasota C., Skarbek J., Janczewski P., *Wyniki badań architektonicznych kamienicy Dzierżonia 10 w Brzegu i odkrytych w wykopie reliktów zabudowy tylnej działki*, mps. Wrocław 2007.
- [5] Peszko A., *Ślady, świadectwa brzeskiej przeszłości*, C2, Wrocław 2005.
- [6] Peszko A. *Wieże wiary. Rzecz o stosunkach wyznaniowych w Brzegu od II połowy XVIII do końca XIX wieku*. Wydawnictwo Świętego Krzyża, Brzeg 2008.
- [7] Pudelko J., *Działka lokacyjna w strukturze przestrzennej średniowiecznych miast śląskich XIII wieku*. In: *Kwartalnik Architektury i Urbanistyki*, 9 (2), 1964

\* Pracownia dokumentacji i konserwacji zabytków, Brzeg, Polska

\*\* Urząd Miasta Brzeg, Polska

<sup>1</sup> J. Pudelko, Działka lokacyjna w strukturze przestrzennej średniowiecznych miast śląskich XIII wieku, *Kwartalnik Architektury i Urbanistyki*, t. IX, 1964, z. 2.

<sup>2</sup> P. Kubów, Brzeg doby feudalnej w świetle badań archeologicznych przeprowadzonych w latach 1966-1966 [w:] *Szkice brzeskie*, Opole 1981, s. 36-38.

<sup>3</sup> W. Dziewulski, S. Golachowski, Brzeg [w:] *Studia z historii budowy miast polskich*. Warszawa 1957, s. 55.

<sup>4</sup> Prace badawcze przeprowadził zespół w składzie C. Lasota, Jerzy Skarbek, P. Janczewski. Wyniki przedstawiono w formie opracowania „Wyniki badań architektonicznych kamienicy Dzierżonia 10 w Brzegu i odkrytych w wykopie reliktów zabudowy tylnej działki”

<sup>5</sup> O istnieniu elewacji wschodniej świadczą m.in.: 1. zabrudzenia charakterystyczne dla muru wystawionego na działanie czynników atmosferycznych, 2. sposób opracowania lica muru, charakterystyczny dla gotyckich elewacji z terenu Brzegu.

<sup>6</sup> W ostatniej gotyckiej fazie mogło dojść jednakże do podziału na dwie niezależne kamienice, co zdają się potwierdzać niezależne już tylne elewacje.

<sup>7</sup> Średniowieczne otwory drzwiowe między obu, obecnie niezależnymi kamienicami stwierdzono w trakcie badań na poziomie piwnic i 1 piętra. Natomiast zamurowany otwór drzwiowy łączący partery obu kamienic widział około roku 1996, w trakcie remontu znajdującego się tu sklepu, jeden z autorów niniejszego opracowania.

<sup>8</sup> J. Burnita, C. Lasota, J. Skarbek, Wstępne wyniki badań architektonicznych kamienicy przy ul. Dzierżonia nr 12 w Brzegu i odkrytych w wykopie reliktów zabudowy tylnej działki, mps., Wrocław 2007

<sup>9</sup> Sklepienie, wczesnogotyckie wewnątrz parteru występuje w przyziemiu kamienicy pl. Młynów 7, natomiast fragment sklepienia w kamienicy pl. Młynów 8. W obu przypadkach są to pozostałości zachodniego skrzydła klasztoru franciszkański. Zarysy sklepienia krzyżowego (być może krzyżowo-żebrowego) zachowały się na reliktach ścian nieistniejącej kamienicy, która do lat 60 XX w. sąsiadowała z kamienicą Dzierżonia 5.

<sup>10</sup> Nie można wykluczyć, że któraś z kwater blend zachowanych fragmentarycznie mogła stanowić okno faktyczne, jak to ma miejsce na przykład w blendach wieży Bramy Ziębickiej w Nysie, czy w blendach fasady ratusza w Środzie.

<sup>11</sup> Nie można wykluczyć, że w elewacji południowej znajdowały się również inne okna oprócz odkrytego, ostrołucznego. Mogły się one znajdować w miejscu istniejących obecnie okien nowożytnych o łuku odcinkowym. Te przesunięte są na zachodni odcinek elewacji i, gdyby nawet w ich miejscu znajdowały się okna wcześniejsze, to i tak ich ilość byłaby daleko niewystarczająca dla oświetlenia całego wnętrza budynku.

<sup>12</sup> Odkryto fragmenty trzech blend, a łącznie sześciu kwater.

<sup>1</sup> J. Pudelko, Chartered town building plot in the structure of the medieval towns in Silesia in the 13th century. *Kwartalnik Architektury i Urbanistyki*, vol. IX, 1964, z.2

<sup>2</sup> P. Kubów, Brzeg of the feudal era in the light of archeological excavations conducted in the years 1966 – 1966 [in:] *Szkice brzeskie*, Opole 1981, pp. 36 – 38.

<sup>3</sup> W. Dziewulski, S. Golachowski, Brzeg [in:] *Studia z historii budowy miast polskich*. Warszawa 1957, p. 55

<sup>4</sup> The research was conducted by the team including C. Lasota, Jerzy Skarbek, P. Janczewski. Results were presented in the form of a study entitled: “Results of architectonic research in the tenement house at 10 Dzierżonia Street in Brzeg and the building relics from the backyard plot discovered in the excavation.”

<sup>5</sup> The presence of eastern elevation is confirmed by e.g. 1. smudges of dirt characteristic for walls exposed to the elements, 2. the way in which the wall face had been made, characteristic for elevations from the area of Brzeg.

<sup>6</sup> During the last Gothic stage, the division into two separate tenement houses might have been made, which seems to be confirmed by the separate back elevations.

<sup>7</sup> Medieval door openings between the two, nowadays separate, tenement houses were discovered during the research of the cellars and the first floor. However, the walled-in door opening, joining the ground floor level of both tenement houses, was seen in 1996 during the renovation of the shop located there by one of the authors of this study.

<sup>8</sup> J. Burnita, C. Lasota, J. Skarbek, Initial results of architectonic research of the tenement house at 12 Dzierżonia St. in Brzeg, and the building development relics discovered during the excavation of the backyard plot, mps., Wrocław 2007.

<sup>9</sup> A vaulted, early-Gothic interior on the ground floor was found in the basement of a tenement house at 7 Plac Młynów, and a fragment of a vault at 8 Plac Młynów. In both cases they are the remains of the western wing of the Franciscan Monastery. The outline of a groin vault (or perhaps a stellar vault) was preserved in relics on the walls of the no longer existing tenement house which was adjacent to 5 Dzierżonia St. until the 1960s.

<sup>10</sup> It cannot be excluded, that any of the fragmentarily preserved panels could have been a real window, as can be seen in the blind windows of the Ziębicka Gate in Nysa, or of the town hall façade in Środa.

<sup>11</sup> The possibility that there were other windows, besides the discovered ogival one, in the southern elevation cannot be excluded. They may have been located in the same places as the modern windows with segmental arches. The latter were moved towards the western section of the elevation, but even if there had been previous windows in those places, their number would have been insufficient to light the whole interior of the building.

<sup>12</sup> Fragments of three blind windows, altogether six panels were discovered.

<sup>13</sup> Dwuszczytowe, a nawet trójszczytowe zwieńczenia elewacji znany w Brzegu z kilku zachowanych nowożytnych fasad (Chopina 1, Długa 43, pl. Młynów 8), a także z bogatej ikonografii miasta, która świadczy o powszechności tego rozwiązania w czasach nowożytnych. Odkrycie reliktyw ewentualnego kosza między szczytami na ul. Dzierżonia 10-12, świadczyłoby o tym, że tradycja dwuszczytowych zwieńczeń kamienic brzeskich sięga gotyku. Podobne rozwiązanie już w okresie średniowiecza mogło występować także w szerokiej, gotyckiej fasadzie, obejmującej obecnie dwie kamienice Dzierżonia 2 i 4. W trakcie prowadzonego w bieżącym roku remontu fasady Dzierżonia 4 stwierdzono, że gotycki wątek na 1 piętrze przechodzi płynnie na sąsiednią kamienicę Dzierżonia 2. Na osi wyznaczającej dokładnie styk obu elewacji natrafiono ponadto na pozostałości ostrołucznej blendy. Dno blendy było pokryte tynkiem cienkowarstwowym malowanym na czarno. Zachowały się ponadto nikielne ślady białego rysunku. Kamienica gotycka Dzierżonia 2-4 mogła być zatem równie szeroka jak w przypadku Dzierżonia 10-12. Przy takiej szerokości, w jednym i drugim przypadku, dach musiałby być bardzo wysoki. Aby tego uniknąć należałoby zastosować układ kalenicowy, lub kamienicę przykryć dwoma mniejszym, równoległymi dachami, co powszechnie stosowano w czasach nowożytnych, nawet w przypadku znacznie węższych kamienic. Dach dwukalenicowy implikował zwykle dwuszczytowe zwieńczenie elewacji. Na marginesie należy również dodać, że odkrycie przynajmniej dwóch tak szerokich budynków średniowiecznych może stanowić potwierdzenie dla tezy J. Pudełki, w myśl której pierwotne parcele były dwukrotnie szersze, od tych jakie utrwaliły się po późniejszych podziałach.

<sup>14</sup> A. Peszko, *Wieże wiary. Rzecz o stosunkach wyznaniowych w Brzegu od II połowy XVIII do końca XIX wieku*, Brzeg 2008, s. 71

<sup>15</sup> A. Peszko, *Ślady, świadectwa brzeskiej przeszłości*, Wrocław 2005, s. 37-39

<sup>13</sup> The elevation tops with two or even three gables are known in Brzeg from a few preserved modern facades (at 1 Chopin St., 43 Długa St., 8 Plac Młynów), as well as from the rich iconography of the town which bears evidence that the design was very popular in modern times. The discovery of a possible valley between the gables at 10 – 12 Dzierżonia St. would have confirmed that the tradition of two-gabled tops of the tenement houses in Brzeg dates back to Gothic. During the medieval period, a similar solution could already have existed in the wide Gothic façade, encompassing now both tenement houses at 2 and 4 Dzierżonia St. During the renovation of the façade at 4 Dzierżonia St. conducted this year, it was found out that the Gothic bond on the 1<sup>st</sup> floor smoothly passes onto the adjacent house at 2 Dzierżonia St. Along the axis where the two elevations joined, the remains of an ogival blind window were found, the bottom of which was covered with a thin layer of plaster painted black. There were also some faint traces of white drawing preserved there. The Gothic tenement house at 2 – 4 Dzierżonia St. may have been equally wide as the one at 10 – 12 Dzierżonia St. Because of such width, in both cases, the roof must have been very tall. To avoid that, the ridge roof should have been used, or the building could have been covered with two smaller parallel roofs, which was commonly used in modern times even in the case of much narrower tenement houses. A double-ridge roof usually implied two gables topping the elevation. It should also be added that the discovery of at least two such wide medieval buildings could serve as confirmation of the thesis by J. Pudełko according to whom the original plots were twice as wide as those established after later divisions.

<sup>14</sup> A. Peszko, *Towers of Faith. Religious relations in Brzeg since the 2<sup>nd</sup> half of the 18<sup>th</sup> century until the end of the 19<sup>th</sup> century*, Brzeg 2008, p.71.

<sup>15</sup> A. Peszko, *Traces, testimony of the past of Brzeg*, Wrocław 2005, pp. 37 – 39.

## Streszczenie

W latach 1998-2009 w Brzegu (województwo opolskie) prowadzone były prace remontowe przy kamienicach położonych w zabytkowym centrum miasta. Podczas prac na elewacjach kamienic odnaleziono wiele gotyckich detali architektonicznych. Artykuł omawia najciekawsze przykłady charakterystycznych dla Brzegu średniowiecznych dekoracji architektonicznych mieszczańskich kamienic. Przedstawia także genezę oraz kolejne etapy rozwoju zabudowy działki lokacyjnej na przykładzie dwóch kamienic oraz ich oficyn, zlokalizowanych w Brzegu przy ul. Dzierżonia 10 i 12, zajmujących powierzchnię pierwotnej, średniowiecznej działki lokacyjnej.

## Abstract

In the years 1998-2009, repair work was conducted in tenement houses located in the historic city centre in Brzeg (Opole Voivodeship). While carrying out work on the tenement house elevations, numerous Gothic architectonic details were discovered. This article presents the most interesting examples of medieval architectonic decorations of burgher tenement houses, characteristic for Brzeg. It also described the origin and stages of building development of a building plot in a chartered town, on the example of two tenement houses and their outbuildings located at 10 and 12 Dzierżonia Street in Brzeg, and covering the area of an original medieval chartered town building plot.

Marzena Lipiec\*, Beata Ogrodnik\*  
Małgorzata Sieniawska\*, Jan Lech Zioberski\*\*

## Konstrukcje szklane w ekspozycjach elementów obiektów zabytkowych – przykłady krajowe

## Glass constructions in exposition of elements of antique objects – domestic examples

### 1. Wprowadzenie

Tematem, z którym nader często spotykamy się podczas prowadzenia prac remontowych w budynkach zabytkowych są ujawniające się – najczęściej w trakcie realizacji, rzadziej na etapie prac projektowych – ciekawe elementy godne wyeksponowania. Tryb postępowania z odkrytymi relikami zależy od wielu zróżnicowanych czynników i jest sprawą indywidualną. Rozpatruje się ich stan zachowania, wartość artystyczną lub historyczną, wytyczne konserwatorskie, jak i umiejscowienie danego elementu w obiekcie, ewentualne kolizje z przewidywaną funkcją, możliwość przeniesienia i wtórnego wykorzystania w obiekcie. Nie bez znaczenia jest świadomość inwestora i gotowość poniesienia przezeń dodatkowych, nieprzewidzianych kosztów związanych z ewentualną częściową ekspozycją reliktu. O alternatywie eksponowania lub jedynie udokumentowania i ponownego zasłonięcia (a w krańcowych przypadkach usunięcia) odkrytych relików decyduje, choć w różnym stopniu, zarówno czynnik merytoryczny, technologiczny oraz ekonomiczny.

Od pewnego czasu jednym z najpopularniejszych sposobów ekspozycji interesujących elementów budynków jest zastosowanie szkła, które ze względu na swoją neutralność jest bardzo dobrym materiałem komponującym się z każdą fazą stylową obiektu. Pojawienie się stosunkowo niedawno na naszym rynku możliwości technologicznych, związanych z zastosowaniem zróżnicowanych konstrukcji szklanych, pozwala na rozwią-

### 1. Introduction

The subject which we most often meet while carrying out redecorating works in antique buildings are interesting elements which deserve exhibiting, and which come out most often during the realization of works and less frequently at the stage of designing works. The mode of proceeding with newly discovered relicts depends on variety of diverse factors and is an individual matter. Their condition of preservation, artistic or historical values, conservator's directives, the location of the given element in the object, possible conflicts with the foreseen function, possibility of transferring and secondary utilization thereof in the object are to be considered. Investor's consciousness and their readiness to bear additional, unforeseen costs connected with possible partial exposition of the relict are not without the meaning here. It is equally the content-related, technological and economic aspect that decides to various extent about the alternative of exhibiting or only making documentation and again covering (and in extreme cases removing) of such uncovered relicts.

For some time application of glass, which due to its neutral character makes a very good material, composing with any stylistic phase of the object, has been one of the most popular ways of exposing interesting structural constituent of the buildings. The fact that quite recently new technological options have appeared on our market, connected with the use diverse glass constructions,

zanie wielu problemów zarówno ekspozycyjnych, jak i funkcjonalnych.

Przedstawione w artykule rozwiązania ilustrują dwa ciekawe przykłady wykorzystania szklanej posadzki jako sposobu wyeksponowania odsłoniętych elementów w formie „świadków”.

## 2. Informacje o obiekcie

### 2.1. Kamienica Bonerów

Pierwszym z przedstawionych obiektów jest wielofazowa, na zrębach średniowiecznych, przebudowana w renesansie i baroku kamienica bankierskiego rodu Bonerów na wrocławskim Rynku (Rynek 6, zwana „Kamienicą pod Złotym Słońcem”). W pomieszczeniach na I piętrze podczas prac remontowych w początku lat 80. XX w., po usunięciu zasypek, pod poziomem posadzek odkryto na ścianach wewnętrznych, w pachach sklepień, dekorację malarską z motywami heraldycznymi. Ze względu na problemy technologiczne i finansowe sporządzono dokumentację znaleziska, dokonano jego technicznej konserwacji i zasłonięto nowymi warstwami posadzkowymi w oczekiwaniu na „lepsze czasy” (rys. 1).

Czasy te nadeszły w trakcie prowadzonych obecnie (od 2007 roku) prac adaptacyjnych budynku dla potrzeb zbiorów Ossolineum, przy niemałym zaangażowaniu finansowym Gminy Wrocław.

Zgodnie z założeniami konserwatorskimi i projektowymi odkryte ślady poszczególnych faz budowy mają pozostać odsłonięte, a po ponownym usunięciu warstw posadzkowych polichromia przewidziana jest do ekspozycji.

### 2.2. Kancelaria Premiera Rady Ministrów

Drugim przykładem, o zupełnie innym charakterze jest nowo odsłonięta klatka schodowa w westybule Kancelarii Prezesa Rady Ministrów przy al. Ujazdowskich w Warszawie. Budynek ten powstał w latach 1900-1903 według projektu Wiktora Junoszy-Piotrowskiego, w stylu neoklasycyzyzm, zwieńczony od frontu kopułą nad wejściem głównym. W 1926 roku rozpoczął się remont budynku, który nadał mu kształt litery E,

enables to solve many problems both of expositional and functional nature.

The solutions presented in the paper illustrate two interesting examples of utilization of glass floor as the way of exhibiting of uncovered elements in the form of ‘historical witness’.

## 2. Information about the object

### 2.1. The Boners' House

The first of the introduced objects is the apartment house formerly owned by banker's family Boner in Wrocław situated at the Town Square (Town Square 6, called „The House under the Gold Sun”). The building is multi-phase, raised on medieval framework, rebuilt in the renaissance and the baroque. In the rooms on the first floor, during redecorating works in the beginning of the 80<sup>th</sup> of XX century, it was discovered after the removal of the backfill that under the level of floors, on the internal walls, in the haunches, there are painted decoration with heraldic motives. Due to technological and financial problems, only technical documentation of the discovery was made, it was subject to technical preservation and then covered back with new floor layers in wait for ‘better times’ (fig. 1).

Such times have come, during the works that have been carried out now (since 2007) in order to have the building adapted for the needs of Ossolineum collection, with substantial financial commitment of The Wrocław commune. In accordance with conservator's and designer's guidelines the discovered traces of the individual phases of building's construction are to

remain uncovered, and the polychromy is to be provided for exposition after removal of the floor shells.

### 2.2. The Prime Minister's Office

The second example, of completely different character is a newly uncovered staircase in the vestibule of Prime Minister's Office, at Ujazdowskie Alleys in Warsaw. This building came into being in years 1900-1903 according to the design by Wiktor Junosza-Piotrowski, in the neoclassical style, topped from the front with a dome over the main entrance. In 1926 a repair of the building was started, the result of the repair is the shape of the



Rys. 1. Odkrytki gotyckich tynków i dekoracji malarskich  
Fig. 1. Uncovered Gothic plasters and painted decorations

zachowany do dziś. Przebudowany gmach przejął na swoją siedzibę Generalny Inspektorat Sił Zbrojnych, na którego czele stał marszałek J. Piłsudski.

Kolejną przebudowę przyniósł rok 1948, z przeznaczeniem na siedzibę Rady Państwa. Z tego zapewne czasu pochodzi obecny hol główny i klatka schodowa prowadząca na I piętro.

W trakcie niedawnego remontu (2008 r.) pod poziomem westybulu odkryto wcześniejszą klatkę schodową, zapewne związaną z fazą budowy z 1926 r. (rys. 2). Ze

względu na usytuowanie odkrytych schodów i ich kolizję z zasadniczą funkcją pomieszczenia, wytyczne Stołecznego Konserwatora Zabytków początkowo zakładały jedynie udokumentowanie odkrycia, bez konieczności jego ekspozycji. Jednakże po całkowitym odsłonięciu schodów i posadzki i stwierdzeniu, że obiekt ten

jest prawie kompletny i zachowany w bardzo dobrym stanie, zaczęto poszukiwać rozwiązania, które pozwoliłoby na jego wyeksponowanie bez uszczerbku dla funkcji komunikacyjnej holu i klatki schodowej. Takim rozwiązaniem było przyjęcie wykonania szklanego przekrycia – szklanej podłogi leżącej na szklanych belkach-żebkach.

### 3. Zakres prac projektowych

Przy projektowaniu tego typu ekspozycji, oprócz rozwiązań statyczno-wytrzymałościowych, należy rozwiązać takie zagadnienia, jak:

- zakres i forma ekspozycji,
- program prac konserwatorskich,
- oświetlenie/installacja elektryczna,
- wentylacja,
- automatyka, np. czujniki wilgoci,
- zapewnienie możliwości serwisowania,
- technologia/możliwości wykonania/dostępność,
- realizacja/możliwości organizacji i sposób montażu.

Projektowanie miało proces sekwencyjny – przebiegający wg diagramu (rys. 3) i w efekcie do dalszych prac projektowych i realizacji przyjęto propozycję oznaczoną jako KONCEPCJA 5A.

Przyjęto podział podłogi na poszczególne tafle jak na rys. 4. Podział ten, z punktu widzenia

letter E which the building keeps till today. The rebuilt edifice was taken over by General Inspectorate of the Army for its seat; the head of the institution was marshal J. Piłsudski.

The year 1948 brought next reconstruction of the building, this time with destination for the seat of the State Council. It is most likely then, when the present main hall and the staircase leading to the first floor originated.

During a recent repair (2008) under the level of the vestibule an earlier constructed staircase, probably



Rys. 2. Odkryte schody w kancelarii premiera  
Fig. 2. The uncovered stairs at the Prime Minister's Office

connected with the construction phase of the building in 1926, was discovered (fig. 2). Because of location of the discovered staircase and its conflict with the principal function of the room, the directives issued by the Capital Conservator of Relics initially assumed only to make documentary evidence of the discovery, without the necessity of exposition thereof. Yet

after total uncovering of the staircase and the floor and finding out that this object is almost complete and remained in very good condition, seeking of possible solutions which would allow to exhibit it without damage for the communication function of the hall and staircase began. Such a solution proved to be the decision to make a glass covering – a glass floor resting on glass beams-fins.

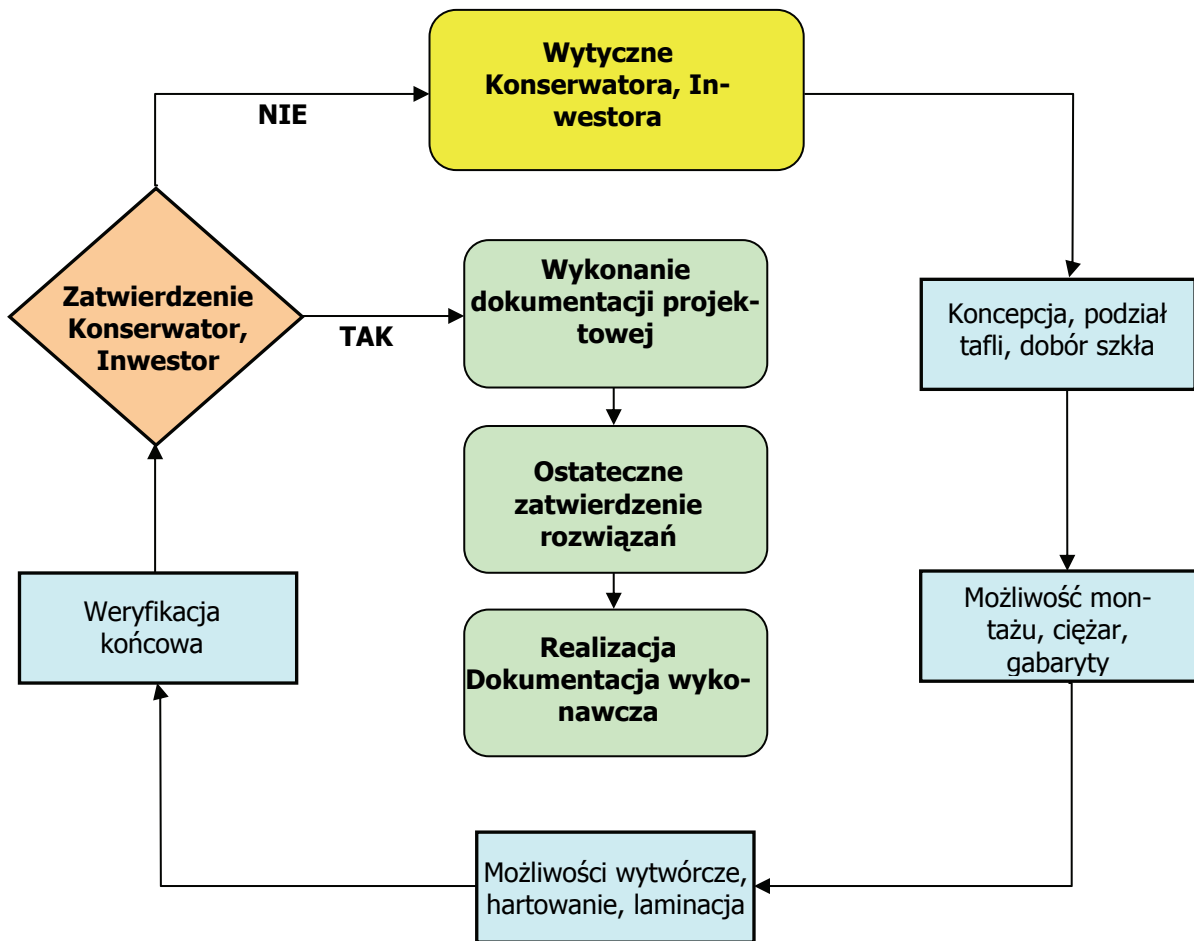
### 3. The scope of designing works

When designing this type of exposition, in addition to the static – strength solutions, one should solve such problems as:

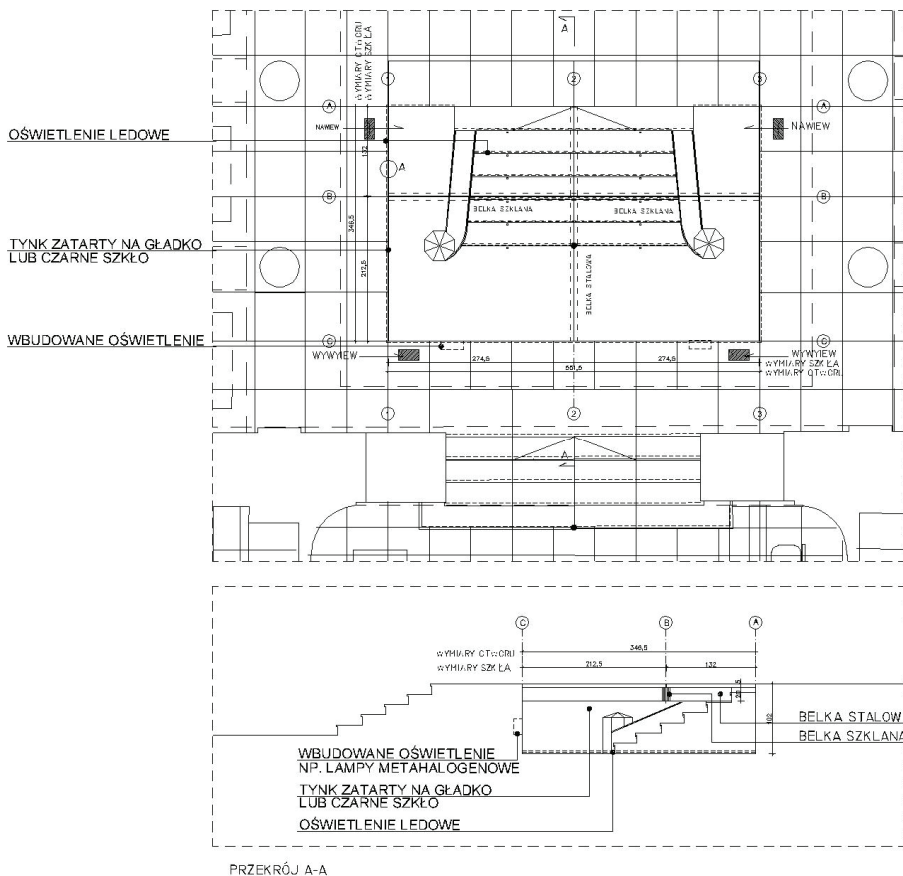
- range and form of exposition,
- program of conservatory works,
- lighting/electric installation,
- ventilation,
- automatic control e.g. sensors of moisture,
- providing the possibility of servicing,
- technology/possibility of realization/accessibility,
- realization/possibilities of organization and the way of carrying out assembly works.

The designing was carried out as a sequence process – running according to the diagram (fig. 3) and as the result the proposal designed as CONCEPTION 5A was accepted for the designing works and the realization.





Rys. 3. Schemat projektowania sekwencyjnego



Rys. 4. Rozwiązania konstrukcyjne – koncepcja

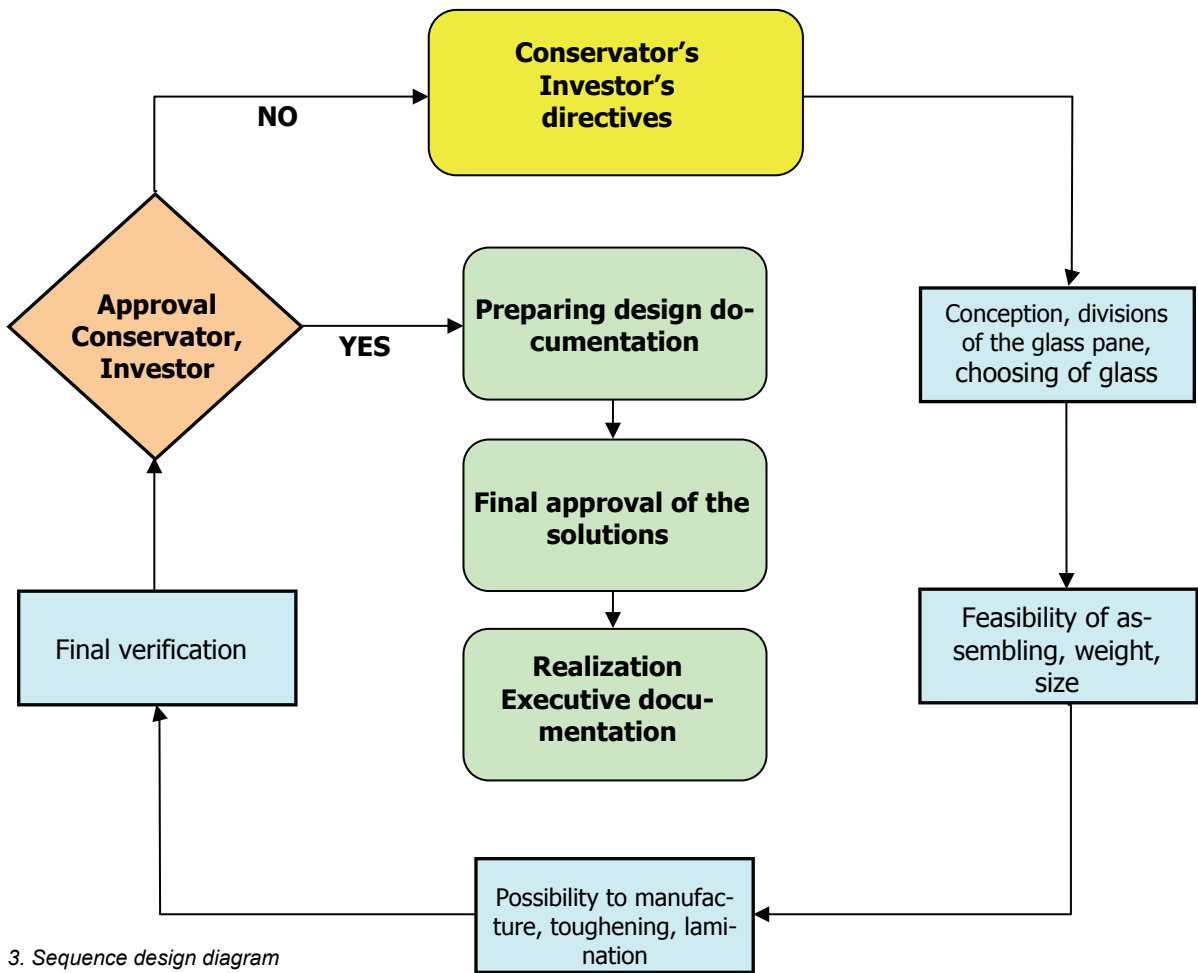


Fig. 3. Sequence design diagram

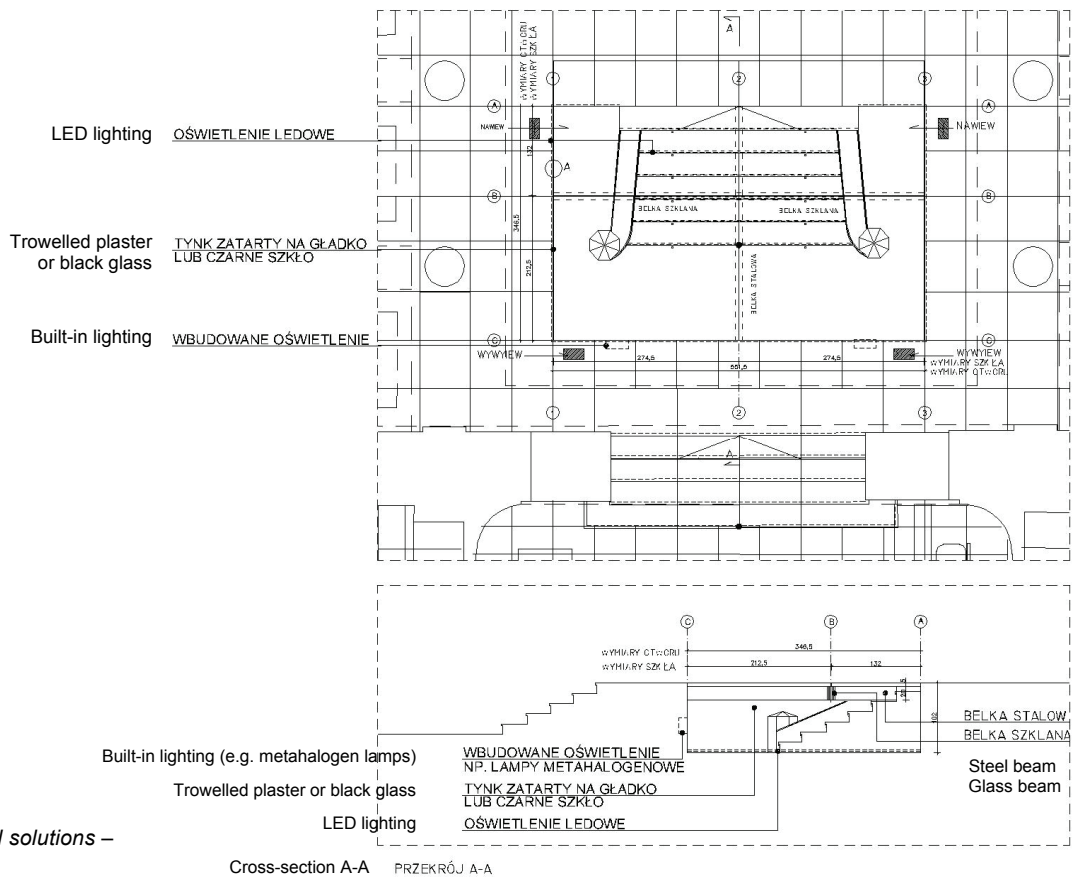
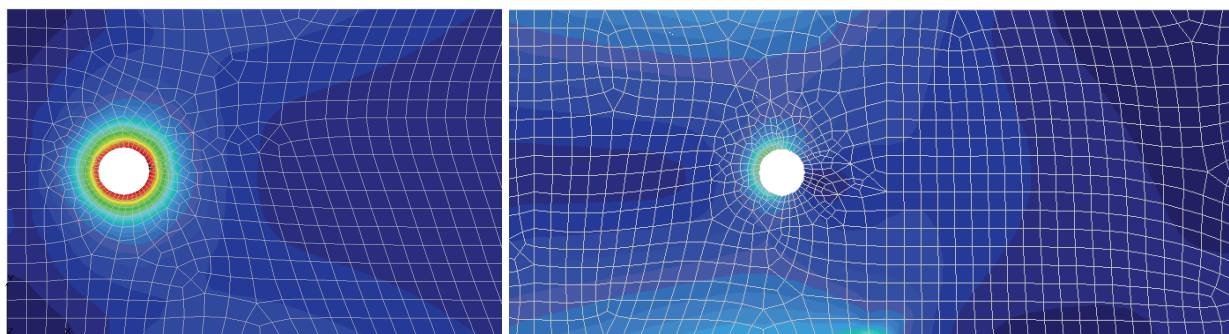


Fig. 4. Structural solutions – the concept

rozwiązań i obliczeń statyczno-wytrzymałościowych nie był zbyt korzystny, ale zapewniał spełnienie wytycznych Konserwatora oraz optymalne rozwiązania architektoniczne, oświetlenie, a przede wszystkim właściwe skomponowanie z istniejącą kolumnadą oraz z „rysunkiem” marmurowej posadzki.

Jednym z kluczowych problemów konstrukcyjnych i technologicznych najlepszej ekspozycji schodów było zastosowanie belek (żeber) szklanych jako podpór podłogi szklanej. Projektowanie konstrukcyjne naraża pewne problemy, ponieważ w polskich przepisach oraz regulacjach prawnych brakuje norm, procedur, modelu matematycznego i metodologii obliczeń szkła jako materiału konstrukcyjnego. Praktyka pokazuje, że pomimo tych braków, np. norm, szkło wykorzystywane jest jako materiał konstrukcyjny. Jedyne „ratunkiem” jest wiedza i doświadczenie projektanta oraz posłankowanie się normami i wytycznymi zagranicznymi. Dla wykonania obliczeń przyjęto dane wg norm niemieckich oraz charakterystyki materiałowe producentów szkła FLOAT.

Zagadnienia statyczno-wytrzymałościowe rozwiązano częściowo w oparciu o Metodę Stanów Granicznych, a częściowo w oparciu o Metodę Naprężeń Dopuszczalnych. Zagadnienie płytowe oraz problem koncentracji naprężeń np. wokół otworów na obu końcach belek szklanych obliczono za pomocą Metody Elementów Skończonych w środowisku COSMOS/M – rys. 5.



Rys. 5. Belka szklana – koncentracja naprężeń wokół otworów  
Fig. 5. Glass beam – stress concentration around the holes

Stosowne obliczenia statyczno-wytrzymałościowe prowadzą do rozwiązania problemu konstrukcyjnego, ale w projektowaniu należy uwzględnić również wiele innych zagadnień, jak możliwości technologiczne i montażowe, w tym właściwy dobór szkła o odpowiednich cechach fizycznych, jak hartowalność i parametrach architektonicznych, jak wielkość absorpcji, barwa, przepuszczalność i wielkość refleksu światła. Do tej pory dostęp do tego typu szkła specjalnych był utrud-

It was accepted that the floor should be divided into individual tiles as in fig. 4. This division was not too profitable from the point of view of static-strength solutions and calculations, but it assured fulfillment of Conservator's directive and optimum architectural solutions, lighting, and first of all proper composing with the existing colonnade and with the 'pattern' of the marble floor.

The use of glass beams (fins) as the supports for the glass floor was one of the key constructional and technological problems to achieve the best exposition of the stairs.

The constructional designing poses certain problems, because in Polish legal regulations there is lack of suitable standards, procedures, mathematical model and methodology of calculations for glass as the constructional material. The practice shows, that in spite of this lack of e.g. standards, glass is used as the constructional material. Here the only 'rescue' is designer's knowledge and experience and making use of foreign standards and directives. To carry out calculations it was accepted to use German standards data and material specifications provided by the FLOAT glass manufacturers.

The static-strength questions were solved partly on the basis of the Boundary States Method, and partly on the basis of the Admissible Strains Method. The panel problem and the problem of concentration of strains e.g. around the openings on both ends of glass beams were calculated with the help of the Finite Elements Method in the computer environment COSMOS/M – fig. 5.

Relevant static – strength calculations lead to the solution of the constructional problem, but one should also consider in designing many other questions, such as technological and assembly possibilities, in this specific selection of glass of suitable physical features such as possibility of toughening of the glass and architectural parameters such as the magnitude of absorption, color, light transmittance and the magnitude of light reflex. Access to this type of special glasses was difficult until now, and long

niony, a częstą barierą oprócz ceny były długie terminy dostaw z zagranicy.

Ograniczenia technologiczne (gabaryty, typ szkła oraz jego możliwości hartowania i laminowania) powodowały wydłużony proces uzgodnień i w konsekwencji wydłużony okres realizacji. Obecnie polskie zakłady szklarskie są już technologicznie przygotowane do takich wyzwań i wszystkie czynności, tj. cięcie, szlifowanie, sitodruk, hartowanie, prelaminacja i laminacja właściwa tafli szklanych o tak nietypowych wymiarach (długość, grubość) zostały wykonane w jednym zakładzie – GLASTECH w Swarzędzu, co wyeliminowało możliwe przy wielu wykonawcach błędy. Tafle szklane ze szkła SGG PLANITERM o wymiarach 2,80m × 2,20 m, grubości 49,04 mm i o masie ok. 750 kg zostały wykonane z dokładnością do 1,0 mm. Takie wymiary oraz ciężar tafli szklanych stanowiły do tej pory istotny problem, także belki szklane – wąskie i długie elementy prostokątne (180 mm × 2804 mm × 39,52 mm) stanowiły dla wielu zakładów przetwórczych szkła technologiczną barierę laminacji.

Montaż dużych i ciężkich elementów w czynnym obiekcie wymagał również starannego przygotowania wykonawcy i opracowania technologii montażu oraz odpowiedniego doboru sprzętu – dźwigi, podnośniki, ssawki hydrauliczne itp.

Na końcowy efekt wizualny, niezależnie od rozwiązań konstrukcyjnych, istotny wpływ miały założenia architektoniczne, jak delikatny rysunek sitodrukowej, prawie niewidocznej warstwy przeciwpoślizgowej, wykonanej z częściowo przeziernej emalii ceramicznej termicznie wtapianej w powierzchnię szkła, świetlna koncepcja ledowo-halogenowa podkreślająca elementy ekspozycji oraz staranny dobór i usytuowanie anemostatów. Bardzo istotne jest bowiem zachowanie odpowiedniej wilgotności w zamkniętej przestrzeni ekspozycji zabytku. Wilgoć zachowana w murach może powodować wykraplanie się pary wodnej na chłodnej powierzchni wewnętrznej szyby ekspozycyjnej, a w konsekwencji powodować wzrost glonów i popsuć efekt wystawienniczy elementu. Powyższe wymagało zaprojektowania odpowiednich instalacji wzbogaconych o stoso-

deadlines of deliveries from abroad made often a barrier in addition to the price.

Technological limitations (overall sizes, the type of glass and possibility of toughening and laminating thereof) made the process of making co-operations and settlements rather long-lasting and in the consequence the cycle of realization was extended. At present Polish glass manufacturing plants are already technologically prepared to such challenges and all the activities i.e. cutting, polishing, silk-screen printing, toughening, pre lamination and the lamination itself of glass plates having so atypical dimensions (length, thickness) were done in one plant – GLASTECH in Swarzędz, which eliminated faults possible to occur with big number of contractors. Glass plates of glass SGG PLANITERM of dimensions 2.80 m × 2.20 m, thickness 49.04 mm and weighing approximately 750 kg were made with precision of up to 1.0 mm. Such dimensions and the weight of glass plates so far used to pose an essential problem; also glass beams – long and narrow rectangular elements (180 mm × 2804 mm × 39.52 mm) made up a technological barrier of lamination for many glass processing plants.

The assembling of large and heavy units in the object which was continuously being used also required thorough preparation on the side of contractor and working out a technology of assembly and suitable selection of equipment – cranes, lifts, hydraulic vacuum cups etc.

The final visual effect, independently from constructional solutions, was essentially dependent on architectural foundations such as a delicate pattern of silk-screen printing, almost invisible antislip layer, made from partly light transmitting ceramic enamel thermally set in the surface of glass, LED-halogen lighting conception, underlining the elements to be exhibited and on the careful selection and location of anemostates. Maintaining of suitable humidity in the

closed space of the exposition of the relic is absolutely essential. The moisture contained in the walls can cause condensation of water vapor on the cool internal surface of the exposition pane, and cause growth of algae and in consequence spoil the expositional effect of the element. The above mentioned required designing of suitable installations enriched with appropriate automation and making possible



Rys. 6. Szklana posadzka na belkach szklanych – widok zabytkowych schodów

Fig. 6. The glass floor supported with glass beams – view for historic stairs

wną automatykę oraz umożliwienie serwisowania eksploatacyjnego. Dostęp do przestrzeni pod podłogą szklaną został zaprojektowany tak, by niewidoczne było z zewnątrz wejście do przestrzeni ekspozycyjnej.

Rezultat prac architektów, konstruktora i wykonawców przedstawiono na rys. 6 i zdaniem wielu zainteresowanych osób spełnił on wszystkie oczekiwania Inwestora oraz Konserwatora i stanowi ciekawy, a ponadto zaskakujący element, wzbogacający historię obiektu.

exploitation servicing. The access to the space under the glass floor was so designed that the entrance to the exposition's space would be invisible from the outside.

The result of the architects', constructors' and contractors' works has been presented in fig. 6 and in the opinion of many interested persons it has met all the expectations of the Investor and the Conservator, and makes up an interesting and surprising element enriching the history of the object.

## Literatura • References

- [1] Jaworski K., *Ryzyko a wybór decyzji w realizacji budowy* (w:) *Strategie zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie – formułowanie i implementacja strategii reakcji na ryzyko*, red. J. Bizon-Górecka, Wyd. JBG-Consulting, Bydgoszcz 2000.
- [2] Dziadosz A., Zioberski J.L., *Wybór rozwiązań technologicznych i organizacyjnych przy budowie szklanej podłogi w Kancelarii Prezesa Rady Ministrów*, Konferencja naukowo-techniczna „Inżynieria Procesów Budowlanych”, Politechnika Śląska, Gliwice 2009, s. 375-382.
- [3] DIN 4103 – *Lechte Trennwände*.
- [4] DIN 52292 T.1.2 – *Prüfung von Glass u. Glasskeramik*.
- [5] DIN 1249 – *Flachglas im Bauwesen*.
- [6] *Saint-Gobain – Bauen mit Glass. Technische Handbuch*, VEGLA, Aachen 2000.
- [7] *Gestalten mit Glass*, Interpane Glass Industrie AG, 2002.

---

\* EGO ARCHITEKCI, Biuro Projektów, Wrocław, Polska  
EGO ARCHITECTS, Architecture Design Studio, Wrocław, Poland  
\*\* Firma Zioberski, Biuro Inżynierskie, Kielczów, Polska  
Zioberski Engineering Services, Kielczów, Poland

---

## Streszczenie

W referacie omówiono dwa przykłady zastosowania szkła o dużych rozpiętościach, pełniącego funkcje konstrukcyjne, do ekspozycji elementów zabytkowych w budynkach. Szkło, ze względu na swą przezierność i neutralność architektoniczną pozwala na zachowanie cennych elementów zabytkowych tak, że pozostają one wbudowane tam, gdzie je odkryto, mogą być elegancko wyeksponowane, a jednocześnie funkcja budynku nie jest w żadnym stopniu zaburzona.

To rozwiązanie jakże częstych dylematów przy pracy z budynkami historycznymi: funkcjonalność nowoczesności – czy zachowanie historycznych wartości? Co poświęcić kosztem czego? Omówiona technologia w wielu przypadkach będzie rozwiązaniem zaspokajającym obie te potrzeby. A kluczowym argumentem może być jej łatwa dostępność i możliwość realizacji tu w Polsce.

## Abstract

The lecture describes two examples of the application, where a wide range glass is being used, as a structural component, in order to expose historic parts of the building. Glass, being transparent and architectural neutral allows preserving valuable historic elements especially that they remain integrated just as they were discovered, yet elegantly displayed, while at the same time none of the building's function is impaired.

It is a solution for common dilemmas when working with a historic building: functionality of modern ways or rather preserving its historic value? Which will be scarified as a cost? The described technology in many cases will fulfils both of those needs equally. And the key argument could be its availability and capability for its realization here in Poland.

Grzegorz Dmochowski\*

Piotr Berkowski\*

## Wpływ głębokich wykopów na stan techniczny historycznej zabudowy

## Influence of deep excavations on technical condition of historical buildings

### 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach, z uwagi na brak miejsca w centrach miast, projektuje się i wykonuje obiekty nawet o kilku kondygnacjach podziemnych, sąsiadujące bezpośrednio z historyczną zabudową miejską. W takim wypadku konieczne jest zaprojektowanie zabezpieczenia takich wykopów tak, aby nie dopuścić do uszkodzeń historycznych budynków, będących często w złym stanie technicznym. Najważniejsze jest w takim przypadku określenie sposobu posadowienia istniejących budynków, podanie obciążeń przypadających na ich fundamenty oraz określenie ich dopuszczalnych przemieszczeń. Sposób postępowania podaje tutaj instrukcja [1], ale ostateczne wartości dopuszczalnych przemieszczeń określa rzeczoznawca i projektant zabezpieczenia wykopu. Najtrudniejszą sprawą, rzutującą na całość projektowanych prac, jest określenie sposobu posadowienia istniejących budynków. Wiąże się to nie raz z wykonaniem głębokich wykopów dla odkrywek fundamentów, często sięgających poniżej poziomu wody gruntowej. Należy zwrócić uwagę, że stare budynki mają często bardzo zróżnicowane warunki posadowienia i nie można poprzestać na wykonaniu jednej odkrywki.

### 2. Przykłady realizacyjne

#### 2.1. Zabudowa w średniowiecznym centrum Jeleniej Góry

Projektowany wykop z dwóch stron otacza zwarta zabudowa mieszkalno-usługowa w postaci niewy-

### 1. Introduction

In the last few years, due to lack of space in city's centers, buildings with even some underground levels, are being designed adjacent to historical architecture. In such situations protection of the excavations must be designed to avoid any damage to the historical buildings, which are often in a very bad technical condition. Very important in such situations is defining the foundation method of existing buildings, determination of loadings influencing foundations, and defining acceptable displacements. The way of proceeding is provided in the handbook [1], but the final values of acceptable displacements must be determined by expert and engineer designing the excavation's protection. The most difficult issue, having significant influence on entirety of design work, is defining the existing building's foundations. It is often connected with digging deep excavations to reveal foundations, often below ground water level. One has to consider that old buildings have often very varying foundation conditions and more than one foundation pit can be necessary.

### 2. Practical examples

#### 2.1. Compact development of medieval center of Jelenia Góra

Designed excavation is surrounded from its two sides by low service/apartment buildings, built

*Praca dopuszczona do druku po recenzjach*

*Article accepted for publishing after reviews*

sokich budynków, pochodzących w swej części nadziemnej z reguły z końca XIX lub początku XX wieku (rys. 1). Budynki te charakteryzują się jednak tym, że w części wzniesione zostały na pozostałościach starej, często średniowiecznej zabudowy, możliwej do rozpoznania na podstawie dokumentacji archiwalnej oraz odkrywek archeologicznych. Konstrukcja tych budynków jest tradycyjna: ściany są ceglane, stropy odcinkowe nad piwnicami i drewniane na wyższych kondygnacjach, ewentualnie masywne w przypadku przeprowadzenia remontów kapitalnych, więźba dachowa jest drewniana.

W przypadku dwóch z ocenianych budynków, także ze względu na bezpośrednie przyleganie do wyko-

pu, szczegółowe rozpoznanie sposobu ich posadowienia było bardzo istotne. W odkrywce fundamentów jednego z budynków stwierdzono, że jego ściany są posadowione na ławach ceglano-kamiennych na zaprawie wapiennej. Ława ściany szczytowej została posadowiona na głębokości tylko ok. 35 cm poniżej poziomu terenu. Natomiast nośna ściana podłużna była wymurowana na ławie położonej ok. 90 cm poniżej poziomu terenu z odsadzką w jej kierunku podłużnym o szerokości ok. 30 cm. W tym miejscu projektowano wykop o głębokości 5 m poniżej poziomu terenu.

Przy ścianie szczytowej drugiego z budynków (rys. 2), od strony planowanej inwestycji, wykonano dwie odkrywki fundamentów. W pierwszej odkrywce stwierdzono istnienie pod częścią budynku i nieistniejącego budynku sąsiedniego wspólnej piwnicy, przekrytej sklepieniem (rys. 3). W środku rozpiętości sklepienie zostało podparte filarem zwieńczonym łukami. Sklepienie, filar i łuki były ceglane. Okazało się jednak, że fragment ściany szczytowej ocenianego bu-

up late in 19<sup>th</sup> or early in 20<sup>th</sup> century (fig. 1). Nevertheless, these buildings were raised on the remains of old, often medieval structures, recognizable thanks to archival documentation and archeological reveals. Buildings are built in traditional way – brick walls, masonry

vaults over cellars and wooden ones on higher floors, or rarely solid floors in case of major repairs, and roof framings are made of timber.

In case of two of the evaluated buildings, also due to direct adherence to the excavation, exact recognition of foundation method was very relevant. Foundation pit of one of the build-

ings revealed that his walls were placed on stone-brick continuous footing on lime mortar. The gable wall's continuous footing was placed only 35 cm below the ground level, and load bearing-wall's continuous footing on the other hand was made of and laid on continuous footing about 90 cm below the ground level. It has offsets in its longitudinal direction about 30 cm wide. In this place excavation was designed 5 m deep below the ground level.

Nearby gable wall of the second building (fig. 2), from the side of the planned investment, two foundation pits were made. In the first of excavations the existence of common cellar between part of existing and neighbor demolished building was noticed, covered by masonry vault (fig. 3). In the middle of span the vault was supported by pillar lacing by arcs. Vault pillar and arcs were made of brick. However, it occurred that part of the evaluated building's wall was placed on this vault, and not directly, but



Rys. 1. Widok ogólny terenu projektowanego wykopu i sąsiadujących budynków  
Fig. 1. General view of excavation area and surrounding buildings



Rys. 2. Widok ściany szczytowej budynku  
Fig. 2. View of building gable wall

dynku został posadowiony na tym sklepieniu, lecz nie bezpośrednio, ale na warstwie podsypki gruzowej. Całkowita rozpiętość sklepienia kolebkowego wynosiła ok. 4,7 m, długość pomieszczenia ok. 6,0 m, a wysokość w kluczu 2,45 m. W drugiej odkrywce stwierdzono, że ściana szczytowa budynku jest posadowiona w tej części budynku na ławie kamiennie-ceglanej na zaprawie wapiennej na głębokości ok. 1,3 m poniżej terenu (rys. 4).



Rys. 3. Widok sklepienia i filara ceglanego  
Fig. 3. View of masonry vault and pillar

W obu budynkach stwierdzono liczne zarysowania i lokalnie spękania, których układ świadczył o już istniejącym osiadaniu ścian szczytowych i ich odchylaniu się w kierunku wykopu. Stan techniczny jednego z budynków wymagał tymczasowego skotwienia ściany szczytowej.

Planowana głębokość wykopu wynosi 5 m ppt., a więc ok. 3,70 m poniżej poziomu posadowienia istniejących fundamentów. Z uwagi na konieczność dużego ograniczenia przemieszczeń ww. ścian oraz zaleganie w obrębie prowadzonych prac resztek ceglanych fundamentów, zaproponowano zabezpieczenie ścian wykopu za pomocą ścianki z pali wierconych, kotwionych w gruncie lub podpieranych zastrzałami od strony wykopu. Ponadto zaprojektowano podbicie fundamentów omawianych ścian za pomocą mikropali.

## 2.2. Śródmiejska, przedwojenna zabudowa we Wrocławiu

Projektowany wykop pod posadowienie nowego budynku ma być usytuowany w sąsiedztwie trzech kamienic, pochodzących z przełomu XIX i XX wieku (rys. 5). Wszystkie budynki mają tradycyjną konstrukcję, tzn. murowane, ceglane ściany nośne, masywne stropy nad piwnicami, drewniane lub ceramiczne stropy międzykondygnacyjne i drewnianą konstrukcję dachu (w jednym przypadku,

on rubble layer. Overall span of barrel vault was around 4.7 m, length of cellar was 6.0 m, and height in key was 2.45 m. In the second foundation pit it was noticed that building's gable wall was placed directly on brick-stone continuous foundation on lime mortar, on depth approximately 1.3 m below the ground level (fig. 4).

In both buildings numerous scratches and lo-



Rys. 4. Widok odkrywki fundamentu ściany  
Fig. 4. View of foundation pit

cal cracks were observed, which configuration gave witness of existing gable walls settlement and aberration in direction of realized new excavations. Technical condition of one of the buildings required temporal anchoring of gable wall.

Planned depth of excavation was 5 m below the ground level, so it is about 3.70 m below existing foundation base. Because of necessity of displacement limitation of the old buildings walls and existing remains of medieval brick foundations in working area, protection of excavation walls was made with drilling piles, anchored in ground or supported by angle struts from the excavation interior. Furthermore, foundation underpinning was designed using micropiles.

## 2.2. Town centre, pre-war buildings in Wrocław

Excavation for new building foundation was planned in neighborhood of 3 apartment houses, with 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century origin (fig. 5). All the buildings have traditional construction id. brick bearing walls, masonry vaults over cellars, wooden floors or ceramic slabs between storeys and timber roof constructions (in one case, due to carried out repair, over part of the buildings ventilated flat roof



w związku z przeprowadzonym remontem, nad częścią budynku wykonano stropodach wentylowany). Według dokumentacji archiwalnej każdy z budynków miał być posadowiony w inny sposób oraz na istotnie różniących się głębokościach poniżej poziomu terenu.

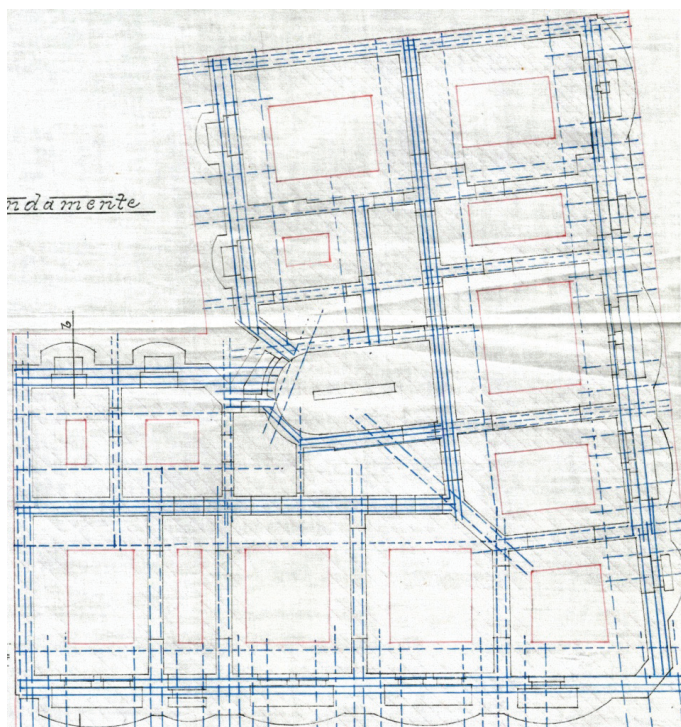
Budynek, do którego projektowany budynek i wykop będzie przylegał bezpośrednio, miał być posadowiony na ławach ceglanych wymurowanych na dodatkowych ławach betonowych z odsadzkami, uzbrojonych podłużnie profilami dwuteowymi, ułożonymi na płask (rys. 6). Taki układ ław betonowych stanowi w zasadzie ruszt. Szerokość ław zaprojektowano na 3,0 m, a wysokość 0,90 m. Według projektu głębokość posadowienia wynosić miała ok. 4,30 m poniżej poziomu terenu. W wykonanej odkrywce stwierdzono pod posadzką betonową fundament betonowy o odkrytej wysokości ok. 80 cm i wysięgu ok. 1,40 m,

co w zasadzie potwierdziło dane archiwalne. Ponadto wykonano odkrywki na terenie projektowanego wykopu, w miejscu posadowienia nieistniejącego już budynku. Z wykopu o głębokości ok. 4,0 m wydobyto pale drewniane (rys. 7).

Sąsiedni budynek według dokumentacji archiwalnej został posadowiony na ławach ceglanych z odsadzkami na głębokości 6,0 m poniżej poziomu terenu (rys. 8). W wykonanej odkrywce (rys. 9) stwierdzono fundament ceglany z odsadzkami o łącznym wysięgu ok. 26 cm; głębokość odkrywki – do momentu pokazania się wody gruntowej – wy-



Rys. 5. Widok zespołu budynków od strony projektowanego wykopu  
Fig. 5. View of group of buildings from excavation site



Rys. 6. Archiwalny rysunek zbrojonych profilami ław fundamentowych  
Fig. 6. Archival drawing of continuous foundation reinforced with steel profiles

about 0.80 m and 1.40 m of overhang, what actually confirmed archival data. There were also made excavation pits in planned excavation site, in place of demolished building base. Wooden piles with height around 4.0 m were got out from excavation (fig. 7).

Adjoining building, according to archival documentation, was founded on continuous, masonry footing with set-offs, at the depth 6.0 m below the ground level (fig. 8). In the realized foundation pit (fig. 9) there was discovered a masonry foundation with sets-off of 26 cm of reach. The depth of pit was 4.7 m below the ground level

was made). According to archival documentation each building supposed to be founded in a different way and on significantly differing depths below the ground level.

The object to which the designed building and excavation will adhere directly supposed to be founded on brick continuous footing build on additional concrete continuous foundations with off-sets, reinforced in longitudinal direction with double-tee profiles, set-up in flat direction (fig. 6). Such concrete continuous footing configuration works actually as grid foundation. Continuous footing was designed with 3.0 m of width and 0.90 m of height. According to the design the depth of foundation was 4.30 m below the ground level. Within performed foundation pit, under concrete floor topping, concrete foundation was found out with uncovered height

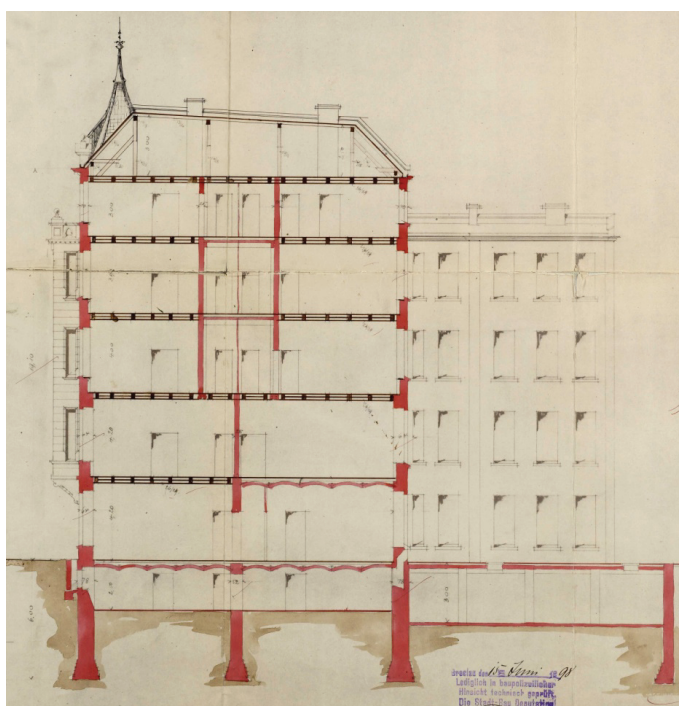
wyniosła 4,70 m poniżej poziomu terenu. Potwierdziło to z dużym prawdopodobieństwem dane dotyczące posadowienia, wynikające z projektu archiwalnego.

Według dokumentacji archiwalnej (rys. 10) stara część ostatniego z budynków została posadowiona na płycie żelbetowej gr. 50 do 60 cm, zbrojonej zbrojeniem sztywnym w postaci „siatki” z profili dwuteowych NP10, rozmieszczonych średnio co 1,0 m w obu kierunkach, z lokalnym zagęszczeniem do siatki o oczkach  $05 \times 0,5$  m. Głębokość posadowienia miała wynosić według dokumentacji archiwalnej 1,0 (od tyłu budynku) do 1,5 m (od frontu budynku). Część nowa, powojenna budynku, od strony projektowanej inwestycji została posadowiona według projektu na ławach żelbetowych. W wykonanych odkrywkach stwierdzono posadowienie na ławach ceglanych.

We wszystkich budynkach występowały typowe uszkodzenia, wynikające z naturalnego zużycia obiektów, obniżenia się właściwości materiałów oraz braku konserwacji, tj. spękania ścian zewnętrznych, zarysowania i drgania stropów drewnianych, zawilgocenie ścian piwnic. Stopień technicznego zu-



Rys. 7. Drewniany pal fundamentowy  
Fig. 7. Wooden foundation pile



Rys. 8. Archiwalny rysunek ceglanych ław fundamentowych  
Fig. 8. Archival drawing of continuous masonry foundation

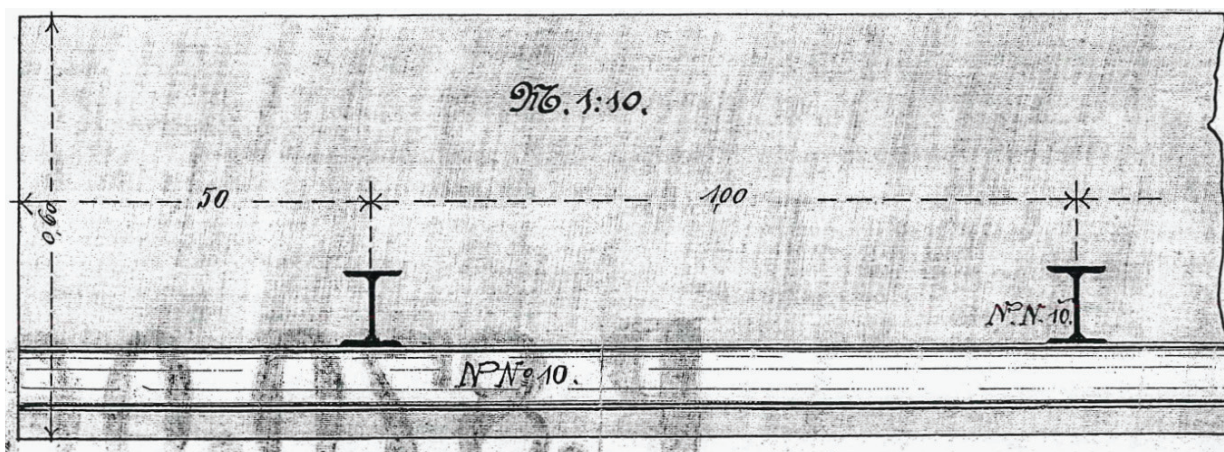


Rys. 9. Odkrywka fundamentów ceglanych  
Fig. 9. View of masonry foundation

and to the level of underground water occurrence. In this case it was then confirmed with great probability all data obtained from archival design.

According to the archival drawings (fig. 10) the old part of the last of buildings was founded on concrete plate of 50 to 60 cm of thickness, reinforced with rigid reinforcement made of double-tee NP10 bars. The profiles were situated every 1.0 m in each direction and created something like a “grid”. In more loaded places the bars were situated every 0.5 m. The depth of foundation was designed as 1.0 m in the frontal part of the building and 1.5 m from its yard side. The new part, built after the war, and situated near the planned new excavation, was founded on reinforced concrete continuous footing. In realized excavation pits there masonry footing was found.

In all three buildings occurred typical damages, derived from natural structure exploitation, reduction of material properties and lack of conservation. There are cracks in external walls, scratches of plaster and vibrations of wooden ceilings, damping of cellar walls. Degree of



Rys. 10. Przekrój płyty fundamentowej zbrojonej profilami dwuteowymi  
 Fig. 10. View of concrete foundation plate reinforced with steel I profiles

życia tych budynków oraz intensywność uszkodzeń są zróżnicowane i zależą istotnie od prowadzenia odpowiednich i systematycznych prac remontowych.

W przypadku ocenianych budynków każdy z nich został wzniesiony w innym okresie i w zupełnie odmiennej technologii fundamentowania, a przede wszystkim na znacznie różniących się głębokościach. Miało to istotny znaczenie dla opracowania technologii zabezpieczenia wykopu i samych budynków przed wpływami jego wykonania.

### 2.3. Średniowieczny obiekt sakralny

Dawny kościół i klasztor Bernardynów, zbudowany w latach 1463-1502 w XVII i XVIII wieku był kilkakrotnie uszkodzony i odbudowywany. Także w czasie ostatniej wojny został poważnie zniszczony i odbudowany w latach 1956-1965. Obiekt kościoła składa się z trójnawowego, sześcioprzęsłowego korpusu bazylikowego (rys. 11), zamkniętego

od strony wschodniej trójboczną absydą. W narożu z nawą południową stoi niewielka wieża, nakryta ośmiobocznym hełmem ostrosłupowym. Od południa dobudowana jest dwuprzęsłowa kaplica, zamknięta trójbocznie. Sklepienia nad absydą i nawą główną są gwiaździste, czteroramienne, a w nawach bocznych i w kaplicy są sklepienia krzyżowo-żebrowe. W znacznej części sklepienie te zostały zre-

konstruowane po II wojnie światowej. Na zewnątrz kościół podparty jest przyporami, z wyjątkiem północnej elewacji korpusu nawowego.



Rys. 11. Widok ściany podłużnej kościoła  
 Fig. 11. View of longitudinal wall of church

technical wear in this buildings and intensity of the damages are varied and depend significantly of carrying out proper and regular repairs.

In case of the evaluated buildings each was raised in different time period and in different foundation technology and, first of all, on very different depths. It had significant influence on preparing technology of excavation trench protection and buildings themselves from influences of new project realization.

### 2.3. Medieval sacral building

Former Bernardine order church and convent, raised in the years 1463-1502 in 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> century, was destroyed and rebuilt several times. Also during the last war it was severely destroyed and rebuilt in the years 1956-1965. The church consists of three-nave, 6-bay basilica main building (fig. 11), closed from the east side with 3-sided

apse. In the corner with south aisle there is tower, covered by octagonal pyramidal helmet. In the south side 2-bay chapel is added with 3-sided closing. Vaults over apse and nave are stellar and with four arms, and in aisles and in chapel are cross-ribbed ones. In some parts of floor vaults were reconstructed after the Second World War. Outside walls of the church are supported by counterforts, with exception of north elevation of main building. Gothic arc-windows with traceries are placed in external walls.

W ścianach zewnętrznych usytuowane są ostrołukowe okna z maswerkami.

Ściany nośne są murowane, z cegły pełnej, tzw. „gotyckiej”, na zaprawie wapiennej. Ściany absydy zostały zwieńczone żelbetowym wieńcem, który jest spięty stalowymi ściągamami. W nawie głównej rolę ściągów spełniają poprzeczne belki drewniane.

Więźba dachowa o konstrukcji drewnianej wykonana została po wojnie. Główne dźwigary są wykształcone w formie ram drewnianych oraz dodatkowo podparte słupkami, postawionymi na belkach poprzecznych. Między dźwigarami głównymi dachu wykonano stężenia pościowe. Na głównych dźwigarach oparte są poprzeczne płatwie, na których leżą krokwie dachowe. Nad nawą główną główne dźwigary dachowe oparte są na poprzecznych belkach spinających, leżących na murłacie.

Wykonano dwie odkrywki fundamentów, obie przy zewnętrznej ścianie lewej nawy kościoła, od strony planowanego wykopu pod nowy obiekt. Pierwszą odkrywkę zlokalizowano w narożniku kościoła, przy wejściu głównym, a drugą bliżej absydy, przy końcu nawy.

W pierwszej odkrywce stwierdzono ceglana ścianę fundamentową (rys. 12), a na głębokości ok. 3,2 m poniżej poziomu terenu wystąpiło ustabilizowane lustro wody gruntowej. Na tym poziomie stwierdzono też występowanie w ścianie ceglanej kamieni i gładzów, stanowiących pierwszą warstwę fundamentową oraz pozostałości dawnej opinki drewnianej z desek gr. ok. 5-6 cm, stanowiących dawne szalowanie ściany fundamentowej. Kontynuując kopanie poniżej lustra wody, stwierdzono, że prawdopodobny poziom usytuowania fundamentów wynosi ok. 3,30 m poniżej poziomu terenu.

W drugiej odkrywce (rys. 13) także stwierdzono ceglana ścianę fundamentową, z jedną odsadzką o szerokości ok. 12 cm, ok. 20 cm poniżej poziomu terenu. Na głębokości ok. 3,30 m pod poziomem terenu

External load bearing walls are made of full brick called “gothic”, on lime mortar. Apse walls were finished in top with RC ring, which is transversally joined with steel bowstring. In main nave their role is realized by horizontal wooden beams. Roof timber framing construction was built after the war. Main girders are shaped as wooden frames additionally supported by posts, standing on lateral beams. Between roof main girders hipped roof ending braces were made. On main girders there are supported lateral purlins on which roof rafters are laying. Above main nave main girders are supported on lateral beams, laying on a wall plate.

Two foundation excavation pits were made, both by the external wall of the left church aisle, from the side of planned excavation for new structure. The first pit was located in church's corner near main entrance and the second one close to apse, near nave ending.

In the first reveal brick laid foundation wall was confirmed (fig. 12). On the depth of 3.2 m below the ground level occurred stabilized ground water level. On this level there were also fund stones and boulders creating first foundation layer, and also remains of old wooden lagging from planks 5-6 cm thickness which were old foundation wall boarding. Continuing the digging beneath the water mirror concluded that the probable foundation base is 3.30 m below the ground level.

In the second excavation pit (fig. 13) there was also confirmed brick laid foundation wall with one offset of 12 cm of width, approximately 20 cm below the ground level. On the depth around 3.30 m below the ground level there was stabilized ground water level. On this level there was confirmed occurrence of lagging from planks,



Rys. 12. Odkrywka fundamentu w narożu  
Fig. 12. View of foundation pit in corner



Rys. 13. Odkrywka fundamentu ściany  
Fig. 13. View of wall foundation pit

występuje ustabilizowane lustro wody gruntowej. Na tym poziomie stwierdzono też występowanie resztek opinki z desek, stanowiących szalowanie ściany fundamentowej, jak w odkrywce nr 1. W odkrywce nr 2 są wyraźnie ślady szalowania na ścianie, widoczne w postaci odcisniętych na wierzchu ściany śladów desek oraz pionowych bruzd w ścianie, stanowiących ślad po słupkach szalowania. Poniżej lustra wody stwierdzono, że ściana fundamentowa schodzi co najmniej ok. 60 cm poniżej lustra wody. Zatem minimalny poziom posadowienia fundamentów wynosi ok. 3,9 m poniżej terenu. Projektowany wykop ma mieć głębokość do 9,5 m poniżej istniejącego poziomu terenu.

Na ścianach zewnętrznych, łukach i sklepieniach obiektu kościoła stwierdzono liczne, wyraźne zarysowania i lokalnie, spękania. Część tych uszkodzeń jest związana jeszcze ze zniszczeniami, które obiekt odniósł w okresie wojny, jako konsekwencja bombardowań i pożarów. Niektóre z zarysowań są jednak ciągle „aktywne”, co można stwierdzić po spękaniach plomb, założonych na spękaniach łuków poprzecznych w lewej nawie kościoła. Świadczy to o zachodzącym w dalszym ciągu procesie osiadania obiektu kościoła i dopasowywaniu się jego konstrukcji do istniejących, zmiennych, warunków gruntowych i obciążeń.

Wykonane odkrywki fundamentów pozwoliły określić z dużą dokładnością głębokość posadowienia fundamentów kościoła. Analiza projektu wykonania zakotwienia ściany szczelinowej wykazała, że pierwszy, najwyższy poziom kotew ma być zagłębiony w pionie ściany na ok. 10 m poniżej poziomu terenu, czyli znajduje się ok. 6 m poniżej spodziewanego poziomu fundamentów nawy kościoła. W tym poziomie nie powinny występować elementy konstrukcyjnie związane z fundamentami kościoła, nawet, gdyby miałyby to być pale drewniane. Jednakże, ponieważ na terenie przyległym do kościoła występowała wcześniejsza zabudowa, a cały obszar należał do dawnego starorzecza Odry, w miejscu wykonywania kotew możliwe jest występowanie pozostałości wcześniejszej, historycznej zabudowy oraz głazów, co wymusza, aby prace wiertnicze były prowadzone pod ciągłą kontrolą i przypadku natrafienia na przeszkody projekt ścianki powinien uwzględniać możliwość korekty usytuowania kotew w stosunku do pierwotnie zakładanej.

### 3. Podsumowanie

1. Podane wyżej przykłady pokazują, jak daleko różnicowane może być posadowienie obiektów zabytkowych. Bywały one realizowane w różnoraki sposób, a często były także przebudowywane. Dla dokładnego określenia poziomu i sposobu ich posadowienia konieczne

being foundation wall's boarding, like in pit no. 1. In pit no. 2 there were clear traces of wall boarding in shape of printed on the wall surface plank traces and vertical chases which were boarding post's remains. Below the water level the foundation wall was confirmed to be at least about 60 cm below the water level. In consequence, minimal foundation base level was estimated to be around 3.9 m below the ground level. New excavation is planned to be 9.5 m deep below existing ground level.

On external walls, and internal arcs and vaults in the church, numerous and clear scratches and local, deep cracks were noticed. Some of these damages are connected to the damages the church had during the war as a consequence of bombardments and blazes. Some of the scratches are still active though, what can be confirmed by leaden seal cracks, placed on lateral arc cracks in church's left aisle. It is a sign of ongoing settlement of the church and fitting its construction to existing and changing ground and loading conditions.

Realized walls foundation excavations allowed to define with great accuracy the depth of church's foundation base. The analysis of trench walls anchoring project showed that first, highest anchor level will be sunk about 10 m below the ground level that is about 6 m below determined church's nave foundation base. In this level should not occur any construction elements connected to church's foundation, even if there were wooden piles. However, since on terrain adjacent to the church existed earlier buildings and entire area belong to old Odra river bed, in place of trench walls anchoring existence of earlier historical buildings and boulders is possible. These obliges that drilling works have to be made under constant supervision and in case of finding any obstacle, the excavation protection walls design should include possibility of displacing the anchor situation from the original plan.

### 3. Summary

1. Presented examples show how far different may be foundation base in adjacent historical buildings. They were raised in numerous ways and often rebuilt. For precise defining of the level and foundation method making few excavation pits is essential, and at least two if in both cases same foundation levels and conditions can be confirmed.
2. For foundation base recognition of historical buildings existing archive documentation may

- jest wykonanie kilku odkrywek, a co najmniej dwóch, jeżeli w obu przypadkach stwierdzi się takie same warunki i poziomy posadowienia.
2. Dla rozpoznania sposobu posadowienia obiektów historycznych można się posłużyć istniejącą dokumentacją archiwalną. Nie może to jednak być kryterium podstawowe, ponieważ często dokumentacja taka jest nieaktualna, a np. podczas budowy, po wykonaniu wykopu, w obiekcie wprowadzono zasadnicze zmiany odnośnie do sposobu jego posadowienia, co według rozeznania autorów tego artykułu, zdarzało się bardzo często.
  3. Wykonanie wykopów powinna poprzedzić staranna analiza konstrukcji i stanu technicznego budynków sąsiednich oraz rozpoznanie i zinventaryzowanie występujących w nich uszkodzeń. Analiza taka powinna w podsumowaniu określić dopuszczalne przemieszczenie fundamentów budynków istniejących, spowodowane projektowanym wykopem oraz określić, czy potrzebne są dodatkowe zabezpieczenia istniejących obiektów, np. w postaci skotwień.
  4. Dla odpowiedniego zabezpieczenia wykopu należy wykonać projekt ścianki oporowej, mającej na tyle małe przemieszczenia poziome, aby nie spowodowały one osiadań istniejących budynków o wartościach większych od dopuszczonych w ekspertyzie. W przypadku występowania poziomu wody gruntowej powyżej dna projektowanego wykopu należy wykonać szczegółową dokumentację hydrogeologiczną, a przemieszczenia spowodowane występowaniem ewentualnego leja depresji, należy uwzględnić dodatkowo w bilansie osiadań rozpatrywanych obiektów.
  5. Podczas prowadzenia prac ziemnych i zabezpieczających, a także podczas budowy projektowanych obiektów, należy stale monitorować stan techniczny budynków istniejących.
- be useful. However, it cannot be the base source, because this documentation is often out of date, and for example during building raising, after making the excavation, relevant changes were made in his foundation base method, what according to this article's authors experience happened very often.
3. Digging the excavation should be preceded by precise construction analysis and evaluation of technical condition of neighbor buildings and recognition and inventory works of existing damages. Such analysis should define allowed foundation displacements of existing buildings, caused by planned excavation and define if any additional protection of existing objects is required, for example as anchoring.
  4. For proper excavation protection retaining wall design should be made, which will have its horizontal displacement small enough to avoid settlement of existing buildings with values higher than allowed in expertise. In case of occurring ground water level above the designed excavation bottom, detailed hydrogeological documentation should be made and possible displacement caused by depression funnel existence, should be counted for additionally in evaluated objects settlement equation.
  5. During ground and protecting works, and during designed buildings construction, technical condition of existing buildings must be constantly monitored.

## Literatura • References

- [1] Kotlicki W., Wysokiński L., Instrukcja ITB 376/2002: *Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów*, Warszawa 2002.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wrocław, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

## Streszczenie

W ostatnich latach projektuje się i wykonuje obiekty nawet o kilku kondygnacjach podziemnych, sąsiadujące bezpośrednio z historyczną zabudową miejską. W takim wypadku konieczne jest zaprojektowanie zabezpieczenia takich wykopów tak, aby nie dopuścić do uszkodzeń historycznych budynków, będących często w złym stanie technicznym. Najważniejsze jest w takim przypadku określenie sposobu posadowienia istniejących budynków, podanie obciążeń, przypadających na ich fundamenty oraz określenie ich dopuszczalnych przemieszczeń. Najtrudniejszą problemem, rzutującym na całość projektowanych prac, jest określenie sposobu posadowienia istniejących budynków, co wiąże się często z koniecznością wykonania głębokich wykopów dla odkrywek fundamentów, często sięgających poniżej poziomu wody gruntowej. Należy zwrócić uwagę, że stare budynki mają często bardzo zróżnicowane warunki posadowienia.

## Abstract

In the last years there is designed a lot of buildings, with several underground storeys, which are situated nearby existing historical monuments. In such situations there is a need of designing a proper protection of deep excavations with aim of protection of old buildings, which very often are in a very bad technical state. One of the most important thing is to determine: the way of foundation of historical buildings, loads influencing foundations and limits of displacements of old buildings. The most difficult work is to define the foundations of old buildings – sometimes it needs a realization of deep excavations, even below the level of ground water. It is also important to mention that very often nearby old buildings have a totally different way of foundation.

Joanna Pieczyńska\*, Jarosław Rybak\*

## Perspektywy rozwoju aktywnego projektowania w oparciu o badania drgań w trakcie prowadzenia robót geotechnicznych

## Prospects for active design expansion owing to investigation of vibrations caused by geotechnical works

### 1. Wprowadzenie

Obserwowany w ostatnich latach postęp gospodarczy spowodował konieczność rozbudowy infrastruktury komunikacyjnej oraz wzrost zainteresowania terenami zlokalizowanymi w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących już budynków. Wzniesienie nowych obiektów wśród gęstej zabudowy miejskiej, nakłada na inwestorów obowiązek tworzenia określonej liczby miejsc parkingowych. Rozbudowa sieci dróg i autostrad wymaga zagospodarowywania terenów o skomplikowanej geologii, których wcześniejsze wykorzystanie nie było uzasadnione ekonomicznie. Powyższe aspekty powodują zapotrzebowanie na technologie pozwalające maksymalnie wykorzystać niewielkie, wolne przestrzenie miejskie czy posadawiać obiekty inżynierskie w prawie każdych warunkach grunto-wodnych.

Stare przysłowie mówiące, że potrzeba jest matką wynalazku sprawiło, iż na rynku pojawiło się wiele firm proponujących szeroki wachlarz technologii geotechnicznych. Intensywne prace budowlane prowadzone w sąsiedztwie, nie rzadko bardzo starych i wartościowych obiektów, mogą być powodem do zastanowienia, czy są bezpieczne, czy nie zagrażają zabytkowej zabudowie. Takie obawy sprawiły, że zaczęto rozwijać również sferę badawczą wpływu głębokiego fundamentowania na konstrukcje istniejących obiektów. Zły dobór technologii do warunków zabudowy, może prowadzić do problemów związanych z zarysowa-

### 1. Introduction

Economic progress observed in recent years triggered the need for the expansion of transportation infrastructure as well as the growing interest in the land located in close proximity to already existing buildings. Erecting new buildings within compact housing imposes on the investors the obligation to create a particular amount of parking places. The expansion of road and motorway network requires developing the areas with complex geology, whose use was previously economically unjustified. The above mentioned aspects cause the need for technologies that make it possible to take maximum advantage of small free city spaces or to found engineering structures almost in any possible geo-hydrological conditions.

As the old proverb says, necessity is the mother of invention; and so on the market appeared a lot of firms offering a wide array of geotechnical technologies. Intensive construction works carried out in the neighborhood of not infrequently old and valuable structures may potentially threaten the historic housing, hence their safety aspect should be thoroughly considered. That concern for the existing buildings of historical value stimulated the development also of the new research area, namely the impact of deep foundations on the structure of the existing buildings. Inappropriate selection of technology for particular development conditions may lead to such problems as cracking of the adjacent struc-



niami obiektów lub niewiadomego powodu osiadania. Można tego uniknąć prowadząc badanie drgań przed rozpoczęciem prac, w celu ustalenia tzw. „tła otoczenia”. Przy projektowaniu i zwłaszcza w fazie realizacji konstrukcji współpracujących z gruntem należy uwzględnić zakres dopuszczalnych częstotliwości drgań.

Wybrane aspekty aktywnego projektowania, przez zastosowanie badań wpływu drgań od wykonywania obudowy głębokich wykopów oraz wzmocnień podłoża dla posadowienia obiektów inżynierskich przedstawiono w niniejszej pracy.

## **2. Podstawa prawna do oceny wpływu drgań**

Społeczne progi akceptacji drgań wywołanych przez prowadzone roboty budowlane są zwykle zdecydowanie niższe od technicznych i w znacznym stopniu zależą od czasu realizacji inwestycji. Mieszkańcy czują się zagrożeni, gdy tylko „szklanka zadzwoni w komodzie”. Podczas gdy drgania tej częstotliwości nie stanowią dla konstrukcji większego zagrożenia. Znacznie groźniejsze są drgania nieodczuwalne przez człowieka, powodujące rezonans elementów konstrukcyjnych i zewnętrznych elementów wykończeniowych.

Warunkiem wyboru prawidłowej pod względem technicznym i ekonomicznym technologii fundamentowania jest nie tylko wiedza techniczna, ale również umiejętność oceny poprawności wykonania robót fundamentowych. Często decydenci dysponują niskim zasobem wiadomości na temat metod monitoringu i nadzoru robót. Co skutkuje wyborem najtańszej, lecz nie zawsze najlepszej metody. Odrębny problem stanowi brak świadomości realnych zagrożeń mieszkańców budynków zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie inwestycji. Właściwie prowadzona akcja informacyjna kosztuje, więc powinna być uwzględniana jako ekonomiczny element planowanego budżetu.

Z technologicznego punktu widzenia można przyjąć, że drgania są funkcją amplitud prędkości i przyspieszenia oraz czasu, w jakim rejestruje się oddziaływanie. Największe amplitudy można zaobserwować, gdy źródło drgań znajduje się blisko monitorowanego obiektu, a częstość robocza jest zbliżona do częstości drgań własnych obiektu. Wówczas w konstrukcji obiektu może dochodzić do niebezpiecznego rezonansu. Najprostszym rozwiązaniem jest odsunięcie źródła drgań od wrażliwej konstrukcji, jednak nie zawsze takie rozwiązanie jest możliwe.

Podstawę analizy wyników oraz określenia bezpiecznych poziomów wibracji stanowią zazwyczaj

ciężkości lub ich osiadanie za niewiadomych przyczyn. To może być uniknięte, jeżeli drgania zostaną zbadane przed rozpoczęciem prac budowlanych, w celu ustalenia tzw. „tła otoczenia”. Następnie, przy projektowaniu lub wykonywaniu prac budowlanych, należy uwzględnić zakres dopuszczalnych częstotliwości drgań.

Praca ta przedstawia wybrane aspekty aktywnego projektowania, polegającego na badaniu wpływu drgań od wykonywania obudowy głębokich wykopów oraz wzmocnień podłoża dla posadowienia obiektów inżynierskich, na sąsiednich obiektach inżynierskich.

## **2. Legal basis for vibration impact assessment**

Social thresholds of the acceptable vibrations are definitely lower than the technical ones and depend mainly on the duration of investment's execution works. Residents become anxious if only the “glasses rattle in the cupboard”, whereas vibration of such low frequency do not pose threat of any kind for the building's structure. Much more dangerous are the vibrations that are not sensed by humans, which cause the structural or finish elements to resonate.

In order to select an appropriate foundation technology, from the point of view both, technology and economy, one has to possess not only technical knowledge, but also the ability to assess the correctness of the foundation works execution. Frequently the decedents have very little knowledge on monitoring and works supervision methods, which results in the choice of the cheapest, but not always best of them. A separate problem is lack of consciousness of the real dangers on the part of the residents living in direct neighborhood of the investment. A properly organized information campaign costs money, and it should be taken into account as an economic element of the planned budget.

From the point of view of technology, it may be assumed that the vibrations are a function of speed and acceleration amplitudes, as well as of the time in which the interactions are registered. Largest amplitudes may be observed when the source of vibrations is near the monitored structure, and the working frequency is approximating the structure's natural vibration. That is when in the structural parts of the building resonance may occur. The simplest solution is to move away the source of vibration from the responsive structure; however, such solution is not always possible.

The basis for the result analysis and the assessment of safe vibration levels is typically constituted

normy: DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen” [4], Eurocode 3. Part 5 [5] oraz PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki” [2]. Definiują one, jakie mogą być długotrwałe oddziaływania dynamiczne na budynki kubaturowe o znacznym ciężarze, ich wyposażenia (maszyny i urządzenia) oraz przebywających w nich ludzi.

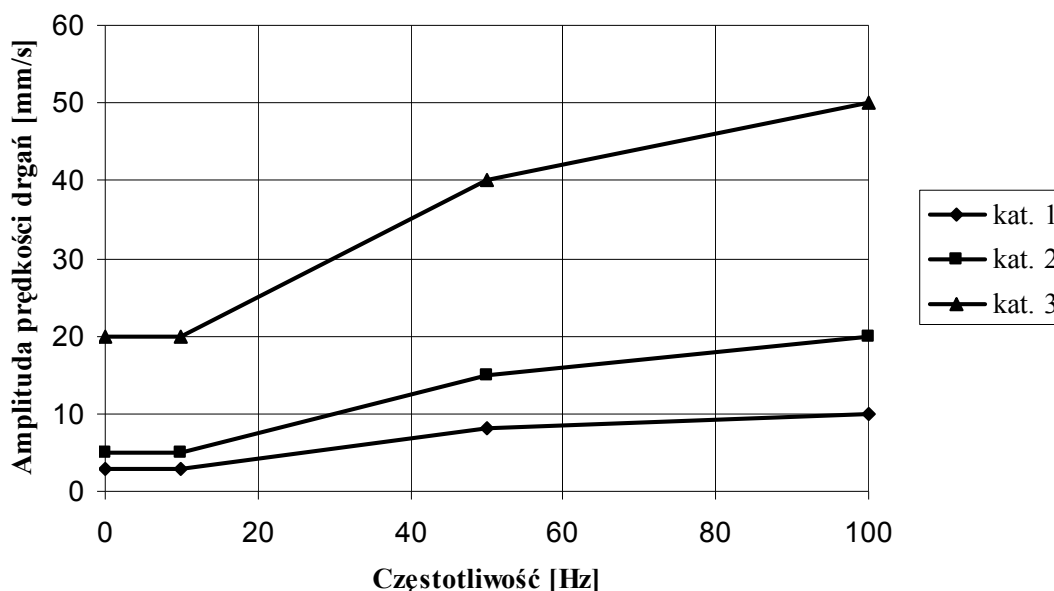
Według poniższego nomogramu z DIN 4150 wyróżnia się 3 kategorie obiektów:

- kategoria 1: szczególnie wrażliwe obiekty, które nie mogą być ujęte w dwóch poniższych kategoriach takie jak budowle objęte ochroną konserwatorską, obiekty wyposażone w specjalne urządzenia elektroniczne lub mechaniczne,
- kategoria 2: budynki mieszkalne,
- kategoria 3: obiekty przemysłowe i podobnego rodzaju.

by the following codes of practice: DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen” [4], Eurocode 3. Part 5 [5] and PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki” (“The Assessment of Harmful Impact Transmitted from the Subsoil to Buildings”) [2]. These documents define the allowable long-term dynamic impact on cubature buildings with considerable weight, their equipment (machines and appliances) and residents.

In accordance with the graph from DIN 4150 presented below, 3 categories may be distinguished:

- category 1: especially responsive structures that may be divided into two further categories of the structures under conservator’s protection and the objects equipped with electronic or mechanical appliances,
- category 2: residential houses,
- category 3: industrial facilities and similar.



Rys. 1. Skala do oceny szkodliwości drgań na podstawie amplitud prędkości (DIN 4150 [4])

Fig. 1. Scales for the assessment of harmful impact of vibration on the basis of velocity amplitudes (DIN [4])

Tab. 1. Skala oceny szkodliwości drgań na podstawie amplitud prędkości według Eurocode 3 tab. 12.3.6.2 [5]  
Scales for the assessment of harmful impact of vibration on the basis of velocity amplitudes EC3 [5]

Typ obiektu <i>Type of property</i>	Amplituda prędkości drgań [mm/s] <i>Peak particle velocity [mm/s]</i>	
	Drgania ciągłe <i>Continuous vibration</i>	Drgania chwilowe <i>Transient vibrations</i>
Obiekty zabytkowe <i>Ruins, buildings of architectural merit</i>	2	4
Budynki mieszkalne <i>Residential</i>	5	10
Lekkie obiekty handlowe <i>Light commercial</i>	10	20
Ciężkie obiekty przemysłowe <i>Heavy industrial</i>	15	30
Instalacje podziemne <i>Heavy industrial</i>	25	40

W przedstawionej wyżej tabeli według EC3 podano dopuszczalne wartości prędkości drgań ciągłych (continuous) i krótkotrwałych (transient) w odniesieniu do różnych typów obiektów budowlanych. Celem prowadzonych badań jest porównanie poziomu oddziaływań dynamicznych prowadzonych robót (związanych z wibrowaniem lub/i wbijaniem grodzic lub palowaniem) z wartościami określonymi w normie DIN lub EC3 dla danego obiektu jako bezpieczne.

### 3. Sprzęt oraz metody pomiaru drgań

Techniki pomiarowe w budownictwie to prawdopodobnie najszybciej rozwijająca się dziedzina. Firmy realizujące roboty specjalistyczne, w tym roboty fundamentowe, wykonują obecnie pomiary wymagane kontraktem samodzielnie, wspomagają się jednostkami naukowo-badawczymi lub firmami specjalistycznymi.



Rys. 2. Zestaw do pomiaru prędkości drgań  
Fig. 2. Vibration speed measurement set

The above table (in line with EC3) presents the allowable values of continuous and transient vibration speed in relation to different building structures. The aim of the investigation is to compare the level of dynamic impact of ongoing works (connected with vibrating and/or driving sheet piles or piling) with the values defined as safe for a given structure in the DIN or EC3 codes of practice.

### 3. Equipment and methods of vibration measurement

Measurement techniques in construction industry are probably the area of largest expansion speed. The companies that carry out specialist works, including foundation works, perform at present the measurements included in the contract on their own, or with the help of scientific research institutes or specialist firms.



Rys 3. Rejestrator 4-kanalowy (drgania XYZ + hałas)  
Fig 3. 4-channel recording device (3D vibration + noise)

Na rynku dostępne są urządzenia pozwalające na pomiar i rejestrację drgań przekazywanych na otoczenie (rys. 2) oraz takie, które dodatkowo umożliwiają pomiar i rejestrację hałasu (rys. 3). Urządzenia pozwalają na stały pomiar drgań wywołanych różnymi czynnikami: ruchem ulicznym, pracami rozbiórkowymi czy w końcu robotami geotechnicznymi, tj. wbijanie pali.

Do pomiaru drgań stosuje się równego rodzaju czujniki o częstości próbkowania z zakresu: granica dolna (-3dB): 0.8 HZ (12dB/oct.), granica górna (-3dB): 100 Hz (12 dB/oct.). Zakres prędkości: 0-100 mm/s. Urządzenie ma wbudowany rejestrator,

The equipment available on the market includes the devices that make it possible to measure and record the vibrations transmitted by the environment, as well as the ones that can additionally measure and record noise. The devices enable the constant recording of vibrations caused by various factors: traffic, demolition works, or, eventually, geotechnical works, i.e. pile driving.

For the purpose of vibration measurement various sensors are used, with the sampling frequency from the range of 0.8 Hz (12dB/oct.) – the lower boundary (-3dB), 100 Hz (12 dB/oct.) – the upper boundary (-3dB). The range of speed: 0-100 mm/s.

który pozwala zapisywać wartości maksymalnych prędkości drgań. Rejestracja obejmuje prędkości, przyspieszenia i częstotliwości drgań.

Pomiar odbywa się przez przymocowanie geofonu do monitorowanego obiektu, zaprogramowania systemu i rozpoczęciu pomiaru. Pomiar odbywa się we wszystkich trzech kierunkach: x, y, z, przez co otrzymuje się przestrzenną informację dotyczącą kierunku rozchodzenia się fali. Ponadto w chwili obecnej możliwy jest geodezyjny monitoring wpływów oddziaływań dynamicznych na warstwy podłoża pod budynkami w bezpośrednim sąsiedztwie robót. Pozwala on na bieżącą ocenę osiadań występujących w skutek dogęszczenia warstw pod budynkiem.

#### 4. Wybrany zakres przeprowadzonych badań

##### 4.1. Ogrodzenie Cmentarza Powązkowskiego [8]

W ramach budowy ściany oporowej RC22 P w wykopie łącznicy Ł2 przeprowadzono obserwację drgań ogrodzenia Cmentarza Powązkowskiego znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie prowadzonych robót (rys. 4). Pomiar drgań podyktowany był wykorzystaniem na budowie ciężkiego sprzętu, wibratora bezrezonansowego PVE40, o ciężarze całkowitym 10,45 t, ciężarze masy wibrującej 6,2 t, momencie 0-40 kGm oraz amplitudzie drgań 15 mm, 200 obr/min. Wibrator służył do pogrążania grodzic stalowych.

The apparatus has an in-built recorder which makes it possible to register the values of maximum vibration speed. The recording includes the values of speed, acceleration and frequency of vibration.

The measurement begins after the geophone is attached to the structure under monitoring and once the system is programmed. The measurement is carried out in all three directions: x, y, z, owing to which one obtains three-dimensional information on the propagation of waves. Moreover, at present it is possible to conduct geodetic monitoring of the dynamic impact on the layers of subsoil under the buildings located in the direct neighborhood of works. In this way, the settlement occurring as a result of compaction of subsoil layers may be systematically assessed.

#### 4. Selected extent of performed survey

##### 4.1. The Powązki Cemetery wall [8]

In course of the construction of a RC22 P retaining wall in the excavation of the Ł2 siding, the vibrations of The Powązki Cemetery (adjacent to the construction site) wall were measured. The measurement was justified by the fact, that in the construction site heavy equipment was used: the PVE40 High Frequency vibratory hammer, with the total weight of 10.45 t, vibrating weight of 6.2 t, momentum of 0-40 kGm and vibration amplitude of 15 mm, 200 t/min. The vibrator served the purpose of driving sheet piles.



Rys. 4. Obserwacja drgań na ogrodzeniu cmentarza. Lokalizacja czujników drgań  
Fig. 4. Monitoring of vibrations on the cemetery wall – sensor locations

Do pomiaru wykorzystano czujniki Vibra firmy Profound. Częstość próbkowania czujnika wynosiła 1024 Hz. W pamięci urządzenia rejestrowano wartości maksymalne pomierzone w ciągu kolejnych 15 s trwania pomiaru o wartościach prędkości większych od 0,1 mm/s.

Pomiary prowadzono przy użyciu dwóch czujników umiejscowionych na prefabrykowanym ogrodzeniu cmentarza w odległości 15 m oraz 50 m od miejsca prowadzonych robót. W trakcie pracy wibrator przemieszczał się kierunku czujnika ustawionego początkowo w odległości 50 m. Czujniki umiejscowione były nad poziomem terenu. Dokładną lokalizację czujników w trakcie prowadzonych robót przedstawia rys. 4.

Badania prowadzono przed rozpoczęciem specjalistycznych prac fundamentowych, w celu określenia poziomu wibracji działających na ogrodzenie. Następnie w dniach 29 – 30. maja 2009 roku przeprowadzono badania drgań tła oraz spowodowanych pracami budowlanymi. W efekcie stwierdzono, że stosunkowo niewielkie poziomy wibracji ogrodzenia są spowodowane wvibrowywaniem ścianek szczelnych.

- Rozruch wibratora nie miał znaczącego wpływu na poziom obserwowanych wibracji.
- Poziom wibracji szybko malał w miarę oddalania się od miejsca prowadzenia robót.
- Poziom wibracji ogrodzenia obserwowany w odległości 15 m od miejsca instalacji grodzic był porównywalny z wibracjami wywołanymi uderzeniami pięścią w element ogrodzenia.
- Generowane w trakcie instalacji grodzic drgania dla wybranego elementu prefabrykowanego ogrodzenia miały charakter krótkotrwały.
- Obserwowany poziom wibracji nie stanowi zagrożenia dla konstrukcji ogrodzenia i sąsiadujących z nim nagrobków.

Niestety w cytowanych powyżej normach brak odniesienia do lekkich konstrukcji budowlanych, takich jak ogrodzenia, nagrobki, postumenty itp. Praca wibratora przebiegała w zakresie rejestrowanych częstości rzędu 36 Hz, co przekracza znacznie typowe częstości drgań własnych dla gruntów i obiektów budowlanych. Zatem nie zachodziło ryzyko niebezpiecznego rezonansu.

#### **4.2. Posadowienie obiektu mostowego w miejscowości Lubsza koło Brzegu, woj. opolskie [9]**

Zadanie polegało na obserwacji drgań przekazywanych na konstrukcję budynków mieszkalnych znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie prowadzonych robót budowlanych. Prowadzone prace obejmowały wvibrowywanie grodzic stalowych zabez-

As measuring tools the Vibra sensors, manufactured by Profound BV, were used. The frequency of sampling was 1024 Hz. The stored values in the device's memory were the maximum values measured in consecutive 15 s of the measurement time, with the speed values exceeding 0.1 mm/s.

The measurement was carried out by means of two sensors located on a precast concrete wall of the cemetery, at the distance of 15 and 50 m from the construction works. While working, the vibrator moved towards the sensor that was initially 50 m away. The sensors were situated above the ground surface. Detailed location of the sensors during the on-going construction works is shown in fig. 4.

The investigation was carried out before the exact specialist foundation works began, in order to determine the level of vibrations acting on the wall. Then on 29 – 30th May 2009, the measurement of the „background's” vibrations and the vibrations caused by the construction works themselves took place. In effect, it was observed that relatively low vibration levels of the wall are caused by the process of sheet pile wall installation.

- The starting of the vibrator had no significant impact on the level of the observed vibration.
- The level of vibrations decreased quickly as the distance from the construction works increased.
- The level of vibrations observed at the distance of 15 m from the sheet piles installation was comparable with the vibration caused by hitting the wall element with the fist.
- Vibrations generated in course of the installation of sheet piles were short-term (for a selected precast concrete element of the wall).
- The observed level of vibrations poses threat neither to the wall's structure, nor to the nearby gravestones.

Unfortunately, in the afore-mentioned codes of practice there is no reference to light structures, such as fencing walls, gravestones or pedestals etc. The recorded frequency of the vibrator's operation stayed within the range of 36 Hz, which significantly exceeds the typical frequency of natural vibrations for grounds and building structures. Therefore, there was no risk of dangerous resonance.

#### **4.2. Foundation of bridge in the town Lubsza near Brzeg, Opole Province [9]**

The task consisted in the observation of vibrations transmitted to residential houses in the direct neighborhood of the on-going construction works. The works included vibrating steel sheet piles into the ground in order to support the road bridge

pieczających przyczółki mostu drogowego w miejscowości Lubsza, w ciągu drogi krajowej nr 39.

Monitoring obejmujący pomiar drgań i obserwacje stanu technicznego podyktowany był wykorzystaniem na budowie wibratora bezrezonansowego PVE2316. Wibrator ten zastosowano do pograżania grodzic stalowych. Obserwacje prowadzono w dniach 18.06 – 1.07.2009 r. przy użyciu czujnika opisanego w punkcie 4.1. Badaniu poddano dwa budynki mieszkalne:

- budynek przy ul. Brzeskiej nr 12 wykonany w technologii tradycyjnej z cegły pełnej (budynek sprzed II wojny światowej),
- nowy budynek (usytuowany po drugiej stronie ulicy) wykonany w technologii tradycyjnej (bloczki + ocieplenie).

abutments in the town of Lubsza, at the line of the road no. 39.

The reason behind the monitoring, which entailed vibration measurement and technical condition investigation, was the use of the PVE2316 High Frequency vibratory hammer at the construction site, for the purpose of pile driving. The observations were made on 18.06.-1.07.2009, by means of the sensor described in 4.1. Two residential houses were subject to investigation.

- building at 12 Brzeska Street, made in traditional technology of solid brick (the house dating back to pre-World War II times),
- A new building (situated on the other side of the street), made in traditional technology (blocks + insulation).



Rys. 5. Lokalizacja czujnika  
Fig. 5. Geophone location



Rys. 6. Monitorowany stary budynek  
Fig. 6. Monitored old building



Rys. 7. Monitorowany nowy budynek  
Fig. 7. Monitored new building



Rys.8. Czujnik zamocowany do ławy żelbetowej  
Fig. 8. Geophone location

Czujniki zamontowano na czas prowadzenia obserwacji do ceglanej ściany budynku nr 12 oraz do żelbetowej ławy fundamentowej budynku „nowego”.

For the time of observations, the sensors were attached to the brick wall of the building no. 12, and to the reinforced concrete foundation strip of

Lokalizacja czujników na załączonych fotografiach powyżej. Procedura prowadzonych prac obejmowała badanie drgań tła, które miały miejsce przed prowadzeniem prac geotechnicznych oraz w trakcie prowadzenia prac w celu określenia poziomu drgań wywoływanych przez pracujący wibrator. Badania wykazały, iż oba budynki zlokalizowane przy trasie o średnio intensywnym ruchu pojazdów o masie przekraczającej 20 t, narażone są na drgania wywołane hamowaniem ciężkich pojazdów. Szczególnie odczuwalne były one w przypadku budynku nr 12, który znajduje się bliżej drogi. Wpływ ciężkiego sprzętu podobnie jak prac geotechnicznych nie ma charakteru oddziaływań długotrwałych. Ponadto poziom wibracji obserwowany i rejestrowany na obydwu budynkach nie przekraczał wielkości określanych przez normy [4] i [5] jako bezpieczne dla obiektów budowlanych. Podczas prowadzenia robót budowlanych nie zaobserwowano również jakichkolwiek oznak bieżącego, negatywnego oddziaływania drgań na obiekty w sąsiedztwie.

Należy zauważyć, że praca wibratora w obserwowanym etapie prowadzonych robót przebiegała w zakresie rejestrowanych częstości rzędu 30-40 Hz, co podobnie jak w przypadku monitoringu cementarza przekracza znacznie typowe częstości drgań własnych dla gruntów i obiektów budowlanych.

#### **4.3. Posadowienie obiektu mostowego w miejscowości Koźle, woj. opolskie [10]**

W przypadku poniższej inwestycji obserwowany był wpływ drgań pochodzących od robót fundamentowych polegających na dynamicznej wymianie gruntu. Badania były prowadzone w dniu 10.08.2009 r. Monitoringowi poddano obiekt wykonany w technologii tradycyjnej oraz fundament budowanego przyczółka. Czujniki były zlokalizowane na obiektach w sposób przedstawiony na poniższych fotografiach (rys. 10 i rys. 11).

Maksymalny poziom wibracji (w wymiarze prędkości drgań) obserwowany i rejestrowany na obydwu obiektach w końcowej fazie formowania każdej z kolumn wynosił 0,9 do 1,5 mm/s i nie przekraczał wielkości 5,0 mm/s określonej przez normę [4] jako bezpieczne dla obiektów budowlanych. Raporty dzienne z badań przedstawiono na rys. 9 i rys. 12.

W trakcie badania nie zaobserwowano jakichkolwiek oznak odczuwalnego, negatywnego oddziaływania drgań na obiekty w sąsiedztwie. Autorzy powyższą sytuację tłumaczą między innymi znaczną odległością monitorowanych obiektów od źródła drgań.

the “new” building. The location of the sensors is presented in the photographs above. The procedure of the survey entailed the investigation of the vibrations of the background, i.e. the ones that were present before the geotechnical works began, and then after they started, in order to analyze level of vibrations generated by the vibrating hammer. The investigation showed that both buildings located near the road with the traffic of medium intensity (the vehicles whose mass exceeded 20T) are subject to vibrations occurring when heavy vehicles brake. The vibrations were especially palpable in the case of the building no. 12, which is situated closer to the road. The influence of heavy equipment, as well as of geotechnical works, did not represent a long-term impact. Moreover, the level of vibrations observed and recorded on both buildings did not exceed the values defined in the code of practice [4], [5] as safe for adjacent structures. In course of the construction works there were no symptoms of negative impact of the vibrations on structures in the neighborhood.

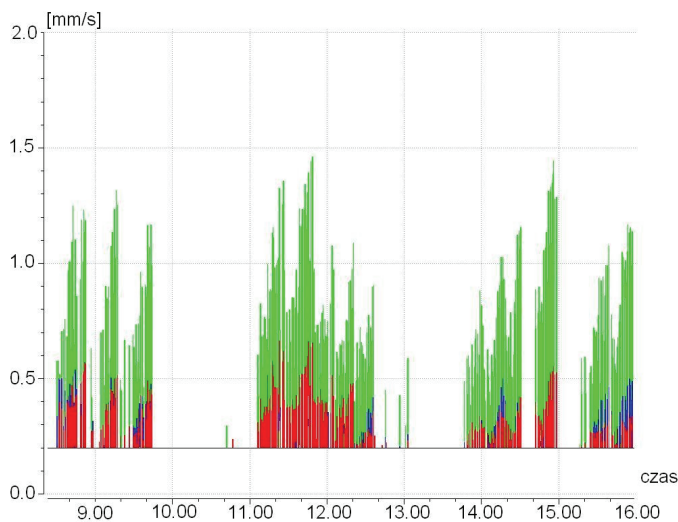
It has to be noticed that the recorded frequencies of the vibrating hammer's operation (at the stage of works under survey) ranged from 30-40 Hz, which, as in the case of the cemetery monitoring, does not exceed natural vibrations for grounds and structures.

#### **4.3. Bridge foundation in the town of Koźle, Opole Province [10]**

In the investment described below, the object of investigation was the influence of foundation works consisting in a dynamic subsoil exchange. The examination was carried out on 10.08.2009. The monitored structures were: a building made in traditional technology and the foundation of bridge abutment under construction. The sensors were located as presented in the photographs below (fig. 10 and fig. 11).

The maximum level of vibrations (from the point of view of vibration speed) observed and recorded on both structures, at the final stage of each of the bridge columns formation, varied between 0.9 and 1.5 mm/s and did not exceed the limit of 5.0 mm/s defined by the code of practice [4] as safe for structures.

The investigation did not reveal any symptoms of sensible negative impact of the vibrations on neighboring structures. In the authors' opinion the reason behind those results is the considerable distance between the monitored structures and the source of vibrations.



Rys. 9. Wykres prędkości drgań w skali czasu (budynek mieszkalny)  
Fig 9. Velocity – Time graph (residential house)

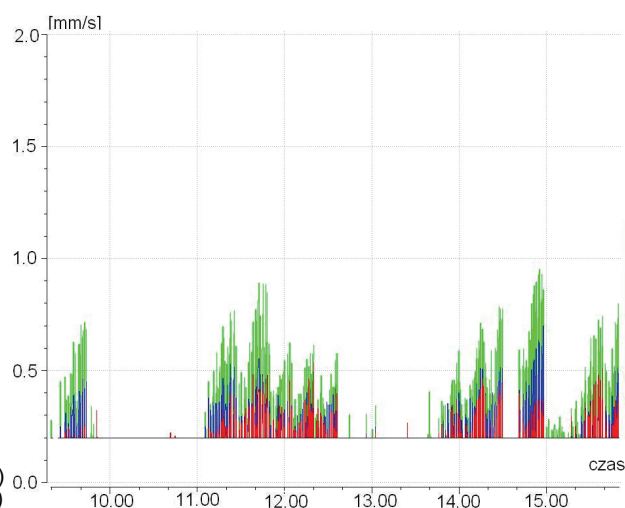


Rys. 10. Czujnik na budynku mieszkalnym  
Fig 10. Sensor on the residential house



Rys 11 Czujnik na fundamencie przyczółka  
Fig. 11. Sensors on the bridge abutment

Rys. 12. Wykres prędkości drgań w skali czasu (fundament przyczółka)  
Fig 12. Velocity – Time graph (bridge abutment)



Poziom drgań rejestrowany na fundamencie przyczółka nie stanowił również podstaw do obaw o warunki technologiczne po zabetonowaniu ściany.

Powyższe przypadki obejmowały sytuację, w której po doborze technologii oraz rozpoczęciu prac dokonywano badania w celu określenia czy dana technologia może być w dalszym ciągu wykonywana czy należy ją zamienić na inną. Działanie pasywne ze strony inwestorów oraz wykonawców owocuje przestojami i kosztami ewentualnych zmian technologicznych. Podczas gdy przy niewielkim koszcie badań można zaoszczędzić: czas i pieniądze.

## 5. Podsumowanie

Nowoczesne wibromłoty umożliwiają w pewnym lub całym zakresie pracy zmianę częstości roboczej. Zabieg taki zastosowany na budowie ścian oporowych tunelu przy ogrodzeniu Cmentarza Woj-

The case studies above presented situations in which only after the technology was selected and the works – begun, the investigation was carried out in order to determine whether the technology may be further applied or whether it should be switched to some other. Passive attitude on the part of investors and contractors results often in a standstill and costs of potential technology changes, while – with a small cost of the survey, both might be saved: time and money.

## 5. Final remarks

Modern vibrating hammers make it possible to change the operating frequency for some part or whole of the works. Such policy was applied during the installation of retaining walls of the tunnel near the wall of The Powązki Cemetery in Warsaw



skowego na Powązkach w Warszawie pozwolił na znaczne ograniczenie amplitud drgań rejestrowanych na obiektach chronionych cmentarza. Należy jednak pamiętać, że „przeestrojenie” wibratora może ograniczyć efektywność pograżanie grodzic i wydłużyć czas prowadzonych robót lub wręcz uniemożliwić ich kontynuację w technologii wibrowania.

Analiza drgań tła stale wpływającego na obserwowane obiekty pozwala ustalić precyzyjnie dopuszczalne częstotliwości drgań a tym samym umożliwia wkalkulowanie ewentualnych zmniejszonych efektywności prac. W praktyce możliwa jest realizacja bardzo różnych i skomplikowanych programów monitoringu towarzyszącego prowadzonym robotom. Trudność polega na ustaleniu właściwych proporcji pomiędzy rzeczywistymi potrzebami, odpowiednim zakresem monitoringu i możliwościami inwestora, który takie badania ostatecznie finansuje. Warto podkreślić, że koszty takich badań są bardzo małe w stosunku do wartości prowadzonych robót oraz skutków uszkodzeń, których przy ich zastosowaniu można uniknąć.

and made it possible to reduce considerably the amplitudes of vibrations observed on the cemetery's structures under conservator's protection. However, it must be remembered that the “switching” of the vibrator may limit the efficiency of sheet pile driving and prolong the time of works or even lead to the eventual exclusion of vibrating technology from further works.

The analysis of vibrations of the background that permanently influences the monitored structures makes it possible to determine precisely the permissible frequency of vibrations and thus to take into account lower efficiency of works in calculating overall costs. Although the monitoring programs may be in practice diversified, complex and perfectly adjusted to even very demanding construction technologies, the difficulty lies in the assessment of the proportions between the real needs, the proper monitoring scope and the financial resources of the investor, who, in the end, pays for such investigation. It is however worth emphasizing that the costs of such examination are much lower than the potential damages that may be thus avoided.

## Literatura • References

- [1] PN-82/N-01350 Drgania. Terminologia.
- [2] PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki. Komentarz do normy PN-85/B-02170 opracowany w COBPBO 1990.
- [3] PN-91/N-01352 Drgania. Zasady wykonywania pomiarów na stanowisku pracy.
- [4] DIN 4150 „Erschutterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen”.
- [5] ENV 1993-5 Eurocode 3: Design of steel structures – part 5. Piling. January 1998.
- [6] PN-EN 1993-5:2007 (U) „Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych.
- [7] Instrukcja ITB nr 348/98 Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków.
- [8] Raporty Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej serii U nr 340, 349 i 356.
- [9] Raport Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej serii U nr 407.
- [10] Raport Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej serii U nr 411.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

## Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane aspekty aktywnego projektowania, przez zastosowanie badań wpływu drgań od wykonywania obudowy głębokich wykopów oraz wzmocnień podłoża dla posadowienia obiektów inżynierskich. W praktyce możliwa jest realizacja bardzo różnych i skomplikowanych programów monitoringu towarzyszącego prowadzonym robotom. Trudność polega na ustaleniu właściwych proporcji pomiędzy rzeczywistymi potrzebami, odpowiednim zakresem monitoringu i możliwościami inwestora, który takie badania ostatecznie finansuje. Warto podkreślić, że koszty takich badań są bardzo małe w stosunku do wartości prowadzonych robót oraz skutków uszkodzeń, których przy ich zastosowaniu można uniknąć.

## Abstract

This work presents selected aspects of the active designing using the investigation of the impact of vibrations that occur during the construction of deep excavation supports, or the reinforcement under the foundations, on adjacent engineering structures. Although the monitoring programs may be in practice diversified, complex and perfectly adjusted to even very demanding construction technologies, the difficulty lies in the assessment of the proportions between the real needs, the proper monitoring scope and the financial resources of the investor, who, in the end, pays for such investigation. It is however worth emphasizing that the costs of such examination are much lower than the potential damages that may be thus avoided.

Olgierd Puła\*  
Wojciech Puła\*

## Realizacja nowych obiektów usytuowanych w zwartej zabudowie miejskiej i ich wpływ na otoczenie

## Construction of new buildings in vicinity of old structures and their impact on the surrounding

### 1. Wstęp

W ostatnich latach, kiedy Polska, po wstąpieniu do Unii Europejskiej, otworzyła się na kapitał i inwestorów ze świata nastąpił szybki rozwój budownictwa specjalistycznego: biurowców, apartamentowców czy wielko powierzchniowych obiektów handlowych. Równocześnie developerzy wykorzystując wszystkie uzbrojone działki gruntu budowali budynki wielorodzinne. W zachodniej części Polski, gdzie dotychczas zachowały się w centrach miast niezabudowane działki gruntu po zburzonych w czasie II wojny światowej obiektach, bardzo często występuje tak zwana zabudowa plombowa. Taki rodzaj zabudowy pojawia się również wówczas gdy ze względu na zły stan techniczny istniejącego obiektu należy go wyburzyć, a dla bezpieczeństwa sąsiednich budynków powinien powstać nowy, który będzie współpracował z budynkami w istniejącej linii zabudowy. Budynki sąsiednie to obiekty, które powstały ponad sto lat temu i ich konstrukcja (drewniane stropy, brak wieńców, ciężka ale słaba konstrukcyjnie więźba dachowa i płytke posadowienie bezpośrednio (około 2 m poniżej powierzchni terenu) staje się problemem dla powstającego nowego „sąsiada”. Nowy budynek musi, zamiast piwnic lub poniżej kondygnacji piwnic, być wyposażony w garaż podziemny – tego wymaga każda decyzja o warunkach zabudowy dla obiektów usytuowanych w śródmiejskiej strefie miast. Nowy obiekt, w tej sytuacji, jest źródłem dodatkowych osiadań dotychczasowej okolicznej zabudowy. Biorąc pod uwagę konieczność wykonania nowych głębokich wy-

### 1. Introduction

Recently, since Poland joined the European Union and opened to capital and investors from the world there has been a quick development of specialized construction industry: office buildings, apartment buildings or large commercial buildings. At the same time developers have been using all improved plots of land for multi-family buildings. In the western part of Poland, where still there are undeveloped plots of land in the city centers where buildings were destroyed during World War II, very often so called “infill” buildings are erected. Such buildings are erected also in the case when due to their bad technical condition the existing buildings should be demolished and in order to secure the neighboring buildings a new building should be constructed which would correspond to the other buildings within the existing setback line. The neighboring buildings are often over one hundred years old and their structure (wood floors, no tie beams, heavy but structurally weak rafter framing as well as shallow spread foundation (about 2 m below ground level) becomes a problem for the new “neighbor.” The new building, instead of basements or below the basement story level, must have an underground garage – this is required by each zoning approval for buildings located in the city centers. The new building is then a source of additional settlement of the existing neighboring buildings. Taking into account the necessity of making new deep excavations (12-15 m below the

kopów (12-15 m poniżej powierzchni terenu) dla części podziemnej powstającego budynku prawie nieuniknione wydaje się uszkodzenie konstrukcji nośnej starej niejednokrotnie zabytkowej zabudowy. Typowe sytuacje oddziaływania nowej zabudowy na istniejącą przedstawione zostaną na przykładach.

## 2. Przypadki sytuacji awaryjnych

### 2.1. Budynek mieszkalny w zabudowie zwartej (realizacja nr 1)

W wyniku powodzi stulecia w roku 1997 zatopiona została między innymi ul. Traugutta we Wrocławiu. Wzdłuż ulicy usytuowana jest zabudowa z początku dziewiętnastego wieku. Stan techniczny większości zlokalizowanych tam budynków jest bardzo zły. Utrzymująca się przez ponad trzy tygodnie woda dodatkowo pogorszyła parametry geotechniczne [1] podłoża gruntowego pod fundamentami, a także trwale zawilgociła ściany piwnic i parteru zalanych budynków. Po ustąpieniu wód powodziowych pojawiły się pęknięcia ścian nośnych i Nadzór Budowlany ocenił stan techniczny zabudowy i niektóre budynki wyłączył z użytkowania.

Ponieważ usytuowane one były wzdłuż ruchliwej ulicy (wyjazdowej w kierunku na Opole) zlecono rozbiórkę dwóch sąsiadujących kamienic w całym ciągu zwartej zabudowy. Powstała więc działka duża, z dobrą lokalizacją (blisko centrum miasta i z dobrym dojazdem), w pełni uzbrojona. Jednym utrudnieniem w zabudowie był fakt, że od strony ulicy granica działki biegła wzdłuż chodnika dla pieszych (którego nie można było zająć na plac budowy) a od strony zachodniej ściany szczytowej działki przylegała do równie starego i równie w złym stanie technicznym budynku posadowionego na głębokości 1,7 m poniżej powierzchni terenu. Zgodnie z decyzją o warunkach zabudowy, każdy nowy budynek wznoszony w centrum miasta musi posiadać podziemny parking,

ground level) for the underground part of the new building, the damage of the load-bearing structure of the old and often historical building seems almost unavoidable. The typical examples of the destructive impact of new buildings on the existing ones are presented below.

## 2. Examples of failures

### 2.1. Residential building in vicinity of old structures (Example 1)

In 1997, as a result of the flood of the century one of the streets that were flooded was Traugutta Street in Wrocław. The buildings located along the street were built at the beginning of the 19<sup>th</sup> century. The technical condition of most of them is very bad. The water which stayed there for over three weeks resulted in further deterioration of the geotechnical parameters [1] of the ground under the foundation as well as permanent moisture of the basement walls and ground floor of flooded buildings. After the flood waters receded cracks appeared in the load-bearing walls, the Building Supervision evaluated the technical condition of the buildings and some of them were condemned.

Since they are located along a busy street (leading out of the city in the direction of Opole) a demolition of two neighboring tenement houses within compact urban settlement was recommended. This left a fully improved large plot in good location (close to the city center and easily accessible.) The only difficulty was that the border of the plot from the side of the street was going along sidewalk for pedestrians (which could not be used as a construction site) and from side of the west gable wall the plot was adjoining another old building placed at the depth of 1.7 m below ground level, which was also in bad technical condition. In compliance with the zoning approval every new building erected in the city center must have an under-



Rys. 1. Elewacja frontowa budynku starego i budynku „plombowego”  
Fig. 1. Front facade of old building and an “infill” building

dla samochodów mieszkańców. Z tego powodu dla nowego budynku zaprojektowano płytę fundamentową na poziomie 3,8 m poniżej powierzchni terenu [3]. Ściana wykopu od strony ulicy zabezpieczona została ścianką stalową podpartą zastrzałami z dwuteowników. Zastrzały przenosiły siłę na głowice pali stalowych wbitych w podłoże gruntowe poniżej płyty fundamentowej. Stanowiło to utrudnienie przy wykonywaniu płyty, ponieważ należało zostawić otwór w płycie, który mógł być zabetonowany dopiero po zdemontowaniu zastrzałów. Ściana stalowa podpierająca naziem od strony podwórka została zakotwiona przy pomocy kotew iniekcyjnych. Największy problem był z wykonaniem płyty fundamentowej w sąsiedztwie sąsiedniego starego budynku. Wzmocnienie łąwy fundamentowej ściany szczytowej wykonano techniką podbijania. Po wykonaniu płyty fundamentowej nowego obiektu okazało się, że  $D_{\min}$  dla wzmocnionej starej łąwy wynosi około 0,2 m; co nie spełnia wymogów normy (min 0,5 m). Również nośność wzmocnionej łąwy w takim momencie prac fundamentowych nie spełnia warunku I stanu granicznego. Po wykonaniu 40 cm grubości płyty fundamentowej oczywiście warunki zostały spełnione, ale przez krótki okres czasu stabilność ściany szczytowej starego budynku była zagrożona. Taka sytuacja spowodowała „klasyczne” uszkodzenia konstrukcji starej zabudowy (rys. 1 i 2).

## 2.2. Budynek handlowo-biurowy w zabudowie zwartej (realizacja nr 2)

W samym centrum Wrocławia (około 300 m od Rynku) od czasów II wojny światowej czekała na zabudowę działka o szerokości 10 m i długości 72 m usytuowana na narożniku ulic. Wzdłuż dłuższego boku granicą działki był chodnik dla pieszych a z drugiej

ground parking-lot for its residents. This is the reason why the foundation slab for the new building was designed 3.8 m below ground level [3]. The excavation wall from the side of the street was secured by a steel wall supported by I beam angle struts. The angle struts carried the force onto the heads of the steel piles driven into the ground below the foundation slab. This made the making of the slab difficult because a hole was supposed to be left in the slab to

be concreted only after disassembling the angle struts. The steel wall supporting the backfill from the side of the yard was anchored with the use of ground anchors. The biggest problem regarded the making of the foundation slab so close to the neighboring building. The footing of the end wall was strengthened by underpinning. After the foundation slab of the new building was made it turned out that  $D_{\min}$  for the strengthened old footing was about 0.2 m which does not meet the requirements of the norm (min 0.5 m.) Furthermore, the load-bearing capacity of the strengthened footing at that moment of the foundation works does not meet the condition I of the ultimate limit state. After the 40 cm thick foundation slab was made the conditions were met but for a short time the stability of the gable wall of the old

building was in danger. Such a situation caused “classic” damage to the structure of old buildings (fig. 1 and 2)

## 2.2. Commercial and office building within compact urban settlement (Example 2)

Since World War II, a 10 m wide and 72 m long plot located at the corner of the streets in the very center of Wrocław (about 300 m from the Main Square) has been waiting to be developed. Its longer side border was a sidewalk for pedestrians and



Rys. 2. Uszkodzenia w poziomie przyziemia starego budynku powstałe w wyniku osiadania fundamentu ściany szczytowej  
Fig. 2. Damage of the ground floor of the old building caused by the settlement of the gable wall foundation

strony ściana szczytowa (nie nośna) sąsiada. Sąsiedni budynek o charakterze usługowym (biurowiec) jest pięciokondygnacyjny o ścianach nośnych prostopadłe usytuowanych dościany szczytowej (rys. 3). W wyniku prowadzonych w istniejącym budynku modernizacji wykonano duże otwory w ścianach nośnych przesklepione nadprożami. Sztywność przestrzenna bryły budynku uległa zmniejszeniu, a ściana



Rys. 3. Na pierwszym planie budynek dobudowany, w głębi spękana ściana szczytowa budynku istniejącego  
 Fig. 3. Annexed building – in the foreground and cracked gable wall of the existing building – in the background

na szczytowa uzyskała większą swobodę przemieszczeń poziomych. W tej sytuacji w projekcie fundamentów nowego, dobudowywanego budynku zaplanowano posadowienie na płycie fundamentowej na głębokości 4,0 m czyli 1,5 m poniżej ławy fundamentowej ściany szczytowej. Do tej głębokości zaplanowano „podbicie” odcinkami starego fundamentu. Prace wzmacniające fundament prowadzono w okresie jesienno zimowym przy dużej ilości opadów śniegu. W poziomie posadowienia chudego betonu pod płytą fundamentową pojawiła się woda gruntowa. Pod „wzmocnioną”, ławą fundamentową i płytą zalega warstwa piasku średniego nawodnionego, lokalnie w stanie luźnym. W wyniku odkopywania „podbitego” fundamentu okazało się, że  $D_{\min}$  wynosi 0.

on the other side a gable wall (not the load-bearing wall) of the “neighbor.” The neighboring building is a five-storied commercial (office) building with load-bearing walls perpendicular to the gable wall (fig. 3) As a result of modernization performed in the existing building large holes spanned with lintels were made in the load-bearing walls. The spatial rigidity of the building



Rys.4. Ukośne spękania ściany szczytowej spowodowane osiadaniem dalszej części ściany szczytowej istniejącego budynku  
 Fig. 4. Diagonal cracks of the gable wall caused by the settlement of the further section of the gable wall of the existing building

was reduced and the gable wall became more adaptable horizontally. In that situation the new annexed building was designed to be placed on the foundation slab 4.0 m below ground level that is 1.5 m below the footing of the gable wall. The old foundation was planned to be “underpinned” down to that depth in sections. The works strengthening the foundation were conducted in autumn and winter time when the snowfall was considerable. Ground water appeared at the level of lean concrete under the foundation slab. There is a layer wet medium, locally loose, sand under the “strengthened” footing and the slab. During unearthing of the “underpinned” foundation it turned out that  $D_{\min}$  was 0.

Nośność starego fundamentu wynikała jedynie z szerokości fundamentu która wynosiła 0.95 m i była mniejsza niż obciążenia obliczeniowe przekazywane przez pięciokondygnacyjną ścianę szczytową o grubości od 0,7; 0,5; 0,35 do 0,25 m. W trakcie wznoszenia nowego budynku wystąpiły znaczne ukośne spękania (rys. 4) ściany szczytowej oraz wewnętrznych prostokątnych ścian nośnych istniejącego budynku. Właściciel budynku starego zażądał odszkodowania od właściciela dobudowywanego budynku.

### 2.3. Budynek wielorodzinny w zabudowie zwartej (realizacja nr 3)

Również w tym przypadku mamy do czynienia z zabudową plombową. Zabudowano działkę między dwoma istniejącymi budynkami, które zbudowano w roku 1910. Obydwa graniczące z zabudowywaną działką budynki wykonane zostały w technologii tradycyjnej: ściany murowane z cegły pełnej, stropy drewniane – bez wieńców, więźba drewniana. Zagłębienie fundamentów względem poziomu terenu 1,5 m a względem poziomu posadzki piwnicy ( $D_{\min} = 0,2$  m). Linia zabudowy to krawędź chodnika od strony działki. W nowym budynku (rys. 5) zaprojektowano garaż podziemny a więc najbardziej optymalną formą posadowienia była płyta fundamentowa posadowiona 2,5 m poniżej poziomu terenu to znaczy około 1 m poniżej poziomu posadowienia fundamentów sąsiednich budynków. Tak jak w poprzednich przypadkach projektant zaproponował a wykonawca podjął się wykonać wzmocnienie fundamentów techniką „podbijania”. Skutki widoczne są na rys. 5 i 6

### 3. Analiza problemu

Przedstawione powyżej sytuacje są typowe dla nowych budynków budowanych na działkach usytuowanych w zwartej zabudowie miejskiej. Przy dużych obiektach, takich jak kina, supermarkety, budynki biurowe bogaty inwestor decyduje się na droższe ale pewniejsze technologie przy zabezpieczeniu sąsiedniej zabudowy. Technologie te to pale jet grouting, mikropale czy zastąpienie ścian szczelnych stalowych ściankami szczelinowymi. Natomiast dla pojedynczych wielorodzinnych obiektów plombowych kosztów wykonania części podziemnej budynku ma znaczny udział w cenie 1 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej i dlatego wszelkimi sposobami próbuje się go zmniejszyć. Oczywiście wówczas technologia „podbijania” wydaje się być optymalna. Niestety są to tylko pozory i to z kilku powodów.

1. po pierwsze wymaga to od projektanta szczegółowego zaplanowania poszczególnych eta-

The source of load-bearing capacity of the old foundation was only the foundation width which was 0.95 m and it was smaller than the calculation loads transferred by the five-storied gable wall whose thickness was from 0.7, 0.5, 0.35 to 0.25 m. During construction of the new building significant diagonal cracks appeared (fig. 4) on the gable wall and inner perpendicular load-bearing walls of the existing building. The owner of the old building demanded compensation from the owner of the annexed building.

### 2.3. Multi-family building within compact urban settlement (Example 3)

Also in this case we are dealing with an infill building which was constructed between two existing buildings which were constructed in 1910. Both of them were built in traditional technology: solid brick walls, wood floors – no tie beams, timber roof truss system. The foundation is 1.5 m below ground level and below the basement floor ( $D_{\min} = 0.2$  m.) The setback line is the edge of the sidewalk from the side of the plot. An underground garage was designed in the new building (fig. 5) so the most optimal form of foundation was the foundation slab placed 2.5 m below ground level that is about 1 m below the foundation of the neighboring buildings. Just like in the case of the other examples the designer suggested strengthening the foundation by underpinning. fig. 5 and 6 show the effects.

### 3. Analysis of the problem

The situations described above are typical of new buildings built on plots located within compact urban settlement. With large building structures such as cinemas, supermarkets, office buildings a rich investor decides to use more expensive but also more reliable technologies to secure neighboring buildings. Such technologies include jet grouting piles, micropiles or replacing steel sheet piling with diaphragm walls. However, in the case of single multi-family infill buildings, the share of the costs of making the underground part of the building in the price of 1 m<sup>2</sup> of the floor area is significant and that is why all kinds of attempts are made at reducing it. Obviously then underpinning seems the optimal solution. Unfortunately, its advantages are only apparent for several reasons.

1. Firstly, underpinning requires from the designer detailed planning of individual stages of this process to assure that the different width and depth of the foundation guarantee uniform increase of the load-bearing ca-



Rys. 5 Budynek plombowy przylega do ściany szczytowej budynku wybudowanego na początku dziewiętnastego wieku.  
Fig. 5 Infill building adjoins the gable wall of the building built at the beginning of the 19th century



Rys.6 Uszkodzenia w poziomie przyziemia budynku istniejącego wywołane osiadaniami ściany szczytowej  
Fig. 6 Damage at the ground floor level of the existing building caused by the settlement of the gable wall

pów podbijania, tak aby zmieniana szerokość i głębokość posadowienia fundamentu gwarantowała równomierne narastanie nośności na długości ławy. Również aby naprężenia pod podstawą ławy spełniały warunek płaskiego stanu naprężenia.

2. po drugie wykonawca musi być doświadczony w tego typu pracach i nie poddawać się presji czasu. Podbijanie dłużnymi odcinkami niż 1-1,5 m (w zależności od długości fundamentu) będzie groziło lokalną utratą nośności istniejącego fundamentu.
3. po trzecie technologia „podbijania” jest ułomna w swoim zamyśle – nie gwarantuje dobrej jakości wzmocnionego fundamentu jeżeli w podłożu występuje woda gruntowa, w procesie wiązania betonu występuje zjawisko skurczu, co wywołuje dodatkowe osiadania konstrukcji nadziemnej.

#### 4. Wnioski końcowe

W ostatnich kilku latach znacznie zmniejszyła się ilość działek gruntowych możliwych do zabudowy w centrach dużych miast. Ponieważ cena 1 m<sup>2</sup> grun-

capacity along the footing as well as compliance of the stresses under the footing with the condition of the state of stress in two dimensions.

2. Secondly, the contractor must be experienced in this type of works and relentless to time pressure. Underpinning sections longer than 1-1.5 m (depending on foundation length) can cause local loss of load-bearing capacity of the existing foundation.
3. Thirdly, underpinning is imperfect in its intent – it does not guarantee good quality of the strengthened foundation; if there is ground water, shrinkage occurs in the process of concrete curing, which causes additional settlement of the building structure above the ground.

#### 4. Final conclusions

Over the last couple of years the number of plots of land where buildings could be erected in the centers of big cities has decreased substantially. Since the



tów jest porównywalna z cenami gruntów w krajach zachodnich właściciel terenu musi wykorzystać całą powierzchnię działki (również poniżej poziomu terenu) aby ulokować tam parking wielopoziomowy czy magazyn. W tej sytuacji praktycznie jedynym rozwiązaniem jest posadowienie obiektu na płycie fundamentowej i jej projekt nie stanowi problemu dla projektantów. Natomiast wyzwaniem jest zaprojektowanie zabezpieczenia ścian głębokiego wykopu (8 do nawet 15 m) i stabilności fundamentów starej (często stuletniej) istniejącej zabudowy. Obecnie dostępnych jest kilka metod:

- do wzmacniania fundamentów istniejących budynków pale jet grouting, mikropale [2]
- do zabezpieczania ścian głębokiego wykopu: szczelne ścianki stalowe, ścianka berlińska (przy braku wody gruntowej) ścianka szelinowa, kolumny DSM czy kotwienie prawie pionowych skarp gruntowych zabezpieczonych siatką stalową i narzutem betonowym.

Projektanci powinni pamiętać, że nie wystarczy sprawdzić warunki nośności fundamentów nowego i starego w finalnej fazie wykonawstwa ale także we wszystkich fazach pośrednich.

price of 1 m<sup>2</sup> of land is comparable to the prices of land in the West the owner of the land must use the whole area of the plot (also below ground level) to locate there a multi-level parking lot or a warehouse. In such a situation practically the only solution is building on a foundation slab whose design is not a problem for designers. However, designing a reliable protection of deep excavation walls (8 to even 15 m) and maintaining the stability of the old foundation (often one hundred years old) of existing buildings is a challenge. A few methods are available at present:

- to strengthen the foundation of existing buildings: jet grouting piles or micropiles [2]
- to secure deep excavation walls: tight steel sheet piling, soldier pile and cladding wall (when there is no ground water), diaphragm wall, DSM columns or anchoring almost vertical ground slopes secured with steel mesh and concrete bed.

Designers should remember that it is not enough to check the load-bearing capacity of the new and old foundation in the final stage of works but also at all interim stages.

## Literatura • References

- [1] Wiłun Z., *Zarys geotechniki Wydawnictwa Komunikacji i Łączności*, Warszawa 1976.
- [2] Stiller Szydło E., *Posadowienia budowli infrastruktury transportu lądowego*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2005.
- [3] Kotlicki W., Wysokiński L., *Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów*, Instytut Techniki Budowlanej nr 376/2002, Warszawa 2002.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wrocław, Polska

\* Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

---

## Streszczenie

Budowa budynków „plombowych” w zwartej zabudowie miejskiej wymaga szczególnie rzetelnego rozpoznania poziomu posadowienia budynków istniejących (po obu stronach nowej zabudowy). Informacja ta pozwala na dobór właściwej technologii wzmocnienia istniejących fundamentów. Projektant nowego fundamentu, w tych warunkach, musi mieć świadomość, że tradycyjna technika „podbijania” jest techniką złą i nie gwarantująca właściwej pracy tak wzmocnionych starych fundamentów. Jedynie pale jet – greting, mikropale czy wciskane odcinkowe pale prefabrykowane dają taką gwarancję. W artykule zaprezentowano trzy przypadki złego wzmacniania i skutki dla sąsiednich budynków.

## Abstract

The construction of new "infill" buildings within high-density city housing requires that the level of foundation of the existing structures should be thoroughly investigated (on both sides of the new structure). Information thus obtained makes it possible to select an appropriate technology of reinforcement of the existing foundations. A designer of a new foundation in such circumstances has to be aware that the traditional technique of underpinning is a wrong practice, which does not guarantee proper work of the foundations reinforced in that way. Only such technologies as jet-grouting, micropiles or pre-cast concrete sectional pile driving ensure safety to adjacent structures. This article presents three examples of faulty foundation reinforcement and its impact on neighbouring buildings.

Tadeusz Chyży\*, Krzysztof Robert Czech\*  
Mikołaj Malesza\*, Czesław Miedziałowski\*

## Badania i ocena wpływów drgań drogowych w zespole budynków zabytkowych

## Investigations and evaluation of road vibrations influence in historic buildings complex

### 1. Wstęp

W ostatnich latach, coraz częściej występują problemy negatywnego oddziaływania drgań propagowanych z ciągów komunikacyjnych na obiekty budowlane i przebywających w nich ludzi. Powyższe zagadnienie nabiera jeszcze większego znaczenia, gdy mamy do czynienia z zabudową o unikalnych walorach architektonicznych i historycznych, objętych ochroną konserwatora zabytków.

W pracy zaprezentowane zostaną wyniki pomiarów i analiz wpływów dynamicznych na budynki i ich użytkowników, jakie zostały przeprowadzone w jednym z najstarszych i najpiękniejszych „zespółów urbanistycznych historycznego Podlasia”, jakim jest Tykocin. Miasteczko, położone w Kotlinie Biebrzańskiej na zachód od Białegostoku, powstało w miejscu przeprawy przez rzekę Narew skracającej szlak handlowy prowadzący z Wilna i Moskwy za zachód Polski. Tykocin, który prawa miejskie uzyskał już w 1425 r. (z nadania księcia mazowieckiego Janusza), jest jednym z nielicznych miejsc na Podlasiu, w którym zachowało się architektoniczne dziedzictwo poprzednich wieków i któremu w chwili obecnej zagraża postęp cywilizacyjny, w tym szczególnym przypadku związany z intensyfikacją ruchu drogowego.

Powszechnie wiadomo, iż nadmierne amplitudy przyspieszeń (prędkości lub przemieszczeń) drgań, generowanych przejazdami pojazdów kołowych i propagowanych, zazwyczaj w dolnych pasmach częstotliwości, powodują przyspieszoną konsolida-

### 1. Introduction

Problems of negative action on buildings and their inhabitants under vibrations propagated from communication routes are constantly rising within period of several last years. This problem acquire higher importance in case of unique architecture and historic value buildings being usually under conservator of monuments and historic heritage.

Paper presents results of measurements and analyses of dynamic influences on buildings and their inhabitants. The investigations were conducted in Tykocin one of the oldest and most beautiful town-planned historic complex of Podlissie Region.

Little country town Tykocin is allocated in Biebrza River Valley toward west of Bialystok in the place of historic crossing of Narew River making shorter the trade route from Vilnius and Moscow to the western part of Poland. Tykocin acquired civic rights in 1425 under conferment of Mazowian prince Janusz and the town remains the unique place in Podlissie Region with preserved architecture heritage of past centuries being actually threatened with civilization progress and specifically in case of this town in result of intensified heavy traffic.

It became widespread that excessive amplitudes of acceleration (velocity or displacement) of vibrations being generated in result of traffic vehicles passages and propagated usually in the bottom bands of frequency cause accelerated soil consolidation and in result decidedly more rapid non-uniform settlement of buildings. Derivative failures of foundations

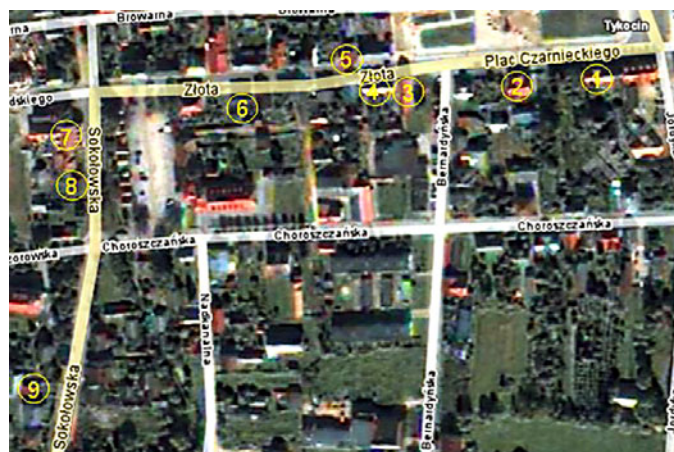
cję gruntu i zdecydowanie szybsze w czasie, nierównomierne osiadanie budynków. Temu zjawisku, w zależności od intensywności i częstotliwości, z jakimi propagowane są drgania, towarzyszą zwykle wtórne uszkodzenia fundamentów i ścian nośnych budowli. W niektórych przypadkach, przy wyjątkowo intensywnych oddziaływaniach dynamicznych może następować dalsze przyspieszone zużycie obiektów budowlanych – w szczególnie niekorzystnych warunkach może dochodzić nawet do uszkodzeń elementów konstrukcyjnych. Tego typu oddziaływania dynamiczne nie pozostają także bez wpływu na użytkowników i mieszkańców ww. obiektów, którzy mogą uskarżać się na pogorszenie komfortu użytkowania.

Celem przeprowadzonych pomiarów i analiz była ocena szkodliwości drgań propagowanych z drogi wojewódzkiej Nr 671 o nawierzchni z nieregularnej kostki granitowej (Plac Czarnieckiego i ul. Złota) i brukowej (ul. Sokołowska) na budynki oraz ocena wpływu ww. drgań na ludzi [8].

## 2. Opis budynków

Do badań wytypowano 9 obiektów budowlanych o konstrukcji typowej dla zabudowy miasta Tykocin, których mieszkańcy i użytkownicy w głównej mierze uskarżali się na nadmierną uciążliwość drgań generowanych przejazdami pojazdów kołowych drogą wojewódzką Nr 671.

Wybrane budynki, położone przy ulicach (rys. 1): Plac Czarnieckiego 5 i 7 (budynki Nr 1 i 2), Złotej 3, 4 i 14 (Nr 4, 5, 6) oraz Sokołowskiej 5 i 15 (Nr 8 i 9). Większość ww. obiektów to jedno-, dwu- oraz trzykondygnacyjne budynki mieszkalne zrealizowane w technologii tradycyjnej, jeden budynek użyteczności publicznej (ul. Złota 2 – budynek Nr 3) – Urząd Miejski oraz obiekt usługowy o funkcji gastronomiczno-noclegowej (ul. Sokołowska 3 – budynek Nr 7) – Willa Regent.



Rys. 1. Lokalizacja wybranych budynków na planie miasta  
Fig. 1. Location of selected buildings according to the town plan

and buildings bearing walls are usually accompanying this phenomenon depending on intensity and frequency of propagated vibrations. Under highly intensive dynamic action in some cases may appear increase and accelerated wearing of building out under specifically unfavourable conditions may appear damages of structural elements. These actions are also influencing inhabitants and residents of buildings and they may complain from decreased comfort of exploitation. Evaluation of harmfulness of vibrations propagated from district road No. 671 with the non-regular cut granite stone surface at the Czarniecki Square and Złota Street and the cobblestone surface of Sokolowska Street on buildings as well as evaluation of influence of the vibrations on inhabitants [8] remains the aim of conducted measurements and analysis.

## 2. Descriptions of buildings

Nine buildings of typical structure for Tykocin town were selected for investigations where inhabitants and users mainly complained for excessive onerousness of vibrations generated from road vehicles passing the district road No. 671. Selected buildings were located at Czarniecki Square 5 and 7 (buildings No 1 and 2), at Złota Street 3, 4 and 14 (No 4, 5, 6) and at Sokolowska Street 5 and 15 (buildings No.8 and 9). Most of these buildings one, two or three floors were constructed in traditional technology and they are residential buildings, however building located at Złota Street 2; No 3 actually is used as the town municipality and building at Sokolowska Street 3; No 7 is used as the hotel – Villa Regent.

Examined buildings were reconstructed or newly constructed; buildings No 7, 8 and 9. Building



Rys. 2. Widok budynków Nr: 1, 2, 3, 4 i 5  
 Fig. 2. Buildings No: 1, 2, 3, 4 and 5, general view

Badane budynki zostały odbudowane lub wykonane od nowa (budynki Nr: 7, 8 i 9). Budynek Nr 7 wybudowano, na starych fundamentach, w ostatnich latach.

Budynki o Nr 1 do 8 znajdują się w odległości od 1.2 do 7.4 m od krawędzi drogi. Najdalej, bo w odległości 17.25 m od krawędzi jezdni, położony jest budynek Nr 9 (ul. Sokołowska 15). Przykładowe budynki pokazano na (rys. 2).

### 3. Metodyka badań

Nie jest możliwe jednoznaczne określenie wpływu szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki i ocena ich wpływu na ludzi jedynie na podstawie oględzin stanu budynku. W tym celu niezbędne jest przeprowadzenie pomiarów dynamicznych, wykonanie modelu MES, przeprowadzenie obliczeń numerycznych i szczegółowe przeanalizowanie uzyskanych wyników badań. W przypadku budynków (wykonanych) z elementów muryowanych lub wielkich bloków ocenę wpływu drgań na budynek można przeprowadzić w sposób przybliżony – za pomocą skal wpływów dynamicznych SWD [1], [4], [5].

No 7 has been constructed on the old foundations within last several years.

Buildings No 1 to 8 are located 1.2 to 7.4 m from the edge of traffic route. 17.25 m from the edge of the road surface is located building No 9 at Sokolowska Street 15. Figure 2 presents selected buildings.

### 3. Method of testing

It is impossible explicitly determine the destructive influence of vibrations transmitted through sub-base on buildings and evaluation its influence on inhabitants on the base of technical state inspection. It is essential to conduct the dynamic measurements, creation of FEM model, numerical analysis and precise analysis of obtained experimental test results. Evaluation of vibration influence on building can be done approximately adopting scales of dynamic influence SWD [1], [4], [5] in case of buildings constructed of masonry units or large blocks. All buildings selected for experimental tests can be evaluated in respect of harmful influence of vibrations transmitted from the soil applying approximate scales of dynamic influences SWD.

W prezentowanym przypadku dla wszystkich wytypowanych do badań budynków możliwe było przeprowadzenie oceny wpływu szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki za pomocą przybliżonych skal wpływów dynamicznych (SWD).

Zgodnie z normą [1] charakterystyki wymuszeń kinematycznych wyznaczono w oparciu o pomiar zmian w czasie przyspieszeń, zarejestrowanych w punktach pomiarowych usytuowanych od strony źródła drgań na fundamentach lub ścianach nośnych budynków w poziomie otaczającego terenu – niezależnie dla osi podłużnej i poprzecznej budynków.

Ocenę wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach realizowano, zgodnie z normą [2], na podstawie pomiaru widma przyspieszeń drgań zarejestrowanych w środku rozpiętości stropów.

Dodatkowo rejestracji podlegały przyspieszenia drgań generowane przy krawędzi jezdni, a sporadycznie również w osi jezdni.

W każdym punkcie pomiarowym przyspieszenia drgań rejestrowano na trzech kierunkach: pionowym „z” oraz w płaszczyźnie poziomej na kierunku osi „x” i „y” (x – oznacza kierunek równoległy do osi drogi; y – kierunek prostopadły do osi drogi).

Lokalizację przykładowych punktów pomiarowych oraz sposób rozmieszczenia czujników pokazano na (rys. 3).

As it comes from standard [1] characteristics of kinematic extortions were determined basing on the measurements of alteration in time of accelerations recorded in measuring points located from the side of vibration sources at the foundations or load bearing walls at the level of surrounding ground irrespective of longitudinal or transverse building axis. Evaluation of vibration influence on inhabitants in buildings has been realized according to standard [2] on the base of acceleration of vibrations spectrum being registered in the mid-span of the floor slabs. Accelerations of vibrations at the edge of street as well as sporadically in the surface axis were registered in addition.

At each measurement point acceleration of vibrations were registered in three directions: vertical z and in the plane x and y, where x – indicate the direction parallel to the axis of road and y indicates direction of perpendicular to the road axis.

Location of selected reading points and way of distribution of gauges are presented in Fig. 3. Acceleration of vibrations were recorded using the vibration recorder KSD-400 connected to the PC computer with four low- frequency piezoelectric gauges 3191A and eight low-frequency piezoelectric gauges 3197D of Dytran Co. Measurements ranges and accuracy of reading system significantly exceeded requirements of standard [1].



Rys. 3. Usytuowanie przykładowych punktów pomiarowych  
Fig. 3. Location of selected measurement points

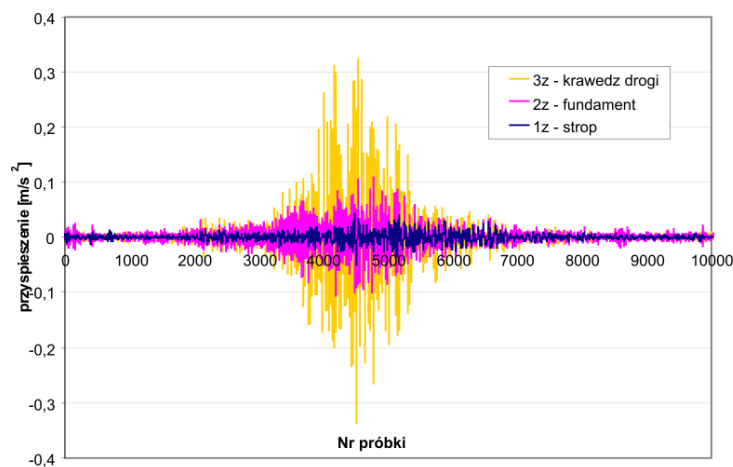
Do rejestracji przyspieszeń drgań wykorzystano podłączony do przenośnego komputera typu PC rejestrator drgań KSD-400 wraz z 4 niskoczęstotliwościowymi czujnikami piezoelektrycznymi typu 3191A oraz 8 niskoczęstotliwościowymi czujnikami piezoelektrycznymi typu 3197D firmy Dytran. Zakresy pomiarowe oraz dokładność układu pomiarowego znacznie przewyższały wymagania normy [1].

Badania prowadzono dla przejazdów pojazdów testowych o masie całkowitej 10T (Kamaz) oraz 40T (Renault), a także innych pojazdów (głównie ciężarowych) ruchu lokalnego. Pojazdy testowe poruszały się z prędkościami ok. 40 i ok. 50 km/h, a w przypadku budynków Nr 3 i 9 dodatkowo rejestrowano przejazdy pojazdów z prędkościami ok.: 20 i 30 km/h.

Przykładowe zestawienia przyspieszeń zarejestrowanych w punktach pomiarowych zlokalizowanych w środku rozpiętości stropu, na fundamencie lub ścianie nośnej budynku oraz w pobliżu krawędzi drogi przedstawiono na (rys. 4).

Tests were conducted for passing test trucks with total mass of 10 ton type of Kamaz and 40 ton Renault as well as the other vehicles mainly heavy trucks passing in local traffic. Test vehicles were moving with velocity of 40 to 50 km/h and in case of buildings No 3 and 9 in addition were registered passing of vehicles with the velocity of 20 and 30 km/h.

As an example set of accelerations registered in measurement points located in the mid-span of the floor slab, at the foundation or on the building bearing wall as well as close to the edge of the road are presented in fig. 4.



Rys. 4. Przykładowe zestawienie przyspieszeń pionowych (na kierunku „z”) zarejestrowanych w trakcie przejazdu pojazdu testowego o masie 10 T w pobliżu budynku Nr 7  
 Fig. 4. Example set of vertical accelerations in z direction being registered during the passing of test vehicle mass of 10 ton close to building No 7

#### 4. Wyniki pomiarów drgań przekazywanych z podłoża na wybrane budynki i ich użytkowników

W celu przeprowadzenia oceny szkodliwości drgań przy wykorzystaniu skal SWD i zaklasyfikowaniu ich do jednej z pięciu stref szkodliwości na budynki (I, II, III, IV i V) wymagane było przeprowadzenie filtracji dolnoprzepustowej sygnału przy górnej częstotliwości odcięcia równej 100 Hz, a następnie wykonanie analizy tercylowej – tzn. analizy w pasmach 1/3-oktawowych dla składowych poziomych przyspieszeń drgań zarejestrowanych na fundamentach rozpatrywanych budynków w poziomie otaczającego terenu.

Do przeprowadzenia analiz wykorzystano program komputerowy ProData [3]. Przykładowe wy-

#### 4. Results of vibration measurements transmitted from sub-base on selected buildings and their inhabitants

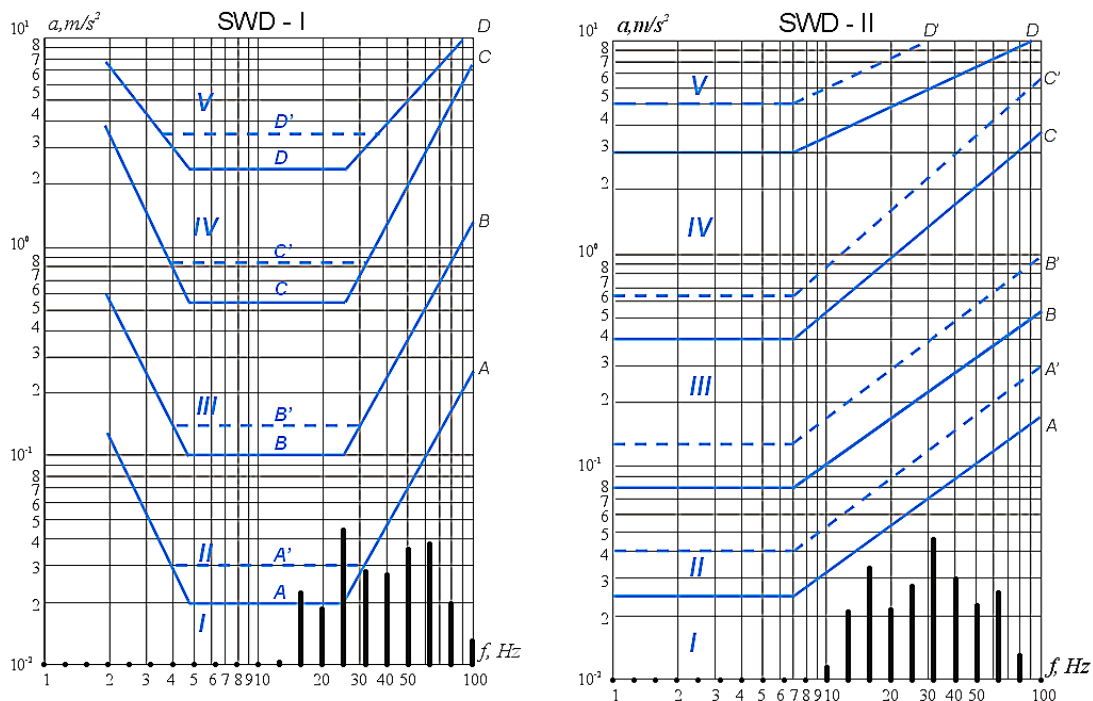
Due to conducting of evaluation of vibration harmfulness utilizing scales SWD as to classify their to one of five detrimental zones on buildings (I, II, III, IV and V) it is required carry out filtration the bottom-transmit of signal at upper frequency cut-off equal 100 Hz and than conduction of tertialy analysis in the 1/3 octave bands for horizontal accelerations of vibrations registered on foundations of tested buildings at the level of surrounding ground. Computer program ProData [3] has been adopted in analysis. Examples of results overlapped on scales of dynamic influence SWD-I and SWD-II are presented in fig. 5.

niki, nałożone na skale wpływów dynamicznych SWD-I i SWD-II, przedstawiono na (rys. 5).

Ocenę wpływu drgań na ludzi w budynkach przeprowadzono na podstawie pomiaru widma drgań. W takim przypadku ocenę przeprowadza się poprzez porównanie zmierzonych wartości skutecznych (*RMS*) przyspieszenia drgań  $a_{RMS}$  w pasmach 1/3 oktaowych dla analizowanego kierunku drgań (uprzednio poddanych filtracji dolnoprzepustowej przy górnej częstotliwości odcięcia wynoszącej 80 Hz), z odpowiednimi wartościami dopuszczalnymi  $a_{dop} = a_1 \cdot n$  (gdzie:  $a_{dop}$  – dopuszczalna wartość przyspieszenia w kierunku odbioru drgań dla pasma 1/3 oktaowego o określonej częstotliwości środkowej  $f_i$ ), określonymi zgodnie z p. 4.2. normy [2], przy czym  $a \leq a_{dop}$  [ $m/s^2$ ].

Evaluation of vibration influence on building inhabitants has been done on the base of vibration spectra measurements. Evaluation in this case is conducted through comparison of measured effective values (*RMS*) of vibration accelerations  $a_{RMS}$  in the 1/3 octave bands for analyzed directions of vibrations previously filtrated bottom-throughput under upper frequency of separation 80 Hz with adequate allowable values  $a_{dop} = a_1 \cdot n$ , where:  $a_{dop}$  – is the allowable value of acceleration in direction of vibration receiving for 1/3 octave band with determined mid frequency  $f_i$ , determined according to 4.2. standard [2], where  $a \leq a_{dop}$  [ $m/s^2$ ].

Coefficient  $n$  has been taken considering assignment of analyzed building interiors, time of appearing of vibrations (day or night) and character and



Rys. 5. Przejazd samochodu ciężarowego o masie całkowitej 40 T przy budynkach Nr 3 i 7 (kierunek x)  
 Fig. 5. Passing of heavy truck of the total mass 40 tons at the buildings No 3 and 7 – direction x

Współczynnik  $n$  przyjęto z uwzględnieniem przeznaczenia pomieszczeń w analizowanych budynkach, pory występowania drgań (dzień, noc) oraz charakteru i powtarzalności drgań. W większości przypadków mamy do czynienia z budynkami mieszkalnymi (budynki Nr: 1, 2, 4 do 6, 8 i 9) lub obiektami o podobnym przeznaczeniu (budynek Nr 7), dla których współczynnik  $n$  przyjmuje się jak dla: mieszkań, internatów i pomieszczeń podobnego przeznaczenia poddanych działaniu drgań ustalonych oraz drgań sporadycznych o krotności większej niż 10 na dobę [2]. W analizowanym przypadku współczynnik  $n$  przyjmuje wartość 4 – dla drgań

repeatability of vibrations. In most cases there are residential buildings (No: 1, 2, 4, 5, 6, 8 and 9) Or building with similar assignment (building No 7) where parameter  $n$  is taken like in case of residential buildings, boarding – school or similar buildings being under steady or sporadic vibrations with multiplication higher than 10 within twenty-four-hours [2]. In the analyzed case coefficient  $n$  takes value 4 – for vibrations occurring within the day time and 1,4 for vibration in the night time. Local Municipality Building No 3 has different assignment and as for a public building coefficient  $n$  has been taken like for offices, schools and similarly assigned

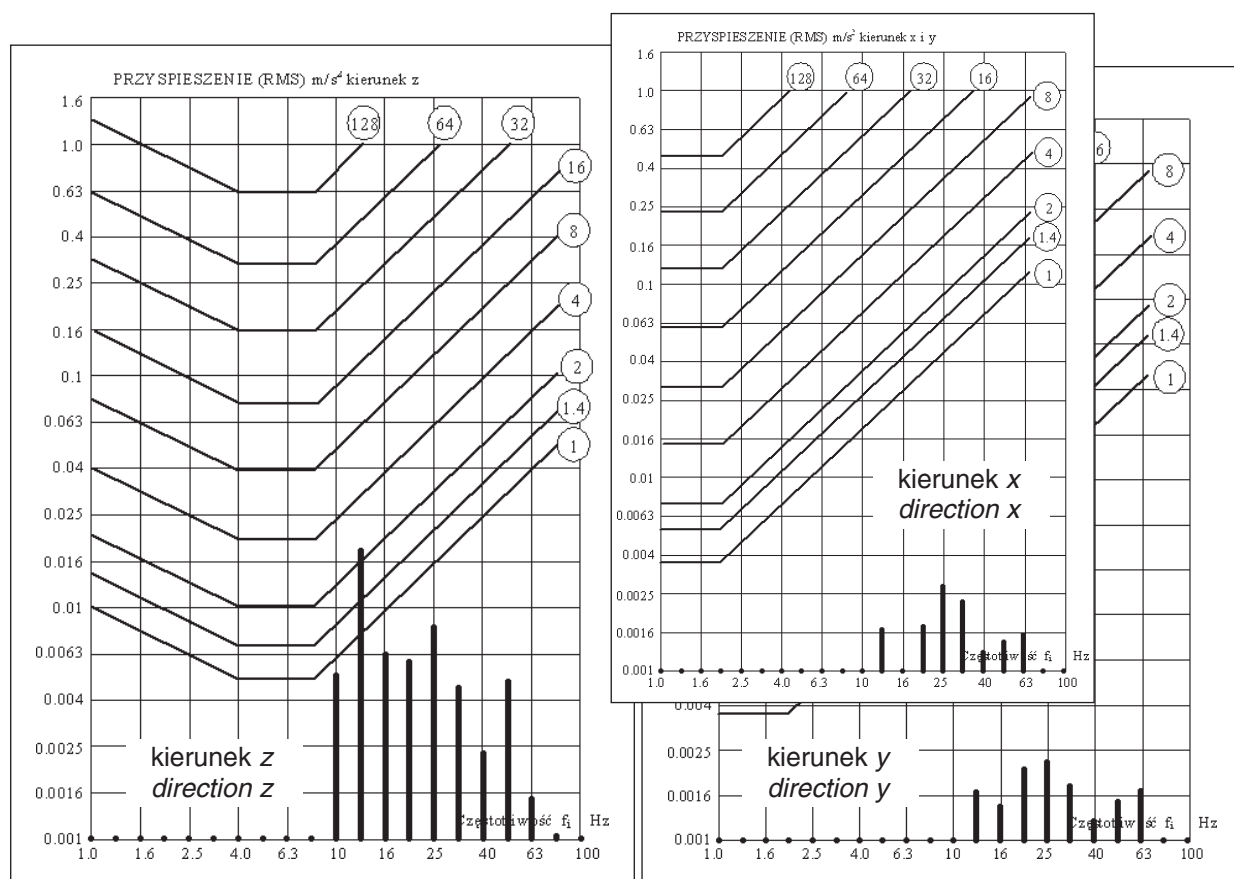
występujących w dzień oraz 1.4 dla drgań występujących w porze nocnej. Budynek Nr 3 (Urząd Miejski) ma inne przeznaczenie – jest obiektem użyteczności publicznej, dla którego współczynnik  $n$  przyjęto jak dla biur, urzędów, szkół i pomieszczeń podobnego przeznaczenia. W tym przypadku wartość współczynnika nie zależy od pory występowania drgań i zawsze wynosi  $n = 4$ .

W związku z powyższym wartości skuteczne zarejestrowanych przyspieszeń drgań nie powinny przekraczać w żadnym z pasm 1/3 oktawowych o częstotliwościach środkowych  $f_i$  czwartego progu odczuwalności drgań przez człowieka – dla drgań występujących w dzień i progu 1.4 – dla drgań występujących w porze nocnej (w przypadku budynku Nr 3 nie powinny przekraczać czwartego progu odczuwalności – zarówno w porze dziennej jak i nocnej).

Ocenę przeprowadzono (przy wykorzystaniu programu komputerowego *ProData* [3]) zarówno dla drgań na kierunku pionowym jak i drgań poziomych w płaszczyźnie stropów ( $x, y$ ). Przykładowe wykresy obrazujące poziomy odczuwalności drgań przez człowieka prezentowane są na (rys. 7 i 8).

rooms. In that case value of coefficient does not depend on time of vibrations appearing and always is taken  $n = 4$ .

Effective values of the registered accelerations of vibrations cannot exceed of the fourth filling threshold vibration by men in all of 1/3 octave bands with mid frequencies  $f_i$ , for vibration in the day and threshold 1,4 and in the night in case of building No 3 the vibrations cannot exceed the fourth threshold of feeling during the day and the night. Evaluation has been done utilizing the computer program *ProData* [3] in case of vibrations in vertical direction and for horizontal vibrations at the plane of floor slab ( $x, y$ ). As an examples the diagrams mapping levels of feeling by human being are presented in figures 7 and 8.



Rys. 6. Przejazd samochodu ciężarowego o masie całkowitej 10 T przy budynku Nr 1 – kierunki: z, x i y  
 Fig. 6. Passing of heavy vehicle of total mass 10 tons at building No 1 – directions z, x and y



## 5. Analiza wyników pomiarów

### 5.1. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki

Na podstawie przeprowadzonych ocen szkodliwości wpływu drgań na analizowane budynki należy stwierdzić, iż przyspieszenia drgań poziomych (zarówno w kierunku  $x$  jak i  $y$ ) zarejestrowane na fundamentach lub zewnętrznych ścianach nośnych budynków, wywołane przejazdami samochodów osobowych i samochodów dostawczych – w tym pojazdu testowego o masie całkowitej 10T w zasadzie nie przekraczają krzywej granicznej  $A$  na skalach wpływów dynamicznych ( $SWD$ ) – oznaczającej dolną granicę odczuwalności drgań przez budynek. Zgodnie z normą [1] taki poziom drgań klasyfikuje je do  $I$  strefy szkodliwości – czyli drgań nieodczuwalnych przez budynek. Tylko w jednym przypadku – w budynku Nr 2 (Plac Czarnieckiego 5) stwierdzono przekroczenie linii granicznej  $A$  przy przejeździe samochodu testowego o masie 10T pasem jezdni najbliższym budynku (zarówno na kierunku  $x$  jak i  $y$ ).

Niestety przez miasto Tykocin, pomimo istniejących ograniczeń co do dopuszczalnej masy całkowitej pojazdów do 10T, często przejeżdżają znacznie cięższe samochody ciężarowe. Jak wykazały badania i przeprowadzone oceny szkodliwości drgań generowanych przejazdem pojazdu testowego o masie całkowitej 40T – w tym przypadku zwykle dochodziło (zarówno na kierunku  $x$  jak i  $y$ ) do przekroczenia linii granicznej  $A$  na skalach wpływów dynamicznych ( $SWD$ ), co klasyfikowało zarejestrowane drgania do strefy  $II$  – tzn. drgań odczuwalnych przez budynek, ale nieszkodliwych dla jego konstrukcji (następuje tylko przyspieszone zużycie budynku i pojawiają się pierwsze rysy w wyprawach, tynkach itp.). Występowanie drgań odczuwalnych przez budynek ( $II$  strefa) stwierdzono w przypadku budynków o Nr: 1, 2, 4, 5 (wyłącznie na kierunku  $x$ ), 6 i 8 – przy przejeździe ww. pojazdu testowego pasem jezdni bliższym budynku. Nieco niższy poziom przyspieszeń w pasmach tercjowych generowany był przy przejeździe pojazdu testowego o masie 40 T w przeciwnym kierunku (oddalonym od budynku pasem jezdni). W tym przypadku tylko w budynkach o Nr: 2, 4 i 6 odnotowano przekroczenie linii granicznej  $A$ .

Nie stwierdzono natomiast negatywnych oddziaływań drgań generowanych przejazdami ciężkich pojazdów testowych w pobliżu budynków o Nr: 3, 7 i 9 (dla których, ze względu na ich wymiary zewnętrzne, podobnie jak dla budynku Nr 5, zastosowano bardziej rygorystyczną skalę wpływów dynamicznych  $SWD-II$ ).

## 5. Analysis of tests results

### 5.1. Evaluation of vibration harmfulness transmitted from sub-base on buildings

As it comes from conducted analysis evaluating influence of vibrations harmfulness on analyzed buildings the horizontal vibration accelerations in the direction  $x$  as well as in  $y$  being registered at the foundations or outer bearing walls in result of passing cars and delivery vans including test vehicle of total mass 10 tons do not exceed limit curve  $A$  on the scales of dynamic influence  $SWD$  determining bottom limit of feeling of vibrations by buildings. According to the standard [1] such a level of vibrations classifies them to  $I$  zone of harmfulness hence they are vibrations imperceptible by building. In case of building No 2 only it has been noticed exceeding of limit line  $A$  under passing along the strip of surface closest to the building of test vehicle mass of 10 tons in the direction  $x$  and  $y$ .

Unfortunately through Tykocin despite limitation in traffic referring to the allowable mass of vehicles not exceeding 10 tons very often are passing heavier vehicles. As it comes from investigations and from evaluation of harmfulness of generated vibrations under test vehicle of 40 tons total mass in both directions  $x$  and  $y$  the limit line  $A$  has been exceeding on the scales of dynamic influence  $SWD$  classifying registered vibrations to the  $II$  zone of vibrations perceptible by building, but non-harmful for building structure causing increased wearing of building in result and appearing of cracks in plastering and finishes.

Appearing of vibrations perceptible by building in the  $II$  zone were confirmed for buildings No 1, 2, 4 and 5 in the direction  $x$  only as well as 6 and 8 under passing of the test vehicle along the runway close to the building. Somewhat lower level of accelerations in the tertial bands has been generated under passing of test vehicle mass of 40 tons in the opposite direction along the distanced from building runway. In this case in buildings No 2, 4 and 6 has been noticed exceeding of limit line  $A$ .

No negative response of vibrations being generated in result of passing heavy vehicles during the tests were noticed in the vicinity of buildings No 3, 7 and 9 where similar to building No 5 has been used more rigorous scale  $SWD-II$  of dynamic influence.

In no case has been state appearance of vibrations qualified to  $III$  zone where harmful vibrations cause local cracking and failures decreasing ability of structure in transfer ring loading and decreasing resistance on dynamic influence.

W żadnym przypadku nie stwierdzono natomiast występowania drgań, które należałoby zakwalifikować do III strefy – *tnz. drgań szkodliwych dla budynku (powodujących lokalne spękania i zarysowania i osłabiających przez to konstrukcję budynku oraz zmniejszających jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne).*

## 5.2. Ocena wpływu drgań na ludzi

Jak wynika z analiz przeprowadzonych dla wszystkich ww. budynków – drgania poziome w płaszczyźnie wszystkich stropów są praktycznie nieodczuwalne przez mieszkańców. Biorąc pod uwagę fakt nieprzekroczenia w analizowanych budynkach pierwszego progu odczuwalności drgań przez człowieka w płaszczyźnie poziomej w żadnym z pasm 1/3 oktaowych, należy stwierdzić, że warunek normowy  $a_{x,y} \leq a_{dop}$  – został spełniony w kierunku osi poziomych  $x$  i  $y$ . Drgania poziome w tym przypadku nie wpływają na pogorszenie komfortu mieszkańców ww. budynków.

Na kierunku pionowym, w każdym z analizowanych obiektów, wielokrotnie stwierdzono przekroczenie co najmniej pierwszego progu odczuwalności drgań przez człowieka. Przy czym, przekroczenia ww. progu drgań nie powodowały przejazdu samochodów osobowych oraz małych samochodów dostawczych.

Przejazd samochodu testowego o masie całkowitej 10T w lewą stronę (oddalonym pasem jezdni) powodował maksymalne przekroczenie odczuwalności drgań przez człowieka na poziomie: 1.0 – dla budynków Nr 3 i 5 oraz 1.4 – dla budynku Nr 4. Najwyższy poziom 2.0 stwierdzono w przypadku budynku Nr 6. Nie odnotowano przekroczenia progu odczuwalności drgań przez człowieka w przypadku przejazdów ww. pojazdu testowego w pobliżu budynków Nr: 1, 2, 7, 8 i 9.

Analogiczny przejazd pojazdu testowego o masie 10T w prawą stronę (pasem jezdni położonym bezpośrednio przy budynku) powodował przekroczenie poziomu: 1.0 – dla budynków o Nr: 2, 3, 5 i 8, poziomu 1.4 – w przypadku budynku Nr 4 oraz najwyższy poziom odczuwalności drgań równy 2.0 dla budynków Nr 1 i 6. Nie stwierdzono w tym przypadku przekroczenia pierwszego progu drgań tylko dla budynku Nr 7.

W przypadku pojazdu testowego o masie całkowitej 40T, stwierdzono, iż przejazd tego typu pojazdu w lewą stronę generuje maksymalne drgania nieprzekraczające pierwszego progu odczuwalności drgań przez człowieka – dla budynków Nr: 2, 8 i 9. Próg odczuwalności drgań przez człowieka jest przekroczony na poziomie: 1.0 – w przypadku budynku Nr 7, 1.4 – dla budynku Nr 1, 2.0 – dla bu-

## 5.2. Evaluation of influence on inhabitants

Horizontal vibrations in the planes of all floor slabs are practically non perceptible for inhabitants what were confirmed during the investigations and analysis. Taking into account fact that in analyzed buildings the first threshold of perception by inhabitants of vibrations has not been exceeded in the 1/3 octave of bands, hence the standard condition  $a_{x,y} \leq a_{dop}$  in the horizontal plane is fulfilled in the direction of horizontal axis  $x$  and  $y$ . Horizontal vibrations in this case does not decrease living comfort of inhabitants.

In vertical direction in all of analyzed buildings several times it has been confirmed overcrossing at least the first perceptible level of vibrations by men. This overcrossing of the first threshold has not been resulted from cars and small trucks. Passing of test vehicle of total mass 10 tons to the left side along the distant runway produced maximum overcome of perception of vibrations by men at the level: 1,0 for buildings No 3 and 5 and 1,4 for building No 4. The highest perceptibility of vibration level 2,0 has been stated for building No 6. No overcome of threshold perceptability by men in case of passing test vehicle close to buildings No 1, 2, 7, 8 and 9 were noticed. Analogically passing of the test vehicle of 10 tons mass to the right direction along the runway at the building caused overcome of level 1,0 for building No 2, 3, 5 and 8 and level 1,4 in case of building No 4, while the highest level of perceptibility of vibrations equal 2,0 is noticed for buildings No 5 and 6. The first threshold of vibration has not been overcome for building No 7 only.

In case of passing the heavy vehicle of total mass 40 tons it was stated that traveling towards left side they generated the highest vibration but they do not overcome the first threshold of perceptability by men for buildings No 2, 8 and 9. The threshold of perceptability is overcome at the level of 1,0 for buildings No 7, 1 and 4, level 1,4 for building No 1, level 2,0 for buildings No 3 and 4 and level 4,0 for buildings No 5 and 6.

Passing of 40 tons mass of vehicle to the right side in all buildings caused overcome of perceptibility of vibrations at the level 1,0 for buildings No 2, 1 and 4, level 1,4 for building No 7, level 2,0 for buildings No 1, 8 and 9 and level exceeding 4,0 for buildings No 3, 4, 5 and 6.

The values of effective accelerations of vibrations register in vertical direction in the 1/3 octave bands in the mid-span of floor slabs in most buildings are exceeding the allowable values within the day time as well as in the night time having negative influence on vibration comfort of buildings inhabitants. Specifically the standard condition  $a \leq a_{dop}$  has not been

dynków Nr 3 i 4 oraz poziom 4.0 – dla budynków o Nr 5 i 6.

Przejazd pojazdu 40 tonowego w prawą stronę w każdym z budynków powoduje przekroczenie poziomu odczuwalności drgań na poziomie: 1.0 – dla budynku Nr 2, 1.4 – dla budynku Nr 7, 2.0 – dla budynków Nr: 1, 8 i 9 oraz ponad 4.0 dla pozostałych budynków (Nr 3, 4, 5 i 6).

Z powyższego wynika, iż wartości skuteczne przyspieszeń drgań rejestrowanych na kierunku pionowym w pasmach 1/3 oktaowych w środku rozpiętości poszczególnych stropów, dla większości budynków przekraczają dopuszczalne wartości przyspieszeń drgań – zarówno w porze dziennej jak i w porze nocnej, w związku z czym, rejestrowane drgania mogą mieć negatywny wpływ na komfort drganiowcy ludzi przebywających w budynkach.

W szczególności warunek normowy  $a_z \leq a_{dop}$  nie został spełniony w przypadku budynków o Nr: 3, 4, 5 i 6 – dla drgań występujących w porze dziennej oraz w budynkach o Nr: 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9 – dla drgań występujących w porze nocnej.

## 6. Podsumowanie

Szczegółowa analiza wyników pomiarów wykonanych dla odcinka drogi wojewódzkiej przebiegającej przez miasto Tykocin, wykazuje że:

wpływ drgań drogowych na budynki znajdujące się w pobliżu ulicy jest poniżej I progu odczuwalności lub niewiele go przekracza. Generalnie można stwierdzić, iż drgania podłoża wywołane ruchem pojazdów mogą intensyfikować naturalne procesy niszczenia wypraw tynkarskich (zarysowania) i nie mają negatywnego wpływu na elementy konstrukcyjne obiektów,

wpływ drgań drogowych na ludzi znajdujących się w budynkach jest już znaczący i może pogarszać komfort zamieszkiwania.

Ogólnie można stwierdzić, iż poziom drgań jest zbyt duży, głównie ze względu na komfort zamieszkiwania, i konieczne jest wykonanie działań mających na celu redukcję tych oddziaływań, czyli drgań generowanych ruchem drogowym.

fulfilled for buildings No 3, 4, 5 and 6 for vibrations during the day time and for buildings No 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9 for vibrations within the night time.

## 6. Summary

Detailed analysis of measurement results conducted along the district road segment crossing Town Tykocin discloses:

influence of road vibrations on buildings allocated close to the Road surface is below the I threshold of perceptability and non-significantly overcomes that level. Generally vibrations of subsoil under vehicles traffic may intensify natural processes of building finishes degradation (cracks of plastering) and they do not have negative influence on structural elements,

influence of road vibrations of inhabitants is significant and may decrease living comfort.

Generally the level of vibrations is too high due to living comfort and it is required to undertake steps to reduce these vibrations generated from traffic.

## Literatura • References

- [1] PN-85/B-02170 *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.*
- [2] PN-88/B-02171 *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.*
- [3] Chyży T., *Instrukcja do programu ProData.* Białystok, 2009.
- [4] Instrukcja 348/98. *Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków mieszkalnych przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków.* Warszawa, 1998.
- [5] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., *Ocena wpływu wibracji na budowlę i ludzi w budynkach (Diagnostyka dynamiczna),* ITB, 1993.
- [6] Adamczyk J., Targosz J., *Ochrona przed drganiami wywołanymi przez transport samochodowy,* AGH, 2000.
- [7] Materiały z Seminarium: *Ochrona budowli przed drganiami,* Wrocław, 2009, Materiały Budowlane, 3/2009.
- [8] Miedziałowski Cz., Chyży T., Czech K. R., *Ekspertyza dotycząca dokumentacji projektowej na przebudowę drogi wojewódzkiej nr 671 – przejście przez Tykocin.* Białystok, 2009.

\* Politechnika Białostocka, Białystok, Polska  
Białystok Technical University, Białystok, Poland

## Streszczenie

W pracy przedstawiono badania wpływu drgań drogowych na obiekty budowlane i ich użytkowników w zespole zabytkowym miasta Tykocin. Badaniem objęto 9 budynków o konstrukcji typowej dla zabudowy miasta. Przedstawiono metodykę badań oraz uzyskane wyniki. Następnie podano ocenę wpływu zarejestrowanych drgań na budynki (na podstawie normowych Skal Wpływów Dynamicznych) i ludzi w nich przebywających. Na zakończenie sformułowano wnioski i zalecenia, co do konieczności i kierunków modernizacji drogi, przy której zlokalizowane są badane obiekty.

## Abstract

Paper presents investigations of road vibration influence on buildings and their inhabitants in historic town Tykocin. Method of investigations and obtained results are presented. Conclusions coming from evaluation of influence of registered vibrations on buildings on the base of Dynamic Influence Scales and on building inhabitants. Conclusions and practical recommendations for required modernization of road where buildings are located close to are ending the paper.

Tomasz Kania\*

Stanisław Kania\*\*, Piotr Pietraszek\*\*

## Rewitalizacja budynków przemysłowych z wykorzystaniem bloków gipsowych na przykładzie loftów w Tallinnie

## Revitalization of post-industrial buildings with use of gypsum blocks by example of lofts in Tallinn

### 1. Wprowadzenie

Rewitalizacja obszarów miejskich, na których znajdują się nieużywane obiekty przemysłowe, magazynowe oraz budowle inżynierskie (np. wieże ciśnień, zbiorniki gazu), stała się w ostatnim dziesięcioleciu jednym z głównych trendów urbanistycznych w Europie. Pojawił się on najwcześniej w USA, gdzie wskutek recesji po II wojnie światowej oraz przeniesienia zakładów przemysłowych poza centra miast pozostało na ich terenie wiele niewykorzystanych obiektów po fabrykach, magazynach i domach towarowych. W Europie rozpoczęto rewitalizację terenów poindustrialnych najpierw w Wielkiej Brytanii i Francji, a następnie w Holandii, Niemczech i innych krajach [1]. W Polsce działania te dotyczyły początkowo głównie przebudowy starych fabryk na obiekty o charakterze komercyjnym, jak np. Stary Browar w Poznaniu (obiekt wyróżniony dwiema prestiżowymi nagrodami – w Istambule i w Phoenix) i Manufaktura w Łodzi [2]. W ostatnich latach rosnącą popularnością cieszą się lokale mieszkalne w dawnych budynkach przemysłowych – tzw. lofty. Określenie to pojawiło się w Polsce w użyciu stosunkowo niedawno i pochodzi od angielskiego słowa *loft*, oznaczającego m.in. wysokie pomieszczenie, np. na poddaszu starej kamienicy lub w hali fabrycznej [3].

Przyczyny rosnącego zainteresowania rewitalizacją starych obiektów przemysłowych leżą zarówno po stronie kulturowej jak i ekonomicznej. Docenia się fakt,

### 1. Introduction

City districts revitalization, where are situated disused industrial, storage and engineering buildings (i.e. water towers, gasholders) becomes in the last decade one of the main urbanization trends in Europe. It appeared at first in the USA, where because of the recession after the II World War and relocation of industry from the city centers, many old plant, warehouses and department stores had been left unused. Postindustrial revitalization in Europe started in Great Britain and France, next in Netherlands, Germany and other countries [1]. In Poland, it concerned at first reconstruction of old plants into commercial buildings, such as *Old Brewery* in Poznan (honored with two prestigious awards – in Istanbul and in Phoenix) and *Manufacture* in Łódź [2]. Last years, we observe still increasing popularity of apartments in the former industrial buildings – so called lofts. This word appeared in Poland in relatively recent times and is taken from English, where *loft* means inter alia high rooms, i.e. on attics of old tenement houses or in industrial halls [3].

The reasons of popularity of old industrial objects revitalization are both cultured as economical. It is being appreciated that investments realized on built areas refer to the heritage of yesterdays and assist to sustain the historical continuation [4]. Economical aspects are the lower costs of

że inwestycje realizowane na terenach już zabudowanych stanowią nawiązanie do dziedzictwa przeszłości, pomagając zachować ciągłość historyczną [4]. Aspekty ekonomiczne to niższe koszty rewitalizacji niż wyburzenia istniejącej zabudowy i wykonania nowej (średnio o 20% w przeliczeniu na 1 m<sup>2</sup> powierzchni) oraz wysoka trwałość konstrukcji starych obiektów, zachęcająca do ich wykorzystania przy zmienionej funkcji. Rozbiórka starych budynków jest poza tym często niemożliwa, gdyż są one wpisane na listę zabytków i objęte ochroną konserwatorską.

Popyt na lofty wiąże się z potrzebą oryginalności i odróżnienia się od „uładzonej” stylistyki, typowej dla społeczeństwa konsumpcyjnego. Mieszkania te cieszyły się początkowo zainteresowaniem ludzi nastawionych twórczo i nonkonformistycznie do życia, pragnących podkreślić swoją indywidualność: artystów, pisarzy, architektów. Obecnie pragną w nich mieszkać także ludzie wykonujący inne zawody, na przykład zajmujący się biznesem.

Obiekty przemysłowe można podzielić na parterowe hale produkcyjne, budowle inżynierskie i budynki kilkunastopiętrowe, które są najbardziej przydatne do adaptacji na cele mieszkaniowe. Występują w nich masywne stropy – najczęściej żelbetowe monolityczne lub stalowo-ceramiczne (odcinkowe lub typu Kleina), a także wysokie i przestronne wnętrza, nadające się do podziału na lofty nienośnymi ścianami działowymi (rys. 1). Przegrody te powinny być stosunkowo lekkie, o odpowiedniej izolacyjności akustycznej i wysokiej odporności ogniowej, oraz nadające się do wznoszenia przy dużych wymiarach ścian. Wielu projektantów przykłada również wagę do tego, aby do ich wykonania używać materiałów trwałych, pasujących do charakteru starych, solidnych budynków. Wszystkie te cechy są spełnione przez ściany z bloków gipsowych, znajdujące coraz częściej zastosowanie w tego typu obiektach.

## 2. Opis systemu

Bloki gipsowe produkowane są w Polsce w standardowych wymiarach: długość 666 mm, wysokość 500 mm i grubość 60, 80 i 100 mm (rys. 2). Przycina się je piłą ręczną o grubych zębach. Trzy elementy

rewitalizacji w porównaniu z nowymi konstrukcjami po demontażu istniejących budynków (średnio 20% na 1 m<sup>2</sup>) i wysokiej trwałości starych obiektów, zachęcają do ich wykorzystania po zmianach w ich przeznaczeniu. Demontaż starych obiektów jest często niemożliwy, ponieważ znajdują się one na liście zabytków i są objęte ochroną konserwatorską.

Popyt na lofty wiąże się z potrzebą oryginalności i odróżnienia się od „uładzonej” stylistyki, typowej dla społeczeństwa konsumpcyjnego. Mieszkania te cieszyły się początkowo zainteresowaniem ludzi nastawionych twórczo i nonkonformistycznie do życia, pragnących podkreślić swoją indywidualność: artystów, pisarzy, architektów. Obecnie pragną w nich mieszkać także ludzie wykonujący inne zawody, na przykład zajmujący się biznesem.

Obiekty przemysłowe można podzielić na parterowe hale produkcyjne, budowle inżynierskie i budynki kilkunastopiętrowe, które są najbardziej przydatne do adaptacji na cele mieszkaniowe. Występują w nich masywne stropy – najczęściej żelbetowe monolityczne lub stalowo-ceramiczne (odcinkowe lub typu Kleina), a także wysokie i przestronne wnętrza, nadające się do podziału na lofty nienośnymi ścianami działowymi (rys. 1). Przegrody te powinny być stosunkowo lekkie, o odpowiedniej izolacyjności akustycznej i wysokiej odporności ogniowej, oraz nadające się do wznoszenia przy dużych wymiarach ścian. Wielu projektantów przykłada również wagę do tego, aby do ich wykonania używać materiałów trwałych, pasujących do charakteru starych, solidnych budynków. Wszystkie te cechy są spełnione przez ściany z bloków gipsowych, znajdujące coraz częściej zastosowanie w tego typu obiektach.



Rys. 1. Budynek poprzemysłowy w Rawiczu przed montażem ścian z bloków gipsowych

Fig. 1. Old industrial building in Rawicz before installation of gypsum block partitions

Industrial objects can be divided into one-storeyed production halls, engineering buildings and multilevel structures which are the most useful for lofts using. They are characterized by the massive ceilings – mostly monolithic, made with reinforced concrete or steel-ceramics (sprung-arch or Klein type), and high, vast interiors, useful to be split into lofts with use of nonbearing walls (fig. 1). These partitions should be possibly light weighted, with proper acoustic insulation and fire resistance, and capable to be built with big dimensions. Most of architects appreciate durability of materials using to install the walls, which fits the character of old and solid constructions. All of these advantages are being met by gypsum blocks partitions, which are being used still more frequently in that kind of objects.

## 2. Partition walls system description

Gypsum blocks are being produced in Poland in typical dimensions: length 666 mm, height 500 mm, thickness 60, 80 and 100 mm (fig. 2). Blocks can be easily cut with a thick-tooth handsaw. Three gypsum blocks pieces make one sqm of the wall. Pieces are being tong-joined with use of gypsum adhesive.

tworzą 1 m<sup>2</sup> ściany. Bloki łączy się metodą na wpust i pióro, za pomocą kleju gipsowego.

Wykonywanie w ścianach z bloków gipsowych otworów o szerokości do 1,00 m nie wymaga stosowania nadproży, co ułatwia montaż i umożliwia późniejsze docięcie w celu dopasowania do wymiarów stolarki drzwiowej. W gotowej ścianie można bez problemu wyciąć otwór drzwiowy, jeśli pojawi się taka konieczność. Także żłobienie bruzd, przebić i wnęk pod instalacje elektryczne w miękkim i homogenicznym tworzywie gipsowym nie sprawia żadnych trudności. Są to ważne zalety w przypadku budownictwa remontowego.

Dzięki dużej dokładności wykonania prefabrykatów (dopuszczalna odchyłka od grubości wynosi 1 mm wg EN 12859) oraz ich gładkiej powierzchni eliminuje się potrzebę wykonywania tynków. Celem przygotowania powierzchni do malowania lub tapetowania wystarczy nanieść cienką (0,5-1,0 mm) warstwę gładzi gipsowej. Klej do montażu bloków powinien mieć rzadką konsystencję, aby szczelnie wypełnić zamek na wpust i pióro przy małej grubości spoiny (1-3 mm). Niewielka ilość wody stosowana przy montażu i wykańczaniu pozwala uznać system za „półsuchy”. Wynikające z tego korzyści to przyspieszenie robót wykończeniowych i ograniczenie ilości wody wprowadzanej do budynku. W pomieszczeniach o podwyższonej wilgotności stosuje się bloki impregnowane fabrycznie w całej masie poprzez dodanie do zaczynu gipsowego płynnych dodatków hydrofobizujących na bazie silikonów. Norma EN 12859 wyróżnia trzy klasy pod względem odporności na działanie wody. Z bloków H1 i H2 można wykonywać przegrody działowe łazienek, kuchni oraz węzłów sanitarnych w obiektach hotelowych i administracyjnych.

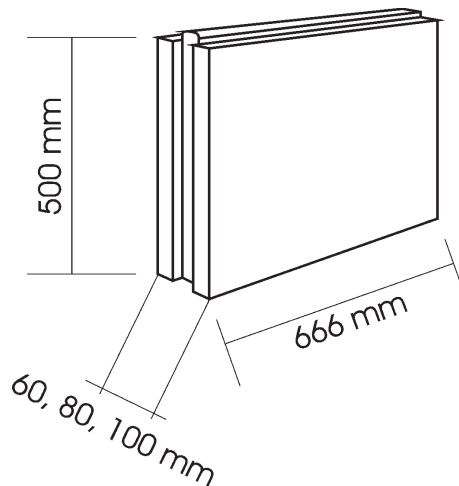
O popularności ścian z bloków gipsowych w krajach Unii Europejskiej świadczy fakt, że dwie normy unijne: EN 12859 *Bloki gipsowe. Definicje, wymagania i metody badań* i EN 12860 *Kleje do bloków gipsowych. Definicje, wymagania i metody badań* zostały uchwalone przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) już w czerwcu 2001 roku jako jedne z pierwszych zharmonizowanych norm dla wyrobów gipsowych [5]. W październiku 2007 roku przyjęto normę EN 15318 *Projektowanie i zastosowanie bloków gipsowych*. W ramach Komitetu Technicznego CEN nr 241 ds. Gipsu działała stała grupa robocza zajmująca się normami dotyczącymi bloków gipsowych.

The system doesn't require any reinforcements above the door openings on condition its width doesn't exceed 1,0 m, which makes easy the wall installation and fitting to door dimensions. It is no problems to cut down the door opening in a ready-made wall if it occurs necessary. Also cutting the electrical installation grooves and other perforations in soft and homogenous gypsum material does not involve any problems. These advantages are important for renovation building.

Thanks to exact dimensions of prefabricated elements (acc. to EN 12859 permissible thickness difference is 1 mm) and its smooth surface, there is no need to execute plasters. In order to prepare the wall surface for painting or covering with wallpapers, it is enough to make the thin gypsum finishing layer (0,5 – 1 mm). Binding adhesive for blocks binding should have thin consistency to fulfill tightly gypsum block's keys and tongues, providing the small thickness of joint (1-3 mm). Little quantities of wa-

ter which are being used for installation and finishing the wall, allows to qualify the gypsum block system as "semi dry". Advantages that are implicated from the topics given above are fast installation and decrease of the water quantities necessary for construction works. In the areas with increased air humidity impregnated gypsum blocks should be used. Gypsum blocks are impregnated in the whole mass with use of the silicon liquid additives. Standard EN 12859 divides blocks into three water absorption classes. Blocks H1 and H2 are intended to be used in bathrooms, kitchens and toilets in housing, hotel and administrative buildings.

The fact that two European standards: EN 12859 *Gypsum blocks. Definitions, requirements and test methods* and EN 12860 *Gypsum based adhesives for gypsum blocks. Definitions, requirements and test methods* have been authorized by the European Committee for Normalization (CEN) in June 2001, as one of the first harmonized standards for gypsum materials [5], shows the scope of gypsum blocks partitions popularity. The standard EN 15318 *Design and application of gypsum blocks* was authorized in October 2007. In the Technical Committee CEN No 241 for Gypsum, it is working the constant Ad Hoc group for gypsum blocks standards with Polish representatives.



Rys. 2. Blok gipsowy ścienny – wymiary  
Fig. 2. Gypsum Block – dimensions

### 3. Właściwości techniczne ścian z bloków gipsowych

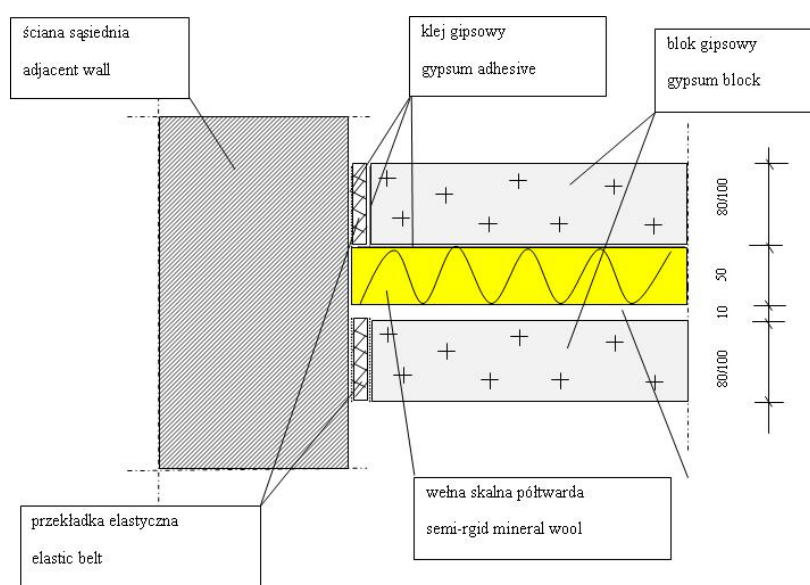
Wysoka odporność ogniowa ścian z bloków gipsowych (EI 240 przy grubości 80 mm) wynika ze specyfiki tworzywa gipsowego, zawierającego znaczną ilość wody cząsteczkowej. Jej uwalnianie podczas przemiany gipsu dwuwodnego w półwodny i dalszego przejścia w fazę gipsu bezwodnego (anhydryt) wiąże się z pochłanianiem dużych ilości energii, co hamuje rozprzestrzenianie się ognia. Przegrody z bloków gipsowych nadają się dzięki temu do stosowania we wszystkich klasach pożarowych budynków podanych w *Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [4]. Mogą być wykorzystywane między innymi do wznoszenia przegród ogniowych w celu oddzielenia stref pożarowych budynku oraz jako obudowy pionowych elementów konstrukcyjnych (słupy drewniane, przegrody z materiałów łatwopalnych).

Izolacyjność akustyczna ścian pojedynczych z bloków gipsowych ( $R_{A1} = 39$  dB dla grubości 80 mm i  $R_{A1} = 41$  dB dla 100 mm) jest wystarczająca w przypadku większości przegród wewnątrz lokali. Na obwodzie ścian wkleja się przekładki elastyczne z korka prasowanego, wełny mineralnej lub specjalnej pianki PE, redukujące boczne przenoszenie dźwięku. W przypadku przegród między lokalami (np. oddzielających mieszkania, pokoje w hotelach wyższej kategorii) wymaga się izolacyjności akustycznej powyżej 50 dB. Warunek ten spełniają przegrody warstwowe, składające się w dwóch oddzielnych ścian z bloków gipsowych. Do jednej z nich przykleja się płyty z wełny skalnej półtwardej, oddzielonej pustką powietrzną od drugiej ściany (rys. 3).

### 3. Technical properties of gypsum blocks walls

Very high fire resistance of gypsum block partitions (EI 240 for the 8 cm thickness wall) results from the gypsum specific character – the high capacity of structural water. Release of the water during the conversion from  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  into  $\text{CaSO}_4 \times \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  and further into  $\text{CaSO}_4$  (anhydrite stage) is being accompanied with the absorption of huge quantities of energy that stops the spread of fire. Thanks to that gypsum blocks partitions can be used in constructions under all fire resistance classes, given by the *Decree of the Minister of Infrastructure concerning technical conditions that should be met by buildings and its location* [4]. It can be used inter alia for the division of fire safety zones and as the lining of vertical construction elements (wooden beams, partitions made with combustible materials).

Acoustic insulation of gypsum blocks single walls ( $R_{A1} = 39$  dB for the 80 mm thickness and  $R_{A1} = 41$  dB for 100 mm) is adequate in case of most of partitions dividing apartments. The pressed cork, mineral wool or PE foam band using on the lateral joints of the wall, reduces the side sound transmission. In case of partitions between apartments, rooms in the higher category hotels, etc., the required acoustic insulation is above 50 dB. That condition is being met by the multiple (sandwich) walls, set with two single gypsum blocks partitions. To one of the walls the mineral wool panels are being stuck, separated from the second wall with air gap (fig. 3).



Rys. 3. Przekrój poprzeczny przez ścianę warstwową  
Fig. 3. Cross section of a sandwich wall



W tabeli 1 zestawiono podstawowe właściwości techniczne ścian.

Technical properties of gypsum block walls are given in Table 1.

Tab. 1. Wybrane właściwości techniczne ścian z bloków gipsowych  
Chosen technical properties of gypsum blocks walls

Opis ściany Wall description	Grubość Thickness [cm]	Masa Surface- mass [kg/m <sup>2</sup> ]	Izolacyjność akustyczna Acoustic insulation R <sub>w</sub> (C, C <sub>tr</sub> ) [dB]	Odporność ogniowa Fire resistance class
Ściana pojedyncza gr. 8 cm Single wall 8 cm thick	8	72	39 (-1,-4)	EI 240 do wys. 4,0 m limited with height of 4,0 m
Ściana pojedyncza gr.10 cm Single wall 10 cm thick	10	90	41 (-1,-4)	EI 240 do wys. 4,0 m limited with height of 4,0 m
Ściana warstwowa międzylokalowa gr. 22 cm (blok gipsowy 8 cm + wełna skalna 5 cm + pustka powietrzna 1 cm + blok gipsowy 8 cm) Multiple wall 22 cm thick (gypsum block 8 cm + mineral wool 5 cm + air gap 1 cm + gypsum block 8 cm)	22	150	54 (-1,-4)	EI 240 do wys. 4,0 m limited with height of 4,0 m
Ściana warstwowa międzylokalowa gr. 24 cm (blok gipsowy 10 cm + wełna skalna 5 cm + pustka powietrzna 1 cm + blok gipsowy 8 cm) Multiple wall 24 cm thick (gypsum block 8 cm + mineral wool 5 cm + air gap 1 cm + gypsum block 10 cm)	24	168	56 (-1,-4)	EI 240 do wys. 4,0 m limited with height of 4,0 m
Ściana warstwowa międzylokalowa gr. 26 cm (blok gipsowy 10 cm + wełna mineralna 5 cm + pustka powietrzna 1 cm + blok gipsowy 8 cm) Multiple wall 26 cm thick (gypsum block 10 cm + mineral wool 5 cm + air gap 1 cm + gypsum block 10 cm)	26	186	64 (-3,-7)	EI 240 do wys. 4,0 m limited with height of 4,0 m
Przegroda ogniowa z dwóch warstw bloków o grubości 8 cm połączonych przewiązkami z tych samych bloków Fire partition from two layers of gypsum blocks 8 cm thick connected vertically with gypsum blocks of the same thickness	30	154	brak badań Not measured	EI 240 do wys. 7,5 m limited with height of 7,5 m

#### 4. Wykorzystanie bloków gipsowych w rewitalizacji budynków przemysłowych w Tallinnie

#### 4. Gypsum blocks usage for revitalization of industrial buildings in Tallinn

Tallin to miasto lokowane w 1246 roku na prawie lubeckim, należące od 1285 roku do Hanzy. W XIII wieku otoczono je wysokimi murami obronnymi, zachowanymi w dużej części do dnia dzisiejszego. Obiekty przemysłowe położone w centrum tego miasta pochodzą z okresu jego dynamicznego rozwoju gospodarczego (przemysł tekstylny, maszynowy, spożywczy, papierniczy) w drugiej połowie XIX wieku. Przyczynił się do niego fakt uczynienia z Tallinna największej bazy morskiej armii rosyjskiej na Morzu Bałtyckim [6]. Elewacje budynków z tego okresu wykonano w większości z białego wapienia – tego samego budulca, z którego wzniesiono średniowieczne mury miejskie, ratusz i większość starej zabudowy.

W ostatnich latach realizowany jest program rewitalizacji budynków poprzemysłowych Tallinna z wykorzystaniem na biurowce, hotele i apartamentowce. Robi się to w interesujący sposób, polegający na łączeniu starej bryły z nową ze szkła, betonu

Tallinn was located in 1246 year on the base of Lubeck law, and became a part of Hanza Union in 1285. It was fortified in XIII century with tall defensive walls that have survived in major parts until today. Industrial buildings in the city center were constructed in the period of its dynamic economic development (textile, machine, food, paper industry) in the second half of XIX century. The progress was supported by choosing Tallinn as the biggest naval base of Russian army on Baltic sea [6]. Facades of the buildings from that period are mostly made with white limestone, the same that had been used for construction of defense walls, town hall and most of old constructions.

In the past period, it has been realizing the program of Tallinn postindustrial zone revitalization into office buildings, hotels and apartment blocks. It has been performing in an interesting way, by connection of an old construction with a new one,

i metalu. Jedną z najbardziej znanych realizacji jest *Fahle Building* (rok 2006) – stara fabryka celulozy, przebudowana na obiekt biurowo-apartamentowy (rys. 4).

Jeszcze bardziej zaskakującym przykładem połączenia starego z nowym jest były magazyn mąki, do którego dołożono „żagle” – trzy nowoczesne wieże, mieszczące we wnętrzu lokale biurowe (rys. 5).



Rys. 4. Fahle Building w Tallinnie po rewitalizacji  
Fig. 4. Fahle Building in Tallinn after revitalization

Prace rewitalizacyjne prowadzone są głównie w dzielnicy portowej Tallinna, położonej w bezpośrednim sąsiedztwie starego miasta. Najbardziej znaczącym obiektem, w którym wykorzystano bloki gipsowe do budowy ścian działowych, był *Lutheri Quarter* – dawna fabryka mebli wzniesiona w roku 1912 wg projektu architektów A. Bubora i N. Vassiljeva (rys. 6, 7). Uległa ona poważnym zniszczeniom w wyniku bombardowania podczas drugiej wojny światowej. W roku 1997 została wciągnięta na listę zabytków i dziedzictwa narodowego przez Ministra Kultury Estonii. Obiekt został zrealizowany na planie prostokąta z dużym atrium otoczonym 4-kondygnacyjnym budynkiem głównym i ciągiem parterowych



Rys. 6. Lutheri Quarter w trakcie budowy  
Fig. 6. Lutheri Quarter during construction

hal produkcyjnych. Technologia wykonania tradycyjna, mury z cegły ceramicznej, stropy żelbetowe monolityczne, dach drewniany kryty blachą.

made with glass, concrete and steel. One of the most known realization is *Fahle Building* (year 2006) – an old cellulose production plant, revitalized into an office and apartment building (fig. 4).

Even more surprising example of ‘old and new’ connection is the old flour storage building, with three “sails” – modern towers containing office areas. (fig. 5).



Rys. 5. Stary skład mąki w Tallinnie po rewitalizacji  
Fig. 5. Old flour store in Tallinn after revitalization

Revitalization works are being made mainly in the harbor district of Tallinn, which is located in the direct neighborhood of the old city. The most important building with gypsum block partitions inside is *Lutheri Quarter* – an old furniture production plant constructed in 1912 y., designed by architects A. Bubor and N. Vassiljev (fig. 6, 7). Major part of that building was destroyed by the bombing attack during the II World War. *Lutheri Quarter* was registered in 1997 as a monument of national heritage by the Estonian Minister of Culture. It has been realized in the square plan with big atrium surrounded with the four-storeyed main building and one-storeyed production halls. Technology of construc-



tion was traditional: walls constructed with ceramic bricks, reinforced concrete ceilings, wooden roof structure covered with roofing sheet.

W latach 2006-2008 przeprowadzono rewitalizację obiektu wraz z przebudową na budynek mieszkalny. Mieści się w nim 180 loftów o powierzchni od 27 do 170 m<sup>2</sup>. Wykonujący projekt budynku zespół młodych estońskich architektów przyjął kluczowe hasło: *wysokość, światło, wytrzymałość*. Mieszkania, zajmujące po dwie kondygnacje o wysokości 4 m każda, sprawiają rzeczywiście wrażenie przestrzenności i są dobrze oświetlone dzięki wysokim otworom okiennym (rys. 8).

Tradycyjny charakter obiektu wymagał zastosowania masywnych, murowanych przegród wewnętrznych. Zdecydowano się na zastosowanie między lokalami mieszkalnymi ścian warstwowych o grubości 22 cm (blok 8 cm, wełna skalna 5 cm, pustka 1 cm, blok 8 cm), dające izolacyjność akustyczną  $R_{w}$  w granicach 52-53 dB. Wykluczono wariant ścian tradycyjnych z cegły pełnej 24 cm, gdyż stanowiłyby one zbyt duże obciążenie dla konstrukcji budynku. Ściana warstwowa z bloków gipsowych waży 150 kg/m<sup>2</sup> (patrz tab. 2) – trzykrotnie mniej niż ściana z cegły pełnej o grubości 24 cm z obustronnym tynkiem. Izolacyjność akustyczna obu przegród jest przy tym zbliżona. Między pomieszczeniami wewnątrz lokali mieszkalnych i biurowych wykonano przegrody z bloków gipsowych o grubości 10 cm.



Rys. 7. Budynek główny Lutheri Quarter po rewitalizacji  
Fig. 7. Main building of Lutheri Quarter after revitalization



Rys. 8. Wnętrze loftu w Lutheri Quarter  
Fig. 8. Interior of a loft at Lutheri Quarter

## 5. Lofty w Polsce

Lofty cieszą się w naszym kraju rosnącym zainteresowaniem. Rewitalizacja starych zasobów poindustrialnych jest jednym z priorytetów samorządów wielu miast, zwłaszcza w województwach śląskim, łódzkim, małopolskim i dolnośląskim. Do roku 2013 planuje się przeznaczyć na odnowę obszarów miejskich i wiejskich w naszym kraju kwotę ponad 90 mln EU ze środków Regionalnych Programów Operacyjnych [7].

Ciekawym przykładem unikatowej w skali kraju osady przemysłowej z II połowy XIX wieku jest Żyrardów, w którym znajduje się 350 budynków po dawnych fabrykach [8]. W mieście tym planuje się budowę wielu loftów, które z racji bliskości stolicy mogą cieszyć się dużym zainteresowaniem nabywców.

The major repair of *Lutheri Quarter* was performed in 2006-2008 years, together with reconstruction into apartment building. It consists 180 lofts with surface from 27 to 170 m<sup>2</sup>. Young Estonian architects that executed the project had assumed keywords: *height, light, resistance*. Two levels apartments 4 m height give the impression of being spatial and bright

because of high windows (fig. 8).

The traditional character of *Lutheri Quarter* required the usage of massive, masonry interior partitions. It was decided to use 22 cm thick multiple gypsum block walls (block 8 cm, mineral wool 5 cm, air gap 1 cm, block 8 cm) between apartments, which provided acoustic insulation  $R'_{w}$  around 52-53 dB. The 24 cm ceramic bricks walls had been excluded because of too high loading of ceilings. 22 cm thick gypsum blocks multiple wall weighs 150 kg/m<sup>2</sup> (see table 2) – three times less than the solid ceramic bricks wall with two-sides plaster covering. Acoustic insulation ratios of both types of the walls are similar. Between rooms in apartments and offices, 10 cm gypsum block partitions have been installed.

## 5. Lofts in Poland

The popularity of lofts in Poland is still growing. The revitalization of old postindustrial buildings is one of the priorities of many municipal governments, especially in Łódź, Małopolska (Little Poland) and Górny Śląsk (Lower Silesia). It is being planned in Poland to spend for the revitalization of urban and rural areas 90 billions EUR from the UE Regional Operation Program until 2013 year [7].

An interesting example of a unique industrial area from the second half of XIX century is Żyrardów, where 350 old production plants buildings are located [8]. It is being planned to construct many lofts in that city, that can become very popular because of its location near to the capital of Poland.

## 6. Podsumowanie

System bloków gipsowych umożliwia projektowanie przegród o wymaganych parametrach użytkowych (odporność ogniowa, izolacyjność akustyczna), a zarazem lekkich i smukłych. Łączą one w sobie zalety tradycyjnych ścian murowanych, stosowanych od wieków w budownictwie, z cechami charakterystycznymi dla nowoczesnych rozwiązań, takich jak szybkość montażu i ograniczenie ilości mokrych procesów na budowie. Mogą być one z powodzeniem stosowane przy remontach i modernizacji budynków. Przykładem tego jest opisana w niniejszym artykule rewitalizacja obiektu *Lutheri Quarter* w Tallinnie, gdzie wykonano w tej technologii ponad 20 tys. m<sup>2</sup> ścian działowych.

## 6. Summary

Gypsum blocks system allows to plan partitions with required usage parameters (fire resistance, acoustic insulation), also smooth and with low surface mass. It combines the advantages of traditional masonry systems that has been used from the centuries with the features characteristic for new solutions, such as fast installation and reduction of moisture building processes. It can be successfully applied in renovation and modernization of buildings. The example is *Lutheri Quarter* in Tallinn, where more than 20 000 m<sup>2</sup> of gypsum block partitions have been installed.

### Literatura • References

- [1] Cała I.: *Lofty w modernizowanych budynkach poprzemysłowych – wybrane przykłady europejskie*. Materiały Budowlane nr 5/2008.
- [2] *Rewitalizacja – wyzwanie dla najlepszych*. Materiały Budowlane nr 5/2008.
- [3] Kucza-Kuczyński K., *Lofty – architektura techniki czy architektura nastroju?* Materiały Budowlane nr 5/2007.
- [4] Bulanda A.: *Stara substancja, nowa funkcja*. Materiały Budowlane nr 5/2007.
- [5] Durzyński W., Kania S., *Bloki gipsowe w krajach Unii Europejskiej i w Polsce*, Materiały Budowlane, 5/2002.
- [6] Kuningas H.: *An example of the use of industrial heritage in Estonia*, European Heritage Days, European Commission, Berlaymont 2008.
- [7] Skwierzyński J.: *Fundusze unijne dla budownictwa*, Materiały Budowlane nr 7/2009.
- [8] Zychowicz E.: *Lofty w Żyrardowie*. Materiały Budowlane nr 5/2008.

---

\* VG-ORTH, Grupa Kapitałowa KNAUF  
VG-ORTH, KNAUF Group

\*\* Politechnika Wroclawska, Wrocław, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

---

## Streszczenie

Rewitalizacja dawnych miejskich obszarów przemysłowych jest obecnie jednym z najaktualniejszych tematów w planowaniu przestrzennym miast. Przyczyny zainteresowania leżą zarówno po stronie kulturowej jak i ekonomicznej. Trend ten zaczął się w Stanach Zjednoczonych i jest kontynuowany w Europie. Lofty – przestrzenne i jasne apartamenty urządzone w dawnych fabrykach – stają się również popularne w Polsce. Przestrzenne, wysokie wnętrza wymagają doświetlenia, solidności oraz odpowiedniej odporności ogniowej i izolacyjności akustycznej. Te warunki mogą być spełnione przez zastosowanie systemu gipsowych bloków ściennych. Interesującym przykładem obiektu, w którym wykorzystano bloki gipsowe do budowy ścian działowych, był *Luther Quarter* – dawna fabryka mebli wzniesiona w roku 1912. Po rewitalizacji mieści się w nim 180 loftów. Rewitalizacja dawnych miejskich obszarów przemysłowych będzie w najbliższych latach ważnym aspektem w planowaniu przestrzennym miast.

## Abstract

Revitalization of post-industrial city areas is now one of topic trends in town-planning. The reasons are both cultural and economical. This trend started in the USA and is being continuing in Europe countries. Lofts – spacious and lighted apartments in late fabric buildings, become popular in Poland. Big surfaces with high ceilings required light, solid, fire- and sound- resisted partitions. These conditions are fulfilled by the system of gypsum block walls. An interesting example of application of this system is *Luther Quarter* in Tallinn – an old furniture factory built in 1912 y. After revitalization, it contains 180 lofts. Revitalization of post-industrial areas will be an important feature of city-planning in Poland in following years.

Karolina Kurtz\*

Zbigniew Władysław Paszkowski\*

## Problemy energetyczne przy przebudowie obiektu zabytkowego na przykładzie budynku Starej Dany w Szczecinie

## Problems of energy consumption in the rebuild of an antique building – the case of Old Dana's building in Szczecin

### 1. Obiekty zabytkowe w świetle dyrektywy EPBD

Z dniem 1 stycznia 2009 r. w Polsce weszły w życie postanowienia dyrektywy 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [1], zwanej w skrócie dyrektywą EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*). Do jej głównych ustaleń należy wprowadzenie systemu oceny jakości energetycznej obiektów budowlanych i ich systemów technicznych. Zapisy dyrektywy opierają się na założeniu, że przeprowadzona ocena i podjęta poprawa jakości energetycznej pojedynczego budynku lub systemu technicznego w dłuższej perspektywie pozytywnie wpłynie na obniżenie zużycia energii, a tym samym ograniczy konsumpcję nieodnawialnych paliw kopalnych i przyczyni się do poprawy jakości środowiska naturalnego.

Delegację dyrektywy w polskim ustawodawstwie stanowią [2]: nowelizacja ustawy Prawo budowlane [9, 10] oraz pakiet aktów wykonawczych dostosowujących istniejące rozporządzenia do nowych wymagań [6, 7] oraz wprowadzających nowe regulacje [5, 8]. W myśl ustanowionych zmian dla obiektu budowlanego wykonuje się informację o zapotrzebowaniu na energię na pokrycie celów użytkowych związanych z jego funkcjonowaniem:

- charakterystykę energetyczną obiektu – stanowiącą wymagany element projektu budowlanego

### 1. Antique objects in the light of EPBD directive

The provisions of the directive 2002/91/EC concerning the energy saving features of buildings [1], briefly called the EPBD directive (*Energy Performance of Buildings Directive*) have come into force in Poland since 1<sup>st</sup> January 2009. Amongst the main stipulations of the directive are those introducing the system of the assessment of energy saving quality of the building objects and their technical systems. The provisions of the directive are based on the assumption, that a realized assessment and undertaken improvement of the energetic quality of an individual building or a technical system in the long run will favorably influence on lowering the energy consumption, and the same it will limit the consumption of non-renewable mineral fuels and also contribute to the improvement of the environment.

Delegation of the directive in Polish legislation is made up by [2]: the amendments of The Building Act [9, 10] and a packet of executive decrees adapting the existing decrees to the new requirements [6, 7] and introducing new legal regulations [5, 8]. Following the established amendments for a building object there is to be prepared information concerning its energy demand necessary to cover the utility objectives connected with functioning thereof:

- the energetic profile of the object-making up the required element of the constructional design

go (z wyłączeniem obiektów o prostej konstrukcji) [7],

- świadectwo charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego lub samodzielnej, pod względem techniczno-użytkowym, części budynku – dla obiektów nowych lub istniejących. Sytuacje takie wskazuje Prawo budowlane [9, 10].

Wymóg sporządzenia świadectwa charakterystyki energetycznej obejmuje obiekty zlokalizowane zarówno na terenach miejskich, jak i wiejskich. Z obowiązku tego zwolnione są m.in. obiekty zabytkowe prawnie chronione z uwagi na trudności dostosowania istniejącej, chronionej tkanki budowlanej do współczesnych wymagań zawartych w przepisach techniczno-budowlanych. Jednakże w przypadku przewidywanych prac budowlanych w takich obiektach w dokumentacji projektowej należy zamieścić charakterystykę energetyczną obiektu wykonaną zgodnie z obowiązującą metodologią w tym zakresie [5, 7].

## 2. Projektowa charakterystyka energetyczna

W zakresie bilansu energii projektowany / przebudowywany / rozbudowywany obiekt podlega wymaganiom Działu X *warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [4, 6]. W myśl obowiązujących przepisów dopełnione powinno być co najmniej jedno z dwóch kryteriów obejmujących wymagania związane z izolacyjnością cieplną i inne wymagania w zakresie oszczędności energii. Schematyczny opis wymagań przedstawiono w tabelicy 1. Jednakże w obiektach przebudowywanych, w tym i zabytkowych, dopuszcza się zwiększenie średniego współczynnika przenikania ciepła obudowy nie więcej niż 15% w porównaniu z budynkiem nowym charakteryzującym się taką samą geometrią i sposobem użytkowania. O 15% może również być zwiększona wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną  $EP$  w porównaniu z obiektem nowo projektowanym.

Wielkość zapotrzebowania na energię na pokrycie potrzeb użytkowych – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną  $EP$ , zdefiniowana jest (1) jako zapotrzebowanie na energię pierwotną  $Q_p$  odniesione do pola powierzchni o regulowanej temperaturze  $A_f$ . Rozpatrywane cele użytkowe obejmują zużycie energii na potrzeby ogrzewania i wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej, chłodu oraz w przypadku budynków użyteczności publicznej – oświetlenia wbudowanego (2). Zapotrzebowanie na nieodnawialną energię

(excluding the objects of simple construction) [7],

- the certificate of the energetic profile of the building, habitable premises or a separate from the technical-functional point of view part of the building – for newly raised objects or for existing ones. The Building Act points out such situations [9, 10].

The requirement to make up such an energetic profile certificate pertains to the objects situated both on the municipal grounds and in the countryside. Amongst others the listed antique objects under protection of the law are exempted from this obligation due to difficulty in adaptation of the existing, protected building formation to present time requirements included in the technical-building legal regulations. Yet in the case of foreseen constructional works in such objects one should include in the design documentation the energetic profile of the object done up to the methodology in force pertaining to that scope of works [5, 7].

## 2. Design energetic profile

Within the energy balance a newly designed / rebuilt / extended object undergoes the requirements of Section X of the *technical conditions which buildings and their location should satisfy* [4, 6]. Following the legal regulations in force at least one of two criteria stipulating the requirements connected with thermal isolation and other requirements pertaining to energy saving should be met. A schematic description of the requirements have been presented in table 1. Yet in the objects rebuilt, in this also the antique ones, it is allowed to increase the average coefficient of heat transmission of the casing by no more than 15% when compared with a new building featuring the same geometry and the way of using. The value of the coefficient of yearly prime energy  $EP$  demand may be also increased by 15% in comparison with the newly designed object.

The value of energy demand to cover the utility needs – the coefficient of yearly prime energy demand  $EP$ , is defined (1) as the prime energy demand  $Q_p$  referred to the area of regulated temperature  $A_f$ . The utility purposes taken into consideration include the energy consumption for the needs of heating and ventilation, preparing the warm water for utility purposes, cooling and in the case of public buildings – built-in lighting (2). The demand for non-renewable prime energy makes up the amount of energy balanced for the building –

Tab. 1. Zestawienie wymagań związanych z oszczędnością energii wg WT2008 [2, 5]  
*The comparison of saving energy requirements by WT2008 [2, 5]*

<p>przegrody zewnętrzne i technika instalacyjna odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej  <i>external walls and the installation technique correspond to the requirements of thermal insulation</i></p> <p style="text-align: center;">oraz and</p> <p>dopełnione są warunki          - dla przegród szklanych,          - szczelność na przenikanie powietrza          - kondensacja powierzchniowa i wglębna pary wodnej  <i>the conditions are met</i>          - for glass separating panels,          - air penetration tightness          - surface and in-depth water vapor condensation</p>	<p>lub or</p>	<p>wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania energii pierwotnej do zaspokojenia celów użytkowych jest mniejsza od wartości granicznej  <i>value of the coefficient of yearly prime energy demand for utility purposes is lower than the limiting value</i></p> <p style="text-align: center;">a także and also</p> <p>przegrody zewnętrzne odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej niezbędnej dla zabezpieczenia przed kondensacją pary wodnej  <i>external walls correspond to the requirements of thermal insulation necessary to protect from water vapor condensation</i></p>
--	-------------------	--

pierwotną stanowi zbilansowaną dla budynku energię użytkową i końcową oraz dodatkowe nakłady energii, zawartej w nieodnawialnych źródłach, dostarczane do granicy bilansowania obiektu (energia niezbędna do celów wydobywczych, przetworzenia i transportu nośnika).

the utility energy and total energy and additional energy input, enclosed in the non-renewable sources, delivered to the balancing border of the object (energy necessary for mining, processing and transportation of the energy medium).

$$EP = \frac{Q_P}{A_f} \quad (1)$$

$$Q_P = Q_{P,H} + Q_{P,W} + Q_{P,C} + (Q_{P,L}) \quad (2)$$

gdzie:  $EP$  – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną budynku,  $A_f$  – pole powierzchni o regulowanej temperaturze,  $Q_P$  – zapotrzebowanie energii pierwotnej na potrzeby użytkowe budynku; indeksy  $H$  – na potrzeby ogrzewania i wentylacji,  $W$  – do przygotowania ciepłej wody użytkowej,  $P$  – na potrzeby chłodzenia,  $L$  – na oświetlenie wbudowane.

wherein:  $EP$  – the coefficient of yearly prime energy demand of the building,  $A_f$  – the area of regulated temperature,  $Q_P$  – the prime energy demand for the utility needs of the building; the indices:  $H$  – for the needs of heating and ventilation,  $W$  – for preparing of warm water for utility purposes,  $P$  – for the needs of cooling,  $L$  – for built-in lighting.

### 3. Budynek Starej Dany w Szczecinie – założenia i rozwiązania projektowe

Do 2007 r. u zbiegu alei Wyzwolenia i ulicy Odzieżowej w Szczecinie mieściły się zakłady produkcji odzieżowej ZPO DANA. Po przekształceniach własnościowych podjęto decyzję o zmianie sposobu użytkowania obiektu, przekształcając go na nowe funkcje – biurowe, handlowo-usługowe i gastronomiczne. W nawiązaniu do zakorzenionej w szczecińskiej tradycji nazwy zakładów oraz w odróżnieniu do projektowanej w bezpośrednim sąsiedztwie nowej inwestycji, umownie budynek nazwany został Starą Daną. Jest to obiekt o sześciu kondygnacjach nadziemnych, z czego dwie znajdują się w poddaszu oraz o jednej kondygnacji podziemnej, pochodzący z 1926 r. Budynek kryty jest dachem o konstrukcji żelbetowej, wzniesionej w latach 40. XX w. jako element ochronny przed

### 3. The Old Dana building in Stettin – assumptions and design solutions

Until 2007 on the crossing of the Wyzwolenia Alley and Odzieżowa Street in Stettin there was a clothes manufacturing plant ZPO DANA. After the transformation of ownership a decision was taken to change the way of using the object, to have it transformed to fulfill new functions – offices, trade and services and gastronomy. Referring to the name of the plant rooted in the Stettin's tradition and to distinguish the building from a newly designed investment in close vicinity thereof, the building was named Old Dana. It is the object of six storeys above the ground, out of which two are in the attics, and of one underground storey; the building was raised in 1926. The building is covered with a roof of reinforced concrete construction, put up in the 40<sup>th</sup> of the XX century as

nalotami bombowymi. Pokrycie dachu stanowi dachówka ceramiczna. Narożnik obiektu zaakcentowany został cienkościenną kopułą żelbetową, pokrytą blachą stalową ocynkowaną. Elementem wyróżniającym budynek jest jego elewacja wykonana z prefabrykowanych betonowych elementów ściennych imitujących surowe płyty kamienne ze stosunkowo dużymi przeszkleniami elewacyjnymi. Elewacja jest przez to charakterystyczna i, nawet mimo powojennych przekształceń i zniszczeń, ma w sobie dużą siłę oddziaływania (rys. 1). Budynek został wpisany do ewidencji gminnej obiektów zabytkowych i jest chroniony na podstawie obowiązującego miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego. Wydane dla projektowanej inwestycji zalecenia konserwatorskie oraz ekspertyzy budowlane wskazują na konieczność zachowania charakteru elewacji zewnętrznej oraz odtworzenia pierwotnych podziałów stolarki okiennej. Ponadto należało uwzględnić docieplenie ścian zewnętrznych i stropodachów oraz remont pokrycia dachowego zarówno ceramicznego, jak i stalowego oraz wszystkich obróbek blacharskich.

the element protecting from the bombing air raids. The ceramic tile makes up the coverage of the roof. The corner of the object has been accentuated by a thin-wall reinforced concrete dome, covered with zinc galvanized steel sheet. The building's façade made from prefabricated concrete wall units imitating raw stone plates with comparatively large glass façade surfaces makes the outstanding feature of the building. This makes the façade characteristic and even despite the after-the-war changes and damages, it is very impressive (fig. 1). The building has been listed in the communal record of antique objects and is protected by law on the basis of the local development plan in force. The conservator's recommendations issued for the projected investment and the structural survey indicate the necessity to preserve the character of the outside façade and to reconstruct the primary divisions of window woodwork. Moreover there should be included warming up the external walls and roof floors and repairing the roof coverage both ceramic and steel and repairing all the flashings.



Rys. 1. Widok na budynek Starej Dany – stan istniejący  
Fig. 1. The actual view of Old Dana building

W projekcie budowlanym przebudowy i zmiany sposobu użytkowania Starej Dany [3] przewidziano zachowanie układu przestrzennego i konstrukcyjnego obiektu z wykorzystaniem istniejącej

In the constructional design of reconstruction and change of the way of using the Old Dana [3] it has been provided to maintain of spatial and constructional arrangement of the object with utilization



klatki schodowej w centralnej części budynku. W głównej klatce schodowej zaplanowano zainstalowanie dwóch nowych dźwigów towarowo-osobowych. Realizację funkcji usługowej przewidziano w parterze budynku oraz na kondygnacji podziemnej. Funkcję biurową zaprojektowano częściowo w parterze, na piętrach wyższych oraz na poddaszu. Pomieszczenia biurowe na piętrach będą miały charakter biur typu *open space*. Z korytarza ogólnodostępnego będą też na każdej kondygnacji dostępne pomieszczenia higieniczno-sanitarne. W parterze i podpiwniczeniu budynku zaplanowano możliwość lokalizacji lokalu gastronomicznego, dla którego zaprojektowano dodatkowe wyjścia na teren dziedzińca wewnętrznego celem zapewnienia dostaw i obsługi technicznej. Od strony wejścia głównego z narożnika zaprojektowano zmianę w zakresie przedsionka wejściowego i schodów zewnętrznych zapewniając dostęp do obiektu dla osób niepełnosprawnych. Wprowadzone w projekcie zmiany przestrzenne związane były z dostosowaniem budynku do obowiązujących przepisów techniczno-budowlanych.

Budynek Starej Dany dostosowany był do produkcji odzieżowej jeszcze przed wojną, wykazuje dużą stabilność i nośność stropów międzypiętrowych, stąd nie przewidziano istotnych zmian jego konstrukcji. Zaplanowano jedynie budowę nowej ściany szczytowej po rozebraniu części skrzydła budynku oraz przebudowę przekrycia nad główną klatką schodową oraz biegów schodowych, z uwagi na wyrównanie poziomów kondygnacji. Zaprojektowano poprawę parametrów termicznych zachowanych ścian zewnętrznych budynku wprowadzając termoizolację od wnętrza obiektu celem zachowania pierwotnego charakteru elewacji. Przewidziano wełnę mineralną z pustką powietrzną z kanałami odpowietrzającymi i odprowadzającymi wilgoć oraz wykończeniem z płyt klimatycznych. Elewacje zewnętrzne z okładziną ze sztucznego kamienia wymagają oczyszczenia i wypełnienia ubytków. W części przeznaczony do rozbioru przewidziano rekonstrukcję fragmentu ściany zewnętrznej z charakterystycznym dla obiektu wykończeniem powierzchni. Od strony dziedzińca elewację zewnętrzną zaplanowano wykończyć okładziną z płyt ceramicznych (typu Argeton), dostosowaną kolorystycznie do planowanego nowego budynku w sąsiedztwie. Przyjęto zastosowanie stolarki okiennej drewnianej, z zestawami szybowymi zespolonymi o wysokiej izolacyjności termicznej i rysunkiem podziałów zgodnym z przekazami dokumentacji pierwotnej budynku. Ściany zewnętrzne od wewnątrz tynkowane

of the existing staircase in the central part of the building. In the main staircase it has been planned to install two new cargo and person's lifts. Realization of the service function has been planned to be on the ground floor of the building and on the underground storey. The office functions have been designed partly on the ground floor, on higher floors and in the loft. The office rooms on the above-the-ground floors will be arranged as open space type offices. On each storey there will be also hygienic-sanitary rooms accessible from the main corridor. On the ground floor and in the basement of the building there has been designed the possibility to locate gastronomic premises with additional exits leading to the terrain of the internal piazza in order to provide deliveries and technical service. From the side of the main entrance on the corner, there has been designed a change of the entrance vestibule and the outdoors stairs to provide access to the object for handicapped persons. The spatial changes introduced in the design were connected with the adaptation of the building to meet technical-building regulations in force.

The Old Dana building was adapted to clothes manufacturing before the war, it shows good stability and carrying capacity of inter-storey floors, thus no essential changes of its construction have been foreseen. It has been planned only to build a new gable wall after taking apart a part of the wing of the building and rebuilding the roofing over the main staircase and flights of stairs, due to adjustment of the levels of the storeys. It has been designed to improve thermal parameters of the remaining external walls of the building putting in thermal insulation from the interior of the object in order to preserve the prime character of the façade. The design provides application of mineral wool with air voids and with aerating and moisture withdrawing channels, and the finish made from climatic plates. The external façades with the facing made from artificial stone require cleaning and replenishing of the lost material. In the part designed to be demolished there has been foreseen reconstruction of the fragment of the external wall with the finish of the surface characteristic for the object. From the side of the piazza the external façade is planned to be clad with ceramic plates (of Argeton type), matching in its color to the planned new building in the vicinity. It has been assumed to install wooden window woodwork, with combined double glazing of high thermal insulation and with the drawing of divisions according to those designed before the war in the primary documentation of the building. The external walls from inside will be plastered with reno-

tynkami renowacyjnymi. Wskazano w projekcie również na konieczność osuszenia ścian i posadzek piwnic oraz wprowadzenia izolacji przeciwwilgociowych poziomych i pionowych.

Założono, że wszystkie pomieszczenia będą miały zapewnioną wentylację mechaniczną. Odzysk ciepła z powietrza wywiewanego założono we wszystkich układach poza częścią kuchenną lokalu gastronomicznego. Centrale wentylacyjne przewidziano na poddaszu budynku, odpowiednio modyfikując dach obiektu od strony podwórza. W układach klimatyzacyjnych źródłem energii chłodniczej będzie wytwornica wody lodowej zlokalizowana w projektowanym budynku Nowej Dany, zasobnik wody lodowej przewidziano w pomieszczeniu technicznym na poddaszu budynku Starej Dany.

Projektowane parametry powietrza w pomieszczeniach obsługiwanych przez układy wentylacyjne i klimatyzacyjne wynoszą: w zakresie temperatury odczuwalnej w okresie letnim  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , w okresie zimowym  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , wilgotność względna powietrza regulowana tylko w sezonie grzewczym na minimalnej granicy 35-45%. W celu odprowadzenia zysków ciepła w pomieszczeniach części biurowej zaprojektowano system z wykorzystaniem klimakonwektorów wentylatorowych, czterorurowych zasilanych z centralnej instalacji wody lodowej o parametrach wody zasilającej i powrotnej  $7/12^\circ\text{C}$ . Zaprojektowano instalację centralnego ogrzewania wodną, pompową o parametrach pracy  $75/55^\circ\text{C}$ , doprowadzoną do grzejników płytowych w części biurowej oraz posadzkowych w restauracji. Źródłem ciepła w instalacji będzie wymiennik ciepła w węźle cieplnym zasilanym z sieci miejskiej. Ponadto zaprojektowano instalację ciepła technologicznego – wody grzejnej o parametrach  $80/60^\circ\text{C}$ , doprowadzoną do nagrzewnic w układach wentylacyjnych.

vention plasters. In the design it has been also pointed out that it is necessary to desiccate the walls and the floors of the cellars and to introduce horizontal and vertical anti-moisture insulation.

It has been assumed that all the rooms will be provided with mechanical ventilation. The heat recovery from the air blown out has been assumed for all the arrangements except for the kitchen part of the gastronomy premises. The ventilating centers have been provided in the loft of the building, having suitably modified the roof of the object from the side of the yard. In the air conditioning systems the source of cooling energy will be ice water generator situated in the planned New Dana building; the container of ice water has been provided in the technical room in the loft of the Old Dana building.

The designed parameters of air in the rooms served for by the ventilation arrangements and the air conditioning are as follows: in the range of perceptible temperature in the summer season  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , in the winter season  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , relative air humidity regulated only in the heating season at the minimum limit 35-45%. The system has been designed to use four-pipe ventilating air conditioning convectors, fed from the central ice water installation with feeding and return water parameters  $7/12^\circ\text{C}$ , in order to lead away the heat gained in the rooms of the office part. The installation of central heating has been designed as a water system with a pump, of operating parameters  $75/55^\circ\text{C}$ , water delivered to panel radiators in the office part and floor radiators in the restaurant. The source of heat in the installation will be a heat exchanger in the thermal center supplied from the municipal network. Moreover the technological heat installation has been designed – with heating water of parameters  $80/60^\circ\text{C}$ , delivered to the heaters in the ventilating arrangements.

Tab. 2. Wskaźniki powierzchniowe i kubaturowe budynku Starej Dany [3]  
*Area and cubic capacity indexes of Old Dana building [3]*

Lp. No	Wskaźnik Index	
1	Powierzchnia zabudowy <i>Built-in area</i>	959 m <sup>2</sup>
2	Powierzchnia netto razem <i>Total net area</i> w tym: netto nadziemia <i>In this: net above the ground</i> przyziemia <i>basement</i>	5 181 m <sup>2</sup> 4 382 m <sup>2</sup> 800 m <sup>2</sup>
3	Powierzchnia użytkowa najmu <i>Usable area to let</i> w tym: gastronomia <i>In this: gastronomy</i> biura <i>offices</i>	4 009 m <sup>2</sup> 861 m <sup>2</sup> 3 148 m <sup>2</sup>
4	Kubatura brutto <i>Gross cubic capacity</i>	15 050 m <sup>3</sup>

W tabelicy 2 przedstawiono wskaźniki powierzchniowe i kubaturowe budynku Starej Dany w Szczecinie. Projekt budowlany przebudowy i zmiany sposobu użytkowania Starej Dany na funkcje usługowo-biurowe otrzymał pozwolenie na budowę w roku bieżącym. W roku 2010 planowane jest rozpoczęcie prac budowlanych.

#### 4. Charakterystyka energetyczna budynku „Starej Dany”

Obliczenia charakterystyki energetycznej budynku Starej Dany przeprowadzono przyjmując normatywne warunki użytkowania zgodne z przepisami techniczno-budowlanymi oraz całą powierzchnię wewnętrzną jako ogrzewaną. Wydzielono jedną strefę obliczeniową, dla której średnia, ważona po polu powierzchni, temperatura powietrza wewnętrznego w sezonie ogrzewczym wyniosła 19,7°C. Granicę bilansowania stanowią wszystkie przegrody oddzielające przestrzeń ogrzewaną od środowiska zewnętrznego, tj.: podłoga na gruncie, ściany w kontakcie z gruntem, ściany zewnętrzne nadziemna, okna i drzwi zewnętrzne oraz połacie dachowe. W tabelicy 3 zestawiono współczynnik przenikania ciepła obudowy budynku Starej Dany wraz z wartościami referencyjnymi określonymi w warunkach technicznych [4, 6].

Table 2 presents the area and cubic capacity indexes of the Old Dana building in Stettin. The constructional design for the reconstruction and changing the way of using the Old Dana building to service-office functions was granted the permission to build this year. In 2010 it is planned to commence the constructional works.

#### 4. The energetic profile of the Old Dana building

Calculations of the energetic profile of the Old Dana building were conducted assuming the normative conditions of using in accordance with technical-building legal regulations and assuming that the whole internal area of the building is heated. However, there was separated a computational zone, for which average temperature of air inside, calculated as a weighed value over the area of the surface, in the heating season was 19.7° C. The border of balancing make all the partitions separating the heated space from the outside environment, i.e.: the floor on the ground, the walls in contact with the ground, the external walls of the above-the-ground part of the building, windows and external doors and roof surfaces. Table 3 presents the coefficient of heat transfer of the casing of the Old Dana building together with the reference values defined in technical conditions [4, 6].

Tab. 3. Współczynniki przenikania ciepła obudowy budynku Starej Dany  
Heat transfer coefficients of Old Dana building casing

Lp. No	Opis przegrody Description of the partition	Współczynnik przenikania ciepła $U$ , $W/(m^2K)$ Heat transfer coefficient $U$ , $W/(m^2K)$		
		ocenianego budynku assessed building		referencyjny wg [6] reference acc. to [6]
1	Podłoga na gruncie Floor on the ground	0,33	<	0,45
2	Ściana w kontakcie z gruntem Wall in contact with the ground	0,31		brak wymagania no requirements
3	Ściana zewnętrzna nadziemna z ociepleniem od środka External wall of the above-the-ground part with thermal insulation inside	0,28	<	0,30
4	Ściana zewnętrzna z ociepleniem od zewnątrz External wall with thermal insulation outside	0,26	<	0,30
5	Połąc dachowa Roof surface	0,23	<	0,25
6	Kopuła Dome			
7	Okna – ślusarka aluminiowa Windows – aluminum fitting	max. 1,8	≤	1,8
8	Drzwi zewnętrzne External doors	max. 2,6	≤	2,6
Wartość średnia dla całej obudowy Average value for the whole casing				
budynek nowy new building				0,55
budynek istniejący existing building		0,50	<	0,63

Uzyskane wartości współczynników przenikania ciepła poszczególnych komponentów obudowy nie przekraczają wartości granicznych określonych jak dla budynku nowego. Średnia wartość współczynnika przenikania ciepła jest również mniejsza od wartości referencyjnej dla budynków istniejących, uwzględniającej możliwość przekroczenia wartości granicznej o nie więcej niż 15%.

W budynku Starej Dany zbilansowano zapotrzebowanie na energię na potrzeby ogrzewania i wentylacji, chłodu w sezonie letnim, przygotowania ciepłej wody użytkowej i oświetlenia wbudowanego. Uzyskane wielkości zestawiono w tablicy 4 i na rysunku 2. Wartość referencyjną rocznego wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną dla budynków użyteczności publicznej (3 i 4) zależna jest od tzw. współczynnika kształtu obiektu [6].

$$EP_{HC+W+L} = EP_{H+W} + \left(10 + 60 \cdot \frac{A_{w,e}}{A_f}\right) \cdot \left(1 - 0,2 \cdot \frac{A}{V_e}\right) \cdot \frac{A_{f,c}}{A_f} \quad (3)$$

gdzie:  $EP_{H+W}$  – wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej,  $A_{w,e}$  – powierzchnia ścian zewnętrznych budynku,  $A/V_e$  – wskaźnik zwartości bryły,  $A$  – suma pól powierzchni wszystkich przegród chłodzonych budynku,  $V_e$  – kubatura brutto części ogrzewanej obiektu,  $A_{f,c}$  – powierzchnia użytkowa chłodzona budynku.

Współczynnik kształtu (zwartości bryły) w rozpatrywanym przypadku wynosi  $0,303 \text{ m}^{-1}$ , stąd wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji [6] opisany będzie wzorem:

$$EP_{H+W} = 55 + 90 \cdot A/V_e + \Delta EP \quad (4)$$

gdzie:  $\Delta EP$  – dodatek na jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody użytkowej. W przypadku budynków użyteczności publicznej człon ten zawiera uwzględnia również potrzeby energetyczne na oświetlenie wbudowane.

## 5. Podsumowanie

Dla przebudowywanych budynków zabytkowych, pomimo zwolnienia obiektów prawnie chronionych z obowiązku sporządzania świadectwa energetycznego, na etapie projektowym należy sporządzić charakterystykę energetyczną dołączoną do projektu budowlanego i wykazać prawidłowość doboru rozwiązań zapewniających oszczędność energii. Jednak dostosowanie budynku istnieje

The obtained values of the heat transfer coefficients for individual components of the casing do not exceed the limit values defined as for a new building. The average value of the heat transfer coefficient is also lower than the reference value for the existing buildings, taking into account the possibility of exceeding the limit value by no more than 15%.

In the Old Dana building the energy demand covering the needs of heating and ventilation, cooling in the summer season, preparation of warm water for utility purposes and built-in lighting has been balanced. The obtained values have been presented in tab. 4 and in fig. 2. The reference value of the coefficient of yearly prime energy demand for buildings of public use (3 and 4) depends on the so-called shape coefficient of the object [6].

wherein:  $EP_{H+W}$  – the coefficient of yearly prime energy demand for heating and ventilation and preparation of warm water for utility purposes,  $A_{w,e}$  – the area of external walls of the building,  $A/V_e$  – the coefficient of compactness of the mass,  $A$  – the sum of areas of all the cooled partitions of the building,  $V_e$  – gross cubic capacity of the heated part of the object,  $A_{f,c}$  – the cooled usable area of the building.

The shape coefficient (compactness of the mass) in the considered case equals to  $0.303 \text{ m}^{-1}$ , thence the coefficient of yearly prime energy demand for heating and ventilation [6] will be described by the formula:

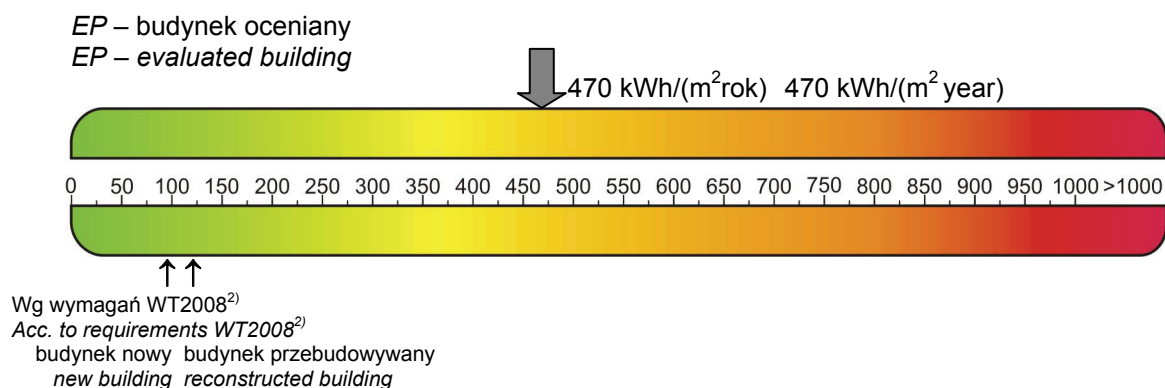
wherein:  $\Delta EP$  – addition for unitary demand for non-renewable prime energy for preparation of warm water for utility purposes. In the case of the buildings of public usefulness this expression also takes into account the energetic needs for built-in lighting.

## 5. Recapitulation

For the rebuilt antique buildings, in spite of exempting the law-protected objects from the duty of preparing an energetic certificate, at the designing stage one should prepare the energetic characteristics to enclose it to the constructional design and prove correctness of the chosen solutions which are to assure economy of energy. However, adaptation of an existing building to the up-to-date

Tab. 4. Wskaźniki energetyczne budynku Starej Dany  
*Energetic indexes of Old Dana building*

Zapotrzebowanie energii końcowej, kWh/(m <sup>2</sup> rok) <i>Final energy demand, kWh/(m<sup>2</sup> year)</i>						
Nośnik energii <i>Energy medium</i>	Ogrzewanie i wentylacja <i>Heating and ventilation</i>	Chłód <i>Cooling</i>	Ciepła woda <i>Warm water</i>	Oświetlenie wbudowane <i>Built-in lighting</i>	Energia pomocnicza <i>Auxiliary energy</i>	Suma <i>Total</i>
Ciepło sieciowe <i>Network heating</i>	22,6		39,6			62,2
Energia elektryczna <i>Electric energy</i>		2,1		46,0	92,1	140,2
Zapotrzebowanie energii użytkowej <i>Utility energy demand</i>						
Cel użytkowy <i>Utility purpose</i>	Ogrzewanie i wentylacja <i>Heating and ventilation</i>	Chłód <i>Cooling</i>	Ciepła woda <i>Warm water</i>	Oświetlenie wbudowane <i>Built-in lighting</i>	Energia pomocnicza <i>Auxiliary energy</i>	Suma <i>Total</i>
kWh/(m <sup>2</sup> rok) <i>kWh/(m<sup>2</sup> year)</i>	20,6	6,1	21,4	46,0	92,1	186,2
Udział, % <i>Fraction, %</i>	11,0	3,2	11,5	24,7	49,6	100
Zapotrzebowanie energii końcowej <i>Final energy demand</i>						
Cel użytkowy <i>Utility purpose</i>	Ogrzewanie i wentylacja <i>Heating and ventilation</i>	Chłód <i>Cooling</i>	Ciepła woda <i>Warm water</i>	Oświetlenie wbudowane <i>Built-in lighting</i>	Energia pomocnicza <i>Auxiliary energy</i>	Suma <i>Total</i>
kWh/(m <sup>2</sup> rok) <i>kWh/(m<sup>2</sup> year)</i>	22,6	2,1	39,6	46,0	92,1	202,4
Udział, % <i>Fraction, %</i>	11,2	1,0	19,6	22,7	45,4	100
Zapotrzebowanie energii pierwotnej <i>Prime energy demand</i>						
Cel użytkowy <i>Utility purpose</i>	Ogrzewanie i wentylacja <i>Heating and ventilation</i>	Chłód <i>Cooling</i>	Ciepła woda <i>Warm water</i>	Oświetlenie wbudowane <i>Built-in lighting</i>	Energia pomocnicza <i>Auxiliary energy</i>	Suma <i>Total</i>
kWh/(m <sup>2</sup> rok) <i>kWh/(m<sup>2</sup> year)</i>	18,1	6,2	31,7	138,0	276,3	470,3
Udział, % <i>Fraction, %</i>	3,8	1,3	6,7	29,3	58,9	100
dla budynku <i>for the building</i>	470					
Wartość referencyjna $EP_{HC+W+L}$ wg WT 2008 [6], kWh/(m <sup>2</sup> rok) <i>Reference value <math>EP_{HC+W+L}</math> acc. to WT 2008 [6], kWh/(m<sup>2</sup> year)</i>						
dla budynku nowego <i>for the new building</i>	253					
dla budynku istniejącego <i>for the existing building</i>	291					



Rys. 2. Porównanie wartości wskaźnika EP budynku Starej Dany z wartością referencyjną  
 Fig. 2. The comparison of EP index for Old Dana building with the reference value

jącego do współczesnych kryteriów izolacyjności cieplnej nastęcza sporo problemów. Są to trudności natury formalnej, obejmujące indywidualnie określone wytyczne konserwatorskie realizacji inwestycji w zależności od wartości kulturowych, krajobrazowych obiektu a także stanu jego zachowania, oraz techniczne – z uwagi na już ukształtowaną tkankę i ograniczone możliwości ingerencji bez naruszenia struktury konstrukcji budynku.

Projektowane i dalej zastosowane rozwiązania nie mogą prowadzić do pogorszenia warunków pracy konstrukcji i powodować jego stanów awaryjnych. Poza względami nośności, należy rozważyć warunki ciepłno-wilgotnościowe w przegrodach budowlanych nie dopuszczając do stanu ich zawilgocenia na skutek kondensacji powierzchniowej lub wgłębnej. Warunki wilgotnościowe w przegrodzie budowlanej związane są z parametrami klimatu wewnętrznego i zewnętrznego oraz doбором warstw materiałowych i ich prawidłowej kolejności. Ostatni warunek jest szczególnie istotny w przypadku wprowadzenia termoizolacji od strony wewnętrznej przegrody i niejednokrotnie wymagają zastosowania materiałów specjalistycznych (np. płyt klimatycznych).

Oceniane w budynku zapotrzebowanie na energię kształtuje się w zależności od jego przeznaczenia i programu użytkowego. W obiektach użyteczności publicznej, w których warunki klimatu wewnętrznego kształtowane są przez odpowiednie systemy (np. wentylację mechaniczną, klimatyzację), ciężar potrzeb energetycznych przesuwają się z potrzeb związanych z ogrzewaniem na zapotrzebowanie energii na cele chłodnicze oraz pracę urządzeń wspomagających pracę systemów technicznego wyposażenia budynku – tzw. energię pomocniczą. W budynkach tych obserwuje się małą wrażliwość wskaźnika zapotrzebowania energii pierwotnej *EP* na zmiany parametrów termicznych ich obudowy, stąd zapotrzebowanie energii przez techniczne wyposażenie budynku powinno być kształtowane również na racjonalnie niskim poziomie.

criteria of thermal insulation procures a lot of problems. They are difficulties both of formal nature, including individually defined conservator's directives for realization of the investment depending on cultural and landscape making values of the object and the condition of preservation of the building, and technical nature – due to the existing, already shaped building formation and limited possibilities of interference without infringement of the construction skeleton of the building.

Designed and further applied solutions must not lead to deterioration of the conditions of working of the construction nor cause any accident predicament. Besides to the regards of carrying capacity, one should take into consideration the heat balance and moisture conditions in the constructional partitions not to allow them to get damp as the result of superficial or deep-seated water vapor condensation. The dampness conditions in the constructional partitions are connected with the parameters of the internal and external climate and with selection of material shells and their correct sequence. The last condition is particularly essential in the case of introducing thermal insulation from the internal side of the partition and quite often requires the use of specialist materials (e.g. climatic plates).

The energy demand estimated for a building is shaped depending on its destination and program of using. In the objects of public usefulness, where the conditions of the internal climate are shaped by suitable systems (e.g. mechanical ventilation, air-conditioning), the weight of the energetic needs is shifted from the needs connected with heating towards the energy demand for cooling purposes and operation of the devices assisting the systems of the technical equipment of the building – so-called auxiliary energy. In these buildings one can observe low sensibility of the prime energy demand coefficient *EP* to the changes of thermal parameters of their casing, therefore the energy demand of technical equipment of the building should be also shaped at the rationally low level.

## Literatura • References

- [1] Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dn. 16.12.2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [2] Kurtz K., Gawin D., *Certyfikacja energetyczna budynków mieszkalnych z przykładami*. Wrocławskie Wydawnictwo Naukowe Atla 2, Wrocław 2009.
- [3] *Projekt budowlany przebudowy i zmiany sposobu użytkowania budynku wielofunkcyjnego Stara Dana* (2009). Dokumentacja projektowa w archiwum Pracowni Projektowej URBICON Sp. z o.o., Główny projektant Zbigniew Władysław Paszkowski
- [4] Rozporządzenie MI z dn. 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie; z późniejszymi zmianami

- [5] Rozporządzenie MI z dn. 06.11.2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub samodzielnej części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej
- [6] Rozporządzenie MI z dn. 06.11.2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
- [7] Rozporządzenia MI z dn. 06.11.2008 r. w sprawie zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego
- [8] Rozporządzenia MI z dn. 21.01.2008 r. w sprawie przeprowadzania szkolenia oraz egzaminu dla osób ubiegających się o uprawnienia do sporządzania charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego oraz części budynku stanowiącej samodzielną część techniczno-użytkową
- [9] Ustawa z dn. 19.09.2007 r. o zmianie ustawy – Prawo budowlane
- [10] Ustawa z dn. 17.07.2009 r. o zmianie ustawy Prawo budowlane oraz ustawy o gospodarce nieruchomościami

---

\* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, Polska  
West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland

---

## Streszczenie

Obecnie zmniejszenie zużycia energii jest jednym z głównych zadań we współczesnym świecie. Europejskie prawodawstwo wprowadziło ograniczenia energii zużywanej przez budynki. Jednym z tych ograniczeń jest Dyrektywa Energooszczędności Budynków (EPBD) 2002/91/WE. Zgodnie z tą dyrektywą wymagane jest, że cechą budynku poddanego modernizacji musi być minimalne zużycie energii. W przypadku modernizowania lub odnawiania zabytkowego budynku można napotkać pewne trudności przy spełnianiu tak ograniczającego wymogu oszczędności energii. Artykuł opisuje obliczenia zużycia energii w budynku zgodnie z EPBD na przykładzie odbudowy zabytkowego budynku Starej Dany w Szczecinie.

## Abstract

Nowadays reduction of the energy consumption is one of the major tasks in the contemporary world. The European law has introduced limitations in energy consumption in buildings. One of these is Energy Performance of Buildings Directive 2002/91/EC. According to EPBD it is demanded that the feature of the existing buildings subjected to modernization must be the requirement of minimum energy consumption. In the case of modernized or renovated antique buildings there could be encountered some problems with meeting such restricted limitations of energy saving. The article is describing calculation of the energy consumption by a building according to EPBD using as the example rebuilding of an antique building – Old Dana in Szczecin.

Paula Szczepaniak\*

Maria Wesołowska\*

## Problemy ciepno-wilgotnościowe współczesnego obiektu sakralnego

### The hygrothermal problems of contemporary sacred buildings

#### Ewolucja rozwiązań z uwagi na identyfikowane problemy wilgotnościowe

Budynki sakralne są obiektami o szczególnym sposobie użytkowania. Na stosunkowo niewielkiej powierzchni gromadzi się na czas nabożeństw duża liczba wiernych. W wiekach średnich, zwyczajem było, odbywanie jednego nabożeństwa, na którym gromadziła się cała społeczność. Wymuszało to odpowiednie ukształtowanie obiektu, w którym głównym problemem było zapewnienie odpowiedniej ilości powietrza. Jego brak, nie rzadko powodował omdlenia wiernych. Pierwsze, typowe obiekty kultu, były wentylowane w naturalny sposób poprzez otwartą od spodu, drewnianą konstrukcję dachu (IX-XI w.). W związku z koniecznością zapewnienia właściwego zabezpieczenia przeciwpożarowego i akustyki wnętrza, wprowadzono sklepienia ceramiczne. Ten nowy, dodatkowy element stał się również istotną barierą dla zużytego przez wiernych powietrza. Rozwiązaniem była ewolucja gmachów sakralnych w kierunku podwyższenie budowli w celu zwiększenia ich kubatury (strzeliste kościoły okresu gotyku). W okresie baroku, buforem nadmiaru wilgoci z powietrza były stiuki i bogata gipsowa sztukateria. Okres kontrreformacji spowodował ograniczenie dekoracji – dominującymi materiałami były kamień i cegła. Nadmiar wilgoci, w postaci kondensatu na przeszkleniach, był odprowadzany pod oknem na zewnątrz. Ten krótki przegląd rozwiązań wskazuje, że ówcześni budowniczowie intuicyjnie uwzględniali problem okresowej wysokiej wilgotności powietrza wewnętrznego.

#### The evolution of the solutions to the identified moisture problems

Sacred buildings are used in a very special way. During services a large number of believers gather in a relatively small space. In the Middle Ages it was usually there one service was when the whole congregation would gather. This forced the appropriate shape of the temple in which the main problem was the provision of sufficient amount of air. Its shortage would frequently make the believers faint. The first typical buildings of religious cult were ventilated in a natural way through the wooden construction of the roof open from below (9th-11th century.) Due to the need to provide adequate fire protection and acoustics of the interior a ceramic vault was developed. This new additional element became also a significant barrier for the air used by the believers. The solution was brought by the evolution of the sacred buildings in the direction of raising them in order to increase their interior volume (soaring Gothic churches.) In Baroque, the rich gypsum plaster stuccowork was the buffer for excessive moisture in the air. During the period of Counter Reformation the use of decorations was reduced – stone and brick were the dominant materials. Excessive moisture in the form of condensate on glazing was removed outside below the window. This short review of solutions indicates that the contemporary builders intuitively took into account the problem of momentary high humidity of the interior air.



## Problem kondensacji powierzchniowej w nowych obiektach

Nowe rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe stosowane w budownictwie mieszkaniowym, wymuszone wyższymi wymaganiami komfortu cieplnego człowieka, przeniesione wprost do budownictwa sakralnego nie zawsze dają oczekiwany efekt.

Jednym z przykładów może być współczesna świątynia usytuowana na skraju dzielnicy mieszkaniowej Fordon. Oś główna zorientowana w kierunku wschód-zachód. Ściana północna ekranowana wzniesieniem, zalesieniem i zabudowaniami parafialnymi. Bryła z rozwiniętą linią ścian podłużnych, tworzących liczne wnęki wewnątrz kościoła (rys.1). Ściany zewnętrzne kościoła głównego grubości 64 cm wykonano jako jednowarstwowe z cegły ceramicznej zwykłej, pełnej. Tynk wewnętrzny cementowo-wapienny grubości 1,5 cm. Powierzchnia zewnętrzna ścian przygotowana pod tynkowanie. Stropodach dwudzielny, przełazowy, w formie podwieszonych do stalowych dźwigarów płyt żelbetonowych, ocieplany wełną mineralną gr. 20 cm, ułożoną na papie izolacyjnej. Przestrzeń stropodachowa o wysokości 1,2 ÷ 2,7m wentylowana – kanały przewietrzające o wymiarach 25 × 25 usytuowane w ścianach podłużnych. Od spodu stropodach wykończony boazerią drewnianą, zabezpieczoną lakierem chemoutwardzalnym. Okna szklone pojedynczo, witrażowe, w ramach stalowych. Drzwi drewniane pełne.

Kościół główny jest użytkowany okresowo – w niedziele i święta (tab. 2). Nabożeństwa dnia powszedniego odbywają się w kaplicy.

## The problem of surface condensation in new buildings

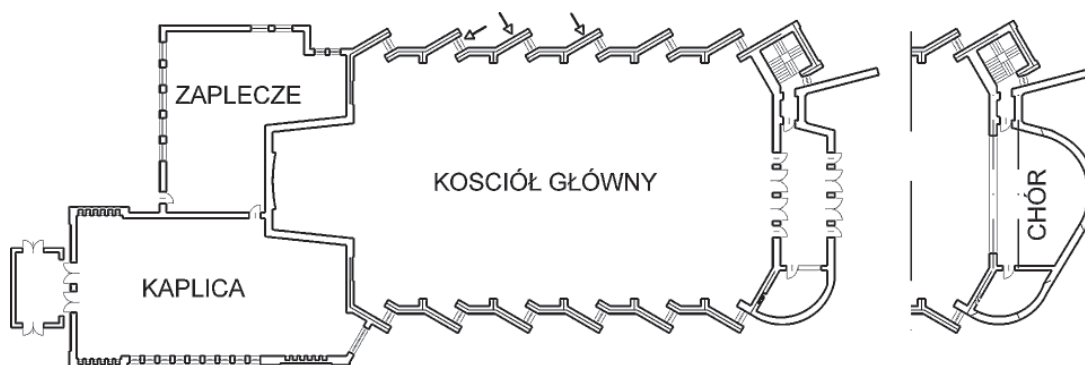
The new construction solutions and materials applied in residential buildings, whose use is required by stricter requirements regarding the thermal comfort of the residents, transplanted directly to sacred buildings does not always bring expected results.

One of the examples can be the modern temple located on the outskirts of Fordon residential district. The geographical orientation of the main axis is west-east. The northern wall overlooks a hill, trees and the parish buildings. The main body of the church with an elaborate line of longitudinal walls creates a number of recesses inside it (fig. 1) The 64 cm thick external walls of the main church are made as single layer walls of made common solid ceramic brick. The internal cement-gypsum plaster is 1.5 cm thick. The external surface of the walls is about to be plastered. The flat roof is dual with openings, in the form of reinforced slabs suspended on steel girders, insulated with 20 cm thick mineral wool on a separation layer. The flat roof space (1.2÷2.7 m) is ventilated – the 25 × 25 ventilation channels are located in the longitudinal walls. The flat roof has wooden paneling from below covered with chemically cured varnish. There are single pane stained-glass windows in steel frames and hardwood doors.

The main church is used periodically – on Sundays and holidays (Table 2.) On weekdays, the services are held in the chapel.

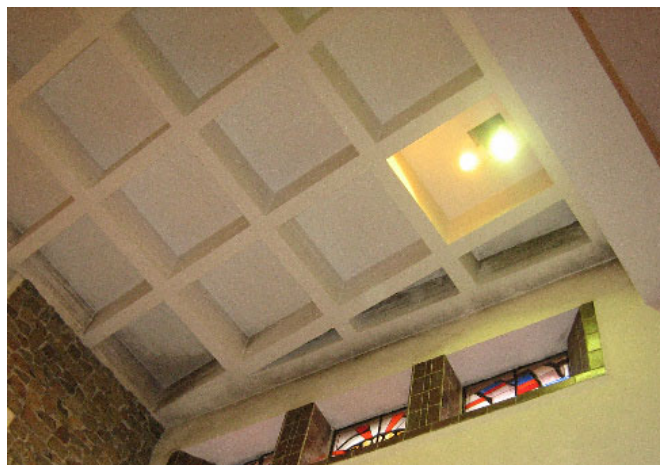
Tab. 1. Porządek Mszy Świętych w Parafii  
Schedule of Holy Masses in the Parish

Dzień Day	Godziny Hours
niedziele i święta (kościół główny) Sundays and holidays (main church)	7 <sup>00</sup> 8 <sup>30</sup> 10 <sup>00</sup> 11 <sup>30</sup> 13 <sup>00</sup> 17 <sup>00*</sup> 18 <sup>30</sup> 20 <sup>00**</sup>
dni powszednie (kaplica) Weekdays (chapel)	7 <sup>00</sup> 8 <sup>30</sup> 17 <sup>00***</sup> 18 <sup>30</sup>



Rys.1. Geometria analizowanego kościoła  
Fig. 1. The layout of the analyzed temple

Od 2004 r. we wnętrzu kościoła zaczęły pojawiać się obszarowe ogniska grzybów pleśniowych, występujące głównie od strony północnej, nad otworami okiennymi, w niszy na chórze, klatce schodowej i kasetonach stropowych (rys. 2). Oprócz wyżej opisanych zjawisk, użytkownik poinformował o intensywnej kondensacji powierzchniowej na kamiennej okładzinie ściany ołtarza. Opisane zjawiska kojarzone były z niedostateczną izolacyjnością ścian zewnętrznych.



Mildewed areas started to appear inside the church in 2004, primarily in its northern sections above windows, in the choir niche, in the staircase and on the ceiling panels (fig. 2) Furthermore, the building administrator informed about intense surface condensation on stone cladding of the altar wall. The developments described above were associated with insufficient insulation of external walls.



Rys.2. Ogniska zagrzybenia na kasetonowym stropie prezbiterium i stropie chóru  
Fig. 2. Places of mold growth on the ceiling surface in presbytery and choir

Kościół jest wyposażony w instalację centralnego ogrzewania zasilaną z sieci miejskiej. Grzejniki radiatorowe umieszczone są we wnękach w kanałach biegnących wzdłuż ścian zewnętrznych poniżej poziomu posadzki. Ogrzewanie uruchamiane jest w miesiącach zimowych przy ujemnych temperaturach zewnętrznych, okresowo, na 12 godzin przed planowanym użytkowaniem.

W założeniu ten system ogrzewania miał wyrównywać temperaturę w strefie przyściennej do temperatury strefy środkowej. Projektowany nawiew do kanałów miał za zadanie intensyfikować wentylację grawitacyjną, której elementem są umieszczone w ścianach zewnętrznych pod sufitem podwieszonym żetowe kanały wywiewne o wymiarach 25×25 cm. Przy oględzinach stwierdzono, że nawiewy nie zostały wykonane.

#### Warunki komfortu w obiekcie

Wg §3 rozporządzenia [10] obiekty kultu religijnego zalicza się do obiektów użyteczności publicznej. Przepis ten narzuca szczegółowe wymagania odnoszące się do wyposażenia technicznego tego rodzaju budynków. Nie ma jednak jednoznacznie sprecyzowanych wymagań mikroklimatu dla budynków sakralnych. Zależnie od potrzeb, są one przedstawiane przez zainteresowane instytucje [2]. Z uwagi na to, że wierni przebywają w obiektach w okryciach wierzchnich, zalecane temperatury są

The church is equipped with central heating installation fueled from the municipal network. The radiators are located in the recesses in the channels going along the external walls below the floor level. The system operates in the winter months when the outside temperature is below zero and periodically for 12 hours before scheduled use.

Originally it was assumed that the heating system would equalize the temperature near the walls and the temperature in the middle section. The designed air blow to the channels was supposed to intensify the gravity ventilation whose elements are the 25×25 cm exhaust Z-section air channels installed on the external walls under the suspended ceiling. During inspection it was discovered that the air supply channels were not built.

#### Indoor comfort conditions

According to §3 of the ordinance [10] the buildings of religious cult are public utility buildings. This regulation imposes detailed requirements regarding the technical equipment installed in this type of buildings. However, there are no specifically defined requirements of indoor conditions for sacred buildings. Depending on needs, they are provided by relevant institutions [2]. Due to the fact that the believers wear outer clothes in the temples, the recommended temperatures are lower than required for standard indoor

Tab.2. Przykładowe wartości głównych parametrów mikroklimatu w obiektach sakralnych [2]  
*Examples of value of main indoor conditions in sacred buildings [2]*

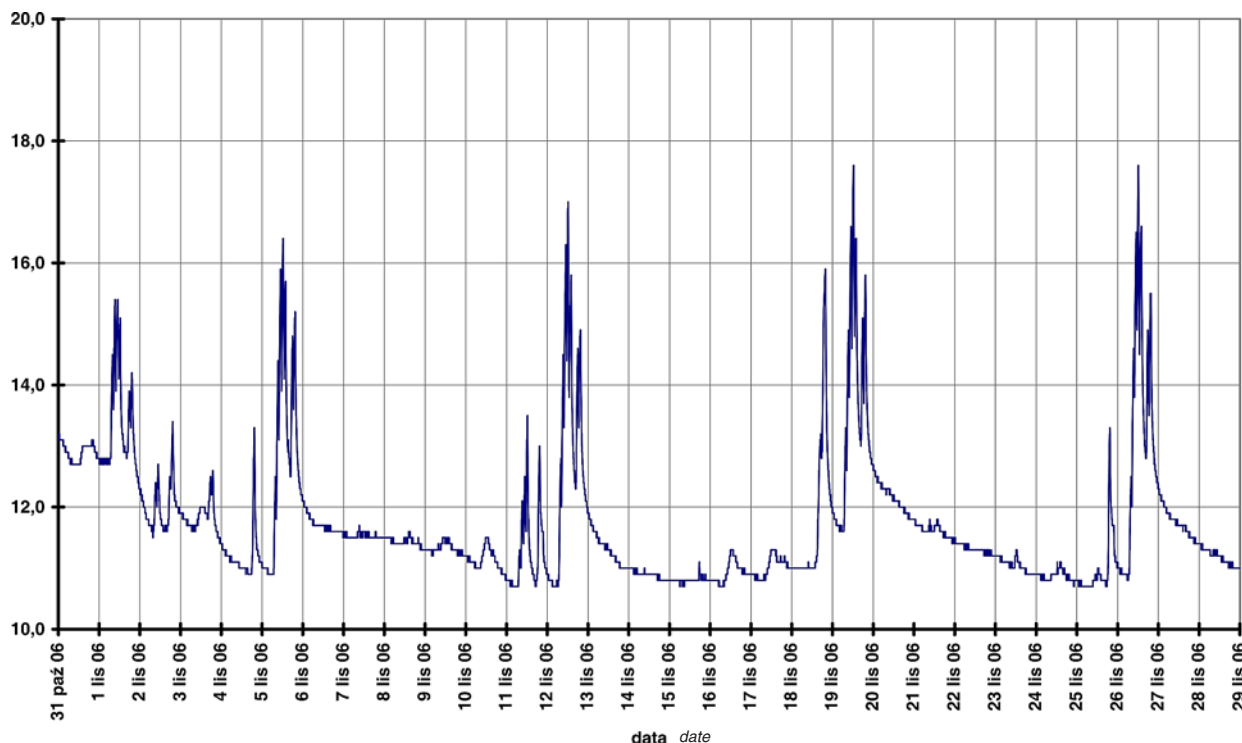
Źródło danych	Source	Obliczeniowa temperatura wewnętrzna <i>Calculation internal temperature</i> [°C]	Dyżurna temperatura wewnętrzna <i>Control-external temperature</i> [°C]	Wilgotność względna powietrza <i>Relative humidity of air</i> [%]	Różne <i>Other</i>
Zalecenia krajowe (Rada Prymasowska Budowy Kościołów Warszawskich)	<i>National recommendations (The Primate's Council for Construction of Warsaw Churches)</i>	12-15	5-8	60-70	– czas nagrzewania kościoła do temperatury obliczeniowej 3h – <i>heating time of the church up to calculation temperature 3h</i>
Norma Polska PN-64/B-02402 (archiwalna) – świątynia – zakrystia	<i>Polish Standard PN-64/B-02402 (invalid)</i> – <i>temple</i> – <i>sacristy</i>	10 18			
Norma Polska PN-82/B-02402 (obowiązująca)	<i>Polish Standard PN-82/B-02402 (valid)</i>	16			
Niemiecka norma DIN 4701	<i>German Standard DIN 4701</i>	15			
Niemieckie założenia dla projektantów Recknagel-Sprenger – ogrzewanie okresowe – ogrzewanie stałe	<i>German recommendations for designers (Recknagel-Sprenger)</i> – <i>periodic heating</i> – <i>permanent heating</i>	12-15 18	6-8	50-60	– czas nagrzewania kościoła do temperatury obliczeniowej 6-8 h – <i>heating time of the church up to calculation temperature 6-8h</i> – maksymalne tempo zmian temperatury powietrza wewnętrznego 1,5 K/h – <i>maximum speed of changes of internal air temperature 1,5K/h</i> – krotność wymiany powietrza 0,5-1 h <sup>-1</sup> – <i>air exchange ratio 0,5-1 h<sup>-1</sup></i>
Temperatura odczuwalna (komfortu cieplnego) w okresie zimowym – wierni w wierzchnich zimowych okryciach – celebrans i asysta w szatach liturgicznych	<i>Sensible temperature (of thermal comfort) in winter</i> – <i>believers in winter outer clothes</i> – <i>officiant and assistants in liturgical vestments</i>	5-12 12-16			– zachowanie stałych wartości parametrów temperatury i wilgotności powietrza – <i>maintenance of permanent values of temperature and air humidity</i>
Zalecenia krajowe konserwatorów zabytków – muzealny komfort klimatyczny – ogrzewanie stałe w kościołach	<i>National recommendations of the preservation officers</i> – <i>museum indoor comfort</i> – <i>permanent heating in churches</i>	16-18 6-8		55-65	

niższe od wymaganych w standardowych warunkach komfortu w pomieszczeniach. Ponieważ, często obiekty sakralne i ich wyposażenie są równocześnie zabytkami, warunki środowiska wewnętrznego są podyktowane wymaganiami konserwatorskimi, tzw. muzealny komfort klimatyczny. W opinii wielu fachowców, dla zachowania w dobrym stanie zarówno budynku, jak i wyposażenia, istotna jest stabilność temperatury i wilgotności. Jest ona nawet ważniejsza od odchylenia od zalecanych wartości temperatur [1]. W kościołach zabytkowych, z uwagi na stały nadzór konserwatorski, parametry te są monitorowane. We współczesnych obiektach głównym wyznacznikiem staje się komfort cieplny wiernych, stąd też kontrolowana jest tylko temperatura.

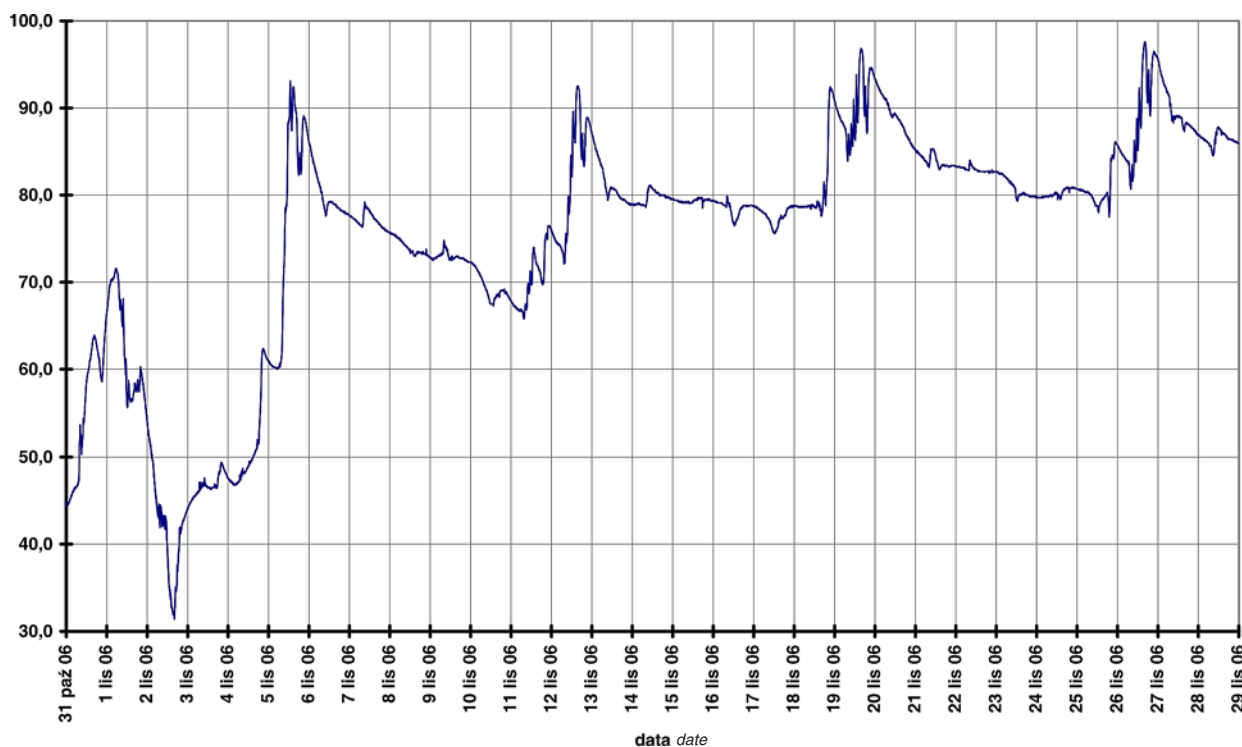
comfort conditions. The indoor conditions in sacred buildings are regulated by the preservation officer's requirements (museum indoor comfort conditions) because the sacred buildings and their furnishings are often at the same time historical monuments and sights. In the opinion of numerous experts the stability of temperature and humidity is of great importance in order to preserve both the buildings and their furnishings in good condition. It is even more important than the deviations from the recommended values of temperature [1]. In churches which are historical monuments and sights, which are under constant supervision of the preservation officer, these parameters are monitored. In contemporary buildings the thermal comfort of the believers has become the main factor and that is why only temperature is monitored.

W kościele przeprowadzono w okresie zimowym monitoring parametrów powietrza wewnętrznego – temperatury i wilgotności względnej. Wyniki przedstawiono na rysunkach.

The parameters of internal air – temperature and relative humidity – were monitored in winter in the church. The results are presented in the following figures.



Rys. 3. Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego w wybranym okresie użytkowania  
 Fig. 3. Variations of internal air temperature in chosen period of time



Rys. 4. Wykres zmian wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w wybranym okresie użytkowania  
 Fig. 4. Variation of internal air relative humidity in chosen period of time

Na wykresie temperatur (rys. 3) i wilgotności względnej (rys. 4) wyraźnie widoczny jest okresowy wzrost tych wartości w cyklu tygodniowym (week-

The graph of temperatures (fig. 3) and relative humidity (fig. 4) evidently demonstrate a temporary increase of their values over the weekends

endowym), w okresie, kiedy kościół główny jest użytkowany. Wzrost tych parametrów jest ściśle powiązany z godzinami odprawiania nabożeństw. Niepokojące jest, że w okresie, gdy kościół główny nie jest użytkowany (od poniedziałku do piątku), wilgotność względna nie zrównuje się do poziomu minimalnego z poprzedniego tygodnia. Oznacza to systematyczny przyrost ilości wilgoci w sezonie zimowym. Ponadto, poziom wilgotności względnej powietrza w obiekcie przekracza standardy komfortu, co sugeruje niesprawną wentylację.

W wybranych kanałach zetowych wykonano pomiar prędkości przepływu powietrza wentylacyjnego (lokalizacja pomiaru zaznaczono na rys. 1). Pomiarzy przeprowadzono dla warunków użytkowania, tj. przy zamkniętych drzwiach i ciągle uchylonych pojedynczych skrzydłach okiennych w Prezbiterium i na chórze, przy temperaturze zewnętrznej ok. +12°C. W żadnym z badanych kanałów nie stwierdzono ruchu powietrza. W kanałach przewietrzających stropodach, prędkości wahały się od 0,2 do 0,8 m/s. Dodatkowo sprawdzono przepływ powietrza przy otwartych głównych drzwiach kościoła. Również w tym przypadku nie stwierdzono ruchu powietrza. Wykonane badania potwierdziły, że przyczyną wzrostu wilgotności powietrza jest niesprawa wentylacja.

#### Analiza jakości cieplnej ściany zewnętrznej

W celu określenia przyczyn rozwoju grzybów pleśniowych, przeprowadzono analizę jakości cieplnej ściany zewnętrznej. Izolacyjność ścian zewnętrznych  $U = 0,982 \text{ W/m}^2\text{K}$  [5], odpowiada wymaganiom obowiązującym w trakcie projektowania i realizacji obiektu [6]. Temperatura na powierzchni wewnętrznej w obliczeniowych warunkach wynosi  $\theta_{si} = 4,6^\circ\text{C}$ . Czynniki temperaturowe obliczone wg PN-EN ISO 13788 [7] wynosi  $f_{Rsi} = 0,753$ .

Rozwinięta powierzchnia ścian zewnętrznych generuje szereg mostków geometrycznych, powodujących zmiany temperatury na powierzchni wewnętrznej (rys. 5). W najniekorzystniejszym punkcie, temperatura obniża się do  $\theta_{si} = +0,2^\circ\text{C}$ , natomiast  $f_{Rsi} = 0,607$ . Jakość cieplną obudowy analizowano dla trzech przypadków użytkowania:

- w czasie nabożeństw
- w dni powszednie (kościół nie użytkowany)
- przy zapewnieniu granicznych warunków obliczeniowych.

Obliczenia przeprowadzono dla miesiąca listopada  $\theta_e = +1,5^\circ\text{C}$  [3], przy wykorzystaniu procedury z normy PN-EN ISO 13788 [7]. Wielkością ocenianą jest czynnik temperaturowy  $f_{Rsi}$  dla przegrody, porównywany z wartością minimalną  $f_{Rsi,min}$ :

– when the main church is used. The increase of the parameters is closely related with the hours of services. It is disturbing that when the main church is not used (Monday through Friday) the relative humidity does not reach the minimum level from previous week. This means that in winter time moisture gradually grows. Furthermore, the level of relative humidity of air in the building exceeds the standards of comfort, which suggests inefficient ventilation.

The ventilation air flow rate was measured in the selected Z-section channels (location of the measurement is marked in fig. 1) The measurements were conducted for the conditions of use, i.e. with the doors closed and single windows in the Presbytery and choir ajar, at the external temperature of about +12°C. No air flow was detected in any of the tested channels. The rates varied from 0.2 to 0.8 m/s in the channels ventilating the flat roof. Additionally, the air flow was also checked with the front door to the church open. Also in this case no air flow was observed. The conducted tests confirmed that the reason of the moisture increase in the air is inefficient ventilation.

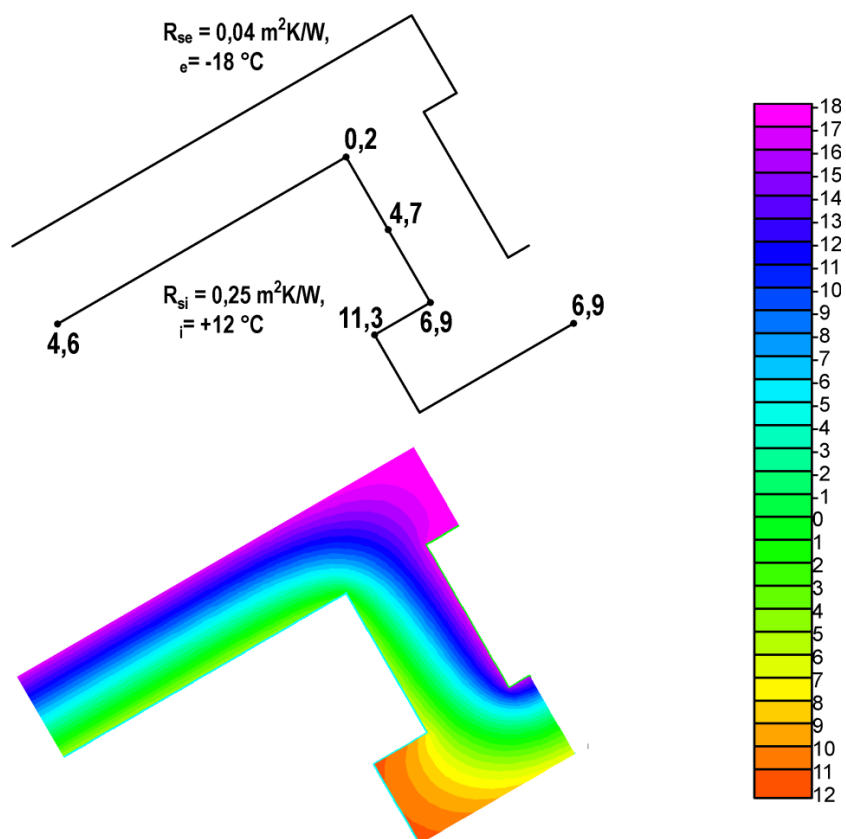
#### The analysis of thermal quality of the external wall

The thermal quality of the external wall was analyzed in order to determine the reasons of mold growth. The insulation rate of the external walls –  $U = 0.982 \text{ W/m}^2\text{K}$  [5] – complies with the requirements which applied when the building was designed and constructed [6] The temperature on its internal surface under the calculation conditions is  $\theta_{si} = 4.6^\circ\text{C}$ . The temperature factor calculated acc. to PN-EN ISO 13788 [7] is  $f_{Rsi} = 0.753$ .

The elaborate surface of external walls generates a number of heat leakage bridges which cause changes of the temperature on the internal surface (fig. 5) In the most unfavorable place the temperature decreases to  $\theta_{si} = +0.2^\circ\text{C}$ , whereas  $f_{Rsi} = 0.607$ . The thermal quality of the building was analyzed for three cases of use:

- during services
- on weekdays (church not used)
- for critical calculation conditions.

The calculations were conducted for November  $\theta_e = +1.5^\circ\text{C}$  [3] in compliance with the procedures from PN-EN ISO 13788 [7.] The value to be measured is the temperature rate  $f_{Rsi}$  for the building envelope partition, compared with the minimum value  $f_{Rsi,min}$ :



Rys. 5. Rozkład temperatur w węźle ściany zewnętrznej  
 Fig. 5. Distribution of temperatures in the external wall

$$f_{R_{si,min}} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (1)$$

gdzie:  $\theta_{si,min}$  = minimalna dopuszczalna temperatura powierzchni,  $\theta_i$  = temperatura powietrza wewnętrznego,  $\theta_e$  = temperatura powietrza zewnętrznego dla analizowanego miesiąca.

where:  $\theta_{si,min}$  = minimum acceptable temperature of the surface,  $\theta_i$  = temperature of internal air,  $\theta_e$  = temperature of external air for the analyzed month.

Table 2 shows the results of the calculations.

Wyniki obliczeń przedstawiono Tablicy 2.

Tab. 2. Analiza ryzyka rozwoju pleśni  
 Tab. 2. Analysis of risk of mold growth

Warunki użytkowania Conditions of use	Parametry powietrza wewnętrznego Parameters of internal air		$\theta_{si,min}$ [°C]	$f_{R_{si,min}}$ [-]
	Temperatura [°C] Temperature [°C]	Wilgotność względna [%] Relative humidity [%]		
Nabożeństwa Services	+17,5	95	20,3	1,175
Dzień powszedni Weekday	+10,8	75	9,9	0,903
Graniczne warunki obliczeniowe Critical calculation conditions	+12	60	7,7	0,590

Przy stwierdzonych warunkach użytkowania, w czasie nabożeństw występuje stan nasycenia pary wodnej, który skutkuje intensywną kondensacją na wszystkich powierzchniach wnętrza. W okresie

During the services in the given conditions of use the water vapor saturation occurs, which results in intense condensation on all interior surfaces. On weekdays, when the church is not used, the

przerw w użytkowaniu (dzień powszedni) następuje obniżenie wilgotności i temperatury poniżej stanu nasycenia, jednak nadal powyżej poziomu warunkującego ryzyko rozwoju pleśni. Naturalną konsekwencją zastanej sytuacji jest możliwość rozwoju grzybów pleśniowych w obiekcie. W przypadku analizowanej przegrody, rozwojem pleśni zagrożone są wszystkie wewnętrzne powierzchnie ścian. Utrzymanie granicznych warunków obliczeniowych, pozwoli uniknąć zagrożenia pleśnią.

### Podsumowanie i wnioski

Analizowany kościół, stanowiący obiekt użyteczności publicznej, przeznaczony na czasowy pobyt ludzi, powinien charakteryzować się następującymi parametrami powietrza wewnętrznego:

- wilgotność względna: 40-60% [8],
- temperatura: +12°C [10].

Przeprowadzone pomiary parametrów powietrza wewnętrznego wykazują, że temperatura jest utrzymywana na właściwym poziomie, natomiast wilgotność osiąga bardzo wysokie wartości. Średnia wartość w całym okresie pomiarów wynosiła 75%, w czasie użytkowania wzrastała do 95%. Nagromadzenie wilgoci jest spowodowane okresowym użytkowaniem obiektu. Istniejący w kościele system przewietrzania nie daje możliwości usunięcia nadmiaru pary wodnej gromadzonej podczas nabożeństw niedzielnych. W związku z tym, występuje bardzo silne obciążenie wilgocią przegród, co skutkuje rozwojem grzybów pleśniowych oraz intensywnym skraplaniem się pary wodnej na powierzchniach hydrofobowych (kamienna ściana ołtarza). W przypadku tak dużego obciążenia wilgocią, izolacyjność termiczna przegród ma znaczenie drugorzędne.

Obserwowane zagrzybienia nie są efektem zastosowanych układów materiałowych w przegrodach. Izolacyjność termiczna istniejących ścian przy utrzymaniu właściwych parametrów powietrza wewnętrznego jest dostateczna do uniknięcia ryzyka rozwoju pleśni.

Dla aktualnego sposobu użytkowania kościoła głównego istnieje rozwiązanie wentylacji grawitacyjnej jest niewystarczające, co skutkuje powstawaniem zagrzybień w obszarach o zmniejszonym ruchu powietrza (narożniki, nisze, kasetony). W związku z tym, celowym wydaje się zastosowanie sterowanej wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej. Zaproponowano doprowadzenie powietrza zewnętrznego przez czerpnie wkomponowane w bryłę budynku z wykorzystaniem istniejących kanałów grzewczych oraz usuwanie zużytego powietrza przez wentylatory dachowe.

humidity and temperature decreases below saturation, however, still above the level at which the mold growth occurs. The natural consequence of that situation is the possibility of development of mold in the building. In the case of the building envelope partition which was analyzed, all interior surfaces of the walls are exposed to the development of mold. The maintenance of the critical calculation conditions should prevent the mold growth.

### Summary and conclusions

The analyzed church, being a public utility building, which was designed to be used periodically by people should demonstrate the following interior air parameters:

- relative humidity: 40-60% [8],
- temperature: +12°C [10].

The measurements of the interior air parameters indicate that the temperature is maintained at the right level, whereas humidity reaches very high values. The mean value over the whole period of the measurements was 75%, which increased to 95% when the church was used. The development of moisture is caused by the periodic use of the building. The existing ventilation system in the church does not provide a possibility to remove the excess of water vapor accumulated during Sunday services. Consequently, the building envelope partitions are highly loaded with moisture, which results in the mold growth and intense condensation of water vapor on the hydrophobic surfaces (stone altar wall.) In the case of such great moisture loads the thermal insulation of the building envelope partitions is of secondary importance.

The molded places are not the result of the application of specific materials in the building envelope partitions. The thermal insulation of the existing walls is sufficient to prevent the risk of mold growth provided the right parameters of the interior air are maintained.

The existing gravity ventilation system is inefficient for the current use of the main church and it results in the development of mold in places where the air movement is reduced (corners, niches, panels.) Consequently, it seems reasonable to apply a controlled mechanical balanced ventilation system. It was suggested that the external air be supplied through intake vents incorporated into the building with the use of existing heating channels and the used air be removed through the rooftop fans.

## Literatura • References

- [1] Cichowicz R., Urbaniak A., *Mikroklimat wnętrz sakralnych*, Przegląd techniczny, Nr 26/2008, s. 17-18.
- [2] *Fizyka obiektów sakralnych*, praca zbiorowa pod red. L. Wolskiego, Sekcja Fizyki Budowli, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Łódź 2006.
- [3] Gawin D., Heim D., Kossecka E., Kośny J., Więckowska A., *Typowy rok meteorologiczny do symulacji procesów wymiany ciepła i masy w budynkach. Komputerowa fizyka budowli*, t.2. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź 2002.
- [4] PN-82/B-02020 *Ochrona cieplna budynków. Wymagania i obliczenia*.
- [5] PN-EN ISO 6946:2004 *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*.
- [6] PN-EN ISO 10211:2008 *Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepłe i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe*.
- [7] PN-EN ISO 13788:2003 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania*.
- [8] PN-78/B-03421 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*.
- [9] PN-82/B-02403 *Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne*.
- [10] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (DzU z 2002 r. nr 75, poz. 690 z póź. zm.).

---

\* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Polska  
University of Technology and Life Science in Bydgoszcz, Poland

---

## Streszczenie

Budynki sakralne są obiektami o szczególnym sposobie użytkowania. Na stosunkowo niewielkiej powierzchni gromadzi się podczas nabożeństw duża liczba wiernych. Z tego powodu powstają bardzo specyficzne wewnętrzne warunki klimatyczne. Okresowo w tego rodzaju obiektach występuje silne obciążenie wilgocią przegród, co między innymi powoduje powstanie ryzyka rozwoju pleśni. Każda epoka ma swoje rozwiązanie na usuwanie nadmiaru wilgoci. Niniejsza praca przedstawia analizę tego problemu na przykładzie współczesnego obiektu sakralnego.

## Abstract

Sacred buildings are used in a special way. During the services a large number of believers gather in a relatively small space. This is the reason of formation of very specific indoor climatic conditions. The envelope of this type of building is periodically loaded with high humidity which among other things causes the risk of mold growth. Every epoch has they own solution to remove excessive moisture. This paper presents the analysis of this problem with the use of a contemporary temple as an example.



Józef Adamowski\*  
Zygmunt Matkowski\*

## Analiza wybranych uszkodzeń Pawilonu Czterech Kopuł Hansa Poelziga we Wrocławiu

## Analysis of the chosen damages of Hans Poelzig's Four Domes Pavilion in Wrocław

### 1. Wstęp

Pawilon 4 Kopuł (wg [1, 2 i 3]) został wybudowany na początku XX wieku na terenach wystawowych w rejonie osiedla Szczytniki we wschodniej części Wrocławia, na potrzeby „Wystawy Stulecia”. Wystawa ta, planowana w stulecie zwycięskiej dla Prus bitwy pod Lipskiem (1813) była częścią obchodów upamiętniających wzrost znaczenia państwa pruskiego w Europie. Pawilon Czterech Kopuł umiejscowiono w pobliżu (na północny zachód) Hali Ludowej wraz z innymi obiektami towarzyszącymi (m.in. Pergolą i Ogrodem Japońskim). Budowę zrealizowała, wg projektu Hansa Poelziga, firma *Schlesische Beton Baugesellschaft* pomiędzy sierpniem 1912 a lutym 1913. Na wewnętrznym dziedzińcu Pawilonu znajdowała się wówczas fontanna z rzeźbą projektu wrocławskiego rzeźbiarza, profesora Roberta Bednorza przedstawiającą grecką boginię Pallas Atenę. Rzeźba ta nie zachowała się do dzisiejszych czasów. Do 1945 roku w Pawilonie 4 Kopuł były organizowane wystawy historyczne oraz wystawy sztuki współczesnej. W latach 1937-38 do Pawilonu została dobudowana część administracyjno-wystawiennicza z salą, która służyła do celów targowych oraz spotkań kulturalnych i koncertów.

Wg [1] po II wojnie światowej obiekt został przebudowany dla potrzeb Wytwórni Filmów Fabularnych, która wykorzystywała jego pomieszczenia jako filmowe atelier. Ponadto w budynku mieściły się pomieszczenia biurowe, warsztaty, magazyny, stołówka i wiele innych pomieszczeń o różnych funkcjach.

### 1. Introduction

Four Domes Pavilion (according to [1,2 and 3]) was built at the beginning of 20<sup>th</sup> century on the exhibition venue in the area of Szczytniki housing estate in the eastern part of Wrocław for the Centenary Exhibition. The exhibition, planned on the centenary anniversary of the victorious for Prussia battle of Leipzig (1813), was a part of a celebration commemorating the increase of the importance of Prussian country in Europe. Four Domes Pavilion was located in the neighbourhood (in the north-west) of the Centennial Hall together with other accompanying buildings (e.g. Pergola, and Japanese Garden). The building was carried out by *Schlesische Beton Baugesellschaft* company according to Hans Poelzig's design between August 1912 and February 1913. In the inner yard of the Pavilion there used to be a fountain with a sculpture designed by Wrocław sculptor professor Robert Bednorz, showing the Greek goddess Pallas Athena. Unfortunately the sculpture has not lasted to our times. Until 1945 Four Domes Pavilion housed historic and contemporary art exhibitions. Between 1937-1938 administrative and exhibition extension was added with a hall used for fairs, cultural meetings and concerts.

According to [1] after the Second World War the building was converted into Film Studios.

In the building there were also offices, workshops, warehouses, a canteen and a lot of other rooms of different functions.

Obecnie trwają prace przygotowawcze i projektowe przed wykonaniem remontu modernizacyjnego całości obiektu.

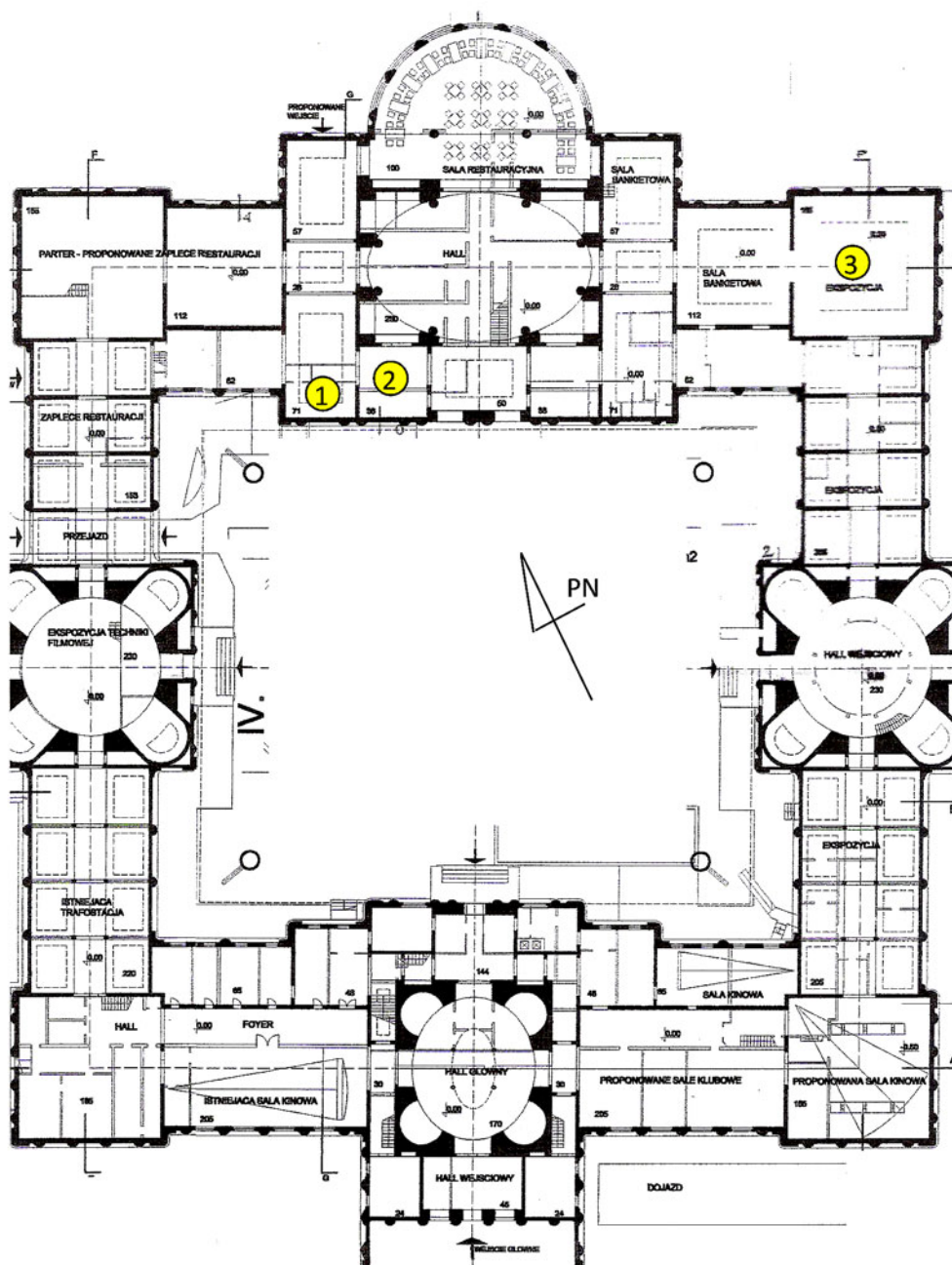
At present a lot of preparatory and design works, are being carried out prior to modernization.

## 2. Ogólny opis obiektu

Pawilon 4 Kopuł wzniesiony jest na planie zbliżonym do prostokąta (rys. 1) i składa się z czterech skrzydeł: północnego, południowego, wschodniego i zachodniego, rozmieszczonych wokół dziedzińca wewnętrznego, na który prowadzi brama przejazdowa zlokalizowana w skrzydle zachodnim. W czę-

## 2. General building description

Four Domes Pavilion is erected on a rectangular-like plan and consists of four wings (fig.1): northern, southern, eastern and western, located around the inner yard that can be reached through a gateway located in the western wing. In the middle part of each wing there is a higher part crowned

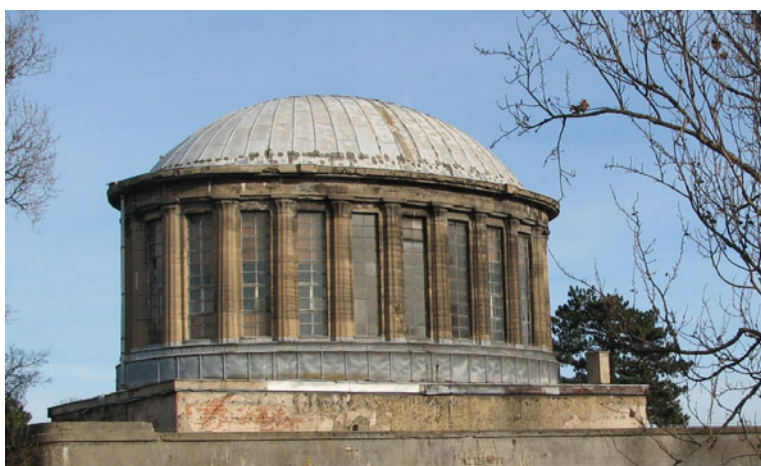


Rys. 1. Ogólny rzut przyziemia Pawilonu 4 Kopuł z zaznaczeniem pomieszczeń, w których pobrano próbki do badań mikrobiologicznych (wg [1])

Fig. 1. General projection of Four Cupolas Pavilion ground floor with marking the rooms where samples for microbiological examinations were taken (acc. to 1)

ści środkowej każdego skrzydła znajduje się część wyższa, zwieńczona kopułą o rzucie kołowym lub eliptycznym (rys. 2, 3). Części boczne każdego ze skrzydeł są jednokondygnacyjne. Pomimo dużej długości poszczególnych skrzydeł budynku (ok. 42 i 41 m), nie stwierdzono żadnych dylatacji konstrukcji fundamentów, ścian oraz dachów.

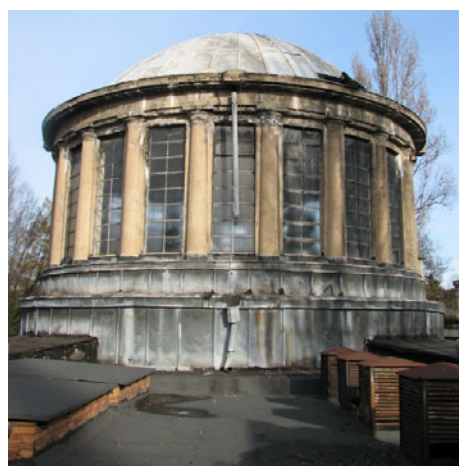
Główna konstrukcja nośna obiektu jest żelbetowa, monolityczna, częściowo szkieletowa, a częściowo ścianowa. W blendach między słupami ścian zewnętrznych wykonane są ściany warstwowe o następującym układzie warstw: tynk cementowo-wapienny, cegła dziurawka – 12 cm, pustaka powietrzna, cegła dziurawka – 12 cm. W budynku wykonano kilka rodzajów stropów. Są to stropy żelbetowe, monolityczne, płytowe i płytowo-żebrowe, a miej-



Rys. 2. Ogólny widok kopuły eliptycznej w skrzydle północnym  
Fig. 2. General view of the elliptic dome in the northern wing

with a dome of a circular or elliptic plan. (fig. 2, 3) The side parts of each wing are one-storey. Despite the significant length of particular wings of the building (about 42 and 41m) none expansion joints of foundation construction, walls or roofs were found.

The basic load-bearing construction of the building is reinforced concrete, monolithic, partly skeleton and partly wall. In the blends between outer wall pillars there are layered walls consisting of the following layers: cement-calcareous plaster, airbrick – 12 cm, hollow brick, airbrick – 12 cm. Several kinds of ceiling were made in the building. They are reinforced concrete, monolithic, slab and slab-rib ceilings but in some places there are ceilings on steel gird-



Rys. 3. Ogólny widok kopuły eliptycznej w skrzydle zachodnim  
Fig. 3. General view of the elliptic dome in the western wing

scami występują stropy na belkach stalowych. Głównym elementem architektonicznym obiektu są cztery kopuły usytuowane w środku każdego skrzydła, pokryte blachą, o konstrukcji żelbetowej z tzw. zbrojeniem sztywne. Poza obrębem kopuł, nad wszystkimi skrzydłami wykonano stropodachy płaskie, kryte papą. Ponad połączenie dachowe wystają liczne żelbetowe ścianki attykowe, ścianki ogniowe, koryta odwodnieniowe, koryta żelbetowe, w których miała rosnąć roślinność, gzymsy oraz świetliki.

Ściany i słupy nie mają izolacji poziomych i pionowych, w jednym miejscu (przy wewnętrznym narożniku północno-wschodnim) zauważono pozostałości po poziomej, smołowej izolacji przeciwwilgociowej. Nie stwierdzono też występowania w budynku typowych, w rozumieniu współczesnym, izolacji termicznych.

W części budynku zamontowane są oryginalne okna jednoszybowe w ramach stalowych. W czasie remontów wykonanych po 1945 roku część stolarki pierwotnej zastąpiono współczesną.

The main architectural element of the building are four domes placed in the middle of each wing covered with metal of reinforced concrete construction with the so-called rigid reinforcement. Beyond the dome, over all the wings, flat roofs covered with tar paper were made. Numerous reinforced concrete attic walls, fire-walls, drainage gutters, reinforced concrete gutter where plants were to grow, cornices and skylights stick out above the hipped roof end.

Walls and pillars have no vertical or horizontal insulation. In one place, (at the inner north-eastern corner) the remains of the horizontal ante-damp pitch insulation were noticed. Thermal insulations, in the contemporary meaning, were not found in the building.

There are original one-pane windows in steel frames in one part of the building. During the renovations held after 1945 some of the original doors and windows were exchanged for the modern ones.

### 3. Uszkodzenia występujące w obiekcie związane z zagadnieniami cieplno-wilgotnościowymi

Oprócz uszkodzeń typowo konstrukcyjnych dużą grupę uszkodzeń występujących aktualnie w budynku stanowią wady wynikające z problemów cieplno-wilgotnościowych. Są to (patrz przykładowo rys. 4-8):

- intensywne wysolenia na zewnętrznych i wewnętrznych powierzchniach ścian i słupów żelbetowych,
- liczne zacieki wody opadowej widoczne na wewnętrznych powierzchniach ścian, stropów i kopuł,
- intensywny rozwój grzybów pleśniowych na wewnętrznych powierzchniach słupów, ścian oraz na sufitach stropodachów,
- intensywna korozja tynków i cegieł w blendach między słupami, widoczna szczególnie na powierzchni zewnętrznej tych ścian,
- korozja mrozowa zewnętrznego lica muru z cegieł,
- bardzo duże zawilgocenie dolnych i górnych partii ścian,
- korozja belek stalowych w stropach oraz korozja innych elementów metalowych (np. w nawswietlach),
- nieszczelności w pokryciu dachowym kopuł i przeciekanie wody opadowej do wnętrza,
- korozja i ubytki pokrycia z blach kopuł,
- rozwój grzybów pleśniowych na dolnych powierzchniach kopuł oraz wieńcach obwodowych kopuł,
- rozwój roślinności na pokryciu papowym,
- rozwój mchów i porostów na pokryciu papowym,
- silne zawilgocenie, spęcznienie, porażenie przez grzyby domowe i grzyby pleśniowe posadzek i podłóg drewnianych.

Podsumowując należy uznać, że ogólny, aktualny stan techniczny Pawilonu 4 Kopuł pod względem cieplno-wilgotnościowym i mykologicznym jest „nieodpowiedni”.

Rys. 4. Przykładowy widok uszkodzeń w narożu wewnętrznym skrzydła północnego i wschodniego. Widoczne ślady po wyciekach z koryt i rur spustowych (1), zawilgocenie zewnętrznej powierzchni ściany (2), zaawansowana powierzchniowa korozja betonu (3), rosnąca roślinność na gzymsie (4)

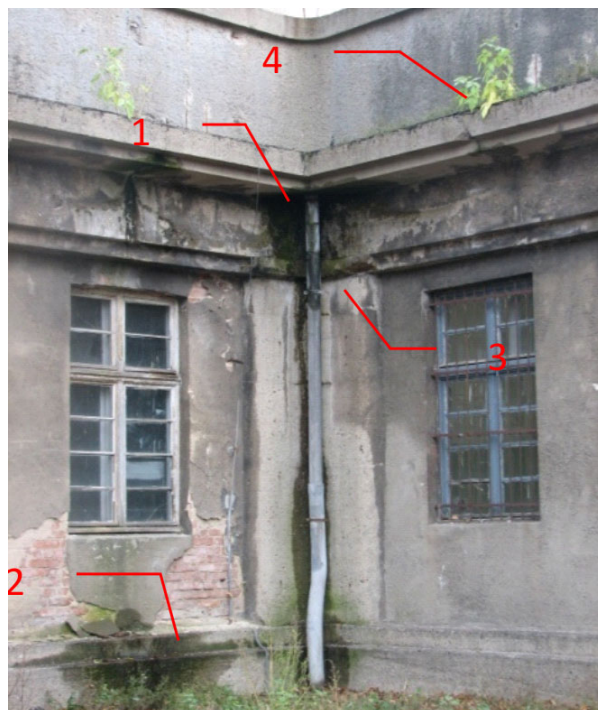
*Fig. 4. Demonstration view of damages in the corner of the inner northern and eastern wings. visible traces of leakages from gutters and drainpipes (1), dampness of the outer wall surface (2), advanced surface corrosion of concrete (3), plant growth on the cornice (4)*

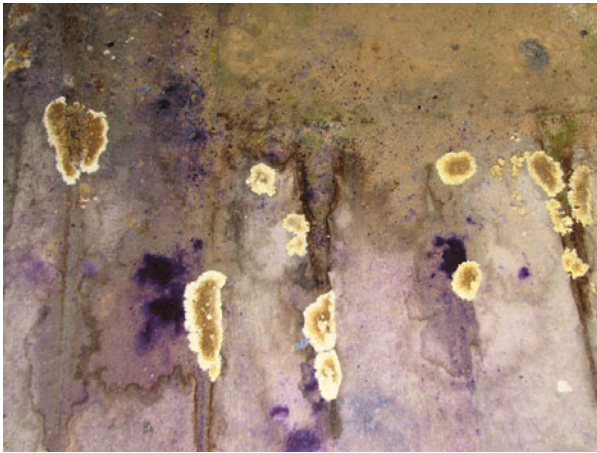
### 3. Damages in the building connected with thermal-damp problems

Besides typical construction damages, there are a lot of damages occurring in the building now which are the result of thermal-damp problems. They are as follows (look fig. 4-8):

- intensive salt precipitation on outer and inner wall surfaces and reinforced concrete pillars,
- numerous damp patches of rain water visible on inner wall surfaces, ceilings and domes,
- intensive growth of mildew fungi on inner pillar surfaces, walls and ceiling-rafters,
- frost corrosion of outer wall brick face,
- very intensive dampness of lower and upper parts of walls,
- corrosion of steel girders in ceilings and corrosion of the other metal elements, for example, in transoms,
- leakiness in dome roofs and rain water leaking inside the building,
- corrosion and loss of dome roof covering,
- growth of mildew fungi on lower dome surfaces and dome crowns,
- plant growth on pitch roof covering,
- moss growth on pitch roof covering,
- intensive dampness, swelling, damages of wooden floors and floors caused by house and mildew fungi.

To sum up it must be assumed that the general present technical condition of Four Domes Pavilion is deplorable if it comes to thermal and mycological factors.





Rys. 5. Skrzydło północne. Widok porażenia desek podłogowych przez grzyba domowego właściwego  
*Fig. 5. Northern wing. View of wooden floor damages caused by house fungus*



Fot.6. Skrzydło północne. Widok porażenia desek podłogowych przez grzyba domowego właściwego  
*Fig. 6. Northern wing. View of wooden floor damages caused by house fungus*



Rys. 7. Skrzydło południowe. Widok od dołu fragmentu kopuły kołowej. Widoczne ślady po przeciekach i rozwój grzybów pleśniowych  
*Fig. 7. Southern wing. View of a fragment of circular dome. Visible traces caused by leakage and mildew fungus growth*



Rys. 8. Skrzydło południowe. Widok „przemarzających” żeber stropu. Główną przyczyną występowania tego zjawiska jest zbyt mała izolacyjność termiczna stropodachu  
*Fig. 8. Southern wing. View of freezing slab-rib ceiling. The main reason for its occurrence is unsatisfactory thermal insulation of the flat roof*

#### 4. Opis i wyniki przeprowadzonych badań

W celu stwierdzenia przyczyn powstania występujących obecnie w Pawilonie 4 Kopuł uszkodzeń przeprowadzono badania aktualnego zawilgocenia słupów i ścian obiektu oraz rodzaju i stężenia soli występujących w tych elementach budowlanych.

Badania wilgotności ścian określono metodą nieniszcząca stosując miernik UNI 1 firmy GANN HYDROMETTE oraz tradycyjną metodą suszarkowo-wagową. Miernik Gann pozwala określić stopień zawilgocenia przegród budowlanych do głębokości około 10 cm od badanej powierzchni. Badania te wykonano w listopadzie i grudniu 2008 roku łącznie z badaniami oraz oceną rozwoju korozji chemicznej i biologicznej.

W polskiej literaturze przyjmuje się następujący podział ze względu na stopień ich zawilgocenia (wilgotność masową –  $U_m$ ):

#### 4. Description and results of the carried out examinations

In order to estimate the reasons for appearance of damages present in Four Domes Pavilion, examinations of the current dampness of pillars and building walls as well as kinds and salt concentration occurring in those building elements have been carried out.

Wall dampness examinations were defined by means of nondestructive method using UNI 1 gauge of GANN HYDROMETTE company and traditional dryer-weight method. Gann gauge allows defining dampness degree of building barrier to the depth of about 10cm from the examined surface. These examinations were carried out in November and December 2008 together with examinations and evaluation of chemical and biological corrosion progress.

In Poland, the division based on the dampness degree is used (mass dampness –  $U_m$ ).

- $U_m = 0-3\%$  – ściany o dopuszczalnej wilgotności,
- $U_m = 3-5\%$  – ściany o podwyższonej wilgotności,
- $U_m = 5-8\%$  – ściany średnio zawilgocone,
- $U_m = 8-12\%$  – ściany mocno zawilgocone,
- $U_m = 12\%$  – ściany mokre.

Analiza uzyskanych wyników badań wilgotności masowej ścian wskazała bardzo duże zróżnicowanie wilgotności w poszczególnych miejscach. W zdecydowanej większości miejsc pomiarowych wilgotność ścian była większa od wartości dopuszczalnej 3%. W miejscach najbardziej zawilgoconych wilgotność murów wynosiła 25%, czyli była bliska maksymalnej nasiąkliwości materiału, z którego wykonane są mury. Średnia wilgotność masowa ścian określona metodą suszarkowo-wagową wynosiła 11.9% czyli ściany były mocno zawilgocone i mokre. Oceniono, że około 60% powierzchni ścian można zaliczyć do grup ścian mokrych, średnio i mocno zawilgoconych. Tylko nieliczne mury nie wykazywały podwyższonego zawilgożenia.

Badania rodzaju i stężenia soli w murach wykonano za pomocą testów i odczynników wskaźnikowych firmy Merx. Wykonana w pierwszej kolejności, analiza jakościowa pozwoliła na stwierdzenie obecności w poszczególnych próbkach: chlorków, siarczanów i azotanów.

Jako wartości graniczne stężenia poszczególnych rodzajów soli przyjmuje się, wg instrukcji WTA nr 2-904, wartości podane w tabeli 1.

- $U_m = 0-3\%$  – walls of acceptable dampness
- $U_m = 3-5\%$  – walls of increased dampness
- $U_m = 5-8\%$  – walls of medium dampness
- $U_m = 8-12\%$  – walls of severe dampness
- $U_m > 12\%$  – wet walls

The analysis of the examination results of wall mass dampness indicated very high diversity of dampness in particular places. In the majority of the measured places wall dampness was higher than the acceptable 3%. In the dampest places wall dampness was 25%, so it was close to the maximum absorbability of the material the walls are made from. Average wall mass dampness defined by the dryer-weight method was 11.9%, it means the walls were highly damp and wet. It was estimated that about 60% of walls can be defined as wet, medium and highly damp. Only a few walls did not show increased dampness.

The examinations of kinds and salt concentration in walls were made by means of Merx tests and reagents. Quality analysis, carried out as the first one, made it possible to claim the presence of chloride, sulphate and nitrate in particular samples. Values given in Table 1 are accepted as the boundary values of the particular salt concentration according to WTA no 2-904 instruction.

The results of the carried out examinations showed that salt concentration in walls was rather low. There was a small amount of chloride and ni-

Tab. 1 Ocena stopnia zasolenia murów na podstawie stężenia soli (w % wagowo)  
Evaluation of salinity degree of walls on the basis of salt concentration (% weight)

Stopień zasolenia Salinity degree	Poziom niski Low level	Poziom średni Medium level	Poziom wysoki High level
Chlorki [% M] Chloride (%M)	< 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
Azotany [% M] Nitrate (%M)	< 0.1	0.1 – 0.3	> 0.3
Siarczany [% M] Sulphate (%M)	< 0.5	0.5 – 1.5	> 1.5

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że stężenie soli w murach było stosunkowo niskie. Najmniej było chlorków i azotanów i ich stężenia było niskie. Więcej było siarczanów jednak ich stężenie było niskie i średnie.

Przeprowadzono także badania mikrobiologiczne. Dokładne wyniki badań grzybów pleśniowych i innych mikroorganizmów przedstawiono w opracowaniu dr. Krzysztofa Matkowskiego [4].

Wg tego opracowania we wszystkich badanych pomieszczeniach zaobserwowano kolonie grzybów. Szczególnie intensywnie organizmy te porastały ściany pomieszczenia nr 1 (patrz rys. 1), gdzie dominowały kolonie barwy szarej, ciemnobrunatnej

trate and their concentrations were low. There were more sulphates. However, their concentration was low or medium.

Microbiological examinations were also carried out. Detailed examination results of mildew fungi and other microorganisms were described in Dr Krzysztof Matkowski's research work [4].

According to this work, fungi colonies were observed in all examined places. These organisms were especially visible on the walls of a room no 1 (fig. 1), where colonies of grey, dark brown and black colour were the domineering ones. In room no 1, algae were dramatically growing creating vast dark green coats. In microscopic image green and

i czarnej. W pomieszczeniu 1. intensywnie rozwijały się glony, tworząc rozległe ciemnozielone powłoki. W obrazie mikroskopowym obserwowano glony: zielone i żółtozielone, jednokomórkowe, jednokomórkowe – pogrupowane po 3-6 komórek oraz glony zielone nitkowate. Opisywane organizmy należały do rodzajów *Pleurococcus* i *Chlorococcus*. W próbach pobranych do badania laboratoryjnego stwierdzono obecność 40 taksonów grzybów kosmopolitycznych, najczęściej wyosobnianych z pomieszczeń mieszkalnych i użyteczności publicznej. Praktycznie wszystkie wyłożone na podłoża mikrobiologiczne fragmenty ścian, niezależnie od miejsc pobrania próby, były zasiedlone przez grzyby.

Podczas badania nie zaobserwowano kompensacji (dominacji) któregoś z gatunków, co oznacza że proces rozwoju grzybów jest intensywny i daleki od równowagi. Ze ścian wyosobniono głównie grzyby z rodzajów: *Aspergillus*, *Penicillium* i *Trichoderma* oraz gatunki z rzędu *Mucorales*. W pomieszczeniach 1 i 2 zanotowano obecność *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus* i *A. versicolor*. W pomieszczeniu 3 rozwijały się głównie *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides* i *C. lobusom*. Grzyby te są częstą przyczyną alergii. Gatunki te, podobnie jak *Chaetomium lobusom*, mogą być chorobotwórcze dla człowieka. Wymienione grzyby mogą powodować choroby narządów wewnętrznych: płuc, nerek, wątroby.

Zarówno skład gatunkowy jak i liczebność grzybów świadczą o dawno rozpoczętym procesie rozwoju tych organizmów na powierzchni ścian. Podczas długotrwałego zawilgocenia budynku, zazwyczaj następuje ekspansywny wzrost gatunków najsilniej rosnących i najlepiej przystosowanych do istniejących warunków bytowych. O ponadnormalnej obecności wody na powierzchni i wewnątrz ścian badanych pomieszczeń, świadczy obecność higrofilnych grzybów z rzędu *Mucorales*: *Absidia*, *Rhizopus sp.* i *Mucor sp.*

Dodatkowo w badanym obiekcie stwierdzono rozwój grzyba domowego właściwego (*Serpula lacrymans*) – w deskach podłogowych (rys. 5, 6) oraz owada kołatka domowego (*Anobium punctatum*) – w deskach podłogowych w stolarni.

## 5. Przyczyny powstania uszkodzeń

Głównymi przyczynami bardzo dużego zawilgocenia ścian, stropów i słupów były przecieki wody opadowej przez stropodachy i świetliki, wskutek:

- nieszczelności pokrycia dachowego oraz obróbek blacharskich,
- ubytków rynien i rur spustowych,
- braku możliwości lub znacznego utrudnienia spływu wody opadowej z połaci dachowych (wyniku

yellow and green algae, single-celled, single-celled- grouped in 3-6 cells and green, filiform algae were observed. Described organisms belonged to *Pleurosoccus* and *Chlorococcus* species. In samples taken for laboratory examination, the presence of 40 taxons of cosmopolitan fungi, most often distinguished from dwelling and public places, were observed. Actually, all examined wall fragments, regardless of a sample place, were attacked by fungi.

During the examination no compensation (domination) of any kinds were observed, which means that the fungi growth is intensive and far from balance. There were mainly the following fungi distinguished: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* and *Mucorales*. In room no3 *Alternaria alternate*, *Cladosporium cladosporioides* and *C. lobusom* were mainly growing. These fungi quite often cause allergy. Similarly to *Chaetomium lobusom* these species can be pathogenic for a human being. The enumerated fungi can cause illnesses of inner organs such as lungs, kidneys and liver.

Both the species and the number of these fungi prove that the growth process of these organisms on walls started a long time ago. Usually, during the long term dampening of a building, there is a dramatic growth of the most expansive organisms and best adapted to the existing conditions.

The presence of hygrophile fungi – of *Mucorales* order: *Absidia*, *Rhizopus sp.* and *Mucor sp.* prove the existence of the excessive amount of water.

The growth of house fungi (*Serpula lacrymans*) in floor boards (fig. 5, 6) as well as wood borer (*Anobium punctatum*) in carpenter's shop of the examined building were found.

## 5. Reasons for damages

The main reasons for very high dampness of walls, ceilings and pillars were rain water leakages through flat roofs and skylights caused by:

- leakiness of roof covering and roof work,
- roof gutter and rain water pipe defects,
- lack of possibility or considerable impediment of rain water flow from the roof (as a result of highly complicated order of concrete walls sticking out of the roof).
- scratching and cracks of roof construction being the result of dilatation lack and thermal deformation,
- not enough number of rain water pipes and roof gutters,
- lack of survey of rain water pipes and the possibility to clean and maintain them,

- bardzo skomplikowanego układu ścianek betonowych wystających ponad połacie dachowe),
- zarysowań i pęknięć konstrukcji dachu powstałych wskutek braku dylatacji oraz odkształceń termicznych,
- zbyt małej ilości rur spustowych oraz rynien,
- braku tzw. „rewizji” rur spustowych, umożliwiających ich czyszczenie i konserwację,
- zastosowaniu rynien i rur spustowych o zbyt małych średnicach,
- przecieków wody opadowej przez uszkodzone szyby, łączenia tafli szklanych oraz styki szyb z kształtownikami metalowymi w świetlikach dachowych,
- braku izolacji termicznych w stropodachach i kopułach żelbetowych.

Innymi przyczynami, ale o mniejszym znaczeniu, bardzo dużej wilgotności masowej ścian były:

- podciąganie kapilarne wody gruntowej,
- tzw. „woda rozbryzgowa” zawilgacająca cokoły murów,
- brak skutecznej wentylacji pomieszczeń,
- para wodna wykraplająca się na powierzchniach i wewnątrz ścian,
- roślinność rosnąca nieopodal budynku (w szczególności winobluszcz pokrywający część elewacji północnej i wschodniej); roślinność ta powoduje znaczne zawilgocenie oraz utrudnia wysychanie ścian (odparowywanie wilgoci),
- roślinność wysoka (samosiejki) rosnąca przy budynku powodująca: zaciemnienie ścian, zatykanie rynien i rur spustowych oraz uszkodzenia konstrukcji budynków.

## 6. Podsumowanie

Zagadnienia, które opisano w referacie, w niewielkim tylko stopniu ukazują szeroką gamę problemów cieplno-wilgotnościowych występujących w obiektach zabytkowych, które należy uwzględnić przy projektowaniu i wykonywaniu ich remontów. Przed przystąpieniem do zaprojektowania i wykonanie remontu obiektu zabytkowego należy przeprowadzić między innymi bardzo dokładne badania mikrobiologiczne, badania wilgotności, rodzaju i stężenia soli w murach, badania własności cieplnych przegród zewnętrznych, w celu jednoznacznego określenia przyczyn powstania występujących uszkodzeń. Opisane zagadnienia są ze sobą ściśle powiązane w związkach przyczynowo-skutkowych. Na przykład zasolenie i zawilgocenie murów są cechami ściśle sprzężonymi ze sobą, wzajemnie na siebie wpływającymi.

Problemy cieplno-wilgotnościowe występujące w obiektach zabytkowych są również ważne jak za-

- use of rain water pipes and roof gutters of too small diameter,
- leakage of rain water through damaged panes, glass panels and metal section joints in skylights,
- lack of thermal insulation in flat roof and reinforced concrete domes.

Other reasons, of less importance, for very intensive mass wall dampness were:

- capillary pulling up of underground water,
- the so-called “plash water” damping wall pedestals,
- lack of effective room ventilation,
- steam water condensing on surfaces and inside walls,
- plants growing in the neighbourhood of the building (especially grape-vine covering part of the northern and eastern façade; these plants cause considerable dampness and makes drying of walls difficult (dampness evaporating),
- high plants (self-sown plants) growing in the neighbourhood of the building causing wall blackout, clogging of roof gutters and rain water pipes and damages of building constructions.

## 6. Summary

Issues described in this paper introduce only some thermal-damp problems occurring in buildings of historical value that should be taken into account while designing and carrying out their renovation. Before designing and renovation of a given building of historical value, very detailed microbiological, dampness, kinds and salt concentration in walls, thermal properties of outer barriers examinations should be carried out in order to define explicitly the reasons for the occurrence of damages. The described issues are strongly connected with one another in the cause-effect bonds. For example, salinity and dampness of walls are strongly interconnected, influencing each other.

Thermal-damp issues occurring in buildings of historical value are as important as construction ones. Underestimation of these issues often results in the growth of mildew and house fungi that are extremely dangerous for human health.

It should also be remembered that all works connected with carrying out of the designed renovation of a building of historical value ought to be made thoroughly by the experienced companies in these fields under the supervision of a suitably qualified site manager and the control of an experienced supervisor and maintenance technicians.



gadnienia konstrukcyjne. Niedoceniając tych problemów często prowadzi do rozwoju grzybów pleśniowych i grzybów domowych, które są bardzo szkodliwe dla naszego zdrowia.

Należy również pamiętać, że wszystkie prace związane z wykonaniem projektowanego remontu obiektu zabytkowego powinny być wykonane wyjątkowo starannie, przez firmy mającą duże doświadczenie w prowadzeniu takich robót, pod kierunkiem mającego odpowiednie kwalifikacje kierownika budowy i pod kontrolą doświadczonego inspektora nadzoru i służb konserwatorskich.

## Literatura • References

- [1] Inwentaryzacja architektoniczna Pawilonu 4 Kopuła, opracowana przez Autorską Pracownię Projektową R. & L. Konarzewscy S.C. w 1998 r.
- [2] Ilkosz, J., *Hala Stulecia i tereny Wystawowe we Wrocławiu – dzieło Maksy Berga*, Wrocław 2005.
- [3] strona internetowa [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
- [4] Matkowski K., *Wyniki badań mikologicznych w wybranych pomieszczeniach Pawilonu 4 Kopuła w Wytwórni Filmów Fabularnych we Wrocławiu*, Wrocław 2008.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska  
Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland

---

## Streszczenie

W artykule przedstawiono uszkodzenia spowodowane przyczynami ciepłno-wilgotnościowymi w Pawilonie Czterech Kopuła wzniesionym na początku XX wieku we Wrocławiu. Przedstawiono wyniki badań wilgotności, rodzaju i stężenia soli w ścianach oraz zidentyfikowano mikroorganizmy występujące w obiekcie. Dokonano analizy przyczyn powstania uszkodzeń związanych z zagadnieniami ciepłno-wilgotnościowymi. Opisane zagadnienia powinny być uwzględnione w czasie opracowywania projektów remontów obiektów zabytkowych.

## Abstract

In the paper damages caused by thermal-damp reasons in Four Domes Pavilion erected at the beginning of 20<sup>th</sup> century in Wrocław, are presented. The results and the procedures concerning the examinations of wall dampness, kinds and salt concentration are described and microorganisms occurring in the described building are identified. The reasons for building damages are defined and in the summary the importance of thermal-damp issues is highlighted. They should be thoroughly analyzed while renovation designs of buildings of historical value are being worked out.

Bronisław Gosowski\*, Maciej Gosowski\*\*, Tomasz Kasprzak\*

## Odbudowa po katastrofie sufitu sali gimnastycznej zabytkowej szkoły poddanej termomodernizacji

### Reconstruction of the ceiling of a gymnasium at the historic school after the catastrophic failure during thermal efficiency improvement

#### 1. Wprowadzenie

Ochrona środowiska, a przede wszystkim rosnące koszty energii, wymuszają konieczność termomodernizacji wielu obiektów zabytkowych. Przygotowując dokumentację związaną z termomodernizacją zapomina się często o istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwo użytkowników problemach statyczno-wytrzymałościowych modernizowanych obiektów, wychodząc z założenia, że poprawa izolacyjności termicznej ścian i dachów za pomocą styropianu lub wełny mineralnej nie wpłynie znacząco na zwiększenie obciążenia elementów konstrukcyjnych. Zapomina się niestety przy tym, że w przypadku obiektów zabytkowych nie można pominąć znacznego zazwyczaj czasu eksploatacji obiektów, a co za tym idzie, jego wpływu jako czynnika destrukcyjnego dla konstrukcji, a ponadto o dokonanych w międzyczasie zmianach przepisów normowych dotyczących obciążeń i zasad wymiarowania konstrukcji budowlanych. Uwzględnienie tych wszystkich elementów, co podnosi niestety zarówno koszt, jak i czas przygotowania dokumentacji, gwarantuje wykonanie termomodernizacji bez niespodzianek na etapie realizacji.

W pracy przedstawiono przykład zabytkowej szkoły, w której na etapie przygotowania dokumentacji związanej z termomodernizacją, nie przeprowadzono oceny stanu technicznego konstrukcji stalowej przekrycia jednego z jej skrzydeł, w którym na najwyższej kondygnacji zlokalizowana jest

#### 1. Introduction

Protection of the environment, and first of all growing costs of energy, extort the necessity to carry out thermal modernization of many antique objects. When preparing the documentation connected with thermal modernization one may often forget what the users consider as essential, the existence of static – strength problems of modernized objects, starting from an assumption that the improvement of thermal insulation of walls and roofs using styropore or mineral wool will not significantly influence on the increase in the load of constructional elements. One often forgets, unfortunately, that in the case of antique objects what must not be ignored is usually considerable time of exploitation of the object, and what follows, its influence as a destructive factor on the construction, and moreover that meanwhile there had been accomplished changes of normative regulations concerning loads and principles of dimensioning of building constructions. Taking into consideration all these elements guarantees accomplishing the thermal modernization without any surprises at the stage of realization, but unfortunately increases both the cost and the time of preparation of documentation.

The example presented in the study was an antique school building, wherein at the stage of preparation of documentation connected with thermal modernization it was neglected to carry out the assessment of technical condition of the steel construction of roofing at one of the wings of the building,

sala gimnastyczna. Uznano bowiem, bez szczegółowego analizowania konstrukcji sufitu sali, że będzie on w stanie bezpiecznie przenieść obciążenie od ocieplenia w postaci kilkunastocentymetrowej warstwy miękkiej wełny mineralnej. W trakcie prowadzenia robót związanych z termomodernizacją skrzydła nastąpiła katastrofa sufitu, polegająca na jego całkowitym zawaleniu. Konsekwencją było m.in. kilkunastomiesięczne opóźnienie w zakończeniu prac termomodernizacyjnych. Niezbędne bowiem było: wyjaśnienie przyczyn zaistniałej katastrofy, przeprowadzenie oceny możliwości wykonania nowego sufitu z wykorzystaniem istniejącej konstrukcji stalowej przekrycia, opracowanie projektu sufitu, uzyskanie stosownych zezwoleń i jego wykonanie.

## 2. Dotychczasowy sufit, katastrofa i jej przyczyny

Przedmiotowa sala gimnastyczna, której wymiary w świetle ścian wewnętrznych wynoszą ok. 12,4×23,8 m, znajduje się na trzeciej kondygnacji prawego skrzydła budynku szkoły (rys. 1). Dach nad salą gimnastyczną jest w zasadzie czterospadowy, o spadkach połączy wynoszących 45°. Konstrukcję nośną dachu nad salą gimnastyczną wykonano z płaskich wiązarów stalowych, o pasach dolnych w kształcie linii wznoszącej, załamanej w węzłach, opartych na ścianach podłużnych budynku. Rozpiętość wiązarów w osiach podpór wynosi ok. 13,1 m. Przekrycie zrealizowano przy tym w części środkowej z czterech wiązarów trójkątnych (typu Polanceau), w rozstawie co 4,7 m (rys. 2a), oraz skrajnych wiązarów trapezowych, umieszczonych w odległości ok. 2,60 m od trójkątnych (por. rys. 2b, c). Wiązary trójkątne są połączone stężeniami połączymi poprzecznymi, wykonanymi z kątowników i płaskowników, na przemian w pasach górnych i dolnych. W węzłach pasów górnych wiązarów oparto płatwie z dwuteowników 200 o półkach górnych wzmocnionych ceownikami 120. Płatwie kalenicowe w polach między wiązarami trójkątnymi i trapezowymi wykonano natomiast z dwuteowników 180. Wiązary trójkątne poniżej pasów dolnych (por. rys. 2a), zostały połączone pojedynczymi ceownikami 100.

Na omówionej konstrukcji stalowej przekrycia wspiera się drewniana więźba dachowa w postaci krokwi o wymiarach 12×14 cm w rozstawie co ok. 93-95 cm. Nad ryzalitami i przybudówką (por. rys. 1), dokąd nie sięga konstrukcja stalowa prze-

in which on the highest storey there was situated a gymnastic hall. It was assumed, without any detailed analyzing the construction of the hall ceiling, that it will be able to transfer safely the load coming from thermal insulation in the form of a dozen or so centimeters thick layer of soft mineral wool. The catastrophe which consisted in total collapsing of the ceiling happened when the works connected with the thermal modernization of the wing were being carried out. As the result, amongst other, the works got slowed down, up to over a year-long delay in completion of the thermal modernization works. In such a predicament it was indispensable to carry out the following activities: explanation of the causes of the catastrophe, making assessment of the possibility of realization of a new ceiling with utilization of the existing steel construction of roofing, working out the design for a new ceiling, acquiring the necessary permissions and the realization itself.

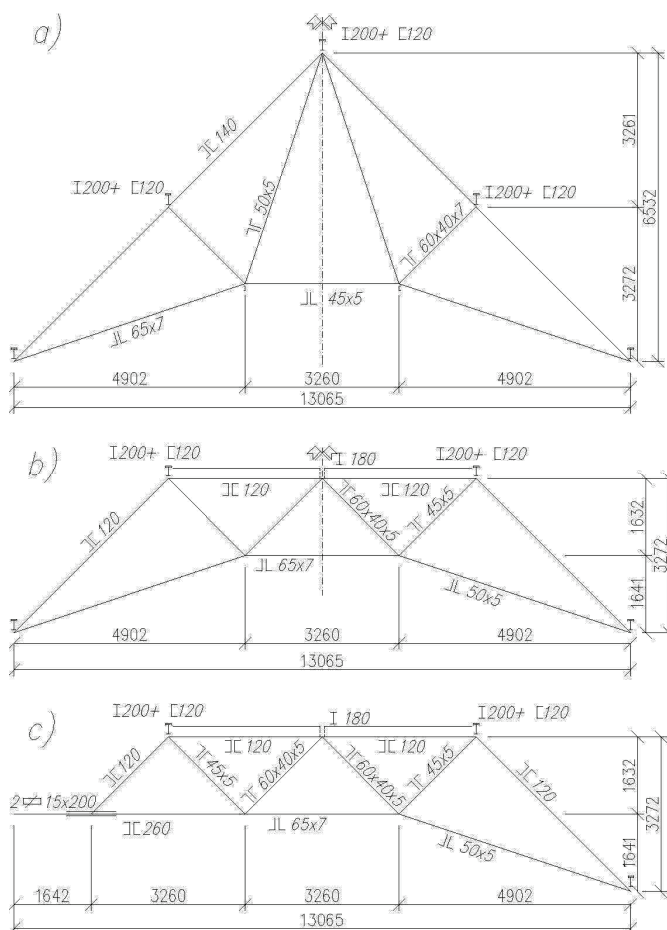
## 2. Hitherto existing ceiling, the catastrophe and causes thereof

The gymnastic hall, being the object of the study, is situated on the third storey of the right wing of the school building (fig. 1); the inner dimensions of the hall are: approx. 12.4×23.8 m. The roof over the gym is basically with four-slopes, with inclination of its surfaces equal 45°. The bearing construction of the roof over the gym was made from flat steel roof trusses, whose bottom chords were in the shape of a rising up line, cornered in the nodes, resting on the longitudinal walls of the building. The span of the roof trusses in the axes of supporting was approximately 13.1 m. The roofing was realized in its central part from four triangular roof trusses (of Polanceau type), with the spacing at each 4.7 m (fig. 2a), and from external trapezoid roof trusses, set at the distance approx. 2.60 m from the triangular ones (cf. fig. 2b, c). The triangular roof trusses are linked with roof slope sway braces, made from angle sections and flat bars, alternately in the upper and the bottom chords. The purlins made from I-sections 200 with upper flange strengthened with U-sections 120 were supported in the nodes of the upper chords of the roof trusses. The roof ridge purlins in the fields between the triangular and the trapezoidal roof trusses were made from I-sections 180. The triangular roof trusses below the bottom chords (cf. fig. 2a), were linked with single U-sections 100.

The described above steel construction of the roofing makes the base for wooden roof rafter framing in the form of rafters of dimensions 12×14 cm in cross section set at every approx. 93-95 cm. Over the risalits and the annex (cf. fig. 1), where the steel



Rys. 1. Widok prawego skrzydła budynku szkoły  
Fig. 1. View of the right wing of the school building



Rys. 2. Stalowe więzary przekrycia sali gimnastycznej:  
a) trójkątny, b) trapezowy, c) trapezowy z wymianem [mm]

Fig. 2. Steel trusses of the gymnasium's roofing:  
a) triangular, b) trapezoidal, c) trapezoidal with a trimmer beam [mm]

krycia, drewniana więźba dachowa wykonana jest jako samonośna. Do krokwi przybite są co ok. 26 cm drewnianełaty o wymiarach 3,5×5,0 cm, na których ułożona jest podwójnie ceramiczna dachówka karpiówka, stanowiąca pokrycie dachu.

Dotychczasowy sufit, w odróżnieniu od konstrukcji stalowej przekrycia pochodzącej z lat dwudziestych ubiegłego wieku, został wykonany przypuszczalnie po II wojnie światowej. Wykonano go z zaprawy cementowo-wapiennej o grubości 3,5-4,5 cm na siatce metalowej połączonej z krzyżującymi się stalowymi prętami: podłużnymi  $\phi 8-10$  mm w rozstawie 20-30 cm i poprzecznymi  $\phi 6$  mm co 18-35 cm. Siatka prętów stalowych została podwieszona do konstrukcji stalowej przekrycia sali gimnastycznej na wieszakach ze stalowego drutu  $\phi 3,5-6$  mm. Sufit o omówionej konstrukcji, wymagał na etapie wykonywania dodatkowej konstrukcji wsporczej, umożliwiającej zrealizowanie dość gęstego podwieszenia. Konstrukcję tę stanowiły rozmieszczone na obwodzie pochyłe belki stalowe wykonane z szyn kolejki wąskotorowej. Inaczej było to rozwiązane w środkowej, poziomej części sufitu, gdzie dodatkową konstrukcję stanowiły drewniane belki ułożone na ceownikach 100.

construction of the roofing does not reach, the wooden roof rafter framing is made as self-supporting. At the spacing of 26 cm wooden roof battens of dimensions 3.5 × 5.0 cm are nailed to the rafters, and thereon a double layer ceramic plain tile is laid, to make up the covering of the roof.

The hitherto existing ceiling, in distinction from the steel construction of roofing originated from the twentieth of the XX century, was presumably made after WWII. It was made from cement-lime mortar of about 3.5-4.5 cm in thickness put on metal mesh joined to intersecting steel rods: longitudinal  $\phi 8-10$  mm at the spacing of 20-30 cm and transverse  $\phi 6$  mm at every 18-35 cm. The mesh of steel rods was hung under to the construction of steel roofing of the gymnastic hall with suspension members made from steel wire  $\phi 3.5-6$  mm. The ceiling of the described above construction required at the stage of making thereof some additional supporting structure, to enable realizing of such a quite thick suspended element. That structure consisted of peripheral sloping steel beams made from the rails for a narrow-gauged railway. In the central, horizontal part of the ceiling it was realized otherwise; there the additional construction was made from wooden beams laid on U-sections 100.

Belki pochyłe (szyny) zostały oparte od strony zewnętrznej na ścianach sali, a od środka na ruszcie z ceowników 100, łączących węzły w pasach dolnych wiązarów trójkątnych. Jeżeli sposób oparcia szyn na ścianach nie budził większych zastrzeżeń, ze względu na omurowanie, to oparcie szyn stopkami na ceownikach wykonano prowizorycznie, z zastosowaniem w najlepszym przypadku drutu łączącego, mogło budzić uzasadnione wątpliwości, co do skuteczności podparcia ze względu na zwichrzenie. Należy zaznaczyć, że szyny w kilku miejscach były ustawione na ceownikach bez jakiegokolwiek połączenia. Zastrzeżenia wzbudza ponadto bezpośrednie oparcie szyn na pasach dolnych wiązarów trójkątnych, od strony wejścia do sali, oraz na pasach dolnych wiązarów trapezowych, na drugim końcu sali. W efekcie pręty wiązarów przystosowane do przenoszenia sił podłużnych były poddane dodatkowemu zginaniu. Podobne zastrzeżenia dotyczą również wyboru miejsca podwieszenia sufitu. Obok poprawnych podwieszeń do szyn i drewnianych belek, zrealizowano je także, co nie powinno mieć miejsca, do niektórych dolnych pasów wiązarów.

Sufit po wykonaniu (na deskowaniu) i związaniu zaprawy cementowo-wapiennej, ze względu na swój kształt stanowił układ tarczownicowy, w którym obciążenie od ciężaru własnego mogło być nawet w całości przekazywane bezpośrednio na ściany sali gimnastycznej. Warunkiem tego był nienaruszony stan układu tarczownicowego. Od dołu sufit pokryty był wyprawą z gipsu, który w miejscach załamania płaszczyzn i przy ścianach przechodził w sztukaterie, o grubości nawet do 8 cm. Widok omawianego sufitu od strony wejścia do sali, w stanie przed awarią budowlaną, pokazano na rys. 3.

Awaria (katastrofa) sufitu nastąpiła we wrześniu ubiegłego roku podczas prac remontowych na dachu, prowadzonych w ramach szerszego zadania związanego z termomodernizacją budynku szkoły. W chwili awarii na około połowie dachu nie było pokrycia dachowego (dachówek) i drewnianych łat (por. rys. 1), które miały być wymienione na nowe.

Katastrofa omówionego sufitu polegała na ścięciu jego połączenia ze ścianami sali gimnastycznej na całym obwodzie, zerwaniu połączeń ze stalową konstrukcją nośną na prawie całej powierzchni, w konsekwencji czego fragmenty sufitu spadły na podłogę sali gimnastycznej. Jedyne w części środkowej sali sufit, na niedużej powierzchni, pozostał na swoim miejscu, utrzymując

Sloping beams (rails) were supported from the external side on the walls of the hall, and from the centre on the grillage of U-sections 100, joining the nodes in the bottom chords of the triangular roof trusses. Although the way of supporting the rails on the walls was not to be objected to, due to brick wall construction, the supporting of the rails by seating the rail flanges on the U-sections was a make-do construction, with the use, in the best case, linking with a length of wire, which could raise well-founded objections, as to the effectiveness of the supporting, because of skewing. It should be noticed that the rails were in several points put on the U-sections without any connection. Direct supporting of the rails on the bottom chords of triangular roof trusses, from the side of the entrance to the hall, and on the bottom chords of trapezoidal roof trusses, from the other end of the hall, makes another point of objection. As the result the rods of roof trusses which were adapted to carry over the longitudinal forces underwent additional bending. Similar objections relate also to the choice of the place of suspending the ceiling. Although there were some pieces of correct suspending to the rails and the timber beams, some were, however, also fixed to some bottom chords of roof trusses, which should not have taken place at all.

The ceiling after being made (on the planking) and after setting the cement-lime mortar, due to its shape formed a folded plate structure, in which the load by its own weight could even be entirely passed on directly on the walls of the gym. The condition for that was to keep intact state of the folded plate arrangement. From the bottom side the ceiling was covered with plaster, which in the points of corners between planes and at the walls was adorned with stuccowork, of the thickness up to 8 cm. The view of the described ceiling from the side of the entrance to the hall, in the state before the building catastrophe has been shown in fig. 3.

The collapse (catastrophe) of the ceiling happened in last year's September, during repair works on the roof, carried out within a broader task connected with thermal modernization of the school building. At the moment of collapse there was no roof covering (tiles) and wooden roof battens on about a half of the roof surface (cf. fig. 1), which were to be replaced with new ones.

The catastrophe of the above mentioned ceiling consisted in shearing off the connection of the ceiling with the walls of the gym around the whole perimeter, breaking the connections with the bearing steel construction on almost the whole surface, in the consequence of which fragments of the ceiling fell on the floor of the gym. The ceiling remained in its place only on a small surface in the central part of the hall,



Rys. 3. Widok sufitu sali gimnastycznej przed katastrofą  
Fig. 3. View of the gymnasium's ceiling before the catastrophe



Rys. 4. Widok sufitu sali gimnastycznej po katastrofie  
Fig. 4. View of the gymnasium's ceiling after the catastrophe

dzięki siatce z prętów jego spore płyty. Stan ten zilustrowano na rys. 4.

Awaria (katastrofa) sufitu została zapoczątkowana przypuszczalnie zwichrzeniem jednej z szyn w efekcie czego złamała się deska, po której przechodzili robotnicy zdejmujący dachówki, które trzeba było przenosić do rynny zsypowej. Spadająca z ceownika szyna musiała znacznie uszkodzić sufit, w tym jego połączenie ze ścianą. W ten sposób naruszony został stan równowagi układu tarczownicowego sufitu. Nie można wykluczyć, że sufit był już wcześniej nadwyrężony przez spadające dachówki, w trakcie ich nieostrożnego zdejmowania. W ten sposób rozpoczęła się destrukcja sufitu, której dalszy przebieg miał charakter lawinowy. Sytuacja, w której szyny uległy zwichrzeniu nie była jednostkowa. Stwierdzono ponadto, że na suficie znajdowały się dachówki różnego pochodzenia (z wcześniejszych remontów, aktualnie demontowane, nowe). Dzięki szczęśliwemu zbiegowi okoliczności katastrofa sufitu nie pociągnęła za sobą ofiar w ludziach, ani nie spowodowała większych uszkodzeń konstrukcji stalowej przekrycia sali.

Wyniki szczegółowych analiz mających na celu m.in.: identyfikację materiałową i konstrukcyjną przekrycia, ustalenie przyczyny katastrofy sufitu, a także możliwości jego odbudowania z wykorzystaniem istniejącej konstrukcji stalowej przekrycia, zostały przedstawione w raporcie [1].

keeping large pieces thereof supported on the mesh of rods. This state has been illustrated in fig. 4.

The collapse (catastrophe) of the ceiling was presumably begun by one of rails going askew, which resulted in breaking a board used for walking by the workers who had been taking off the roof tiles, which were to be carried to the chute. The rail falling down from the U-section must have considerably damaged the ceiling, in this its connection with the wall. This is why the condition of the equilibrium of the folded plate arrangement of the ceiling got thrown out of balance. One can not exclude that the ceiling had already earlier been strained by falling down tiles, in the course of their careless removal. This is how destruction of the ceiling began, which further on had the avalanche character. The situation in which the rails went askew was not isolated one. Moreover, it was found out that there were tiles of various origin on the ceiling (coming from earlier repairs, disassembled at present, new ones). Luckily, the catastrophe of the ceiling did not involved any victims in people, neither did it cause any larger damages of the steel construction of roofing of the hall.

The results of detailed analyses have been presented in the report [1]. They were carried out in order to, amongst other: make material and constructional identification of the roofing, find out the cause of the catastrophe of the ceiling, and also assess the possibilities of reconstruction thereof with utilization of the existing steel construction of the roofing.

### 3. Nowy sufit o lekkiej konstrukcji stalowej

Analizy statyczno-wytrzymałościowe konstrukcji stalowej przekrycia sali gimnastycznej wykazały, że istnieje możliwość odbudowania sufitu sali gimnastycznej. W rachubę wchodziło indywidualne rozwiązanie sufitu o niewielkiej ciężarze, który można podwiesić do istniejącej konstrukcji stalowej przekrycia, po jej remoncie, rekonstrukcji i niewielkim wzmocnieniu. To ostatnie wynika głównie ze zmian w normach, a mianowicie: zwiększenia obciążenia śniegiem oraz w wymiarowaniu prętów wielogłęziowych [3].

Kratownicowa konstrukcja przekrycia sali gimnastycznej została wykonana jako nitowana, ze stykami montażowymi na śruby, w latach dwudziestych XX wieku ze stali o nieznanym gatunku. Parametry wytrzymałościowe stali ustalono na podstawie nieniszczących badań twardości, przeprowadzonych na obiekcie [2]. Stosowano przy tym przenośny twardościomierz Brinella typu PZ-3 firmy Zwick. Wyniki tych badań, uzupełnione badaniami chemicznymi na niewielkich próbkach pobranych z konstrukcji, pozwoliły na zakwalifikowanie stali do gatunku St0 (S185), dla której wytrzymałość obliczeniowa wynosi  $f_d = 175$  MPa [3]. Założono ponadto, że względu na brak możliwości przeprowadzenia badań spawalności (np. twardości i udarności strefy wpływu ciepła), że stal jest niespawalna, mimo iż równowaznik węgla  $C_e$  [4] był zdecydowanie mniejszy od wartości granicznej 0,42.

Bazując na wynikach raportu [1], autorzy artykułu opracowali kolejno następujące projekty branży konstrukcyjnej dla dachu sali gimnastycznej: wykonawczy stężenia konstrukcji stalowej i prac remontowych, budowlany i wykonawczy sufitu podwieszonego oraz wzmocnienia konstrukcji stalowej. Należy zaznaczyć, że projekt budowlany sufitu wymagał uzyskania odrębnego pozwolenia na budowę. Niżej omówiono w skrócie zakres dokonanych wzmocnień oraz ideę sufitu podwieszonego, a także problemy z jakimi należało się zmierzyć na etapie jego wykonania.

Wzmocnienia konstrukcji stalowej dachu obejmowały: wybrane wiązary (dwa trójkątne i trapezowy z wymianem), płatwie pośrednie (w polach między wiązarami trójkątnymi) oraz płatwie koszowe.

Wzmocnienie prętów wiązarów polegało na wykonaniu dodatkowych przewiązek w pasach górnych z ceowników, poniżej podparcia na nich płatwi pośrednich, w dwóch środkowych wiązarach trójkątnych, a także w wiązarze trapezowym

### 3. The new ceiling of light steel construction

The static-strength analysis of the steel construction of the roofing of the gym showed that there exists a possibility of reconstruction of the ceiling of the gym. There exists an individual solution of the ceiling in the form of low-weight ceiling which could be suspended under the existing steel construction of the roofing after repair, reconstruction and small strengthening thereof. The latest results mainly from the changes in the standards, namely: enlargement of the snow load and in the dimensioning of multi-branched rods [3].

The truss construction of the roofing of the gym was made as riveted, with assembly points fixed with bolts, in the twentieths of XX century, using steel of unknown grade. The strength parameters of the steel were established on the basis of the non destructive testing of hardness, carried out on the object [2]. The applied tool was mobile Brinell hardness tester of PZ-3 type, made by Zwick. The results of these tests, completed with chemical investigations on small samples taken from the construction, allowed to classify the steel as grade St0 (S185) for whose computational strength is  $f_d = 175$  MPa [3]. Moreover, due to lack of possibility of execution of weldability testing (e.g. hardness and impact strength of the zone of heat influence), it was assumed that the steel cannot be welded, although the carbon equivalent  $C_e$  [4] was decidedly lower than boundary level 0.42.

Basing on the results of the report [1], the authors of the article worked out in turn the following designs of the constructional branch for the roof of the gym: the executive design for bracing of the steel construction and repair works, the constructional and executive design for the suspended ceiling and the design for strengthening of the steel construction. It should be pointed out that the constructional design of the ceiling required acquiring a separate permission to build. Below the scope of accomplished strengthening and the idea of the suspended ceiling, and also the problems to face at the stage of their realization have been briefly discussed.

Strengthening of the steel construction of the roof included: some chosen roof trusses (two triangular and the trapezoidal one with a trimmer beam), intermediate purlins (in the fields between the triangular roof trusses) and basket purlins.

Strengthening of the rods of roof trusses consisted in making additional batten plates in the upper chords of U-sections, below supporting on them intermediate purlins, in two central triangular roof trusses, and also in the trapezoidal roof truss with

z wymianem. Dodatkowe przewiązki z blach o grubości odpowiednio 40 lub 30 mm, zostały połączone z prętami wiązarów 4. śrubami M12 kl. 5.6. W omawianych wiązarach podobnego wzmocnienia wymagały słupki dochodzące do węzłów pasów górnych, w których oparte są płatwie pośrednie. W tym przypadku dodatkowe przewiązki wykonano z blach o grubości 10 mm i połączono z kątownikami na 2. śruby M10 kl. 5.6.

Płatwie pośrednie o rozpiętości 4,7 m, oparte na wiązarach trójkątnych, musiały być wzmocnione głównie ze względu na większe obciążenie dachu śniegiem. Wzmocnienie to zrealizowano za pomocą płaskowników 120×10 mm, które przymocowano do pasów dolnych za pomocą śrub M10 kl. 5.6, w odpowiednim rozstawie na długości.

Wzmocnienia wymagały również dwie płatwie koszowe, które oparte są w węzłach pasa górnego wiazara trapezowego z wymianem. Wzmocnienie w tym przypadku wykonano za pomocą dwóch płaskowników 120×8 mm, które przymocowano symetrycznie z obu stron do środników dwuteowników 180, odpowiednio rozmieszczonymi na długości śrubami M10 kl. 5.6.

Konstrukcja nośna sufitu została wykonana ze stalowych rur kwadratowych 80×80×4 mm, stanowiących żebra poprzeczne (złożone z trzech elementów wysyłkowych, połączonych na śruby, które rozmieszczono wzdłuż sali co około 1,2 m. Żebra te zostały podwieszono poniżej pasów dolnych wiązarów, przy czym w części środkowej podwieszenie zrealizowano do odpowiednio wzmocnionego ceownikami 120 istniejącego rusztu z ceowników 100. Elementy boczne żebier poprzecznych zostały dodatkowo, między rusztem z ceowników 100 i ścianami podłużnymi sali, połączone z biegnącymi wzdłuż sali podłużnymi podciągami z rur kwadratowych 120×120×5 mm, podwieszonymi na płaskownikach 120×8 mm do węzłów pasów górnych wiązarów, w których podparte są płatwie pośrednie. Podparcie żebier poprzecznych na ścianach podłużnych sali gimnastycznej wykonano jako przegubowo przesuwne, na kątownikach 150×100×10 mm przymocowanych do ścian wklejanymi kotwami z prętów M12×260 mm, kl. 5.6, wklejanymi na głębokość 210 mm w rozstawie co ok. 60 cm. Na rys. 5 pokazano przekrój poprzeczny omawianego sufitu podwieszono.

Sufit od strony ścian poprzecznych sali gimnastycznej zamykają cztery żebra koszowe (ukośne) z rur 80×80×4 mm, podparte podobnie jak żebra poprzeczne. Konstrukcję nośną sufitu od strony ścian poprzecznych sali stanowią jednoprzęsłowe żebra: poprzeczne oraz podłużne, podparte odpo-

a trimmer beam. Additional batten plates made from steel sheet of thickness correspondingly 40 or 30 mm, were fixed with the rods of the roof trusses with 4 bolts M12 cl. 5.6. Similar strengthening was required for the posts coming up to the nodes of the upper chords, in which intermediate purlins are seated. In this case additional batten plates were made from steel sheet of 10 mm in thickness, and were fixed with angle sections with 2 bolts M10 cl. 5.6.

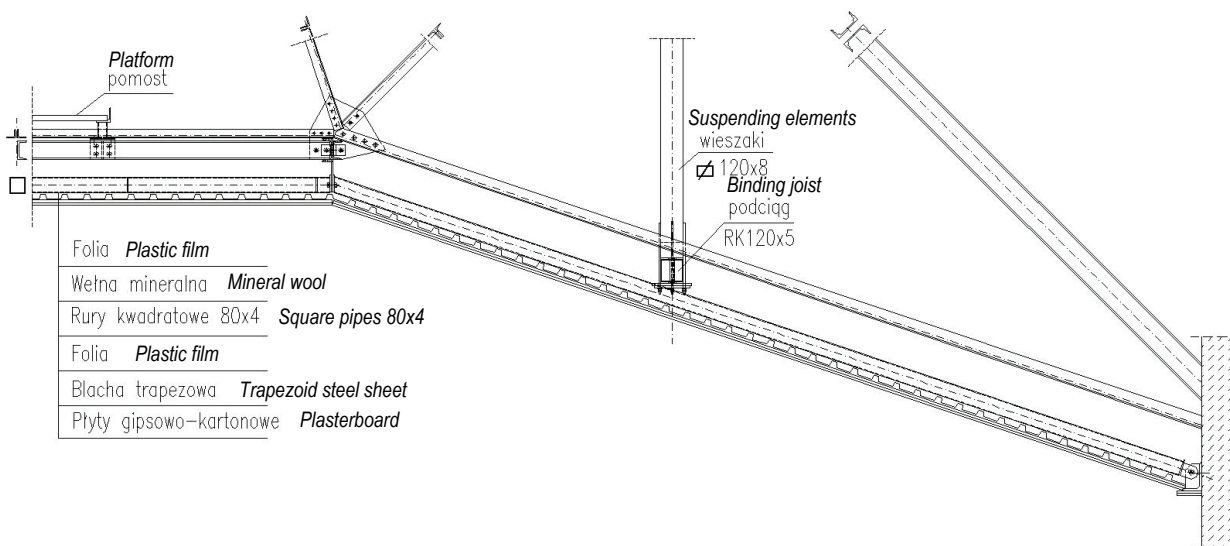
Intermediate purlins of 4.7 m in span, resting on triangular roof trusses, had to be strengthened mainly because of higher load of the roof with snow. This strengthening was realized using flat bars 120 × 10 mm, which were fastened to the bottom chords using bolts M10 cl. 5.6, at a suitable spacing over the length.

Strengthening was also required for two basket purlins which are supported in the nodes of the upper chord of trapezoidal truss with trimmer beam. In that case strengthening was made with the help of two flat bars 120×8 mm, which were fastened symmetrically on both sides to the webs of I-sections 180 with bolts M10 cl. 5.6 suitably set along the length.

The bearing construction of the ceiling was made from steel square pipes 80×80×4 mm, making up transverse ribs (consisting of three spreading elements, fixed with bolts), which were set along the hall at about every 1.2 m. These ribs became suspended under the lower chords of the roof trusses, whereas in the central part the suspension was fixed to the existing grillage of U-sections 100 suitably strengthened with U-sections 120. The side elements of the ribs became additionally linked, between the U-sections 100 grillage and the longitudinal walls of the hall, to the longitudinal binding joists running along the hall, made from square pipes 120×120×5 mm, hung on flat bars 120×8 mm under the nodes of the upper chords of the roof trusses in which the intermediate purlins are supported. The supporting of transverse ribs on the longitudinal walls of the gym was made with sliding joints, on angle sections 150×100×10 mm fastened to the walls with wall anchors made from rods M12×260 mm, cl. 5.6, inserted to the depth 210 mm, set at approx. every 60 cm. Fig. 5 shows the transverse cross-section of the discussed suspended ceiling.

The ceiling from the side of the transverse walls of the gym is closed with four basket ribs (slant) made from pipes 80×80×4 mm, supported similarly as the transverse ribs. The bearing construction of the ceiling from the side of transverse walls of the hall is made up from single-span ribs: transverse





Rys. 5. Przekrój poprzeczny nowego sufitu podwieszonego, [mm]  
 Fig. 5. Cross-section of the a new suspended ceiling, [mm]

wiednio na żebrach poprzecznych lub koszowych i ścianach poprzecznych.

Wszystkie nowe elementy konstrukcyjne wykonano ze stali gatunku St3S (S235). Tylko nagwintowane na końcach pręty o średnicy 10 mm, przyspawane do wieszaków z płaskowników 120×8 mm, umożliwiające połączenie ich z podciągami z rur 120×120×5 mm, zostały wykonane ze stali 18G2 (S355). Połączenia warsztatowe w nowych elementach wykonano jako spawane, w odróżnieniu od połączeń montażowych, które zaprojektowano na śruby. Połączenia natomiast elementów nowych z konstrukcją istniejącą wykonywano na śruby. W większości przypadków zalecane było wiercenie otworów na śruby podczas montażu.

Nad sufitem zaprojektowano pomost technologiczny o szerokości ok. 800 mm, umożliwiający przeprowadzanie okresowych przeglądów konstrukcji dachu. Tworzą go ramki wykonane z kątowników, które za pośrednictwem słupków z rur kwadratowych zostały oparte na ceownikach 100 (istniejącego rusztu oraz nowo zamontowanych). Słupki pomostu połączone z ceownikami na śruby M12. W przypadku ceowników 100 istniejącego rusztu konieczne było uprzednie przymocowanie do nich, na śruby M10, elementów wspornikowych. Ramki pomostu wypełniono ocynkowanymi kratkami pomostowymi typu Wema.

Konstrukcja nośna sufitu podwieszonego z rur kwadratowych została obudowana od strony wewnętrznej sali gimnastycznej ocynkowaną blachą trapezową, o wysokości fałdy ok. 40 mm, układaną co najmniej jako trzyprzęsłowa. Przymocowanie blach trapezowych do rur 80×80×4 mm przewiduje się od dołu, na wkręty samowierzące [4], po jednym wkręcie w każdej fałdzie. Blachy

and longitudinal, supported suitably on the transverse ribs or the basket ribs and the transverse walls.

All new constructional elements have been made from steel St3S (S235). Only rods threaded on ends, of 10 mm in diameter, welded to the suspension members made from flat bars 120×8 mm, enabling their linking with binding joists made from pipes 120×120×5 mm, were made from steel 18G2 (S355). The workshop made connections in the new elements were executed as welded, in distinction from assembly connections, which were designed to be linked with bolts. Connections of new elements with the existing construction were executed with bolts. In most cases it was recommended to drill orifices for bolts when assembling.

Over the ceiling a technological platform was designed, about 800 mm in width, which will enable carrying out periodical inspections of the roof construction. It consists of frame boxes made from angle sections, which with the help of posts made from square pipes became supported upon U-sections 100 (of the existing grillage and newly installed). The posts of the platform are fixed with U-sections with bolts M12. In the case of U-sections 100 of the existing grillage it was necessary first to have supporting elements fixed thereon, with the help of bolts M10. The frame boxes of the platform were filled with galvanized grids of Wema type.

The bearing construction of the suspended ceiling made from square pipes became built around from the internal side of the gym with trapezoid galvanized steel sheet, of the height of the fold approx. 40 mm, arranged at least as three-span structure. Fastening of the trapezoid steel sheets to pipes 80×80×4 mm is foreseen to be done from the bottom, with self-piercing screws [4], one screw in each

układano z podłużnym zakładem na jedną fałdę i łączono między sobą wkrętami samowiercącymi w rozstawie co 30 cm. Na blachach ułożone zostanie ocieplenie w postaci 15. cm miękkiej wełny mineralnej.

Blacha trapezowa sufitu została obudowana od dołu (od strony wewnętrznej sali), płytami gipsowo-kartonowymi Rigips GFK o grubości 12,5 mm układanymi dwuwarstwowo, jak w systemie RIGIPS 4.10.31 lub 4.10.32 (por. AT-15-4637/2000). Tak wykonany sufit podwieszony odpowiada klasie odporności ogniowej F 0,5 (REI 30) i stanowi membranowe zabezpieczenie przeciwpożarowe konstrukcji stalowej przekrycia [5].

#### 4. Wykonanie nowego sufitu

W chwili przygotowywania pracy kontynuowany był remont omawianego dachu i wykonywany sufit podwieszony. Na rysunku 6 pokazano węzeł pasa dolnego kratownicy trapezowej, w którym zrealizowano zarówno podwieszenie nowego sufitu, jak i wzmocnienie pasa ze względu na kruche pęknięcie jednej z jego gałęzi, podczas katastrofy dotychczasowego sufitu. Rysunki 7 i 8 przedstawiają konstrukcję nośną nowego sufitu podwieszono, odpowiednio w widoku ogólnym (rys. 7) i w zbliżeniu (rys. 8), na którym widoczne są szczegóły zarówno konstrukcji sufitu, jak i wzmocnienia prętów wiązarów trójkątnych.

Warto dodać, że na etapie uzgodnień z rzeczoznawcą od zabezpieczenia przeciwpożarowego, zapadła decyzja o dodatkowym wykonaniu zabezpieczenia przeciwogniowego konstrukcji stalowej za pomocą farb pęczniących. Należało więc na tym etapie określić temperaturę krytyczną konstrukcji stalowej przekrycia sali gimnastycznej [5].

Ustalono ją nietypowo na poziomie 500°C, kierując się głównie zaleceniami normy [6]. Miały na to wpływ: długi czas eksploatacji istniejącej konstrukcji, poziom wyężenia jej elementów, a także fakt, że w konstrukcji przekrycia w większości występują pręty klasy 4.

Na etapie ustalenia technologii zabezpieczenia przeciwogniowego farbami pęczniącymi, pojawił się problem z dwugałęziowymi prętami, dla których współczynniki masywności

fold. The sheets are arranged as overlapping longitudinally at the depth of one fold, fixed together with self-piercing screws set at every 30 cm. Thermal insulation in the form of 15 cm thick layer of soft mineral wool will be laid on the steel sheet.

The trapezoid steel sheet of the ceiling was built around from the bottom side (from the side of the interior of the hall), with plasterboards Rigips GFK of 12.5 mm in thickness applied in two layers, like in the system RIGIPS 4.10.31 or 4.10.32 (cf. AT-15-4637/2000). So made suspended ceiling corresponds to the fire resistance class F 0.5 (REI 30) and makes a membrane fire-fighting protection of the steel construction of the roofing [5].

#### 4. Realization of the new ceiling

At the moment of preparing the work the repair of the above mentioned roof was being continued and the suspended ceiling was being made. Fig. 6 shows a node of the bottom chord of trapezoid truss in which both suspension of the new ceiling and strengthening of the chord have been made. The strengthening was made because of brittle cracking of one of its branch, during the catastrophe of the hitherto existing ceiling. Drawings 7 and 8 present the bearing construction of the new suspended ceiling, respectively in general view (fig. 7) and in a close-up (fig. 8), where the details are visible, both of the construction of the ceiling and of the strengthening of the rods of triangular roof trusses.

It is worth adding that at the stage of making co-ordinations with the expert of fire-fighting protection it was decided to make an additional fire protection of the steel construction using swelling paints. Then at that stage it was necessary to establish the critical temperature of the roofing of the gym [5]. It was established at the atypical level of 500°C, mainly because of following the recommendations of the standard [6]. This was influenced by: long time of exploitation of the existing construction, the level of effort of its elements, and also the fact that the rods in the construction of the roofing are mostly of class 4.

At the stage of establishing the technology of fire protection with swelling paints, there occurred a problem with two-branch rods, for which the coefficients of massiveness



Rys. 6. Widok wzmocnionego węzła pasa dolnego wiązara trapezoidalnego  
Fig. 6. View of the strengthened node at the bottom chord in the trapezoidal truss



Rys. 7. Widok ogólny konstrukcji nośnej nowego sufitu

Fig. 7 A general view of the supporting structure of the new ceiling



Rys. 8. Zbliżenie na konstrukcję nośną sufitu podwieszono (opis w tekście)

Fig. 8. A close-up of the supporting structure of the new ceiling (described in the text)

$$w_m = \frac{U}{A} \quad (1)$$

gdzie:  $w_m$  w  $m^{-1}$ ,  $U$  = obwód przekroju ekspozowany na ogień,  $A$  = pole przekroju poprzecznego elementu konstrukcyjnego, osiągają w niektórych przypadkach wartości graniczne równe 400. Chcąc zmniejszyć współczynniki masywności w przypadku elementów dwugałęziowych, z prześwitem między kształtownikami wynoszącym 10 mm, zaproponowano wypełnienie szczelin między gałęziami paskami z płyt ogniochronnych (np. firmy Promat). W efekcie, dzięki zmniejszeniu obwodu przekrojów ekspozowanych na ogień, uzyskuje się współczynniki  $w_m$  mniejsze o około 25%. Korzyści z takiego zabiegu są podwójne. Zmniejsza się mianowicie o około 30% wymagana grubość warstwy z farby pęczniającej na elemencie (co przekłada się na liczbę powłok do wykonania), a ponadto unika malowania tymi farbami trudno dostępnymi powierzchni wewnątrznych.

## 5. Wnioski i zalecenia

Prace związane z termomodernizacją obiektów budownictwa powszechnego (budynków), w szczególności tych o charakterze zabytkowym, powinny być poprzedzone kompleksową oceną stanu technicznego tych obiektów, w ramach której należy przeprowadzić m.in. analizy statyczno-wytrzymałościowe ich konstrukcji nośnych. Jest wiele śmiałych rozwiązań konstrukcyjnych, zrealizowanych tuż po wojnie, które nie uzyskiwałyby obecnie akceptacji. Do takich należał dotychczasowy strop sali gimnastycznej o konstrukcji tarczownicowej, wykonany w budynku murowanym o ścianach bez jakichkolwiek wieńców. O równowadze tego sufitu decydowało w dużym stopniu jego za-

wherein:  $w_m$  in  $m^{-1}$ ,  $U$  = the perimeter of the cross-section exposed to fire,  $A$  = area of the cross-section of the constructional element, achieve in some cases the boundary values equal 400. In order to reduce the coefficients of massiveness in the case of two-branch elements, with the clearance between the sections being 10 mm, it was proposed to pack the slit between the branches with strips of fireproof plates (e.g. made by firm Promat). In the result, thanks to decrease in the perimeter of cross-sections exposed to fire, the obtained coefficients  $w_m$  are smaller by about 25%. The advantages from such an act are double. The required thickness of the coat of swelling paint on the element gets lower by about 30% (which means fewer coats of paint to be applied), and moreover one avoids applying the paints on hardly accessible internal surfaces.

## 5. Conclusions and recommendations

Works connected with thermal modernization of the objects of general building (buildings), especially these of antique character, should be preceded by a complex assessment of technical condition of these objects, within such an assessment one should amongst other carry out static-strength analyses of their bearing constructions. There are many bold constructional solutions, realized after the war, which now would not obtain acceptance. One of these was hitherto existing ceiling of the gym of the folded plate structure, which was executed in a brick building with walls without any wall coping. The equilibrium of this ceiling depended to a great extent both on basically not yielding

równy w zasadzie niepodatne podparcie poziome na ścianach, jak i symetryczne obciążenie wyłącznie ciężarem własnym. Ten pierwszy warunek nie był spełniony od początku, a drugi był naruszony w trakcie długoletniej eksploatacji.

Na etapie odbioru wykonanego po wojnie sufitu, należało dokonać co najmniej korekty w zakresie jego tymczasowego podwieszenia (na czas wykonywania) do konstrukcji przekrycia. Pozostawienie podwieszeń i podparcia szyn na prętach wiązarów przekrycia, stanowiło realne zagrożenie rozwinęcia się katastrofy sufitu w katastrofę całego dachu tego skrzydła szkoły. Ten mankament powinien być natychmiast usunięty w efekcie rzetelnych okresowych przeglądów technicznych konstrukcji. Niestety obowiązek tego typu przeglądów został wprowadzony dopiero niedawno.

Jest wiele obiektów zabytkowych, w których zastosowane są niepewne lub zdegradowane przez upływ czasu rozwiązania konstrukcyjne. Niezbędna jest ingerencja konstruktorów, aby te rozwiązania skorygować lub zastąpić nowymi. Nie powinno się oczekiwać na doświadczalną weryfikację tych wątpliwych rozwiązań w postaci awarii lub katastrof budowlanych. Nie mamy żadnej gwarancji, że przebieg tych zdarzeń będzie równie szczęśliwy, jak omówionej w niniejszej pracy katastrofy sufitu.

horizontal supporting on the walls and symmetrical load of merely its own weight. The first condition was not fulfilled from the beginning, and the second was violated during the long lasting exploitation.

At the stage of commissioning of the ceiling executed after the war, one should have executed at least correction in the range of its temporary suspending (during execution thereof) under the construction of roofing. Leaving the suspension elements and supporting the rails on the rods of trusses of the roofing posed a real threat of developing the catastrophe of the ceiling into the catastrophe of the whole roof of this wing of the school. This shortcoming should have been immediately corrected as the result of reliable periodical technical inspections of the construction. Unfortunately this type of inspections has become obligatory just recently.

There are many antique objects in which constructional solutions which are insecure or have been made obsolete by the passage of time are applied. Constructor's interference is indispensable to have these solutions corrected or replaced by new ones. One should not wait for experimental verification of these doubtful solutions in the form of collapsing or building catastrophes. We do not have any guarantee that the course of those events will be equally lucky as that of the catastrophe of the ceiling which has been discussed in the present work.

## Literatura • References

- [1] Gosowski B., Bodarski Z., Gosowski M., Kasprzak T., Lorkowski P., *Ocena stanów granicznych konstrukcji stalowej dachu sali gimnastycznej w Zespole Szkół nr 2 w Wałbrzychu, w związku z zawaleniem się sufitu podwieszonego*, Raport serii SPR nr 37/2008 Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [2] Dudkiewicz J., Gosowski B., *Wykorzystanie nieniszczących badań twardości do oceny wytrzymałości stali w konstrukcjach budowlanych*, Inżynieria i Budownictwo, 62 (1), s. 48-52.
- [3] PN-90/B-03200. *Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [4] Gosowski B., Kubica E., *Badania laboratoryjne z konstrukcji metalowych*, Wyd. II popr., Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [5] Kosiorek M., Pogorzelski J.A., Laskowska Z., Pilich K., *Odporność ogniowa konstrukcji budowlanych*, Arkady, Warszawa 1988.
- [6] PN-EN 1993-1-2:2007. Eurokod 3: *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe*.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska  
Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland

\*\* PROKON Firma Projektowo-Wykonawcza, Wroclaw, Polska  
PROKON Firma Projektowo-Wykonawcza, Wroclaw, Poland

## Streszczenie

W artykule został przedstawiony przykład historycznego budynku szkolnego, w którym na etapie przygotowywania dokumentacji związanej z poprawą współczynnika efektywności cieplnej, nie przeprowadzono oceny stanu technicznego stalowej konstrukcji przekrycia ponad jednym z jego skrzydeł, w którym na najwyższym piętrze znajduje się sala gimnastyczna. W trakcie prowadzonych prac związanych z poprawą współczynnika efektywności cieplnej wydarzyło się całkowite zapadnięcie sufitu. W tym artykule omówiono tę katastrofę i zostały wyjaśnione jej przyczyny, jak również przedstawiono projektowanie i wykonanie nowego zawieszzonego sufitu przy użyciu dotychczas istniejącej stalowej konstrukcji przekrycia. Artykuł został zakończony wnioskami i ogólnymi zaleceniami.

## Abstract

An example of the historic school was presented, in which at the stage of preparing documentation regarding thermal efficiency improvement the assessment of technical condition of the steel construction of the covering over one of the wings, where on the highest storey a gymnasium is localised, was not conducted. In the process of the work connected with the thermal efficiency improvement, the total collapse of the ceiling happened. In the paper this disaster was discussed and causes thereof were clarified, as well as a design and execution of the new suspended ceiling using the existing steel covering were introduced. The paper was finished with conclusions and general recommendations.

Kazimierz Czaplinski\*

## Obliczanie dawnych konstrukcji z żeliwa i stali

### Calculation of old cast iron and steel constructions

#### 1. Wstęp

W praktyce inżynierskiej zdarza się, że konieczne jest sprawdzenie nośności dawnych konstrukcji wykonanych z żeliwa lub stali<sup>1</sup>, przy czym jednak natrafia się na brak danych dotyczących tego problemu. Dopiero bowiem w 1986 wydana została (w dość niskim nakładzie) broszurka [1], w której przytoczono 32 pozycje literaturowe (w tym 16 w języku polskim), natomiast w roku 2009 ukazała się książka [2], którą opracowano na podstawie 76 pozycji literaturowych, w tym 37 w języku polskim.

Korzystając z danych zawartych w obu wymienionych pozycjach przedstawiono sposoby sprawdzania nośności konstrukcji wykonanych z żeliwa oraz z dawnych stali.

#### 2. Elementy żeliwne

Elementy żeliwne najczęściej występują w postaci słupów. Rzadziej w postaci belek lub podciągów, często o zmiennym przekroju poprzecznym.

Do projektowania tych elementów stosowano z reguły metodę naprężeń dopuszczalnych. Zgodnie z zasadami tej metody konstrukcja jest bezpieczna, o ile nie zostanie przekroczona wartość naprężeń dopuszczalnych. Wartość tę otrzymuje się dzieląc wartość granicy plastyczności przez współczynnik bezpieczeństwa [3]. W metodzie tej przyjmuje się charakterystyczne wartości obciążeń.

W związku z powyższym przy sprawdzaniu nośności konstrukcji z żeliwa należy także stosować metodę naprężeń dopuszczalnych. Po pierwsze dlatego, że tak zostały zaprojektowane, a po

#### 1. Introduction

In engineering practice, it happens that it is necessary to check the load capacity of the structures made of old types of cast iron and steel<sup>1</sup>, however, there are no formulas or data regarding this problem. It was only in 1986 when a booklet was published (with quite low number of copies) [1] with references to 32 publications (including 16 in Polish), and only in 2009 was a book published [2] which was written on the basis of 76 scientific publications, including 37 in Polish.

Making use of the data included in both of these publications the methods of checking calculation methods of the load capacity of structures made of the old types of cast iron and steel were presented.

#### 2. Cast iron elements

Most often the cast iron elements occur in the form of columns, and rarely in the form of beams or floor girders, often with a variable cross section.

As a rule the permissible stresses method was applied in order to design those elements. According to the principles of that method, a structure is safe as long as the value of permissible stresses is not exceeded. This value is received by dividing the value of yield point by safety ratio [3]. This method assumes the characteristic load values.

Consequently, when checking the load capacity of structures made of old types of cast iron the permissible stresses method should be also applied. Firstly, because of their design and secondly

drugie dlatego, że dla tego tworzywa nie określono wartości naprężeń granicznych.

Elementy żeliwne są na ogół ściskane osiowo, rzadziej mimośrodowo. Bywają też zginane.

Elementy ściskane osiowo należy sprawdzać według relacji:

$$\sigma = \frac{P\omega}{F} \leq \sigma_{dop} \quad (1)$$

gdzie:  $\sigma$  – naprężenia w MPa,  
 $P$  – siła ściskająca osiowo w MN,  
 $\omega$  – współczynnik wybożeniowy,  
 $F$  – powierzchnia przekroju poprzecznego w m<sup>2</sup>,  
 $\sigma_{dop}$  – naprężenie dopuszczalne w MPa.

because the values of critical stresses were not calculated for that material.

The cast iron elements are usually compressed axially, rarely eccentrically. Sometimes they are bent.

The elements which are compressed axially should be checked according to the following formula:

where:  $\sigma$  – stresses in MPa,  
 $P$  – axial compression force in MN,  
 $\omega$  – buckling ratio,  
 $F$  – cross section area in m<sup>2</sup>,  
 $\sigma_{dop}$  – permissible stress in MPa.

Tab. 1. Współczynnik wybożeniowy  
*Buckling ratio*

$\lambda$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\omega$	1,00	1,01	1,05	1,11	1,22	1,39	1,67	2,21	3,50	4,43	5,45

Smukłość  $\lambda = l_w/i_{min}$ ; dla wartości pośrednich  $\lambda$  współczynnik  $\omega$  interpolować liniowo  
*Slenderness  $\lambda = l_w/i_{min}$ ; for intermediate values of  $\lambda$  ratio  $\omega$  to be interpolated linearly*

Nośność słupów osiowo ściskanych można też określić korzystając z tablicy 11.4. (s. 90-93) poz. [2].

W przypadku słupów o zmiennym przekroju poprzecznym można skorzystać z wzorów podanych w [2] na s. 27.

Wartości naprężeń dopuszczalnych dla żeliwa szarego podano w tablicy 2. Moduł sprężystości podłużnej dla tego żeliwa wynosi  $E = 100$  GPa.

The load capacity of columns compressed axially can be found in table 11.4. (pp. 90-93) item [2].

In the case of columns with a variable cross section the formulas provided in [2] on p. 27 can be used.

The values of permissible stresses for gray cast iron are shown in table 2. The longitudinal modulus of elasticity for this cast iron is  $E = 100$  GPa.

Tab. 2. Naprężenia  $\sigma_{dop}$  w MPa dla żeliwa  
*Stresses  $\sigma_{dop}$  in MPa for cast iron*

Rodzaj konstrukcji Type of structure	Żeliwo z XIX wieku Cast iron from the 19 <sup>th</sup> century			Żeliwo wg DIN 1051 z 1937r. Cast iron per DIN 1051 from 1937		
	Ściskanie Compression	Zginanie Bending		Ściskanie Compression	Zginanie Bending	
		Ściskanie Compression	Rozciąganie Tension		Ściskanie Compression	Rozciąganie Tension
Słupy Columns	80	80	40	90	90	45
Inne konstrukcje Other structures	80	50	25	90	60	30

Przy mimośrodowym ściskaniu słupa należy sprawdzać naprężenia krawędziowe według wzoru:

$$\sigma = \frac{P\omega}{F} \pm \frac{M}{W} \leq \sigma_{dop} \quad (2)$$

Tak obliczone naprężenia nie mogą przekraczać wartości dopuszczalnych podanych w tablicy 2.

Elementy zginane sprawdza się według wzoru:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{dop} \quad (3)$$

When a column is compressed eccentrically, the edge stresses should be checked according to the following formula:

The values of stresses cannot exceed the permissible values provided in table 2.

The bent elements should be checked according to the following formula:

gdzie:  $M$  – jest momentem od obciążeń charakterystycznych w MNm,  
 $W$  – wskaźnik zginania w  $m^3$ .

where:  $M$  – moment of characteristic loads in MNm,  
 $W$  – bending ratio in  $m^3$ .

### 3. Elementy stalowe

Elementy stalowe (wg terminologii z 1925 r.) projektowano posługując się także metodą naprężeń dopuszczalnych. Podobnie jak dla elementów żeliwnych dla dawnych wyrobów stalowych nie zostały określone naprężenia graniczne. Zatem także te konstrukcje należy sprawdzać stosując metodę naprężeń dopuszczalnych.

Elementy stalowe mogą być rozciągane, ściskane lub zginane.

W wypadku rozciągania obowiązuje relacja:

$$\sigma = \frac{P}{F_n} \leq \sigma_{dop} \quad (4)$$

gdzie:  $\sigma, P, \sigma_{dop}$  – jak we wzorze (1),  
 $F_n$  – powierzchnia przekroju poprzecznego netto w  $m^2$ .

W przypadku ściskania osiowego:

$$\sigma = \frac{P}{\beta F} \leq \sigma_{dop} \quad (5)$$

gdzie:  $\sigma, P, F, \sigma_{dop}$  – jak we wzorze (1),  
 $\beta$  – współczynnik wyboczeniowy (mniejszy od 1 w przeciwieństwie do  $\omega$ , który jest większy niż 1).

W przypadku ściskania mimośrodowego:

$$\sigma = \frac{P}{\beta F} \pm \frac{M}{W} \leq \sigma_{dop} \quad (6)$$

a w wypadku zginania:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{dop} \quad (7)$$

Naprężenia dopuszczalne dla różnych rodzajów stali produkowanych w XIX wieku i na początku wieku XX podano w tablicy 3.

### 3. Steel elements

Steel elements (acc. to terminology from 1925) were designed with the use of the permissible stresses method too. Similarly to cast iron elements, the values of critical stresses were not calculated for old steel products either. Consequently, these structures should be checked with the use of the permissible stresses method too.

Steel elements can be drawn, compressed or bent.

In the case of tension the following formula applies:

where:  $\sigma, P, \sigma_{dop}$  – as in formula (1),  
 $F_n$  – net cross section area in  $m^2$ .

In the case of axial compression:

where:  $\sigma, P, F, \sigma_{dop}$  – as in formula (1),  
 $\beta$  – buckling ratio (lower than 1 unlike  $\omega$  which is greater than 1).

In the case of eccentric compression:

and in the case of bending:

The permissible stresses different types of steels produced in the 19th century and at the beginning of the 20<sup>th</sup> century are shown in table 3.

Tab. 3. Naprężenia dopuszczalne dla stali  
 Permissible stresses for steel

Rodzaje stali Types of steel	Naprężenia dopuszczalne na rozciąganie, ściskanie i zginanie w MPa Permissible stresses for tension, compression and bending in MPa	
	I <sup>2</sup>	II <sup>2</sup>
żelazo zgrzewane (Schweiß Eisen) wrought iron (Schweiß Eisen)	nie występuje not applicable	90
żelazo zlewne (Flusseisen) ingot iron (Flusseisen)	nie występuje not applicable	100
stal zlewna (Flussstahl) ingot steel (Flussstahl)	nie występuje not applicable	140
St 00.12 (wg DIN <sup>3</sup> ) St 00.12 (per DIN <sup>6</sup> )	120	120
St 37.12 i stal handlowa (wg DIN) St 37.12 and commercial steel (per DIN)	140	160
St 52 (wg DIN) St 52 (per DIN)	210	240



Tab. 3. Ciąg dalszy  
Continuation

OW, X, St0S (wg PN) OW, X, St0S (per PN)	120	140
O15.W37, KX (K37), St3S (wg PN) O15.W37, KX (K37), St3S (per PN)	140	160
6.1.20.W52, K52, St 52 (wg PN) 6.1.20.W52, K52, St 52 (per PN)	200	230
Współczynniki: sprężystości podłużnej $E = 210$ GPa sprężystości poprzecznej $G = 81$ GPa rozszerzalności podłużnej liniowej $e_t = 0,000012/^\circ\text{C}$ Coefficients: longitudinal elasticity $E = 210$ GPa elasticity in shear $G = 81$ GPa longitudinal linear expansion $e_t = 0,000012/^\circ\text{C}$		

W tablicy 4 zestawiono fragmenty tablic zawierających współczynniki wyboczeniowe  $\beta^A$  według przepisów polskich, niemieckich i rosyjskich.

Table 4 presents fragments of the tables including the buckling ratios  $\beta^A$  according to Polish, German and Russian regulations.

Tab. 4. Współczynniki wyboczeniowe (fragment)  
Buckling ratios (fragment)

Rodzaj stali Type of steel	$\beta$ wg przepisów $\beta$ per regulations	Smukłość $\lambda$ Slenderness $\lambda$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
zwykłej jakości regular quality	polskich Polish	0,98	0,95	0,92	0,89	0,85	0,80	0,74	0,68	0,62	0,55
	niemieckich <sup>5</sup> German <sup>5</sup>	1,00	0,96	0,93	0,88	0,83	0,77	0,71	0,65	0,58	0,53
	rosyjskich Russian	0,99	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,81	0,75	0,69	0,60
podwyższonej jakości increased quality	polskich Polish	0,98	0,95	0,92	0,88	0,83	0,77	0,69	0,60	0,50	0,41
	niemieckich <sup>5</sup> German <sup>5</sup>	1,00	0,94	0,90	0,84	0,78	0,71	0,63	0,56	0,49	0,36
	rosyjskich Russian	0,98	0,95	0,93	0,90	0,83	0,78	0,71	0,63	0,54	0,45

#### 4. Stale do zbrojenia betonu

Do zbrojenia betonu używano takich samych rodzajów stali jak do wykonania konstrukcji stalowych.

W roku 1925 przyjęto podział stali zbrojeniowych na cztery grupy, zestawione w tablicy 5.

#### 4. Steels to reinforce concrete

The same type of steel was used to reinforce concrete as to manufacture steel structures.

In 1925, a division of reinforcing steel into four groups was agreed (see table 5).

Tab. 5. Grupy stali do zbrojenia betonu  
Groups of steel to reinforce concrete

Grupa stali Steel group	Rodzaj stali Type of steel	$D$ [mm]	$R_{e,min}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	min. A10 [%]
BSt I		–	220	340-500	18
BSt II	stale wysokowartościowe, utwardzane naturalne extra-fine steels, naturally hardened	$\leq 18$	360	500-620	20
		$\geq 18$	340	500-640	18
BSt IIb	stale specjalne, ulepszane cieplnie special-purpose steels, heat toughened	$\leq 18$	420	500	18
		$\geq 18$	400	500	18
BSt IIIa	stale naturalnie utwardzane naturally hardened steels	$\leq 18$	420	500	8
		$\geq 18$	400	500	8
BSt IIIb	Stale specjalne ulepszone na zimno (tylko jako stale kształtowe do zbrojenia betonu) special-purpose steels, cold toughened (only as special shape steels to reinforce concrete)	$\leq 18$	420	500	8
		$\geq 18$	400	500	8
BSt IVa	stale utwardzane naturalnie naturally hardened steels	–	500	–	16
BSt IVb	stale specjalne ulepszone na zimno oraz siatki zbrojeniowe special-purpose steels, cold toughened and reinforcing mesh	–	500	–	8

## 6. Określenie rodzaju tworzywa przyjętego do obliczeń

Najlepszym sposobem określenia rodzaju tworzywa i jego parametrów wytrzymałościowych jest przeprowadzenie kompleksowych badań laboratoryjnych próbek pobranych z przedmiotowego tworzywa. Określa się wtedy nie tylko rodzaj tworzywa i jego skład chemiczny, lecz również wytrzymałość zmniejszoną wskutek starzenia się, wpływów dynamicznych itp.

Jednak pobranie próbek o wymaganych wymiarach i w odpowiedniej liczbie nie zawsze jest możliwe, pozostają więc wtedy następujące warianty postępowania.

Pierwszą możliwością jest uzyskanie informacji dotyczących przedmiotowego tworzywa. Czy jest to żeliwo, czy też tzw. żelazo zgrzewne (*Schweißeisen*), żelazo zlewne (*Flusseisen*), stal zlewna (*Flussstahl*), stal St 00.12, St 37.12, OW, O15W37 itp. Jeśli uda się uzyskać wiarygodne informacje w tym zakresie, to można przyjąć naprężenia dopuszczalne z tablicy 3. Z uwagi na proces starzenia się tworzywa zaleca się przyjmować do obliczeń naprężenia niższe o 10 do 20% od podanych w tej tablicy, stosując zasadę, że im tworzywo jest starsze, tym niższe należy przyjąć naprężenia dopuszczalne.

Jeżeli nie ma możliwości uzyskania informacji o rodzaju przedmiotowego tworzywa, trzeba określić okres, w którym powstała dana konstrukcja i przyjąć, że została ona wykonana z najsłabszego tworzywa produkowanego w tym okresie. Dla tak określonego tworzywa należy, jak poprzednio, przyjąć naprężenia niższe niż podane w tablicy 3.

Orientacyjnie można przyjąć, że żeliwo z XIX wieku produkowane było jeszcze na początku wieku XX, więc bezpieczniej będzie żeliwo z wieku XX przyjmować od około roku 1915.

Co do stali orientacyjnie można przyjąć, że dla drugiej połowy XIX wieku było to żelazo zgrzewne, którego produkcja zanikała i po roku 1900 praktycznie nie było już produkowane.

Dla okresu od roku 1900 do roku 1925 można przyjąć, że było to żelazo zlewne (*Flusseisen*).

Od roku 1925 do roku 1937 mogła to być stal St 00.12 (zabroniono stosowania jej do konstrukcji budowlanych od 16.06.1937).

Od roku 1938 do lat sześćdziesiątych XX wieku mogła to być stal OW (oznakowana także jako X lub St0S).

Po ustaleniu parametrów tworzywa i jego właściwości (na podstawie tablic 2 i 3) można prowadzić obliczenia korzystając z odpowiednich wzorów wyrażonych w relacjach od (1) do (7).

## 6. Determination of the type of material assumed for calculations

The best way to determine the type of material and its strength parameters is to conduct comprehensive laboratory tests on samples taken from the material in question. This way, apart from the determination of the type of material and its chemical composition, its reduced strength as a result of aging, dynamic factors, etc. are also determined.

If taking samples with required dimensions and in necessary number is not possible, the following procedures can be applied.

The first possibility is collecting information regarding the material in question. Is it cast iron or so called wrought iron (*Schweißeisen*), ingot iron (*Flusseisen*), ingot steel (*Flussstahl*), steel St 00.12, St 37.12, OW, O15W37, etc. If it is possible to gather reliable information in this respect, the permissible stresses listed in Table 3 can be assumed. Due to the material aging process it is recommended to assume for calculations the stresses 10-20% lower than in the Table, applying the rule that the older the material, the lower the values of permissible stresses should be assumed.

If it is impossible to gather the information about the type of the material in question, it should be determined when a given structure was built and assumed that it was built of the weakest material manufactured at that time. The values of the stresses assumed for such a material should be, as earlier, lower than those listed in table 3.

It can be tentatively assumed that the cast iron from the 19<sup>th</sup> century was still used at the beginning of the 20<sup>th</sup> century, so it would be safer to assume that the cast iron from the 20<sup>th</sup> century would actually be the cast iron used after about 1915.

As for steel, it can be tentatively assumed that, for the second half of the 19<sup>th</sup> century it was wrought iron, whose production was gradually disappearing and practically it was not produced any more after 1900.

It can be assumed that from 1900 until 1925 it was ingot iron (*Flusseisen*).

From 1925 until 1937 it could be steel St 00.12 (its application for building structures was forbidden as of 16.06.1937.)

From 1938 until the 1960s it could be steel OW (marked also as X or St0S.)

After determining the parameters of the material and its properties (on the basis of table 2 and 3) the calculations can be made with the use of applicable formulas (1) to (7).

## Literatura • References

- [1] Bodarski Z., Czaplinski K., *Informacje dla rzeczoznawców w zakresie spraw ogólnych oraz wybranych problemów wytrzymałości, stateczności i sztywności elementów konstrukcyjnych wykonanych z dawnych gatunków stali, a także z dawnych asortymentów drewna*, CUTOB PZITB, Wrocław 1986.
- [2] Czaplinski K., *Dawne wyroby ze stopów żelaza*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2009.
- [3] Mutermilch J., Olszewski E., Łubiński M., *Wymiarowanie konstrukcji stalowych, nowe metody*, Wyd. Budownictwo i Architektura, Warszawa 1956.

---

\* Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska

\* Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

<sup>1</sup> Termin „stal” użyto tutaj zgodnie z definicją obowiązującą od 1925 roku (por. [2], s. 9).

<sup>2</sup> Zgodnie z przepisami niemieckimi występuje I i II rodzaj obciążeń. I rodzaj składa się z obciążenia stałego i zmiennego, jednak bez uwzględnienia wpływu śniegu i wiatru. II rodzaj składa się z I rodzaju obciążeń oraz równoczesnego oddziaływania wiatru, zmian temperatury, śniegu, hamowania suwnic. Zgodnie z przepisami polskimi obowiązuje I i II rodzaj naprężeń dopuszczalnych. W I rodzaju, przy obliczeniach mniej dokładnych, pomija się mniej istotne obciążenia. W II rodzaju, przy dokładnych obliczeniach, uwzględnia się równoczesne działanie wszelkich możliwych obciążeń.

<sup>3</sup> Zgodnie z DIN 1050 z 1937 r. stosowanie stali St00.12 do konstrukcji budowlanych zostało zabronione z dniem 16.06.1937.

<sup>4</sup> Pełny zbiór współczynników  $\beta$  według przepisów polskich i rosyjskich zawarty jest w [2], tabl. 11.5, s. 94-96.

<sup>5</sup> Przeliczono jako odwrotność współczynnika  $\omega$ .

<sup>1</sup> The term “steel” is used here according to the definition applicable from 1925 (com. [2], p. 9).

<sup>2</sup> According to German regulations type I and II loads occur. Type I consists of permanent and variable loads, however, without taking account of the impact of snow and wind. Type II consists of type I loads and concurrent impact of wind, temperature changes, snow, crane braking. According to Polish regulations permissible stresses type I and II apply. In type I, with less accurate calculations, the less significant loads are ignored. In type II, with precise calculations, all possible concurrent loads are taken into account.

<sup>3</sup> Acc. to DIN 1050 from 1937 the application of steel St00.12 in building structures was forbidden as of 16.06.1937.

<sup>4</sup> Complete list of  $\beta$  ratios acc. to Polish and Russian regulations is included in [2], table 11.5, pp. 94-96.

<sup>5</sup> Calculated as inverse of  $\omega$  ratio.

---

## Streszczenie

Niniejsza praca przedstawia metody sprawdzania nośności dawnych konstrukcji wykonanych z żeliwa lub stali. Z tego względu autor przedstawia podstawowe wzory oraz niektóre wybrane dane z książki „Dawne wyroby ze stopów żelaza” napisanej przez autora niniejszej pracy i wydanej przez DWE w 2009 roku.

## Abstract

The paper presents the checking calculation methods of the load capacity of structures made of old types of cast iron and steel. For this purpose, the author presents the basic formulas and some data selected from the book “The Old Products Made of Iron Alloys” written by the author of this paper and published by the DWE in the year 2009.

Zbigniew Kowal\*

## O przyczynach zmniejszenia niezawodności stalowych konstrukcji wielkopowierzchniowych hal

## On the causes of lower reliability of steel structures of large surface halls

### 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach nasiliły się remonty po awariach i katastrofach konstrukcji stalowych wielko powierzchniowych hal o różnym przeznaczeniu. W orzeczeniach przyczyn wskazywano na błędy w projektowaniu i wykonawstwie konstrukcji. Do klasycznych błędów grubych zalicza się:

- 1) obliczanie konstrukcji rzekomo kratownicowymi metodami właściwymi dla kratownic bez badania geometrycznej niezmienności systemu konstrukcyjnego w założeniu przegubowych połączeń prętów w węzłach,
- 2) wykonywanie połączeń z węzłami o nośności mniejszej od nośności łączonych prętów,
- 3) błędy w przekształceniach za pomocą stężeń konstrukcji płaskich w przestrzenne.

Jednakże w pracy zajęto się wyjaśnieniem niedostrzeganej tendencji zmniejszania się globalnego bezpieczeństwa konstrukcji z warunku eksploatacji i nośności konstrukcji wskutek zmniejszania się stosunku obciążenia  $P_w$  konstrukcji masą własną w stosunku do obciążenia zmiennego  $P_z$ . Dotyczy to zwłaszcza konstrukcji stalowych wielkopowierzchniowych hal, w których wprowadzono lekką trójwarstwową, z rdzeniem termoizolacyjnym, obudowę ścienną i dachową. Według [13] ciężar słabo ocieplonych pokryć płyt dachowych w nachyleniu 10% wynosił od 70 do 300 kg/m<sup>2</sup>. W tym czasie rzadko stosowano pokrycia o mniejszym nachyleniu. W ostatnim trzydziestoleciu obciążenie konstrukcji hal dachowymi płytami trójwarstwowymi

### 1. Introduction

In the last years the number of repairs after breakdowns and all sorts of collapses of steel structures of large surface halls of various destination has grown. In the assessment of the cause of the above-mentioned it was shown that there had occurred mistakes in designing and in the execution of the constructions. Amongst typical heavy mistakes are as follows:

- 1) calculation of supposedly truss constructions had been made with the use of methods specific for truss without checking geometrical invariability of the constructional system, assuming articulated joints of rods in the nodes,
- 2) executing the connections with nodes of lower carrying capacity than the carrying capacity of the rods connected,
- 3) mistakes in transformation of flat constructions into spatial ones with the use of bracing.

However, in this paper we shall focus upon the explanation of non perceived tendency of decreasing in total safety of the construction in the condition of exploitation and in the carrying capacity of the construction as a result of decreasing ratio of the load of the construction with its own weight  $P_w$  to the changing load  $P_z$ . This concerns especially the steel constructions of large surface halls which have been provided with light wall and roof casing of three-layer boards with thermo-insulating core. According to [13] the weight of lightly thermo-insulated coverage of roof plates with inclination of 10% was equal from 70 to 300 kg/m<sup>2</sup>. At the time it was rare that the applied roof coverage inclination was lower. In the last period of thirty years the load of the hall con-

mi zastosowanymi w miejsce, na przykład, cienkościennych żelbetowych płyt panwiowych o masie około  $120\text{kg/m}^2$  zmniejszyło się rzędu 9 razy przy niezmiennych normowych [14, 15] wymaganiach bezpieczeństwa konstrukcji. Obecnie np. ciepłe płyty ciągle trójwarstwowe z rdzeniem poliuretanowym [18] (2008) grubości 100 mm mają masę  $13\text{kg/m}^2$ . Łubiński [10] wyraźnie dzieli pokrycia na lekkie i ciężkie dostrzegając różnice konstrukcyjne, lecz bez konsekwencji w szacowaniu bezpieczeństwa konstrukcji.

Poglądy na bezpieczeństwo konstrukcji metalowych hal zostały ustalone w czasie królowania ciężkiej obudowy. Oczekiwany zapas bezpieczeństwa zmniejszył się wydatnie wraz ze zmniejszaniem się obciążenia masą własną  $P_w$  konstrukcji w stosunku do obciążenia śniegiem  $P_z$ . Kolejną przyczyną zmniejszania się niezawodności konstrukcji stały się zmiany właściwości fizycznych płyt obudowy. Wprowadzenie „ciepłych” płyt lekkiej obudowy wpłynęło na zwiększenie obciążenia konstrukcji śniegiem, stwarzając warunki do konsolidacji śniegu zwłaszcza na dachach o małym nachyleniu połaci. Utrudniony spływ wody z połaci powoduje jej wsiąkanie w śnieg i zamarzanie przy ciepłej obudowie. Aktualnie to zagadnienie stało się przedmiotem rozważań zmierzających do udoskonalenia norm obciążenia śniegiem [16].

Niezamierzone zmniejszenie bezpieczeństwa konstrukcji dotyczy przypadków większego rozproszenia losowego obciążenia zmiennego  $P_z$  aniżeli obciążenia stałego  $P_w$ . To obiektywne zjawisko dotyczy szczególnie konstrukcji stalowych i na razie nie znalazło swojego wyrazu w aktualizacji norm, nie tylko w Polsce lecz również w świecie. Prawdziwość powyższej tezy o mniejszym bezpieczeństwie hal z lekką obudową aniżeli hal z ciężką obudową można udowodnić za pomocą rachunku prawdopodobieństwa posługując się algebrą kwantyli. Sposób dowodu wynika stąd, że zarówno nośność konstrukcji jak i obciążenia są wielkościami losowymi [7].

## **2. Globalna nośność a udźwig konstrukcji mierzony zapasem nośności na obciążenie zmienne**

Globalną nośność i bezpieczeństwo konstrukcji odpowiadające obliczeniowej nośności normowej w przypadku normalnego rozkładu prawdopodobieństwa można wyznaczyć za pomocą algebry kwantyli [4, 6, 7]. Kwantyl globalnej nośności  $N_k$  konstrukcji wyznacza się ze wzoru:

structions with roof three-layer plates applied instead of, for example, thin-wall reinforced concrete panel plates of the weight about  $120\text{ kg/m}^2$  got lower by about 9 times, whereas the standard controlled safety requirements for the construction have not been changed [14, 15]. At present e.g. thermo-insulated three-layer continuous plates with polyurethane core [18] of 100 mm in thickness have the weight  $13\text{ kg/m}^2$ . Łubiński [10] has clearly divided the coverage onto light and heavy, noticing the constructional differences but without any consequence in estimating the construction safety.

Opinions on the construction safety of the metal construction halls were settled while the heavy casing was dominating. The expected safety margin got considerably smaller with reducing the load caused by construction' own weight  $P_w$  in relation to the load exerted by snow  $P_z$ . The changes of the physical properties of the casing plates become another cause of decreasing in the reliability of the construction. The introduction of the 'warm' plates of the light casing influenced upon enlargement of the load of the construction caused by snow, by creating conditions for consolidation of the snow layer, especially on the roofs of small inclination of the surface. The outflow of water from the roof surface is made difficult, which causes soaking the snow with water and freezing thereof on the warm casing. At present this question has become the object of considerations aimed at improvement of the standards of the snow caused load [16].

Unintentional decrease in the construction safety pertains rather to the cases of larger scattering of the random changing load  $P_z$  than the steady load  $P_w$ . This objective phenomenon relates particularly to steel constructions and so far has not been expressed in the actualization of standards, not only in Poland but also elsewhere in the world. The truth of the above mentioned proposition about lower safety of the halls with light casing in comparison to the halls with heavy casing can be proved mathematically with the help of the calculus of probability while using the quantile algebra. The way of mathematical proof stems from the fact, that both the carrying capacity of the construction and the loads are random magnitudes [7].

## **2. Global carrying capacity and construction lifting capacity as measured with the margin of carrying capacity under the changing load**

Global carrying capacity and the construction safety corresponding to the normative computational carrying capacity in the case of normal distribution of the probability can be calculated using the quantile algebra [4, 6, 7]. The quantile of global carrying capacity  $N_k$  for a construction is calculated from the formula:

$$N_k = E(N) - t D(N), \quad (1)$$

gdzie:  $t$  – wskaźnik niezawodności (parametr pozwalający na wyznaczenie bezpieczeństwa wprost z tablic rozkładu normalnego),  $E(N)$  – oczekiwana nośność konstrukcji,  $D(N)$  – odchylenie standardowe nośności.

Należy nadmienić, że kwantyl nośności jest obiektywną miarą nośności i odpowiada normowej nośności obliczeniowej na założonym poziomie prawdopodobieństwa – poziomie niezawodności.

Kwantyl obciążenia  $P_k$  wyznacza się ze wzoru:

$$P_k = E(P) - tD(P), \quad (2)$$

gdzie:  $E(P)$  – obciążenia oczekiwane,  $D(P)$  – odchylenie standardowe obciążenia.

Biorąc pod uwagę przypadek, że obciążenie  $P = P_w + P_z$  konstrukcji składa się z obciążenia stałego ciężarem własnym  $P_w$  i zmiennego np. śniegiem  $P_z$ , oszacowano odchylenie standardowe  $D(P_w)$  masy konstrukcji w trybie projektowania lub inżynierii niezawodności.

Uwaga: inżynieria niezawodności zajmuje się badaniem zgodności bezpieczeństwa konstrukcji wybudowanej z niezawodnością prognozowaną w projekcie oraz przydatnością konstrukcji do remontu i wzmocnienia.

Obciążenie masą własną konstrukcji i obudowy daje się dobrze oszacować, a odchylenie  $D(P_w)$  standardowe wynosi około  $0,03E(P_w)$ . Natomiast obciążenia zmienne [3, 4, 5] mają bardzo różne rozproszenia, przeważnie większe aniżeli obciążenia stałe.

Wartość własną w postaci kwantyla udźwigu  $N_{rk}$  konstrukcji mierzonego zapasem nośności konstrukcji na obciążenie zmienne (udźwig – zapas nośności konstrukcji na obciążenie zmienne) wyrażono wzorem:

$$N_{rk} = E(N) - E(P_w) - t\sqrt{[D^2(N) + D^2(P_w)]} = E(N_r) - tD(N_r), \quad (3)$$

gdzie:  $E(N_r) = E(N) - E(P_w)$  – oczekiwany zapas nośności na udźwig,  $D(N_r) = \sqrt{[D^2(N) + D^2(P_w)]}$  – odchylenie standardowe zapasu nośności na udźwig.

Obliczenie udźwigu konstrukcji jako zapasu nośności przewidzianego na obciążenie zmienne, pokazano w przykładzie 1.

**Przykład 1.** Obliczyć kwantyl  $N_k$  nośności globalnej oraz kwantyl  $N_{rk}$  udźwigu konstrukcji dla następujących danych:

1) oczekiwana nośność konstrukcji wynosi  $E(N)$ ,

wherein:  $t$  – coefficient of reliability (parameter allowing to determine the safety directly from the tables of normal distribution),  $E(N)$  – the expected carrying capacity of the construction,  $D(N)$  – the standard deviation of the carrying capacity.

One should mention that the quantile of carrying capacity is an objective measure of the carrying capacity and corresponds to the normative computational carrying capacity at the assumed level of probability – level of reliability.

The Quantile of load  $P_k$  is calculated from the formula:

wherein:  $E(P)$  – expected loads,  $D(P)$  – the standard deviation of the load.

Let's take into consideration the case, when the load of the construction  $P = P_w + P_z$  consists of a steady load caused by the construction's own weight  $P_w$  and a changing load e.g. snow  $P_z$ . Let's estimate standard deviation  $D(P_w)$  of the weight of construction in the mode of designing or in the mode of reliability engineering.

Note: reliability engineering deals with investigation of the compatibility of the safety of the construction built with prognosed reliability at the stage of design and of the susceptibility of the construction to repair and strengthening.

The load by the construction's own weight and the casing can be well estimated and the standard deviation  $D(P_w)$  is about  $0.03E(P_w)$ . However, the changing loads [3, 4, 5] have very varied scattering, in most cases larger than the steady loads.

Let's create the own value in the form of the quantile of lifting capacity  $N_{rk}$  of the construction, as measured by the margin of carrying capacity of the construction under a changing load (lifting capacity – margin of carrying capacity of the construction under a changing load):

wherein:  $E(N_r) = E(N) - E(P_w)$  – the expected margin of carrying capacity for the lifting capacity,  $D(N_r) = \sqrt{[D^2(N) + D^2(P_w)]}$  – standard deviation of the margin of carrying capacity for lifting capacity.

The calculation of the lifting capacity of the construction as the margin of carrying capacity provided for the changing load, has been shown in example 1.

**Example 1.** Calculate the quantile  $N_k$  of global carrying capacity and the quantile  $N_{rk}$  of lifting capacity of the construction for the following data:

1) the expected carrying capacity of the construction is equal to  $E(N)$ ,

- 2) odchylenie standardowe nośności wynosi:  $D(N) = 0,06E(N)$ ,
- 3) oczekiwany ciężar własny konstrukcji wynosi  $E(P_w)$ ,
- 4) odchylenie standardowe obciążenia masą własną konstrukcji wraz z obudową wynosi  $D(P_w) = 0,03E(P_w)$ ,
- 5) stosunek oczekiwanego obciążenia własnego do oczekiwanej nośności wynosi:  $E(P_w)/E(N) = 0,5$ .

Kwantyl  $N_k$  globalnej nośności konstrukcji na poziomie wskaźnika niezawodności  $t = 3$  wynosi:

$$N_k = E(N) - 3D(N) = E(N)(1 - 3 \times 0,06) = 0,82E(N).$$

Odchylenie standardowe udźwigu konstrukcji w przykładzie wynosi:

$$D(N_r) = \sqrt{D^2(N) + D^2(P_w)} = [\sqrt{0,06^2 + 0,03^2} \cdot 0,5]E(N) = 0,06185E(N).$$

Kwantyl udźwigu konstrukcji o wskaźniku niezawodności  $t = 3$  wynosi:

$$N_{rk} = E(N_r) - E(t) - tD(N_r) = 0,5E(N) - 3 \times 0,06185E(N) = 0,3145E(N).$$

Współczynnik zmienności  $v_z = D(P_z)/E(P_z)$  obciążenia zmiennego (np. śniegiem) jest kilkakrotnie większy od obciążenia masą własną konstrukcji. Masę własną konstrukcji poddaje się kontroli brakarskiej, natomiast obciążenie śniegiem jest niezależne od masy konstrukcji.

Sedno zagadnienia leży w tym, że wykorzystanie wyżej obliczonego kwantyla  $N_{rk}$  zapasu nośności na obciążenie zmienne (na udźwig konstrukcji) zależy od współczynnika  $v_z$  zmienności obciążenia zmiennego:  $v_z = D(P_z)/E(P_z)$ .

### 3. Zapas nośności (bezpieczeństwa) konstrukcji poddanej obciążeniu zmiennemu

Zapaw  $Z$  losowej nośności konstrukcji stalowej pod obciążeniem zmiennym (śniegiem) rozumiany jako zabezpieczenie przed przeciążeniem konstrukcji wynosi:

$$Z = N - P_w - P_z. \quad (4)$$

Kwantyl  $Z_k$  zapasu nośności konstrukcji po obciążeniu zmiennym (śniegiem) wynosi:

$$Z_k = E(Z) - tD(Z), \quad (5)$$

gdzie:  $E(Z) = E(N) - E(P_w) - E(P_z)$  - oczekiwany zapas nośności po obciążeniu śniegiem,  $D(Z) = \sqrt{[D^2(N) + D^2(P_w) + D^2(P_z)]}$  - odchylenie standardowe zapasu nośności po obciążeniu śniegiem.

- 2) the standard deviation of carrying capacity is:  $D(N) = 0.06E(N)$ ,
- 3) the expected construction's own weight is  $E(P_w)$ ,
- 4) the standard deviation of the load of the construction's own weight together with the casing  $D(P_w) = 0.03E(P_w)$ ,
- 5) the ratio of the expected construction's own load to the expected carrying capacity is:  $E(P_w)/E(N) = 0.5$ .

The quantile  $N_k$  of the global carrying capacity of the construction at the level of the reliability coefficient  $t = 3$  is:

The standard deviation of the lifting capacity of the construction in the example is equal to

The quantile of the lifting capacity of the construction at the reliability coefficient  $t = 3$  is:

The variability coefficient  $v_z = D(P_z)/E(P_z)$  of the changing load (e.g. snow) is several times larger than the load of the construction's own weight. The construction's own weight undergoes the quality control, whereas the load of snow is independent from the weight of the construction.

The essence of the question lies in the fact that using of the above calculated quantile of the margin of carrying capacity  $N_{rk}$  for the changing load (for the lifting capacity of the construction) depends on the variability coefficient  $v_z$  of the changing load:  $v_z = D(P_z)/E(P_z)$ .

### 3. The carrying capacity (safety) margin of the construction under a changing load

The margin  $Z$  of the random carrying capacity of a steel construction under a changing load (snow) is understood as protection from overloading the construction and is equal to:

The quantile  $Z_k$  of the margin of the carrying capacity of the construction after putting it under a changing load (snow) is:

wherein:  $E(Z) = E(N) - E(P_w) - E(P_z)$  - the expected margin of the carrying capacity under the load of snow,  $D(Z) = \sqrt{[D^2(N) + D^2(P_w) + D^2(P_z)]}$  - the standard deviation of the margin of carrying capacity under the load of snow.

Parametr niezawodności  $t$  zapasu nośności po obciążeniu zmiennym  $P_z$  oblicza się ze wzoru:

$$t = E(Z)/D(Z). \quad (6)$$

Należy nadmienić, że współczynnik zmienności  $v_z = D(P_z)/E(P_z)$  obciążenia zmiennego (śniegiem) jest wielokrotnie większy od współczynnika zmienności  $v_w$  obciążenia własnego i od współczynnika zmienności  $v_N$  nośności konstrukcji. Ponadto obciążenie śniegiem jest niezależne od masy konstrukcji. Należy nadmienić, że szacowanie kwantyli i współczynników zmienności obciążenia śniegiem i wiatrem jest odrębnym zagadnieniem [3, 4]. Ich wartości liczbowe zależą od współrzędnych geograficznych. Stosowane w praktyce współczynniki obciążeń klimatycznych wynikają z doświadczenia, związanego z obserwacją szkód występujących w danej strefie.

Porównawcze obliczenie zapasów nośności konstrukcji z lekką i ciężką obudową po obciążeniu śniegiem zależnych od stosunku  $E(P_z)/E(P_w)$  pokazano w przykładzie 2.

**Przykład 2.** Obliczyć kwantyl  $Z_k$  zapasu nośności po obciążeniu konstrukcji obciążeniem zmiennym oraz jej awaryjność zakładając oczekiwany zapas nośności po obciążeniu na poziomie

$$E(Z) = E(N) - E(P_w) - E(P_z) = 0,25E(N).$$

Dana jest konstrukcja z ciężkim dachem, w której oczekiwane  $E(P_z)$  obciążenie śniegiem jest dwukrotnie mniejsze od oczekiwanego  $E(P_w) = 2E(P_z)$  obciążenia ciężarem własnym konstrukcji. Odchylenie standardowe  $D(P_w)$  masy konstrukcji wynosi  $0,03E(P_w)$ . Odchylenie standardowe obciążenia zmiennego wynosi  $D(P_z) = 0,12E(P_z)$ .

Obliczyć wskaźnik niezawodności  $t$  zapasu nośności i awaryjność konstrukcji ciężkiej po obciążeniu zmiennym  $P_z$  dla  $(P_w) = 2E(P_z)$  i porównać z parametrami zapasu nośności konstrukcji lekkiej, w której  $E(P_w) = 0,5E(P_z)$ . Należy dotrzymać warunku:  $[E(P_w) + E(P_z)] = 0,75E(N)$ , zachowując zapas nośności  $E(Z)$  po obciążeniu:

$$E(Z) = E(N) - E(P_w) - E(P_z) = 0,25E(N).$$

Wskaźnik  $t$  niezawodności zapasu nośności konstrukcji po obciążeniu śniegiem można obliczyć ze wzoru (6) jak niżej.

The parameter of reliability  $t$  of the margin of carrying capacity after putting it under a changing load  $P_z$  is calculated from the formula:

One should mention that the variability coefficient  $v_z = D(P_z)/E(P_z)$  of the changing load (snow) is many times larger than the coefficient of variability  $v_w$  of the construction's own load than the variability coefficient  $v_N$  of the carrying capacity of the construction. Moreover the snow load is independent from the weight of the construction. One should mention, that estimating of quantiles and variability coefficients of the snow load and the wind load makes up a separate question [3, 4]. Their numerical values depend on the geographical bearings. The climatic load coefficients used in practice result from the experience, connected with observation of damages occurring in a given zone.

The comparative calculation of the margins of the carrying capacity of the construction with light and heavy casing after putting it under load of snow dependent on the relation  $E(P_z)/E(P_w)$  has been presented in example 2.

**Example 2.** Calculate the quantile  $Z_k$  of the margin of carrying capacity after putting the construction under changing load and its failure frequency assuming expected margin of carrying capacity after putting it under load at the level

The construction is with a heavy roof in which expected snow load  $E(P_z)$  is twice lower than expected load under construction's own weight  $E(P_w) = 2E(P_z)$ . The standard deviation of the weight of the construction  $D(P_w)$  is equal to  $0,03E(P_w)$ . The standard deviation of the changing load is  $D(P_z) = 0,12E(P_z)$ .

Calculate the reliability coefficient  $t$  of the margin of carrying capacity and the failure frequency of a heavy construction after putting it under changing load  $P_z$  for  $(P_w) = 2E(P_z)$  and compare the result with the parameters of margin of carrying capacity of a light construction, in which  $E(P_w) = 0,5E(P_z)$ . The condition:  $[E(P_w) + E(P_z)] = 0,75E(N)$  should be kept while maintaining the margin of carrying capacity  $E(Z)$  after putting it under load:

We will calculate the reliability coefficient  $t$  of the margin of carrying capacity of the construction after putting it under snow load from the formula (6) as below.



W przypadku konstrukcji z obudową ciężką  $E(P_w) = 2E(P_z) = 0,5E(N)$  mamy:

$$t = [E(N) - E(P_w) - E(P_z)]/D(Z_r) = \\ = E(N)[1 - 0,5 - 0,25]/E(N)\sqrt{[(0,06^2 + 0,03^2 0,5^2 + 0,12^2 0,25^2)]} = 0,25/0,06874 = 3,637.$$

Z rozkładu prawdopodobieństwa [1] mamy niezawodność:  $p = Pr\{Z > 0,25E(N)\} = 0,999\ 823$ . Awaryjność konstrukcji z obudową ciężką wynosi:  $q = 1 - p = 0,000\ 177$ . Należy oczekiwać 177 awarii na milion wybudowanych obiektów.

W przypadku konstrukcji z obudową lekką  $E(P_w) = 0,5E(P_z) = 0,25E(N)$  otrzymano:

$$t = [E(N) - E(P_w) - E(P_z)]/D(Z_r) = \\ = E(N)[1 - 0,25 - 0,5]/E(N)\sqrt{[(0,06^2 + 0,03^2 0,25^2 + 0,12^2 0,5^2)]} = 0,25/0,08518 = 2,935.$$

Z tablic rozkładu prawdopodobieństwa mamy niezawodność:  $p = Pr\{Z > 0,25E(N)\} = 0,998\ 315$ . Awaryjność wynosi:  $q = 1 - p = 0,001\ 685$ . Należy oczekiwać 1685 awarii na milion obiektów. Oczywiście stosuje się profilaktykę w celu zmniejszenia awaryjności, na przykład w postaci usuwania nadmiaru śniegu z dachu.

W przypadku oczekiwanego zapasu nośności  $E(Z_r) = 0,25E(N)$  według przykładu 2 awaryjność konstrukcji z lekką obudową dla  $E(P_w) = 0,5E(P_z)$  jest ponad 9 razy większa od awaryjności konstrukcji z ciężką obudową. Z przykładu wynika wniosek, że w celu zrównania niezawodności konstrukcji lekkiej z ciężką należy zwiększyć oczekiwany zapas nośności konstrukcji lekkiej do  $E(Z) = 0,3E(N)$  według przykładu 3.

**Przykład 3.** Obliczyć awaryjność konstrukcji lekkiej o parametrach jak w przykładzie 2, zwiększając oczekiwany po obciążeniu zmiennym zapas nośności konstrukcji do  $E(Z) = 0,3E(N)$ . W tym przypadku pozostawiając  $E(P_w) =$  około  $0,5E(P_z)$  przyjęto:  $E(P_z) = 0,47E(N)$ ,  $E(P_w) = 0,23E(N)$ . Odchylenie standardowe oczekiwanego zapasu nośności  $E(Z)$  konstrukcji pod obciążeniem zmiennym wynosi:

$$D(Z) = E(N)\sqrt{[(0,06^2 + 0,03^2 0,23^2 + 0,12^2 0,47^2)]} = 0,08263.$$

Parametr niezawodności  $t$  wynosi:

$$t = E(Z)/D(Z) = 0,3/0,082635 = 3,63.$$

Na podstawie rozkładu normalnego [1] mamy niezawodność  $p = Pr\{Z > 0,3E(N)\} = 0,999\ 820$ . Awaryjność wynosi  $q = 1 - p = 0,000\ 180$ .

Wniosek: W losowo wybranym przykładzie pokazano, że czterokrotne zwiększenie stosunku oczekiwanego obciążenia zmiennego do obciążenia sta-

In the case of a construction with heavy casing  $E(P_w) = 2E(P_z) = 0,5E(N)$  the following comes out:

From the probability distribution [1] the reliability is obtained:  $p = Pr\{Z > 0,25E(N)\} = 0,999\ 823$ . The failure frequency of the construction with heavy casing is:  $q = 1 - p = 0,000\ 177$ . One can expect 177 failures per million of built objects.

In the case of a construction with light casing  $E(P_w) = 0,5E(P_z) = 0,25E(N)$  the following is obtained:

From the tables of probability distribution we get reliability:  $p = Pr\{Z > 0,25E(N)\} = 0,998\ 315$ . Failure frequency is:  $q = 1 - p = 0,001\ 685$ . One can expect 1685 failures per million of built objects. Obviously some prophylactic procedures are used in order to decrease failure frequency, as for instance in the form of removing the excess of snow from the roof.

In the case of expected margin of carrying capacity  $E(Z_r) = 0,25E(N)$  according to the example 2 the failure frequency of the construction with light casing for  $E(P_w) = 0,5E(P_z)$  is above 9 times larger than the failure frequency of the construction with heavy casing. A conclusion can be drawn from the example, that in order to increase the reliability of the light construction to get it at the same level as that of the heavy construction, the expected margin of the carrying capacity of the light construction should be increased to  $E(Z) = 0,3E(N)$  according to example 3.

**Example 3.** Calculate the failure frequency of a light construction of parameters as in example 2, increasing the expected margin of carrying capacity of the construction under a changing load to  $E(Z) = 0,3E(N)$ . In this case leaving  $E(P_w) =$  about  $0,5E(P_z)$  we will assume:  $E(P_z) = 0,47E(N)$ ,  $E(P_w) = 0,23E(N)$ . The standard deviation of the expected margin of carrying capacity  $E(Z)$  of the construction under a changing load is equal to:

The reliability parameter  $t$  is:

On the basis of normal distribution [1] we obtain the reliability  $p = Pr\{Z > 0,3E(N)\} = 0,999\ 820$ . The failure frequency is  $q = 1 - p = 0,000\ 180$ .

The conclusion: It has been shown in a random chosen example that four-fold increase in the ratio of the expected changing load to the steady load has

łego 9-krotnie zwiększyło awaryjność konstrukcji. Ażeby zrekomensować zwiększenie awaryjności konstrukcji z lekką obudową, należałoby zwiększyć oczekiwany zapas nośności pozostający po obciążeniu zmiennym o 20% do  $E(Z) = 0,3E(N)$ . Należy nadmienić, że nadzory nad wytwarzaniem elementów wysyłkowych, montażem i eksploatacją konstrukcji w każdym przypadku zmierzają do ograniczenia liczby awarii i redukcji ich skutków. Ale każdy błąd grubo zwiększa liczbę awarii lub katastrof konstrukcji lekkiej w stosunku do ciężkiej.

#### 4. Podsumowanie

Monitorowanie niezawodności wybranych obiektów w celu zapobiegania katastrofom, awariom lub degradacji eksploatacyjnej stało się w niektórych krajach przedmiotem nakazu władz. Monitorowanie obiektów można uważać za jedną z metod inżynierii niezawodności zajmującej się badaniem zgodności postulowanej w projekcie lub przez władze budowlane niezawodności z niezawodnością obiektu zrealizowanego. Efektem badania może być wskazanie konieczności remontu lub wzmocnienia konstrukcji nośnej w trybie remontowym. Dotyczy to zarówno obiektów historycznych jak i obiektów nowoczesnych.

Z zamieszczonych przykładów wynika wniosek ogólny, że w przypadku, gdy współczynnik zmienności obciążenia zmiennego  $v_z = D(P_z)/E(P_z)$  jest większy od współczynnika zmienności obciążenia stałego  $v_w = D(P_w)/E(P_w)$ , to zmiana stosunku obciążenia zmiennego do obciążenia stałego zmienia niezawodność konstrukcji. Dotyczy to w różnym stopniu wszystkich konstrukcji obliczanych zgodnie z normami. Jednakże istotne zmniejszenie bezpieczeństwa występuje w konstrukcjach stalowych hal wielkopowierzchniowych o lekkiej obudowie wskutek wielokrotnie mniejszego obciążenia obudową hal w stosunku do obciążeń zmiennych aniżeli występuje to w halach z obudową ciężką. Masa konstrukcji i obudowy najczęściej charakteryzuje się mniejszym współczynnikiem  $v_w$  zmienności od współczynnika zmienności  $v_z$  obciążeń zmiennych.

W ostatnim trzydziestoleciu nastąpił proces liczbowego zwiększania się budowy stalowych konstrukcji hal wielko powierzchniowych z pokryciem lekkim dachowymi płytami trójwarstwowymi z rdzeniem termoizolacyjnym i zmniejszania się liczby budów hal z pokryciem ciężkim na przykład za pomocą cienkościennych żelbetowych płyt panelowych cięższych około 9 razy. Nato-

increased the failure frequency of the construction 9 times. In order to compensate that increase in failure frequency of the construction with light casing one should enlarge the expected margin of carrying capacity which remains after putting it under changing load by about 20% to  $E(Z) = 0,3E(N)$ . One should mention that supervision over manufacturing of mail-ordered units, assembling and exploitation of the construction in each case is aimed at limiting of the number of failures and the reduction of their results. But each and every grave mistake increases the number of the failures or catastrophes of the light construction in comparison with the heavy one.

#### 4. Recapitulation

Monitoring of reliability of chosen objects in order to prevent catastrophes, collapsing or degradation due to exploiting has become in some countries the object of the warrant issued by the authorities. Monitoring of the objects may be regarded as one of the methods of reliability engineering, which investigates compatibility of reliability as postulated in the design or by the building authorities with the reliability of the object realized. The effect of the investigation may be the necessity to carry out a repair or to strengthen the bearing construction within the renovation mode. This pertains both to historical objects as well as the modern ones.

From the examples presented above a general conclusion may be drawn, that in the case when the variability coefficient of the changing load  $v_z = D(P_z)/E(P_z)$  is larger than the variability coefficient of the steady load  $v_w = D(P_w)/E(P_w)$ , a change of the ratio of the changing load to the steady load changes reliability of the construction. This concerns to various extent all the constructions calculated in accordance with the standards. Yet an essential decrease in the safety occurs in the steel constructions of large surface halls with light casing as the result of many times smaller load of the halls due to the casing in comparison to the changing loads than it takes place in the case of halls with heavy casing. The weight of the construction and casing most often is characterized by lower variability coefficient  $v_w$  than the variability coefficient  $v_z$  of the changing loads.

In the period of the last thirty years there has taken place the process of increasing the number of constructed large surface halls of steel constructions with light roof coverage made from three-layer plates with thermo-insulating core and decreasing number of constructed halls with heavy coverage, for instance using thin-wall reinforced concretes panel plates which are about 9 times heavier. How-

miast nie uzupełniono normowych wymagań bezpieczeństwa konstrukcji stalowych. Należy nadmienić, że występują znaczące różnice niezawodności różnych systemów konstrukcyjnych i doświadczony projektant potrafi zwiększyć niezawodność projektowanej konstrukcji za pomocą nadliczbowych stężeń.

Wprowadzenie ciepłej i lekkiej obudowy o małym nachyleniu oprócz zmniejszenia bezpieczeństwa konstrukcji wpłynęło na pojawienie się nowych zjawisk fizycznych w postaci konsolidacji gęstości śniegu na ciepłej obudowie wywołanej zamarzaniem wody wsiąkającej w śnieg. W tym procesie zwiększenia się obciążenia przekryć dachowych śniegiem istotną rolę odgrywa małe nachylenie połaci dachowych utrudniające spływ wody z połaci dachowych. Wynika stąd konieczność usuwania ponadnormatywnego śniegu z dachu. Wymaga to kłopotliwego sondowania objętości i gęstości masy śniegu za pomocą rury i przystosowania pokrycia dachowego do usuwania śniegu.

## 5. Wnioski generalne

1. Wskazany jest przegląd niezawodności konstrukcji stalowych wielko powierzchniowych hal z lekką obudową, zwłaszcza pokrytych płytami trójwarstwowymi z rdzeniem termoizolacyjnym o małym nachyleniu połaci dachowych. Powyższe dotyczy także stalowych konstrukcji historycznych z późniejszymi nawarstwieniami wynikłymi z prowadzonych prac remontowych.
2. Możliwe jest zwiększenie niezawodności konstrukcji w drodze zmian konstrukcyjnych w ustrojach przyjaznych remontom i modernizacji konstrukcji.
3. Wskazane jest uzupełnienie wytycznych projektowania stalowych konstrukcji wielkopowierzchniowych hal, zwłaszcza obudowanych płytami trójwarstwowymi z rdzeniem termoizolacyjnym.

ever, the normative safety requirements for steel constructions have not been made up. One should mention there occur significant differences in reliability of various constructional systems and an experienced designer can increase the reliability of the designed construction using redundant bracings.

Introduction of warm and light casing of small inclination, besides to decreasing the safety of the construction, has influenced on appearing new physical phenomena in the form of consolidation of the density of snow on a warm casing due to freezing of the water soaking in the snow. In this process of increasing the load exerted on the roof covering by snow an essential part is played by small inclination of the roof surfaces, which makes the outflow of water from roof surfaces difficult. This effects in the necessity to remove the excessive amounts of snow, going beyond those determined by the standards, from the roof. This requires troublesome probing of the volume and density of the mass of snow with the use of a pipe and adaptation of the roof coverage to enable removing the snow.

## 5. General conclusions

1. It is advisable to carry out a review of reliability of steel constructions of large surface halls with light casing, especially those covered with three-layer plates with thermo-insulating core, and of small inclination of the roof surfaces. The same should be done also for historical steel structures with changes connected with repairs and strengthening made during the exploitation
2. It is possible to increase reliability of the construction in the way of constructional changes in the systems which are friendly to repairs and modernization of their construction.
3. It is advisable to supplement the directives for designing steel constructions of large surface halls, especially those built around with three-layer plates with thermo-insulating core.

## Literatura • References

- [1] Biegus A., *Probabilistyczna analiza konstrukcji stalowych*, PWN, Warszawa – Wrocław 1999.
- [2] Bogucki W., *Budownictwo stalowe*, t. II. Arkady, Warszawa 1977.
- [3] Chodor L., Dziubdziela W., Kowal Z., *Współczynniki bezpieczeństwa konstrukcji poddanej wielookresowym obciążeniom stochastycznym*, XXXV KN KILW PAN i KN PZITB, Krynica 1989, s. 19-24.
- [4] Dziubdziela W., Kowal Z., *Oszacowanie kwantyli ciągów wielookresowych maksymalnych obciążeń konstrukcji*, Archiwum Inż. Łądowej 1/1989, s. 299-311.
- [5] Dziubdziela W., Kowal Z., *Safety of structures subjected to multi-periodical wind loads*, EECWE-94, East European Conference on Wind Engineering, July 1994, Warsaw, V.1, p. 179-188.

- [6] Kowal Z., *Zuverlässigkeit von Konstruktionssystemen*, Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden 25/1976, H. 1/2, s. 265-270.
- [7] Kowal Z., *O szacowaniu bezpieczeństwa konstrukcji*, Konwersatorium Mechanika Stochastyczna, Szklarska Poreba – Wrocław, maj 1994, s. 17-30.
- [8] Kowal Z., *Statystyczne osłabienie i wzmocnienie konstrukcji*, Inż. i Bud. 7-8/1995, s. 392-394.
- [9] Kowal Z., Polak M., Szpila E., Wydra S., *System przekryć przestrzennych „ZACHÓD”*, Inż. i Bud. 11/1976, s. 421-424.
- [10] Łubiński M., Żółtowski W., *Konstrukcje metalowe*, cz. II, Arkady, Warszawa 1992.
- [11] Praca zbiorowa pod red. W. Boguckiego, *Poradnik projektanta konstrukcji metalowych*, T. II, Arkady, Warszawa 1980.
- [12] Strelecki N.S. i zespół, *Konstrukcje stalowe*, Arkady, Warszawa 1957.
- [13] Żudin N.D., *Stalnyje konstrukcje*, GOSSTROJIZDAT 1957.
- [14] PN – 90 / B – 03200 *Konstrukcje stalowe – Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [15] EUROKOD 3: PN-EN 1993-1– od 1 do 12 (2006 – 2008) *Projektowanie konstrukcji stalowych*.
- [16] PN-EN 1993-1-3-2005 *Obciążenie śniegiem*.
- [17] PN-EN 1993-1-4-2008 *Oddziaływanie wiatru*.
- [18] Katalog techniczny płyt trójwarstwowych, GÓR-STAL GORLICE 2008.

---

\* Politechnika Świętokrzyska, Kielce, Polska  
Kielce University of Technology, Kielce, Poland

Zbigniew Pająk\*

## Stan zachowania sklepień „Rabitz” w wybranych obiektach zabytkowych

### The condition of the ‘Rabitz’ vaults in the selected historic objects

#### 1. Wstęp

W 1878 r. berliński mistrz murarski Carl Rabitz opatentował sposób tynkowania ścian i sufitów na metalowych siatkach podwieszanych do konstrukcji. Sposób ten nawiązywał do nieco wcześniejszych (1868 r.) patentów francuskiego ogrodnika Moniera (uważanego za jednego z twórców żelbetu), który zastosował zbrojone doniczki z betonu, a następnie belki i zbiorniki na ciecze. Metalowe siatki „Rabitz” do dziś są wykorzystywane przy wykonywaniu wypraw na słabych podłożach, a także w sztukatorstwie do kształtowania dekoracyjnych sufitów, gzymsów i innych elementów architektonicznych [1] – rys. 1. Plecione lub ciągnięte metalowe siatki dają się swobodnie formować na wcześniej przygotowanej konstrukcji z grubszych prętów stalowych,

#### 1. Introduction

In 1878 Carl Rabitz, a master bricklayer from Berlin, obtained a patent on the method of plastering of walls and ceilings made of metal mesh. This method was linked to somewhat earlier (1868) ideas of a French gardener by the name of Monier (regarded as one of the inventors of reinforced concrete), who applied flower-pots and then beams and reservoirs for liquids made of reinforced concrete. Metal ‘Rabitz’ meshes are used till this day for making chimney linings on weak base material, and also in stuccowork for the formation of decorative ceilings, cornices and other architectural elements [1] – fig. 1. Plaited or drawn metal meshes are freely formed on earlier prepared structures made from thicker steel rods, attached



Rys. 1. Zastosowania siatek „Rabitz” [2]  
Fig. 1. Adaptation of the Rabitz mesh [2]

podwieszanej drutami do stropów lub elementów więźb dachowych. Tak kształtowano między innymi sztuczne sklepienia, kopuły, łuki, nawet o znacznych rozpiętościach. Wyprawa cementowa, często z dodatkiem grubszego kruszywa, narzucana na siatki, miała grubość do 5 cm. Po związaniu zaprawy, wykonane tą technologią sztuczne sklepienia, zachowują się pod względem statycznym jak powłoki.

Technologia wykonywania sklepień sposobem „Rabitz” była szczególnie modna na początku XX w. Stosowano ją przy wykańczaniu wnętrz w reprezentacyjnych obiektach. Część z nich zachowało się do dziś na terenie kraju i za granicą.

W artykule na przykładzie badań kilku zabytkowych obiektów przedstawiono stan zachowania tych konstrukcji po ponad stu latach ich eksploatacji. Opisano przypadki uszkodzeń i awarii sklepień, zwrócono uwagę na zagrożenia mogące wystąpić podczas ich użytkowania.

## 2. Pałac Schoena w Sosnowcu

Budowę rezydencji rodziny sosnowieckiego przemysłowca Schoena zakończono w 1903 r. Pałac w eklektycznym stylu z neogotycką wieżą, wpisany do rejestru zabytków, pełni obecnie funkcję Sądu Rejonowego w Sosnowcu [3] (rys. 2 i 3). W dużym centralnym holu z galeriami i klatką schodową i w dawnej sali balowej zastosowano sklepienia „Rabitz”, podwieszane do drewnianych stropów i oparte obwodowo na ścianach. Widoki wnętrza ze sklepieniami przedstawiono na rys. 4 i 5. Sklepienia formowano z prętów stalowych o średnicy 10 i 12 mm, w rozstawach co około 30 cm, pomiędzy którymi montowano siatki z drutu i całość tynkowano zaprawą cementową o grubości około 40 ÷ 60 mm. Konstrukcję sklepień podwieszano do drewnianych i stalowych belek stropowych dru-



Rys. 2. Widok elewacji południowo-zachodniej  
Fig. 2. View of the North-West side

to the ceiling or rafter framing units with wires. Among other things, the artificial vaults, domes and arches were shaped in this way, even those of considerable span. Cement plaster, often with addition of coarser aggregate, applied on the meshes was up to 5 cm in thickness. After the plaster has set, the artificial vaults made using this technology will behave like shells regarding their statics.

The peak of popularity for ‘Rabitz’ vaults was at the beginning of the 20<sup>th</sup> century. It was applied for finishing off the interiors of stately buildings. Some of these interiors have survived till this day both in Poland and abroad.

In this report we discuss the condition of these structures after over a hundred years of use based on the results of investigation of several historic objects. The study shows the cases of damaged and collapsed vaults, pointing out the hazards that may occur while they are used.

## 2. Schoen's Palace in Sosnowiec

The family residence of the local industrialist by the name of Schoen was completed in 1903. At present, this eclectic palace with a neo-gothic tower, which has been entered in the national register of historic monuments, is the seat of the District Court in Sosnowiec [3] (fig. 2 and 3). We can find Rabitz type vaults suspended under wooden ceilings and supported on perimeter walls in the large central hall with galleries and a staircase and in the former ballroom. The views of the interior vaults have been presented in fig. 4 and 5. The vaults were made of steel rods of 10 and 12 mm in diameter, placed at 30 cm intervals, between which wire meshes were fitted in and the whole surface was covered with a layer of cement mortar of about 40 ÷ 60 mm in thickness. The vaults were suspended under wooden and steel ceiling beams



Rys. 3. Widok elewacji północnej  
Fig. 3. North facade



Rys. 4. Plafon w sali balowej  
Fig. 4. Plafond in the ballroom



Rys. 5. Hol centralny  
Fig. 5. The central hall



Rys. 6. Podwieszenie sklepień do belek stropowych  
Fig. 6. Suspension of the vault on the floor beam



tami o średnicy 4 do 6 mm. Widoki podwieszeń przedstawiono na rys. 6.

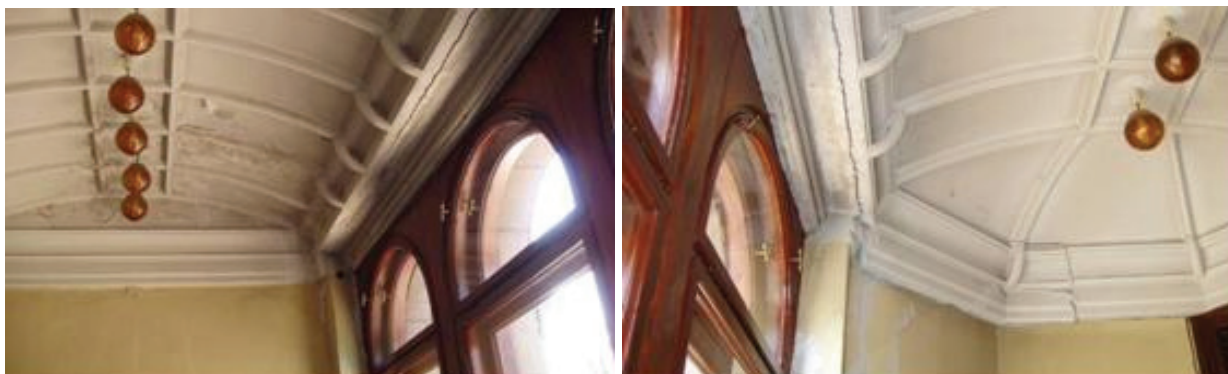
Na podstawie przeprowadzonych oględzin i odkrywek stwierdzono ogólnie dobry stan zachowania konstrukcji sklepień. Większość prętów podwieszających była luźna co świadczy, że sklepienia pracują jak powłoki i przekazują obciążenia na ściany obwodowe.

W jednym wypadku, sklepienia kolebkowego odcinkowego o rozpiętości około 3,2 m i długości 5,8 m, usytuowanego pod wyżej położonym tarasem nastąpiło nagłe zawalenie się całego sklepienia. Sklepienie to wcześniej wykazywało już, stopniowo powiększające się, spękania wzdłuż oparcia na ścianie zewnętrznej i zawilgocenia od strony nieszczelnego tarasu (rys. 7). Po zawaleniu się sklepienia stwierdzono, że przed kilku laty wykonywano remont tarasu, podczas którego wymieniano skorodowane belki stopowe. Podczas tej wymiany usunięto część wieżaków, a pozostałe nie utrzymały ciężaru sklepienia, które było dodatkowo obciążone grubymi warstwami wypraw gipsowych. Poza tym od strony wnętrza budynku sklepienie na całej długości opierało się na lekkiej ażurowej ścianie, która

with the help of wires of 4 to 6 mm in diameter. Fig. 6 shows the views of suspended structures.

On the basis of visual inspection and opening strips, the structure of vaults was generally found to be in good condition. Majority of suspending rods were loose, confirming that the vaults worked as shells and passed the loads onto the perimeter walls.

In the case of a segmental barrel vault of about 3.2 m in span and 5.8 m in length situated under a terrace, there occurred a sudden collapse of the whole vault. The vault had earlier shown gradually growing cracks along the support on the external wall and dampness from the side of the leaky terrace (fig. 7). After the collapse it was found that the terrace had been repaired several years earlier, and the corroded floor joists were replaced. Some suspension members were removed, and the remaining ones could not bear the weight of the vault, which was additionally loaded with thick layers of plaster mortar. Moreover, inside the building the vault was supported at its whole length by a light open-work wall which was unable to transfer the stretching forces – in that



Rys. 7. Sklepienie przed awarią  
Fig. 7. The vault before the failure



Rys. 8. Widoki zawalonego sklepienia  
Fig. 8. View of the collapsed vault

nie była w stanie przenieść sił rozporowych – w tym wypadku ciężar sklepienia prawie w całości przekazany był na wieszaki, których część usunięto podczas wspomnianego remontu. Widok zawalonego sklepienia „Rabitz” przedstawiono na rys. 8.

case the weight of the vault was almost entirely transferred onto the suspension members (some of them had been removed during the above mentioned repairs). Fig. 8 shows the view of the collapsed ‘Rabitz’ vault.

### 3. Kościół w Biertułtowach

### 3. The church in Biertułtowy

Kościół w Biertułtowach koło Rybnika wzniesiono w latach 1926 – 1928. Jest to obiekt trójnawowy z transeptem, w którym sklepienia w całości wykonano w postaci sklepień „Rabitz”, podwieszonych do konstrukcji więźby dachowej i opartych na ścianach zewnętrznych oraz filarach między nawami. Nawy kościoła mają długość 43 m, szerokości naw wynoszą – środkowa 11 m, boczne – 4,4 m. Wymiary transeptu wynoszą 32,5 × 21 m. Widok kościoła, wnętrza i sklepień „Rabitz” od strony strychów przedstawiono na rys. 9.

The church in Biertułtowy near Rybnik was built in 1926 – 1928. It is a three-nave structure with a transept, in which all the vaults are the ‘Rabitz’ vaults: suspended under the rafter framing and leaning on the external walls and pillars between the naves. The length of the naves is 43 meters, while the width of the main nave and side aisles are 11 and 4.4 m respectively. Dimensions of the transept are 32.5 × 21 m. Fig. 9 shows the view of the church, the interior and the ‘Rabitz’ vaults seen from the attics.

Betonowe sklepienia „Rabitz” tworzą przenikające się powłoki walcowe o średniej grubości około 6,5 cm. Szkielet sklepień stanowią gładkie pręty zbrojeniowe. Na podstawie archiwalnej dokumentacji z 1926 r. i odkrywek ustalono, że średnica głównych prętów szkieletu wynosi od 15 do 25 mm. Na głównych prętach szkieletu rozłożono

Concrete Rabitz vaults form interpenetrating cylindrical shells of average thickness about 6.5 cm. Smooth reinforcing bars make up the skeleton of the vaults. On the basis of the archival documentation from 1926 and the opening strips it was established that the diameter of the main rods of the skeleton was 15 to 25 mm. Rods of smaller diameter





a)



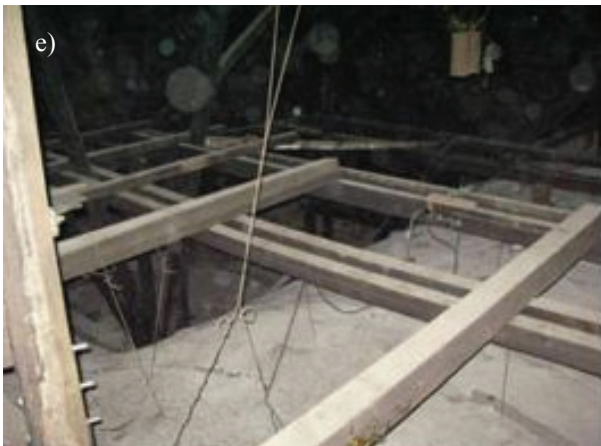
b)



c)



d)



e)

Rys. 9. Budynek kościoła a) widok ogólny, b) wnętrze, c) więźba dachowa, d) fragment sklepienia „Rabitz” nad nawą główną, e) ruszt drewniany nad sklepieniem w rejonie przecięcia powłoki nawy głównej i transeptu

Fig. 9. Church building a) general view, b) inside view, c) rafter framing, d) fragment of the Rabitz vault over the nave and the transept, e) wooden grillage over the vault in the area of the nave and the transept layer intersection

rozłożono pręty o mniejszych średnicach i siatkę „Rabitz”. Sklepienia mają przekrój zbliżony do kołowego. Co ok. 4,7 m w sklepieniach wykształcono żebra przez obniżenie sklepień, zachowując grubość powłoki 5 ÷ 8 cm. Siatkę zbrojenia sklepienia stabilizowano stalowymi wieszakami o średnicy 6 mm, zawieszonymi na drewnianej konstrukcji więźby. W środkowej części bryły kościoła powłoka walcowa nawy głównej i transeptu prze-

and Rabitz mesh were spread over the main rods of the skeleton. The vaults' cross-section is close to circular. Approximately every 4.7 m, in the vaults there were fins shaped out by lowering the vaults, still maintaining the thickness of the shell 5 ÷ 8 cm. The mesh of the reinforcing of the vault was stabilized with steel suspension members of 6 mm in diameter, suspended on the wooden structure of rafter framing. In the central part of the church

nikają się. Kościół przez kilka lat podlegał wpływom eksploatacji górniczej pobliskiej kopalni węgla kamiennego.

W trakcie oględzin konstrukcji stwierdzono wyraźną deformację sklepienia w strefie przenikania się walcowych powłok nawy głównej i transeptu. Wyniki pomiaru deformacji, wzdłuż przekątnej przenikania się powłok, przedstawiono na rys. 10. Maksymalna wartość obniżenia powierzchni w stosunku do stanu projektowego wynosi około 120 mm. W strefie obniżenia stalowe wieszaki są wyraźnie napięte, a belki drewniane rusztu więźby pod sygnaturką, do których podwieszono sklepienie, znacznie ugięte. Przyczyną deformacji sklepienia mogły być błędy popełnione w trakcie wznoszenia, a także wpływy wstrząsów górniczych.

W celu sprawdzenia wpływu występujących deformacji powłoki na stan jej wyężenia przeprowadzono analizę statyczno-wytrzymałościową. Wyniki obliczeń w postaci wykresów momentów zginających oraz sił osiowych przedstawiono na rys. 11 i 12. W obliczeniach wykazano nieznaczny (około 10%) wzrost sił wewnętrznych w zdeformowanej powłoce w stosunku do sił w powłoce bez deformacji. Ze względu jednak na wpływy wstrząsów górniczych zalecono wzmocnienie drewnianych belek rusztu pod sygnaturką i dodatkowe podwieszenie powłoki do konstrukcji więźby. Zalecono także naprawę przez iniekcję występujących zarysowań i naklejenie nad rysami na górną powierzchnię sklepień mat z włókien węglowych.

#### 4. Kościół w Czuchowie

Parafialny kościół w Czuchowie koło Rybnika wzniesiono w 1926 r. Kościół wybudowano na planie krzyża, jako jednonawowy z transeptem i prezbiterium, przekrytymi betonowymi sklepieniami

structure, the cylindrical shell of the main nave and the transept interpenetrate each other. For several years, the church had been subjected to the influence of the mining works in the nearby coal mine.

During the visual inspection of the structure, a visible vault deformation was found in the zone of interpenetration of the main nave cylindrical shells and the transept. Fig. 10 shows the results of the deformation measurement along the diagonal of the interpenetrating shells.

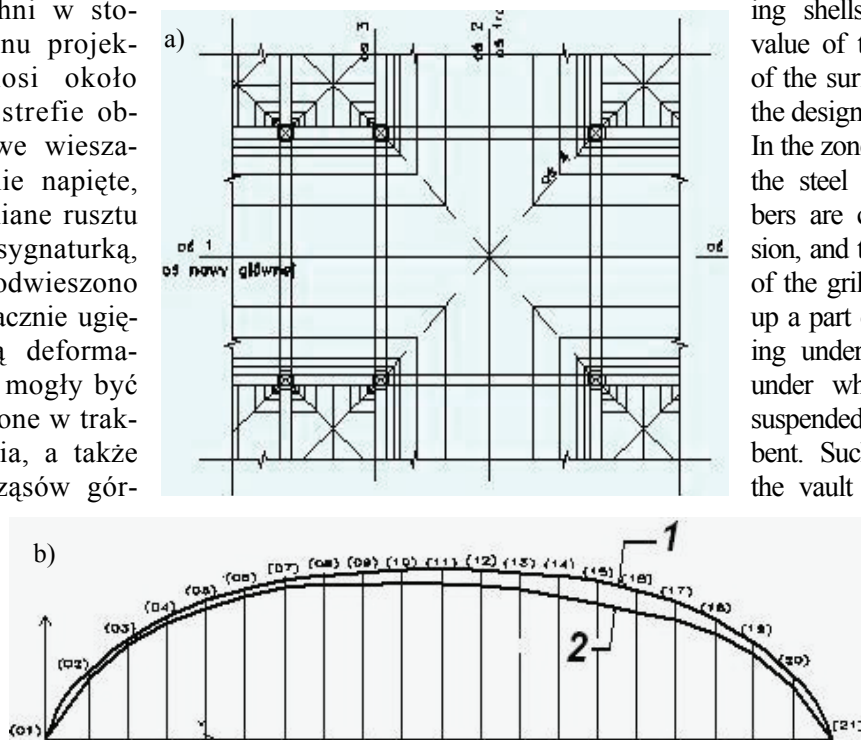
The maximum value of the sagging down of the surface in relation to the design is about 120 mm. In the zone of sagging down the steel suspension members are clearly under tension, and the wooden beams of the grillage, which make up a part of the rafter framing under the little belfry, under which the vault is suspended, are considerably bent. Such deformation of the vault could have been due to mistakes committed when raising the building and also due to the effects of mining originated shocks.

In order to check the influence of the deformations

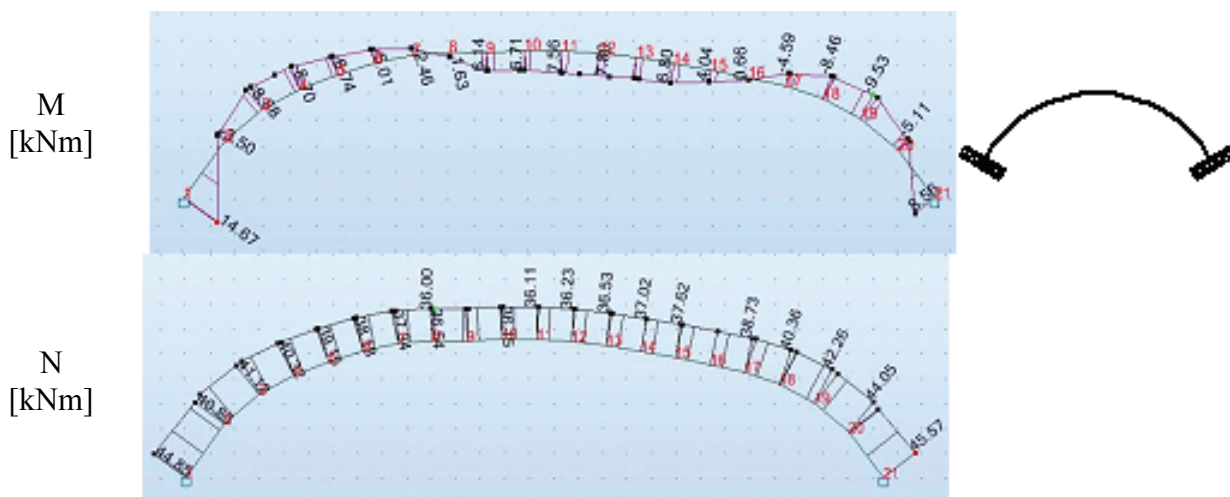
occurring in the shell on the state of stresses thereof there was carried out a static strength analysis. Figures 11 and 12 shows the results of calculations in the form of graphs of bending moments and axial forces. The calculations showed insignificant (about 10%) growth of internal forces in the deformed shell in relation to the forces in the shell that was not deformed. Regarding the influence of mining originated shocks it was recommended to strengthen the wooden beams of the grillage under the little belfry and additional suspending the shell to the rafter framing. It was also recommended to carry out a repair by injection in the occurring scratches and gluing carbon fiber mats on, over the scratches on the upper surface of the vaults.

#### 4. The church in Czuchów

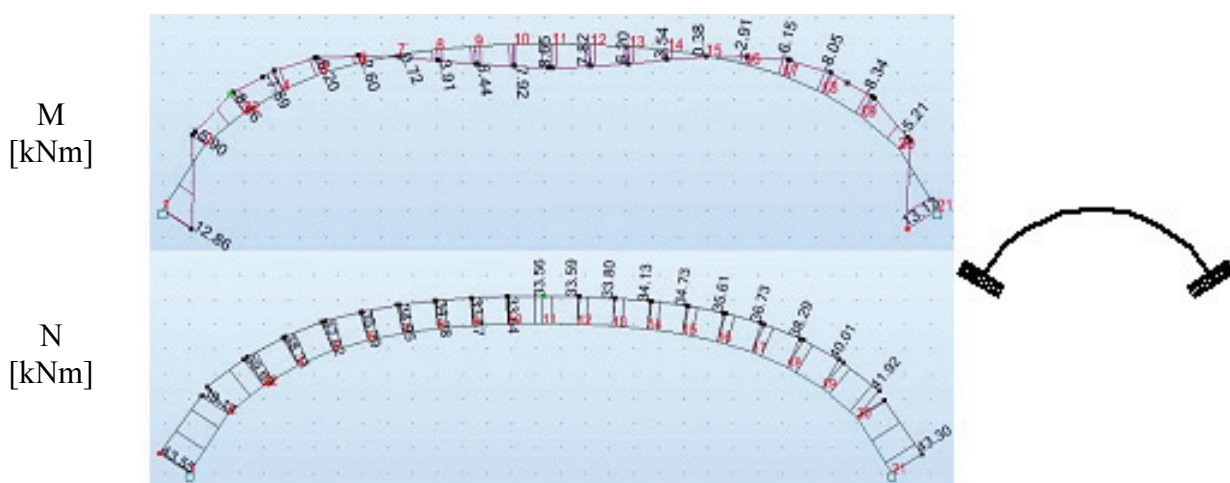
The parish church in Czuchów near Rybnik was raised in 1926. The church was built on the cross-shaped ground-plan, with a single nave with



Rys. 10. Pomiar deformacji sklepienia: a) rzut w miejscu przecinania się powłok nawy i transeptu, b) wyniki pomiaru: 1 – stan projektowy, 2 – stan istniejący  
Fig. 10. Vault deformation measurement: a) projection in the area of the nave and transept layer intersection, b) results of the measurement: 1 – design state, 2 – existing state



Rys. 11. Siły wewnętrzne w powłoce zdeformowanej  
 Fig. 11. Internal forces in the deformed layer



Rys. 12. Siły wewnętrzne w powłoce nie zdeformowanej  
 Fig. 12. Internal forces in the non-deformed layer

„Rabitz”, podwieszonymi do konstrukcji więźby dachowej. Kościół jest nie podpiwniczony z wyjątkiem części pod prezbiterium. Nad wejściem głównym wzniesiono podwójną murowaną wieżę o kwadratowych przekrojach. Przekrycie kościoła stanowi drewniana więźba dachowa, pokryta dachówką ceramiczną. Na rys. 13 przedstawiono widok kościoła, fragment wnętrza i sklepienia „Rabitz” a na rys. 14 i 15 przekroje, na podstawie archiwalnej dokumentacji budowlanej. Konstrukcja sklepień jest podobna do opisanych wcześniej w kościele w Biertułtowach.

W rejonie kościoła prowadzona była intensywna eksploatacja górnicza (III kategoria). Pomimo zabezpieczeń budynku żelbetową opaską w poziomie fundamentów i stalowymi ściągamami w poziomie dachu, wystąpiły uszkodzenia murów i sklepień w postaci zarysowań oraz pęknięć. Nie stwierdzono jednak zauważalnych deformacji sklepień „Rabitz”. Większość stalowych wieśszaków była luźna, co świadczy o powłokowej pracy sklepień. W ramach usunięcia szkód zalecono

a transept and a presbytery, covered with concrete Rabitz vaults suspended under the rafter framing. The church has got no underground basement except for the part under the presbytery. A double brick tower of square intersection was raised over the main entrance. The roof of the church is made as wooden rafter framing, covered with ceramic tiles. Fig. 13 shows the view of the church, the fragment of the interior and the Rabitz vaults, while figures 14 and 15 show the cross-sections on the basis of archival building documentation. The vaults structure is similar to the one in the Biertułtowy church described above.

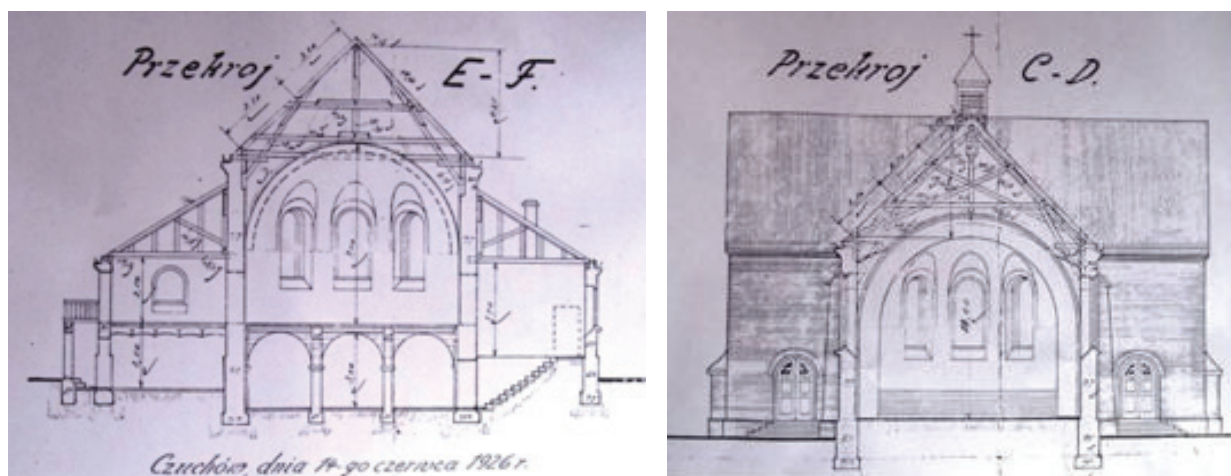
Intensive mining activities (3<sup>rd</sup> category) were carried out in the area near the church. Even though the building was protected with a reinforced concrete finish casing and steel bowstrings at the level of the foundations and the roof respectively, the damages of the walls and vaults such as scratches and cracks have occurred. However, no perceptible deformations of Rabitz vaults have been noticed. The majority of steel suspension members were loose, which proves the shell-type work of the vaults. To redeem

naprawę spękań zaprawami PCC i lokalne wzmocnienia powłoki matami z włókien węglowych.

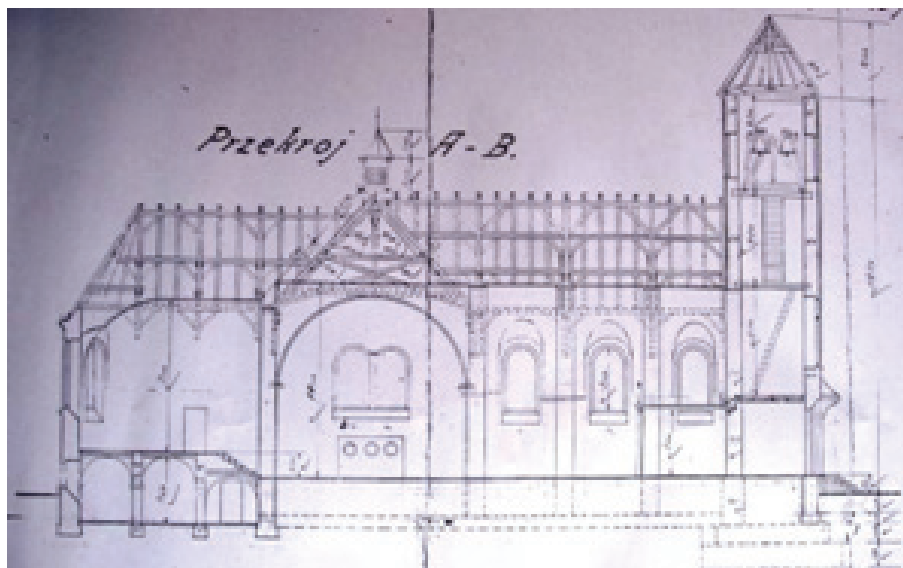
the damages it was recommended to repair the cracks with PCC mortar and perform the local reinforcing of the shell with carbon fiber mats.



Rys. 13. Budynek kościoła: a) elewacja frontowa, b) wnętrze, c) sklepienie „Rabitz”, d) szczegół podwieszenia  
 Fig. 13. Church building: a) frontage facade, b) inside view, c) Rabitz vault, d) detail of the suspension



Rys. 14. Przekroje poprzeczne na podstawie dokumentacji archiwalnej  
 Fig. 14. Cross-sections on the basis of archive technical documentation



Rys. 15. Przekrój podłużny  
Fig. 15. Longitudinal section

## 5. Podsumowanie

Konstrukcje sklepień „Rabitz”, po około 100-letnim okresie eksploatacji, zachowały się w zadowalającym technicznym stanie, nawet w obiektach usytuowanych w zasięgu intensywnych wpływów górniczych – deformacje ciągłe i wstrząsy. Sklepienia, mające stabilne podparcie na ścianach zewnętrznych, pracują jak samonośne powłoki, a podwieszenia, pochodzące z czasu wykonywania konstrukcji, w zasadzie są zbędne i pełnią wyłącznie rolę dodatkowej asekuracji. Uszkodzenia sklepień w postaci zarysowań i pęknięć można naprawiać metodami iniekcji i wzmacniać matami z włókien węglowych, naklejanych najczęściej na górną powierzchnię betonowych powłok.

## 5. Summary

After about 100 years of use, the technical condition of Rabitz vault structures is still satisfactory, even in the objects situated in the area of intensive mining activities resulting in continuous deformations and shocks. Having stable support on the external walls, the vaults work as self-supporting shells, and the suspending elements, dating back to the time when the structure was made, are basically superfluous and provide only additional security. The damages of vaults in the form of scratches and cracks can be repaired by injection and strengthening with carbon fiber mats, most often glued on the upper surface of the concrete shells.

## Literatura • References

- [1] Mączyński Z., *Poradnik budowlany dla architektów*, Budownictwo i Architektura, Warszawa 1954.
- [2] Strona internetowa, [www.stuck-schuster.de/produkte/rabitz/html](http://www.stuck-schuster.de/produkte/rabitz/html)
- [3] Jasiński R., Pająk Z., Sękowski J., *Uszkodzenia i sposób renowacji zabytkowego budynku Sądu w Sosnowcu*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej 82, Seria: Konferencje, 31, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, s. 121-128.

---

\* Politechnika Śląska, Gliwice, Polska  
Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

## Streszczenie

W artykule została przedstawiona analiza stanu betonowego sklepienia typu Rabitz w monumentalnych budynkach. Struktura sklepienia, istniejące uszkodzenia i wzmocnienie Pałacu Schoena w Sosnowcu i kościołach w Bietułowach i w Czuchowie koło Rybnika zostały opisane jako przykłady. Wykazano, że około 100-letnie konstrukcje są w dobrym stanie i że mogą one nadal być użytkowane.

## Abstract

In the paper the analysis of the concrete Rabitz vault condition in the monumental buildings are presented. To exemplify the structure of the vault, existing damage and strengthening the Schoen Palace in Sosnowiec and the churches: in Bietułow and in Czuchow near Rybnik are described. It is shown that the about 100 years old structures are in a good condition and they can be still used.

Mieczysław Kamiński\*

Michał Musiał\*

## Badania i koncepcja modernizacji schronu przy Dworcu Głównym PKP we Wrocławiu

## Studies and the conception of modernization of the bunker by Wrocław Railway Station

### 1. Wstęp

Modernizacja Dworca Głównego PKP we Wrocławiu, wymuszona zbliżającymi się Mistrzostwami Europy w piłce nożnej w 2012, obejmuje m.in. remont zabytkowego budynku dworca, peronów, wiat, placu przed obiektem oraz budowę jednopoziomowego parkingu podziemnego. Koszt całej inwestycji szacuje się na około 200 mln złotych.

Przedmiotem opracowania jest schron, zagłębiony w gruncie, znajdujący się pod placem od frontu dworca. Koncepcja modernizacji zakłada w tym miejscu wybudowanie parkingu podziemnego. Lokalizacja schronu częściowo pokrywa się z lokalizacją parkingu, stąd pomysł pozostawienia płyty fundamentowej bunkra pod nowo budowanym parkingiem. Plan sytuacyjny zamieszczono na rysunku 1.

### 2. Rys historyczny obiektu

Dworzec Główny we Wrocławiu jest jedną z najstarszych tego typu budowli w Polsce. Wybudowano go w stylu neogotyckim na przestrzeni lat 1855-1857 [1]. Na przełomie XIX i XX wieku dworzec rozbudowano. Było to następstwem prężnego rozwoju kolei oraz podłączeniem nowych miast do tzw. trasy wrocławskiej.

W niezmienionej formie dworzec pozostawał do II wojny światowej. Kolejna modernizacja poddyktowana była względami strategicznymi. Wrocław znajdował się bowiem na trasie biegnącej do

### 1. Introduction

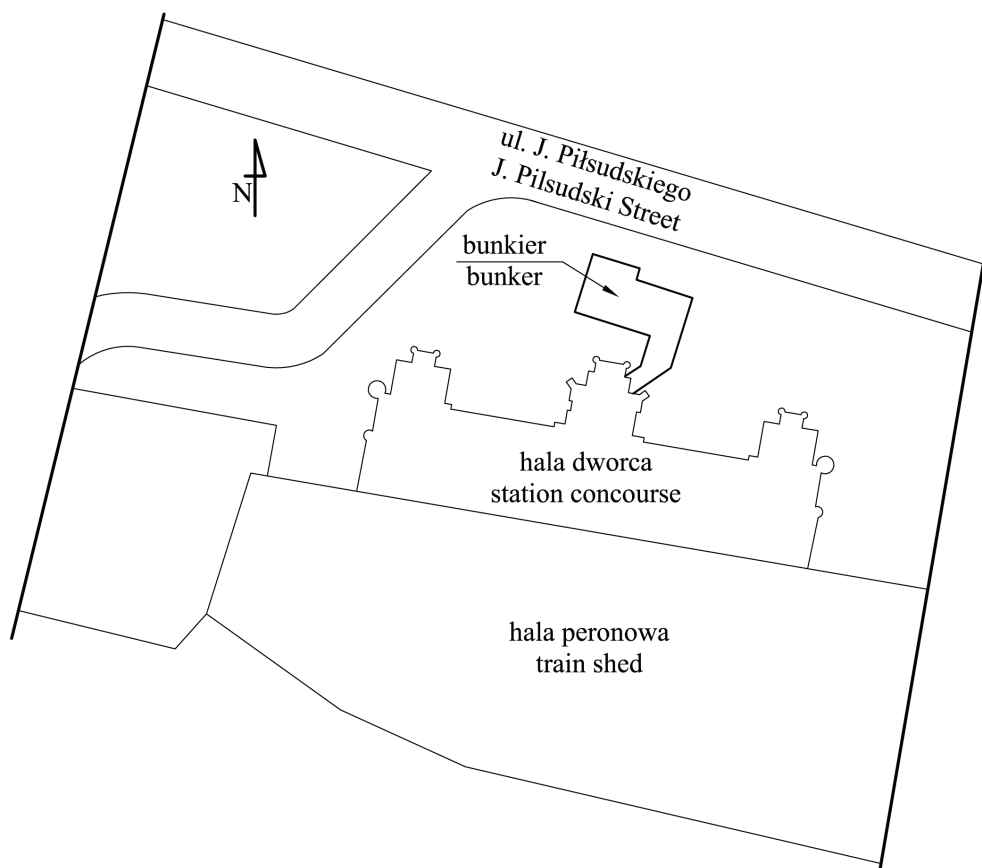
Modernization of Wrocław Railway Station, which is necessary because of the European Football Championship in 2012, includes among others renovation of the historical building of the Railway Station, its platforms and sheds as well as the square in front of the Station and construction of a one-level underground car-park. The cost of the whole investment is estimated at about PLN 200 million.

The paper concerns the underground bunker located under the square in front of the Station. The conception of modernization includes construction of underground car-park in this place. The location of the bunker and the location of the car-park partly overlap and that is why the idea came up to leave the foundation slab of the bunker for the newly-built car-park. Fig. 1 shows the location plan.

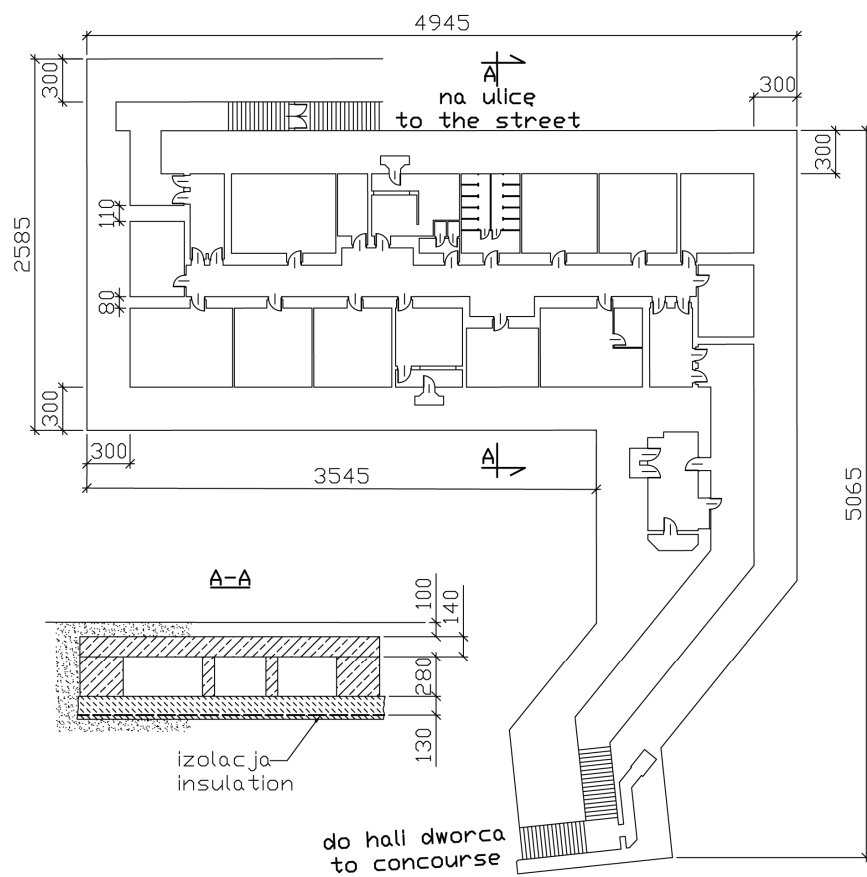
### 2. Outline history of the object

Wrocław Railway Station is one of the oldest buildings of this type in Poland. It was built in Neo-Gothic style in the years 1855-1857 [1]. At the turn of the 19th and 20th centuries the Station was extended. This was the result of great development of railways and connecting new cities into so called Wrocław Route.

The Station virtually did not change its form until World War II. The station was later modernized for strategic purposes as Wrocław was located on the way to Berlin. The extension of the underground



Rys. 1. Plan sytuacyjny  
Fig. 1. Location plan



Rys. 2. Rzut bunkra [cm]  
Fig. 2. View of the bunker [cm]



Berlina. Rozwinięto wówczas podziemia dworca – wykonano betonowe schrony przeciwlotnicze, składy amunicji, żywności, tunele do podziemnego transportu. Wtedy też wybudowano schron, będący przedmiotem opracowania. Schron po wojnie zamknięto. Dopiero pod koniec XX wieku udostępniono go dla potrzeb drobnego handlu. Znajdują się tam także pomieszczenia techniczne dworca (m.in. pompownia).

### 3. Opis obiektu

Schron ma konstrukcję żelbetową. Płyta, na której posadowiony jest obiekt jest betonowa. Przeprowadzone badania nie wykazały występowania w niej zbrojenia. Pobrano z niej, do badań niszczących betonu, 6 odwiertów. Ich lokalizacje wybrano losowo i w żadnej z nich nie natrafiono na występowanie zbrojenia. Brak zbrojenia potwierdzono dodatkowo detektorem oraz miejscową odkrywką. Kontrolnie przebadano detektorem także ściany bunkra. Badania wykazały regularną siatkę zbrojenia pionowego i poziomego.

Stan techniczny konstrukcji nie budził zastrzeżeń. Wykonane oględziny nie wykazały niepokojących rys i spękań. Na uwagę zasługiwało jedynie znaczne zawilgocenie, a nawet zalanie niektórych pomieszczeń. Zdaniem autorów wynikało ono z przerwania ciągłości izolacji poziomej przy pobieraniu odwiertów. Zaślepienie otworów rozprężnymi korkami oraz zaczynem cementowym lub staranność ich wykonania okazały się zatem niewystarczające.

### 4. Koncepcja modernizacji placu przed budynkiem dworca

Koncepcja modernizacji obejmuje budowę podziemnego parkingu przed budynkiem dworca. Lokalizacja projektowanego parkingu pokrywa się z istniejącym bunkrem (rys. 3). W związku z tym zaproponowano, aby pozostawić płytę schronu i na niej posadowić parking.

Początkowo płyta fundamentowa bunkra miała być częścią płyty jezdnej podziemnego parkingu. Inwentaryzacja geodezyjna wykazała jednak znaczną różnicę poziomów. Płyta fundamentowa schronu jest niżej od poziomu posadzki projektowanego parkingu o około 1,30 m. Postanowiono zatem określić stan techniczny płyty fundamentowej i rozważyć możliwość pozostawienia jej pod płytą fundamentową parkingu. Pozwoliłoby to uniknąć potrzeby rozkruszenia i wywiezienia gruzu betonowego o objętości około 2500 m<sup>3</sup>.

structure of the Station included construction of concrete air-raid shelters, ammunition bunkers, food storage facilities and tunnels for underground transport. The bunker, which is the object of this study, was also built then. It was closed after the War. Only at the end of the 20th century was it made available for small commerce. It also houses technical facilities of the Station (e.g. pump station.)

### 3. Description of the building

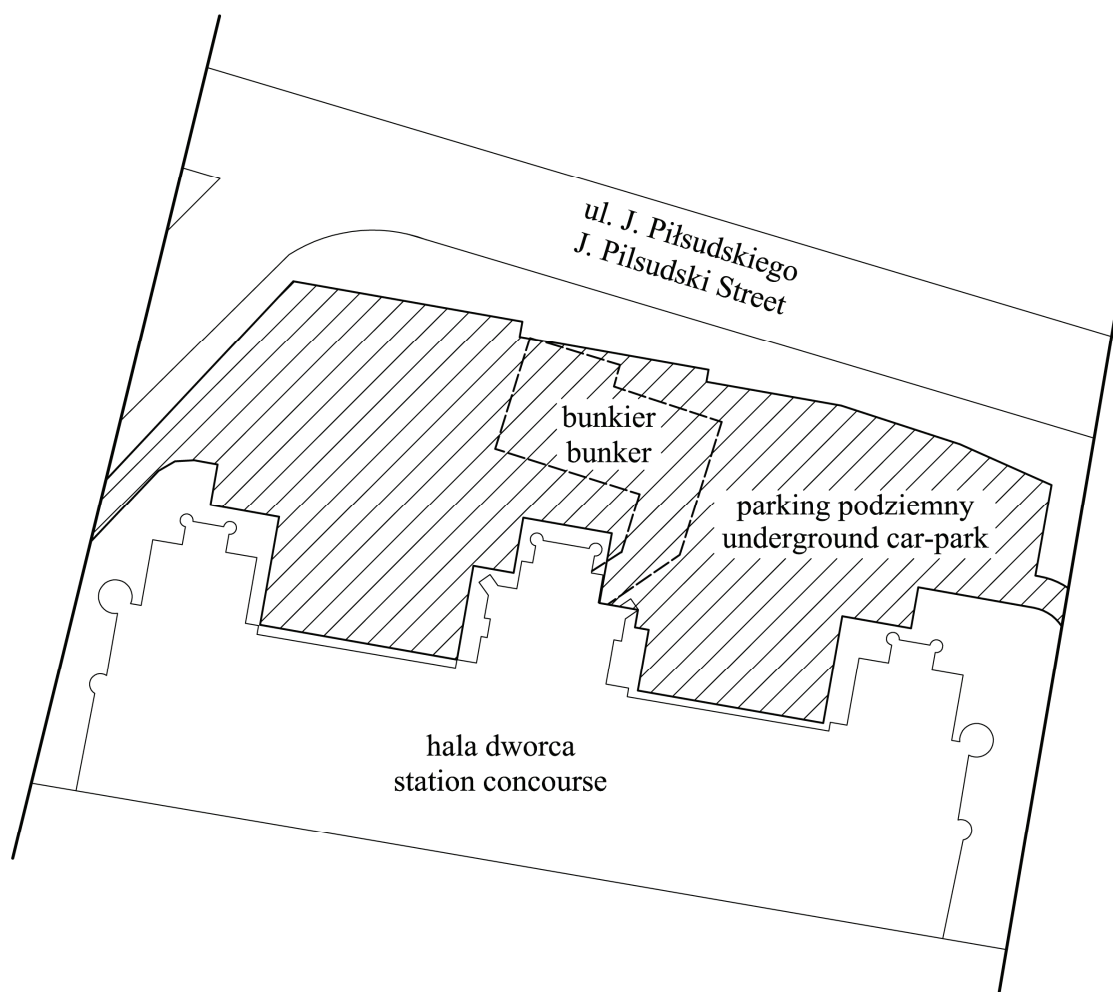
The bunker has a reinforced concrete structure. The foundation of the structure is a concrete slab. The survey which was conducted did not demonstrate any reinforcement in it, 6 bores were made in the slab to take concrete specimens for destructive tests. Their locations were selected at random and none of them indicated the presence of reinforcement. The lack of reinforcement was additionally confirmed with the use of detector and local test pit. The walls of the bunker were also inspected. The survey indicated a regular vertical and horizontal reinforcing mesh.

There are no reservations to the technical condition of the structure. Its inspection did not show any disturbing scratches or cracks. It is worth noting, however, that the level of moisture is high and some rooms are even flooded. In the opinion of the authors it was caused by breaking the horizontal insulation when making bores to take test specimens. Precise sealing of the bores with expansion plugs and cement paste proved insufficient.

### 4. Conception of modernization of the square in front of the Station building

The conception of modernization covers the construction of underground car-park in front of the Station building. The location of the car-park and the location of the existing bunker overlap (fig. 3.) Consequently, it was suggested that the slab of the bunker be used as a foundation for the car-park.

At first the foundation slab of the bunker was supposed to be a part of the underground car-park driveway. The geodetic survey demonstrated, however, a significant difference of levels. The foundation slab of the bunker is about 1.30 m lower than the level of the car-park floor. It was decided then to evaluate the technical condition of the foundation slab and consider the possibility of using it under the car-park foundation slab. It would eliminate the need to crush it and remove about 2500 m<sup>3</sup> of concrete rubble.



Rys. 3. Koncepcja rozbudowy  
Fig. 3. The conception of the extension

## 5. Rozbiórka obiektu

Elementem ekspertyzy było przeprowadzenie analiz pod kątem rozbiórki obiektu. Pod uwagę wzięto następujące metody:

- metoda mechaniczna z wykorzystaniem sprzętu ciężkiego – kującego, w postaci młotów hydraulicznych (masa ok. 2 ton), zamocowanych do ciężkich koparek gąsienicowych,
- metoda wybuchowa z wykorzystaniem odpowiedniego materiału wybuchowego o różnych technikach inicjowania wybuchu,
- metodę cięcia na mniejsze elementy lancami wodnymi lub plazmowymi,
- metodę cięcia na bryły tarczami diamentowymi lub linami,
- metodę kruszenia rozłupiarkami mechanicznymi,
- metodę kruszenia uwodnionymi materiałami rozprężnymi.

Metody wymienione w punktach c – f są wielokrotnie droższe niż opisane w punktach a i b oraz mało skuteczne w przypadku betonu zbrojonego. Ponadto nie są przeznaczone do konstrukcji o dużej masie, a o takiej jest mowa w opracowaniu.

## 5. Demolition of the structure

Part of the expert report was conducting analyses of the possible demolition of the structure. The following methods were taken into consideration:

- mechanical method with the use of heavy duty equipment such as hydraulic hammers (weighing about 2 tons) on heavy tracked excavators,
- explosion method with the use of appropriate explosives with different detonation initiation techniques,
- cutting into smaller sections with water and plasma lances,
- cutting into blocks with diamond disks or ropes,
- crushing with mechanical crushers,
- crushing with water expansion materials.

The methods listed in points c)-f) are much more expensive than those described in points a) and b) and they demonstrate little efficiency in the case of reinforced concrete. Furthermore, they are not proper for huge mass structures like the one in question.

Bliskie sąsiedztwo innych budynków (przeważnie podlegających ochronie) nakazało wykluczyć metodę z wykorzystaniem ciężkiego sprzętu do kucia, jako wiodącą. Uderzenia ciężkiego młota hydraulicznego powodują, narastające na skutek interferencji fal, drgania, które mogą prowadzić do rezonansu. Wibracje przenoszące się przez podłoże gruntowe mogłyby zagrozić sąsiadującym obiektom.

Najefektywniejszą metodą rozbiórki omawianego schronu wydała się być metoda wybuchowa. Wybuch ładunków powoduje impulsowe, milisekundowe obciążenie konstrukcji ciśnieniem gazów powybuchowych. Drgania pochodzące od wybuchu są silnie tłumione i nie przenoszą się na sąsiednie konstrukcje.

Eksplozja powoduje rozkruszenie tylko tej części konstrukcji, do której przyłożono ładunek materiału wybuchowego w tzw. otworze strzałowym, na zaprojektowaną głębokość i kierunek.

Do najważniejszych zalet metody wybuchowej można zaliczyć:

- brak nakładania się obciążeń dynamicznych od eksplozji ładunku (oddziaływania na burzoną konstrukcje nie zwielokrotniają się),
- wyeliminowanie rezonansu od powtarzających się obciążeń ciśnieniem gazów powybuchowych (następny ładunek uruchamiany jest dopiero po wygaśnięciu drgań pochodzących od poprzedniego wybuchu),
- krótkotrwale szkodliwe oddziaływanie na konstrukcje (szybkie narastanie i natychmiastowy spadek ciśnienia po wykonaniu pracy przez gazy powybuchowe),
- widoczny efekt po każdorazowym zdetonowaniu ładunków,
- szybkość urabiania dużych mas konstrukcji, bez skutków ubocznych dla otoczenia (przy zastosowanych zabezpieczeniach).

Proponowany sposób rozbiórki zależy tylko od projektanta i osoby realizującej wyburzenia. W przypadku metody mechanicznej natomiast, należałoby zdać się na umiejętności operatora maszyny burzącej. Zalecany sposób jest przewidywalny, ze względu na przemyślaną technologię i nie pozostawia miejsca na improwizację w czasie prac rozbiórkowych.

Ostatecznie zalecono inwestorowi przeprowadzenie rozbiórki z wykorzystaniem metody wybuchowej jako wiodącej, ze wspomaganie metodą mechaniczną. Zastosowanie tej metody oczywiście pociąga za sobą pewne zagrożenia (falę parasejsmiczną od drgań wywołanych detonacją ładunku lub upadkiem masy, oddziaływanie powietrznej fali nadciśnienia, rozrzut odłamków, zapylenie spowodowane upadkiem masy). Umiejętne przeprowadzenie procesu rozbiórki oraz zastosowa-

Due to close proximity of other buildings (mostly protected by law) the methods which use heavy duty hammering equipment as primary method had to be excluded. Hammering with heavy hydraulic hammers causes vibrations, increased by the interference of waves, which can result in resonance. The vibrations which are transferred through the ground could threaten the neighbouring buildings.

The explosion method seemed to be the most effective method of demolition of the bunker in question. The explosion causes impulse, millisecond long load of the structure with after-damp pressure. The vibrations caused by the explosion are strongly absorbed and they do not transfer to the neighbouring structures.

The explosion causes crushing of only that part of the structure in which the explosives are planted so called blast hole at specific depth and in specific direction.

The most significant benefits of the explosion method include the following:

- no accumulation of dynamic loads caused by the detonation of the explosives (impacts on the structure being demolished do not accumulate),
- elimination of the resonance from repetitive loads of after-damp (next explosive is detonated only after the vibrations caused by previous explosion die),
- short-term harmful impact on the structure (quick growth and immediate drop of pressure caused by after-damp),
- evident effect after each detonation,
- high rate of blasting huge masses of structure without side effects for the surrounding (with protection measures.)

The suggested method of demolition depends only on the designer and the person performing the demolition work. In the case of the mechanical method, however, the skills of the demolishing machine operator should be relied on. The recommended method is predictable due to its reliable technology and it does not leave any room for improvisation during demolition.

Ultimately, the explosion method of demolition was recommended to the investor as primary method and the mechanical method as a secondary one. The application of this method obviously causes some threats (the paraseismic wave from the vibrations caused by the detonation of the explosive or collapse of the mass, impact of the blast wave overpressure, spread of rubble, dust caused by the collapse of mass). Smooth conducting of the demolition process and pre-

nie odpowiednich sposobów zaradczych pozwoli jednak znacznie ograniczyć wszystkie zagrożenia.

## 6. Płyta fundamentowa bunkra

W badanej płycie fundamentowej nie stwierdzono występowania wkładek zbrojeniowych. Za podstawowe kryterium oceny przyjęto zatem klasę betonu, z jakiego wykonano obiekt.

Początkowo planowano wykonać badania niszczące przy pomocy młotka sklerometrycznego. Ze względu na masę konstrukcji oraz liczne zawilgocenia, które wykluczyły skutecznie użycie młotka postanowiono wykonać badania niszczące. W tym celu pobrano z płyty fundamentowej 6 odwiertów z losowo wybranych lokalizacji. Odwierty miały nominalną średnicę 100 mm. Z każdego odwiertu wycięto próbki o długości 100 mm [2]. Wytrzymałość na ściskanie takich próbek walcowych odpowiada w przybliżeniu wytrzymałości kostek betonowych o wymiarach 150×150×150 mm. Powierzchnie docisku próbek zakapslowano, a równomierność obciążenia zapewniono drobnym piaskiem (rys. 4).

W sumie otrzymano 32 próbki walcowe, przy czym zgodnie z [3] odrzucono próbki porowate i spękane (jeden z odwiertów wykonany był w przerwie technologicznej). Badania wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono na 29 walcach w prasie hydraulicznej typu ZD100 (rys. 5) w Akredytowanym Laboratorium Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej.



Rys. 4. Próbkę gotowe do badania  
Fig. 4. Specimens prepared for the test

Wyniki prób ściskania (wytrzymałość średnia  $f_{cm} = 50,7$  MPa, wytrzymałość minimalna  $f_{ci,min} = 22,0$  MPa, odchylenie standardowe  $\sigma = 13,4$  MPa) pozwoliły zaklasyfikować beton jako C25/30 (B30) [4], przy czym zastosowano współczynnik zwiększający  $(0,85)^{-1}$  [5], wynikający z osłabienia próbek wierceniem.

Dodatkowo na 3 próbkach sprawdzono wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu (rys. 6).

ventive measures can, however, significantly reduce all threats.

## 6. The bunker foundation slab

No reinforcement was detected in the foundation slab, so the class of concrete which was used to build the structure was assumed as the basic criterion of the evaluation.

Originally it was planned to conduct non-destructive tests with the use of sclerometric hammer. Due to the massive character of the structure and high level of moisture that excluded the effective use of the hammer it was decided to perform destructive tests. 6 bores were made in random locations in the foundation slab. The bores' nominal diameter was 100 mm. The 100 mm long specimens were cut from each bore [2]. The compression strength of the cylindrical specimens approximately corresponds to the strength of concrete blocks with the dimensions of 150×150×150 mm. The compression areas of the specimens were capped and the uniformity of the load was assured with fine sand (fig. 4).

In total 32 cylindrical specimens were obtained. In compliance with [3] porous and cracked specimens were rejected (one of the bores was made in the technological joint.) The compression strength tests were conducted on 29 rolls in the ZD100 hydraulic press (fig. 5) in the Accredited Laboratory of the Institute of Building Engineering at Wrocław University of Technology.



Rys. 5. Próba ściskania  
Fig. 5. Compression test

The results of the compression tests (mean strength  $f_{cm} = 50.7$  MPa, minimum strength  $f_{ci,min} = 22.0$  MPa, standard deviation  $\sigma = 13.4$  MPa) allowed for the classification of concrete as C25/30 (B30) [4]. The increase ratio of  $(0.85)^{-1}$  [5], which results from the weakening of the specimens with drilling, was applied.

Additionally, 3 specimens were tested for tensile strength by splitting (fig. 6). The results

Rezultaty (wytrzymałość średnia  $f_{ctm} = 4,00$  MPa, wytrzymałość minimalna  $f_{cti,min} = 3,15$  MPa) potwierdziły przynależność badanego betonu do klasy C25/30.

Wyniki charakteryzowały się dużym rozrzutem, co było szczególnie widoczne przy próbach ściskania (współczynnik zmienności około 25%). Najprawdopodobniej jest to następstwem procesu wykonawstwa. Jak już wspomniano, obiekt wykonywano w latach czterdziestych XX wieku. Można przypuszczać, że jako budowla obronna wykonywany był w szybkim tempie. Dodatkowym

aspektem jest masywny charakter obiektu, co także nie pozostało bez wpływu na rozrzut wyników.



Rys. 6. Próba rozłupywania  
Fig. 6. Split test

(mean strength  $f_{ctm} = 4.00$  MPa, minimum strength  $f_{cti,min} = 3.15$  MPa) confirmed that the concrete belonged to class C25/30.

The results demonstrated huge inconsistency, which was especially evident in compression tests (inconsistency rate of about 25%.) Most probably this is the result of workmanship level. As already mentioned the structure was built in the 1940s. It can be presumed that as a defence structure it was erected quickly. Additionally, it is massive,

which also had some influence on the inconsistency of the results.

## 7. Wnioski

Ogólny stan konstrukcji określono jako dobry. Wstępne analizy dopuszczały pozostawienie płyty fundamentowej bunkra pod konstrukcją nowoprojektowanego parkingu. Ze względu na różnice poziomów zalecono posadwienie nowej płyty nad starą na podbudowie z piasku stabilizowanego cementem. Jako rozwiązanie alternatywne zaproponowano wykonanie żelbetowej konstrukcji kasetonowej – płyty jedno- lub dwukierunkowo zbrojonej opartej na układzie żeber – belek podwalinowych, ułożonych na istniejącej płycie bunkra.

Ogledziny obiektu wykazały występowanie wody gruntowej pod ciśnieniem. Wykonane odwierty naruszyły izolację poziomą płyty bunkra, co spowodowało sączenie się wody lub nawet zalanie niektórych pomieszczeń. Zalecono zatem staranne zabezpieczenie płyty parkingu przed wpływami wody gruntowej.

Konieczne będzie wykonanie dylatacji między płytą denną nowego parkingu, wykonaną nad istniejącą płytą bunkra, od projektowanej pozostałej płyty parkingu. Projektowana dylatacja powinna zapewnić równomierność osiadań obu konstrukcji oraz wodoszczelność.

Należy jednocześnie pamiętać, że dopiero szczegółowe obliczenia statyczne, uwzględniające interakcję budowli z gruntem, pozwolą jednoznacznie osądzić czy nie należałoby rozważyć wariantu rozbiórki całego schronu, łącznie z istniejącą płytą denną dla pewniejszego wyeliminowania nierównomierności osiadań.

## 7. Conclusions

The general condition of the structure was defined as good. The preliminary analyses did not rule out leaving the bunker foundation slab under the structure of the new car-park. Due to the difference of levels placing a new slab above the old one on the course of sand stabilized with cement was recommended. As an alternative solution a reinforced concrete panel construction was suggested – a slab reinforced unidirectionally or crosswise with ribs – ground beams placed on the existing bunker slab.

The inspection of the structure indicated the presence of ground water under pressure. Drilling of the bores caused some damage to the horizontal insulation of the bunker slab, which in turn caused the leakage of water or even flooding some rooms. A careful protection of the bunker slab against the effects of ground water was then recommended.

It will be necessary to design an expansion joint between the foundation slab of the new car-park, made above the existing bunker slab, and the remaining slab of the car-park. The expansion joint should provide for the uniform settlement of both structures and water tightness.

At the same time it should be remembered that only with static detailed calculations, taking into account the interaction between the structure and the ground, will it be possible to unambiguously determine whether it would be worth considering the variant of demolition of the whole bunker together with the existing foundation slab in order to completely eliminate the irregular settlement.

## Literatura • References

- [1] Zwierz M., *Wrocławskie dworce kolejowe*, Wydawnictwo Muzeum Architektury we Wrocławiu, Wrocław 2006.
- [2] PN-EN 12390-1:2002. *Badania betonu. Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form.*
- [3] PN-EN 12504-1:2001. *Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Odwierty rdzeniowe. Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.*
- [4] Jamrozy Z., *Beton i jego technologie*, PWN, Warszawa 2006.
- [5] *Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz*, praca zbiorowa pod kierunkiem Lecha Czarneckiego, Polski Komitet Normalizacyjny, Kraków 2004.

---

\* Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

---

## Streszczenie

Niniejsza praca dotyczy podziemnego bunkra zbudowanego podczas II wojny światowej przy Dworcu Głównym PKP we Wrocławiu. Obejmuje ona opis stanu technicznego budowli wykonany w oparciu o badania eksperymentalne na miejscu oraz laboratoryjne. Przedstawiono koncepcję modernizacji bunkra jak również możliwości wybudowania parkingu podziemnego w miejscu bunkra. Autorzy zaprezentowali metody rozbiórki obiektu oraz wnioski.

## Abstract

The paper regards the underground bunker built during the Second World War by Wrocław Railway Station. It contains the description of the technical condition of the structure based on the experimental studies in-situ and in the laboratory. The conception of the modernization is also presented. The possibilities of construction of underground car-park in the place of the bunker are considered. The authors present methods of demolition and conclusions.

Grzegorz Słowek\*  
Jacek Ścigallo\*

## Analiza uszkodzeń i diagnostyka konstrukcji realizowanego budynku mieszkalnego

## Damage analysis and diagnostics of the structure of a residential building under construction

### 1. Wprowadzenie

Szczególnym przypadkiem, jaki może zaistnieć na etapie realizacji konstrukcji, który ma istotny wpływ na zagrożenie awaryjne realizowanych obiektów, są sytuacje wyjątkowe.

Istotne jest tutaj ustalenie przyczyn, które doprowadziły do powstania zagrożeń oraz ocena możliwości ich skutecznego wyeliminowania. W ocenie każdej sytuacji awaryjnej bardzo ważnym zagadnieniem jest umiejętność przewidywania zachowań konstrukcji podczas jej użytkowania. Jednak nie wszyscy projektanci i eksperci, na co zwrócono w pracy [1], przywiązują dostateczną uwagę do tego, aby przewidywać przyszłe zachowanie się konstrukcji. Często ograniczają się oni tylko do określenia stanu konstrukcji w momencie ukończenia budowy. Należy jednak zauważyć, że nie da się w sposób absolutnie pewny przewidzieć zachowania się danej konstrukcji w przewidywanym okresie jej eksploatacji. Przyjęcie optymalnej decyzji, dotyczącej sposobu i zakresu wykonania naprawy, wymaga przeprowadzenia wielu analiz i ocen, szczególnie, gdy dotyczy to uszkodzeń konstrukcji obiektu, jakie zaistniały podczas realizacji inwestycji.

W referacie przedstawiono problemy związane z wystąpieniem stanu awaryjnego konstrukcji stropu żelbetowego nad garażem podziemnym, w wielorodzinnym budynku mieszkalnym, wykonywanym w wydzielonym, rewitalizowanym obszarze zabudowy miejskiej. W pracy wskazano na przyczyny powstałych zagrożeń bezpieczeństwa – błędne założenia projektowe a także błędy wykonawcze,

### 1. Introduction

Exceptional situations are a special case which may occur during a construction process and have a significant influence on a failure hazard of structures under construction.

It is an essential issue to find reasons, which led to occurring of the danger and an assessment of possibilities to eliminate them efficiently. At the assessment stage for each failure case foreseeing of a structure behaviour during its service is very important. However, not all designers and experts pay enough attention to foresee the future behaviour of structures, what was pointed out in [1]. They usually restrict themselves only to a determination of the structure state at the end of the construction process. However, it must be noticed, that the foreseeing the structure behaviour during the service stage cannot be done with an absolute certainty. Taking an optimal decision concerning methods and a scope of repair works requires several analyses and assessments, especially if it concerns damages of a structure, which occurred during its construction period.

In this paper problems related to a failure state of a structure of a reinforced concrete ceiling over a subterranean car-park in a multi-family residential house constructed in a detached revitalised zone of urban building are addressed. The reasons for a safety hazard were pointed out. They include erroneous design assumptions and construction errors, which increased damage to the structure under construction. In the final conclu-

które znaczne spotęgowały uszkodzenia realizowanej konstrukcji. We wnioskach końcowych podano zalecenia wykonawcze, uwzględniające optymalny sposób naprawy nie tylko ze względów ekonomicznych, ale także zapewniający prawidłowe i bezpieczne użytkowanie realizowanego obiektu.

## 2. Charakterystyka konstrukcyjna obiektu

Analizowany w pracy obiekt przedstawiono na rys. 1. Realizację pierwszych 2 budynków, należących do zespołu mieszkalnego obejmującego cztery pięciokondygnacyjne budynki mieszkalne, rozpoczęto w czerwcu 2007 roku. Wszystkie budynki są w pełni podpiwniczone i posiadają wspólną halę garażową z zewnętrznymi pochylniami wjazdowymi. Hala garażowa konstrukcyjnie została podzielona na trzy części połączone komunikacyjnie: dwie części zewnętrzne obejmujące swym zasięgiem po 2 budynki mieszkalne oraz 1 podwórzowa część wewnętrzna, w której zlokalizowano rampy wjazdowe (rys. 2) do hali garażowej.



Rys. 1. Wizualizacja projektowanego obiektu  
*Fig. 1. Visualization of realized building*

Ściany garażowe oraz ściany wewnętrznych trzonów komunikacyjnych zaprojektowano i częściowo już wykonano jako żelbetowe, monolityczne, grubości 0,25 m. Stropy kondygnacji nadziemnych zaprojektowano jako żelbetowe stropy monolityczne w układzie słupowo płytowym z lokalnymi podparciami liniowymi na ścianach wewnętrznych trzonów komunikacyjnych. Strop nad piwnicą/garażem (rys.3) zaprojektowano jako strop płaski o stałej grubości 0,25 m, bez jego pogrubienia w obszarach głowico-

sions some construction recommendations were given, which take into account a repair method, which is optimal not only from the economic point of view but also from the point of proper and safe service of the structure.

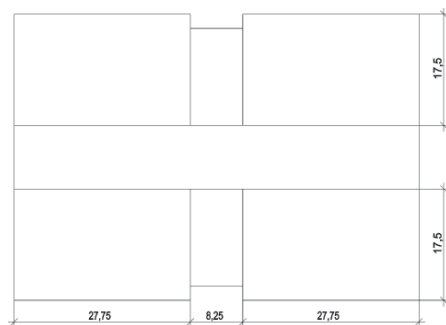
## 2. Structural description of the object

The structure analysed in this paper is presented in fig. 1. Construction of the first two buildings belonging to the set of four five-storey residential buildings commenced in June 2007. All the buildings have basements and a common car-park hall with external entry ramps. The car-park hall was structurally divided into three connected parts: two external ones with two buildings in their range and one internal courtyard part with the entry ramps (fig. 2).

Garage walls and walls of internal transport shafts were designed and partially finished as monolithic reinforced concrete ones with 0.25 m thickness. Ceilings of overground storeys were designed as reinforced concrete monolithic ones in a column-slab system with local linear supports on walls of the internal transport shafts. Ceiling over the basement was designed as a flat one with a constant thickness of 0.25 m without tapering at column capital zones. The ceiling is supported by: external

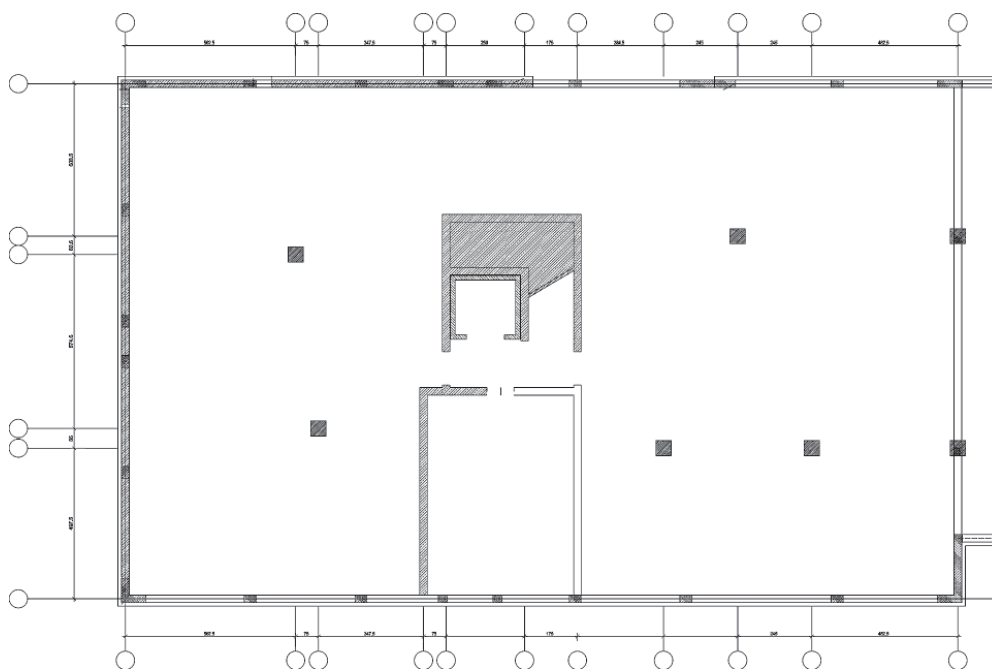


wych. Podporami stropu są: zewnętrzne żelbetowe, monolityczne ściany piwnic grubości 0,25 m, wewnętrzne ściany centralnie zlokalizowanego trzonu komunikacyjnego grubości 0,25 m oraz wewnętrzne słupy o przekroju 0,50 × 0,50 m. Połączenie płyty stropowej z zewnętrznymi ścianami piwnic w znacznym stopniu utrudniały swobodę przemieszczeń monolitycznej płyty stropowej. Rozstaw słupów ze względów architektonicznych został zróżnicowany i nie tworzy regularnej siatki ortogonalnej. Słupy połączone sztywno z płytami stropowymi oraz z monolitycznymi stopami fundamentowymi o wymiarach 3,00 × 3,00 × 0,60 m. Zewnętrzne ściany kondygnacji nadziemnych zaprojektowano jako murowane grubości 0,25 m, bez dodatkowych trzpieni usztywniających. Stropodach zaprojektowano jako drewniany, pokryty dachówką ceramiczną.



Rys. 2. Rzut projektowanego obiektu  
Fig. 2. Building plan

monolithic reinforced concrete basement walls of 0.25 m thickness, internal walls of the centrally located transport shaft of 0.25 m thickness and internal columns of 0.5 × 0.5 m cross-section. A joint between the ceiling slab and the external walls of the basement restrained to a great extent a freedom of displacements of the monolithic ceiling slab. Due to architectural reasons the columns spacing is differentiated and they do not form a regular orthogonal mesh. The columns are rigidly connected to the ceiling and to monolithic pad foundations of 3.00 × 3.00 × 0.60 m dimensions. The external walls of the overground storeys are made of 0.25 m thick masonry without additional stiffening. The roof was designed as wooden, covered with ceramic tiles.



Rys. 3. Rzut stropu nad piwnicą/garażem  
Fig. 3. Plan of the floor over garage

### 3. Uszkodzenia zrealizowanej konstrukcji stropu nad piwnicą

Badania makroskopowe wykonanego stropu przeprowadzono po upływie 62 dni od daty wykonania betonowania. Płyta stropowa wykazywała liczne zarysowania i spękania powierzchni. Układ uszkodzeń był nieregularny, wielokierunkowy i w większości przypadków obejmował całą grubość płyty stropowej.

### 3. Damage of the finished structure of the ceiling over the basement

Macroscopic investigation of the finished ceiling was carried out 62 days after concrete casting. The slab exhibited numerous scratches and cracks on the surface. The layout of the damage was irregular, multi-directional and in the majority of cases the cracks propagated across the entire slab depth.



Rys. 4. Układ rys na górnej płaszczyźnie stropu  
*Fig. 4. Cracks on the upper floor area*



Rys. 5. Widok rozwiniętej rysy o układzie wielokierunkowym  
*Fig. 5. Cracks on the bottom floor area*



Rys. 6. Odwierty ze stropu – widoczny przebieg rys na grubości płyty stropowej  
*Fig. 6. Test elements from floor – cracks on the depth of floor*

Stwierdzono również zarysowania zlokalizowane tylko z jednej strony płyty i to zarówno na płaszczyźnie górnej jak i dolnej płyty stropowej (rys. 4 i 5). W celu ustalenia przebiegu rys na grubości stropu wykonano w losowo wybranych miejscach spekania obszarów stropu odwierty rdzeniowe, pobierając próbki o średnicy 150 mm (rys.6).

Przeprowadzono również badania wytrzymałości betonu na ściskanie na próbkach kostkowych 15/15/15 cm, jakimi dysponował wykonawca. Beton badano w wieku 62 i 69 dni, a wyniki badań opracowano zgodnie z PN-EN 206-1:2003 [6]. Przeprowadzone badania wykazały, że beton kwalifikuje się do klasy C20/25 (B25).

Określono także szacunkowo skład stwardniałego betonu – zawartość cementu wynosiła 285 kg/m<sup>3</sup>. Według receptury użyto cement popiołowy CEM II/B-V 32,5R w ilości 270 kg/m<sup>3</sup> oraz zastosowano jako dodatek popiół lotny w ilości 80 kg/1 m<sup>3</sup> suchych składników mieszanki betonowej.

#### 4. Uwagi do wykonawczego projektu konstrukcyjnego

Obliczenia statyczne – wytrzymałościowe wykonane przez projektanta konstrukcji zostały oparte na znanej z literatury [5], uproszczonej metodzie zastępczych ram wydzielonych. W analizowanym przypadku stropu płaskiego z nieortogonalną siatką słupów metoda ta nie powinna mieć zastosowania praktycznego. Ponadto sposób wydzielenia ram zastępczych oraz przyjęty sposób rozdziału otrzymanych wartości sił wewnętrznych doprowadziły do wyników znacznie odbiegających od rzeczywistości zarówno w sensie ilościowym jak i jakościowym. Dodatkowo w projekcie konstrukcyjnym nie przeprowadzono analizy minimalnego pola przekroju zbrojenia, niezbędnego dla ograniczenia szerokości rys na skutek odkształceń wymuszonych [4, 8], co przy znacznych ograniczeniach przemieszczeń wynikających z połączenia stropu z zewnętrznymi ścianami monolitycznymi musiało spotęgować niekorzystne zjawisko skurczu. Ogólnie można ocenić, że przyjęta przez projektanta metoda obliczeń i rozdziału otrzymanych wartości, doprowadziła do znacznego przeszywnienia bardzo wąskich pasm bezpośrednio nad słupami, z jednoczesnym niedozbrojeniem a wręcz z całkowitym brakiem zbrojenia obszarów przęsłowych stropu.

Oprócz powyższych błędów projektowych, wynikających z przyjętej metodyki obliczeń, autor wykonawczego projektu konstrukcyjnego przyjął niedoszacowane wartości obciążeń powierzchniowych stropu i to zarówno obciążeń stałych jak i zmiennych.

Some other cracks were also found on one side of the slab only – both on the upper and the lower surface (figs. 4 and 5). In order to check a development of the cracks across the slab some randomly selected cracked zones were bored and specimens of 150mm diameter were prepared (fig. 6).

Testing of the compressive strength of concrete was also carried out using cubic specimens of 15×15×15cm dimensions provided by the contractor. The concrete was tested at the age of 62 and 69 days and the results were postprocessed according to the code PN-EN 206-1:2003 [6]. The tests showed, that the concrete belonged to the class C20/25 (B25).

The concrete mix for the set concrete was also estimated and the cement content of 285 kg/m<sup>3</sup> was determined. According to the design 270 kg/m<sup>3</sup> of the ash cement CEM II/B-V 32,5R was used with 80 kg of a fly ash as an additive to 1 m<sup>3</sup> of dry components of the concrete mix.

#### 4. Remarks on the contractual design of the structure

The static and strength calculations carried out by the designer were based on a simplified method of modified detached frames, known from the literature [5]. In the analysed case of the flat ceiling with non-orthogonal mesh of columns this method should not be practically applied. Besides, the way to detach the modified frames and the adopted method of distribution of internal forces led to results significantly different from the real ones, both quantitatively and qualitatively. Additionally, in the structural design no provision was taken to assess the minimal reinforcement cross-section to limit the cracks due to forced deformations [4, 8]. This fact, combined with a notable restraining of displacements due to the type of connection between the ceiling and the external monolithic walls, increased the undesirable shrinkage. Generally speaking, the calculation and results distribution methods adopted by the designer led to a significant overstiffening of very thin strips directly over the columns with a simultaneous under reinforcement or complete lack of rebars in span zones of the ceiling.

Beside the above mentioned design errors resulting from the adopted calculation methodology the author of the contractual design of the structure assumed underestimated loading of the slab surface, both dead and imposed. Some other errors were committed in a transformation of knife-edge and concentrated loads into loads uniformly distributed over the slab surface.

Ponadto zostały popełnione błędy przy zamianie obciążeń o charakterze liniowym i skupionym na obciążenia zastępcze równomiernie rozłożone na powierzchni stropu.

Sprawdzające, eksperckie obliczenia statyczno – wytrzymałościowe wykonano komputerowo przy wykorzystaniu programu ABC PŁYTA [6, 9]. Wartości obciążeń powierzchniowych, liniowych i skupionych ustalono na podstawie układu warstw stropowych oraz lokalizacji obciążeń podanych w wykonawczym projekcie architektonicznym a także na podstawie przeznaczenia poszczególnych powierzchni użytkowych stropu. Mając na uwadze małe wartości zmiennych obciążeń użytkowych w stosunku do ciężaru własnego konstrukcji i przyjętych obciążeń stałych stropu, ustalono tylko trzy schematy obciążeń: obciążenia stałe (schemat 1) oraz dwa schematy obciążeń użytkowych ułożonych w tzw. szachownicę w polach parzystych (schemat 2) i nieparzystych (schemat 3). Przeprowadzone sprawdzające obliczenia statyczno – wytrzymałościowe stropu nad garażem potwierdziły, że zastosowane przez projektanta projektu wykonawczego konstrukcji obiektu zbrojenie zostało niepoprawnie obliczone i dodatkowo niewłaściwie rozmieszczone na powierzchni stropu.

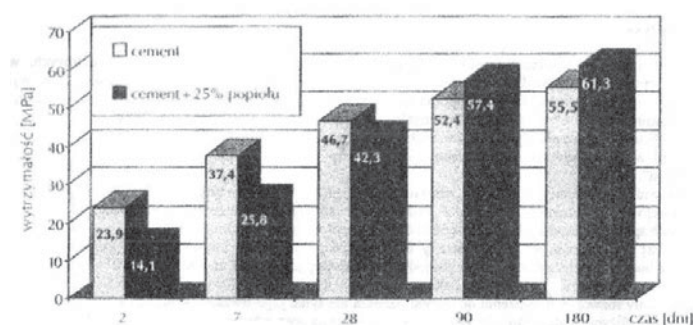
## 5. Analiza wyników badań i obliczeń

Na podstawie przeprowadzonych badań makroskopowych stropu połączonych z analizą składu zastosowanej mieszanki betonowej oraz na podstawie sprawdzających obliczeń statyczno – wytrzymałościowych stropu, w połączeniu z analizą bazowego wykonawczego projektu konstrukcyjnego, stwierdzono, że bezpośrednią przyczyną zaistniałego stanu awaryjnego były przede wszystkim błędy projektowe, na które w mniejszym stopniu nałożyły się błędy technologiczne i wykonawcze.

The expert verifying static and strength calculations were carried out using the computer program ABC PŁYTA [6, 9]. Values of surface, knife-edge and concentrated loads were determined from the layout of ceiling cross-sections and positioning of loads in the contractual architectural design as well as from a functional designation of subsequent areas of the ceiling. Taking into account small values of the imposed loading in relation to the dead weight and assumed constant loading, just three loading combinations were considered: the dead load (combination 1) and two combinations of the imposed loads with a checkboard layout for even (combination 2) and odd fields (combination 3). The verifying calculations carried out confirmed the fact, that the reinforcement of the ceiling slab over the car-park determined by the author of the contractual structural design was both wrongly estimated and located over the ceiling surface.

## 5. Analysis of results from tests and calculations

Considering the macroscopic investigation of the ceiling including the concrete mix assessment and the verifying static and strength calculations of the ceiling with the analysis of the contractual structural design it was concluded, that the direct reasons for the failure state were the errors in the design combined with a smaller influence of the technology and workmanship errors.



Rys. 7. Zmiany wytrzymałości w czasie dla cementów CEM I 32,5 R oraz CEM II/B-V 32,5 R [1]  
Fig. 7. Change of stress for cements CEM I 32,5 R and CEM II/B-V 32,5 R [1]

Błędy technologiczne popełnione zostały przy projektowaniu mieszanki betonowej, w której zastosowano oprócz cementu popiołowego CEM II/B-V 32,5R w ilości 270 kg/m<sup>3</sup> dodatki popiołu lotne

The technological errors occurred at the design stage of the concrete mix, where beside 270 kg/m<sup>3</sup> of the ash cement CEM II/B-V 32,5R also 80 kg/m<sup>3</sup> of a fly ash as an additive were used.

go w ilości 80 kg/m<sup>3</sup>. Wykorzystanie odpadów: żużli i popiołów jako dodatków do produkcji [2, 3] powoduje zmniejszenie nakładów energetycznych i ogranicza emisję dwutlenku węgla do atmosfery. Z drugiej strony, cementy powszechnego użytku z dodatkami mineralnymi wykazują korzystne właściwości i mają zwiększoną odporność na agresję chemiczną. Istnieje jednak pewne zagrożenie, gdyż są to spoiwa wolnowiążące, zatem ich obniżona wytrzymałość w początkowym okresie twardnienia wpływa na rozwój zarysowań, które decydują o trwałości konstrukcji żelbetowych – rys. 7.

Błędy projektowe popełniono na wszystkich możliwych etapach realizacji procesu projektowego inwestycji, począwszy od przyjętych założeń, poprzez zastosowaną metodę obliczeń a na konstruowaniu zbrojenia stropu kończąc. Natomiast błędy technologiczne popełnione na etapie założeń przyjętej receptury mieszanki betonowej oraz błędy wykonawcze popełnione podczas pielęgnacji zabetonowanej powierzchni stropowej w znacznej mierze spotęgowały błędy projektowe.

Do podstawowych błędów projektowych popełnionych w konstrukcyjnym projekcie wykonawczym analizowanego obiektu należy zaliczyć:

- zaniżone wartości obciążeń stałych i zmiennych oraz błędy w przyjętym charakterze i rodzaju działania obciążeń,
- zastosowaną metodę obliczeniową wydzielonych ram zastępczych nie oddającą rzeczywistego charakteru pracy konstrukcji stropu opartego na wewnętrznych, nie ortogonalnie zlokalizowanych słupach żelbetowych,
- niewłaściwy rozdział, otrzymanych w metodzie ram wydzielonych, wartości sił wewnętrznych, a co za tym idzie nieprawidłowe rozmieszczenie zbrojenia: znaczne przeszywnienia obszarów głowicowych, których zbrojenie w zasadzie ograniczono do obszarów zlokalizowanych bezpośrednio nad słupem kosztem pozostałych obszarów stropowych,
- brak analizy minimalnego pola przekroju zbrojenia niezbędnego dla ograniczenia szerokości rys na skutek odkształceń wymuszonych, co przy znacznych ograniczeniach swobody przemieszczeń płyty stropowej wynikających z połączenia stropu z zewnętrznymi ścianami monolitycznymi, w znacznej mierze spotęgowało niekorzystne zjawisko skurczu,
- wykonstruowanie zbrojenia górnego w postaci prętów odgiętych, które skoncentrowano w obszarach bezpośrednio nad słupami, nie obejmując swym zasięgiem nawet całego obszaru przebiecia,
- brak analizy stanu granicznego użytkowalności.

Utilization of by-products like slags and ashes as additives in production [2, 3] leads to a reduction of the energy consumption and the emission of the carbon dioxide. On the other hand, commonly used cements with mineral additives exhibit enhanced properties and have a better chemical resistance. However, a certain danger exists, because these binders are slowly setting and the reduced strength at the early age influences development of cracks, what determines the durability of reinforced concrete structures – fig. 7.

The design errors occurred at all possible stages of the realisation of the structure design process, starting from the adopted assumptions, via the calculation methods, ending at the forming of the ceiling reinforcement layout. And the technological errors at the concrete mix design stage and the workmanship errors during the curing of the cast concrete ceiling worsened the situation further.

The fundamental design errors occurred at the contractual structural design for the analysed object are:

- the underestimated values of the dead and imposed loads and the errors in the assumed character and the type of the load action,
- the adopted calculation method of detached modified frames, which does not fit to the real character of the structure with the ceiling supported by the non-orthogonally positioned reinforced concrete columns,
- the improper distribution of internal forces values resulting from the detached frames method leading to the improper layout of rebars, i.e. overstiffening of the column zones with the reinforcement located only directly over the columns at the cost of the remaining zones of the ceiling slab,
- the lack of analysis of the minimal reinforcement cross-section necessary to limit the crack width due to the forced deformations combined with the significant restraining of the displacement freedom of the ceiling slab resulting from its connection to the external monolithic walls increased influences of undesirable shrinkage,
- the forming of the upper zone reinforcement as bent bars concentrated in the zones directly over the columns, which even did not cover the entire punch through zone,
- the lack of analysis of the serviceability state.

## 6. Uwagi końcowe

Przedstawiony w niniejszej pracy przypadek obiektu, zlokalizowanego w wydzielonym, rewitalizowanym obszarze zabudowy miejskiej, jest dobitnym przykładem nałożenia się błędów projektowych popełnionych przez niekompetentnego projektanta z błędami technologicznymi i wykonawczymi. W praktyce budowlanej znany jest problem (powszechny zresztą) minimalizacji kosztów wykonawczych przeprowadzanych bardzo często pod szczytnym hasłem optymalizacji. Zdecydowana większość inwestorów i wykonawców, pod obszernym pojęciem optymalizacji kryje minimalizację kosztów za wszelką cenę i to na wszystkich etapach realizacji inwestycji. W omawianym przypadku minimalizacja poszła dalej i objęła swym zasięgiem etap doboru najtańszego projektanta. Połączenie niekompetencji projektanta, która z reguły ma związek z oferowaną niską ceną projektu, z dodatkowym narzuceniem przez inwestora znacznych ograniczeń kosztowych projektowanej konstrukcji, doprowadziło do stanu awaryjnego omawianego w niniejszej pracy stropu. Przedstawiona sytuacja wynika często z faktu swobodnego doboru przez wykonawcę własnego projektanta, który pod hasłami optymalizacji i dostosowania projektu do technologii wykonawcy, zmienia zatwierdzony w urzędzie projekt budowlany. Jeżeli dołoży się do tego niekompetencję projektanta to otrzymujemy efekt przestawiony w niniejszej pracy.

Realizacja konstrukcji z betonu, w którego składzie stosowane są cementy z dodatkami mineralnymi, wymaga uściślenia warunków technologicznych [3, 7]. Uwaga ta dotyczy ograniczenia maksymalnej ilości dodatków w składzie mieszanki betonowej oraz ustalenia terminu demontażu deskowań. Ze względu na obniżoną wytrzymałość betonu w początkowym okresie twardnienia, demontaż deskowań musi następować w terminie późniejszym niż w przypadku wykonywania konstrukcji z betonu na cemencie portlandzkim.

Biorąc pod uwagę zakres powstałych uszkodzeń oraz zatrzymanie inwestycji na etapie wykonanego stopu nad garażem (wstrzymanie inwestycji ze względów proceduralno prawnych), podjęto decyzje o zaprojektowaniu i wykonaniu nowej płyty stropowej na płycie istniejącej (bez jej wyburzenia). Przy okazji analizy dokumentacji wykonawczego projektu konstrukcyjnego okazało się, że popełniono także istotne błędy konstrukcyjne w pozostałych elementach konstrukcyjnych obiektu takich jak: jednokierunkowo zbrojony strop łącznika, stropodach łącznika o prostej konstrukcji stalowo-żelbetowej, proste jednobiegowe schody wejściowe. We wszystkich tych przypadkach niedoszacowano wartości obciążeń, a co za tym idzie zastosowano zbyt małe ilości zbrojenia.

## 6. Final remarks

The presented case study of the object constructed in a detached, revitalised zone of urban building is a clear example of an overlapping of the design errors committed by the incompetent designer and the technological and workmanship errors. There exists a known and common problem in the civil engineering practice leading to a minimization of contract costs very frequently masked by a noble name of optimisation. A vast majority of investors and contractors covers a forced cost minimisation on all stages of contract execution under a broad term of optimisation. In the described case the minimisation proceeded even further and included also the choice of the cheapest designer. The combination of his incompetence usually related to the low product price tendered, with an additional imposing of significant cost limitations by the investor led to the failure state of the described ceiling structure. Cases like the presented one often result from the free choice of a designer by a contractor, who then changes the officially accepted structural design under the cover of optimisation and conversion of the design to contractor technologies. If an incompetence of the designer is added, then one is faced with results like the ones described in this paper.

Construction of a reinforced concrete structure made of concrete including cements with mineral additives requires more precise technological conditions [3, 7]. This concerns a limitation of a maximal amount of additives in the concrete mix and specifying the time to remove boarding. Due to the limited concrete strength at the early ages the removal of boarding must be carried out later, than in the case of structures made of concrete based on the Portland cement.

Taking into account the range of damage and stopping the construction process at the stage of the finished ceiling over the car-park (stopping due to legislative procedural reasons) a decision was taken to design and construct a new ceiling slab placed on the existing one without its demolition. During the analysis of the documentation of the contractual structural design it was found out, that significant structural errors were also committed in remaining elements of the structure, like: one-directionally reinforced ceiling over a passage, a passage roof of a simple steel-reinforced concrete structure and simple one-flight entrance stairs. In all these elements loading was underestimated and a too small number of rebars was designed.

## Literatura • References

- [1] Czaplński K., Suwalski J., *Przykłady wadliwych rozwiązań projektowych i ekspertyzowych. Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych*, Praca zbiorowa, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.
- [2] Giergiczny Z., Małolepszy J., Szwabowski J., Śliwiński J., *Cementy z dodatkami w technologii betonów nowej generacji*. Góraźdże Cement. 2002
- [3] Jamrozy Z., *Beton i jego technologie*, PWN, Warszawa-Kraków 2000.
- [4] *Sekcja Konstrukcji Betonowych KILiW PAN. Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.
- [5] Starosolski W., *Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002 i Eurokodu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- [6] Starosolski W., *Wybrane zagadnienia komputerowego modelowania konstrukcji inżynierskich*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [7] PN-EN 206-1:2003 *Beton Część 1 Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*.
- [8] PN-B-03264:2002 *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [9] Program ABC PŁYTA. Wersja 6.6.

---

\* Politechnika Poznańska, Poznań, Polska  
Poznan University of Technology, Poznań, Poland

---

## Streszczenie

W referacie przedstawiono problemy związane z wystąpieniem stanu awaryjnego konstrukcji stropu żelbetowego nad garażem podziemnym, w wielorodzinnym budynku mieszkalnym, wykonywanym w wydzielonym, rewitalizowanym obszarze zabudowy miejskiej. W pracy wskazano na przyczyny powstałych zagrożeń bezpieczeństwa – błędne założenia projektowe a także błędy wykonawcze, które znaczne spotęgowały uszkodzenia realizowanej konstrukcji. We wnioskach końcowych podano zalecenia wykonawcze, uwzględniające optymalny sposób naprawy nie tylko ze względów ekonomicznych, ale także zapewniający prawidłowe i bezpieczne użytkowanie realizowanego obiektu.

Praca zrealizowana w ramach tematów badawczych 11-030/09 (DS) oraz 11-037/09 (DS).

## Abstract

In this paper problems related to a failure state of a reinforced concrete ceiling over a subterranean carpark in a multi-family residential building constructed in a detached, revitalised zone of urban building are discussed. The reasons for occurred safety risks were pointed out – wrong design assumptions and workmanship errors increasing the damage to the constructed structure. The final remarks include construction recommendations taking into account a repair method, which is optimal not only from an economic point of view but also ensuring a proper and safe service of the constructed object.

The paper was prepared in the scope of university research projects 11-030/09 (DS) and 11-037/09 (DS).

Jacek Ścigallo\*

## Modernizacja magazynu książek w budynku biblioteki uniwersyteckiej UAM w Poznaniu

## Modernisation of a book storehouse in a building of the Poznan University library

### 1. Wprowadzenie

W pracy przedstawiono problem efektywniejszego wykorzystania powierzchni użytkowej magazynu książek w budynku Biblioteki Uniwersyteckiej UAM zlokalizowanej w zwartej zabudowie miejskiej w Poznaniu. Magazyn książek znajduje się na ostatniej kondygnacji trójtraktowego, pięciokondygnacyjnego budynku o żelbetowej konstrukcji szkieletowej ze stropami gęstożebrowymi. Koncepcja znacznego zwiększenia „pojemności” magazynu powstała przy okazji ekspertyzy technicznej oceny nośności stropów. Ekspertyza wykazała znaczne przeciążenie powierzchni stropu ostatniej kondygnacji przeznaczonej na cele magazynowe biblioteki. Przyjęte i opisane w pracy koncepcje polegały na zaprojektowaniu stalowej, wymianowej konstrukcji stropowej przekazującej obciążenia bezpośrednio na podciąg i słupy żelbetowej, wsporczej konstrukcji ramowej.

### 2. Charakterystyka konstrukcyjna obiektu

Budynek B Biblioteki Uniwersyteckiej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza zlokalizowany jest przy ul. Ratajczaka 38/40 w Poznaniu. Budynek został wybudowany w okresie powojennym. Aktualnie strop poddasza użytkowany jest z przeznaczeniem na magazyn książek. Obiekt jest trójtraktowym, pięciokondygnacyjnym budynkiem o żelbetowym, monolitycznym szkielecie nośnym w układzie podłużnym. Stropy monolityczne gęstożebrowe typu Akermana. Przedstawiony w pracy obiekt przylega bezpośrednio do budynku głównego (budynek A) bi-

### 1. Introduction

In the paper a problem of a more effective use of the service area of a book storehouse in a building of the Poznań University Library localised in a dense urban zone of the city of Poznań. The book storehouse is located at the last storey of the three-aisle five-storey building of a reinforced concrete skeleton structure with rib-and-slab floors. An idea of a significant increase of the storehouse capacity emerged at an occasion of a technical expertise assessing the floors load bearing capacity. It was found, that the floor of the last storey serving as a library storehouse was significantly overloaded. The ideas adopted and described here included a design of a steel substitute floor structure transferring loads directly to joists and columns of a supporting frame structure.

### 2. Structural description of the object

The building B of the Poznań University Library is localised at 38/40 Ratajczaka Str. in Poznań. The building was erected in the post-war period. Currently the attic floor is utilised as a book storehouse. The building has three aisles and five storeys and its structure has a form of a longitudinal reinforced concrete monolithic skeleton. The floors are monolithic of the rib-and-slab Akerman system. The presented object is directly adjacent to the main library building dating back to the beginning of the 20<sup>th</sup> century (fig. 1). The build-



blioteki pochodzącego z początku XX wieku (fot.1). Budynek *B* składa się z 2 segmentów: z budynku zasadniczego oraz z łącznika z przejazdem. Na nośną konstrukcję wsporczą w układzie podłużnym składają się trzynawowe układy w łączniku oraz dziewięcionawowe w budynku zasadniczym.

W kierunku poprzecznym budynek trójtraktowy o wymiarach: 4,80-2,75-4,80 m w części łącznikowej oraz 5,40-2,75-5,40 m w części zasadniczej. Trakty wyznaczone są przez żelbetowe, podłużne układy ramowe. Rozstaw naw w łączniku wynosi 2,10-4,80-2,10 m, natomiast w budynku zasadniczym odpowiednio: 3,75-7x3,10-3,75 m.

Strop poddasza zarówno w części łącznika jak i w części zasadniczej przeznaczony jest obecnie na magazyn książek (fot.2).

Ostonowe ściany zewnętrzne wykonano jako murowane z ceramicznych elementów drobnowymiarowych z cegły pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej.

Usztywnienie przestrzenne budynku stanowią poprzeczne ściany murowane oraz konstrukcja wewnętrznej klatki schodowej z żelbetowymi, dwubiegowymi schodami monolitycznymi.



Rys. 1. Biblioteka Uniwersytecka UAM w Poznaniu  
Fig. 1. Poznań University Library

### 3. Badania konstrukcji obiektu

W celu określenia nośności stropu poddasza przeznaczonego na magazyn książek wykonano inwentaryzację konstrukcji w zakresie niezbędnym do oceny nośności stropu, badania nieniszczące wytrzymałości betonu oraz odkrywki zbrojenia płyty stropowej, podciągów i słupów żelbetowej, wsporczej konstrukcji ramowej.

Badania wytrzymałości betonu wykonano metodą nieniszczącą za pomocą sklerometru Schmidta typu N [3]. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tablicy 1.

Przeprowadzone badania nieniszczące wytrzymałości betonu wybranych losowo obszarów płyt

ing *B* consists of two segments: a main building and a passage with a car pass. The supporting structure is formed of three-bay systems in the longitudinal direction in the passage and of nine-bay ones in the main building.

In the transverse section the building has three aisles and their dimensions are: 4.80-2.75-4.80 m in the passage part and 5.40-2.75-5.40 m in the main part. The aisles are formed by reinforced concrete longitudinal frames. The bays spacing in the passage is 2.10-4.80-2.10 m, while in the main building – 3.75-7x3.10-3.75 m.

The attic floor both in the passage and the main part serves as a book storehouse (fig. 2).

External curtain walls are made of masonry from full bricks with a cement-lime mortar.

A spatial stiffening is provided by transverse masonry walls and a reinforced concrete structure of a staircase with two-flight monolithic stairs.



Rys. 2. Magazyn książek w budynku B  
Fig. 2. Book storehouse in the building B

### 3. Testing of the structure

In order to assess the load bearing capacity of the attic floor serving as a book storehouse a structural inventory, a non-destructive testing of concrete strength and a stripping of reinforcement of the ceiling slab, joists and columns of the supporting reinforced concrete frame structure were carried out.

The non-destructive strength testing was done using the Schmidt type N sclerometer [3]. The results are presented in Table 1.

The non-destructive strength testing of concrete in randomly selected zones of the ceiling slabs, joists and columns of the attic floor in the building

stropowych, podciągów i słupów stropu poddasza budynku *B* pozwoliły stwierdzić, że wytrzymałość gwarantowana przebadanych obszarów stropów, podciągów i słupów waha się od 12,5 do 17,1 MPa. Otrzymane wyniki pozwoliły beton płyt stropowych zakwalifikować do betonu klasy B 12,5, natomiast beton podciągów i słupów do betonu klasy B15.

*B* allowed to conclude, that the guaranteed strength in the tested zones ranged from 12.5 to 17.1 MPa. Thus, the concrete in the ceiling slabs can be classified as the class B12.5, while in the joists and columns – B15.

The performed stripping of the reinforcement in the ceiling slabs (fig. 3), the joists (fig. 4) and the

Tab. 1. Wyniki badań nieniszczących wytrzymałości betonu  
Results of non-destructive testing of concrete strength

Badany element <i>Tested element</i>	Wytrzymałość średnia $R_{sr}$ [MPa]	Wytrzymałość gwarantowana $R_b^G$ [MPa]	Jednorodność betonu <i>Concrete uniformity</i> [-]	Klasa betonu <i>Concrete class</i> [MPa]
Płyta stropowa <i>Ceiling slab</i>	12,29	12,46	b. dobra <i>Very good</i>	B 12,5
Podciąg stropowy <i>Joist</i>	14,83	15,40	b. dobra <i>Very good</i>	B 15
Słup <i>Column</i>	15,60	16,98	b. dobra <i>Very good</i>	B 15



Rys. 3. Okrywka konstrukcyjna zbrojenia stropu  
Fig. 3. Stripping of the ceiling slab reinforcement

Wykonane odkrywki zbrojenia płyt stropowych (rys. 3), podciągów (rys. 4) i słupów pozwoliły na pełne zainwentaryzowanie występującego zbrojenia głównych elementów nośnych stropu.

Gabaryty i zbrojenie elementów konstrukcyjnych stropu części łącznikowej budynku *B*:

- Płyta stropowa, trójprzęsłowa 4,80-2,75-4,80 m
- przeszła skrajne dołem – 2#12 (# – pręty kwadratowe żebrowane ze stali 34GS)
- przeszło środkowe dołem – 2Ø12 (St3S)
- zbrojenie górą – brak

columns allowed for a complete inventory of the main reinforcement in the supporting elements of the ceiling.

Dimensions and reinforcement of the structural elements in the ceiling of the passage part of the building *B* are the following:

- The ceiling slab, three-span 4.80-2.75-4.80 m
- external spans, lower rebars – 2#12 (# – square ribbed bars, steel 34GS),
- centre span, lower rebars – 2Ø12 (St3S),
- no upper rebars.

- Podciągi 25/40, trójprzęsłowe 2,10-4,80-2,10 m
- przeszła skrajne dołem – 2Ø16 (St3S)
  - przeszło środkowe dołem – 3#12 (34GS)
  - podpora górą – 5#12 (34GS), strzemiona dwuramiennie 2Ø8 co 0,15 m (St3S)

Słupy 25/25

- zbrojenie pionowe – 4#12 (34GS)

Gabaryty i zbrojenie elementów konstrukcyjnych stropu części zasadniczej budynku *B*:

Płyta stropowa, trójprzęsłowa 5,40-2,75-5,40 m

- przeszła skrajne dołem – 2Ø14 (St3S)
- przeszło środkowe dołem – 1Ø12 (St3S)
- zbrojenie górą – brak

Podciągi 25/40, dziewięcioprzęsłowy 3,75-7 × 3,10-3,75 m

- przeszła skrajne dołem – 8Ø14 (St3S)
- przeszło środkowe dołem – 6Ø12 (St3S)
- podpora górą – 9Ø12 (St3S), strzemiona dwuramiennie 2Ø8 co 0,15 m (St3S)

Słupy 25/25

- zbrojenie pionowe – 4Ø12 (St3S)

Joists 25/40, three-span 2.10-4.80-2.10 m

- external spans, lower rebars – 2Ø16 (St3S),
- centre span, lower rebars – 3#12 (34GS),
- support zone, upper rebars – 5#12 (34GS), double stirrups 2Ø8 at 0.15 m (St3S).

Columns 25/25

- vertical rebars – 4#12 (34GS).

Dimensions and reinforcement of the structural elements in the ceiling of the main part of the building *B* are the following:

The ceiling slab, three-span 5.40-2.75-5.40 m

- external spans, lower rebars – 2Ø14 (St3S),
- centre span, lower rebars – 1Ø12 (St3S),
- no upper rebars.

Joists 25/40, nine-span 3.75-7 × 3.10-3.75 m

- external spans, lower rebars – 8Ø14 (St3S),
- centre span, lower rebars – 6Ø12 (St3S),
- support, upper rebars – 9Ø12 (St3S), double stirrups 2Ø8 at 0.15 m (St3S).

Columns 25/25

- vertical rebars – 4Ø12 (St3S).



Rys. 4. Okrywka zbrojenia podciągu  
Fig. 4. Stripping of the joist reinforcement

#### 4. Wyznaczenie i analiza nośności stropu

Wykonana inwentaryzacja konstrukcyjna, badania niszczące wytrzymałości betonu oraz wykonane odkrywanie zbrojenia głównych elementów nośnych konstrukcji wsporczej pozwoliły na pełne rozpoznanie konstrukcyjne, niezbędne dla określenia nośności stropu. Diagnostyczne obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykonano komputerowo przy wykorzystaniu programu RM-WIN [4]. Wyniki przeprowadzonych obliczeń nośności poszczególnych elementów konstrukcyjnych stropu części zasadniczej budynku *B* zamieszczono w tabelicy 2. Wyniki przedstawiono w postaci

#### 4. Calculation and analysis of ceiling load bearing capacity

The inventory of the structure carried out, the non-destructive testing of the concrete strength and the stripping of the rebars in the main structural elements of the supporting structure enabled a complete investigation of the structure necessary to assess the ceiling load bearing capacity. Diagnostic static and strength calculations were performed using the computer program RM-WIN [4]. Results of the calculations for the considered elements of the ceiling over the main part of the building *B* are presented in Table 2. They are given in a form of an

podania dopuszczalnych wartości powierzchniowego, charakterystycznego obciążenia użytkowego stropu.

admissible characteristic service loading per unit area of the ceiling.

Tab. 2. Dopuszczalne wartości powierzchniowego obciążenia użytkowego stropu ze względu na nośność poszczególnych elementów konstrukcyjnych  
*Admissible values of loading per unit area of the ceiling due to the load bearing capacity of considered structural elements*

Element konstrukcyjny <i>Structural element</i>	Dopuszczalne obciążenie użytkowe stropu <i>Admissible useful loading of the ceiling</i> [kN/m <sup>2</sup> ]
Płyta stropowa <i>Ceiling slab</i>	2,25
Podciąg stropowy <i>Joist</i>	5,50
Słup <i>Column</i>	15,5

Powierzchnia użytkowa stropu poddasza budynku *B* jest przeznaczona i obecnie użytkowana jako magazyn książek. Stojące regały ustawiono parami w kierunku poprzecznym stropu (z jednostronnym dostępem do danego regału). Do obliczeń sprawdzających określających nośność stropu przyjęto obciążenie użytkowe o charakterze obciążenia równomiernie rozłożonego na całej powierzchni (tabl. 2). Dla celów użytkownika powierzchni użytkowej stropu podano maksymalną liczbę półek użytkowanych regałów, jaka może być obciążona książkami, w celu spełnienia wymogów bezpieczeństwa stropu magazynu (rys. 5).

The service area of the attic floor of the building *B* is designated and currently used as a book storehouse. The standing bookcases are paired in the transverse direction of the ceiling with an access to the shelves from one side only. In the verifying calculations of the ceiling load capacity an imposed load uniformly distributed on the entire area was assumed (Table 2). For the easy interpretation by the user a maximal number of the shelves filled with books was determined, in order to fulfil safety requirements for the storehouse floor (fig. 5).

## 5. Koncepcja zwiększenia nośności stropu

## 5. An idea of increase of the ceiling load capacity

Niezadowolające użytkownika powierzchni stropowej wyniki przeprowadzonych obliczeń zmusiły do poszukiwania innych rozwiązań, które pozwoliłyby na zwiększenie wielkości dopuszczalnych obciążeń, bez znacznych nakładów inwestycyjnych.

Biorąc pod uwagę:

- znaczny zapas nośności słupów konstrukcji wsporczej w stosunku do nośności pozostałych elementów konstrukcyjnych a zwłaszcza nośności płyty stropowej,
- dużą, niewykorzystaną powierzchnię magazynową w bezpośrednim sąsiedztwie magazynu głównego i czytelnicy biblioteki uniwersyteckiej,
- oczekiwania użytkownika, co do wykorzystania znacznej powierzchni użytkowej stropu w centrum miasta,

zaproponowano znaczne zwiększenie nośności stropu poprzez wprowadzenie stalowej konstrukcji wymianowej, bezpośrednio przekazującej obciążenia na podciągi i słupy istniejącej, żelbetowej ramowej konstrukcji wsporczej.

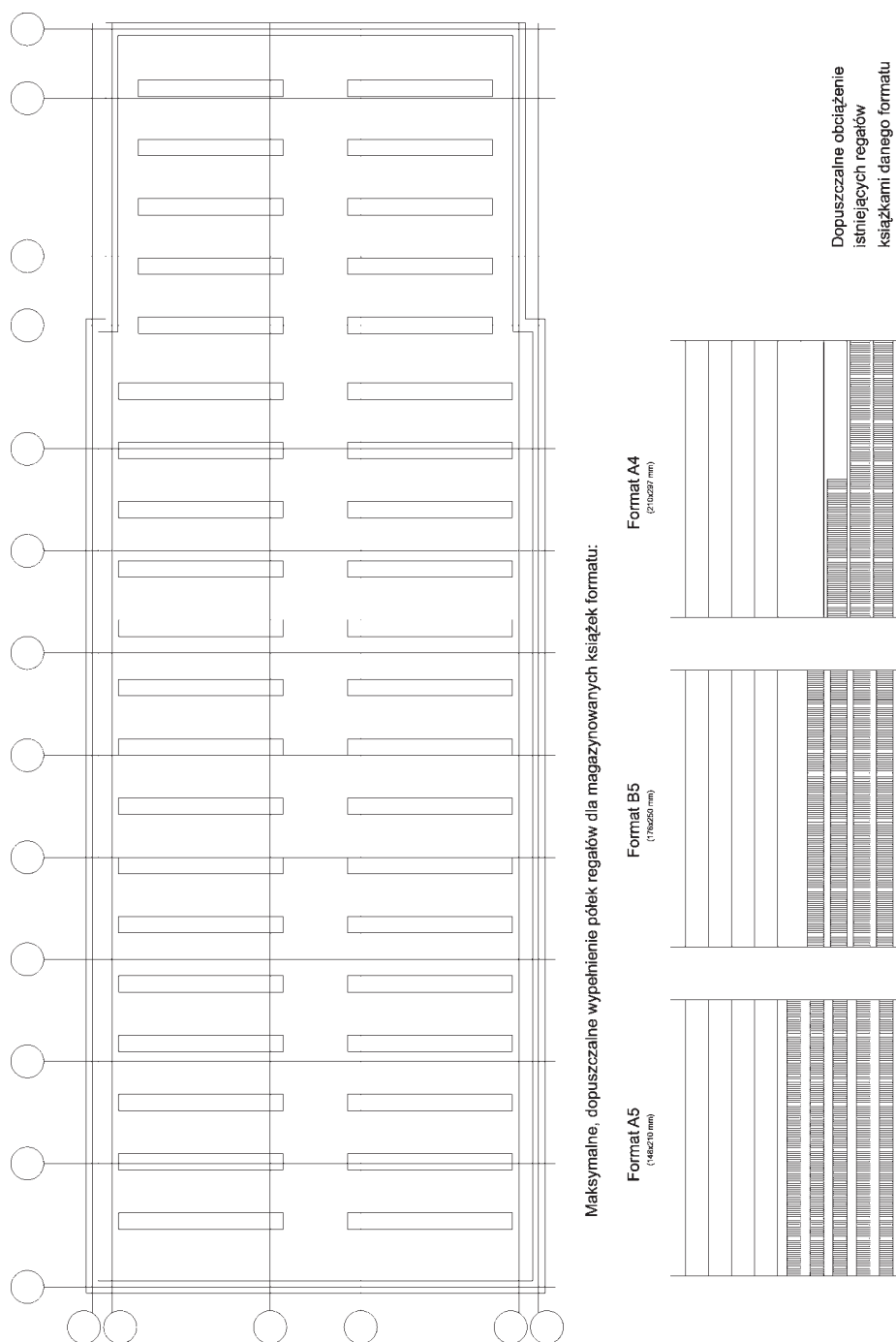
The results of the calculations proved unsatisfactory for the user and forced a search for another solutions of an increase of the admissible loading without significant costs.

With:

- a significant load capacity reserve of the columns in the supporting structure related to the remaining elements, especially the ceiling slab,
- a large, unused storehouse area in a direct neighbourhood of the main storehouse and the reading room of the university library,
- investor's expectations related to the use a large service area of the ceiling in the city centre zone taken into account, a significant increase of the ceiling load bearing capacity was proposed by an introduction of a steel substitute structure transferring loads directly to the joists and the columns of the existing reinforced concrete frame supporting structure.

Zaproponowano 3 koncepcyjne rozwiązania:  
 Koncepcja I – minimalistyczna związana ze zmianą charakteru przeznaczenia powierzchni stropowej

Three possible solutions were considered:  
 Solution I – minimalist, involving a change of the ceiling area function



Rys. 5. Dopuszczalne obciążenia stropu  
 Fig. 5. Admissible loads for the ceiling

Koncepcja II – oszczędnościowa wykorzystująca zapasy nośności podciągów żelbetonowych w osiach **B** i **C**. W tym celu zaprojektowano stalowe belki oparte bezpośrednio na podciągach z jednej strony oraz na ścianach zewnętrznych w osiach **A** i **D**. Takie rozwiązanie pozwala na prawie 2,5-krotne zwiększenie obciążenia dopuszczalnego stropu do wartości 5,50 kN/m<sup>2</sup>.

Solution II – cost-saving, using the reserve of the load capacity of the reinforced concrete joists in the axes **B** and **C**. To this end steel beams supported directly on the joists on one side and on the external walls in axes **A** and **D** were designed. Such a solution allows for an almost 2.5-times increase of the admissible loading on the floor to the value of 5.50 kN/m<sup>2</sup>.

Koncepcja III – radykalne zwiększenie dopuszczalnego obciążenia poprzez zaprojektowanie stalowego stropu żebrowego z podciągami głównymi w osiach **B** i **C** (rys. 5) opartymi na słupach żelbetowych podłużnych układów ramowych. Stalowe podciągi przekazujące obciążenia bezpośrednio na słupy, stanowią podpory belek poprzecznych opartych na ścianach z drugiej strony. Przyjęcie tej koncepcji pozwala na zwiększenie dopuszczalnej wartości obciążenia użytkowego stropu do około 15 kN/m<sup>2</sup>.

## 6. Wnioski i uwagi końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań konstrukcji stropu magazynu książek w budynku *B* biblioteki uniwersyteckiej UAM w Poznaniu, w połączeniu z analizą obliczeniową jego nośności stwierdzono, że w świetle wymogów normowych strop jest znacznie przeciążony. Dopuszczalne obciążenie charakterystyczne powierzchni stropu ustalono na poziomie 2,25 kN/m<sup>2</sup>, co jest wielkością zdecydowanie mniejszą od oczekiwań użytkownika. Tak znaczne ograniczenie dopuszczalnego obciążenia stropu wynika z nośności trójprzęsłowej płyty stropowej, w której nie zastosowano górnego zbrojenia podporowego. Dopuszczalne obciążenie stropu ze względu na nośność podciągów podłużnych układów ramowych ustalono na wartość 5,50 kN/m<sup>2</sup>. W przypadku zastosowania górnego zbrojenia podporowego trójprzęsłowej płyty stropowej jej nośność byłaby porównywalna z nośnością podciągów, które stanowią podporę dla płyt. Największy zapas nośności posiadają żelbetowe słupy, których nośność pozwala na przyjęcie obciążenia użytkowego stropu na poziomie 15 kN/m<sup>2</sup>.

W zawiązku z powyższym zaproponowano użytkownikowi obiektu 3 rozwiązania:

- zmianę charakteru użytkowania stropu, wykorzystującą jego obecną nośność na poziomie dopuszczalnego obciążenia użytkowego 2,25 kN/m<sup>2</sup>,
- zwiększenie dopuszczalnej wartości obciążenia użytkowego stropu poprzez wykonanie stalowej konstrukcji wymianowej przekazującej obciążenia bezpośrednio na żelbetowe podciągi i podłużne ściany zewnętrzne, co pozwoliłoby na uzyskanie dopuszczalnej wartości obciążenia na poziomie 5,50 kN/m<sup>2</sup>,
- radykalne zwiększenie dopuszczalnej wartości obciążenia użytkowego do wartości 15,0 kN/m<sup>2</sup> poprzez wykonanie stalowej konstrukcji wymianowej nie obciążającej podciągów – przekazanie obciążeń bezpośrednio na słupy żelbetowej konstrukcji wspanoczej.

Sprawdzające obliczenia konstrukcji budynku wykazały, że istnieje techniczna możliwość zastosowania trzeciego rozwiązania bez dodatkowych

Solution III – extreme, leading to an increase of the admissible loading using a design of a steel rib ceiling with main joists in axes **B** and **C** (fig. 5) supported on the reinforced concrete columns of the longitudinal frames. Steel joists transferring loads directly to the columns form supports of transverse beams supported on the opposite side on the walls. This solution allows for an increase of the admissible useful load of the floor to about 15 kN/m<sup>2</sup>.

## 6. Conclusions and final remarks

The performed investigation of the structure of the book storehouse ceiling in the building *B* of the Poznan University Library together with the calculation analysis of its load bearing capacity allowed to conclude, that the floor was overloaded according to standard requirements. The admissible characteristic loading of the floor was determined at the level of 2.25 kN/m<sup>2</sup>, what lies significantly lower, than the value expected by the user. Such a large limitation of the admissible loading on the floor results from the load capacity of the three-span ceiling slab, which has no upper reinforcement in support zones. The admissible load of the floor resulting from the load capacity of the joists of the longitudinal frames was determined as 5.50 kN/m<sup>2</sup>. If the upper reinforcement was present in the three-span slab its load capacity would be comparable with the capacity of the joists, which form its supports. The highest load capacity reserve is found in the reinforced concrete columns, which allow for a service load of the floor at the level of 15 kN/m<sup>2</sup>.

Due to the above mentioned facts three possible solutions are proposed for the user:

- a change of the function of the floor using its current load bearing capacity of 2.25 kN/m<sup>2</sup>,
- an increase of the admissible value of the service loading on the floor after a construction of a steel substitute structure transferring loads directly to the reinforced concrete joists and the longitudinal external walls, what would allow for the admissible load of 5.50 kN/m<sup>2</sup>,
- extreme increase of the admissible service load to the value of 15.0 kN/m<sup>2</sup> after a construction of a steel substitute structure not supported on the joists but transferring the loads directly to the columns of the reinforced concrete supporting structure.

Verifying calculations for the structure of the building showed, that there exists a technical possibility to adopt the third solution without additional reinforcing of the columns in the lower levels. With this solution an extra load at the foundation level

wzmocnień słupów niższych kondygnacji. Przy tej koncepcji dociążenie fundamentów nie przekraczałoby poziomu 20% ponad stan obecny. Dokładne oględziny konstrukcji obiektu nie wykazały żadnych zarysowań i nadmiernych ugięć elementów konstrukcji wsporczej, które świadczyłyby o jej przeciążeniu.

Mając na uwadze: lokalizację obiektu w ścisłym centrum miasta, bezpośrednie sąsiedztwo magazynu głównego i czytelni biblioteki UAM, kłopoty lokalowe, z jakimi boryka się Biblioteka Uniwersytecka UAM oraz atrakcyjność inwestycyjną terenu, na którym znajduje się obiekt, zaproponowano użytkownikowi i właścicielowi obiektu ostatecznie rozwiązanie. Rozwiązanie to jest rozwiązaniem najdroższym i najbardziej kłopotliwym, ale pozwala na uzyskanie znacznych korzyści wynikających z osiągnięcia dużych wartości dopuszczalnych obciążeń stropu, które mogą być w pełni wykorzystane na cele magazynowe biblioteki. Na przyjęte rozwiązanie duże znaczenie ma bezpośrednie sąsiedztwo czytelni i wypożyczalni biblioteki UAM.

would not exceed 20% of the current load level. A thorough investigation of the building structure did not exhibit any cracks or excessive deflections of the supporting structure, which would point out an overloading.

Taking into account another issues like: the location of the building in the very centre of the city, the direct neighbourhood of the main book storehouse and the reading room of the University Library, limited availability of buildings faced by the Library and the attraction of the location, the last solution was suggested to the owner and the user of the building. This solution is the most expensive and the most troublesome one but it would bring the greatest advantages resulting from the achieved large values of the admissible floor loading and a possibility of an unlimited use for the book storing purposes. The fact of the direct neighbourhood of the reading room and the book lending facilities has a significant influence on the suggested solution.

### Literatura • References

- [1] Starosolski W., *Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002 i Eurokodu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- [2] PN-B-03264:2002 *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [3] *Instrukcja ITB nr 210 - Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji*, Warszawa 1977.
- [4] Program RM-WIN. Wersja 9.23.

---

\* Politechnika Poznańska, Poznań, Polska  
Poznan University of Technology, Poznań, Poland

## Streszczenie

W pracy przedstawiono problem efektywniejszego wykorzystania powierzchni użytkowej magazynu książek w budynku Biblioteki Głównej UAM zlokalizowanej w zwartej zabudowie miejskiej w Poznaniu. Magazyn książek znajduje się na ostatej kondygnacji trójtraktowego, pięciokondygnacyjnego budynku o żelbetowej konstrukcji szkieletowej ze stropami gęstożebrowymi. Koncepcja znacznego zwiększenia "pojemności" magazynu powstała przy okazji ekspertyzy technicznej oceny nośności stropów. Ekspertyza wykazała znaczne przeciążenie powierzchni stropu ostatej kondygnacji. Przyjęta koncepcja polegała na zaprojektowaniu stalowej, wymianowej konstrukcji stropowej przekazującej obciążenia bezpośrednio na słupy konstrukcji ramy.

Praca zrealizowana w ramach tematu badawczego 11-030/09 (DS).

## Abstract

In this paper a problem of a more effective use of service area in a book storehouse in the Poznań University Main Library building, located in a dense urban zone of city of Poznań is presented. The book storehouse is on the last storey of the two-aisle, five-storey building with a reinforced concrete skeleton structure with rib-and-slab floors. The idea of the significant increase of the storehouse capacity emerged during a technical expertise aimed at an assessment of the floors load bearing capacity. It showed, that the last storey floor was overloaded. The structural solution adopted involves a design of a steel substitute floor structure transferring loads directly to the columns of the frame structure.

Research carried out in the scope of the project 11-030/09 (DS).

Krzysztof Ałykow\*

Magdalena Napiórkowska-Ałykow\*\*

## Renowacja tarasów i balkonu zabytkowego głównego budynku zespołu szkół ponadgimnazjalnych w Biedrzychowicach

## Renovation of the terraces and the balcony in the historic main building of the secondary schools complex in Biedrzychowice

### 1. Charakterystyka obiektu

Obiekt Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych w Biedrzychowicach (woj. dolnośląskie) jest barokowym budynkiem pałacu o trzech kondygnacjach nadziemnych. Budynek posiada mansardowy dach z jedną kondygnacją poddasza z lukarnami, kryty dachówką ceramiczną w koronkę. W XIX w. pałac rozbudowano dostawiając od strony zachodniej trzykondygnacyjną dobudówkę z klatką schodową. Dalszą rozbudowę przeprowadzono w XX w. budując od strony wschodniej taras na poziomie 1. piętra. Spadek terenu w kierunku południowym w kierunku drogi Lubań – Gryfów Śl. wykorzystano do utworzenia tarasów otoczonych murem oporowym. Od strony północnej do pałacu prowadzi most tzw. „północny” o kamiennej ażurowej balustradzie [1].

Balkon o łukowym kształcie (rys. 1) wieńczy portal głównego wejścia do budynku pałacu. Balkon ten wsparty jest na dwóch filarach, flankujących wejście główne, zdobionych ukośnie nałożonymi pilastrami. Balustradę balkonu wykonano z ażurowych tralek, ujętą przez prostopadłościennie słupki wmurowane w ścianę elewacji. Balustrada zwieńczona została kierowanym gzymsem, na słupkach zaś ustawiono dekoracyjne wazy [1].

### 1. The structure characteristics

A three-storey baroque palace in Biedrzychowice (Lower-Silesia Province) is home to the Secondary Schools Complex. The building has got a mansard roof with a single-storey loft with spire lights, covered with crown-tiled roofing of ceramic tiles. In the 19<sup>th</sup> century the palace was extended to the west, and a three-storey annex with a staircase was added. Further extension was made in the 20<sup>th</sup> century, this time to the east, with an addition of a terrace on the 1<sup>st</sup> floor level. The decline of the terrain in the south direction towards the road from Lubań to Gryfów Śl. was used to create terraces surrounded with a retaining wall. From the north side there is the so-called 'northern' bridge with a stone open-work balustrade [1] leading to the palace.

The curved arch-like balcony (fig. 1) crowns the portal which is the main entrance to the palace building. The entrance is flanked by two pillars in the form of diagonal pilasters supporting the balcony. Balcony balustrade consists of open-work balusters, framed in rectangular posts built into the façade wall. The balustrade has been topped with a directed cornice, while decorative flowerpots [1] have been placed on the posts.



Taras z tyłu budynku od strony południowej (rys. 2) wkomponowano w rzeźbę terenu. Na tarasy prowadzą dwubiegowe kamienne schody w monumentalnej oprawie, usytuowane od wschodniej i zachodniej strony budynku. Półpiętro i piętro tarasu obrzeżają lekkie balustrady z kutych żelaznych elementów rozdzielonych słupkami i postumentami. Na postumentach umieszczono dekoracyjne wazy, kamienne nakrywy i popiersia rycerzy z chorągwiami. Przelotowe nadziemie tarasu otwarte jest również od strony frontowej. Nawierzchnia tarasu wykonana jest z płyt kamiennych [1].

Taras na elewacji wschodniej (rys. 3) wsparty jest na czterech kolumnach z kompozytowymi głowicami. Na kolumnach wspiera się belkowanie – złożone z arkady o spłaszczonym łuku i gzymsu koronującego. Balustrada wieńcząca taras złożona jest z ażurowych tralek podzielonych słupkami. Słupki balustrady ustawione są na przedłużeniu osi kolumn [1].

Zarówno balkon nad wejściem głównym jak i tarasy budynku z uwagi na stan zniszczenia i degradacji zostały przeznaczone do remontu i wzmocnienia. Zniszczenia elementów konstrukcyjnych w wyniku długotrwałych procesów korozyjnych spowodowały przede wszystkim ubytki i odspojenia tynku, znaczne ubytki cegły oraz liczne spękania. Do zniszczeń przyczynił się również brak jakichkolwiek remontów czy napraw na przestrzeni kilkunastu a nawet kilkudziesięciu lat.

The terrace at the back of the building, i.e. from the south side (fig. 2), has been incorporated in the landscape. Two-flight monumental stone steps leading to the terrace are situated on the east and west side of the building. The mezzanine and the plane of the terrace are bordered with light balustrades made from forged iron units divided by posts and pedestals. On the pedestals there have been placed decorative flowerpots, coping stones and busts of knights with flags. The pass-through above the ground part of the terrace is also open from the front side. The surface of the terrace is made from stone plates [1].

The east façade (fig. 3) of the terrace is supported by four columns with composite capitals. On these columns rests the entablature consisting of a flattened bow arcade and the crowning cornice. The terrace balustrade consists of open-work balusters separated by posts. The balustrade posts are set as the extension of the axis of columns [1].

The decision has been made to repair and strengthen both the balcony above the main entrance and the terrace due to their appalling condition. Constructional elements damage caused by long-lasting corrosive processes resulted first of all in defects and the plaster peeling off. We can also see damaged brickwork and lots of cracks. Years or even decades of negligence have also contributed to the damage.



Rys. 1. Balkon nad wejściem głównym – widok przed remontem  
Fig. 1. Balcony above the main entrance – view before renovation



Rys. 2. Taras od strony południowej – widok przed remontem  
*Fig. 2. South terrace – view before renovation*



Rys. 3. Taras na elewacji wschodniej – widok przed remontem  
*Fig. 3. East terrace – view before renovation*

## 2. Sposób wzmocnienia

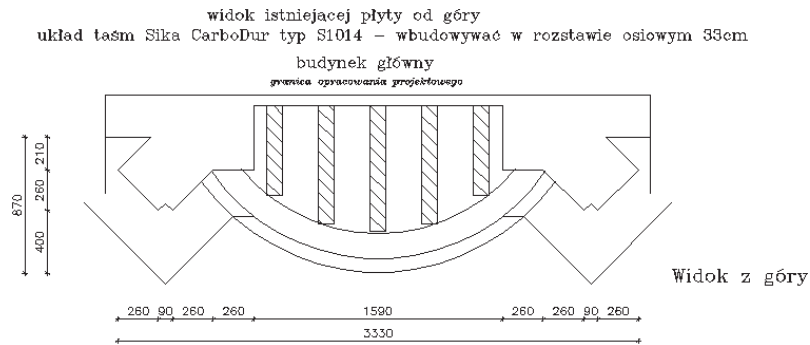
Po dokonanych oględzinach elementów konstrukcyjnych, przeanalizowaniu różnych sposobów wzmocnień, w tym także opisanych w dostępnej literaturze naukowo-technicznej, zdecydowano się na wzmocnienie elementów konstrukcyjnych taśmami z włókien węglowych firmy Sika. Taśmy węglowe z uwagi na swoje parametry wytrzymałościowe oraz niewielką grubość, nieprzekraczającą 1,4 mm, są

## 2. Strengthening method

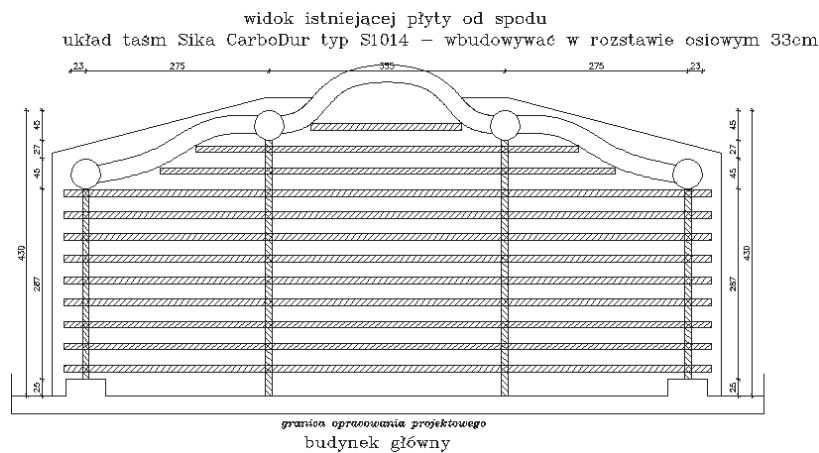
After the inspection of constructional elements and the analysis of various strengthening methods, including those described in the available scientific and technical literature, it was decided to make the strengthening of constructional units with the help of carbon fiber tapes by Sika. Due to their high strength parameters and low thickness not exceeding 1.4 mm, carbon fiber tapes are the material

materiałem, który nie ingeruje w wygląd obiektu zabytkowego. W prezentowanym przypadku taśmy przyklejane pracujące jako dodatkowe zbrojenie konstrukcji betonowej stanowią jednocześnie spięcie płyty balkonu z budynkiem (rys. 4). Taśmy Sika CarboDur typ S1014 zastosowano również do wzmocnienia tarasu na elewacji wschodniej (rys. 5) [2, 3, 4, 5].

which does not interfere with the look of an antique structure. In this case, the glued-on tapes work as an additional reinforcement of the concrete construction and at the same time they make up the clamping of the balcony plate with the building (fig. 4). The Sika CarboDur tapes (type S1014) have also been applied for strengthening of the east façade of the terrace (fig. 5) [2, 3, 4, 5].



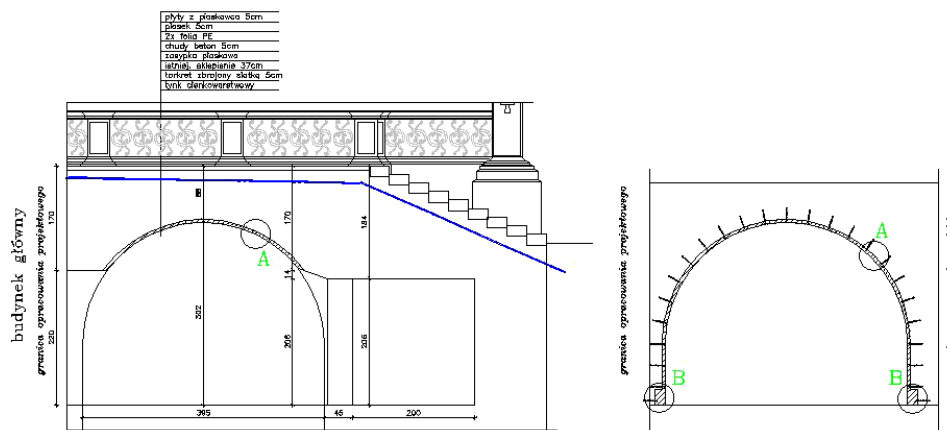
Rys. 4. Widok płyty balkonu wzmocnionej taśmami węglowymi  
Fig. 4. View of the balcony plate with Sika CarboDur tape reinforcement



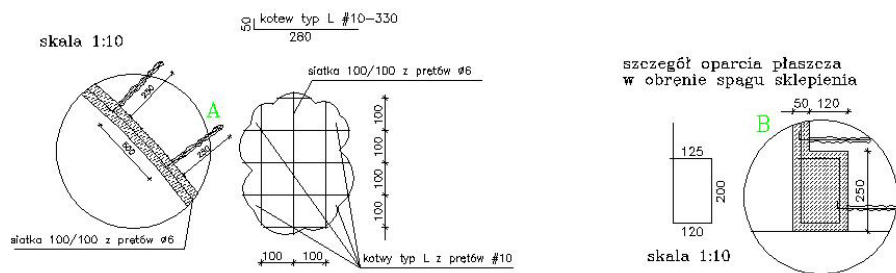
Rys. 5. Widok płyty tarasu wzmocnionej taśmami węglowymi  
Fig. 5. View of the terrace plate with Sika CarboDur tape reinforcement

Z kolei sklepienia tarasu od strony wschodniej zdecydowano się wzmocnić poprzez torkretowanie ze zbrojeniem siatką (rys. 6, 7) [6, 7].

It was then decided to strengthen the vaulting of the terrace from the east side by guniting it with the reinforcing mesh (fig. 6, 7) [6, 7].



Rys. 6. Przekrój tarasu południowego  
Fig. 6. Cross-section of the south terrace



Rys. 7. Szczegóły wzmocnienia  
Fig. 7. Details of reinforcement

### 3. Realizacja

Remont prezentowanych tarasów i balkonu odbywał się w ramach inwestycji dotowanej przez Unię Europejską i był kontynuacją prowadzonych prac renowacyjnych zarówno elewacji budynku jak i jego wnętrza. Na rysunkach 8, 9 i 10 przedstawiono zdjęcia z fazy renowacji tarasu wschodniego i południowego. Z kolei rysunek 11 prezentuje efekt końcowy wykonanych prac. Dodatkowymi robotami, jakie zostały wykonane była renowacja elementów kamiennych, stanowiących dekoracje balkonu i tarasów.

### 3. Renovation

The terraces and the balcony were repaired as part of the project subsidized by European Union, and it was the continuation of renovation works carried out for both the façade and interiors. Figures 8, 9 and 10 show photographs taken during the renovation of the east and south terraces. Figure 11 shows the final result. The renovation of stone elements making up the decorations of the balcony and the terrace were carried out as additional works.



Rys. 8. Taras wschodni – widok doklejanych taśm węglowych  
Fig. 8. East terrace – view of CFRP tapes



Rys. 9. Taras południowy – widok naprawy ścian tarasu oraz sklepienia  
Fig. 9. South terrace – view of the terrace walls and the vault being repaired



Rys. 10. Taras południowy – widok naprawy sklepienia  
Fig. 10. South terrace – view of the terrace vault being repaired



Rys. 11. Balkon i portal nad wejściem głównym – efekt końcowy  
Fig. 11. The balcony and the portal above the main entrance – final view after renovation



Rys. 12. Taras południowy – widok po renowacji  
Fig. 12. South terrace – view after renovation

## 4. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano remont i wzmocnienia balkonu i tarasów budynku Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych w Biedrzykowicach. Jednym ze sposobów wzmocnienia było zastosowanie taśm z włókien węglowych typu Sika CarboDur. Taśmy te znajdują coraz szersze zastosowanie w renowacji zabytków, z uwagi na swoje wysokie parametry wytrzymałościowe i niewielką grubość. Dzięki temu nie ingeruje się zbyt drastycznie w strukturę zabytku, a o to zarówno autorom projektu, jak i konserwatorowi zabytków chodziło.

## 4. Summary

Repairs and strengthening of the balcony and the terraces of the Secondary Schools Complex in Biedrzychowice have been discussed in this article. One of the methods of strengthening was to apply the Sika CarboDur carbon fiber tape. These tapes are more and more widely applied for renovation of monuments, due to their high strength parameters and low thickness. Because of these properties the degree of their interference with the monument structure is not very high. This interference has been the main concern of both the project authors' and the monument conservator's.

## Literatura • References

- [1] Kuczewski W., Program konserwatorski „Kamienna dekoracja elewacji pałacu w Biedrzykowicach”, 2007.
- [2] National Research Council (2004), *Guide for the Design and Construction of Externally bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. Materials, RC and PC structures, masonry structures*, Rzym 2004.
- [3] National Research Council (2005), *Guide for the Design and Construction of Externally bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. Metallic structures*, Rzym 2007.
- [4] National Research Council (2006), *Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars*, Rzym 2007.
- [5] Di Tommaso A. *Compatibility of composite materials strengthening for mitigation of seismic vulnerability of historical churches*, Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych, REMO, Wrocław 2006.
- [6] Jasiński J., Engel. L.J., „Badania, konserwacja i wzmocnienie konstrukcji ceglanej kopuły kościoła św. Jana w Owińskach” Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych, REMO, Wrocław 2006.
- [7] Słowek G., Majchrzak W., *Zastosowanie torkretowania dla wzmocnienia sklepieńceglanych* Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych, REMO, Wrocław 2006.

---

\* Zespół Inżynierów AŁYKOW, Lubań, Polska  
Team of Civil Engineers AŁYKOW, Lubań, Poland,

\*\* Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

---

## Abstract

In this article, we discuss the renovation of a historic building using various methods of repairing. One of the methods consists in using Sika CarboDur tapes to repair the balcony and the terrace in the Secondary Schools Complex in Biedrzychowice.

## Streszczenie

Ten artykuł przedstawia renowację historycznego obiektu przy użyciu rozmaitych metod napraw. Jedną z tych metod polega na zastosowaniu taśm Sika CarboDur do naprawiania balkonu i tarasu Zespołu Pogimnazjalnych Szkół w Biedrzykowicach.

Dariusz Bajno\*

## Typowe problemy związane z ratowaniem zabytków nieruchomych na przykładzie wybranych obiektów w Opolu

## Typical problems related to saving the historical monuments on the example of selected buildings in Opole

### 1. Wstęp

Szczególnie, obecny okres pokazuje jak dla każdej miejscowości ważna jest choćby namiastka jej historii. Żywym pomnikiem tej historii jest stara zabudowa, niestety w coraz większym zakresie bezpowrotnie znikająca z krajobrazu. Dotyczy to głównie mniejszych miejscowości oraz uboższych regionów, które na co dzień borykają się z innymi, również ważnymi problemami, w tym głównie finansowymi. Opole jest niewielką aglomeracją w porównaniu do innych ośrodków wojewódzkich, a także wielu innych miast Polski. Proporcjonalnie do swej wielkości posiada także mniejszą ilość zabytków, która dosyć mocno zubożała jeszcze przed II wojną światową, ale także w czasie prowadzenia działań wojennych i w okresie późniejszym. Niniejszy artykuł stanowi kontynuację poruszonego na konferencji naukowej w Elgiszewie tematyki ratowania zabytków [1], zorganizowanej przez Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy. Treść referatu przedstawiona na ww. konferencji skupiła się głównie na jednym obiekcie Opola, wyremontowanym w ramach projektu „Mons Universitatis. Rozbudowa i remont Muzeum Śląska Opolskiego w Opolu”. Tak się składa, że Muzeum dysponuje kilkoma budynkami zabytkowymi, które były i nadal są wykorzystywane na cele muzealno-edukacyjne. Stan techniczny tych obiektów w okresie przed remontem można było określić jako typowo „zły”, wręcz zagrażający bezpieczeństwu ich użytkowania. Jak powszechnie wiadomo, muzea to nie tylko

### 1. Introduction

Nowadays it is especially observed how important for each place is to have at least a bit of its own history. A true proof of this history are buildings of historical importance, unfortunately, gradually disappearing from our surroundings. It mainly concerns smaller towns or villages and, generally, poorer areas which have to face a lot of every-day problems, first of all financial ones. Opole is not a big agglomeration in comparison with other voivodeship centres and other big Polish cities. Proportionally to its size, it has a smaller number of historical monuments which decreased not only before World War II and as a result of warfare but also after the war. The present report is the continuation of the problem of saving historical monuments raised at the scientific conference in Elgiszew [1], organized by University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz. The report presented at the conference focused mainly on one building in Opole, renovated within the project ‘Mons Universitatis. The enlargement and renovation of the Museum of Opole Silesia’. The museum uses a few historical buildings which have been and still are used for museum-educational purposes. Technical condition of these buildings before the renovation was very poor, even dangerous for the users. As it is commonly known, museums



sale wystawowe, gdzie prezentuje się starodruki wyłożone w gablotach czy porcelanę. Ekspozuje się tu również znacznie cięższe zbiory takie jak uzbrojenie, księgozbiory, ceramikę, drewno pochodzące z wykopaliisk oraz wiele innych. W rozumieniu technicznym można przyjąć, że muzea to przede wszystkim magazyny, w których nadal pozostaje nieekspozowana z powodu braku powierzchni wystawienniczych liczba ok. 95% posiadanych przez nie zbiorów. Dla tych pomieszczeń, przyjmuje się wielkości charakterystycznych obciążeń technologicznych w oparciu o normę obciążeniową [5], w wysokości  $4,0 \text{ kN/m}^2$ , o ile nie ustala się tych wielkości indywidualnie. W rzeczywistości zdarza się, że bywają one wyższe od zakładanych, ponieważ większość muzealników nie prowadzi kontroli dopuszczalnych poziomów obciążeń, dla poszczególnych kondygnacji. Niejednokrotnie zdarza się, że art. 62 Ustawy Prawo budowlane jest przestrzegany tylko z obowiązku formalnego, natomiast wnioski znajdujące w protokołach z przeprowadzanych okresowych przeglądów technicznych pozostają jedynie „na papierze”. Takie działanie staje się jedną z głównych przyczyn pogarszania się stanu technicznego budynków, pomimo wykazywania wielu aktów dobrej woli ze strony właścicieli i zarządców tych obiektów, w celu ich ratowania.

Problem ratowania obiektów, w tym szczególnie zabytkowych nie ogranicza się do ich jednego elementu, który już sam w sobie mógłby stanowić temat odrębnego artykułu lub referatu. Utrudnień, z jakimi borykają się właściciele budynków i przyszli inwestorzy, jest wiele. Zarówno prawidłowo sporządzona ekspertyza, jak również będący jej kontynuacją projekt budowlano-wykonawczy remontu obiektu, nie są w stanie określić pełnego, rzeczywistego zakresu robót, jaki czeka inwestora oraz wykonawcę, już na etapie realizacji zadania. Gdyby tak miało być, to efektem wykonania ekspertyzy mógłby niejednokrotnie stać się całkowicie rozebrany przedmiot jej oceny, czyli obiekt przewidziany do ratowania. Niniejszy artykuł nie będzie również dotyczył jednego z wybranych, wiodących problemów technicznych, lecz ogólnej ich grupy, na którą składają się nie tylko mankamenty techniczne, lecz także inne nie mniej istotne aspekty w procesie ratowania substancji zabytkowej.

## **2. Krótka charakterystyka realizowanego projektu**

Jak już wspomniano wyżej, projekt „Mons Universitatis” dotyczył czterech, zróżnicowanych pod względem wiekowym budynków [3]. Prace remontowe prowadzone były w trzech budynkach, natomiast czwarty wykonany został od podstaw. Poniżej, na rys. 1 przedstawiono schematyczne rozmieszczenie budynków pod-

are not only exhibition halls which exhibit old prints or porcelain in display stands. Museums show much ‘heavier’ collections, such as weapons, collections of books, pottery, wood from excavations and others. In a technical sense, it can be assumed that museums are first of all warehouses where the collections are stored of which about 95% is not displayed because of the lack of exhibition areas. For such rooms it is assumed to accept quantities of characteristic technological loads on the basis of loading standard [5], which equals  $4,0 \text{ kN/m}^2$ , unless they are calculated individually. In fact they happen to be higher than assumed because most museum administrators do not control permissible load levels for a particular condignation. It can happen that Art. 62 of the Act – Building Law is obeyed only as a formal duty and the conclusions from periodical technical inspections remain only ‘on paper’. Such actions are one of the main reasons for the deterioration of technical conditions of the buildings in spite of the owners’ and administrators’ good will to save them.

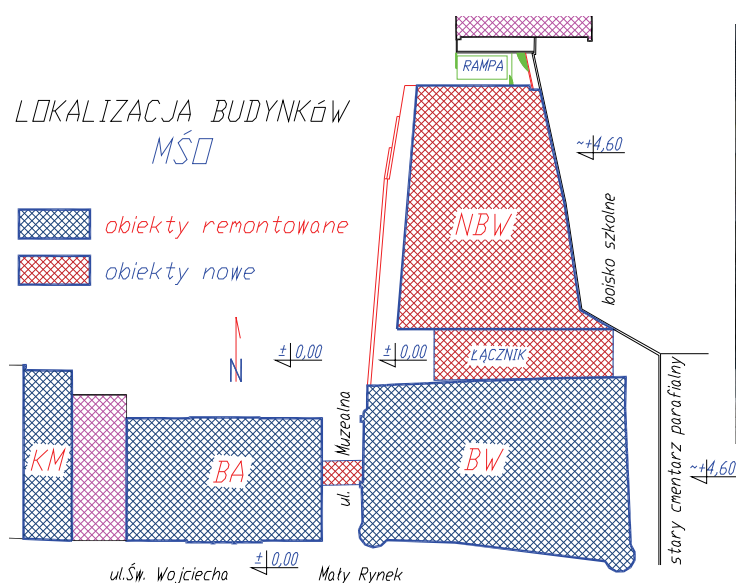
The problem of saving buildings, especially the ones of historical importance is not restricted to one element only, which itself could be the theme of a separate article or a paper. There are lots of difficulties which the owners of the buildings or future investors have to face. A properly made expert’s report and the renovation design of the building do not cover the whole range of work which the investor and the contractor will have to encounter at the implementation stage. If it was so, the result of the expert’s report would even be knocking down the object of the expertise (the building) which was to be saved. The present paper also will not deal with one chosen technical problem but the whole group of problems which relate not only to technical shortcomings but also to other less significant aspects in the process of saving historical ‘substance’.

## **2. Short characteristics of the implemented project**

As it was mentioned earlier, the project 'Mons Universitatis' concerned four buildings, different as for their age [3]. Renovations were carried out in three buildings, while the fourth one was built anew. Below, fig. 1 shows schematic location of the renovated and expanded buildings,

danych remontowi i rozbudowie, natomiast w tablicy (tab. 1) przedstawiono charakteryzujące je parametry.

and tab. 1 presents parameters which characterize them.



Widok frontu budynków wskazany strzałką – widoczne są (od prawej): BW, BA i KM  
Front walls of the buildings indicated by an arrow – BW, BA i KM are seen (from the right)

Rys. 1 Kompleks budynków należących do Muzeum (oznaczenia w tab. 1)  
Fig. 1. The complex of the buildings belonging to the Museum (the signs in table 1)

Tab.1. Krótka charakterystyka obiektów  
Short characteristics of the buildings

Nazwa obiektu The name of the building	Oznaczenie Reference number	Czas powstania Time of emergence	Kubatura [m <sup>3</sup> ] Capacity / cubature [m <sup>3</sup> ]	Nr ewid. w rejestrze zabytków Catalogue number in the register of historic monuments	Stopień zużycia [%] The degree of wear / exploitation [%]	Oddano do użytkowania (po remoncie / wybudowaniu) Opened (after the renovation / erection)
Budynek wystawowy The exhibition building	BW	XV w. ÷ XVII w.	8 806	156/55	72	08.2008 r.
Budynek administracyjny The administration building	BA	1818 r.	6 020	158/55	50	02.2008 r.
Kamienica mieszczańska A tenement house	KM	XIX w.	1 860	149/55	70	12.2007 r.
Nowy budynek wystawowy A new exhibition building	NBW	2008 r.	7 595	–	–	08.2008 r.

Prace remontowo-budowlane rozpoczęto jesienią 2006 roku, a zakończono w czerwcu 2008 roku. Podstawowy harmonogram zadania zakładał ich zakończenie w styczniu 2008 roku, lecz stale powiększająca się liczba robót dodatkowych związanych z pojawiającymi się niespodziankami już w połowie roku 2007 stawiła utrzymanie ww. terminu pod znakiem zapytania [3], [4]. Wykonawca wielokrotnie zwracał się do inwestora o wydłużenie okresu realizacji, ostatni wniosek wnosił o przesunięcie terminu zakończenia robót na koniec miesiąca sierpnia 2008 r. Ostatecznie zadanie w zakresie technicznym zakończono w dniu 30 czerwca, natomiast w zakresie rozliczeniowym w dniu 30 sierpnia 2008 roku.

Renovation work started in autumn 2006 and finished in June 2008. The basic schedule of the task assumed to complete the work in January 2008, but an increasing number of additional unforeseen tasks made the date questionable in the middle of 2007 [3], [4]. The contractor applied to the investor repeatedly as for the prolongation of the implementation period. In the last application he suggested the end of August 2008 as a possible date of completing the task. Eventually, the task was completed technically on 30 June and financially on 30 August 2008.

### 3. Czynności przygotowujące do realizacji zadania

Remont, a przede wszystkim budowa nowego obiektu, zlokalizowana w ścisłej zabudowie, w pełni funkcjonującego i jednocześnie ciasnego śródmieścia miasta była sporym wyzwaniem dla inwestora oraz projektanta, lecz głównie jednak problem ten dotyczył wykonawcy robót. Nie mniej jednak rozpoczęcie wszelkiego rodzaju prac wymagało wcześniejszego pozyskania wystarczającej ilości środków finansowych, których w tym przypadku inwestor finansowany z budżetu samorządu województwa, nie posiadał. Muzea nie są w stanie utrzymać się ze swoich przychodów. Są to jednostki kultury, otwarte na szeroki krąg odbiorców, nie nastawione na zysk z prowadzonej przez siebie działalności. Pozyskanie środków unijnych na cele rewitalizacji obiektów jest możliwe dopiero po wykonaniu dokumentacji projektowo-kosztorysowej i pozytywnym rozpatrzeniu wniosku, złożonego przez przyszłego beneficjenta. Kwota, do jakiej fundusze strukturalne mogą finansować zadania, nie może przekroczyć 70 – 80% łącznej wartości tzw. środków kwalifikowanych.

W przypadku realizowanego projektu całkowity koszt zadania zamknął się kwotą 30 mln zł, w tym koszty kwalifikowane stanowiły wartość 17,7 mln zł. Ponieważ dotacje dotyczą tylko środków kwalifikowanych, stąd ostatecznie 75% ww. kosztów przypadło na środki unijne, 15% pochodziło z budżetu Urzędu Marszałkowskiego Województwa Opolskiego (UMWO) natomiast 10% ze środków Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego.

Pozyskiwanie wymaganych środków finansowych na realizację zadań to tylko jeden z problemów z jakim muszą uporać się inwestorzy, kolejnym natomiast jest wyłonienie wykonawcy w drodze przetargu, w oparciu o Ustawę Prawo Zamówień Publicznych, gdzie w zasadzie jedynym kryterium wyboru nadal jest oferta cenowa wykonawcy, i to w formie zryczałtowanej. Taka sytuacja niejednokrotnie stawia pod sporym znakiem zapytania wymaganą jakość przyszłych prac oraz wykonanie wszelkiego rodzaju robót dodatkowych i jednocześnie koniecznych do przeprowadzenia, które trudno było przewidzieć na etapie opracowywania ekspertyzy oraz projektu. Kryterium ceny, jakim musi kierować się zamawiający przy wyborze ofert, jest dalece niezasadne z technicznego i jakościowego punktu widzenia realizacji zadania. Późniejsze wprowadzenie wszelkiego rodzaju zmian do podpisanych umów jest tu praktycznie niemożliwe, ze względu na obwarowania zapisów ww. ustawy.

### 3. Preparations before implementing the task

Repair work, and especially constructing a new building in a compact city centre, functioning fully and overcrowded, turned out a great challenge for the investor and the designer as well as the building contractor. To start the work it was necessary to gain sufficient financial support which, in this particular case, the investor financed from the voivodeship did not get. The museums are not generally able to get enough money from their income. They are culture units open to a vast range of recipients not aiming at gaining financial profit from their activities. Getting European Union financial support for the revitalization of the building is possible only after preparing design and cost calculation documentation and accepting an application submitted by a future beneficiary. In financing a task, structural funds can constitute only up to 70-80% of the total sum of the so called qualified resources.

In case of the implemented project, the total cost did not exceed 30 mln zł including qualified resources of 17,7 mln zł. As the subsidy concerns only qualified resources therefore finally 75% of the cost were European Union resources, 15% came from Marshal's Office of Opole Voivodeship whereas 10% from the Ministry of Culture and National Heritage.

Gaining financial resources to fulfil tasks is only one of the problems which the investors have to face. The next is putting the offer out to tender and finding contractors according to the Public Procurement Law where the only criterion while choosing the right one is still the contractor's price offer, moreover in the form of a lump sum. Such a situation questions the required quality of future work as well as the quality of additional tasks which were impossible to predict at the stage of preparing an expert's report and a design. The price criterion which is obligatory while choosing the right offer is highly unjustified from a technical and qualitative point of view as for the task implementation. Introducing any changes to signed agreements later is impossible due to above acts.

#### 4. Etap wykonawstwa

Jak to już podkreślono wyżej, wszelkiego rodzaju prace ingerujące w istniejące obiekty niosą ze sobą sporo niespodzianek. Podobnie to miało miejsce przy realizacji projektu „Mons Universitatis”. Pierwszą z nich, co prawda braną pod uwagę przez wykonawcę składającego ofertę, stało się właściwe zorganizowanie placu budowy a przede wszystkim zapewnienie ciągłości dostaw. Opole to niewielkie miasto o bardzo ciasnym układzie uliczek śródmieścia, wiernie zachowanym jeszcze z okresu przełomu XVII i XVIII wieku. Na rys. 2 przedstawiono siatkę ulic XVIII wiecznego Opola, zamieszczoną na grafice autorstwa Friedricha Bernharda Wernera [2], datowanej na 1750 rok. Kolorem czerwonym (zakreślenie kółkiem) zaznaczono ulicę św. Wojciecha (wówczas również nosiła taką samą nazwę), Mały Rynek oraz ul. Muzealną. Cyfrą 3 oznaczony został budynek wystawowy (BW), który powstał już na początku XV wieku. Jego historia została już w skrócie opisana w artykule [1].

Ten układ urbanistyczny śródmieścia Opola przetrwał praktycznie w niezminionej postaci do dnia dzisiejszego, wymieniały się tylko budynki. Nie bez powodu więc ratowanie każdego z pozostałych jeszcze niewielu tak „wiekowych” zabytków stało się poważnym wyzwaniem dla władz samorządowych województwa opolskiego jak również właściciela i jednocześnie użytkownika jednego z najstarszych budynków Opola.

Niewielkie szerokości uliczek oraz proste kąty ich załamania, bez wymaganych minimalnych promieni skrętu stały się poważną przeszkodą w dostawach elementów o długości przekraczającej 6 m. Nie mniej jednak zestawy niskopodwoziowe, przekraczające długość 12 m nie były rzadkością na placu budowy. Ponadto budowę obsługiwały dwa stacjonarne żurawie kratowe, których montaż wymagał od wykonawcy wysokiej precyzji (rys. 3).

Montaż nowych konstrukcji odbywał się praktycznie ze środków transportowych, ze względu na brak możliwości stałego utrzymywania placów składowych (rys. 3). W podobny sposób usuwano

#### 4. The stage of implementation

As it was stressed before, all kinds of work interfering with existing buildings bring a lot of ‘surprises’. It also happened in case of ‘Mons Universitatis’ project. The first, taken into consideration earlier by the contractor who presented the offer, was a proper organization of the building site and ensuring continuity of supplies. Opole is not a big city with a compact arrangement of the streets in the city centre accurately reflecting the street plan from the turn of XVII and XVIII centuries. In fig. 2 street



Rys. 2. Układ ulic XVIII-wiecznego Opola [2]  
Fig. 2. Street arrangement of the XVIII century Opole [2]

arrangement from XVIII century Opole is presented on a graphic design made by Friedrich Bernhard Werner [2], dating back to 1750. St. Wojciech Street which had the same name then, the Small Market Square and the Museum Street are circled red. The exhibition building (3) was built at the beginning of XV century. Its history has already been described briefly in the article [1].

This urban arrangement of Opole city centre has been preserved unchanged till today, only buildings have been replaced. Therefore saving each of the remaining historical buildings is a big challenge for Opole voivodeship government as well as the owner/user of the building which is one of the oldest in Opole.

Narrow streets and right angles of the street arrangements without required minimal turning radius have become a serious obstacle to supplies of elements longer than 6 metres. However, low-chassis, more than 12 m long vehicles were sometimes seen at the building site. Moreover, building work was accompanied by two stationary latticed cranes the assembly of which required the contractor's high precision (fig. 3).

The assembly of new constructions took place from transport facilities as it was impossible to keep permanent store places (fig. 3). The demolition materials were removed in the same way.

materiały pochodzące z rozbiórki. Na załączonych ilustracjach (rys. 3) pokazany został plac budowy od strony zaplecza budynków, natomiast po ich drugiej stronie plac budowy kończył się równo z krawężnikiem ulicy św. Wojciecha (rys. 3).

Poniżej wymienia się niektóre z istotniejszych problemów, jakie pojawiły podczas prowadzenia prac:

- posadowienie najstarszego obiektu (BW) okazało się inne niż to przewidywał projekt – spód fundamentu znajdował się na głębokości od 60 do 80 cm poniżej poziomu terenu (rys. 4a), głębokość strefy przemarzania dla Opola wynosi 1,0 m ppt. [6],
- w poziomie posadowienia obiektu (BW) występowały nienośne grunty nasypowe – ściany budynku były intensywnie zarysowane oraz silnie spękane [3], [4],
- usunięcie wewnętrznych tynków odsłoniło rozwarstwienia w połączeniach ścian górnych kondygnacji (rys. 4b), dochodzące do 50÷100 mm (BW),

Fig. 3 shows the building site seen from the builder's yard while on the other side the building site reached the curb of St. Wojciech Street (fig. 3).

Below there are some problems enumerated which appeared while working at the building site:

- the foundation of the oldest building (BW) turned out different than the project predicted – the bottom of the foundation was at the depth from 60 to 80 cm below the ground level (fig. 4a), the depth of frost penetration zone is 1,0 m ppt. for Opole [6],
- on the level of the building foundation (BW) non-loadbearing made ground was found – the walls of the building were intensively cracked and scratched [3], [4],
- the removal of inner plaster uncovered delaminations in the wall links of upper condignations (fig. 4b), reaching 50÷100 mm (BW),



Rys. 3. Zaplecze oraz plac budowy  
Fig. 3. The builder's yard and the building site



Rys. 4. a) zagłębienie fundamentu, b) rozwarście ścian w narożach, c) zawilgocenia piwnic  
Fig. 4. a) the depression of the foundation, b) opening in corners of the walls, c) rising damp of the cellars



Rys. 5. a) belka stropu (BW), b) belka stropu (KM), c) schody wewnętrzne (KM)  
Fig. 5. a) the beam of the ceiling (BW), b) the beam of the ceiling (KM), c) the internal stairs (KM)

- usunięcie tynków ścian piwnic ujawniło spore uszkodzenia czerepu cegieł, silne zawilgocenie oraz wysoką zawartość chlorków i azotanów, siarczany lokalizowały się na poziomie średnim i niskim (rys. 4c),
  - po wykonaniu pełnych odkrywek okazało się, że drewniane stropy w budynkach (BW) i (KM) nie nadawały się do dalszego bezpiecznego użytkowania (rys. 5a, b), natomiast ze względu na konieczność ich wymiany należało powiązać ze sobą rozwarstwione oraz spękane ściany budynku, poprzez wprowadzenie kotew iniekcyjnych [3], [4],
  - przy próbach oczyszczenia przednóżków wewnętrznych schodów (KM) okazało się, że należy je w całości wymienić na nowe na zasadzie wiernego ich odtworzenia, ze względu na zaawansowaną korozję blach z jakich zostały wykonane (rys. 5c),
  - pomimo wielu uwag, kierowanych w stronę bezpośrednich wykonawców robót oraz nadzoru technicznego, wszelkiego rodzaju przebicia i bruzdy wykonywane były w sposób uderowy, naruszający strukturę wiązań sąsiednich cegieł,
  - w sytuacji, gdy remontowane obiekty znajdują się w zabudowie ciągłej, gdzie nie wszystkie w kolejności należą do jednego właściciela lub zarządcy, spore utrudnienia stwarza wykonanie skutecznej izolacji przeciwwilgociowej, szczególnie w miejscu występowania wspólnych, wewnętrznych ścian piwnicznych (fundamentowych), a także w połączeniach części podpiwniczonych z niepodpiwniczonymi.
- the removal of basement wall plaster uncovered large damage of brick shards, penetrating damp and high level of chloride and nitrate contents, sulfates localized at the medium and low level (fig. 4c),
  - after making full exposures it turned out that the wooden beams in the buildings (BW) and (KM) could not be used safely any longer (fig. 5a, b), and as they had to be replaced it was necessary to connect delaminated and cracked building walls by introducing injective anchors [3], [4],
  - while attempting to clean the inner risers of the stairs (KM) it turned out it was necessary to replace them with completely new ones reconstructing them faithfully because of advanced corrosion of metal plates they were made of. (fig. 5c),
  - in spite of many comments directed to work contractors and engineering supervisors all kinds of holing and grooves were made percussively which violated the binding structure of adjoining bricks,
  - in the situation when the renovated buildings are in a continuous building line and not all of them belong to one owner or administrator, it is extremely difficult to make an effective anti-moisture isolation, especially in case of inner shared foundation walls and in the areas where basement parts adhere non-basement parts.

## 5. Roczny okres eksploatacji obiektów

Opisane wyżej budynki, użytkowane są zgodnie ze swoim przeznaczeniem już od września 2008 roku. Tak jak to ma miejsce po zakończeniu wielu realizacji, również i tu ich eksploatacja nie odbywa się bez drobnych utrudnień i usterek. Szczególnie gdy chodzi o skuteczność wszelkiego rodzaju niskoprądowych instalacji elektrycznych, w tym alarmowych. Problemem okazało się zawieszanie w pomieszczeniach muzealnych dodatkowych plansz ekspozycyjnych, elementów podświetleń itp. których lokalizacja wiązała się z ingerencją w ścianę lub strop, bez posługiwania się inwentaryzacją powykonawczą wykonanych wcześniej sieci lub ustaleniem ich lokalizacji za pomocą wykrywacza metali, co w przyszłości może grozić poważnymi awariami instalacji odpowiedzialnych za ochronę obiektu, takimi jak przeciwwłamniowa, pożarowa, telewizja kablowa itp.

Nowo wykończone i oddane do użytkowania obiekty „dostosowują” się do warunków klimatycznych, dyktowanych już przez ich użytkownika, a dokładniej przez instalacje wentylacyjno-schładzające, co zazwyczaj już w początkowym okresie ich eks-

## 5. One year after the exploitation of the buildings

The buildings described above have been used in accordance with their purpose since September 2008. As it happens after completing several projects, also in this case there happen some defects and difficulties, especially with effectiveness of all kinds of low-current wiring system, including warning devices. Hanging extra exhibition charts in museum halls, backlight elements, etc resulted in some problems as it was accompanied by the violation of walls or a ceiling without checking previously made stock-taking of the existing installations or using metal detectors to find them. Future consequences can be serious failures of installations responsible for building protection, such as anti-burglary system, fire-protection system, cable TV, etc.

New buildings ‘adjust’ to climate conditions imposed by a user, or even more precisely, by ventilation cooling systems, which results in a net of cracks on wall and ceiling plaster even at the

ploatacji objawia się uwidocznieniem siatki zarysowań na wyprawach ścian oraz stropów. Po wcześniejszym wprowadzeniu w remontowane elementy sporych ilości wilgoci technologicznej, będącej wynikiem procesów wykonywanych „na mokro”, dodatkowo wydłuża się czas skutecznego usuwania jej nadmiaru, poprzez naturalne wysychanie. Przystąpienie do użytkowania obiektów bezpośrednio po zakończeniu ostatnich prac, przy uruchomionych instalacjach jw. powoduje zachwianie pierwotnej równowagi termicznej i wilgotnościowej, na granicy pomieszczeń o różnych wymaganiach, i nie może odbywać się to bez ujemnych skutków dla ich zewnętrznych oraz wewnętrznych przegród.

W czasie realizacji projektu „Mons Universitatis” doszło również do zamierzonego dociążenia ścian i fundamentów jednego z obiektów masywnymi stropami, które zastąpiły lżejsze stropy drewniane. Skutki takiej wymiany dały o sobie znać w postaci siatki zarysowań, lokalizujących się w bezpośrednim sąsiedztwie pod oparciem elementów nośnych tych stropów.

Prawidłowe wykonanie izolacji oraz zastosowanie tynków renowacyjnych pozwoliło na doprowadzenie dotąd silnie zawilgoconych i zasolonych przegród do stanu ich prawidłowej wilgotności, bez widocznych śladów krystalizujących soli. Niestety ten stan w okresie zimowym ulega zmianie poprzez niekontrolowane rozsypywanie „soli” przez służby utrzymania czystości, w ramach tzw. „akcji zima” (rys. 6a).

Bardzo istotny wpływ na trwałość każdego obiektu, w tym zabytkowego ma sąsiedztwo innych budynków, w tym głównie użytkowanych. Nie zawsze właściciel lub zarządca takiego obiektu może mieć kontrolę nad tym co się dzieje obok, a dotyczy to m.in. prowadzonych tam prac lub eksploatacji niesprawnych instalacji. Takie sytuacje zdarzają się dosyć często i nie ominęły one również budynków należących do Muzeum Śląska Opolskiego.

Obecnie nadal dosyć uciążliwym mankamentem jest nieszczelność sporej powierzchni (ok. 130 m<sup>2</sup>) przeszkleń nieklimatyzowanego holu kasowego wejścia głównego, łączącego budynek wystawowy (BW) z nowym budynkiem wystawowym (NBW). Przyczyną lokalnych rozszechnień są tu prawdopodobnie spore amplitudy temperatur, pojawiające się pomiędzy porą dzienną a nocną oraz porą letnią i zimową, bezpośrednio oddziaływające na zabudowane pod zadaszeniem stalowe dźwigary (rys. 6b). Wydłużenie lub skrócenie górnych pasów dźwigarów w warunkach opisanych wyżej, może kształtować się tu na poziomie [2÷5] mm, co przy

beginning of their usage. After an earlier insertion of technological moisture into renovated elements which is the result of wet processing, the time of removing its excess is additionally lengthened by natural desiccation. Using the buildings directly after completing final work with working installations results in disturbing the original thermal and moisture balance on the border of rooms of different requirements which cannot remain without negative effect on their internal and external partitions.

During the implementation of the project ‘Mons Universitatis’ the walls and the foundations of one of the buildings were weighed down with massive beams which replaced lighter wooden beams. As a result, a net of scratches appeared under the support of the beams’ bearing elements.

Properly made insulation and using renovation plaster made it possible to bring heavily damp and saline partitions back to their proper humidity without visible traces of crystallizable salts. Unfortunately, this changes in winter due to sprinkling salt on streets within the action ‘winter in the city’ (fig. 6a).

The vicinity of other buildings, especially those inhabited ones, has a significant impact on endurance of a historical building. The owner or administrator of the building hardly ever can control what happens next door, especially with regard to work done or uncovered faulty installations. Such situations happen quite frequently and the Museum of Opole Silesia was not an exception.

Nowadays, a great fault is the lack of tightness of glass walls of a huge, not air-conditioned box-office hall at the main entrance (ok. 130 m<sup>2</sup>) which joins the exhibition building (BW) with a new exhibition building (NBW). The reason for local unsealings are probably temperature amplitudes appearing between day and night and summer and winter which have a direct effect on steel girders built under the roofing (fig. 6b). Lengthening or shortening of upper parts of girders in the conditions described above can reach



Rys. 6. a) posypywanie ulic solą, b) stalowe dźwigary pod przeszkleciem  
Fig. 6. a) sprinkling salt on streets, b) steel girders under the glass ceiling

wprowadzeniu uszczelek mocowanych jedynie do bocznych krawędzi szklanych płyt zadaszenia nie jest obojętne, pomimo zastosowania przegubowych podparć punktowych dla tafli szklanych.

## 6. Uwagi własne oraz spostrzeżenia

Poniżej, w dużym skrócie zamieszczono kilka praktycznych uwag oraz spostrzeżeń dotyczących prowadzenia prac w obiektach zabytkowych, jakie nasunęły się w wyniku realizacji opisanego w niniejszym referacie zadania, jak również kilku innych:

- przed przystąpieniem do wykonywania robót, wykonawca i inwestor powinien zapoznać się z historią powstawania (etapowania) obiektu i jego późniejszymi losami (o ile dane takie są dostępne), natomiast projektant powinien to uczynić znacznie wcześniej,
- prace remontowe przy obiektach zabytkowych powinny być prowadzone pod stałym nadzorem autora projektu remontu oraz służb konserwatorskich,
- wszelkiego rodzaju korekty oraz uzupełnienia do dokumentacji podstawowej powinny być nanoszone na bieżąco, w miarę postępu prac,
- zamiana rodzaju konstrukcji np. stropów na cięższe winna być poprzedzona wglębną analizą stanu technicznego muru, który będzie stanowił dla nich oparcie, i udokumentowana obliczeniowo,
- szczególnej uwagi i wnikliwych rozwiązań wymaga połączenie nowych konstrukcji z istniejącymi obiektami, tak aby odbywało się ono bez wyrządzania szkody dla tych drugich,
- w świadomości pracowników bezpośredniego wykonawstwa utrwalił się model udarowego wykonywania przebić oraz bruzd, który może okazać się tragiczny w skutkach dla ratowanego obiektu lub jego elementów,
- wszystkim pracom, które naruszają zarówno elementy konstrukcyjne, jak i wykończeniowe obiektów zabytkowych powinien towarzyszyć stały nadzór jakościowy, co w obecnych warunkach rynku budowlanego (kryterium ceny w erze przetargów) nie jest możliwe do wyegzekwowania,
- na bieżąco należy inwentaryzować rzeczywiste miejsca wbudowywania sieci i urządzeń ulegających zakryciu, ponieważ ich różnorodność oraz gęstość może w przyszłości stanowić problem dla prawidłowego ich funkcjonowania, w czasie normalnej eksploatacji obiektu przez przyszłego użytkownika, który z kolei może dowiedzieć się o ich istnieniu dopiero w momencie wystąpienia poważnej awarii systemu obsługiwanego przez te instalacje.

the level  $|2\div 5|$  mm, which after using seals attached only to side edges of roofing glass panels can have consequences in spite of jointed point supports for glass panels.

## 6. Personal remarks and observations

Below, a few practical remarks and observations are presented briefly as for carrying out renovations in historical buildings:

- before starting the works, a contractor and an investor should get to know the stages of building erection and its later history (of course, if the data is available) while a designer should do it much earlier,
- renovation of historical buildings should be carried out under the supervision of the author of the restoration design as well as restoring services,
- all kinds of corrections and complements to the basic documentation should be updated together with renovation progress,
- the change of the kind of construction, e.g. beams into heavier ones, should be preceded by an extensive analysis of a technical condition of the walls which will be a support for them and should be documented computationally,
- the combination of the new constructions with the existing objects requires special care and reasonable solutions not to cause any damage to the latter,
- the model of percussive penetration can turn out to be tragic in consequences as for saving the building or its elements,
- all kinds of work which violate both construction and finishing elements of historical buildings should be accompanied by a constant qualitative supervision, which is not possible to enforce in contemporary conditions of a building market and the price criteria in tender offers,
- there is a need of constant stock-taking of installations and devices which are to be covered as their density and diversity can cause problems for their future proper functioning during a regular exploitation of the building by a future user, who has to be acquainted with their existence in case of serious malfunction of the system maintained by the installations.



## 7. Podsumowanie

Produkt finalny jakim jest wyremontowany lub nowy obiekt (obiekty) z sukcesem oddany do użytku, w każdej sytuacji jest wynikiem współdziałania ze sobą uczestników procesu budowlanego. Jak potwierdza to praktyka, wykonanie wielobranżowej dokumentacji projektowej jest warunkiem koniecznym, lecz w wielu przypadkach okazuje się niewystarczającym do osiągnięcia celu, jakim jest odbiór techniczny obiektu budowlanego, a następnie oddanie go do użytkowania. Nie jest tu celem samym w sobie uzyskanie decyzji administracyjnej, lecz zapewnienie prawidłowego i bezpiecznego użytkowania obiektu do czasu przeprowadzenia kolejnego, z założenia odległego w czasie remontu.

W opisanym w niniejszym artykule przypadku jednoznacznie należy stwierdzić, że pomimo wielu problemów jakie towarzyszyły realizacji zadania, cel jaki sobie postawiono został osiągnięty. Z wyjątkiem kilku mankamentów, które obecnie są eliminowane, obiekty funkcjonują prawidłowo co pozwala Muzeum Śląska Opolskiego w Opolu na wypełnianie swoich statutowych obowiązków ze sporym sukcesem.

## 7. Summary

A final product which is a renovated building (buildings), successfully completed to use, in each situation is a result of participants' cooperation in the building process. As practice confirms, performing multi-branch documentation is a necessary but not sufficient condition to prepare a technical inspection of the building and in the next step, to allow to use it. To obtain an administrative decision is not the aim itself, but to ensure correct and save use of the building until the next renovation, which can take place in distant future.

In the present report of the particular example we may clearly state that besides many problems accompanying the task implementation, the objective has been reached. Apart from a few faults which are being eliminated successfully, the buildings are functioning properly allowing the Museum of Opole Silesia to fulfil its statutory duties.

## Literatura • References

- [1] Bajno D., *Remont i rozbudowa obiektów zabytkowych na przykładzie jednej realizacji w Opolu*, BUDOWNICTWO OGÓLNE, Wydawnictwa Uczelniane UTP w Bydgoszczy, 2009.
- [2] *OPOLE – plany miasta, widoki graficzne, fotografie (do 1945 roku)*, Muzeum Śląska Opolskiego, 1995.
- [3] Dokumentacja budowy oraz dokumentacja powykonawcza zadania (2006-2008) pn. „Mons Universitatis. Rozbudowa i remont Muzeum Śląska Opolskiego w Opolu”.
- [4] Obserwacje i badania własne w czasie realizacji projektu 2006-2009.
- [5] PN-82/B-02003: *Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe*.
- [6] PN-81/B-03020: *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*.

---

\* Biuro Projektów i Ekspertyz „BiS-PROJEKT”, Żerkowice k.Opola, Poland  
The office of Designs and Evaluations “BiS-PROJEKT”, Żerkowice near Opole, Poland

---

## Streszczenie

Sama forma czysto technicznego podejścia do tematyki ratowania zabytków w Polsce może okazać się niewystarczająca pomimo tego, że argumenty w niej zawarte będą technicznie niepodważalne. Niniejszy artykuł postawił sobie za cel wskazanie również innych, zdaniem autora bardzo istotnych aspektów towarzyszących procesowi budowlanemu, z jakimi musi liczyć się przyszły inwestor (właściciel) podejmujący się tak odpowiedzialnego zadania, jak utrzymanie w wymaganym stanie technicznym takiego obiektu lub jego wyremontowanie, odtworzenie itp.

## Abstract

The form of the technical approach towards the topic of saving Polish monuments can appear to be not enough sufficient, although arguments presented in it would be technically unquestionable. The author's aim in writing this paper is to point out other very important aspects accompanying the building process which can be encountered by the future investor (owner) attempting to maintain the object in a proper technical condition, renovate, or reconstruct it, etc.

Maciej Dobrowolski\*  
Stanisław Medeksza\*

## Współczesne materiały konstrukcyjne w rekonstrukcji zabytków na przykładzie wieży kościoła św. Jana Chrzciciela w Legnicy

## The Contemporary Construction Materials Applied in the Reconstruction of Historic Monuments and Sights The Tower of St. John the Baptist Church in Legnica

### Kościół św. Jana Chrzciciela w Legnicy rys historyczny

Klasztor franciszkanów w Legnicy zbudowano w latach 1255-1260. Fundatorem był według przekazów książę Bolesław Rogatka. Pierwsze wzmianki o budowie kościoła pochodzą z 1294 roku. Istnieją przesłanki że usytuowano go w miejscu świątyni założonej przez Kazimierza Odnowiciela, a zniszczonej w czasie najazdu tatarów. Aby potwierdzić tą tezę należało by przeprowadzić odpowiednie badania archeologiczne zarówno w istniejącym kościele jak i wokół niego. Fundatorem pierwszego kościoła wybudowanego jako mały ceglany obiekt przylegający do zabudowań klasztornych był książę Henryk V Brzuchacz. Kościół był wielokrotnie przebudowywany, a pierwszą znaczącą przebudowę zanotowano w połowie XIV wieku dokonaną przez księcia Waclawa I. Następnej przebudowy w stylu gotyckim dokonano w XV wieku. Od roku 1548 kościół zaczął pełnić rolę książęcej nekropolii. Przeniesiono tu epitafia i szczątki rodziny książęcej. Świątynia stała się miejscem pochówku legnickich Piastów. Po śmierci 15-letniego księcia Jerzego Wilhelma (zm. 1675 r.), który był ostatnim Piastem, jego matka – Księżna Ludwika przebudowała w latach 1677-1679 gotyckie prezbiterium kościoła na

### History of St. John the Baptist Church in Legnica

The Franciscan Monastery in Legnica was built in the years 1255-1260. There are accounts that Duke Boleslaus the Bald was its founder. The construction of the church was first mentioned in 1294. There are some indications that it was located in the place where Casimir the Restorer built a temple which was destroyed during the Tartar invasion. In order to confirm this claim relevant archeological survey both in the existing church and around it should be conducted. Duke Henry V the Fat was the founder of the first church which was built as a small brick building adjoining the monastery buildings. The church was remodeled a number of times (the first significant remodeling was conducted in the middle of the 14th century by Duke Vaclav I) Next remodeling in the Gothic style took place in the 15th century. In 1548, the church began to serve as the necropolis for the Dukes. The epitaphs and the remains of the Duke's family were moved there. The temple became the burial place for the Piast Dukes of Legnica. in the years 1677-1679, after the last member of the Piast Dynasty – Duke George William died in 1675 at the age of 15, his mother – Duchess Louise remodeled the Gothic presbytery of the

mauzoleum Piastów legnicko-brzeskich. Wnętrze prezbiterium przebudowano wg projektów Rauchnillera na kolistą kaplicę, której ściany opinają po-

church into the mausoleum of the Piast Dukes of Legnica-Brzeg. The interior of the presbytery was remodeled according to the designs by Rauchnill-



Rys.1. Helmy kościoła św. Jana w Legnicy  
Fig. 1. The cupola of the St. Jan Church's at Legnica

tężne pilastry wspierające kopułę, a w niszach utworzonych przez dawne gotyckie przypory mieszczą się sarkofagi książąt. Bogactwo dekoracji podnoszą freski, przedstawiające apoteozę całego rodu Piastów oraz stojące na konsolach posągi czterech ostatnich członków tego rodu. W czasie kontrreformacji cesarz Leopold I przekazał kościół w roku 1698 lub 1699 oo. Jezuitom, nakazując im opiekę nad mauzoleum co pozwoliło na zachowanie go w prawie nie zmienionej formie do dnia dzisiejszego. W latach 1714-1727 Ojcowie Jezuiti rozebrali istniejący kościół za wyjątkiem prezbiterium i na jego miejscu wzniesli obecną świątynię, zrealizowaną przez Marcina Frantza wg projektów J. G. Knolte. W roku 1947 klasztor, kościół i parafię legnicką przejęli franciszkanie z Prowincji św. Antoniego i bł. Jakuba Strzemię. Przyległy do klasztoru kościół zbudowany został jako jednonawowy zakończony półkolistym prezbiterium z przylegającymi do głównej nawy bocznymi kaplicami. Nawę i prezbiterium nakrywa pozorne sklepienie kolebkowe, wykonane z drewna, ponieważ w roku 1744 w kościele zawaliło się sklepienie, na odbudowę którego jezuita z powodu braku środków nie mogli sobie pozwolić i zastąpili je sklepieniem drewnianym. Fasada główna, zwieńczona dwoma wieżami jest typowo dla baroku rozrzeźbiona z dużą ilością de-

er into a round chapel whose walls are embraced by massive pilasters, supporting the dome and the niches after Gothic buttresses house the sarcophaguses of the Dukes. The frescos, depicting a deification of the whole Piast dynasty, as well as the statues of the last four members of that family placed on consoles enrich the mausoleum's decorations. In 1698 or 1699, during the Counter Reformation Emperor Leopold I handed the church over to the Jesuits, instructing them to take care of the mausoleum, which contributed to its preservation in virtually the same form until today. In the years 1714-1727, the Jesuits disassembled the existing church except for the presbytery and in its place they had the present temple built by Marcin Frantz according to the designs by J. G. Knolte. In 1947, the monastery, the church and the parish in Legnica were taken over by the Franciscans of the Province of St. Anthony and Bl. Jacob Strzemie. The church adjoining the monastery was built as a single-nave church with a semi-circular presbytery and side chapels attached to the main nave. The nave and the presbytery are covered with a false barrel vault made of wood because the ceiling in the church collapsed in 1744 and the Jesuits could not afford to reconstruct it as they did not have enough funds and they replaced it with a wood ceiling. The main facade crowned with two

tali architektonicznych. We wnętrzu znajduje się szereg barokowych ołtarzy z obrazami wśród nich jednym M. Willmanna. W latach 1960 do 63 mauzoleum odnowiono z zamiarem odnowienia w niedługim czasie całego kościoła. Niestety plany te pokrzyżował 8 marca 1966 r. pożar który wybuchł w klasztorze w wyniku którego klasztor został zniszczony, a kościół częściowo uszkodzony. W kościele spalił się hełm wieży południowej oraz roztopiły się dzwony. Wypaleniu uległy stropy pośrednie w wieży oraz ukryta konstrukcja drewniana stanowiąca wzmocnienie murów wieży a jednocześnie spełniająca rolę kotwienia podstawy hełmu. Po pożarze w pierwszym rzędzie przystąpiono do odbudowy klasztoru aby zapewnić kontynuację działalności seminarium duchownego. W latach 1974 – 1977 przystąpiono do odbudowy spalonej wieży. Projekt odbudowy na podstawie materiałów archiwalnych i własnych inwentaryzacji wykonali archi-

towers is typically Baroque in style with a lot of sculptures and many architectural details. Inside it there is a number of Baroque altars with paintings – one of them by M. Willmann. In the years 1960–1963, the mausoleum was renovated, with the intent to restore the whole church soon. Unfortunately, these plans were thwarted by the fire which broke out on March 8, 1966 in the monastery and destroyed the monastery and partially damaged the church. The church south tower cupola burned down and its bells melted. The intermediate ceilings in the tower as well as the hidden wood construction which strengthened the tower walls, and at the same time served as an anchor of the cupola base, burned down too. After the fire first of all the reconstruction of the monastery began to assure the continuation of the seminary. In the years 1974–1977, the reconstruction of the tower began. The reconstruction project based on archival materials and their own



Rys. 2. Rekonstruowany hełm  
Fig. 2. Reconstructed cupola

tekci Maciej Dobrowolski, Krzysztof Głogowski i Stanisław Medeksza. Konstrukcję projektował mgr inż. Wojciech Marszałek. Przy rekonstrukcji hełmów wieży po raz pierwszy w Polsce zastosowano inny

survey was conducted by the architects Maciej Dobrowolski, Krzysztof Głogowski and Stanisław Medeksza. The construction was designed by Wojciech Marszałek, M.Sc. For the first time in Poland

materiał konstrukcyjny niż ten z którego były pierwotnie zbudowane hełmy. Jako szkielet zastosowano konstrukcję stalową zamiast odtwarzania konstrukcji drewnianej. Wymagało to zaprojektowania układu konstrukcyjnego odmiennego od pierwotnego układu drewnianej konstrukcji hełmu przy zachowaniu możliwości wiernego odtworzenia jego pierwotnego kształtu zewnętrznego. W 1978 roku dla zapewnienia większej funkcjonalności kościoła wykonano boczne wejście pozwalające na łatwiejszą ewakuację wiernych już nie tylko wejściem głównym prowadzącym na ruchliwą ulicę ale również na otwarty teren parafialny. Praca zespołu architektów wymienionych wyżej zakończona została projektem kolorystyki wnętrza kościoła, opartym na gruntownych badaniach stratygraficznych. Zgodnie z tym projektem w 1979 roku kościół pomalowano.

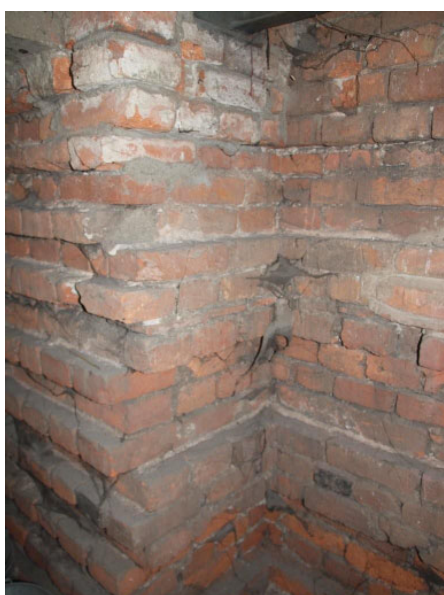
### Stan wieży przed odbudową

W wyniku pożaru w 1966 roku mimo wysiłków straży pożarnej i przybyłych z pomocą wojsk radzieckich oprócz spalenia się zabudowań klasztornych ucierpiał również kościół a szczególnie jego południowa część przylegająca bezpośrednio do klasztoru. Całkowitemu wypaleniu uległa wieża południowa. Wypaliły się drewniane stropy i schody, spaliła drewniana konstrukcja hełmu. Temperatura w trakcie pożaru była tak wysoka, że zwęgleniu uległa zakryta w narożach wieży konstrukcja drewniana wzmacniająca wieżę i służąca jednocześnie do mocowania podstawy hełmu do konstrukcji ceglanej oraz stopieniu uległy dzwony. Przed przystąpieniem do projektowania sprawdzono wytrzymałość konstrukcji mуро-

the construction material used in the reconstruction of the tower cupolas was different than that used originally to built the cupolas. Instead of reconstructing the original wood construction the frame construction was made of steel. This required designing a different construction system than the original one which was made of wood for the cupola, providing a possibility of faithfully recreating its original external form. In 1978, in order to increase the functionality of the church a side entrance was built to provide an emergency exit for the believers not only through the main entrance leading into a busy street but also to the open area of the parish. The work of the team of architects mentioned above was completed with the church interior color design based on detailed stratigraphic tests. In 1979, the church was painted according to that design.

### The condition of the tower before the reconstruction

Despite efforts of the fire fighters and Soviet soldiers who also came to help, the fire in 1966, apart from burning the monastery buildings, damaged the church too, especially its south part directly adjoining the monastery. The south tower was burned down completely. The wood ceilings, stairs and the wood construction of the cupola burned down. The temperature during the fire was so high that the wood construction, which was covered in the tower corners, strengthening the tower and serving at the same time as a base fixing the cupola to the brick construction, was charred and the bells melted. Before the design work started the strength of the masonry construction was tested. It turned out that it was



Rys. 3. Stan konstrukcji murowej  
Fig. 3. Condition of a construction masonry



Rys. 4. Wzmocnienia murów  
Fig. 4. Strengthening of the walls

wanej. Okazało się, że w wielu miejscach została ona osłabiona, a szczególnie widoczne to było w obniżonej wytrzymałości zaprawy w spoinach.

weakened in many places, which was especially evident in the lowered strength of the mortar in the joints.

### **Założenia projektowe i ich realizacja**

### **The design assumptions and their implementation**

Pierwszym zagadnieniem z którym trzeba było sobie poradzić to wzmocnienie murów wieży, tak aby przeniosły siły boczne wiatru po ustawieniu na nich

The first issue which had to be faced was strengthening of the tower walls which could bear the side forces of the wind after placing on them the new



Rys. 5. Stężenia ściągow między stropami  
*Fig. 5. Concentration between the ceilings*



Rys. 6. Kotwienie podstawy helmu  
*Fig. 6. Anchoring base of the coupola*

nowej konstrukcji hełmu, którego wysokość od podstawy do iglicy przekraczała 20 metrów. Drugim zagadnieniem było podjęcie decyzji jaką konstrukcję hełmu zastosować i z jakiego materiału ją wykonać. Trzecim zagadnieniem było opracowanie sposobu zamocowania konstrukcji hełmu do murów wieży.

construction of the cupola whose height from the base to the spire exceeded 20 meters. The second issue was the decision on the construction of the cupola and its material. The third issue was the way to fix the construction of the cupola to the tower walls. The fourth issue was designing the construc-



Rys. 7. Kotwienie podstawy hełmu  
Fig. 7. Anchoring base of the coupola



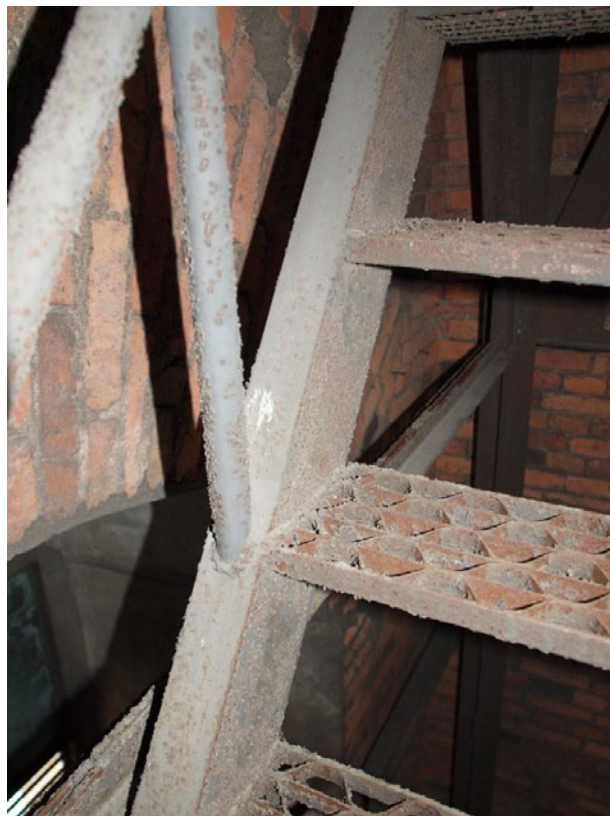
Rys. 8. Słup sercowy hełmu  
Fig. 8. Central pillar

Czwartym zagadnieniem było zaprojektowanie konstrukcji dzwonnicy która miała stać wewnątrz wieży tak aby drgania wywoływane przez uderzenia rozkołysanych dzwonów nie przenosiły się na osłabione mury. Piąte zagadnienie obejmowało detale takie jak konstrukcja schodów, nadanie odpowiedniego kształ-

tion of the belfry which was supposed to stand in the middle of the tower so that the vibrations caused by the swinging bells would not transfer to the weakened walls. The fifth issue included such details as the construction of stairs, shaping the individual onion-like sections of the cupola, the way of cover-



Rys. 9. Kotwienie podstawy hełmu  
Fig. 9. Anchoring base of the cupola



Rys. 10. Korozja  
Fig. 10. Corrosion

tu poszczególnym cebulom hełmu, sposób pokrycia hełmu blachą miedzianą tak aby nie tworzyły się ogniw korozji między stalą a miedzią, sterowanie elektroniczne dźwiękami dzwonów puszczanymi z głośników do czasu aż nie zostaną odlane i specjalnie dobrane do tej wieży dzwony, zaprojektowanie przeciwpożarowej instalacji hydrantowej itp.

Do wzmocnienia murów wieży postanowiono wykorzystać dwie w pewnym stopniu niezależne możliwości. Pierwsza z nich to umieszczenie w kanałach po wypalanej konstrukcji drewnianej zbrojenia połączonego ze zbrojeniem dwóch stropów żelbetowych wewnątrz wieży i zalanie ich betonem. Tak wykonane stropy wraz ze słupami wewnątrz konstrukcji murowej w narożnikach wieży tworzyły szkielet żelbetowy dochodzący aż do wieńca będącego podstawą hełmu. Ponieważ roboty związane z zalaniem betonem słupów narożnikowych wykonywane były przez istniejące otwory po dawnych drewnianych belkach stropowych, nie do końca można było zakładać, że tak wykonane słupy będą

ing the cupola with copper sheet to prevent the development of corrosion between steel and copper as well as electronic control of the bell ringing played from the loudspeakers until new bells are designed and cast for this tower, designing a fire-protection hydrant installation, etc.

In order to strengthen the tower walls it was decided to use two independent solutions. The first of them included placing reinforcement in the channels left after the burned down wood construction connected with the reinforcement from two reinforced concrete ceilings inside the tower and concreting them. The ceilings built like that together with the columns inside the masonry construction in the tower corners would create a reinforced concrete frame fixed with the tie beam which would be the cupola base. Due to the fact that works connected with concreting the corner columns were conducted through the existing openings after old wood ceiling beams, it was not automatically assumed that the columns built like that would have appropriate



posiadać odpowiednią wytrzymałość. Z tego też powodu wewnątrz wieży w narożach zaprojektowano stężenia łączące oba stropy żelbetowe i dochodzące aż do wieńca pod hełmem.

Po wykonaniu dokładnej inwentaryzacji ocalałej drewnianej konstrukcji hełmu północnego i oceniu jej stanu technicznego stwierdzono, że wymaga ona wymiany części elementów zarówno w konstrukcji hełmu jak i schodów i stropów. Inwentaryzacja pozwoliła na określenie podstawowych wymiarów hełmu, jego wysokości, wymiarów latarni, średnicy słupów latarni itd. co dało wytyczne do projektu rekonstrukcji hełmu południowego. Ze względu na ówczesne kłopoty z pozyskaniem drewna konstrukcyjnego, odpowiednio zakonserwowanego i nie odżywicowanego, a także ze względów pożarowych postanowiono konstrukcję nośną hełmu zaprojektować jako konstrukcję stalową. Było to nowatorskie podejście do rekonstrukcji obiektów zabytkowych gdyż zrekonstruowano jedynie kształt zewnętrzny natomiast zmiana materiału z drewna na konstrukcję stalową spowodowała, że ustrój konstrukcyjny trzeba było zaprojektować na zupełnie nowych zasadach. Największym

strength. This is why special braces were designed inside the tower in the corners, connecting both reinforced concrete ceilings, going all the way to the tie beam under the cupola.

After conducting a thorough survey of the north cupola wood construction, which survived the fire and assessment its technical condition, it was decided that some of its elements both in the cupola construction as well as in the stairs and in the ceilings needed to be replaced. The basic dimensions of the cupola, its height, dimensions of the lantern, diameter of the lantern columns, etc., which were calculated during the survey, were the guidelines for the reconstruction project of the south cupola. Due to the problems with construction wood, which would have to be properly impregnated and unresinated as well as for fire protection reasons it was decided to design the load bearing construction of the cupola as a steel construction. It was an original approach to reconstruction of historical monuments and sights because only the external shape was reconstructed, whereas the change of construction material from wood to steel caused the construction system to be designed with



Rys.11. Korozja  
Fig. 11. Corrosion

problemem było zaprojektowanie mocowania hełmu do murów wieży. Częściowo problem ten rozwiązano przy wzmacnianiu murów wieży tworząc konstrukcję kotwiącą wieńiec z dwoma pośrednimi stropami żelbetowymi. Aby jednak zrównoważyć siły zewnętrzne oddziaływujące w efekcie końcowym na zrekonstruowany hełm jego podstawę zaprojektowano w formie słupa sercowego usztywnionego promieniście do elementów zewnętrznych hełmu. Wszystkie te elementy ściśle współpracujące z sobą przez trzy kondygnacje wieży stworzyły stabilną podstawę hełmu.

totally new assumptions. The biggest problem was the design of fixing the cupola to the tower walls. The problem was partly solved by strengthening the tower walls by anchoring the tie beam with two intermediate reinforced concrete ceilings. However, in order to compensate the external forces ultimately affecting the reconstructed cupola its base was designed in the form of a central column braced radially to the external cupola members. All these elements, closely cooperating with one another along three stories of the tower, created a stable base of the cupola.

Konstrukcję stalową wciągano wielokrążkami na mury wieży i tam na miejscu poszczególne elementy spawano. W trakcie projektowania rozważano wykonanie konstrukcji hełmu na ziemi a następnie przetransportowanie jej śmigłowcem na szczyt wieży. Usługi takie świadczyły stacjonujące w ówczesnym czasie wojska radzieckie dysponujące śmigłowcami o wymaganym udźwigu. Jed-

The steel construction was pulled up with the use of pulley blocks on the tower walls and then its individual members were welded. During the design process assembling the cupola construction on the ground and then transporting it to the top of the tower by a helicopter was also considered. The Soviet army stationed at that time in Poland offered such services as they had helicopters with sufficient



Rys.12. Podstawa klatki dzwonnicy  
Fig. 12. Base of cage of belfry

nakże analiza możliwych uszkodzeń sąsiedniej zabudowy które mógł spowodować podmuch od wirników, a także analiza kosztów wykazała całkowitą nieopłacalność takiej operacji.

Osobnym zagadnieniem było nadanie odpowiedniego kształtu hełmu. Pomiary inwentaryzacyjne, a także dokumentacja fotograficzna wykonana z dużej perspektywy pozwoliły na wykonanie szablonów poszczególnych cebul hełmu, według których wykonano deskownice mocowane do elementów stalowych. Całość obito deskami specjalnie konserwowanymi w zbudowanych do tego celu korytach i pokryto blachą miedzianą.

Ze względu na osłabione pożarem mury wieży należało zaprojektować takie mocowanie zawieszania dzwonów aby podczas ich bicia drgania tym wywołane nie przenosiły się na wieżę. W tym celu wykorzystano stosowane w Wytwórni Filmów Fabularnych belki amortyzacyjne (amortyzatory gumowo stalowe), pracujące na podobnej zasadzie jak poduszki pod silnikiem w samochodzie. Na belkach

load lifting capacity. However, the analysis of possible damage to the neighboring buildings which could be caused by the propeller wind draft as well as the analysis of costs demonstrated the total cost-inefficiency of such an operation.

Giving the cupola appropriate shape was a separate issue. It was possible, with the use of the survey measurements as well as the photographic documentation made from large perspective, to develop templates of individual onion-shape sections of the cupola which were used for formwork fastened to steel members. The whole construction was covered with specially impregnated boards in specially designed gutters and covered with copper sheet.

Because of the tower walls which were weakened by fire the fastening of the grapple of the bells had to be designed in such a way as to prevent the vibrations from transferring during the ringing to the tower. In order to do that special absorption beams (rubber and steel absorbers), which are used in the Film Studio Company, whose operation is similar to that of the



Rys.13. Zawieszenie dzwonów  
Fig. 13. Grapple of bells

tych umocowano do stropu klatkę dzwonnicy. Praktycznie minimalne drgania można wyczuć obecnie przy biciu dzwonów. Prawdopodobnie można by tego uniknąć konstruując klatkę z dużo masywniejszych elementów. Jednakże obecne drgania nie wpływają destrukcyjnie na mury i nie wymaga to interwencji.

cushion under the car engine were used. The belfry case was fastened on these beams to the floor. At present practically minimum vibrations can be felt during the ringing of the bells. Probably it could have been prevented by constructing the cage from much bigger members. However, the vibrations do not affect the walls and this issue does not need to be addressed.

### Literatura • References

- [1] <http://www.legnica.franciszkanie.pl/>
- [2] <http://wroclaw.hydral.com.pl/2135,obiekt.html>
- [3] <http://www.legnica.net.pl/index.php?legnica=zabytki2>

---

\* Politechnika Wroclawska, Wrocław, Polska  
Wroclaw University of Technology, Wrocław, Poland

---

### Streszczenie

Przy odbudowie spalonej barokowej wieży kościoła zastosowano po raz pierwszy w Polsce konstrukcję stalową hełmu wieży oraz nietypowe wzmocnienia osłabionej pożarem konstrukcji murowej wieży. Trzydziestoletni okres eksploatacji potwierdził prawidłowość przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych.

### Abstract

The first time, it employ construction of helmet of steel tower at baroque reconstruction incinerated tower of church in Poland and non-typical reinforcements fire of construction receded masonry tower. 30 years old period of exploitation has confirmed correctness of accepted design solution.

Piotr Kuleta\*

Michał Pikos\*\*, Grzegorz Słowek\*\*

## Problemy konstrukcyjne remontowanego budynku zabytkowego

### Structural problems related to a monumental building under repair

#### 1. Wprowadzenie

Remonty obiektów zabytkowych to zespół działań interdyscyplinarnych, które wymagają indywidualnego podejścia do każdego budynku, czy obiektu zabytkowego znajdującego się pod opieką konserwatora. Słusznym jest podkreślenie zawarte w pracy [1], że „...nadszedł już czas, by projekty prac w obiektach zabytkowych były tworzone przez zespoły architektów, inżynierów, instalatorów i konserwatorów”. Postulat ten jest bardzo ważny szczególnie w odniesieniu do obiektów o niższej randze, gdzie wskazanie wartości zabytkowych, które należy chronić jest często nieostre. W tej grupie znajduje się wiele zapomnianych, zniszczonych, zdegradowanych obiektów w zabudowach miejskich, których właściciele nie są w stanie zapewnić właściwej opieki i nie przeprowadzają nawet bieżących napraw czy remontów. Często budynki te podlegają dzikim modernizacjom dostosowanym do potrzeb użytkowych. Zmiana właściciela, prowadzi często do zmiany funkcji obiektu. W referacie [1] zwrócono uwagę, że Alois Riegl już 100 lat temu obok podstawowych wartości artystycznych, historycznych i użytkowych zabytków wymienia wartość określaną mianem „dawności”, która nie jest tożsama z wartością historyczną. Jest to jedyna wartość, do której odbioru nie trzeba ani wykształcenia, ani specjalistycznego przygotowania – jest to wartość, którą zabytek komunikuje się ze zwykłymi ludźmi, ze społeczeństwem. Ochrona dawności zabytków jest zatem rzeczą pierwszej wagi.

#### 1. Introduction

Repairs of monumental buildings involve complex interdisciplinary actions, which require an individual approach to a monumental building or object, which is under care and jurisdiction of a conservator. An emphasis expressed in [1] stating, that „a time has come to create designs of works on monumental buildings by teams of architects, engineers, plumbers and conservators” is absolutely right. This suggestion is especially important in cases of objects of lower value, where pointing out elements worth protection is not obvious. In this group of objects numerous forgotten, damaged or degraded urban buildings are found. Usually their owners cannot ensure a proper care and even do not carry out necessary regular repairs. A change of an owner usually leads to a change of an object function. It was pointed out in [1], that already 100 years ago Alois Riegl named a value called “age” among basic art, historic or serviceability values of monumental objects. The “age” is not equivalent to a historical value. It is the only value, which does not require any special education or preparation to perceive. It is a value, which provides a communication between the object and the society – the average people. Protection of the age is therefore an issue of a key importance.

In the paper a case study of repair problems encountered in a monumental residential building are presented. A new owner combined the repair works

W referacie zaprezentowano przypadek problemów remontowych jakie zaistniały w zabytkowym budynku mieszkalnym, którego przeprowadzenie nowy właściciel połączył ze zmianą warunków użytkowania. Uwagę zwrócono na trudności konstrukcyjne wynikające właśnie ze zmiany warunków użytkowania. Remont kapitalny obiektu wymagał wyeliminowania wszystkich nieprawidłowości wynikających ze stanu wiedzy i poziomu sztuki budowlanej przyjętych w okresie wznoszenia obiektu, oraz zapewnienie właściwych warunków spełniających wymagania walorów użytkowych budynku biurowego. Należy zaznaczyć, że rewitalizacja (dosłownie przywrócenie do życia, ożywienie) często jest traktowana jako dostosowanie obiektu do wymogów współczesnego życia. Zwraca się uwagę, że rewitalizacja to stworzenie warunków, w których życie istnieje wokół budynku, dzięki niemu, a nie jego kosztem![1].

## 2. Charakterystyka budowlana obiektu

Przedmiotowy budynek jest obiektem blisko stuletnim, o trzech kondygnacjach nadziemnych (parter, piętro, poddasze) i częściowym podpiwniczeniu. Widok elewacji frontowej przedstawiono na rys. 1, elewacji tylnej na rys. 2, natomiast rzut parteru na rys. 3.



Rys. 1. Elewacja frontowa  
Fig. 1. Front elevation

Obiekt zrealizowany został w technologii tradycyjnej, jako murowany z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie wapiennej. Fundamenty ceglane, stropy w przeważającej części wykonane zostały jako ceramiczne typu Akermana, a także jako drewniane – belkowe ze ślepym pułapem. Nadproża z reguły żelbetowe. W części środkowej budynku usytuowano drewnianą klatkę schodową.

Dach wykonano jako kopertowy w konstrukcji drewnianej, ciesielskiej w układzie krokwiowym na ramie stolcowej. Pokrycie dachu stanowiła dachówka ceramiczna karpiówka układana podwójnie. Budynek nie posiadał izolacji przeciwwilgociowych zarówno poziomej jak i pionowej.

with a change of service conditions. An attention is drawn to structural difficulties resulting exactly from the change of service conditions. The major overhaul of the building required an elimination of all irregularities due to a state of knowledge and a level of civil engineering art at a time of construction as well as ensuring proper conditions fulfilling requirements due to service conditions of an office building. It must be pointed out, that a revitalisation (literally: bringing back to life, reviving) is often considered as an adaptation of an object to requirements of the contemporary life. However, it should be noted, that a revitalisation means creation of conditions supporting life around the building, present thanks to its existence but not at its cost [1]!

## 2. Structural description of the building

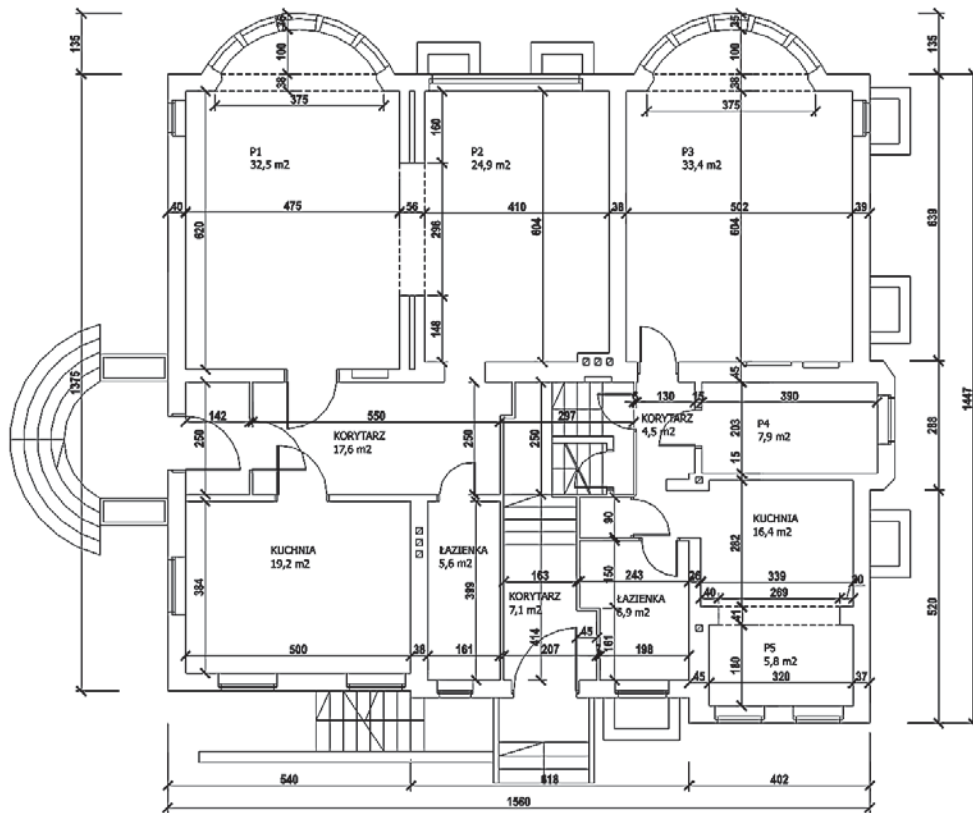
The considered building is almost 100 years old, has three overground floors (a ground floor, a first floor and an attic) and has a partial cellar. The front elevation is presented in fig. 1, the back elevation – in fig. 2 and the plan view of the ground floor – in fig. 3.



Rys. 2 Elewacja tylna-ogrodowa  
Fig. 2. Back elevation (garden side)

The building was constructed as a traditional one with walls of masonry from the ceramic full bricks with a clay mortar. The foundations are of masonry, the floors mainly of ceramic Akerman type, partially wooden – with structural beams and a sound boarding. Lintels are mostly of reinforced concrete. In the centre part of the building a wooden staircase is located.

The roof is of envelope plan, wooden with a rafters layout on a supporting frame. The roof is covered with a double layer of ceramic plain tiles. There is neither horizontal nor vertical moisture isolation.



Rys. 3. Rzut parteru  
Fig. 3. Ground floor plan

### 3. Badania makroskopowe na obiekcie

Przed przystąpieniem do wykonania projektu remontu dokonano oceny aktualnego stanu technicznego obiektu. W pierwszej kolejności przeprowadzono oględziny zewnątrz budynku. Charakterystyczne dla całego obiektu były uszkodzenia elewacji obejmujące: spękania, zarysowania, ubytki tynków i murów. Zaobserwowano także liczne zawilgocenia elewacji w pobliżu rynien i rur spustowych spowodowane silną ich korozją (rys. 4).



Rys. 4. Zawilgocenia, spękania na elewacji  
Fig. 4. Moisture deposits and cracks

### 3. Macroscopic investigation of the building

Before designing of an overhaul an assessment of a current technical state of the object was carried out. Firstly, an external examination was undertaken. In the entire building characteristic damage to elevations like breaking, cracking and cavities in plaster and masonry were observed. Numerous deposits of moisture in elevations near gutters and downpipes due to their corrosion (fig.4) were found, too.



Rys. 5. Uszkodzenie filarka międzyokiennego  
Fig. 5. Damage of a pier in the elevation

Na elewacjach zarejestrowano szereg nieprawidłowości i uszkodzeń dotyczących bezpośrednio bezpieczeństwa konstrukcji obiektu. Można zaliczyć do nich: zarysowania nadproży, uszkodzenia filarków międzyokiennych, spękania w miejscach oparciach nadproży okiennych, na ścianach zewnętrznych (rys. 5).

Uwagę zwraca balkon na elewacji ogrodowej, który został samowolnie zabudowany przez użytkownika obiektu (rys. 2). Działanie to pozwoliło uzyskać dodatkowe pomieszczenie, ale jest niedopuszczalne. W trakcie naprawy wspomniany fragment bryły budynku zostanie przywrócony do pierwotnego stanu.

W następnej kolejności dokonano oględzin wewnątrz budynku. Więźba dachowa wykazywała istnienie lokalnych zawilgoceń, zbutwień i osłabień przekrojów elementów drewnianych.

W pewnych obszarach drewno zostało zaatakowane i zniszczone przez owady – szkodniki drewna.

Stropy nad drugą kondygnacją wykazywały znaczne ugięcia. Belki stropowe były osadzone w gniazdach wykonanych w ścianach murowanych – nosiły ślady rozwiniętych procesów gnilnych w pobliżu oparcia na murach.

Stropy niższych kondygnacji (nad parterem i piwnicą) typu Akermana wykazywały również znaczne ugięcia, deformacje i spękania. Niektóre wymagały podstemplowania (rys. 6). Na ścianach stwierdzono istnienie „szczątkowego” wieńca nie obejmującego nawet połowy grubości muru.

Mury kondygnacji naziemnych i piwnicy wykazywały uszkodzenia korozyjne, spękania, liczne ubytki cegieł oraz deformacje. Stwierdzono również liczne zarysowania oraz uszkodzenia nadproży drzwiowych (rys. 7).

Wykonane odkrywki fundamentów wykazały lokalne przemieszczenia pionowe ceglanych ław fundamentowych, które spowodowały zarysowania betonowych ścian fundamentowych.



Rys.6 Pęknięcie stropu Akermana  
Fig. 6. Crack of Ackerman floor

Some irregularities and damaged details in elevations were found, which concern directly the safety of the structure. They include: cracks in lintels, damage of piers, breaking at support points of window lintels on external walls (fig. 5).

An attention is drawn to a balcony in the garden elevation, which was lawlessly built-up by an owner (fig. 2). In this way an additional room was created but such an action is unacceptable. During the overhaul this fragment of the building will regain the original form.

In the following an examination of an interior of the building was carried out. The roof structure exhibited local deposits of moisture, rotting and weakening of cross-sections of wooden elements. In some spots the wood was attacked and destroyed by wood pest insects.

Floors over the first floor exhibited large deflections. Floor beams supported at sockets in the masonry walls showed traces of a developed rotting process in the neighbourhood of supports.

Floors of the Akerman type over the lower levels also exhibited large deflections, deformations and breaking. Some of them required shoring (fig. 6). A partial tie beams system on the walls not reaching even its half thickness was found.

A masonry of the overground floors and the cellar was corroded with numerous breaks and lacks of bricks and was deformed. Numerous cracks and damage to door lintels were also observed (fig. 7).

Stripping of foundations revealed local displacements of masonry continuous foundations, which led to cracking of concrete foundation walls.



Rys.7 Przekucia przez nadproża  
Fig. 7. Holes hammered through a lintel

#### 4. Projekt konstrukcyjny remontu

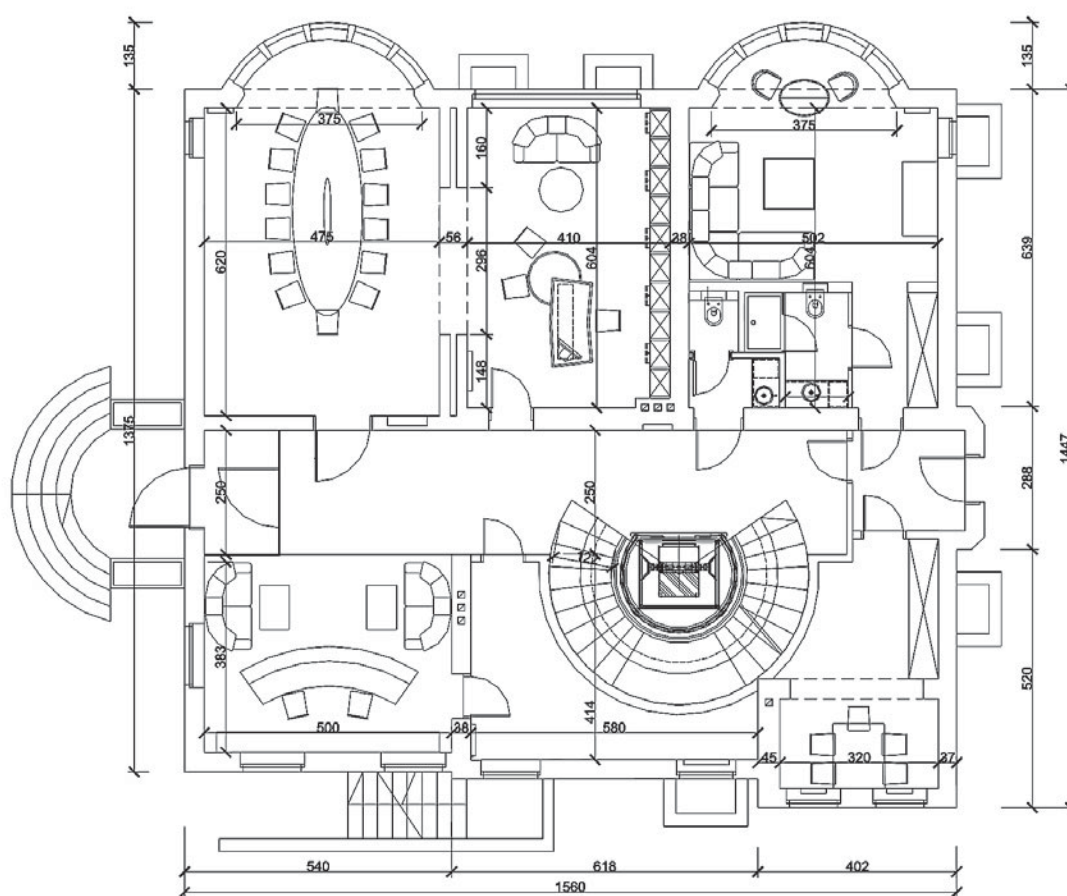
Opracowując projekt remontu przedmiotowego budynku należało uwzględnić wszystkie uwarunkowania wynikające z aktualnego stanu technicznego konstrukcji oraz wymagania konserwatorskie dotyczące nie tylko zachowania pierwotnej bryły obiektu, ale także wyeliminowania dzikiej modernizacji (a właściwie samowoli budowlanej) jakiej dopuszczono się dla powiększenia powierzchni użytkowej – zabudowa balkonu.

Trzecim elementem mającym wpływ na konstrukcję była zmiana funkcji obiektu (z mieszkalnego na biurowy), co skutkowało zaprojektowaniem w części środkowej budynku nowej klaki schodowej – rys. 8.

#### 4. Structural design of the overhaul

During the designing of the overhaul of the present building all the conditions resulting from the current technical state of the structure and requirements introduced by the conservator aimed at the preservation of the original form of the building and the elimination of the unacceptable modernisation (construction lawlessness) performed in order to increase the service area – the balcony build-up.

The third element influencing the structure was the change of the building function from residential to office, what led to a design of a new staircase in the centre part of the building – fig. 8.



Rys. 8. Rzut parteru po remoncie – porównaj z rys. 3  
Fig. 8. Plan of the ground floor after repair (compare with Fig. 3)

Zatem projekt remontu był wypadkową powyższych uwarunkowań, których spełnienie uwzględnia aktualnie obowiązujące wymagania w zakresie warunków technicznym, jakim powinny odpowiadać budynki[2].

W związku ze zmianą funkcji zaprojektowano nowe schody wachlarzowe w konstrukcji żelbetowej, osadzone wspornikowo w ścianie żelbetowej z umieszczonym centralnie przeszklonym szybem

Hence, the overhaul design was a resultant from the above mentioned factors, which are in accordance with current requirements for technical conditions corresponding to buildings [2].

Due to the change of the function a new spiral staircase of a reinforced concrete structure with cantilever stairs clamped in the reinforced concrete wall as well as a central glassed lift shaft, were designed. Such a solution led to a necessity to exchange the



windowym. Rozwiązanie takie pociągnęło za sobą konieczność wymiany w tej części istniejących stropów na monolityczne. Rozwiązanie to w połączeniu ze ścianą żelbetową istotnie zwiększa sztywność przestrzenną budynku (rys. 8).

Wynikiem tych zmian była konieczność wykonania odpowiedniego posadowienia ściany żelbetowej oraz szybu windowego. Przeprowadzone badania geotechniczne wykazały konieczność zastosowania posadowienia pośredniego tych elementów. Ściana żelbetowa została posadowiona na palach wierconych, natomiast podszybie dźwigu windowego na studni żelbetowej. Wykonanie ściany żelbetowej wraz ze schodami wymagało dokonania rozbiórki istniejących stropów oraz schodów drewnianych. Zwraca się uwagę, że takie posunięcie spowodowało zwiększenie długości wyboyceniowej ścian murowanych a w konsekwencji konieczność wykonania dodatkowych stężeń ścian budynku na czas realizacji robót budowlanych (rys. 9). Stężenia te zostały wykonane w poziomie każdego stropu w postaci stalowego rusztu (rys. 10).



Rys. 9 Elewacja tylna w trakcie remontu – porównaj z rys. 2  
Fig. 9. Back elevation during repair (compare with Fig. 2)

Ze względu na wzrost obciążeń wynikających z konieczności ocieplenia „zimnego” dachu niezbędne okazało się wykonanie nowej więźby dachowej. Zrezygnowano z możliwości wzmocnienia istniejącej więźby nie tylko ze względu na jego znaczny zakres, ale także istotną degradację drewna więźby dachowej. Zaprojektowano drewniane krokwie oparte na stalowych ramach stolcowych. Słupki tych ram oparte zostały na podciągach stalowych ukrytych w stropach międzykondygnacyjnych typu Kleina.

Stropy wszystkich kondygnacji ze względu na zły, a lokalnie przedawaryjny stan techniczny (rys. 6) wymagały niezwłocznej interwencji. Po uwzględnieniu wszystkich aspektów wynikających z projektowanej funkcji budynku a tym samym zwiększonych obciążeń oraz zachowania charakteru budynku, jako obiektu zabytkowego zastosowano rozwią-

z istniejących pięter w tej strefie na monolityczne. To rozwiązanie wraz z żelazną ścianą znacznie zwiększyło sztywność przestrzenną budynku (rys. 8).

Te zmiany spowodowały konieczność wykonania odpowiedniego posadowienia ściany żelbetowej i szybu windowego. Badania geotechniczne wskazały na konieczność zastosowania pośredniego posadowienia tych elementów. Ściana żelbetowa została posadowiona na palach wierconych, natomiast podszybie windy na studni żelbetowej. Wykonanie ściany żelbetowej wraz ze schodami wymagało rozbiórki istniejących stropów i schodów drewnianych. Należy zauważyć, że takie rozwiązanie spowodowało zwiększenie długości wyboyceniowej ścian murowanych, co wymagało dodatkowego wzmocnienia ścian budynku podczas prac remontowych (rys. 9). Wzmocnienie to zostało wykonane w postaci stalowego rusztu na poziomie każdego stropu (rys. 10).



Rys. 10 Tymczasowe stężenia murów nośnych  
Fig. 10. Temporary bracing of structural walls

zaniem. Ze względu na zwiększenie obciążeń wynikających z konieczności ocieplenia „zimnego” dachu konieczne okazało się wykonanie nowej więźby dachowej. Zrezygnowano z możliwości wzmocnienia istniejącej więźby nie tylko ze względu na jego znaczny zakres, ale także istotną degradację drewna więźby dachowej. Zaprojektowano drewniane krokwie oparte na stalowych ramach stolcowych. Słupki tych ram oparte zostały na podciągach stalowych ukrytych w stropach międzykondygnacyjnych typu Kleina.

Stropy wszystkich kondygnacji ze względu na zły, a lokalnie przedawaryjny stan techniczny (rys. 6) wymagały niezwłocznej interwencji. Po uwzględnieniu wszystkich aspektów wynikających z projektowanej funkcji budynku a tym samym zwiększonych obciążeń oraz zachowania charakteru budynku, jako obiektu zabytkowego zastosowano rozwią-

zania klasyczne. Stropy zaprojektowano w postaci stropów Kleina na belkach stalowych z ceramiczną płytą półciężką (żebrową). Dodać należy, że stwierdzony na większości poziomów stropów brak wieńców wymagał zastosowania dodatkowego stężenia murów poprzez kotwienie ścian przy pomocy ściągów ze śrubami mocowanymi do belek stalowych stropu i blach z założoną siatką podtynkową osadzonych po zewnętrznej stronie (rys. 11).

and ceramic ribbed slab of a medium weight. It should be added, that the lack of tie beams at the majority of floors required an additional bracing of the walls in the form of an anchoring of the walls by ties with screws attached to the floor steel beams and plates with lathing at the external side (fig. 11).



Rys.11. Widok blach zewnętrznych dodatkowych stężeń muru  
Fig. 11. External plates of additional wall bracing

Większość nadproży okiennych i drzwiowych w budynku została zakwalifikowana do naprawy a także wymiany starych na nowe nadproża stalowe z uzupełnieniem istniejących lokalnie ubytków muru w górnej części otworów.

The majority of window and door lintels in the building was designated to a repair or an exchange. The old ones were replaced with new steel ones and local cavities in the masonry in the upper parts of the openings were filled.

Uszkodzenia murów ceglanych w obszarach objętych znaczną degradacją naprawiano poprzez wymianę zniszczonych cegieł na nowe i przemurowanie ścian (rys. 12) a także wzmocnienie poprzez zastosowanie prętów stalowych [3] (rys. 13).

Damage to the masonry in the zones of a large degradation was repaired by a substitution of damaged bricks with new ones, by reconstruction of the walls (fig.12) and by reinforcing using steel bars [3] (fig. 13).



Rys.12. Przemurowania ściany  
Fig. 12. Repair of masonry



Rys.13. Wzmocnienie ściany prętami stalowymi  
Fig. 13. Wall reinforcement with steel bars

Wykonane odkrytki ścian fundamentowych i fundamentów wykazały, że część ceglanych łąw

Performed stripping of foundation walls and continuous foundation proved, that some masonry foun-

fundamentowych uległa degradacji, zawilgoceniom i spękaniami, co doprowadziło do znacznych zarysowań murów piwnicznych. Fakt ten w połączeniu ze wzrostem obciążeń przekazyjących się na fundament ze względu na zmianę funkcji budynku pociągnął za sobą konieczność wzmocnienia istniejących ław poprzez wykonanie nowych ław żelbetowych a także naprawę spękanych fragmentów ścian ceglanych [3].

Ze względu na brak izolacji przeciwwilgociowych w budynku a także zawilgocenia ścian fundamentowych zaprojektowano izolację przeciwwilgociową poziomą wykonując przeponę poziomą w murze (rys. 14) oraz izolację pionową (rys. 15). Dodatkowe zabezpieczenie przed zawilgoceniem umożliwiające jednocześnie „oddychanie” murów piwnicznych stanowi folia kubełkowa (rys. 15).



Rys. 14. Realizacja przepony poziomej  
Fig. 14. Making of horizontal insulating diaphragm

Zwraca się uwagę, że projekt remontu obejmował także:

- zaprojektowanie nowego systemu odwodnienia dachu i balkonów oraz odprowadzenia wód opadowych,
- wykonanie opaski wokół budynku,
- naprawę murów i tynków,
- wykonanie instalacji odgromowej,
- całkowitą wymianę stolarki okiennej i drzwiowej,
- wymianę wszystkich instalacji wewnątrz budynku.

## 5. Podsumowanie

Opracowanie projektu remontu kapitalnego budynku wymaga pełnego rozeznania aktualnego stanu technicznego konstrukcji. Dotyczy to w szczególności obiektów, które znajdują się pod opieką konserwatora zabytków, a więc są budynkami „starymi”. Ze względu na upływ czasu, a także poziom wiedzy i sztuki budowlanej w czasie ich wznoszenia obiekty te nie spełniają z re-

dukcji uległa degradacji, zawilgoceniom i spękaniami, co doprowadziło do znacznych zarysowań murów piwnicznych. Fakt ten w połączeniu ze wzrostem obciążeń przekazyjących się na fundament ze względu na zmianę funkcji budynku pociągnął za sobą konieczność wzmocnienia istniejących ław poprzez wykonanie nowych ław żelbetowych a także naprawę spękanych fragmentów ścian ceglanych [3].

Due to the lack of moisture isolation in the building and moisture deposits in the foundation walls an isolation was formed as a horizontal diaphragm in the wall (fig. 14) as well as the vertical insulating layer (fig. 15). An additional protection against the moisture enabling breathing of cellar walls is provided by an air gap membrane (fig. 15).



Rys. 15. Izolacja pionowa i folia kubełkowa  
Fig. 15. Vertical isolation and air gap membrane

It is pointed out, that the overhaul design included also:

- a new system of drainage of the roof and the balconies and disposal of rainwater,
- a strip around the building,
- repair of walls and plastering,
- installation of lightning arresters,
- a total exchange of window and door woodwork,
- an exchange of all installations inside the building.

## 5. Summary

Preparation of a design for a major overhaul of a building requires a complete insight in a current technical state of its structure. It is especially true for objects under protection of an architecture conservator, i.e. for old buildings. Due to their age and changes in the level of knowledge and civil engineering art they usually do not fulfil contemporary requirements regarding standards and service conditions.

guły wymagań aktualnie obowiązujących norm i walorów użytkowych.

Sprawa staje się trudniejsza w sytuacji, gdy następuje zmiana sposobu użytkowania. Nowa funkcja budynku może wymuszać zmianę układu konstrukcyjnego, co jednak nie może być oderwane od ustaleń i ograniczeń wynikających z opieki konserwatorskiej.

Opracowując projekt konstrukcyjny remontu należy stosować rozwiązania zmierzające do wyeliminowania wszystkich nieprawidłowości oraz zwiększające bezpieczeństwo konstrukcji. W omawianym przypadku głównym celem było uzyskanie wymaganej sztywności przestrzennej obiektu.

Zaprezentowany przykład remontu konstrukcyjnego budynku, który zmieniał funkcję z mieszkalnej na biurową jest przykładem zgodnej współpracy uczestników całego procesu inwestycyjnego.

The issue becomes even more difficult when a change of a function takes place. The new function of the building may force a change of a structural system, which cannot be independent of agreements and limitations resulting from the conservator protection.

In a structural design of an overhaul solutions leading to an elimination of all irregularities and an increasing the safety of the structure must be adopted. In the presented case study the main goal was to achieve a necessary spatial stiffness of the structure.

The presented case of the structural overhaul of the building, which changed its function from residential to office is an example of a harmonious collaboration of all participants of the investment process.

## Literatura • References

- [1] Rouba Bogumiła J., *Modernizacja zabytku drogą do jego rewitalizacji? Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych*. Praca zbiorowa pod redakcją Jerzego Jasieńki, Adama Klimka, Zygmunta Matkowskiego, Krzysztofa Schabowicza, 2006.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz.U. z 2002r., Nr76, poz. 690-zm. Z 2003 r., Nr 33, poz. 270 z 2004 r., Nr 109, poz. 1156 z 2008r., Nr 201, poz. 1238).
- [3] Masłowski E., Spizewska D., *Wzmacnianie konstrukcji budowlanych*, Arkady, Warszawa 2002.

---

\* GEOKONSBUD, Poznań, Polska

\*\* Politechnika Poznańska, Poznań, Polska  
Poznan University of Technology, Poznan, Poland

---

## Streszczenie

W referacie omówiono problemy związane z opracowaniem projektu konstrukcyjnego remontu kapitalnego budynku zabytkowego. Zmiana funkcji obiektu z mieszkalnej na biurową przy jednoczesnej konieczności dokonania napraw i wzmocnień wymagała zastosowania działań i rozwiązań konstrukcyjnych zmierzających do zapewnienia dostatecznej sztywności przestrzennej budynku. Nadrzędnym było spełnienie warunków wynikających z decyzji konserwatora zabytków oraz zapewnienie wymaganych warunków technicznych jakim muszą aktualnie odpowiadać budynki.

Pracę wykonano w ramach tematów badawczych: 11-030/09 (DS.); 11-026/09(BW)

## Abstract

Problems related to a structural design of a major overhaul for a monumental building are discussed in this paper. A change of the function from a residential house to an office building with a simultaneous necessity to perform repairs and reinforcements demanded actions and structural concepts leading to achieve an enhanced spatial stiffness of the building structure. Of the priority importance was a fulfilment of conditions resulting from decisions made by an architect conservator as well as ensuring necessary conditions for contemporary buildings.

Research carried out in the scope of research projects: 11-030/09 (DS.); 11-026/09(BW)

Krzysztof Ałykow\*, Magdalena Napiórkowska-Ałykow\*\*

## Proces inwestycyjny przy realizacji remontów obiektów zabytkowych – problemy i zagrożenia oraz propozycja dodatkowych wymogów w świetle obecnych przepisów prawnych

## Investment process for structure repair of monumental buildings – problems and hazards and a proposition of additional requirements in the light of present law regulations

### 1. Wstęp

Istniejące regulacje prawne w zakresie inwestycji prowadzonych w obrębie budowli zabytkowych, w tym przede wszystkim ustawa Prawo budowlane, ustawa o ochronie zabytków oraz ustawa Prawo zamówień publicznych, nakładają na inwestora wymagania, które ma obowiązek spełnić zarówno przed przystąpieniem do realizacji inwestycji budowlanej jak i w trakcie jej realizacji. Proces przygotowania inwestycji oraz pozyskiwania niezbędnych uzgodnień i decyzji zazwyczaj nie stwarza inwestorom większych problemów, jednak w trakcie realizacji samych robót budowlanych występuje często konieczność pogodzenia obowiązków wynikających z przestrzegania przytoczonych przepisów prawa z wymogami techniczno-ekonomicznymi realizowanej inwestycji. Konieczność ta urasta do rangi problemu w przypadku częstego obecnie finansowania inwestycji lub jej części z funduszy zewnętrznych, w szczególności programów europejskich, które wymagają ścisłego przestrzegania przez inwestora zadeklarowanych wcześniej harmonogramów robót.

Prawo budowlane oraz wszelkie rozporządzenia okołoustawowe nakładają na Inwestorów obowiązek uzyskania dokumentacji na przeprowadzenie planowanych inwestycji. Tym samym stwarza-

### 1. Introduction

The existing legal regulations pertaining to the investments carried out on the area of antique buildings, first of all the Parliamentary Act called The Building Act, the Act on Protection of Relics and the Law concerning Public Orders, impose upon the investor some requirements which he is obliged to fulfill both before commencing the realization of a building investment as well as during the realization thereof. The process of preparation of an investment and acquisition of indispensable decisions, settlements and co-ordinations usually does not create any serious problems for the investors, however, during the realization of building works as it were there often occurs the necessity to provide agreement of the duties resulting from obeying the provisions of the quoted legal Acts with technical and economical requirements of the investment realized. This necessity grows up to the size of problem in, as it frequently takes place, the case of funding the whole investment or a part of it by external funds, especially by the European programs which require exact following the earlier declared schedules of works by the investor.

The Building Act and all the decrees accompanying it impose upon the Investors the duty to obtain relevant documentation for the execution of the planned investment. This fact creates opportunities for the designers to present their knowledge and

ją projektantom okazje do zaprezentowania swojej wiedzy i doświadczenia przy wykonywaniu dokumentacji projektowej z jednoczesnym przestrzeganiem istniejących regulacji prawnych. I tu rodzi się pytanie: jak powinna wyglądać dokumentacja projektowa, zwłaszcza dla obiektów zabytkowych, gdzie w trakcie prowadzenia inwestycji pojawiają się różne problemy i nieprzewidziane w projekcie budowlanym prace. Obecne regulacje prawne precyzują ogólnie zawartość dokumentacji, szczegółowe rozwiązania i zakres pozostawiając w gestii projektanta.

W artykule przedstawiono potencjalne zagrożenia wynikające z ww. problematyki oraz zaproponowano rozwiązania, w zamyśle autorów mogące być przyczynkiem do szerszej dyskusji na ten temat. Przedstawiono wynikające z doświadczeń autorów propozycje, o jakie ich zdaniem elementy powinna być uszczegółowiona dokumentacja budowlana dla obiektów zabytkowych w stosunku do wymogów stawianych przez obowiązujące przepisy prawne, co w zamyśle autorów może być przyczynkiem do szerszej dyskusji na ten temat.

## 2. Etap przygotowania inwestycji

Zgodnie z artykułem 18 ustawy Prawo budowlane [1] „[...] 1. Do obowiązków inwestora należy zorganizowanie procesu budowy, z uwzględnieniem zawartych w przepisach zasad bezpieczeństwa i ochrony zdrowia, a w szczególności zapewnienie:

- 1) opracowania projektu budowlanego i, stosownie do potrzeb, również innych projektów,
  - 2) objęcia kierownictwa budowy przez kierownika budowy,
  - 3) opracowania planu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia,
  - 4) wykonania i odbioru robót budowlanych,
  - 5) w przypadkach uzasadnionych wysokim stopniem skomplikowania robót budowlanych lub warunkami gruntowymi, nadzoru nad wykonywaniem robót budowlanych
- przez osoby o odpowiednich kwalifikacjach zawodowych [...]”.

Natomiast artykuł 24 punkt 2 ustawy Prawo budowlane [1] precyzuje, iż „[...]stronami w postępowaniu w sprawie pozwolenia na budowę są: inwestor oraz właściciele, użytkownicy wieczystości lub zarządcy nieruchomości znajdujących się w obszarze oddziaływania obiektu [...]”. Stąd wynika, że to inwestor jest zobowiązany do spełnienia wymogów formalnych, takich jak pozyskanie decyzji organu administracji budow-

experience when executing designing documentation and simultaneously strictly obeying the existing legal regulations. And this is where the question arises: what should the designing documentation look like, especially for antique objects, where various problems and works not provided for in the building design do appear when carrying out the investment works. The present legal regulations specify the content of the design documentation, whereas the detailed solutions and the scope thereof are generally left at the designer's competence.

In this article potential threats resulting from the above mentioned problems and proposed solutions have been presented, which in authors' intention can make a contribution to the wider discussion on this subject. The proposals resulting from authors' experience, which in their opinion make up the elements which should be included to make the constructional documentation for antique objects more detailed in relation to the requirements imposed by legal regulations in force, have been presented in this article; this in authors' intention could make a contribution to the wider discussion on this subject.

## 2. The stage of preparation of the investment

According to the article 18 of The Building Act [1] (*Prawo budowlane* [1]) “[...] 1. It is the duty of the investor to organize the process of construction, taking into consideration the rules and regulations included in the regulations concerning safety at work and protection of health, and in the peculiarity to ensure the following:

- 1) working out the constructional design and, suitably to the needs, also other designs,
- 2) taking over the management of the construction site by the manager of the construction of the object,
- 3) working out the plan of safety at work and protection of health,
- 4) realization and commissioning of the constructional works,
- 5) in the cases of carrying out constructional works of high level of complexity or if the ground conditions require so, providing supervision over executed constructional works

– by persons of suitable professional qualifications [...]”.

However, article 24 point 2 of The Building Act [1] (*Prawo budowlane* [1]) specifies, that “[...] the parties in conducting the proceeding of acquiring the permission to build are the investor, the owners and those having the perpetual right of use or the administrators of the estates which are present in the area of influence of the object [...]”.

lanej o pozwoleniu na budowę oraz decyzji Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków o pozwoleniu na prowadzenie prac przy obiekcie zabytkowym. Inwestor może zlecić projektantowi wykonanie projektu budowlanego i wówczas do obowiązków projektanta, zgodnie z art. 20 punkt 2 ustawy Prawo Budowlane, należy „[...] uzyskanie wymaganych opinii, uzgodnień i sprawdzeń rozwiązań projektowych w zakresie wynikającym z przepisów [...]”, o ile w umowie inwestor-projektant na wykonanie dokumentacji projektowej strony nie ustaliły inaczej. Krótko mówiąc: inwestor może zlecić projektantowi opracowanie dokumentacji w ściśle określonym zakresie, wynikającym z umowy cywilno-prawnej w oparciu o Kodeks cywilny, zaś odpowiedzialność za to, czy zakres dokumentacji w pełni odpowiada wymogom ustawy Prawo budowlane odpowiada inwestor, gdyż na inwestorze w dalszym ciągu spoczywa obowiązek zorganizowania całego procesu budowy.

Stopień uszczegółowienia projektu budowlanego do pozwolenia na budowę zależy w głównej mierze od rzetelności i doświadczenia projektanta, który często z jednej strony stara się wykonać projekt możliwie szczegółowo, z drugiej stara się ograniczyć koszty związane z jego opracowaniem, aby jego oferta cenowa była atrakcyjna dla inwestora. Na etapie pozyskiwania decyzji administracyjnych inwestor nie jest zobligowany do przedłożenia projektu wykonawczego, dlatego też często nie zleca wykonania takowego w ogóle. Inwestorzy publiczni rezygnują z opracowywania projektów wykonawczych często z obawy przed zarzutem niegospodarności w gospodarowaniu publicznymi pieniędzmi, gdyż te podnoszą koszty dokumentacji.

Zdarza się jednak, choć rzadko, że inwestor zleca opracowanie projektu wykonawczego. Dotyczy to przede wszystkim bogatych gmin, jednak tutaj często dochodzi do sytuacji odwrotnej, tj. nadmiernego powiększania zakresu opracowywanej dokumentacji spowodowanego z jednej strony wygodą urzędników samorządowych powielających „sprawdzony” wzorzec umowy na prace projektowe, z drugiej strony brakiem ich przygotowania merytorycznego pozwalającego ten wzorzec w sposób racjonalny dostosować do uwarunkowań konkretnej inwestycji. Zdarza się, że inwestor żąda przedstawienia w dokumentacji szczegółów na poziomie podstawowej wiedzy z zakresu technologii robót budowlanych, zasłaniając się nieprzewidywalnością procesu wyłonienia przyszłego wykonawcy w trybie ustawy Prawo zamówień publicznych [4].

Thence it results that it is the investor who is obliged to fulfill the formal requirements, such as obtaining the decision of the organ of building administration granting the permission to build and the decision of the Province Conservator of Relics to grant permission to carry out works on the antique object. The investor may order the designer to realize the constructional design and then it becomes the duty of the designer, according to article 20 point 2 of The Building Act, “[...] to obtain the required opinions, settlements and co-ordinations and controlling the project solutions within the scope resulting from legal regulations [...]”, if in the investor-designer contract on realization of the documentation of the projects the parties have not settled it otherwise. Briefly speaking: the investor may order the designer to prepare the documentation in a strictly defined scope, resulting from the civil – legal contract, on the basis of The Civil Code, whereas the responsibility for the fact that the scope of the documentation completely corresponds to the requirements of The Building Act is borne by the investor, as it is still investor’s duty to organize the whole process of construction.

How far detailed the constructional design is at the stage of submitting it to the procedure of application for the permission to build depends mainly on the reliability and experience of the designer who often tries on the one hand to make the project as detailed as possible, while on the other hand he tries to limit the costs connected with preparing thereof, so that his quotation should become attractive for the investor. The investor is not obliged to present the executive design at the stage of submitting the design to the process of administrative decisions, so this is why he often does not order to have such a design made at all. Public investors give up working out executive designs, often fearing that they might be charged of careless management of public money, as working out executive designs raises the costs of documentation.

It happens, however, although seldom, that the investor orders preparing of the executive design. This pertains first of all to rich communes, although here often an opposite situation takes place, i.e. excessive increasing the scope of worked out documentation, which is caused on the one hand by seeking comfort on the side of the council officials, who follow the ‘proved’ standard of contract on design works, on the other hand by lack of their content-related competence which would enable them to adapt this standard in a rational way to the conditions of the particular investment. It happens that the investor demands that the documentation should contain details at the level of basic knowledge concerning the technology of constructional works, trying to excuse himself with unpredictability of the process of appointing the future

W przypadku inwestora publicznego, rządziej prywatnego (chyba że ten stara się o dofinansowanie ze środków publicznych), oprócz pozyskania decyzji administracyjnych obligatoryjnie oszacowuje on koszty przyszłej inwestycji (kosztorysy inwestorskie, przedmiary robót) [3], sporządza specyfikacje techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych (STWiORB) [4] oraz przygotowuje procedurę wyłonienia wykonawcy zgodną z Prawem zamówień publicznych [2].

Jeżeli oszacowania kosztów inwestycji dokonuje kosztorysant będący osobą przywołaną przez inwestora jedynie do wykonywania wyodrębnionych zadań [5] i nie uczestniczącą w procesie projektowym oraz gdy oszacowuje on koszty jedynie w oparciu o projekt budowlany, który z założenia zawiera pewne uogólnienia, pojawiają się pierwsze problemy spowodowane brakiem udziału *cost manager'a* w procesie projektowym. Użyto tu angielskiego terminu, gdyż polski termin kosztorysant w odczuciu autorów nie oddaje w pełni zakresu obowiązków, w zakres których oprócz kosztorysowania wchodzić powinien również obowiązek uczestniczenia w procesie inwestycyjnym przez cały czas jego trwania, w celu monitorowania realizowanej inwestycji w zakresie jej zgodności z planowanymi kosztami, gdzie ostatni element jest pośrednim wskaźnikiem jakości wykonywanych prac. Niestety, w polskich warunkach często jeszcze jest tak, że sporządzający dokumentację projektową, szacujący koszty inwestycji oraz pełniący funkcję nadzoru inwestorskiego nigdy nie mieli ze sobą kontaktu. Do niedawna było to działanie szczególnie powszechne w przypadku realizacji inwestycji przez jednostki budżetowe administracji publicznej, co wynika często z faktu, że dopiero po sporządzeniu dokumentacji projektowej i oszacowaniu kosztów inwestycji poszukiwane są środki na jej realizację. Stanowi to szczególnie duży problem w przypadku, gdy w przedmiarze robót zastosowano zbyt wysoki poziom agregacji w połączeniu ze zbyt ogólnymi STWiORB lub w przypadku inwestycji wieloletnich, kiedy pierwotnie zrealizowany kosztorys nie odpowiada aktualnym potrzebom z powodu częściowej realizacji robót na przestrzeni lat, pojawienia się konieczności przeprowadzenia dodatkowych (np. zabezpieczających wykonaną część przed zniszczeniem) bądź koniecznością zmiany ich technologii.

Innym zagadnieniem jest treść umów na realizację robót budowlanych, stanowiących załącznik do dokumentów przetargowych. Ich zapisy wyko-

contractor in procedures provided by the Law concerning Public Orders [4].

In the case of a public investor, more seldom a private one (unless the latter is trying to obtain refinancing from the public means), besides to obtaining administrative decisions, he is to estimate obligatorily the costs of the future investment (investor's cost calculations, taking off for the works) [3], he prepares the technical specifications for realization and commissioning of the constructional works (STWiORB) [4] and he prepares the procedure of appointing the contractor in accordance with the Law of Public Orders [2].

If the cost estimator who carries out estimation of the costs of the investment is a person called in by the investor only to execute separate tasks [5] and if he does not participate in the process of designing and when he estimates the costs only on the basis of the constructional design, which by assumption contains certain generalizations, the first problems to occur are those caused by lack of participation of the cost manager in the process of designing. The English term, cost manager, which is used here, in the opinion of the authors, covers a more extensive scope of the duties than its Polish equivalent, cost estimator, as besides to mere costing-draft this includes the duty to take part in the investment process throughout the whole duration thereof, in order to monitor the realized investment as to its compatibility with the planned costs, wherein the latter element makes up an indirect coefficient of the quality of executed works. Unfortunately, in Polish conditions it is still often that the person preparing the project documentation, the person estimating the costs of the investment and the person carrying out the investor's supervision have never met one another. Until recently this was particularly general rule of acting in the case of realization of an investment by the budget entities of the public administration, which often resulted from the fact, that it was not until the design documentation and preparing the cost estimation had been made that the financial means for realization of the investment were sought for. This makes up a particularly big problem in the case when at the stage of taking off for the works a too high level of aggregation has been applied in connection with too general technical specifications for realization and commissioning of the constructional works (STWiORB), or in the case of many years' investments, when the originally realized cost calculation does not correspond to the current needs because of the partial realization of works throughout the years, the necessity of execution of additional works (e.g. to secure the executed piece from damages) or the necessity of change of the technology of works.

Another matter is the content of the contracts on realization of constructional works, which make



nawca musi zaakceptować już na etapie procedury przetargowej, aby spełnić wymogi formalne przy rozpatrywaniu oferty. Są one często formułowane w stosunku do wykonawcy w bardzo rygorystyczny sposób, aby w swym założeniu w maksymalny sposób zabezpieczyć interes inwestora, jednak to co być może sprawdza się w przypadku realizacji obiektów nowo wznoszonych, często okazuje się bronią obosieczną w przypadku obiektów zabytkowych. Inwestorzy zwłaszcza publiczni często zapominają, że wykonawca podejmuje się realizacji robót budowlanych z zamiarem osiągnięcia skalkulowanego wcześniej przez siebie zysku, który kalkuluje uwzględniając m.in. koszty związane z obciążeniami fiskalnymi, zatrudnieniem ludzi, zużyciem sprzętu itp. Jest to skutek nieznamości zasad rządzących procesem inwestycyjnym przez osoby przygotowujące umowę na roboty budowlane. Łatwo można sobie wyobrazić sytuację, że wykonawca po przeanalizowaniu projektu budowlanego, przewidując pojawienie się „niespodzianek” w trakcie realizacji inwestycji prawdopodobnie skalkuluje cenę ofertową „z zapasem”, szczególnie gdy cena ofertowa jest ceną ryczałtową.

### **3. Przygotowanie inwestycji do realizacji a dokumentacja projektowa**

W celu unaocznienia konieczności zmian w przepisach dotyczących dokumentacji budowlanej dla obiektów zabytkowych, prześledźmy w skrócie proces inwestycyjny, aby jego zagrożenia były lepiej widoczne.

Obowiązki inwestora zgodnie z artykułem 18 pkt. 1. ustawy Prawo budowlane [1] zostały przytoczone wyżej. Jednak aby przygotować inwestycję w obrębie budynku zabytkowego do realizacji oraz wyłonić wykonawcę robót zgodnie z Prawem zamówień publicznych w trybie przetargu nieograniczonego, inwestor musi przygotować specyfikację istotnych warunków zamówienia (SIWZ), w skład której lub załączniki do której stanowią, oprócz projektu budowlanego zaakceptowanego przez Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków na podstawie którego uzyskano pozwolenie na budowę, następujące dokumenty: specyfikacja techniczna wykonania i odbioru robót budowlanych (STWiOR), przedmiar robót, projekt umowy inwestor-wykonawca robót, określenie wymagań formalnych oraz merytorycznych, jakie musi spełnić wykonawca robót. Czasami, chociaż bardzo rzadko z powodów opisanych wcześniej, dodatkowym załącznikiem jest projekt wykonawczy.

up enclosure to the tender documents. The contractor has to accept the provisions thereof beforehand, at the stage of the tender procedure, in order to meet the formal requirements when considering the offer. They are often formulated in relation to the contractor in a very rigorous way in order to secure the investor interest to the maximum possible extent, however, what maybe comes true in the case of realization of the objects newly raised, often turns out double-edged in the case of antique objects. The investors, especially public ones, often forget that the contractor undertakes the realization of constructional works with the intention of achieving their earlier calculated profit, wherein the calculation of the profit took into account the costs connected with fiscal encumbrances, employment of people, wear and tear of equipment etc. This is the result of not knowing the principles ruling the investment process on the side of the persons preparing the contract for constructional works. One can easily imagine a situation, when the contractor after having analyzed the constructional design, expecting unpredictable ‘surprises’ during the realization of the investment will probably calculate the offer price ‘with a provision for’ especially if the offer price is a lump-sum price.

### **3. Preparation of the investment to realization and the project documentation**

In order to visualize the necessity of introducing changes in legal regulations concerning constructional documentation for antique objects, let's briefly trace a process of investment so that the endangerment is better visible.

The investor's duties according to article 18 point 1. of The Building Act [1] have been quoted above. However, to prepare the investment to the realization on the area of an antique building and appoint a contractor of works in accordance with the Law of Public Orders in the open tender mode, the investor has to specify the essential conditions of the order (SIWZ), which will include or which will be accompanied by enclosures; besides to the constructional design accepted by Province Conservator of Relics, which makes the basis for being granted a permission to carry out construction works, the following documents must be enclosed: technical specification of realization and commissioning of constructional works (STWiOR), the take-off for the works, the draft of the contract between the investor and the contractor of works, determining the formal requirements and content-related qualification that the contractor of works must fulfill. Sometimes, although this is rather seldom due to the reasons described earlier, the additional enclosure is the executive design.

Wymagania formalne określone w SIWZ to przede wszystkim aktualne zaświadczenie, potwierdzające że podmiot gospodarczy startujący do przetargu w ogóle istnieje (np. wpis do ewidencji działalności gospodarczej), zaświadczenia o niezaleganiu przez niego z płatnością ZUS i podatków, ale również sporadycznie dodatkowe żądania np. zaświadczenia o niekaralności z Centralnego Rejestru Sądowego.

Wymagania merytoryczne określone w SIWZ to zazwyczaj wykaz osób, które miałyby pełnić z ramienia wykonawcy samodzielne funkcje techniczne przy realizacji inwestycji, czyli przede wszystkim kierownik budowy (branża konstrukcyjna), rzadziej branżysty (instalacje elektryczne, centralnego ogrzewania, wodno-kanalizacyjne itp.), sporadycznie konserwatorzy zabytków oraz dokumenty poświadczające wymagane przez inwestora doświadczenie wykonawcy lub osób dla niego pracujących w realizacji podobnych inwestycji – zazwyczaj referencje.

Generalnie, obecny sposób podziału przygotowania i realizacji inwestycji na etapy często niezależne od siebie ze względu na zadaniowe podejście inwestorów do zamierzeń inwestycyjnych, jest na etapie jej realizacji brzemienne w skutki, które ją skutecznie utrudniają, mimo że obecnie coraz częściej od projektanta wymaga się opracowania oprócz projektu budowlanego dodatkowo kosztorysu inwestorskiego (szacowanie kosztów inwestycji), przedmiaru robót oraz STWiOR. Jednak w dalszym ciągu projektant nie uczestniczy w opracowywaniu specyfikacji istotnych warunków zamówienia (SIWZ) nawet na zasadzie konsultacji, gdyż na tym etapie realizacji inwestycji jest on osobą najbardziej zorientowaną co do wymogów merytorycznych, jakie powinien spełnić przyszły wykonawca robót, aby mógł on podołać realizacji zadania. Jest to w odczuciu autorów spowodowane przede wszystkim z jednej strony brakiem zrozumienia złożoności problemu przez inwestora, z drugiej jego bezgraniczną ufnością w kompetencje własnych jednostek czy wydziałów zajmujących się na co dzień organizowaniem przetargów na... realizowanie obiektów nowo wznoszonych bądź remont budynków poza opieką konserwatorską. W efekcie wymagania merytoryczne określone w SIWZ, choć w zgodzie z obowiązującymi przepisami prawa, są sformułowane mało precyzyjnie, często w sposób zupełnie nieodpowiadający charakterowi i złożoności inwestycji.

Skutkuje to często wyłonieniem wykonawcy, który działając w dobrej wierze na podstawie upub-

The formal requirements as defined in the specification of the essential conditions of the order (SIWZ) are as follows: first of all a valid certificate, confirming that the economic subject starting to the tender does exist (e.g. an entry to the registration of economic activity), then the certificate of the subject not being in arrears in payment of Social Security Fund and taxes, but also occasionally additional demands e.g. the certificate of not having a criminal record issued by The Central Judicial Register.

The content-related qualifications as defined in this SIWZ consist usually of the list of persons, who would have to fulfill individual technical functions from the contractor's side when realizing the investment, these are as follows: first of all the manager of the construction site (constructional trade), more seldom different craft-related specialists (electric installations, central heating, civil engineering, water supply, sewage etc.), occasionally conservators of relics; other content-related requirements are documents certifying experience required by the investor from the contractor or the persons working for him in realization of similar investments – usually references.

Generally, the present way of dividing the preparation and the realization of the investment onto stages, often independent from one another because of task-oriented approach of the investors, brings at the stage of investment realization the results which effectively make it difficult, despite the fact that nowadays more and more often the designer is required to prepare not only the constructional design, but also the investor's cost calculation (estimating the costs of the investment), the take-off for works and the technical specification of realization and commissioning of constructional works (STWiOR). However the designer still does not participate in working out the specification of the essential conditions of the order (SIWZ), even as a consulting specialist, as at this stage of realization of the investment he is the person best knowing what content-related requirements should the future contractor meet in order to cope with realization of the task. In the authors' opinion this is first of all caused on the one hand by investor's lack of understanding of the complexity of the problem, and on the other hand by investor's unlimited trust in competence of their own units or departments dealing in their everyday practice with organizing tenders on... realizing newly raised objects or repair of buildings not undergoing conservator's care. As the result the content-related requirements as defined in SIWZ, although they are formulated exactly in agreement with the legal regulations in force, they are not precise enough, often in the way completely not suitable for the character and complexity of the investment.

liczonego SIWZ, spełniając zawarte w nim wymogi merytoryczne – paradoksalnie – nie jest przygotowany merytorycznie do realizacji zadania, o czym często przekonuje się po rozpoczęciu jego realizacji. Wynika to z faktu, że taki wykonawca często nie będąc świadomym specyfiki robót w obiekcie zabytkowym, w oferowanej cenie ryczałtowej opartej jedynie na przedmiarze robót oraz (rzadko) na projekcie budowlanym, nie uwzględni różnego rodzaju kosztów, które w przypadku realizacji robót w obiektach poza opieką konserwatorską w ogóle nie występują. W takim przypadku może dojść nawet do sytuacji ekstremalnej, tj. zejścia wykonawcy z placu budowy, dla którego rozwiązanie umowy oraz zapłacenie wszelkich kar umownych i tak jest bardziej opłacalne niż realizacja niedoszacowanej inwestycji. Problem zaczyna mieć również inwestor, który co prawda zyskuje kwoty wynikające z kar umownych, jednak zmuszony jest przeprowadzić od początku długotrwałe postępowanie przetargowe i z tego powodu często naraża się na utratę różnego rodzaju dotacji i dofinansowań, szczególnie z różnego rodzaju funduszy unijnych, z racji niemożności dotrzymania zadeklarowanego harmonogramu realizacji robót. Niestety zazwyczaj kwota dofinansowania przewyższa wielokrotnie kwotę kar umownych, zaś te ostatnie, poza wadium wpłaconym na etapie postępowania przetargowego, mogą się okazać trudne do wyegzekwowania nawet w postępowaniu sądowym.

#### **4. Realizacja inwestycji**

Najczęstszym efektem postępowania opisanego wyżej jest sytuacja, kiedy w trakcie realizacji robót okazuje się, że projekt budowlany w swej części nie odpowiada stanowi faktycznemu, jaki wykonawca zastaje na budowie, np. co do faktycznego stanu technicznego elementów konstrukcyjnych (częsty przypadek, gdy pomiędzy opracowaniem dokumentacji a realizacją inwestycji upłynęło kilka lat), nie zawiera szczegółów istotnych z punktu widzenia wykonawstwa robót, a brak jest projektu wykonawczego lub zmieniają się wymogi formalno-prawne dotyczące warunków technicznych, jakom powinny odpowiadać budynki – szczególnie częste w przypadku inwestycji wieloletnich realizowanych „na raty” w zależności od wielkości pozyskiwanych środków na ich realizację. Zachodzi wówczas konieczność wstrzymania robót lub ich części do czasu wyjaśnienia wątpliwości przez projektanta, co nie jest

This often results in appointing a contractor, who, although being well-meaning and acting on the basis of the publicized essential conditions of the order (SIWZ), and meeting the content-related requirements contained therein – yet, paradoxically, is not prepared for realization of the task, about which he often gets convinced only after commencing realization thereof. This results from the fact that such a contractor is often not aware of the specific character of the works in the antique object, in his offered lump-sum price based only on the take-off for works and (seldom) on the constructional design he does not take into account a variety of costs which in the case of realization of works in objects beyond the conservator's care do not occur at all. In such circumstances there may even occur an extreme situation, i.e. the contractor leaves the construction site, as for him the termination of the contract and paying all contract stipulated penalties is more remunerative than realization of the investment so badly underestimated. There occur problems also for the investor, who in fact gains the sums resulting from contract stipulated penalties, but becomes forced to carry out time-taking tender proceeding right from the scratch and due to this is often exposed to the loss of various kind of the grant-in-aids and refinancing, especially those derived from EU funds, due to not being able to keep the declared schedule of realization of works. Unfortunately, usually the sum of refinancing exceeds many times the sum of contract stipulated penalties, moreover the latter, except for the deposit paid at the stage of tender proceeding, may even turn out difficult to extort even in the court's suit.

#### **4. Realization of the investment**

The most frequent effect of the proceeding as described above is the situation, when during the realization of works it turns out that the constructional design in its part does not answer the actual conditions which the contractor finds on the construction site, e.g. concerning the actual technical condition of the constructional elements (a frequent case, when several years have passed between working out the documentation and the realization of the investment), that it does not contain details essential from the point of view of execution of works and there is lack of the executive design or formal and legal requirements relating to technical conditions the buildings should correspond have changed, – which is particularly frequent in the case of many years' investments realized 'in installments', depending on the amount of financial means acquired for realization thereof. Then comes the necessity of suspension of all the works or a part thereof until the doubts have

większą przeszkodą w ich realizacji, chyba że projektant jest nieosiągalny (zmienił adres zamieszkania, wyemigrował lub zmarł). W tym przypadku decyzję zmuszony jest podjąć inwestor przy akceptacji konserwatora zabytków i inspektora nadzoru. Zdarza się również, że ulega też zmianie zakres robót co jest większym problemem, przy rozwiązaniu którego szczególnie widać niedogodności związane z sytuacją opisaną wcześniej; jego następstwa są zbieżne z następstwami sytuacji przedstawionych niżej i tam będą opisane.

Często również dochodzi do odkrycia zasłoniętych wcześniej elementów architektonicznych wystroju budynku i w konsekwencji zachodzi potrzeba przeprowadzenia badań konserwatorskich lub archeologicznych, co doprowadza do zwiększenia zakresu robót w stosunku do założonego a co za tym idzie, powoduje zwiększenie wartości robót budowlanych. To z kolei często owocuje powiększeniem kwoty, jaką należy zapłacić wykonawcy za ich realizację w stosunku do kwoty określonej w umowie na roboty budowlane. Jest to problem poważny w przypadku inwestycji realizowanych ze środków publicznych, szczególnie pomocowych z Unii Europejskiej. Chociaż Prawo zamówień publicznych dopuszcza możliwość zwiększenia zakresu i wartości zamówienia do 50% w przypadku, jeśli robót tych na etapie projektowania nie można było przewidzieć, to jednak w większości przypadków inwestorzy (zwłaszcza publiczni) posiadają ściśle określone środki finansowe i ich zwiększenie nastęrcza ogromne trudności. Jeszcze większym problemem jest sytuacja, gdy roboty te można było przewidzieć, lecz zarówno w projekcie budowlanym, jak i w kosztorysie nie zostały ujęte – Prawo zamówień publicznych w takim przypadku nie dopuszcza możliwości zwiększenia zakresu i wartości zamówienia.

Opisane wyżej przypadki łączy wspólna cecha, różniąca realizację robót przy obiektach zabytkowych od inwestycji przy obiektach nowo wznoszonych – prowadzą one często do znaczących zmian w harmonogramie realizacji inwestycji, co jest szczególnie dotkliwe w przypadku realizacji inwestycji wykorzystujących zewnętrzne źródła finansowania. W trakcie wykonywania prac w obiektach zabytkowych często ma miejsce sytuacja, kiedy Wojewódzki Konserwator Zabytków musi z urzędu wstrzymać prowadzenie prac, z uwagi na odkrycie elementów stanowiących wartość historyczną lub zachodzi konieczność dokonania dodatkowych prac projektowych lub konserwatorskich. Każde

been cleared out by the designer, which does not pose any bigger problem in their realization, unless the designer is not available (has changed his address of residence, emigrated or died). In this case it is the investor who is forced to take the decision with the acceptance of the conservator of relics and the supervising inspector. It happens also that the scope of works also becomes changed, which is a more serious problem, which when solved makes all the inconveniences connected with the situation as described above particularly visible; the aftermath thereof is convergent with the after-effects of the situations presented below which will be described there.

There also often occurs, that some architectural elements of the building's interior decorations have become uncovered and in the consequence it is needed to execute a conservatory or archaeological examination, which brings extension of the scope of works when compared to that assumed initially, and what follows is enlargement of the cost of building works. This in turn often generates an increase in the sum to be paid to the contractor for their realization in comparison with the sum as defined in the contract on building works. This is a serious problem in the case of investments realized from the public means, especially the financial aid from the European Union. Though the Law of Public Orders admits the possibility of enlargement of the scope and value of the order by 50% in the case those works could not have been foreseen at the stage of designing, yet in the majority of cases the investors (especially the public ones) have got only strictly limited financial means and enlargement thereof procures huge difficulties. Even still larger problem is the situation when one could have foreseen these works, but both in the constructional design, and in the cost calculation they were not included – in such a case the Law of Public Orders does not admit the possibility of increasing the scope and value of the order.

The cases as described above have all a common feature, which makes a difference between the realization of works on an antique objects from the investment on a newly raised objects – they often lead to significant changes in the schedule of the realization of the investment, which is particularly severe in the case of realization of investments using external sources of funding. There often occurs the situation that when carrying out works on an antique objects, the Province Conservator of Relics has to stop the works by law, due to the discovery of elements of particular historical value or the necessity of accomplishment of additional designing or conser-

takie działanie wiąże się nie tylko z dodatkowymi kosztami związanymi z realizacją ale przede wszystkim konsekwencją tego faktu jest niedotrzymanie harmonogramu, co w przypadku korzystania ze środków pomocowych Unii Europejskiej jest niedopuszczalne i skutkujące dla Inwestora wstrzymaniem finansowania lub nawet koniecznością zwrotu dotacji.

## **5. Realizacja inwestycji a administracja budowlana**

Zgodnie z artykułem 34 pkt. 2. ustawy Prawo budowlane [1] [...] Zakres i treść projektu budowlanego powinny być dostosowane do specyfiki i charakteru obiektu oraz stopnia skomplikowania robót budowlanych [...]", jednak sposób w jaki to ma być zrealizowane pozostawiono projektantowi, jednocześnie określając minimalne wymagania sformułowane w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 2 września 2004r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej [...]. Dlatego w związku z brakiem obowiązku opracowywania projektów wykonawczych, opracowywany z uwzględnieniem uwarunkowań konserwatorskich projekt budowlany powinien być w odpowiednim stopniu uszczegółowiony. Na tym etapie nieoceniona jest pomoc Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków, który opiniuje oraz zatwierdza projekt budowlany na etapie pozyskiwania pozwolenia na budowę, i który może wyegzekwować od inwestora odpowiednią zawartość dokumentacji, w dobrze rozumianym jego interesie. Dotyczy to nie tylko obiektu zabytkowego jako takiego, ale również jego bezpośredniego otoczenia, które często nie podlega ochronie konserwatorskiej i które jest dowolnie kształtowane w oderwaniu od zabytkowego charakteru znajdujących się tam budowli.

Jednak często się zdarza, że Wojewódzki Konserwator Zabytków nie uczestniczy w procesie administracyjnym, szczególnie gdy obiekt będący podmiotem działań inwestycyjnych nie jest w rejestrze zabytków. Jest to efektem głównie dwóch zapisów Prawa budowlanego [1]. Pierwszy to artykuł 29 pkt. 2 „[...] Pozwolenia na budowę nie wymaga wykonywanie robót budowlanych polegających na: 1) remoncie istniejących obiektów budowlanych i urządzeń budowlanych, z wyjątkiem obiektów wpisanych do rejestru zabytków [...]”. Drugi to artykuł 31 pkt. 1 „[...] Pozwolenia nie wymaga rozbiórka: 1) budynków i budowli – niewpisanych do rejestru zabytków oraz nieobjętych ochroną konserwatorską [...]; 2) obiektów i urządzeń budowlanych, na budowę których nie jest

vatory works. Every such activity is connected not only with additional costs due to realization thereof but first of all the consequence of this is that there occurs breach of the schedule, which in the case of using the aid means from the European Union is inadmissible and the effect for the investor is suspension of the funding or even the necessity of the reimbursing the grant-in-aid.

## **5. Realization of the investment and building administration**

According to the article 34 point 2. of The Building Act [1] (*Prawo budowlane* [1]) ‘[...] The scope and the content of the building project should be adapted to the specifics and the character of the object and to the stage of complexity of constructional works [...]’, however the way in which this has to be accomplished has been left at the designer’s discretion, simultaneously defining the minimum requirements as formulated in the decree of Minister of Infrastructure of 2<sup>nd</sup> September 2004, concerning the detailed scope and form of the project documentation [...]. This is why due to lack of obligation to work out the executive designs, the constructional design as worked out with regard to the conservator’s conditions should be detailed to the suitable extent. At this stage it is invaluable to obtain the help from the Province Conservator of Relics who gives opinion and approves the constructional design at the stage of application for the permission to build, and who can enforce from the investor suitable content of the documentation, in their well understood interest. This concerns not only the antique object as such, but also its direct surroundings which often is not subjected to conservator’s protection and which is shaped at will in separation from the antique character of the buildings existing there.

However it often happens that the Province Conservator of Relics does not participate in the administrative proceeding, especially when the object which undergoes investment is not included in the register of relics. This is mainly the effect of two provisions of The Building Act [1]. The first is article 29 point. 2 ‘[...]executing of building works does not require the permission to build if these consist in: 1) the repair of an existing building objects and building devices, except for the objects registered in the register of relics [...]’. The second is article 31 point 1 ‘[...] it is not required to have permission for demolition of: 1) the buildings and building constructions not registered in the register of relics and not covered by the conservator’s protection [...]; 2) objects and building devices, for which

wymagane pozwolenie na budowę, jeżeli nie podlegają ochronie jako zabytki [...]”.

Problem polega na tym, że wiele obiektów budowlanych, niezależnie od tego kiedy powstały, nie figuruje w żadnym rejestrze ani spisie zabytków, wiele nie jest położonych na terenie objętym ochroną konserwatorską. Jest to szczególnie dobrze widoczne w odniesieniu do budowli powstałych w XIX w., które zajmują niekiedy całe kwartały miast i miasteczek na terenie Zachodniej Polski, a są w dowolny sposób przebudowywane tylko dlatego, że nie podlegają ochronie konserwatorskiej. Problem potęguje fakt, że po zmianie ustawy Prawo budowlane w 1994 r. w większości miejscowości zlikwidowany został urząd architekta miejskiego (w zasadzie pozostał tylko w dużych miastach), który z definicji dbał o zachowanie ładu przestrzennego i na etapie wydawania decyzji o warunkach zabudowy mógł narzucić dodatkowe wymogi w odniesieniu do obiektów zabytkowych. Wprowadzone plany miejscowe mające usprawnić i przyspieszyć proces inwestycyjny, sprawdzają się w przypadku obiektów nowobudowanych oraz inwestycji liniowych, jednak walnie przyczyniają się do degradacji bądź obniżania wartości historycznej obiektów zabytkowych niepodlegających ochronie WKZ.

Ponieważ zapisy w planach miejscowych są na ogół lakoniczne, dlatego tak istotne są działania urzędników wydziałów ds. architektury i budownictwa w starostwach powiatowych, które wydają pozwolenia na budowę bądź rozbiórkę, ponieważ to oni mają bezpośredni kontakt z inwestorem na etapie pozyskiwania pozwolenia na budowę. Artykuł 39 pkt. 3 ustawy Prawo budowlane [1] „[...] W stosunku do obiektów budowlanych oraz obszarów niewpisanych do rejestru zabytków, a objętych ochroną konserwatorską na podstawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, pozwolenie na budowę lub rozbiórkę obiektu budowlanego wydaje właściwy organ w uzgodnieniu z wojewódzkim konserwatorem zabytków [...]” teoretycznie zabezpiecza ochronę konserwatorską dla obiektów nie objętych nią bezpośrednio, jednak w praktyce miejscowe plany nie rozszerzają obszarów objętych ochroną poza ustalone przez WKZ, w błędnie rozumianej trosce o ewentualne ograniczenia swobody inwestycji w odniesieniu do obiektów nowo wznoszonych. W tym przypadku od fachowości i wyczulenia urzędników starostwa na potrzeby ochrony obiektu zabytkowego oraz zachowania ładu architektonicznego w jego obrębie zależy jego los, szczególnie gdy nie jest on wpisany do rejestru zabytków. To oni mogą zażądać i wyegzekwować

it is not required to obtain the permission to build, if they are not subject to protection as relics [...]”.

The problem consists in the fact, that many building objects, independently when they came into being, are neither registered in any register nor in list of relics, many of them do not stand on the area included in the conservator's protection. This is particularly well visible in the reference to the buildings raised in the XIX century, which sometimes occupy the whole quarters of cities and towns on the terrain of Western Poland, and they are rebuilt arbitrarily only because they are not subject to the conservator's protection. The problem is aggravated by the fact, that after the change of The Building Act in 1994 in the majority of the towns the municipal architect's office was done away with (basically it remained only in large cities); by definition that institution used to take care of preservation of the spatial order and the stage of issuance of the decision about preservation of orderly build in of the space it could impose additional requirements relating to antique building objects. The introduced local plans which were to improve and accelerate the investment process, prove as well doing in the case of newly raised objects and linear investments, however they decidedly contribute to degradation or reducing the historical value of antique objects not covered by the protection by the Province Conservator of Relics (WKZ).

As the entries in the local plans are generally laconic, this is why the activities of the officials at the departments for architecture and building in the district governor's offices, which issue permissions to build or for demolition are so essential, because it is for them to have this direct contact with the investor at the stage of acquiring the permission to build. Article 39 point 3 of The Building Act [1] ‘[...] In relation to the building objects and areas which are not registered in the register of relics, and which are subject conservator's protection on the basis of the local plan of town and country planning, permission to build or permission for demolition of the building object is issued by the specific organ in coordination with the Province Conservator of Relics [...]’ theoretically secures conservator's protection of the objects not directly undergoing it, however, in the practice the local plans do not expand the areas covered by the protection beyond the limits as set up by WKZ, in the wrongly understood worry about the possible limitations of the liberty of investment concerning the newly raised objects. In this case it is expertise and sensitivity of the officials of the district governor's office to realize the need to protect the antique object and to preserve the architectural order in the limits thereof, particularly when it is not registered in the register of relics. It is for them to demand

uzgodnienie projektu z Wojewódzkim Konserwatorem Zabytków, korzystając z narzędzia jakim jest artykuł 77 §1 i §2 Kodeksu Postępowania Administracyjnego [6], które brzmią „[...] Organ administracji publicznej jest obowiązany w sposób wyczerpujący zebrać i rozpatrzyć cały materiał dowodowy [...] Organ może w każdym stadium postępowania zmienić, uzupełnić lub uchylić swoje postanowienie dotyczące przeprowadzenia dowodu [...]”. Biorąc pod uwagę efekty widoczne gołym okiem, jest to niezbyt skuteczna ochrona obiektów zabytkowych.

Równie istotne jak urzędników starostw na etapie pozyskiwania decyzji o pozwoleniu na budowę, są działania inspektorów Powiatowego Inspektora Nadzoru Budowlanego (PINB) na etapie odbioru zrealizowanej inwestycji, gdyż ci egzekwują poprawność zastosowanych na budowie rozwiązań technicznych oraz ich zgodność z zatwierdzonym projektem budowlanym. W tym przypadku, w odczuciu autora, fatalne w skutkach jest tzw. „ciche przyzwolenie” (patrz artykuł 54 ustawy Prawo budowlane [1]) – obiekt jest odbierany niejako automatycznie po upływie 21 dni od chwili zgłoszony do odbioru u Powiatowego Inspektora Nadzoru Budowlanego, jeżeli ten nie zgłosi zastrzeżeń – nawet bez dokonania wizji lokalnej.

Jedyną szansą na wyegzekwowanie poprawności realizacji inwestycji i jej zgodności z dokumentacją projektową jest – paradoksalnie – konieczność przeprowadzenia odbioru WKZ niezbędnego dla rozliczenia różnego rodzaju dotacji do prac remontowych obiektów zabytkowych, niezależnie od ich wartości. Niestety, obiekty nie-dotowane takiej szansy nie mają.

## 6. Wnioski

Z uwagi na fakt, że każdy przypadek zamierzeń inwestycyjnych przy różnego rodzaju obiektach zabytkowych jest inny, istniejący system prawny i procedury administracyjne są wystarczające z jednym zastrzeżeniem – inwestorzy planujący roboty przy obiektach zabytkowych powinni obligatoryjnie występować do WKZ o wydanie uwarunkowań (opinii, wymagań) konserwatorskich przed przystąpieniem do procesu sporządzania projektu budowlanego.

W związku z brakiem obowiązku opracowywania projektów wykonawczych, opracowywany z uwzględnieniem uwarunkowań konserwatorskich projekt budowlany powinien być w odpowiednim stopniu uszczegółowiony. Na tym etapie nieoceniona jest pomoc Wojewódzkiego Konserwa-

and enforce the co-ordination of the project with the Province Conservator of Relics, making use of the tool which is article 77 § 1 and § 2 of Code of Administrative Proceeding [6], which is as follows ‘[...] the organ of public administration is obliged to collect and consider the whole evidence material in the comprehensive way [...] the organ can at any stage of the proceeding alter, make up or repeal its decision relating to the execution of evidence proceeding [...]’. Taking into consideration the naked eye – visible effects thereof, this is not very effective protection of antique objects.

The actions taken by the District Building Supervision Inspectors (PINB) at the stage of commissioning of the realized investment are equally essential as those of the officials of the district governor’s offices at the stage of application for the permission to build, as the former do enforce correctness of the technical solutions applied in the building and their compatibility with the approved constructional design. In this case, in the author’s meaning, the so-called ‘low-key acquiescence’ is disastrous in its results (see: article 54 of The Building Act [1]) - the object is commissioned positively so to say automatically after passed 21 days from the moment it was submitted for commissioning to the District Building Supervision Inspector, if the latter does not claim any objections – even without accomplishment of the site inspection.

The only chance to enforce correctness of realization of the investment and its compatibility with the project documentation – paradoxically – is the necessity to have the commissioning executed by the Province Conservator of Relics (WKZ) in order to settle the accounts of various types of grant-in-aid to the redecorating works of antique objects, independently from their value. Unfortunately, the non-subsidized objects do not stand that chance.

## 6. Conclusions

Due to the fact that each case of investment intentions for various types of antique objects is different, the existing legal system and administrative procedures are sufficient, providing one restriction – the investors planning the works on antique objects should obligatorily apply to WKZ for issuance of conservator’s conditions (opinion, requirements) before commencing the process of preparing the constructional design.

In relationship with lack of obligation of working out executive designs, the constructional design worked out with the regard to conservator’s conditions should be detailed to the sufficient extent. At this stage it is invaluable to obtain help from the Province Conservator of Relics, who issues opinion

tora Zabytków, który opiniuje oraz zatwierdza projekt budowlany na etapie pozyskiwania pozwolenia na budowę, i który może wyegzekwować od inwestora odpowiednią zawartość dokumentacji, w dobrze rozumianym jego interesie.

Projektantem, *cost managerem* oraz inspektorem nadzoru powinna być ta sama osoba fizyczna lub prawna, co jest rozwiązaniem możliwym do zrealizowania w świetle obowiązujących przepisów, gdyż dzielenie tych zadań w przypadku obiektów zabytkowych często prowadzi do utrudnień na etapie realizacji inwestycji.

Umowy na roboty budowlane należy formułować w taki sposób, aby zabezpieczały interesy nie tylko inwestora, ale obu stron umowy, tak aby strony współdziałały w realizacji zamierzonego przez inwestora celu. Idealem byłoby stosowanie w umowach na realizację robót zapisów zawartych w procedurach międzynarodowych opracowanych przez Międzynarodową Federację (Niezależnych) Inżynierów Konsultantów FIDIC, lub choćby tej ich części, która reguluje wzajemne rozliczenia pomiędzy inwestorem a wykonawcą.

Z uwagi na fakt, że każdy przypadek zamierzeń inwestycyjnych przy różnego rodzaju zabytkowych obiektach przemysłowych jest inny, istniejący system prawny i procedury administracyjne są wystarczające z jednym zastrzeżeniem – inwestorzy planujący roboty przy obiektach zabytkowych powinni obligatoryjnie występować do WKZ o wydanie uwarunkowań (opinii, wymagań) konserwatorskich przed przystąpieniem do procesu sporządzania projektu budowlanego.

Taką opinię powinni również uzyskiwać dla obiektów nowobudowanych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów zabytkowych, w szczególności gdy są to obiekty wpisane do rejestru zabytków bądź zlokalizowane w strefie ochrony konserwatorskiej.

Konieczne jest ponowne określenie, które z obiektów zabytkowych podlegają ochronie WKZ, gdyż niedługo może być tak, że zabytki pozostaną jedynie w ścisłych centrach miast w enklawach jakimi są obecnie strefy ochrony konserwatorskiej. W ocenie autorów datą graniczną powinien być rok wybuchu I wojny światowej, szczególnie biorąc pod uwagę tempo degradacji budowli secesyjnych i ich fragmentów – np. unikalnych w swym kształcie stolarek okiennych. Często bowiem się również zdarza, że budynki powstałe w XIX w. i wcześniejsze nie są objęte ochroną konserwatorską tylko z tego powodu, że nie figurują w rejestrach bądź są położone poza strefą ochrony konserwatorskiej. Równie częsta jest sytuacja, kiedy granica strefy ochrony konserwatorskiej prze-

and approves the constructional design at the stage of applying for permission to build, and who can enforce from the investor suitable content of the documentation, in their well understood interest.

The designer, the cost manager and the inspector of supervision should be the same natural person or legal entity, which is a solution possible to realize in the light of the legal regulations in force, as division of these tasks in the case of antique objects often leads to difficulties at the stage of realization of the investment.

The contracts on building works should be formulated in such a way that they should not only protect investor's interest, but of both parties of the contract, so that the parties would co-operate in the realization of the objective intended by the investor. It would be ideal solution to apply in the contracts on realization of the works the provisions of the international procedures worked out by The International Federation of (Independent) Engineers Consultants FIDIC, or even that part of this document which regulates mutual settlements of accounts between the investor and the contractor.

Regarding the fact that each case of investment intentions for various types of antique industrial objects is different, the existing legal system and administrative procedures are sufficient, providing one restriction – the investors planning the works on such antique objects should obligatorily apply to the Province Conservator of Relics (WKZ) for issuance of their conditions (opinion, requirements) before commencing the process of preparing the constructional design.

They should also get such an opinion for the newly raised objects situated in the direct vicinity of antique objects, especially when the objects are registered in the register of relics or situated in the zone of the conservator's protection.

It is necessary to have qualified anew which of the antique objects are subject to the protection of the Province Conservator of Relics (WKZ) as it may soon occur so that the relics will stay only in the exact centers of cities in the enclaves which now are the zones of conservator's protection. It is authors' opinion that the boundary date should be the year the WWI broke out, taking under consideration the pace of degradation of the arts nouveau buildings and their fragments, particularly – e.g. window woodworks which are unique in their shape. It often happens also, that the buildings put up in the XIX century and earlier are not covered by the conservator's protection only because they have not been registered or they are situated beyond the zone of conservator's protection. It is an equally frequent situation that the border of the zone



biega w osi ulicy, gdzie jedna pierzeja jest pod ochroną, zaś druga pochodząca z tego samego okresu jest jej pozbawiona – paradoks takiej sytuacji nie wymaga komentarza.

Projektant obligatoryjnie powinien uczestniczyć w opracowywaniu SIWZ na roboty budowlane planowane na podstawie wykonanego przez niego projektu budowlanego, w zakresie merytorycznych wymogów stawianych przyszłemu wykonawcy robót.

Powiatowy Inspektor Nadzoru budowlanego w odniesieniu do odbiorów robót w obrębie obiektów zabytkowych nie powinien mieć możliwości korzystania z artykułu 54 ustawy Prawo budowlane – tzw. „cichego przyzwolenia”.

Zdaniem autorów – proponowane zmiany dotyczące dodatkowych wymogów dla dokumentacji budowlanej dla obiektów zabytkowych mogły być wprowadzone w formie rozporządzenia MKiDN jako uszczegółowienie istniejących uregulowań prawnych.

of the conservator's protection runs in the axis of the street, where one frontage of the street is under the protection, while the other one, coming from the same period, is devoid thereof – such a paradox situation does not require any comment.

The designer should obligatorily participate in working out the essential conditions of the order (SIWZ) for building works planned on the basis of the constructional design executed by him within the scope of content-related requirements put before the future contractor of works.

The District Inspector of Building Supervision should not have the possibility to use the provisions of article 54 of The Building Act – the so-called 'low-key acquiescence' in reference to the commissioning of works on the area of antique objects.

It is authors' opinion that the proposed changes relating to additional requirements for constructional documentation for antique objects could be introduced in the form of a decrees by the Ministry of Culture and National Heritage (MKiDN) as in-detail amendment to the existing legal regulations.

## Literatura • References

- [1] Ustawa Prawo budowlane z dnia 7.07.1994r. (Dz.U. nr 89 z 1994r., poz. 414 z późn. zm.).
- [2] Ustawa Prawo zamówień publicznych z dnia 29.01.2004r. (Dz.U. nr 19 z 2004r., poz. 177).
- [3] Rozp. Ministra Infrastruktury z dnia 18.05.2004r. w sprawie określenia metod i podstaw sporządzania kosztorysu inwestorskiego [...] (Dz.U. nr 130 z 2004r., poz.1389).
- [4] Rozp. Ministra Infrastruktury z dnia 2.09.2004r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej [...] (Dz.U. nr 202 z 2004r., poz. 2072).
- [5] Napiórkowska-Ałykow M., Ałykow K., *Remonty obiektów zabytkowych – problemy i zagrożenia procesu inwestycyjnego*, Renowacje i zabytki, 2008, 4 (28), s. 20-23.
- [6] Ustawa Kodeks Postępowania Administracyjnego (Dz.U. nr 98 z 2000r., poz. 1071).

---

\* Zespół Inżynierów AŁYKOW, Lubań, Polska  
Team of Civil Engineers AŁYKOW, Lubań, Poland

\*\* Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska  
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

---

## Streszczenie

Artykuł przedstawia problemy i zagrożenia procesu inwestowania podczas przygotowywania i realizowania naprawy struktury pomnikowych budynków. Autorzy artykułu proponują rozwiązania, które mogłyby być przydatne. Autorzy mają nadzieję, że ten artykuł rozpocznie dyskusję tych problemów, aby odnaleźć rozwiązania systemowe.

## Abstract

The article presents problems and hazards of investment process during preparing and processing of structure repair of monumental buildings. Authors of the article propose solutions, which could be useful. Authors hope this article will start a discussion of these problems to find a system solution.

Meltem Vatan\*, M. Oğuz Selbesoğlu\*\*, Bülent Bayram\*\*\*

## The use of 3D laser scanning technology in preservation of historical structures

## Wykorzystanie technologii skanowania 3D w konserwacji obiektów zabytkowych

### 1. Introduction

Historical structures and monuments are symbols of the cultural identity and they constitute the most important part of the cultural heritage. Besides their artistic value those buildings are open to the public and to large assemble of people. Most historical buildings were made of masonry which is very complex. Depending on the construction period; geometrical typology, construction and organization of the structure, element size and type of construction material used are diverse.

Safety and stability of historical structures are of key importance when involved in conservation and preservation studies. The stability and structural behavior depend on the geometry of the building as well as its damage state. Before making any intervention decision, it is very important to make safety evaluation of the building with a multidisciplinary team of specialists on this field.

Geometrical survey of a structure is very important for both understanding the present state of the structure including its damages and material decays and modeling the structure for the structural analysis. Realistic modeling of historical masonry structures for those purposes is not easy. Deep knowledge of the geometry of the structure and its elements is required for implementing the appropriate model.

Different recording techniques exist to acquire an accurate geometric data and description of the building. Traditionally total stations are used to record data of the structures. This is useful for measuring edges or single point of interest but it is

### 1. Wprowadzenie

Obiekty historyczne i zabytki są symbolami tożsamości kulturowej i stanowią najważniejszą część dziedzictwa kulturowego. Posiadając wartość artystyczną są także dostępne dla publiczności i dużych zgromadzeń. Większość budynków historycznych to bardzo skomplikowane konstrukcje murowe. W zależności od okresu w którym powstały, mogą się różnić typologią geometryczną, budową i systemem konstrukcji, wielkością elementów i rodzajem stosowanego materiału budowlanego.

Problematyka bezpieczeństwa i stabilności konstrukcji historycznych jest niezwykle ważna w badaniach z zakresu konserwacji i ochrony. Stabilność i praca konstrukcji zależą od geometrii budynku oraz stanu jego zachowania. Przed podjęciem jakiegokolwiek decyzji o interwencji, trzeba koniecznie dokonać oceny bezpieczeństwa budynku z udziałem zespołu różnych specjalistów z tej dziedziny.

Badanie geometrii konstrukcji jest ważne zarówno dla zrozumienia obecnego stanu konstrukcji, włącznie z uszkodzeniami i zniszczeniem materiału oraz dla modelowania konstrukcji dla potrzeb analiz konstrukcyjnych. W tym ostatnim przypadku, dokładne modelowanie historycznych konstrukcji murowych nie jest zadaniem łatwym. Przed przyjęciem właściwego modelu analitycznego, konieczne jest dogłębne poznanie geometrii konstrukcji i jej poszczególnych elementów.

Istnieją różne techniki inwentaryzacji pozwalające na zebranie dokładnych danych geometrycznych i opisanie budynku. Tradycyjnie używa się w tym celu tachimetrów. Są one przydatne do pomiarów krawędzi

not easy to acquire complex surfaces by this method. Other techniques are close – range photogrammetry and laser scanning which are faster and precise methods and also there are extensive measuring and surveying techniques on this field [1, 2].

The aim of this study is to point out the importance of realistic geometric modeling of historic structures for evaluating the safety condition and to discuss data acquisition methods using in preservation of historical structures and stress particularly on the laser scanning technology.

## **2. Importance of Accurate Geometric Data for Evaluating the Safety Condition of Historical Structures**

Historical buildings made of masonry are very complex and to make the realistic model of the overall geometry of a historical building is a difficult task. The geometry of those buildings as well as structural elements, transition elements and load transfer schemes vary depending on the construction period and organization of the structure (fig. 1). Because of this variety each historical building should be evaluated in its own condition. The basic principle of the conservation is to understand the building as a whole.

The structural typology is important to make a reliable approach and to choose the most appropriate intervention technique for the restoration and preservation of historical buildings. Different load bearing system, load transition system and behavior of the whole building is directly related to the structural typology. During the intervention decision all these parameters should be taken into account.

In seismic areas, beside the geometry of the individual building, if there exist, relation with the other structures is very important in the behavior of the historical structures. Even if the buildings constructed in the same age and have the same typology, isolated building has a different failure mechanism than buildings in a row [3].

The first step of the study of the structural performance of masonry is providing the true data of its geometry. Other parameters are dimension of the elements, shape of the blocks, masonry texture, mortar quantity and quality, characteristics of the section and homogeneity of the material [3].

It is obvious that almost all these required data for the evaluation of the structural condition and damage state of the building are related with the geometrical data. Consequently preservation works include (fig. 2):

istotnych punktów, ale trudno zbadać tą metodą złożone powierzchnie. Inne techniki to fotogrametria bliskiego zasięgu oraz skanery laserowe, które są szybsze i dokładne, a także pozwalają na rozległe pomiary i badania [1, 2].

Celem tego badania było wykazanie wagi realistycznego modelowania geometrycznego budynków historycznych dla oceny stanu bezpieczeństwa oraz omówienie metod pozyskiwania danych stosowanych w konserwacji historycznych konstrukcji, ze szczególną uwagą poświęconą technologii skanerów laserowych.

## **2. Znaczenie dokładności pomiarów geometrii dla oceny stanu bezpieczeństwa konstrukcji historycznych**

Murowane budynki historyczne są bardzo skomplikowanymi konstrukcjami i przygotowanie wiernego i całościowego modelu historycznej budowli to bardzo trudne zadanie. Geometria tych budynków oraz ich elementy konstrukcyjne, wypełniające i schematy przenoszenia obciążeń są bardzo różne w zależności od okresu powstania i typu konstrukcji (rys. 1). Z powodu tej różnorodności każdy budynek historyczny powinien być analizowany indywidualnie. Podstawową zasadą konserwacji jest zrozumienie budynku jako całości.

Typologia konstrukcji jest istotna dla wyboru właściwego sposobu podejścia i wyboru optymalnej techniki interwencji w celu restauracji i konserwacji historycznych budynków. Różnorodne schematy obciążeń i systemy ich przenoszenia oraz zachowanie się całego budynku są bezpośrednio związane z typologią konstrukcji. Wszystkie te parametry należy uwzględnić przy podejmowaniu decyzji o interwencji.

Dla ochrony budynków historycznych położonych w obszarach sejsmicznych ważna jest nie tylko geometria konkretnego budynku, ale także – jeśli istnieje – powiązanie z sąsiednimi konstrukcjami. Nawet jeśli budynki zbudowano w tym samym okresie i mają one te same cechy typologiczne, wolno stojący budynek podlega innym mechanizmom niż budynek usytuowany w pierzei [3].

Pierwszy krok w badaniu stanu konstrukcji murowej to zebranie wiarygodnych danych o jej geometrii. Inne parametry to wymiary elementów, kształt bloków, faktura muru, ilość i jakość zaprawy, cechy przekroju i jednorodności materiału [3].

Jest oczywiste, że niemal wszystkie dane potrzebne do oceny stanu technicznego konstrukcji są związane z danymi geometrycznymi. Dlatego prace konserwatorskie obejmują (rys. 2):

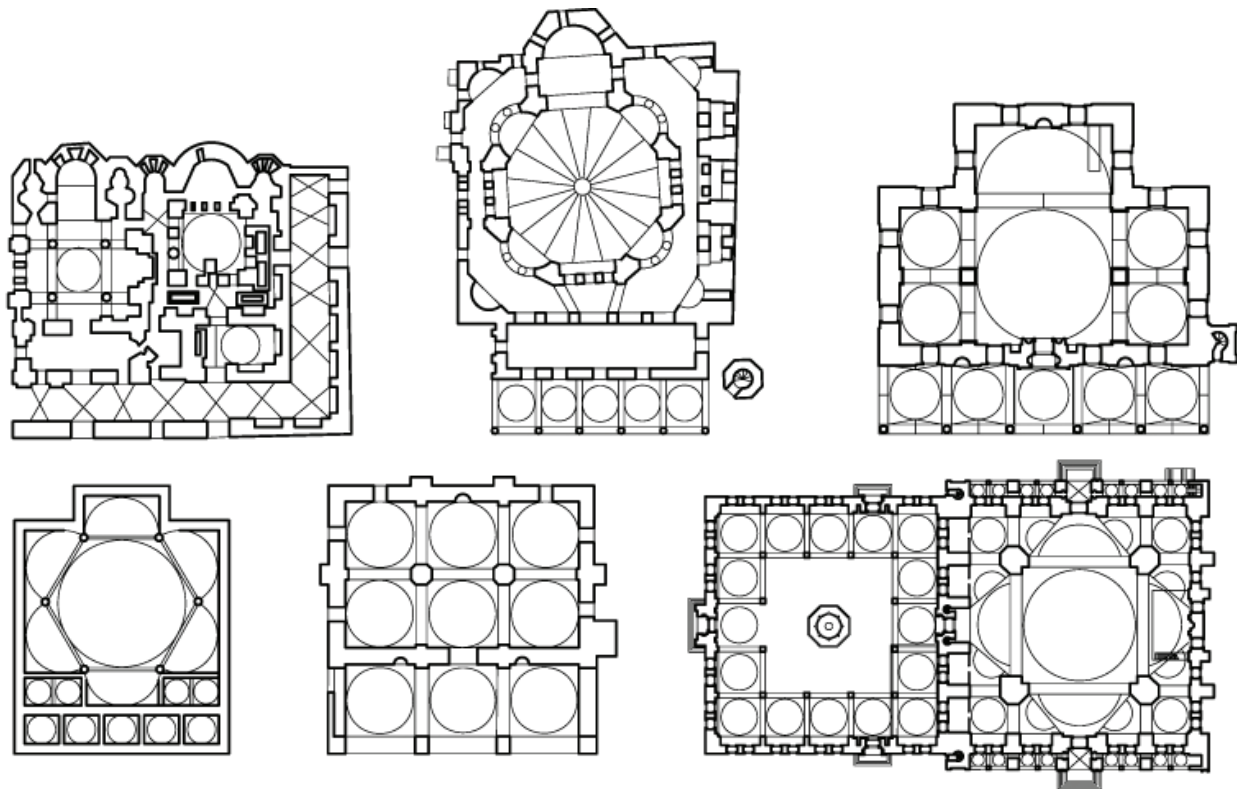


Fig. 1. Examples of diverse typology of historical masonry structures in Istanbul  
 Rys. 1. Przykłady typów historycznych konstrukcji murowych w Istambule

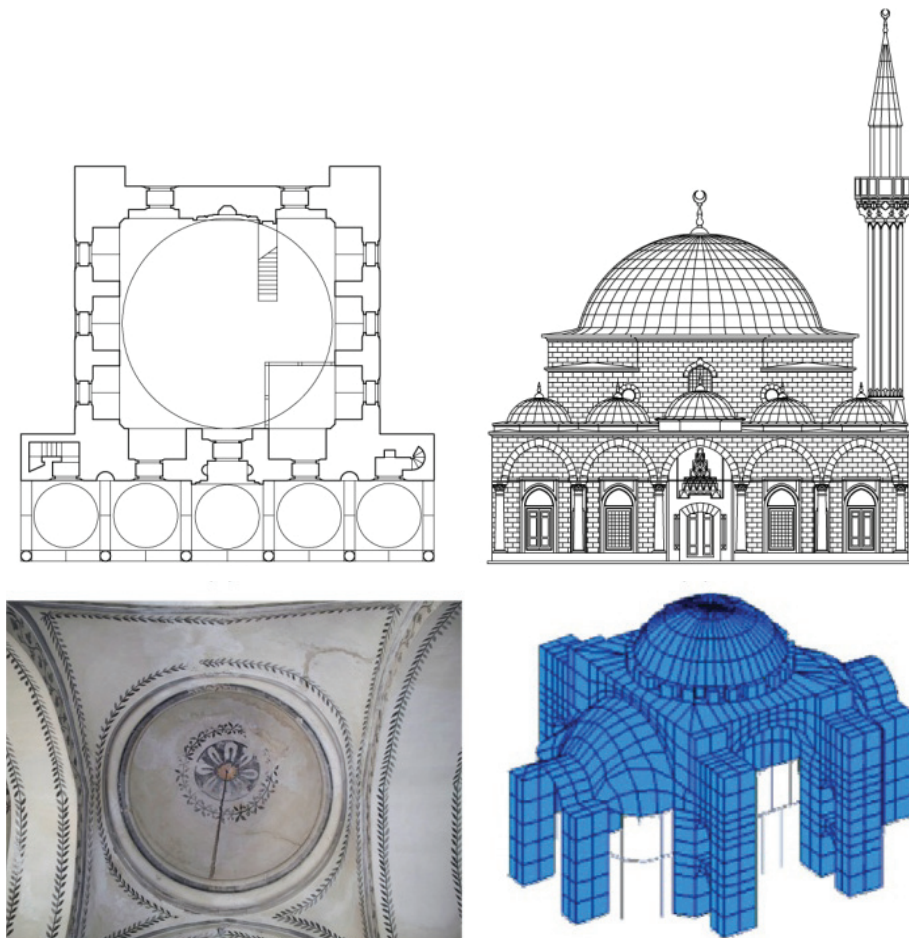


Fig. 2. (a, b) Plan drawing and façade drawing of the historic building; (c) Crack pattern of the dome of the historic building; (d) FEM model  
 Rys. 2. (a, b) Rzut i elewacja budynku zabytkowego; (c) Rysy na kopule historycznej budowli; (d) Model MES

- As built drawings of the existing building both in plan, sections and facades;
- The texture of the facades;
- Damage state of the building (e.g. crack pattern, deterioration);
- If the detailed inspection is necessary, structural analysis of the building (e.g. FEM).

In the following, exciting different recording techniques for obtaining those required data will be described.

### 3. Architectural Modeling of the Realistic Geometry of the Exciting Building

Numerical modeling of the real geometrical shape of the historic building as part of safety evaluation is the hardest step. Architects are traditionally used to draw all necessary drawings through photos and manual measurements. In the traditional method of numerical modeling of the existing building, all structural elements have to be drawn manually with several drawbacks. The process is time consuming and forced labor; first the architectural plan drawings should be made then if it is possible generating a 3D model through 2D drawings. Generally photos are used for generating the 3D model and inaccuracy of the photos could result with different facades' and section drawings. It is difficult to verify whether the result model is accurate or not [4].

Recently photogrammetry became a widespread method in architecture, with developing computer industry both software and hardware. In comparison with traditional drawing and modeling techniques, photogrammetry is faster and more precise.

Photogrammetry is based on processing of images by generating DTMs, DSMs, orthoimages, 2D and 3D reconstruction [5]. Total station, metric cameras and laser scanning are used as measurement techniques in photogrammetric method. Data collected from both of these techniques is useful in architecture. By this way, time and effort is reduced while making as built drawings in digital format.

Recently terrestrial laser scanning technology became widespread in the field of documentation of the historical heritage. Mobile and flexible optical 3D measuring systems based on techniques as photogrammetry, fringe projection, laser scanning and combinations of those image based or range based systems can successfully applied to the measurement and virtual reconstruction of cultural heritage [6]. 3D laser scanner is one of

- Dokumentację stanu faktycznego istniejących budynków: rzuty, przekroje i elewacje;
- Teksturę fasad;
- Stan niszczenia budynku (np. zarysowania, uszkodzenia);
- Jeżeli konieczne jest badanie szczegółowe, analizę konstrukcyjną budynku (np. MES).

W dalszej części artykułu zostaną opisane różnorodne dostępne techniki inwentaryzacji pozwalające na zebranie tych danych.

### 3. Modelowanie architektoniczne realistycznej geometrii istniejących budowli

Modelowanie numeryczne wiernego rzeczywistości kształtu geometrycznego budowli historycznej jest najtrudniejszym krokiem w procesie oceny bezpieczeństwa. Architekci są zwykle przyzwyczajeni do rysowania całej dokumentacji na podstawie zdjęć i ręcznych pomiarów. W tradycyjnej metodzie numerycznego modelowania istniejących budowli wszystkie elementy konstrukcyjne trzeba modelować ręcznie i to kilku wersjach. Jest to czasochłonny proces; najpierw trzeba przygotować rzut budynku, a następnie, jeśli to możliwe, z pomocą dodatkowych rysunków 2D (przekroje, elewacje), wygenerować model. Zasadniczo do tworzenia modeli 3D używa się zdjęć i ich niedokładność może prowadzić do błędów w dokumentacji elewacji i przekrojów. Trudno zweryfikować, czy stworzony w ten sposób model jest dokładny czy nie [4].

W miarę rozwoju sprzętu i oprogramowania komputerowego, w ostatnich latach popularną wśród architektów metodą stała się fotogrametria, która jest szybsza i dokładniejsza niż tradycyjne techniki inwentaryzacji i modelowania.

Fotogrametria opiera się na przetwarzaniu obrazów w celu tworzenia numerycznych modeli terenu, ortofotomap, rekonstrukcji dwu- i trójwymiarowych [5]. Totalstation, kamery metryczne i skanery laserowe to techniki pomiaru stosowane zwykle w metodzie fotogrametrycznej. Dane zebrane za pomocą tych technik są przydatne w architekturze: w ten sposób oszczędza się czas i wysiłek poświęcony na dokumentację stanu faktycznego w formie cyfrowej.

Ostatnio, w dziedzinie dokumentacji dziedzictwa historycznego popularną technologią stało się naziemne skanowanie laserowe. Mobilne i wygodne trójwymiarowe, optyczne systemy pomiarowe, oparte na takich technikach jak fotogrametria, triangulacja optyczna, skanery laserowe, a także połączenia technik pomiaru opartych na analizie obrazu i pomiarze odległości, mogą być doskonale stosowane do inwentaryzacji i wirtualnych rekonstrukcji

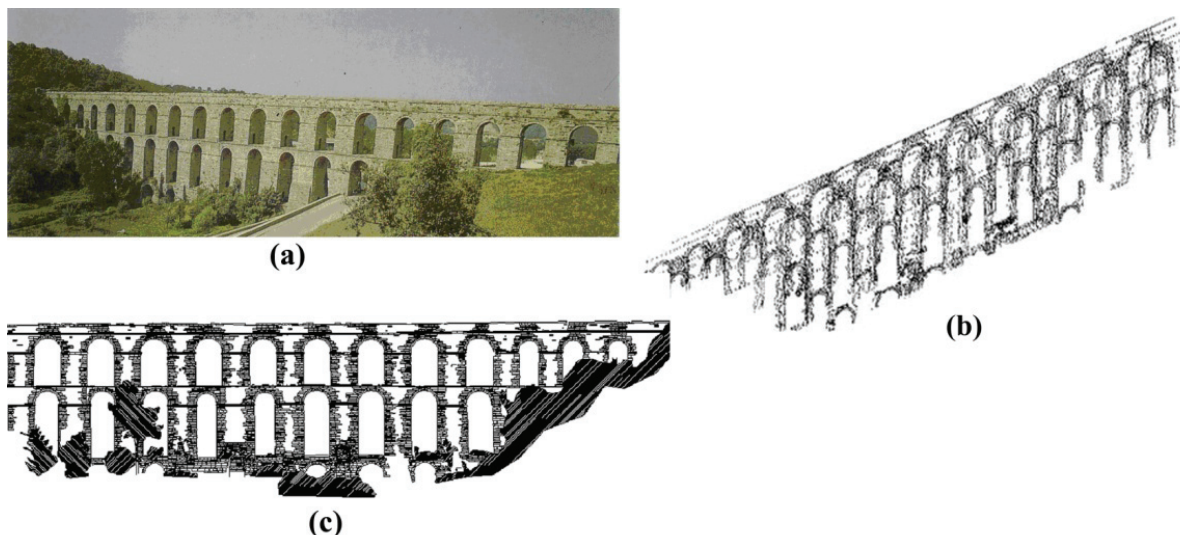


Fig. 3. The data set obtained from laser scanner of the Kovukkemer aqueduct (a) Photo of the aqueduct, (b) 3D point clouds, (c) The west façade of the aqueduct [7]

Rys. 3. Zestaw danych uzyskanych w procesie laserowego skanowania akweduktu Kovukkemer (a) Zdjęcie akweduktu, (b) chmura punktów 3D, (c) zachodnia elewacja akweduktu [7]

the tools for survey documentation of the overall building in the accurate way. The importance of 3D laser scanning is providing a full surface description instead of measuring some specific points. After an extensive processing phase, the collected data can be used to derive 2D drawings, 3D models useful for architectural drawings and numerical modeling of structural analysis (fig. 3).

### 3.1. Laser Scanners

Due to its simplicity, speed and capability of its use in the extensive applications; laser scanning is getting great interest recently. Laser scanners acquire realistic data of objects by measuring thousands of points with high accuracy in a time efficient way. By extensive processing phase the collected data can be used to construct 2D or 3D models useful in a wide variety of applications. Triangulation based, time of flight based and phase difference based laser scanner principles exist. Triangulation lasers are the devices that project a laser line or pattern onto an object and measure the deformation of that pattern using a visible sensor to determine the geometry of the object. Time of flight scanners compute by measuring the timeframe between sending a short laser pulse and receiving its reflection from an object. These two types of scanners are relatively slow but can measure points up to 1 km from the scanner without loss of accuracy. Phase based scanners use a modulated continuous laser wave instead of laser pulses allowing for faster measuring, but the range of these scanners is limited to approximately 50 – 80 m [2].

Laser scanners have been available for over ten years, but in the last three years their beneficial

dziedzictwa kulturowego [6]. Trójwymiarowy skaner laserowy to jedno z narzędzi pozwalających na sporządzenie dokładnej inwentaryzacji budynku jako całości. Ważne jest, że trójwymiarowe skanowanie laserowe pozwala na pełen opis powierzchni, a nie tylko pomiar specyficznych punktów. Po przetworzeniu, zabrane dane można wykorzystać do tworzenia rysunków 2D i modeli 3D, które mogą być pomocne w przygotowywaniu dokumentacji architektonicznej i modeli dla numerycznej analizy konstrukcji (rys. 3).

### 3.1. Skanery laserowe

Dzięki swej prostocie, szybkości i szerokim możliwościom zastosowania skanowanie laserowe budzi ostatnio ogromne zainteresowanie. Skanery laserowe dają realistyczne dane na temat obiektów dzięki bardzo dokładnym pomiarom tysięcy punktów wykonanym w stosunkowo krótkim czasie. W procesie przetwarzania, zebrane dane mogą być użyte do opracowania modeli dwu- i trójwymiarowych, przydatnych w bardzo wielu zastosowaniach. Skanery laserowe mogą opierać się na zasadzie triangulacji, na zasadzie czasu powrotu odbitego sygnału lub różnicy fazowej. Lasery triangulacyjne to urządzenia, które przenoszą laserową linię lub wzór na obiekt i mierzą stopień deformacji wzoru i w ten sposób ustalają geometrię obiektu. Skanery działające na zasadzie czasu powrotu odbitego sygnału opierają się o pomiar czasu pomiędzy wysłaniem krótkiego sygnału laserowego, a odebraniem jego odbicia od obiektu. Te dwa typy skanerów są stosunkowo wolne, ale mogą zmierzyć nawet punkty oddalone o 1 km, nie tracąc przy tym na dokładności. Skanery fazowe wykorzystują modulowaną ciągłą wiązkę laserową zamiast krótkich sygnałów, co pozwala na szybki pomiar, ale zasięg takich skanerów nie przekracza 50 – 80 m [2].

applicability and improvements move forward. The improvements in software applications to handle and visualize the point clouds in an effective and efficient way have created a new era in surveying which is called "High Definition Survey" – HDS. Using HDS technology the physical reality can be captured in an efficient, accurate and reliable way. Inaccurate or even wrong as built information was and still is a big problem for the architects. State of the art laser scanners are capable to generate today in a very short time huge data sets. In order to be able to manage this huge data set, totally new approaches and concepts are developed. HDS supporting generation of the data and results with solutions tailored specifically to the user and combines and integrates various scanning technologies and different software modules [8]. Figure 4 shows an example of HDS data obtained by Leica.



Fig. 4. Pink Pavilion  
Rys. 4. Różowy Pawilon

The manner of using laser scanner is: filtering of every point for noise removal, removing of redundant points, generating a mesh and if there exist, filling of small holes by using curvature based filling algorithm [2].

### 3.2. The Case Study of the Pink Pavilion

In this paper Pink Pavilion is chosen as a case study which is one of the Yildiz Palace's buildings (fig. 5). Yildiz Palace is a vast complex of former imperial Ottoman pavilions and villas in Istanbul built in the late 19<sup>th</sup> and early 20<sup>th</sup> centuries. It was used as residence by the Sultan and his court. Pink Pavilion is a timber weekend dwelling constructed for Ottoman princes in the late 19th century [9].

In this study geodetic measurement and photogrammetric method are used and results are compared. 1/200 scaled stereo photos have taken by using Rolley Metric camera in the photogrammetric method and geodetic measurements have done by using 1+2 ppm precise Total Station.

The Pink Pavilion building has been scanned by Mensi GS100 laser scanner from 15,25m with 1cm point density by sending two pulses to each control point. Control points on the façade were

Skanery laserowe są dostępne od ponad dekady, ale ostatnie trzy lata przyniosły duży rozwój ich zastosowań i jakości. Rozwój oprogramowania służącego do efektywnej, wydajnej obsługi i wizualizacji chmur punktów zapoczątkował nową erę w dziedzinie pomiarów, zwaną „pomiarami wysokiej rozdzielczości” („High Definition Survey” – HDS). Za pomocą technologii HDS można dokumentować stan rzeczywisty w sposób wydajny, dokładny i wiarygodny. Niedokładne lub nawet błędne dane o stanie faktycznym były i nadal są poważnym problemem dla architektów.

Najnowocześniejsze skanery laserowe mogą dziś tworzyć ogromne zbiory danych w bardzo krótkim czasie. Opracowuje się zupełnie nowe podejścia i koncepcje, aby zarządzać tymi dużymi zbiorami. HDS wspomaga generowanie danych i wyników zindywidualizowanymi rozwiązaniami, łącząc i integrując różne technologie skanowania i moduły oprogramowania [8]. Rys. 4 przedstawia przykład danych HDS zebranych za pomocą Leica.

Tryb opracowywania danych uzyskanych w procesie skanowania laserowego jest następujący: filtrowanie chmury punktów w celu eliminacji szumów, usuwanie zbędnych punktów, generowanie modelu siatkowego oraz uzupełnienie nieciągłości w modelu za pomocą algorytmu wypełniania śledzącego zakrzywienia powierzchni [2].

### 3.2. Studium przypadku Różowego Pawilonu

W tym artykule, jako studium przypadku wybrano Różowy Pawilon, który jest jednym z budynków w zespole pałacowym Yildiz (rys. 5). Pałac Yildiz (*Palac Gwiazd*) to rozległy kompleks pawilonów i willi w Istambule, powstały pod koniec XIX i na początku XX w. Służył jako rezydencja otomańskiego sultana i jego dworu. Różowy Pawilon jest niewielką drewnianą budowlą wzniesioną jako pawilon rekreacyjny dla otomańskich książąt pod koniec XIX w. [9].

W ramach opisywanego projektu wykonano pomiary geodezyjne oraz fotogrametryczne, a następnie porównano wyniki. W ramach metody fotogrametrycznej wykonano zdjęcia stereo w skali 1/200 za pomocą kamery Rolley Metric, zaś pomiary geodezyjne wykonano za pomocą TotalStation o dokładności własnej 1+2 ppm.

Budynek Różowego Pawilonu został także zeska-

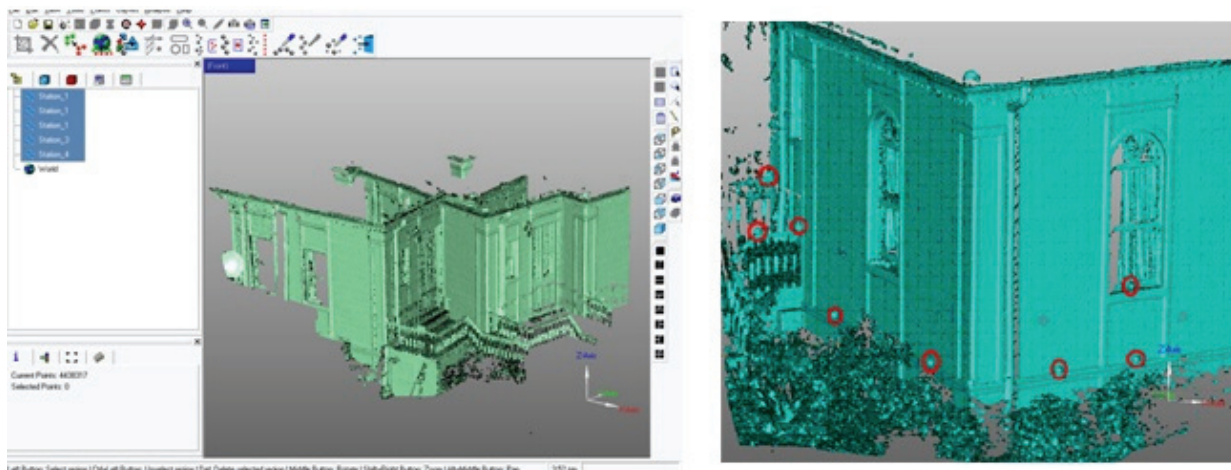


Fig. 5. Data obtained from the scanning process  
 Rys. 5. Dane uzyskane w procesie skanowania

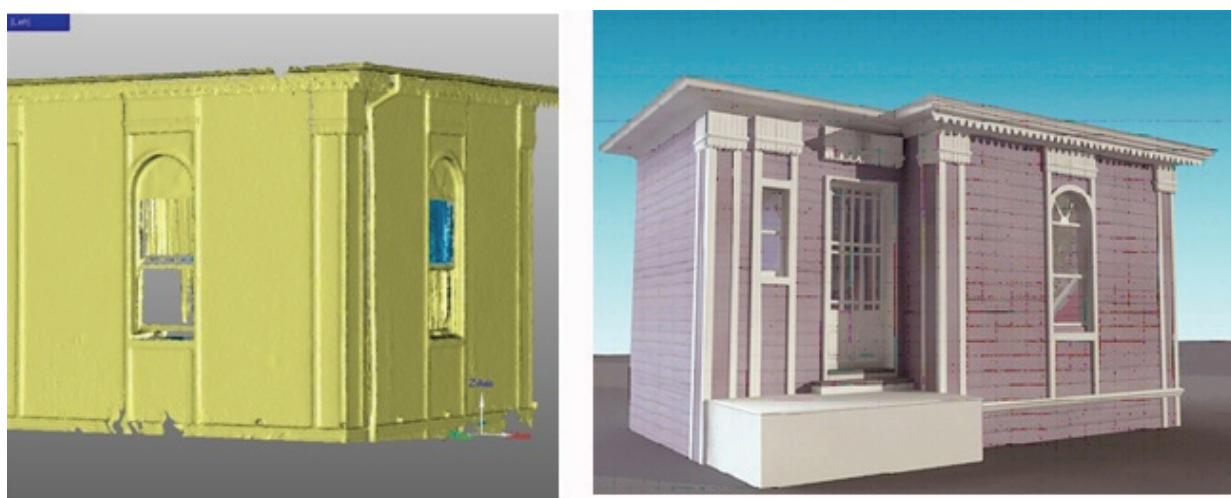


Fig. 6. Mesh generation model of the Pink Pavilion  
 Rys. 6. Model Różowego Pawilonu z wygenerowanej siatki

chosen by paying attention to the desired details and avoiding obstacles. Register process had made by using Mensi – Real Works software (figure 5) and the mesh generation was made by using trial version of Geomagic software (figure 6). Photogrammetric orientation and evaluation have made by Workstation software.

Through point clouds 3D model was generated by using 3D Studio Max software. All extent data of the building can be obtained from this model.

As a result of this study data obtained from geodetic measurements and photogrammetric method are compared. Consequently, geodetic point clouds in the stereo absolute orientation and point clouds in the registration process are different. Through the data of table 1 the formula (1) and (2) are calculated and differences of the accuracy between geodetic measurements and photogrammetric method are derived.

nowany skanerem laserowym Mensi GS100 z odległości 15,25 m przy gęstości punktów 1 cm poprzez wysłanie dwóch impulsów do każdego punktu kontrolnego. Punkty kontrolne na fasadzie zostały wyznaczone tak, aby uwzględnić istotne szczegóły i uniknąć przeszkód. W procesie rejestracji użyto oprogramowania Mensi – Real Works (rys. 5), a model siatkowy wygenerowano za pomocą ewaluacyjnej wersji oprogramowania Geomagic (rys. 6). Do orientacji i opracowania fotogrametrycznego wykorzystano oprogramowanie Workstation.

Z chmury punktów wygenerowano model 3D za pomocą oprogramowania 3D Studio Max. Z modelu tego można uzyskać wszystkie dane o wymiarach budynku.

Wynikiem badań było porównanie danych uzyskanych za pomocą pomiarów geodezyjnych z danymi uzyskanymi metodą fotogrametryczną. Jak należało przewidywać, otrzymane wyniki różniły się. Podstawiając dane z tabeli 1 do wzorów (1) i (2), wyliczyć można różnice w dokładności między pomiarami geodezyjnymi i metodą fotogrametryczną.



$$d_{xyz} = \sqrt{(x_{geo} - x_{pocl})^2 + (y_{geo} - y_{pocl})^2 + (z_{geo} - z_{pocl})^2} \quad (1)$$

$$d_{xyz} = \sqrt{(x_{stereo} - x_{pocl})^2 + (y_{stereo} - y_{pocl})^2 + (z_{stereo} - z_{pocl})^2} \quad (2)$$

Tab. 1. The difference between Geodetic coordinates and point clouds; and stereo model coordinates and point clouds  
*Różnice między geodezyjnymi współrzędnymi i chmurami punktów a współrzędnymi i chmurami punktów modelu stereo*

Geodetic Coord-Point Cloud Coord <i>Współrzędne geodezyjny-Współrzędne chmury punktów</i>			Stereo Model Coord-Point Cloud Coord <i>Współrzędne modelu stereo-Współrzędne chmury punktów</i>		
dX (mm)	dY (mm)	dZ (mm)	dX (mm)	dY (mm)	dZ (mm)
-13	14	-12	-6	11	-5
11	-19	-16	6	-14	-2
11	-24	-21	3	-9	-5
15	-23	-13	10	-9	-4
18	24	11	8	17	14
14	-19	-12	22	-10	4
20	19	12	14	10	9
-23	-18	20	-10	-12	11
22	16	-14	4	13	-5
22	23	17	5	12	14
-17	17	15	-6	13	10
10	7	25	14	14	10
-12	8	21	8	-8	8
-26	-13	6	-10	-21	1
-22	19	5	-32	8	-7
12	21	17	-2	8	4
25	24	-11	13	17	-3
19	13	-5	10	1	7
-8	-24	-7	-14	-6	-11
-17	-11	12	-9	3	5
-12	-22	-21	4	-4	-9
-21	-25	-14	-9	-11	-8
20	-23	12	14	-15	6
-9	-13	15	-2	1	8
-16	-10	5	-2	-12	16

According to the calculation of the formulas above, the max difference between geodetic coordinates and point clouds is 26 mm; and the max difference between stereo model coordinates and point clouds is 42 mm. So, the average difference between geodetic measurements and photogrammetric method is 34 mm.

The main reason of those different resulting values is choice of 1 cm point density. Mensi GS100 laser scanner is capable to work with 2 mm point density. The choice of min value point density has advantages and disadvantages. Min point density value give more precise measures, but processing and 3D modeling are not time efficient procedures.

Due to the fact that the Pink Pavilion building is timber structure and has flat façade 1 cm point

Z powyższych wyliczeń wynika, że maksymalna różnica między współrzędnymi geodezyjnymi a chmurami punktów wynosi 26 mm, a maksymalna różnica między współrzędnymi modelu stereo a chmurami punktów wynosi 42 mm. Oznacza to, że przeciętna różnica między pomiarami geodezyjnymi a metodą fotogrametryczną wynosi 34 mm.

Główną przyczyną różnic w uzyskanych wartościach jest wybór gęstości skanowania jako 1 cm. Skaner laserowy Mensi GS100 może pracować przy gęstości punktów 2 mm. Wybór minimalnej wartości gęstości punktów ma swoje zalety i wady. Minimalna wartość gęstości punktów daje bardziej precyzyjne pomiary, ale przetwarzanie i modelowanie trójwymiarowe są bardziej czasochłonne. Ponieważ Różowy Pawilon jest konstrukcją drewnianą i ma płaską fasadę, gęstość skanowania 1 cm była wła-

density was appropriate in this study. If architectural as built drawings are required, it is obvious that in comparison with manual measures both results are satisfying.

#### 4. Conclusion

Conservation of cultural heritage as well as historical heritage and forward it to the future generation is human imperative. Properly documentation is the main issue of the preservation.

Photogrammetric methods or techniques are successfully used to document historic buildings since many years. Many different recording techniques are available and widely used on this field. By the recent developments in the field of computer technology it is possible to create as built survey documentation in a very time efficient and accurate way. Especially, the emerging of laser scanning technology offers effective, accurate and fast capturing of as built information and subsequent efficient utilization of the captured data for engineering tasks and purposes. Laser scanning technology combines and integrates various data and different software modules which facilitate the digital reconstruction and making realistic models. This integration supports data handling and delivering of the results to the various applications in an effective way.

In this paper an attempt was made to explain the state of the art of documentation techniques and the importance of the accurate geometric survey in the field of preservation and conservation of cultural heritage. Photogrammetry as a tool for acquiring geometric data is being used for years. Nevertheless it is possible to say that there is necessity of much work and collaboration among researchers from different research disciplines involved in historical heritage. Progress, already performed studies and also requirement of the improvements on this field can be listed as follows:

- Lots of researches and studies have been carried out on the field of using photogrammetry in architecture, particularly for acquiring geometrical data, making 3D models and generating as built drawings. In the comparison between photogrammetric method and laser scanning method it is obvious that relatively those methods have advantages and disadvantages. More precise and accurate data could be obtained by integration of both methods.
- The use of accurate geometrical data for structural analysis objectives is the main application in case of preservation of historical structures. The main goal is to convert point cloud data to 2D or 3D model and into usable information for the structural analysis.

ściwa dla opisywanego przypadku. Jeśli wynikiem prac ma być architektoniczna dokumentacja stanu faktycznego, oczywiste jest, że w zestawieniu z pomiarami ręcznymi oba wyniki są satysfakcjonujące.

#### 4. Wnioski

Ochrona dziedzictwa kulturowego i historycznego jako przekazywanie tego dziedzictwa kolejnym pokoleniom jest powinnością człowieka. Właściwa dokumentacja to główna kwestia w procesie konserwacji.

Metody lub techniki fotogrametryczne są od lat używane z sukcesem do dokumentowania historycznych budynków. W tej dziedzinie istnieje wiele technik inwentaryzacyjnych i są one powszechnie używane. W ostatnich latach, dzięki rozwojowi technologii komputerowej, możliwe jest efektywne czasowo tworzenie szczegółowej dokumentacji stanu istniejącego. Szczególnie nowa technologia skanowania laserowego umożliwia skuteczne, dokładne i szybkie zebranie informacji o stanie faktycznym, a następnie efektywne zastosowanie zebranych danych w zadaniach inżynierskich. Technologia skanowania laserowego łączy i integruje różne dane i różne moduły oprogramowania, które ułatwiają cyfrową rekonstrukcję i tworzenie wiernych rzeczywistości modeli. Taka integracja efektywnie wspomaga przetwarzanie danych i ich udostępnianie dla różnorodnych zastosowań.

W prezentowanym artykule podjęto próbę opisu aktualnego stanu wiedzy na temat technik dokumentacji i znaczenia dokładnych pomiarów geodezyjnych dla konserwacji i ochrony dziedzictwa kulturowego. Fotogrametria jest narzędziem pozyskiwania danych geodezyjnych używanym już od wielu lat. Można jednak powiedzieć, że potrzeba dużo pracy i współpracy naukowców z różnych dyscyplin związanych z ochroną dziedzictwa kulturowego. Postęp, wykonane już badania oraz potrzeby udoskonalania tej metody można podsumować następująco:

- Wielu badaczy i wiele badań podejmowało kwestię wykorzystania fotogrametrii w architekturze, szczególnie do uzyskiwania danych geometrycznych, przygotowania modeli 3D i rysunków inwentaryzacyjnych. Porównanie metody fotogrametrycznej z metodą skanowania laserowego dowodzi, że obie mają swoje zalety i wady. Integracja obu tych metod może dostarczyć więcej bardziej precyzyjnych danych.
- Wykorzystanie dokładnych danych geometrycznych do analizy konstrukcyjnej to główne zastosowanie w dziedzinie konserwacji budowli historycznych. Głównym celem jest przekształcenie danych z chmury punktów w modele dwu- i trójwymiarowe oraz w informacje przydatne w analizach konstrukcyjnych.

- It is possible to create as built survey documentation in a very time efficient and accurate way by using laser scanning technology, although the post processing of laser scan data still requires a lot of manual work. It is beneficial due to enabling a full surface description instead of measuring only specific points as with total station survey. Façade drawings and sections can be easily extracted.
- The use of acquired data by laser scanning is not limited to one application (e.g. as built drawings), but it can be integrated and exported to different software modules for using in different tasks (AutoCAD, MicroStation etc.). Behind, it can be used also for 3D virtual modeling, heritage archiving, deformation and damage monitoring of the historical structures. Integration between different tools and soft wares still need improvements. Integration of the methodology within a decision tool platform by means of a common platform is the focus for future research.
- Although laser scanning is an evolving technology, data processing and conversion is still time consuming task. Automation is possible but requires specific user algorithms.
- The development of the software functionality allows managing and visualizing billions of data points in an interactive mode. The capability to handle large data sets offer to combine data from different sources and measurement techniques in a single data set and make the resulting point clouds more valuable for many applications.
- Accurate and reliable data to be used in the FEM analysis can be generated through the laser scanning data. However, this process needs to develop through joint work of architects, civil engineers and photogrammetry specialists interested in this field.
- HDS is the new way in reality capturing and will change the way of interacting with a geometrically correct and complete representation of reality.  
The development of computer technology, tools, workflows and methodologies in the field of accurate data acquisition and the way of capturing reality will continue. In the field of preservation of historical heritage, by means using of laser scanner data, interdisciplinary researches and studies are indispensable.
- Inwentaryzacja za pomocą technologii skanowania laserowego daje dokładne wyniki w krótszym czasie, pomimo iż późniejsze przetwarzanie danych ze skanowania jest nadal procesem czasochłonnym. Technologia ta jest pomocna, ponieważ pozwala na opis całej powierzchni, a nie tylko na pomiar poszczególnych punktów, jak w przypadku TotalStation. Można łatwo uzyskać widoki elewacji i przekroje.
- Wykorzystanie danych uzyskanych za pomocą skanera laserowego nie ogranicza się do jednego celu (np. dokumentacja stanu faktycznego), można je integrować i eksportować do różnych modułów oprogramowania i stosować do różnych zadań (AutoCAD, MicroStation itp.). Poza tym, można je wykorzystać do tworzenia wirtualnych modeli trójwymiarowych, archiwizacji dziedzictwa, monitoringu zniekształceń i uszkodzeń konstrukcji historycznych. Integracja różnych narzędzi i programów nadal wymaga wiele pracy. Integracja metodologii na poziomie narzędzi decyzyjnych na wspólnej platformie to centralny punkt przyszłych badań.
- Chociaż skanowanie laserowe to rozwijająca się technologia, przetwarzanie i konwersja danych to nadal czasochłonne zadanie. Możliwa jest automatyzacja, ale wymaga ona specyficznych i zindywidualizowanych algorytmów.
- Rozwijanie funkcjonalności oprogramowania pozwala na zarządzanie i interaktywną wizualizację miliardów punktów. Możliwość obsługi wielkich zbiorów danych umożliwia łączenie danych z różnych źródeł i technik pomiaru w jednym zbiorze danych, a uzyskane w ten sposób chmury punktów są przydatne w wielu zastosowaniach.
- Dokładne i wiarygodne dane do wykorzystania w analizach MES można uzyskać z danych skanowania laserowego, ale proces ten musi być rozwijany we współpracy architektów, inżynierów i specjalistów fotogrametrii pracujących w tej dziedzinie.
- HDS to nowa technologia dokumentowania stanu rzeczywistego, która odmieni sposób interakcji z geometrycznie poprawnym i wiernym odwzorowaniem rzeczywistości.  
Rozwój technologii komputerowej, narzędzi, algorytmów i metodologii w dziedzinie pozyskiwania dokładnych danych i dokumentowania stanu faktycznego bynajmniej się nie zakończył. W dziedzinie ochrony historycznego dziedzictwa z pomocą danych ze skanerów laserowych niezbędne są dalsze interdyscyplinarne studia i badania.

## References • Literatura

- [1] Boeykens S., Santana M., Neuckermans H., *Improving Architectural Design Analysis Using 3D Modeling and Visualisation Techniques*, In: Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Virtual Systems and Multimedia – VSMM, Cyprus 2008.
- [2] Schueremans L., Van Genechten B., *The Use of 3D Laser Scanning in Assessing the Safety of Masonry Vaults – A Case Study on the Church of Saint Jacobs*, Optics and Lasers in Engineering (Journal of Elsevier), 2009, 47, 329 – 335
- [3] L. Binda, A. Saisi, *Research on Historic Structures in Seismic Areas in Italy*, Journal of Wiley Inter science, 2005 (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/pse.194
- [4] Debevec P.E., *Modeling and Rendering Architecture from Photographs*, University of California – Berkeley, PhD Dissertation, 1996.
- [5] Baltsavias P.E., *A Comparison Between Photogrammetry and Laser Scanning*, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1999, 54, pp. 83-84.
- [6] Przybilla H.J., Peipe J., *3D Modeling of Heritage Objects by Fringe Projection and Laser Scanning Systems*, XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece, 2007.
- [7] Vatan M., Arun G., *Using Photogrammetric Data for Establishing 3D Finite Element Model of a Masonry Aqueduct*, In: Proceedings of the XX. CIPA International Symposium, Torino, Italy, 2005.
- [8] Erwin F., Kung J., Bukowski R., *High – Definition surveying (HDS): A New Era in Reality Capture*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004, Vol. XXXVI – 8/W2.
- [9] Encyclopedia of Istanbul (Dünden Bugüne İstanbul Ansiklopedisi), Volume 7, History Foundation of Turkey and Ministry of Culture and Tourism (Tarih Vakfı ve Kültür ve Turizm Bakanlığı), İstanbul 1994.
- [10] Selbesoglu M.O., Demet A., *Yersel Lazer Tarayıcılar ile Üç Boyutlu Modelleme ve Uygulaması*, Yıldız Technical University, Civil Engineering Faculty, Division of Photogrammetry, İstanbul (graduation thesis), 2008.

---

\* YTU Faculty of Architecture, Structural Systems Division  
YTU Wydział Architektury, Zakład Systemów Konstrukcyjnych

\*\* YTU Institute of Science and Technology  
YTU Instytut Nauki i Technologii

\*\*\* YTU Civil Engineering Faculty, Division of Photogrammetry  
YTU Wydział Inżynierii Cywilnej, Zakład Fotogrametrii

---

## Abstract

Accurate geometric data is the most important issue in the field of safety evaluation and preservation of historical structures. Photogrammetry is successfully used to document historic buildings since many years. By the recent developments in the field of computer technology it is possible to create as built survey documentation in a very time efficient and accurate way. Traditionally total stations are used to record data of the structures and other techniques are close – range photogrammetry and laser scanning which are faster and precise methods. The aim of this study is to point out the importance of realistic geometric modeling of historic structures for evaluating the safety condition and to discuss data acquisition methods using in preservation of historical structures and stress particularly on the laser scanning technology.

## Streszczenie

Dokładne dane geometryczne to najistotniejsza kwestia w dziedzinie oceny bezpieczeństwa i ochrony historycznych konstrukcji. Fotogrametrię od lat wykorzystuje się z sukcesem do dokumentowania historycznych budowli. Dzięki postępowi technologii komputerowej w ostatnich latach możliwe jest tworzenie dokumentacji stanu faktycznego bardzo dokładnie i w stosunkowo krótkim czasie. Tradycyjnie do zapisywania danych konstrukcji stosuje się total stations, zaś inne technologie to fotogrametria bliskiego zasięgu i skanowanie laserowe, które są metodami szybszymi i dokładniejszymi. Celem niniejszego badania było wskazać znaczenie realistycznego modelowania historycznych konstrukcji dla oceny stanu bezpieczeństwa oraz omówić metody uzyskiwania danych używane w dziedzinie konserwacji historycznych budowli ze szczególnym naciskiem na technologię skanerów laserowych.

Michał Kędzierski\*, Anna Fryškowska\*  
Rafał Dąbrowski\*, Michalina Wilińska\*

# Naziemne skanowanie laserowe obiektów sakralnych z zastosowaniem technologii HDS

## Terrestrial laser scanning of sacred buildings in HDS technology

### 1. Wstęp

W przeciągu ostatnich kilkunastu lat zauważalny jest bardzo dynamiczny rozwój technologii naziemnego skanowania laserowego (NSL). NSL jest technologią umożliwiającą dokonanie (w pełni automatycznie) precyzyjnego pomiaru obiektu przestrzennego poprzez skanowanie powierzchni budynku, rzeźby etc. W wyniku pomiaru otrzymuje się tzw. „chmurę punktów” (punkty o współrzędnych X, Y, Z oraz intensywność). Pozyskana zostaje w ten sposób informacja o geometrii obiektu, a także o intensywności powracającego sygnału. Na podstawie tak dużej liczby punktów możliwe jest wykonanie bardzo dokładnych modeli elewacji czy wnętrza kościołów, a także niezbędnych rysunków wektorowych czy przekroi, które często są wykorzystywane przez architektów i konserwatorów zabytków do odtworzenia stanu faktycznego obiektu sprzed renowacji lub wizualizacji geometrii obiektu.

W artykule przedstawione zostanie wykorzystanie w architekturze sakralnej technologii naziemnego skanowania laserowego na przykładzie opracowania zabytkowego kościoła drewnianego w Żukowie. Pomiar wykonany został skanerami: impulsowym ScesanStation2 oraz fazowym HDS6000.

### 2. Zastosowanie NSL do badania stanu obiektów zabytkowych

Dzięki NSL możliwy jest bezdotykowy pomiar, czy też badanie struktury lub geometrii obiektów przestrzennych. Wiąże się z to z możliwością wy-

### 1. Introduction

Recently, the use of terrestrial laser scanning (TLS) is more and more popular. TLS technology can be used to conduct (fully automatically) precise measurements of space objects by scanning the surface of buildings, sculptures, etc. As a result of the measurement you get so called “point cloud” (points with the X, Y, Z coordinates and the intensity value) This way you can get the information about the geometry of an object as well as about the intensity of the returning signal. On the basis of such a huge number of points it is possible to generate highly accurate models of the facades or interiors of churches as well as necessary vector drawings or cross sections which are often used by architects and art conservators to restore the original condition of buildings from before renovation or for visualization of the geometry of such objects.

In this paper we present the use of the terrestrial laser scanning technology in documenting sacred architecture heritage, based on example of the wooden church in Zukow. The survey was performed with two different types of scanners: pulsed scanner (ScanStation2) and phase-based scanner (HDS 6000).

### 2. The application of TLS in surveys of architectural heritage

With the use of TLS it is possible to remotely measure or study the structure and geometry of spatial objects. This results in a possibility of

konania pomiarów nie tylko w miejscach trudno-dostępnych (jak np. sklepienia kościelne), ale także pomiaru elementów o skomplikowanej budowie czy kształcie (ornamenty, filary, ołtarze itp.).

Ponadto, co jest szczególnie istotne z punktu widzenia architektów – dane te mogą być eksportowane do plików systemów typu CAD (formaty .dxf, .dgn itp.), gdzie na ich podstawie generowane są rysunki wektorowe czy też trójwymiarowe modele.

## **2.1. Pozyskiwanie danych**

W ramach prac badawczych wykonane zostało skanowanie zabytkowego drewnianego kościoła w Żukowie k. Warszawy za pomocą dwóch typów skanerów: impulsowego – Leica ScanStation2 oraz fazowego – HDS6000. Skaner Leica ScanStation2 jest skanerem impulsowym o zasięgu kilkuset metrów umożliwiającym wykonanie pomiarów z milimetrową precyzją. Jego wysoka produktywność jest zapewniona poprzez wysoką dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów w przestrzeni (6 mm), pomiaru odległości (4 mm), a przede wszystkim niespotykaną dotąd zdolność zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm. Jest to szczególnie przydatne przy precyzyjnych pomiarach niewielkich elementów architektonicznych lub przemysłowych. Przewagą systemu jest również możliwość wizualnego umiejscowienia pojedynczego, specyficznego punktu czy wybranego elementu obiektu na badanej powierzchni i wykonanie bardzo dokładnego pomiaru tego elementu. Skaner posiada również wbudowaną kamerę cyfrową o rozdzielczości 6,4 mln pikseli. Z kolei skaner HDS6000 jest skanerem fazowym o prędkości skanowania do 500 tys. pkt/s i zasięgu do 80 m. Jest ultraszybkim skanerem nowej generacji i pozwala na wyznaczenie współrzędnych punktu z dokładnością do 6 mm na odległości 25 m i odpowiednio 10 mm na odległości 50 m.

Oba systemy skanujące sterowane są z wykorzystaniem oprogramowania Cyclon.

### **2.1.1. Zasada pomiaru**

Obecnie wykorzystywanymi typami systemów skanujących są: impulsowy skaner laserowy i fazowy skaner laserowy. Pomiar laserowy polega na wyemitowaniu wiązki światła koherentnego, która odbija się od przeszkody (badany obiekt) i powraca do urządzenia. Wówczas pozyskiwana zostaje informacja o odległości (czasie przebiegu wiązki tam i z powrotem) oraz o kątach poziomym i pionowym do obiektu względem skanera. Następnie wyznaczone zostają współrzędne przestrzenne każdego punktu. Różnica pomiędzy skanerem impul-

making measurements not only in places with difficult access (such as church vaults) but also the measurements of elements with complicated structure or shape (ornaments, pillars, altars, etc.).

Furthermore, which is especially important from the point of view of the architects – the data can be exported to CAD system files (formats .dxf, .dgn, etc.), where 2D vector drawings or 3D models can be generated.

## **2.1. Data collection**

The survey included scanning of the historical wooden church in Żukow near Warsaw with the use of two types of scanner: pulsed scanner – Leica ScanStation2 and phase-based scanner – HDS6000. Leica ScanStation2 is a pulsed scanner with the range of a few hundred meters whose precision is sufficient to conduct measurements with few millimeters precision. Its high productivity is assured by the high precision of calculation of the coordinates of spatial points (6 mm), measurements of distance (4 mm) and first of all the high scanning density which can be even below 1 mm. This is especially useful in precise measurements of small architectural or industrial details. Another advantage of this system is the possibility of visual location of a single, specific point or a chosen detail of an object on test area and conducting a very precise measurement of such an object. The scanner also has a built-in digital camera with the resolution of 6.4 million pixels. On the other hand, HDS6000 is a phase-based scanner with the scanning speed of up to 500 thousand points/s and the range of up to 80 m. This is a new generation ultra-fast scanner which can locate the coordinates of a point with the precision of up to 6 mm at the distance of 25 m or respectively 10 mm at the distance of 50 m.

Both scanning systems are supported by Cyclon software.

### **2.1.1. Measurement method**

At present two types of scanning systems are used: pulsed laser scanner and phase-based laser scanner. Laser measurement consists in emitting a coherent light beam which reflects against any obstacle (object of study) and returns to the device. Then the information is collected about the distance (beam travel time) as well as horizontal and vertical angles from an object to the scanner. Next the spatial coordinates of each point are calculated. The difference between pulsed scanner and phase-based scanner is based on the method

sowym a fazowym sprowadza się do metody wyznaczenia odległości (pomiar czasu przebiegu impulsu lub pomiar fazy wiązki lasera).

### Pozyskiwanie danych

Proces pozyskiwania danych z naziemnego skaningu laserowego składa się z kilku etapów:

- zaplanowania stanowisk pomiarowych,
- skanowania,
- rejestracji danych (połączenia poszczególnych skanów i ujednoczenia układu współrzędnych),
- przetwarzania danych: wektoryzacja, modelowanie itp.

#### 2.1.2. Zaplanowanie stanowisk pomiarowych

Wcześniejsze rozplanowanie stanowisk pomiarowych jest szczególnie istotne szczególnie wtedy, gdy mówimy o pomiarze skanerem fazowym, charakteryzującym się niewielkim zasięgiem (zwłaszcza jeżeli kąt skanowania do obiektu jest duży).

Autorzy publikacji przeprowadzili już badania dotyczące wpływu kąta skanowania i odległości skanowania na ilość i jakość powracającego sygnału odbitego od różnego rodzaju struktur. Były to próbki materiałów takich jak: cegła, drewno, szkło witrażowe, beton, różnego typu skały, z jakich mogą być zbudowane zabytkowe kościoły. Z przeprowadzonych wcześniej badań dla skanera impulsowego wynika, iż dla materiałów typu drewno czy cegła liczba punktów odbitych spada wyraźnie już na odległości 200 m, a także przy kątach skanowania powyżej 45°.

W tabeli 1 przedstawione są wyniki dla przykładowych materiałów: cegły i drewna. Oprócz spadku liczby punktów zauważalne jest, iż przy odległości od obiektu rzędu 100 m i dla wartości kątów obrócenia próbek tylko do 45° wartość intensywności odbicia spada ponad dwukrotnie. Na odległościach powyżej 200 m, dla cegły liczba zarejestrowanych punktów spadła do zera, zatem nie można było zarejestrować intensywności odbicia, nawet dla niewielkich wartości kątów obrotu. Taka informacja o charakterze materiału jest szczególnie istotna przy wyborze i rozmieszczeniu stanowisk skanera.

Z kolei w przypadku skanera fazowego praktyczna odległość skanowania nie przekracza 50 m przy odpowiednim ustawieniu stanowisk (możliwe prostopadle do obiektu). Dla większych kątów padania wiązki (rzędu 30-40°), zwłaszcza dla powierzchni ciemnych (pokrycia dachowe), liczba zarejestrowanych punktów spada kilkakrotnie. W przypadku elementów drewnianych zasięg skanowania jest znacznie większy.

of calculating the distances (measurements of pulse travel time or the measurements of the laser beam phase).

### Data collection

The process of data collection from the terrestrial laser scanner includes a few stages:

- planning the measurement stations
- scanning
- data registration (referencing of individual scans and unification of the system of coordinates)
- data processing: vectorization, modeling, etc.

#### 2.1.2. Planning the measurement stations

Planning of the measurement stations is especially important in the case of measurement with the use of the phase-based scanner which has a small range (especially if the scanning angle is unfavorable).

The authors of the publication have already conducted research regarding the impact of the scanning angle and distance on the number and the quality of the returning signal reflected from different types of structure. The sample materials included brick, wood, stained-glass, concrete and different types of rock from which historical churches can be built. The tests conducted with the use of the pulsed scanner demonstrate, that when such materials as wood or brick were used, the number of reflected points drops significantly already at the distance of 200 m as well as with the scanning angles over 45°.

Table 1 presents the results for sample materials: brick and wood. Apart from the drop of the number of points, it is evident that with the distance from the object of about 100 m and for the values of the angles of rotation of the samples only up to 45°, the value of reflection intensity drops more than twice. For the distance of over 200 m, in the case of brick, the number of registered points dropped to zero, so it was impossible to register the reflection intensity even for low values of the angles of rotation. Such information about the nature of material is especially important when selecting and locating the scanner measurement stations.

On the other hand, in the case of the phase-based scanner the practical distance of scanning does not exceed 50 m with the correct distribution of stations (possibly perpendicular to the object). For scanning angles in a range about 30-40°, especially for dark surfaces (roofing claddings), the number of registered points drops several times. In the case of wooden elements, the range of scanning is much greater.

Tab. 1. Liczba punktów odbitych od próbki wraz z intensywnością odbicia od przykładowych powierzchni: cegła, drewno  
*Number of points reflected from the sample and reflection intensity. Examples: for the brick and wood*

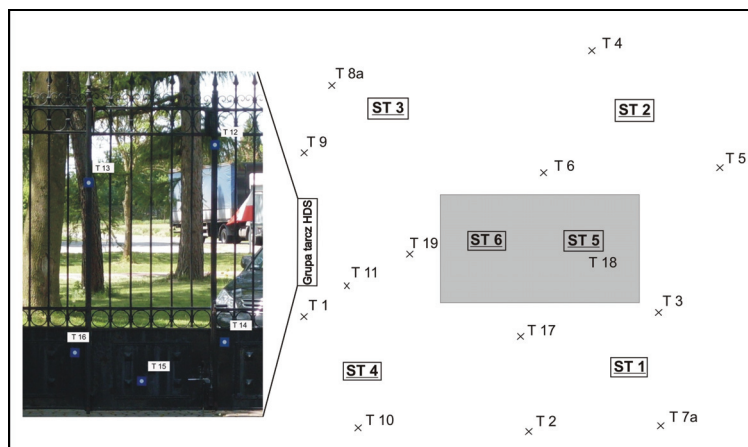
Odległość [m] <i>Distance [m]</i>	Kąt [°] <i>Angle [°]</i>	Cegła <i>Brick</i>		Drewno <i>Wood</i>	
		Liczba punktów odbitych <i>Number of reflected points</i>	Intensywność odbicia <i>Reflection intensity</i>	Liczba punktów odbitych <i>Number of reflected points</i>	Intensywność odbicia <i>Reflection intensity</i>
<b>17</b>	0	37213	0,4049	35153	0,5598
	22,5	30440	0,3981	34637	0,5558
	45	22385	0,3838	24245	0,5054
	67,5	9600	0,3587	11104	0,4065
<b>50</b>	0	35320	0,2816	39500	0,3685
	22,5	31279	0,2780	33040	0,3689
	45	19271	0,2723	22782	0,3411
	67,5	12283	0,2605	11971	0,2895
<b>100</b>	0	28394	0,1993	32239	0,2608
	22,5	29218	0,1957	32547	0,2609
	45	22623	0,1884	24832	0,2473
	67,5	10629	0,1693	12139	0,2059
<b>200</b>	0	241	0,1197	25817	0,1691
	22,5	0	0	27672	0,1702
	45	0	0	15164	0,1369
	67,5	0	0	0	0
<b>290</b>	0	0	0	1283	0,1195
	22,5	0	0	791	0,1125
	45	0	0	0	0
	67,5	0	0	0	0

Powyższe wyniki zostały uwzględnione podczas planowania rozmieszczenia stanowisk pomiarowych (rys. 1). Stanowiska zostały rozmieszczone tak, aby możliwe było zeskanowanie wszystkich elementów kościoła (zarówno wnętrza, jak i elewacji).

Zewnętrzna elewacja budynku pomierzona została z czterech stanowisk, wewnętrzna zaś na podstawie 2 stanowisk. Do połączenia obu części wykorzystano grupę tarcz celowniczych HDS. Tarcze ustawione zostały przed wejściem do kościoła, a także na bramie przed kościołem. Dodatkowo, z uwagi na konstrukcję kościoła, możliwy był pomiar tarczy HDS (punktu wiążącego) również przez drzwi boczne (tarcza T17, rys. 1).

The results presented above were taken into account when planning the location of the measurement stations (fig. 1). The stations were located in such a way as to enable the scanning of all details of the church (both inside and outside).

The facades of the building were measured from four stations, whereas the interior from two stations. In order to connect both parts, a group of HDS targets was used. The targets were placed in front of the church entrance, as well as on the gate in front of the church. Additionally, due to the construction of the church, it was possible to measure the HDS target (tie point) also through side doors (target T17, fig. 1).



Rys. 1. Szkic rozmieszczenia stanowisk i tarcz celowniczych HDS dla pomiaru skanerem impulsowym. Oznaczenia: ST – stanowiska pomiarowe, T – tarcze celownicze HDS; kolorem szarym zaznaczono obiekt-kościół; na zdjęciu: widok rozmieszczenia grupy tarcz celowniczych na bramie wjazdowej

Fig. 1. Sketch of the pulsed laser scanner stations (ST) and HDS targets (T). Gray color represents the church and the photo on the left – the group of the HDS targets, located on the entrance gate



### 2.1.3. Skanowanie obiektu

Zewnętrzna część budynku zeskanowana została z rozdzielczością 5 mm (na zadanej odległości ok. 30 m). W wyniku pomiaru pozyskanych zostało ok. 10 mln punktów przedstawiających elewację budynku. Skany wykonane na poszczególnych stanowiskach zapisywane zostały w bazie danych w tzw. środowiskach skanowania (ang. *ScanWorlds*). Z każdego stanowiska widocznych było co najmniej 5 wspólnych sygnałów.

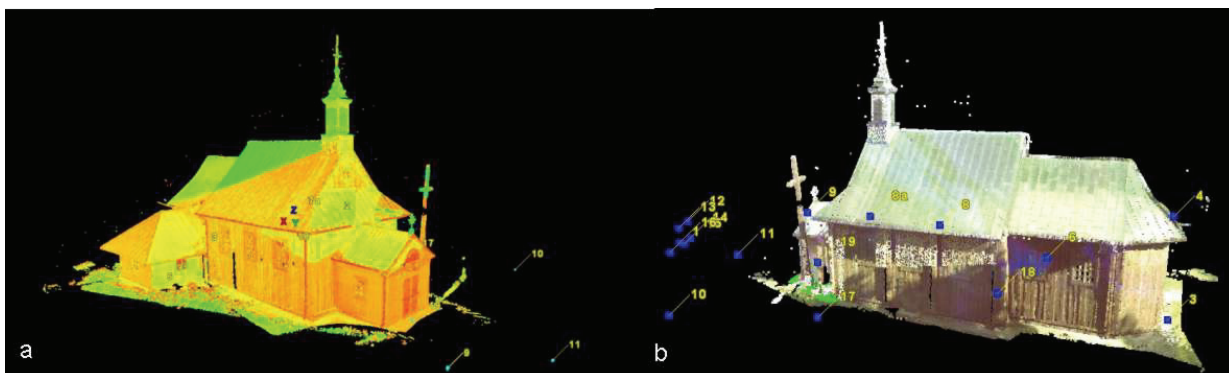
Podczas pozyskiwania informacji o położeniu punktów w przestrzeni pozyskuje się również bardzo ważną daną – mianowicie wartość intensywności powracającego sygnału. Na jej podstawie możemy stwierdzić jak silny był powracający do detektora sygnał. Rys. 2a przedstawia skan budynku w domyślnych barwach skanera. Czerwona barwa oznacza sygnał o małym albedo, z kolei niebieska o bardzo wysokim albedo. Na rys. 2b widoczne są te same chmury punktów, ale z teksturą pozyskaną na podstawie wbudowanej w skaner impulsowy kamery cyfrowej. Taka prezentacja danych bardzo często ułatwia interpretację, czy też odnalezienie konkretnych szczegółów na obiekcie.

### 2.1.3. Scanning of the church

The external part of the building was scanned with the 5 mm resolution (at distance of about 30 m). As a result of the measurement about 10 million points representing the facade of the building were acquired. The scans made from individual stations were recorded in the database in so called *ScanWorlds*. At least five common HDS targets were visible from each station.

During cloud point acquisition, some other very important information is obtained too – namely the value of intensity of the returning signal. It can be used to determine the strength of the signal returning to the detector. Fig. 2a shows the scan of the building in colors representing reflection intensity. Red color represents the signal with low albedo, whereas blue color represents very high albedo. In fig. 2b you can see the same point clouds but with the texture collected by the pulsed scanner built-in digital camera. Such a presentation of data very often facilitates the interpretation or finding specific details.

For comparison, the measurements of the same object were made with the use of the phase-based scanner HDS 6000.



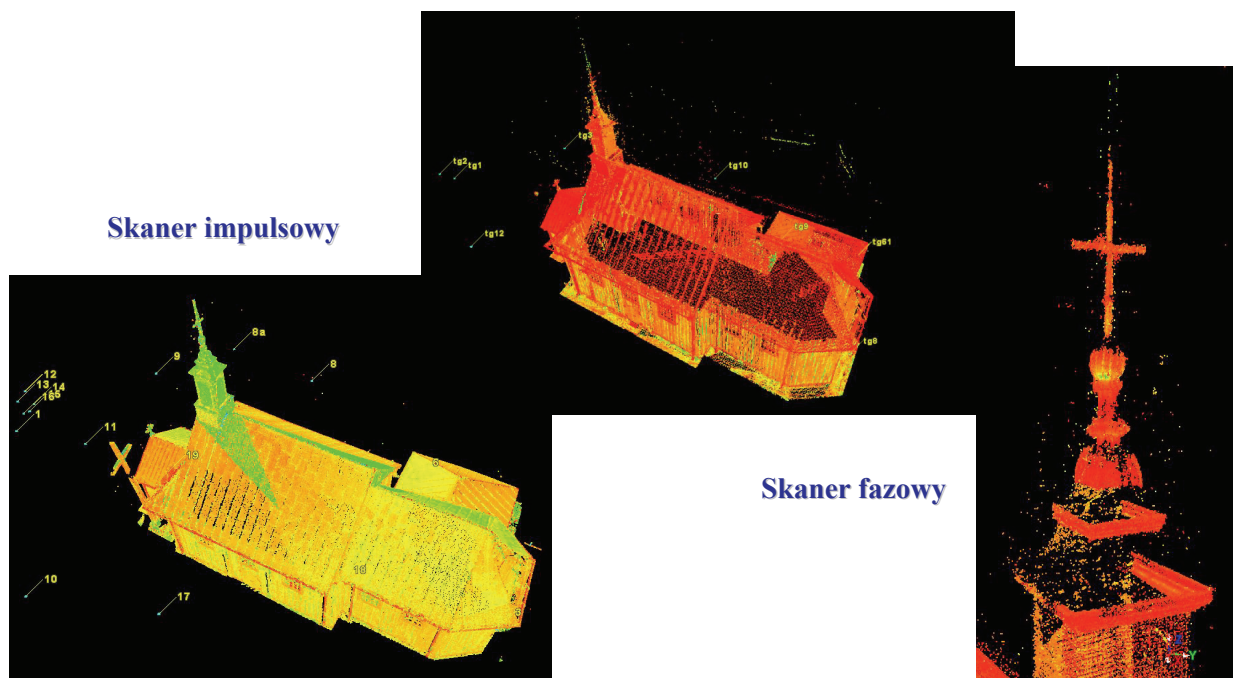
Rys. 2. Połączone skany kościoła w Żukowie: a) widok w barwach intensywności odbicia (barwy ze skanera), b) skany z nałożoną teksturą pozyskaną ze zdjęć cyfrowych

Fig. 2. Registered scans of the church in Zukow: a) intensity colors (colors from scanner) b) textured scans

Dla porównania przeprowadzono pomiary tego samego obiektu z wykorzystaniem skanera fazowego HDS 6000.

Pomimo faktu, że deklarowana rozdzielczość skanowania wynosiła 4 mm na odległości 30 m, a teoretyczny zasięg skanera to 80 m, widoczne są braki w danych. Szczególnie zauważalne jest to na dachu budynku oraz wieży, gdzie istotnym czynnikiem wpływającym na zakres skanowania był kolor pokrycia dachowego, odległość oraz kąt do stanowiska. W przypadku pomiarów elewacji obiektów sakralnych zdecydowanie korzystniejszy jest pomiar skanem impulsowym.

Despite the fact that the rated resolution of scanning was 4 mm at the distance of 30 m and the theoretical range of the scanner is 80 m, some data are missing. This is especially evident on the roof of the building and the tower, where the significant factors affecting the scan was the roof color, the distance and the station angle. In the case of the measurements of the facades of sacred buildings the pulsed scanner is definitely more useful.



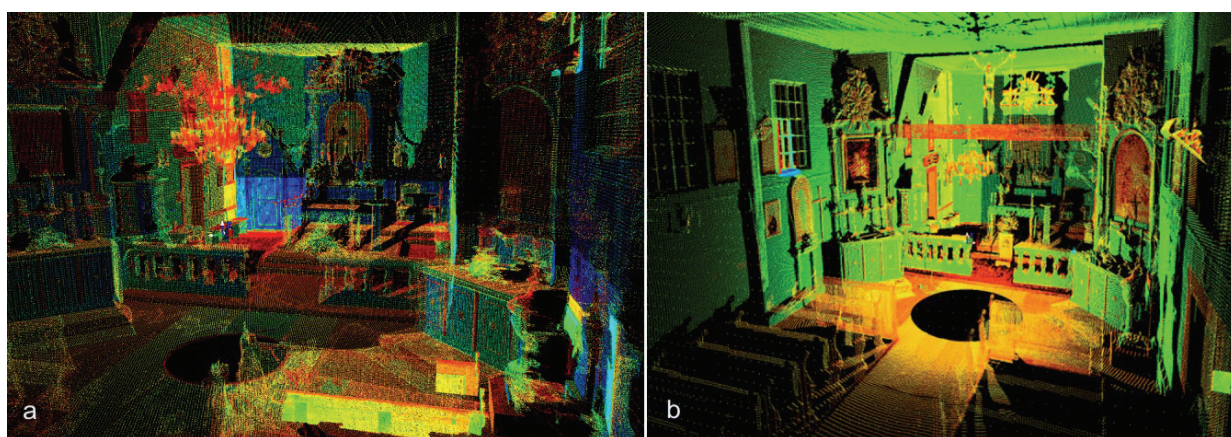
Rys. 3. Porównanie wyników pomiarów skanerami impulsowym i fazowym  
 Fig. 3. Comparison of the measurements conducted by pulsed and phase-base scanner

#### 2.1.4. Skanowanie wnętrza

Celem skanowania wnętrza kościoła było wykonanie dokumentacji szczegółów takich jak ornamenty, rzeźby, sklepienie, newralgiczne elementy konstrukcji itp. Skanowanie wnętrza wykonano z rozdzielczością 7 mm, a dla wybranych elementów gęstość ścieżki skanowania została zwiększona do 3 mm. Dzięki takiej liczbie punktów można wykonać dokładne trójwymiarowe modele i ortofotografie ścian, sufitu, okien oraz rzeźb. Rys. 4a i b przedstawia skany wnętrza kościoła wykonane odpowiednio skanerem fazowym i impulsowym.

#### 2.1.4. Interior scanning

The objective of the scanning of the church interior was to create documentation of such details as ornaments, sculptures, vaults, critical elements of the construction, etc. The interior was scanned with the 7 mm resolution, and for selected elements the scanning path density was increased to 3 mm. With that number of points it is possible to generate detailed 3D models and orthophotos of the walls, ceiling, windows and sculptures. Fig. 4a and b show the scans of the interior of the church made with the phase-based and pulsed scanners respectively.



Rys. 4. Skany wnętrza kościoła wykonane: a) skanerem fazowym, b) skanerem impulsowym  
 Fig. 4. The scans of the church interior: a) pulsed scanner, b) phase-based scanner

Już na etapie pozyskiwania danych zauważalna staje się jedna z podstawowych różnic pomiędzy skanerami impulsowymi i fazowymi – tj. zasięg i rozdzielczość skanowania. Skaner impulsowy po-

Already at the stage of data acquisition, one of the basic differences between the pulsed scanner and phase-based scanner becomes evident – the scanning range and resolution. The pulsed scanner

siada znacznie większe możliwości pomiaru obiektów wysokich (użyteczny zasięg do 200 m), a ponadto zdolność zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm. Z kolei skanery fazowe w zastosowaniach „wewnętrznych” są zdecydowanie bezkonkurencyjne w porównaniu ze skanerami impulsowymi. Dla porównania: skanowanie wnętrza kościoła w pełnym zasięgu (czyli 360 stopni na 270 stopni) skanera impulsowego trwało ok. 120 minut, natomiast fazowego 23 minuty, przy dużo wyższej rozdzielczości. Skaner fazowy umożliwia pomiar dużo większej liczby punktów w tym samym czasie.

### 2.1.5. Rejestracja danych

Pierwszym, wstępnym opracowaniem danych pomiarowych jest łączenie i wzajemne orientowanie skanów pozyskanych z pomiarów wykonanych na poszczególnych stanowiskach, czyli tzw. rejestracja. I tak, dla części zewnętrznej i wewnętrznej, rejestracja metodą „na tarczy”, gdzie punktami wiążącymi są właśnie tarcze HDS (zarówno dla skanera impulsowego, jak i fazowego) przeprowadzona została z błędem średnim nie przekraczającym wartości 3 mm. Warto zauważyć, że błędy na poszczególnych tarczach osiągają wartości na poziomie dokładności pomiaru skanera, rzędu 2-3 mm.

### 2.1.6. Przetwarzanie danych – wektoryzacja i modelowanie 3D

Z punktu widzenia opracowań architektonicznych coraz bardziej popularne stają się trójwymiarowe modele obiektów oraz rysunki wektorowe, najczęściej generowane w systemach typu CAD.

Dane pozyskane ze skanowania laserowego przedstawiają powierzchnię jako „nieuporządkowaną” chmurę punktów. Nie przedstawia ona jednak obiektu jako struktury o konkretnej geometrii. Do wizualizacji struktury wykorzystuje się rysunki wektorowe oraz modele przestrzenne.

Rysunek wektorowy może być utworzony manualnie, półautomatycznie lub automatycznie. Pierwsze dwie metody polegają na rysowaniu przez operatora „szkieletu” konstrukcji bądź poszczególnych elementów architektonicznych, poprzez zdefiniowanie przez operatora przebiegu linii, krawędzi oraz węzłów łączących poszczególne elementy z zachowaniem topologii obiektu. Jest to typowe podejście wykorzystywane w systemach CAD. Automatyczne generowanie „wektora” za pomocą zbudowanego wcześniej modelu 3D daje zdecydowanie pełniejszą informację na temat powierzchni „wypełniających” szkielet kon-

is much more useful in measuring tall buildings (usable range of up to 200 m) and furthermore its scanning path density can be set below 1 mm. On the other hand, the phase-based scanner, when used inside, is much better than the pulsed scanner. For comparison: the full range of scanning of the church interior (that is 360 by 270 degrees) with the pulsed scanner took about 120 min, whereas with the phase-based scanner – 23 minutes, with much higher resolution. The phase-based scanner measures many more points within the same time.

### 2.1.5. Data registration

The first, preliminary stage of data processing includes merging and mutual orientation of the scans acquired from separate stations – that is data registration. And so, for the external and internal parts the registration with the use of targets, where the tie points were HDS targets (for both the pulsed scanner and for the phase-based), resulted with the mean error below 3 mm. It is worth noting, that the errors on individual targets reach the values at the level of the scanner measurement accuracy of about 2-3 mm.

### 2.1.6. Data processing – vectorization and 3D modeling

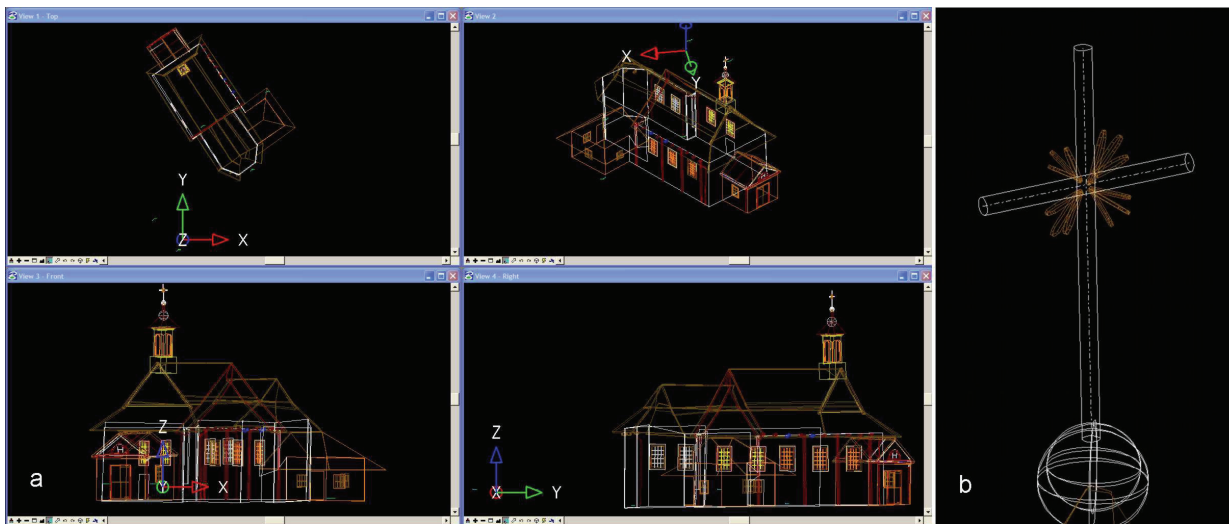
From the point of view of architectural studies, 3D models of objects as well as 2D vector drawings, most often generated in CAD systems, are more and more popular.

The data obtained from laser scanning present the surface as a “disorganized” point cloud. However, they do not present an object as a structure with specific geometry. The 2D vector drawings and 3D models are used to visualize the structure.

2D vector drawing can be generated manually, semi-automatically or automatically. In the first two methods the operator draws a “frame” of the construction or individual architectural details by defining the lines, edges and points connecting individual elements, maintaining at the same time the topology of the object. This approach is typically used with CAD systems. Automatic generation of 2D vector drawings directly from built earlier 3D model, provides much more complete information about the surfaces “filling” in the frame of the construction [3]. Fig. 5a and b show four views of the structure of the church in Zukow generated with the use of this method.

strukcji [3]. Rys. 5a i b przedstawia w czterech rzutach konstrukcję budynku kościoła w Żukowie wygenerowaną tą właśnie metodą.

The most common methods of generating 3D models include:



Rys. 5. a) widok budynku w czterech rzutach: z góry, z przodu, izometrycznie oraz z boku, b) widok krzyża na wieży kościoła  
Fig. 5. a) Four views of the building: top, front, isometric and right side b) view of the cross at the church tower top

Najczęściej stosowanymi metodami generowania modeli 3D są:

- triangulacja (tzw. ang. *meshing*) wykorzystująca siatkę trójkątów o dokładności i wielkości zależnej od liczby punktów oraz złożoności obiektu, jednak ta metoda jest problematyczna w przypadku modelowania kształtów i powierzchni nieregularnych;
- modelowanie za pomocą brył geometrycznych (tzw. ang. *Constructive Solid Geometry*), wykorzystujące znane figury takie jak: stożki, prostopadłościany, walce, kule itp. Metoda ta cechuje się wysokim stopniem generalizacji oraz wymaga późniejszej weryfikacji ze strony operatora.

Rysunek 6a i b przedstawia model wygenerowany za pomocą brył geometrycznych, w części b

rysunku widoczne są detale krzyża znajdującego się na wieży kościoła. Zamodelowane fragmenty wymagały wpasowania chmury punktów w zdefiniowane w programie płaszczyzny czy figury geometryczne. Najbardziej problematyczne są elementy o nieregularnym kształcie lub o złożonej strukturze takich jak: wieża kościoła, okna, elementy ozdobne rzeźby, figury itp.

- *Meshing* with the use of a network of triangles with the accuracy and size depending on the number of points and complexity of an object. This method, however, is problematic in the case of modeling shapes and irregular surfaces;
- *Constructive Solid Geometry* which uses simple solids such as: cones, cuboids, cylinders, spheres, etc. This method provides a high level of generalization and requires subsequent verification of the operator.

Fig. 6a and b show the model generated with the use of geometric solids. On the right (fig. 6b) you can see details of the cross on the church tower. The modeled fragments required fitting the planes or solids defined by the program into point clouds.

The most problematic are the details with irregular shape or complex structure such as: church tower, windows, details of decorations, sculptures, figures, etc.

The 3D model of the church



Rys. 6. a) trójwymiarowy model kościoła w Żukowie, b) model krzyża na wieży kościoła  
Fig. 6. a) 3D model of the church in Żuków b) model of the church tower

was made on the basis of the point cloud (17 million points) with the use of *Cyclon 5.8* and *Microstation CloudWorx* software.

Trójwymiarowy model kościoła wykonany został na podstawie chmury punktów (17 mln punktów) z wykorzystaniem oprogramowania *Cyclon 5.8* oraz *Microstation CloudWorx*.

### 3. Podsumowanie

W artykule Autorzy poruszyli najważniejsze aspekty pozyskiwania oraz przetwarzania danych z naziemnego skanowania laserowego w celu uzyskania informacji o geometrii obiektu na przykładzie drewnianego kościoła w Żukowie. Celem publikacji było również porównanie dwóch różnych typów skanerów: fazowego i impulsowego oraz ich wykorzystania w tworzeniu dokumentacji architektonicznej.

### 3. Summary

The authors of the paper presented the most important aspects of acquisition and data processing from the terrestrial laser scanner in order to achieve information about the geometry of an object based on example of the wooden church in Zukow. The objective of the paper was also to compare two different types of scanners: the phase-based scanner and the pulsed scanner as well as their practical use in developing architecture documentation.

### Literatura • References

- [1] Chengl X.J., Jin W., *Study on Reverse Engineering of Historical Architecture Based on 3D Laser Scanner*, Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, China.
- [2] Monti C., Fregonese L., Achille C., *Laser scanner application on complex shapes of architecture. Profiles extraction processing and 3d modeling*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10.
- [3] Pfeifer N., Dorninger P., Nothegger C., *Surveying Structures and Buildings with Laser Scanning – Future Areas of Application*, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, TUV.
- [4] Ullrich A., Studnicka N. et al., *3D-Laser-Sensors and their Applications in archaeology and Modeling of Historic Buildings*, Workshop7 – Archäologie und Computer, Vienna 2002.
- [5] Kędzierski M., Sanecki J., Walczykowski P., Fryśkowska A., *Laser scanning of cultural heritage objects*, Polish Journal of Environmental Studies, vol.17, 1C, 2008.

---

\* Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska  
Military University of Technology, Warsaw, Poland

---

## Streszczenie

W przeciągu ostatnich lat zauważalny jest dynamiczny rozwój badań architektonicznych z wykorzystaniem naziemnego skanowania laserowego (TLS.) Uzyskane dane mogą być wykorzystywane do tworzenia trójwymiarowych modeli oraz rysunków wektorowych, szczególnie przy tworzeniu dokumentacji architektonicznej. Jest to bardzo ważne w przypadku rzeźb czy też konstrukcji sakralnych, kiedy potrzebna jest taka dokumentacja do rekonstrukcji lub odbudowy zniszczonych elementów. W artykule przedstawione jest wykorzystanie technologii naziemnego skanowania laserowego na przykładzie kościoła drewnianego w Żukowie. Artykuł prezentuje także próbę porównania dwóch rodzajów skanera: impulsowego (ScsanStation2) oraz fazowego (HDS6000).

## Abstract

Recently, the use of terrestrial laser scanning has become more and more popular. Data acquired with the use of the terrestrial laser scanner can be used to generate 3D models and 2D vector drawings and especially, to create architecture documentation. It is very important in the case of sacred sculptures or buildings, when reconstruction of damaged elements or construction is needed. In this paper we present laser scanning of the wooden church in Zukow. We also make an attempt to compare two different types of scanners: the pulsed (ScanStation2) and the phase-based scanner (HDS 6000).

Leszek Koźmiński\*, Marzena Brzozowska\*  
Jacek Kościuk\*\*, Waldemar Kubisz\*\*\*

## Wykorzystanie możliwości nowoczesnego skanowania 3D w oględzinach miejsca zdarzenia i ich dokumentowania

### Possibilities of using modern 3D scanning in the crime scene investigation and its documentation

#### 1. Wstęp

Oględziny w całym zespole czynności procesowych i pozaprocessowych, składających się na śledcze badanie miejsca zdarzenia, zwykle zajmują centralną pozycję i rolę. Łącząc główne zagadnienia taktyki i techniki kryminalistycznej, oględziny pozwalają na wyjaśnienie okoliczności zdarzenia (rekonstrukcja), pozwalają ustalić sprawcę/sprawców zdarzenia oraz umożliwiają zebranie rzeczowego materiału dowodowego w postaci ujawnionych i zabezpieczonych śladów kryminalistycznych, które w dalszych czynnościach wykrywczych pozwalają na udowodnienie stopnia uczestnictwa w przestępstwie sprawcy/sprawców [1].

Oględziny więc w postępowaniu przygotowawczym w wielu przypadkach odgrywają rolę decydującą w ujawnianiu i zabezpieczaniu dowodów, „stanowią fundament dla całej sprawy. Czas ich przeprowadzenia, fachowość, z jaką zostaną wykonane, zakres przeprowadzonych czynności mają zdecydowane znaczenie dla losów postępowania przygotowawczego (dochodzenia-śledztwa)” [2].

Zgodnie z obowiązującym prawem do prowadzenia oględzin uprawnione są wyłącznie osoby reprezentujące wskazane bezpośrednio służby i instytucje: Policję, żandarmerię, prokuraturę lub sądy. Jakość tej procesowej czynności kryminalistycznej bezpośrednio uzależniona jest od wiedzy i umiejętności biorących w niej udział osób. Poza prowadzącym oględziny policjantem czy prokuratorem do pomocy może zostać powołany biegły lub specjalista (technik kryminalistyki), którzy bez ograniczeń

#### 1. Introduction

Inspection plays a crucial role and occupies a central position in the whole complex of trial proceedings and extra-trial actions which constitute investigation of a crime scene. Combining main issues of criminological tactics and techniques, investigation enables to explain circumstances of an event (reconstruction), to ascertain a perpetrator/perpetrators of a crime and to collect material evidence in the form of revealed and secured criminological traces which in further detection may prove a degree of participation in a crime of a perpetrator/perpetrators [1].

Therefore during preliminary activities, inspection has a decisive role in revealing and securing evidence, “it lays foundations of a whole case. Time, professionalism, range of activities are of great importance for preliminary activities (inquiry – investigation)” [2].

According to the law, only persons representing particular services and institutions: the police, military police, prosecutor, court of justice, are entitled to carry out inspection. The quality of these legal proceedings is directly related to the knowledge and skills of persons taking part in these activities. Apart from a policeman or a prosecutor who conduct the inspection, an expert or a specialist (forensic technician) may be appointed to help; they can make use of all available means and facilities in order to reveal and secure crime traces as well as to state their dimensions or document the whole activity.

mogą wykorzystywać dostępne środki i urządzenia służące zarówno do ujawniania i zabezpieczania śladów kryminalistycznych, jak i ich wymiarowania czy dokumentowania całej czynności.

XXI wiek w zakresie wspomnianych czynności technicznych swoimi osiągnięciami naukowymi i technologicznymi poszerzył spectrum nowoczesnych środków i narzędzi techniki kryminalistycznej. Walizka kryminalistyczna przestała kojarzyć się wyłącznie ze szkiełkiem lupy i piórem pędzla daktyloskopijnego. W dobie badań DNA, analizy śladów powystrzałowych GSR, nowych metod ujawniania śladów linii papilarnych nie dziwią poszukiwania rozwiązań ultranowoczesnych, mogących zaistnieć we współczesnej kryminalistyce.

Teraźniejszym krokiem w przyszłość nowoczesnych technik kryminalistycznych wydaje się być możliwość wykorzystania w czynnościach oględzinowych technologii naziemnego skanowania 3D. Skanowanie laserowe 3D stosowane jest obecnie na całym świecie głównie w takich dziedzinach jak: budownictwo i architektura, inżynieria przemysłowa, geodezja, ochrona zabytków i archeologia. Z coraz większym powodzeniem od początku obecnego dziesięciolecia technologia ta zaczęła być wykorzystywana w kryminalistyce. Najsilniej wykorzystanie skanerów 3D widoczne jest w amerykańskich służbach policyjnych.

W „multidyscyplinarnych zespołach śledztw wypadowych” (Multidisciplinary Accident Investigation Team) pracujących w siłach California Highway Patrol, zajmujących się przede wszystkim kryminalistycznym badaniem miejsc zdarzeń drogowych, jak i ich rekonstrukcją oraz ustalaniem przyczyn. Ponadto zespoły MAIT wspomagają czynności na miejscach innych zdarzeń kryminalnych, a zwłaszcza tych z użyciem broni palnej, zarówno przez przestępców, jak i policjantów. W stanie Nowy Meksyk (USA Albuquerque Police) skaner 3D wykorzystywany jest w mobilnym zespole laboratorium kryminalistycznego (Mobile Crime Lab) na miejscu najpoważniejszych zdarzeń kryminalnych, najczęściej z użyciem broni. Także w Europie technologia skanowania 3D zaczyna być wykorzystywana przez policyjne służby śledcze głównie w śledztwach powybuchowych związanych z działaniami zorganizowanych grup przestępczych lub terrorystycznych.

Szkoła Policji w Pile wespół z Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D przy Instytucie Historii Architektury Sztuki i Techniki oraz firmą Leica Geosystems podjęła próbę rozpoznania możliwości wykorzystania systemów skanowania 3D w ramach czynności oględzinowych na miejscu zdarzenia i ich dokumentowania.

The 21st century has broadened the range of modern means and devices of criminological technique in the domain of above mentioned activities. A criminological suitcase has ceased to be associated with a magnifying glass and a dactylographic brush. In the times of DNA studies, GSR analysis of after-shot traces, new methods of revealing fingerprints, it is not surprising that ultra modern solutions are searched for, such that can function in present day forensic science.

A possibility of using 3D scanning technology during inspection seems to constitute a present step into the future of modern criminological techniques. 3D laser scanning is now used in the whole world in such domains as: building and architecture, industrial engineering, geodesy, conservation of monuments and archaeology. It has been successfully used in forensic science since the beginning of this decade. The greatest usage of 3D scanners may be observed by the American Police.

Multidisciplinary Accident Investigation Team, working within the California Highway Patrol, is concerned mainly with crime detection of traffic accidents, their reconstruction and causes. Moreover, MAIT helps in other crime scenes, especially those in which fire-arms are used both by perpetrators or policemen. In the State of New Mexico (US Albuquerque Police), a 3D scanner is used by the Mobile Crime Lab at the sites of most serious crimes, usually accompanied by fire-arms usage. 3D scanning technology has recently started to be employed also in Europe by police detectives mostly in investigations carried out after explosions originated by organised criminals or terrorists.

Police School from Piła together with Laboratory of 3D Scanning and Modelling at the Institute History of Architecture, Arts and Technology and the Firm of Leica Geosystems have undertaken an attempt to examine the possibilities of using 3D scanning systems on inspection of a crime scene and their documentation.

Lecturers from the Criminology Department of Police School, Piła, together with representatives of the Laboratory and the Firm carried out inspection of simulated crimes at two crime scenes: in an open area – a traffic accident, and in a house – a murder. In both cases before a proper investigation was carried out, according to the law (kpk) and regulations concerning these proceedings, the sites were scanned with the use of HDS Leica ScanStation 2 scanner and accompanied – for reasons of demonstrative documentation – by a digital camera – Fuji Fine Pix S5 Pro.

One of the simulated crime scenes (murder) was left in an unchanged conditions and it was inspect-

Wykładowcy Zakładu Kryminalistyki Szkoły Policji w Pile wraz z przedstawicielem ww. Laboratorium i firmy Leica Geosystems przeprowadzili czynności oględzinowe na dwóch miejscach symulowanych zdarzeń kryminalnych: w terenie otwartym wypadku komunikacyjnego oraz w pomieszczeniach mieszkalnych miejsca zabójstwa. W obu przypadkach przed wykonaniem właściwych oględzin, zgodnie z przepisami prawa (kpk) oraz zasadami przeprowadzania takich czynności, miejsca zdarzenia poddane zostały skanowaniu z użyciem skanera HDS LeicaScanstation 2, wspomaganego – dla celów dokumentacji poglądowej – cyfrowym aparatem lustrzanym – Fuji FinePix S5 Pro.

Jednocześnie jedno z symulowanych miejsc zdarzeń (zabójstwa), pozostawione w niezmiennych warunkach, dwukrotnie poddano oględzinom metodą klasyczną z użyciem zespołów ludzkich, wchodzących w skład grupy operacyjno-procesowej. W wyniku tych czynności policjanci sporządzili komplety dokumentacji w postaci protokołu oględzin, szkicu roboczego i właściwego, metryczek śladowych oraz notatki pooględzinowej.

Powyższe miało na celu porównanie wyników skanowania 3D oraz czynności oględzinowych zespołów ludzkich w zakresie sporządzanej dokumentacji techniczno-poglądowej.

## **2. Skanowanie 3D miejsca zdarzenia i przygotowanie dokumentacji**

W czynnościach skanowania 3D symulowanego miejsca zdarzenia, jako czynność adekwatna do oględzin, brały aktywnie udział 2 osoby. Łączny czas skanowania wyniósł 1 godz. 55 min., a samo pomieszczenie było analizowane z trzech stanowisk (około 30-35 minut na jedno stanowisko skanowania).

Sama czynność przeprowadzana na miejscu zdarzenia polegała na zeskanowaniu rzeczywistości z trzech różnych, dopełniających się stanowisk pracy skanera 3D, który wymagał wyłącznie unieruchomienia, wypoziomowania i określenia fragmentu miejsca poddanego automatycznemu skanowaniu, zapisywanym na dysku twardym komputera współpracującego z urządzeniem (Rys. 1).

Czas opracowania materiałów uzyskanych w wyniku skanowania, łącznie dla wszystkich stanowisk, wynosił (bez udziału przygotowania filmów) 8 godzin, w tym:

- rejestracja chmury punktów – 30 minut,
- opracowanie zdjęć panoramicznych – 3 godziny,
- mapowanie kolorów – 1 godzina,
- przygotowanie true view – 30 minut,

ed twice by means of a classical method performed by a team of investigators that belonged to an operational – trial group. As a result of their activities, policemen prepared sets of documents in the form of inspection report, a working and proper sketch, trace identifying cards and after- inspection notes.

The above mentioned activities were aimed at comparing the results concerning the preparation of technical – demonstrative documentation obtained by 3D scanning and inspection performed by a team of investigators.

## **2. 3D scanning of a crime scene and preparing documentation**

Two persons took actively part in 3D scanning of a simulated crime scene, as the activity corresponding with inspection. A total scanning time was 1 hour 55 minutes, and the room was scanned from 3 positions (about 30 – 35 minutes per one scanning position).

The activity carried out at the crime scene consisted in scanning the reality from three different, complementary positions of work of 3D scanner, which required only immobilisation, levelling and defining a fragment of the scene undergoing automatic scanning which was saved on a hard disc of a computer working with the scanner (fig. 1).

The time of analysis of data obtained during scanning for all positions (without film preparation) was 8 hours and included:

- point cloud registration – 30 minutes
- working out panoramic pictures – 3 hours
- colour mapping – 1 hour
- preparing true view – 30 minutes
- preparing panoview – 30 minutes
- working out vector projection – 3 hours
- additional generating of one demonstrative film for a single scanning position took about 1 hour.

As a result of joining positions and defining external reference system (so called georeference), a point cloud is obtained, which consists of hundreds of thousands, or even millions of points, which is ready for making immediate measurements and three-dimensional analyses, for 3D modelling or for direct usage in other CAD applications or in software created for criminologists of Leica Forensic Map Pro.

A complete visualisation of a scanned object is made by the integration of a 3D point cloud with digital pictures taken by a scanner or any digital camera. In this case, Fuji Film Pix S5 Pro camera



- przygotowanie panoview – 30 minut,
- opracowanie rzutu wektorowego – 3 godziny,
- dodatkowe wygenerowanie jednego filmu poglądowego dla pojedynczego stanowiska skanowania wynosiło około 1 godziny.

W wyniku połączenia stanowisk i ustalenia zewnętrznego układu odniesienia (tzw. georeferencja) uzyskujemy chmurę punktów, zawierającą setki tysięcy, a nawet wiele milionów punktów, gotową do wykonywania bezpośrednich pomiarów i analiz przestrzennych, do modelowania 3D lub bezpośredniego wykorzystania w innych aplikacjach CAD czy też oprogramowaniu bezpośrednio dedykowanemu kryminalistom *Leica Forensic Map Pro*.

Pełna wizualizacja obiektu skanowanego jest dokonywana poprzez integrację uzyskanej chmury punktów 3D ze zdjęciami cyfrowymi wykonywanymi przez skaner lub dowolnym aparatem cyfrowym. W omawianym przypadku użyto aparatu Fuji FinePix S5 Pro wyposażonego w obiektyw „rybie oko” (180°) (Rys. 2).

Z zestawu zdjęć przygotowano panoramę, która jako informacja o kolorze została mapowana na chmurę punktów, stanowiących wyjściowy materiał pracy skanera 3D (Rys. 3).

Znakomitym produktem pośrednim, stanowiącym zarówno materiał poglądowy, jak i badawczy, mogą być animacje video lub plik przygotowany do opublikowania materiału 3D poprzez strony internetowe.

Wyjątkowo ważnym z punktu widzenia wykorzystania dokumentacji poglądowej wydaje się być możliwość takiego przygotowania materiałów ze skanowania 3D miejsca zdarzenia, które pozwala je aktywnie przeglądać w przeglądarce internetowej (w tym przypadku z użyciem bezpłatnej wtyczki Leica TrueView dla Internet Explorer). Bezpośrednio w „chmurze punktów” (wirtualna rzeczywistość 3D) można dokonywać wszelkich pomiarów (współrzędne, odległości, kąty, pola powierzchni, objętości – Rys. 4).

Ponadto z tak wizualizowaną sceną przestępstwa łączyć możemy, za pomocą hiperlinków, inne for-

was used, which was equipped with a fish-eye lens. (180°) (fig. 2)

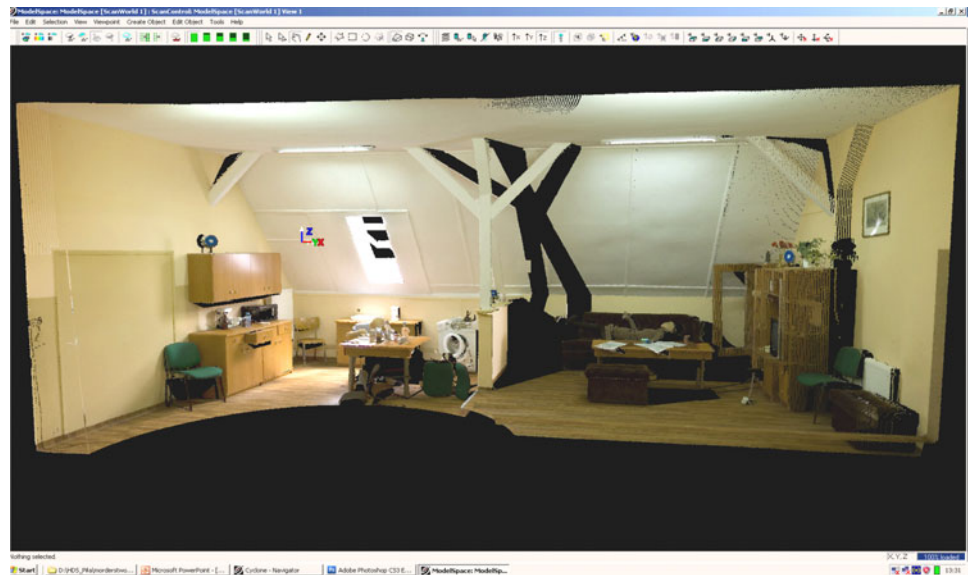
A panorama was prepared from a set of pictures, which as information about colour was mapped on a point cloud that constituted initial material for the 3D scanner (fig. 3)



Rys. 1. Widok stanowiska z pracującym na miejscu zdarzenia skanerem 3D, fot. L. Koźmiński  
Fig. 1 The 3D scanner at the crime scene. fot. L. Koźmiński

Video animations or a file prepared for a 3D material to be placed on a web site are excellent works that may be treated as both a descriptive and investigatory material.

From the point of view of usage of after – inspection documentation, it seems to be quite impor-

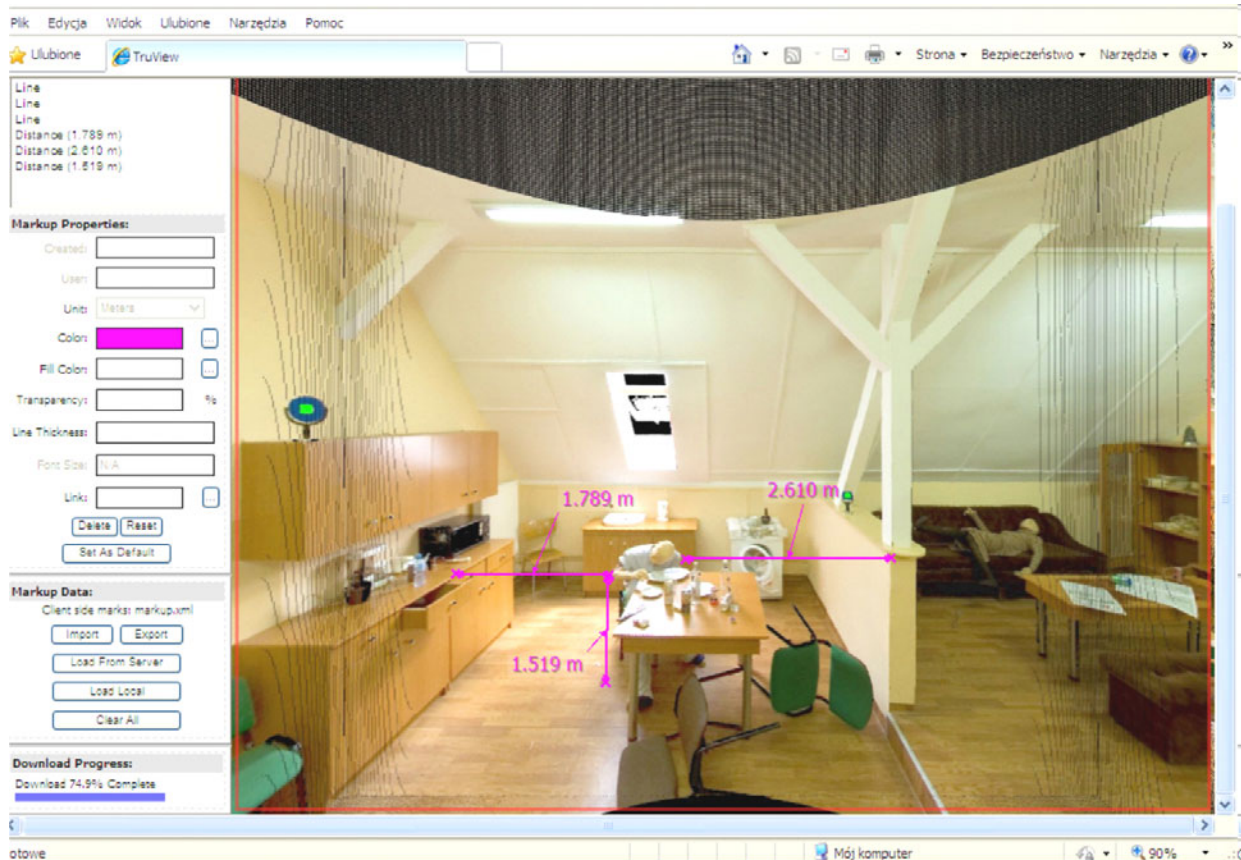


Rys. 2. Zdjęcia wykonane aparatem cyfrowym wyposażonym w obiektyw „rybie oko” (180°)  
Fig. 2. Pictures taken by a digital camera equipped with a fish-eye lens

tant that there is a possibility of preparing materials from 3D scanning in such a way that they may be searched on a web browser (in this case with a free plug Leica TrueView for Internet Explorer). All measurements can be made directly in a “point cloud” (3D virtual reality) (co-ordinates, distances, angles, surface, volume – fig. 4)



Rys. 3. Zdjęcie z mapowaną informacją o kolorze na chmurę punktów  
 Fig. 3. A picture with colour information mapped on a point cloud



Rys. 4. Wizerunek 3D miejsca zdarzenia z przykładem wymiarowania realizowanym w przeglądarce internetowej  
 Fig. 4. A 3D picture of the crime scene with an example of measuring as seen on a web browser

my graficznego przedstawiania wizerunków zabezpieczonych śladów i przedmiotów, a także obecne w postępowaniu dokumenty procesowe w wybranych fragmentach lub całości.

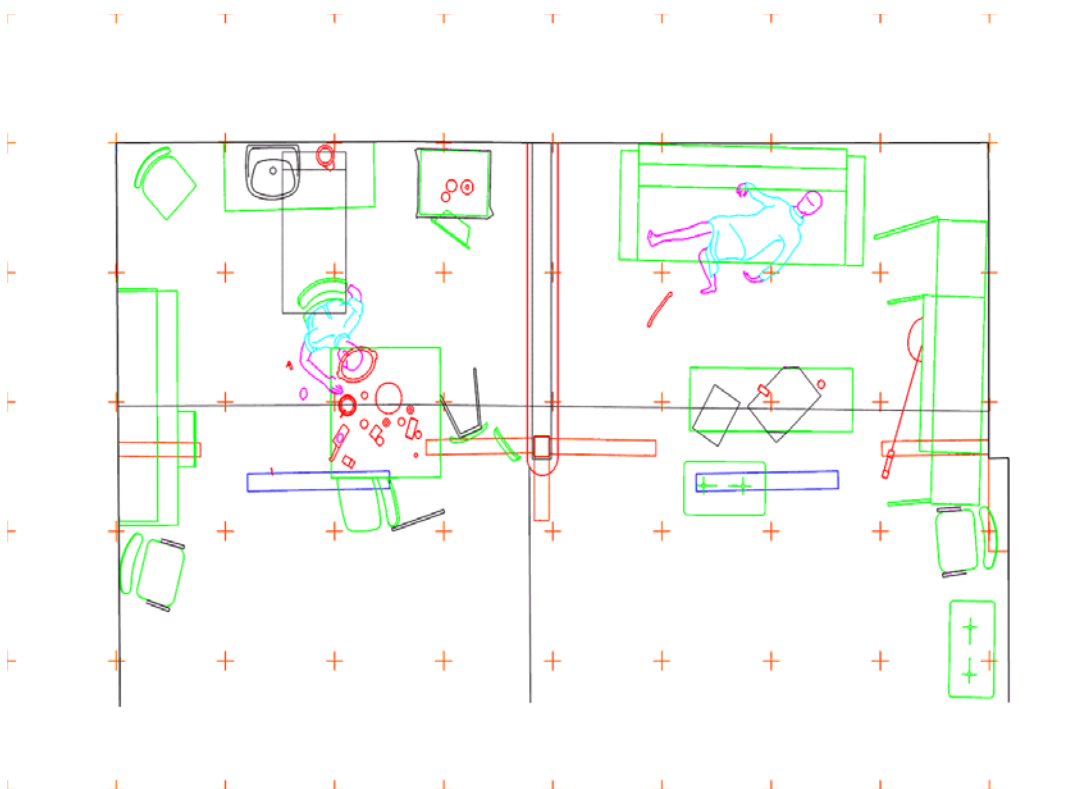
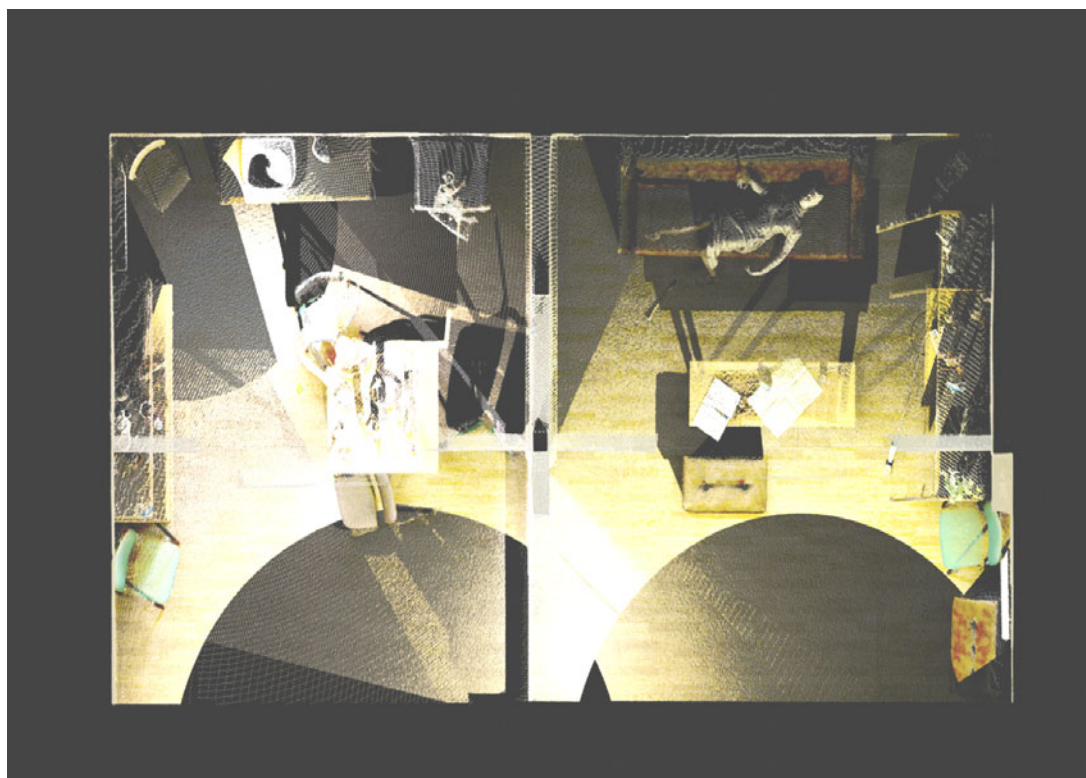
Kolejnym etapem pracy nad dokumentacją ze skanowania 3D było sporządzenie rzutu wektorowego miejsca zdarzenia, który przekształcony może być do odpowiedniej skali, wygodnej dla czynności przeglądania na ekranie komputera czy też druku w formie papierowej (Rys. 5-6).

W wyniku skanowania 3D miejsca zdarzenia możliwe było stosunkowo szybkie sporządzenie dokumentacji poglądzinowej, której najważniejszymi właściwościami są: dysponowanie modelami 3D

Such visualised crime scene can be joined by means of hyperlinks with other graphic forms showing pictures of secured traces and objects, as well as with trial documents or their fragments.

Processing a vector projection of a crime scene was a next step in creating documentation with 3D scanning. The projection can be converted into a required scale, convenient either for reading on a computer monitor, or for printing in a paper form (Fig. 5-6).

As a result of 3D scanning of a crime scene, it was possible to prepare after – investigation documentation, whose main features are: obtaining 3D models with a point cloud characterised by great



Rys. 5-6. Opracowanie rzutu miejsca zdarzenia  
 Fig. 5-6. The plan of the crime scene

z „chmurą punktów” o dużej dokładności i możliwości pomiarowej, możliwość szybkiego uzyskiwania planów, rzutów, przekrojów 2D oraz możliwość tworzenia animacji 3D, w tym z myślą przedstawieniu rekonstrukcji zdarzenia.

precision and ability of measurement, possibility of achieving plans quickly, projections, 2D sections and creating 3D animations that can show reconstructions of a crime.

### 3. Oględziny miejsca zdarzenia z udziałem zespołów ludzkich i przygotowanie dokumentacji

W czynnościach oględzinowych symulowanego miejsca zdarzenia, w niezmiennych warunkach dotyczących pomieszczeń, rozkładu śladów i przedmiotów, brały udział dwa zespoły ludzkie. Obie grupy prowadzące oględziny miały w swoim składzie policjantów służby kryminalnej z kilkuletnim stażem i wspomagane były przez doświadczonego technika. Policjanci w trakcie oględzin sporządzali dokumentację, na którą składały się: protokół oględzin, szkic roboczy oraz właściwy, metryczki śladowe, a także notatki pooględzinowe.

Najobszerniejszą formę w obrębie dokumentacji posiadały protokoły oględzin. Zgodnie z zasadami wykonywania oględzin funkcjonariusze wykonywali pomiary pomieszczeń, ujawniali, wymiarowali i zabezpieczali ślady oraz dowody rzeczowe, dokonywali opisu słownego miejsca zdarzenia. Ponadto istotną częścią dokumentacji stanowiły materiały fakultatywne w postaci szkiców oraz zdjęć.

Analiza kompletnej dokumentacji wytworzonej przez zespoły oględzinowe wykazała:

- różny poziom jakościowy poszczególnych form dokumentacji w zakresie formalnym i treściowym,
- różnice w wymiarowaniu pomieszczeń (w granicach 5-30 cm),
- odmienną liczbę zabezpieczanych śladów i dowodów rzeczowych,
- różnice w wymiarowaniu zabezpieczanych śladów i dowodów rzeczowych (w granicach 5-15 cm),
- brak zgodności dokumentacyjnej pomiędzy zapisami w protokole oględzin, a szkicami kryminalistycznymi czy zdjęciami.

Tak scharakteryzowane wyniki oględzin wskazują, iż jeden z ich celów [3] nie został w przypadku pracy zespołów ludzkich zrealizowany w pełni prawidłowo. Utrwalenie wyglądu i stanu miejsca zdarzenia w dwóch omawianych przypadkach nie jest jednorodne i kompletne. Czynnikiem ludzkim w tej sytuacji nie stanowił o sile prowadzonych czynności, a raczej o słabości realizujących te działania funkcjonariuszy, co ma bezpośredni wpływ na pozostałe cele oględzin w postaci ujawnienia różnej ilości śladów, a także ich zabezpieczenie oraz wnioskowanie i próby rekonstrukcji zdarzenia.

### 4. Skanowanie 3D a oględziny

Oględziny jako czynność procesowa są szeregiem działań o różnym charakterze i zakresie. Skanowanie 3D, jako nowatorska forma badania miejsca zdarzenia, w żaden sposób nie jest w stanie zastąpić

### 3. Inspection of a crime scene carried out by teams of investigators and preparing documentation

Two teams of investigators took part in the inspection of a simulated crime scene with unchanged conditions in rooms, the layout of traces and objects. Both groups included detectives with many years of experience, who were assisted by an experienced forensic technician. The policemen prepared documentation which consisted of an inspection report, a working and proper sketch, trace identification cards and after – inspection notes.

Inspection reports had the most extensive form. According to the inspection regulations, the policemen measured the rooms, detected, measured and secured traces and exhibits, and described the crime scene. Optional materials were also included, e.g. sketches and photographs.

The analysis of the completed documentation revealed:

- different qualitative level of particular forms of documents as far as form and content are concerned
- differences in measurements of rooms (within 5-30 cm)
- different number of secured traces and exhibits
- differences in measurement of secured traces and exhibits (within 5-15 cm)
- lack of consistency in the inspection report and sketches or pictures.

The results of inspection as characterised above show that one of their aims [3] was not fully accomplished. The presentation of the appearance and condition of the crime scene in two cases is not homogeneous and complete. The human factor was responsible for the weakness of detectives' activities, which directly influenced the rest of aims of the inspection, i.e. revealing different number of traces and their securing as well as conclusions and attempts at reconstruction of the crime.

### 4. 3D scanning and inspection

Inspection as a legal proceeding is a series of activities of different character and range. 3D scanning, being an innovative form of a crime scene examination, cannot whatsoever replace inspection. It can, however, be a modern counterpart of some chosen parts of inspection, especially in the phase of detailed static activities – without making any changes at the crime scene in the process of its cataloguing.

czynności oględzin. Może jednak stanowić nowoczesny odpowiednik wybranych etapów oględzin, zwłaszcza w fazie szczegółowych czynności statycznych – bez dokonywania zmian na miejscu zdarzenia w swoistym procesie inwentaryzacji tego miejsca.

Warto tym samym przyrzeć się zestawieniu właściwości oraz efektów skanowania 3D i oględzin z udziałem zespołów ludzkich:

właściwości, wymagania, efekty <i>Characteristics, requirements, effects</i>	zespoły oględzinowe <i>Inspection teams</i>	skanowanie 3D <i>3D scanning</i>
czas pracy <i>time of work</i>	3,5-4,2 godz. <i>3,5-4,2 hours</i>	1,5 godz. <i>1,5 hour</i>
liczba uczestników <i>number of participants</i>	4 osoby <i>4 persons</i>	2 osoby <i>2 persons</i>
warunki oświetleniowe <i>lightning conditions</i>	wymagane odpowiednie <i>proper required</i>	brak szczególnych wymagań <i>no particular requirements</i>
forma dokumentacji wyjściowej <i>the form of initial documentation</i>	protokół oględzin, szkic, zdjęcia, metryczki śladowe <i>inspection report, sketch, photographs, trace identification cards</i>	„chmura punktów” o regulowanej, w zależności od potrzeb, dokładności, zdjęcia <i>“point cloud” with regulated, if necessary, precision, pictures</i>
możliwości przetwarzania wyjściowych materiałów <i>possibilities of processing initial materials</i>	małe możliwości <i>small possibilities</i>	duże możliwości (rzuty, szkice, przekroje, widoki 2D i 3D, animacje) <i>great possibilities (projections, sketches, sections 2D and 3D, animations)</i>
poziom inwentaryzacji rzeczywistości <i>the level of cataloguing the facts</i>	„dowolność” w uznawaniu ważnych właściwości miejsca zdarzenia i śladów – bez możliwości ponownego wyboru <i>“free choice” in accepting important characteristics of a crime scene and traces – without the possibility of repeated choice</i>	obiektywizm w doborze rzeczywistości – możliwość powrotu na miejsce zdarzenia <i>objectivism in the choice of facts – possibility of returning to a crime scene</i>
dokładność wymiarowania – granice błędów <i>precision of stating the dimensions</i>	brak dokładności w pomiarach – czynnik błędów ludzkiego <i>lack of precision / measurements – the factor of a human error</i>	wysoka dokładność pomiarów <i>high precision of measurements</i>

Najistotniejszy zakres różnic, a zarazem błędów człowieka, obejmował wymiarowanie miejsca zdarzenia oraz ujawnionych śladów i przedmiotów. Dodatkowo błędy w wymiarowaniu przełożyły się, a raczej spotęgowały, w niepoprawnie wykonanych szkicach odręcznych. Ich zestawienie w wspólnej skali ze szkicami wytworzonymi z materiałów skanowania 3D wykazały, iż różne elementy szkicu odręcznego (rysowanego przez człowieka) naniesione zostały w różnej skali.

Jeśli przyjąć, że pomieszczenie miało zostać przez funkcjonariuszy zmierzone faktycznie poprawnie to zostało ono narysowane w skali ok. 1:32. Pozostałe elementy przedstawiono jednak na tym samym rysunku w odmiennych skalach, np. drzwi w około 1: 100, stół około 1:18, a inne przedmioty od skali 1:20 do skali 1:120. Inną kwestią jest fakt, że wymiarowanie pomieszczenia nie zostało jednak wykonane prawidłowo.

It is, therefore, worth comparing the characteristics and effects of 3D scanning and inspection performed by teams of investigators.

The most important differences, and human errors at the same time, referred to measuring the crime scene and revealing traces and objects. Additionally, mistakes in measurements were intensified by sketches prepared incorrectly by hand. Their comparison with sketches from 3D scanning done in a common scale showed that different elements of sketches (drawn by a man) were made in different scales.

If we assume that a room was to be measured properly, it should be drawn in 1:32 scale. The rest of objects however was put on the same drawing in different scales, doors 1:100, a table 1:18 and other objects in scales from 1:20 to 1:120. Also the measurements of the room were not properly made.

Contrary to measurements made by a man, 3D scanning has a smaller margin for error in this respect. 3D scanners present a high precision of measuring and projecting. The margins for errors depend

W przeciwieństwie do czynności wymiarowania realizowanego przez człowieka skanowanie 3D w tej mierze prezentuje mniejszy margines błędu. W przypadku wykorzystywania skanerów 3D dokładność pomiaru i odwzorowania jest wysoka. Granice błędu w zależności od zastosowanego procesu wykorzystania materiałów wyjściowych skanowania wynoszą od 2 mm do 12 mm. Jednocześnie należy zaznaczyć, iż górna liczba błędu wymiarowania dotyczy tworzenia dokumentacji poglądowej w oparciu o obrazy RGB, a nie chmury punktów zarejestrowanych w trakcie czynności skanowania (margines błędu w tym przypadku wynosi 2-3 mm).

W perspektywie omawianych doświadczeń związanych ze skanowaniem laserowym 3D oraz pracą zespołów oględzinowych na tych samych miejscach zdarzeń wydaje się, że technologia skanowania 3D winna znaleźć obowiązkowe miejsce w pracy śledczych na miejscach najważniejszych zdarzeń. Dzięki niej – z punktu widzenia potrzeb współczesnej kryminalistyki – możliwe jest szybkie, sprawne i bardzo dokładne wykonywanie pomiarów wyznaczonego obszaru, budynku, pomieszczenia, jako miejsc zdarzeń poddawanych oględzinom. Skanery HDS 3D pozwalają na odczyt i archiwizację wszelkich danych przestrzennych – i to zarówno w wymiarze 2D, jak i 3D. Jednocześnie użycie skanerów powoduje szybsze uzyskiwanie wyników w postaci pomiarów, sporządzanych planów i szkiców o minimalnym stopniu błędu badawczego. Zwiększa się także bezpieczeństwo pracy na miejscach zbrodni, gdyż nie ma potrzeby styczności z każdym fragmentem miejsca zdarzenia.

Zastosowanie opisywanej technologii może w dużej mierze ułatwić pracę organom policji, prokuratury czy sądów. Większość danych z miejsca zdarzenia dostępna jest w każdym momencie w postaci trójwymiarowego obrazu, a więc możliwy jest wirtualny powrót na miejsce zbrodni.

on initial scanning material and vary from 2mm to 12mm. It should be noticed that the higher number of the measurement error concerns demonstrative documentation created on the basis of RGB pictures and not point clouds registered on scanning (the margin for error in this case is 2-3 mm).

Considering experiences connected with 3D laser scanning and work of inspecting teams at the same crime scenes, it seems that 3D scanning technology should be obligatory used in legal proceedings concerning the most important crimes. It allows quick, efficient and very precise measuring of a given area, building, or room under inspection. HDS 3D scanners allow to read and catalogue all special data – both in 2D and 3D dimensions. The usage of scanners enables to get results quickly in the form of measurements, plans, sketches with a minimal error. Work safety increases at the crime scene because there is no need to come into contact with each fragment of the crime scene

The usage of described technology can simplify to a great degree work of the police, prosecutors or court of justice. The majority of data from the crime scene is available any time in the form of a three – dimensional picture, so a virtual return to a crime scene is possible.

## Literatura • References

- [1] M. Goc, *Oględziny* [w:] E. Gruza, M. Goc, J. Moszczyński, *Kryminalistyka – czyli rzecz o metodach śledczych*, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2008, s. 204.
- [2] J. Mazepa, *Oględziny* [w:] *Vademecum technika kryminalistyki*, Pod red. J. Mazepy, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa 2009, s. 16.
- [3] Za M. Gocem należy wyróżnić cztery cele oględzin: 1. utrwalenie wyglądu i stanu miejsca zdarzenia, 2. ujawnienie śladów, 3. zabezpieczenie śladów, 4. wnioskowanie i próba rekonstrukcji zdarzenia. Zob. M. Goc, *Oględziny* [w:] E. Gruza, M. Goc, J. Moszczyński, *Kryminalistyka – czyli rzecz o metodach śledczych*, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2008, s. 205-6.

---

\* Szkoła Policji, Piła, Polska  
Police School, Piła, Poland

\*\* Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, Politechnika Wroclawska  
Laboratory of 3D Scanning and Modelling, Wrocław University of Technology

\*\*\* Leica Geosystems, Warszawa, Polska  
Leica Geosystems, Warsaw, Poland

---

## Streszczenie

Szkoła Policji w Piile, wraz z Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D Politechniki Wrocławskiej, oraz Leica Geosystems Polska, przeprowadziła badania możliwości zastosowania skanowania 3D w dokumentacji i analizie miejsc zdarzeń kryminalnych. Głównym celem było porównanie wyników uzyskanych metodą skanowania 3D z dokumentacją przygotowywaną przez zespół dochodzeniowy metodami tradycyjnymi. Porównanie przeprowadzone na przykładzie zdarzenia kryminalnego wewnątrz budynku, wypadło na korzyść metody skanowania 3D, która okazała się szybka, wydajna i precyzyjna w zakresie w pełni zadowalającym wymagania współczesnej kryminalistyki. Technologia skanowania 3D upraszcza proces dokumentacji i opisu danych przestrzennych. Dodatkowo, skanowanie 3D eliminuje zazwyczaj potrzebę ponownego przyjazdu ekipy dochodzeniowej na miejsce zdarzenia kryminalnego.

## Abstract

Police School in Piła together with the Laboratory Scanning and Modelling 3D of the Wrocław University of Technology and Leica Geosystems attempted to diagnose possibilities of using the 3D scanning in the crime scene inspection and its documentation. The main aim was to compare the results of the 3D scanning with the inspection activities led by human teams in the field of documenting the site inspection. The comparison revealed that the measurements of the appointed area, the building, and the room as the crime scenes carried out using the 3D scanner, were quick, efficient, and precise, as far as the needs of the present crime detection are concerned. These 3D scanners simplify the measurement reading and storing any three-dimensional data. Moreover, the use of the 3D scanners eliminates 'second visits' at the crime scene.

Krzysztof Maksymowicz\*  
Magdalena Kobielarz\*\*, Tomasz Jurek\*\*\*

## Skanywanie 3D jako metoda obrazowania złożonych i rozległych relacji przestrzennych dla potrzeb medycyny sądowej i kryminalistyki – ocena przydatności

### 3D laser scanning as a method of registration of large and complex spatial relations for the needs of forensic medicine and crime detection – assessment of applicability

#### 1. Wprowadzenie

Powodem wyodrębnienia się medycyny sądowej z nauk lekarskich ponad wiek temu, była potrzeba przystosowania szeroko pojętej wiedzy lekarskiej dla potrzeb wymiaru sprawiedliwości [1]. Obecnie wobec wciąż narastającej ilości zadań stawianych medycynie sądowej przez szereg innych dziedzin nauki, a także ze strony środowisk związanych z działalnością komercyjną w rozumieniu produkcji, ochrony i dystrybucji dóbr materialnych, medycyna sądowa staje się nauką szczególnie interdyscyplinarną. W szczególności Katedra Medycyny Sądowej Akademii Medycznej we Wrocławiu prowadzi badania naukowe i działalność usługową między innymi w takich dziedzinach jak tanatologia, toksykologia i traumatologia sądowo-lekarska, balistyka, traseologia, biomechanika, rekonstrukcja wypadków i katastrof. Badania te łączą i rozwijają nauki medyczno-sądowe z naukami politechnicznymi, biologicznymi i prawnymi. Osiągnięcia naukowe będące owocem wspólnie prowadzonych badań wykorzystywane są w codziennej praktyce sądowo-lekarskiej i kryminalistycznej, co bezpośrednio przekłada się na realizację potrzeb społecznych i gospodarczych kraju, także w aspekcie bezpieczeństwa wewnętrznego. Stała współpraca Katedry Medycyny Sądowej z organami ścigania, instytucjami wymiaru sprawiedliwości z terenu całego kraju i po-

#### 1. Introduction

The reason of emerging the forensic medicine from medical sciences over a century ago, was the need for adaptation of broadly comprehended medical knowledge for the needs of the administration of justice [1]. At present in the face of growing number of problems put before the forensic medicine by a variety of different fields of science, and also by the circles connected with commercial activity in the sense of production, protection and distribution of material goods, the forensic medicine becomes a particularly interdisciplinary science. It is especially the Forensic Medicine Department at Medical Academy in Wrocław that carries out scientific investigations and service activity, among others in such fields as thanatology, toxicology and forensic-medical traumatology, ballistics, traseology, biomechanics, reconstruction of accidents and catastrophes. These investigations unite and develop medical-forensic sciences with polytechnic, biological and legal sciences. Scientific achievements which are the fruit of investigations carried out together are used in the everyday forensic-medical and criminalistic practice, which is directly transferred to the realization of the social and economic needs of the country, also in the aspect of the internal safety. Permanent co-operation of the Forensic Medicine Department with the organs of law-enforcing, the in-



dobnymi instytucjami zagranicznymi, przy rosnących wymaganiach powyższych kontrahentów wobec usług świadczonych przez Katedrę, wymaga od nas ciągłego udoskonalania warsztatu badawczo-usługowego. Wyzwania te można z pozytywnym skutkiem realizować między innymi poprzez poszukiwanie nowych narzędzi do obserwacji otaczającej nas rzeczywistości materialnej [2]. Metody trójwymiarowego obrazowania z zastosowaniem skanera 3D, otwierają nowe perspektywy zwłaszcza w zakresie utrwalania obrazu miejsca zdarzenia, jakie z racji swego charakteru znalazło się w polu zainteresowania ze strony medycyny sądowej i kryminalistyki. Tam bowiem, gdzie ma miejsce zdarzenie podczas którego dochodzi do uszkodzenia ciała w okolicznościach wypadku, działania samobójczego, lub przestępczego, wiedza i doświadczenie przedstawicieli obu dziedzin są niezbędne dla poszukiwania śladów prawdy materialnej. W szerokiej sferze zainteresowań kryminalistyki znajdują się między innymi działania zmierzające do poszukiwania metod i środków zwalczania i zapobiegania przestępczości, w czym niepoślednią rolę odgrywają środki techniczne, między innymi służące do rejestracji obrazu miejsc, przedmiotów i osób pozostających w związku ze zdarzeniami o charakterze kryminalnym [3].

## 2. Cel pracy

W zakres oględzin miejsca zdarzenia wchodzi między innymi różnorodne czynności techniczno-kryminalistyczne, mające na celu uzyskanie maksymalnej ilości informacji o zdarzeniu i jego uczestnikach, na podstawie zabezpieczonych śladów kryminalistycznych. Celem ostatecznym tych działań jest dostarczenie informacji, które pozwoliłyby na ustalenie charakteru, przebiegu i czasu zaistnienia przedmiotowego zdarzenia, oraz ustaleniu roli jaką w jego przebiegu pełniły osoby w nim uczestniczące [4]. Celem pracy było ustalenie, czy skanowanie przestrzenne 3D obszaru miejsca zdarzenia pozostającego w zasięgu działania medyka sądowego i technika kryminalistycznego, spełnia – i w jakim zakresie – wymogi stawiane oględzinom miejsca zdarzenia z zastosowaniem klasycznych metod techniki kryminalistycznej, a to szczególnie przy złożonej formie przestrzennej i infrastrukturze technicznej badanego miejsca.

## 3. Material

Obiektem poddanym skanowaniu była hala produkcyjna zakładów metalurgicznych o ciągłym charakterze produkcji. Cykl produkcyjny obejmował odle-

stitutions of the administration of justice all over the country and similar foreign institutions, while the requirements of the above mentioned contracting parties concerning the standard of the services rendered by the Department have been still growing, needs continuous improvement of our research and service facilities. One can realize such challenges with positive result among others by searching for new tools for the observation of the material reality surrounding us [2]. The methods of three-dimensional imaging with the use of a 3D scanner open new perspectives, especially in the range of fixing the image of the site of an event which due to its character has become the object of interest of the forensic medicine and crime detection. It is where an event has taken place, during which a bodily harm has occurred in the circumstances of an accident, a suicidal act, or a criminal act, that knowledge and experience of the representatives of both fields are indispensable for the search of the traces of the material truth. Within a wide scope of the interests of crime detection, among others there are activities aimed at searching methods and means of fighting and prevention of crime, wherein the technical means serving for registration of the image of places, objects and persons being in a relationship with the events of criminal character play an important part [3].

## 2. Objective of the study

The inspection of the place of an event includes among others a variety of technical-criminalistic activities whose aim is to obtain maximum quantity of information about the event and its participants, on the basis of secured criminalistic traces. The ultimate objective of these activities is to provide information, which would allow to establish the character, the course and the time of occurrence of the objective event, and to find out the role that persons participating in the course thereof have played in it [4]. The objective of this study was to determine, whether the spatial 3D scanning of the area of the site of event, staying in the range of forensic medical and criminalistic technician, can meet – and in what range – the requirements as put before the inspection of the site of the event with the use of the classic methods of criminalistic techniques, and especially when the spatial form and technical infrastructure of the studied place is complex.

## 3. Material

The object subjected to scanning was a productive hall of a metallurgical plant of continuous character of the production. The productive cycle includ-

wanie z metali lekkich średniej wielkości elementów stosowanych do budowy pojazdów mechanicznych, obróbki mechanicznej tych elementów, kontrolę jakości, transport i ich składowanie. Jako prawdopodobne miejsce zdarzenia uznano stanowisko pracy odlewnika. Bezpośrednio w skład stanowiska pracy wchodził piec odlewniczy, podest roboczy i forma odlewnicza. W bezpośredniej bliskości i w dalszym dystansie do miejsca jak wyżej znajdował się wyjątkowo złożona topograficznie infrastruktura techniczna zakładu.

#### 4. Metody

Do skanowania zastosowano skaner Leica ScanStation, który charakteryzuje się następującymi parametrami:

- zasięg pomiaru do 300 m,
- dokładność pomiaru dochodząca do 2 mm,
- prędkość skanowania przy pełnej dokładności; 4000 pkt/sek.
- pole widzenia; 270 stopni w pionie i 360 stopni w poziomie,
- maksymalna rozdzielczość (gęstość skanowania); 1,2 mm

Zdjęcia panoramiczne wykonano aparatem cyfrowym FujiFilm S5 Pro, obiektywem typu rybie oko o ogniskowej soczewki 8mm. Dla lokalizacji skanera i panoramicznego aparatu fotograficznego wybrano trzy stanowiska, dokonując rejestracji obrazu aparatem fotograficznym, a następnie skanerem. Barwny obraz otrzymany z panoramicznego aparatu fotograficznego nałożono na chmurę punktów uzyskaną podczas skanowania. Istotne elementy zwymiarowano i przedstawiono w rzucie poziomym i pionowym. Proces skanowania i rejestracji danych, oraz ich opracowania oparty był na oprogramowaniu Leica Cyclone oraz Bentley MicroStation. Pomiar i ich opracowanie wykonane zostały przez Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D Instytutu Historii Architektury i Sztuki Politechniki Wrocławskiej.

#### 5. Wyniki

Panoramyczny obraz uzyskany za pomocą kamery cyfrowej oceniono jeszcze przed nałożeniem go na chmurę punktów uzyskaną w skanowaniu. Obraz ten obejmuje w praktyce całość pola widzenia otoczenia miejsca rejestracji zdarzenia. Jego rozdzielczość i zapis barw, pozwala na identyfikację najdrobniejszych szczegółów z ich dokładną lokalizacją. Z punktu widzenia medyczno-sądowego istotną okazuje się jakość barw. Poruszanie się wokół osi pola widzenia poszczególnych stanowisk

ed casting from the light metals medium-sized parts applied for construction of mechanical vehicles, mechanical processing of these parts, the quality control thereof, transportation and storing. It was assumed that a probable place of an event could be the working station of a foundryman. The working station of his included a melting furnace, a working platform and a casting mould. In direct vicinity and in the farther distance to the place as mentioned there was exceptionally topographically complex technical infrastructure of the plant.

#### 4. Methods

Scanning was carried out with the use of a scanner Leica ScanStation which is characterized by the following parameters:

- range of the measurement up to 300 m,
- precision of the measurement coming up to 2 mm,
- speed of scanning at full resolution; 4000 pt/sec
- field of sight; 270 degrees vertically and 360 degrees horizontally,
- maximum resolution (scanning density); 1.2 mm

The panoramic photographs were taken with a digital camera FujiFilm S5 Pro, with a fish-eye type lens of the lens focal 8mm. Three positions were chosen for the location of the scanner and the panoramic camera, making the registration of the picture with the camera, and then with the scanner. The colorful image received from the panoramic camera was plotted on the cloud of points obtained during scanning. Essential elements were dimensioned and presented in a vertical projection and a horizontal projection. The process of scanning and registration of the data, and their processing was supported upon the software Leica Cyclone and Bentley MicroStation. The measurements and their study were carried out by the 3D Scanning and Modeling Laboratory of the Institute of Architecture History and Arts of Wrocław University of Technology.

#### 5. Results

The panoramic image obtained with the help of digital camera was assessed even before plotting it on the cloud of points obtained from the scanning. This image practically includes the whole field of sight of the surroundings of the place of the registration of the event. Its resolution and notation of colors allows to identify the smallest details with their exact location. From the medical-forensic point of view the quality of colors is most essential. Moving around the axis of the field of sight of individual

pozwała dostrzec szczegóły otoczenia ukryte w niektórych projekcjach za innymi przedmiotami. Złożenie obrazu z trzech stanowisk stanowi komplementarny obraz całości obrazowanego miejsca. Po sprzężeniu obrazu jak wyżej z chmurą punktów uzyskanych poprzez skanowanie, otrzymano obraz przestrzenny o wysokim stopniu odwzorowania szczegółów, z nieco gorszym wysyceniem barw w porównaniu do obrazu z panoramicznego aparatu fotograficznego. Analiza obrazu pod względem medyczno-sądowym i kryminalistycznym, w odniesieniu do uzyskanych już wcześniej danych o przedmiotowym zdarzeniu, pozwoliła na ujawnienie obecności elementów mogących mieć istotne znaczenie dla sprawy. Były to: obecność poza polem widzenia osoby poruszającej się po hali ruchomych elementów suwnicy podstropowej, trakt komunikacyjny pojazdów obsługujących produkcję, znacząca różnica wysokości schodów platformy roboczej. Wpisanie uzyskanego obrazu w układ współrzędnych XYZ pozwoliło na skorelowanie topografii wyposażenia hali z potencjalnymi scenariuszami przemieszczania się uczestnika- uczestników zdarzenia. To z kolei dało możliwość sformułować hipotezy o ewentualnym przebiegu zdarzenia, dając wytyczne o kierunku poszukiwań dalszych istotnych dla sprawy dowodów materialnych.

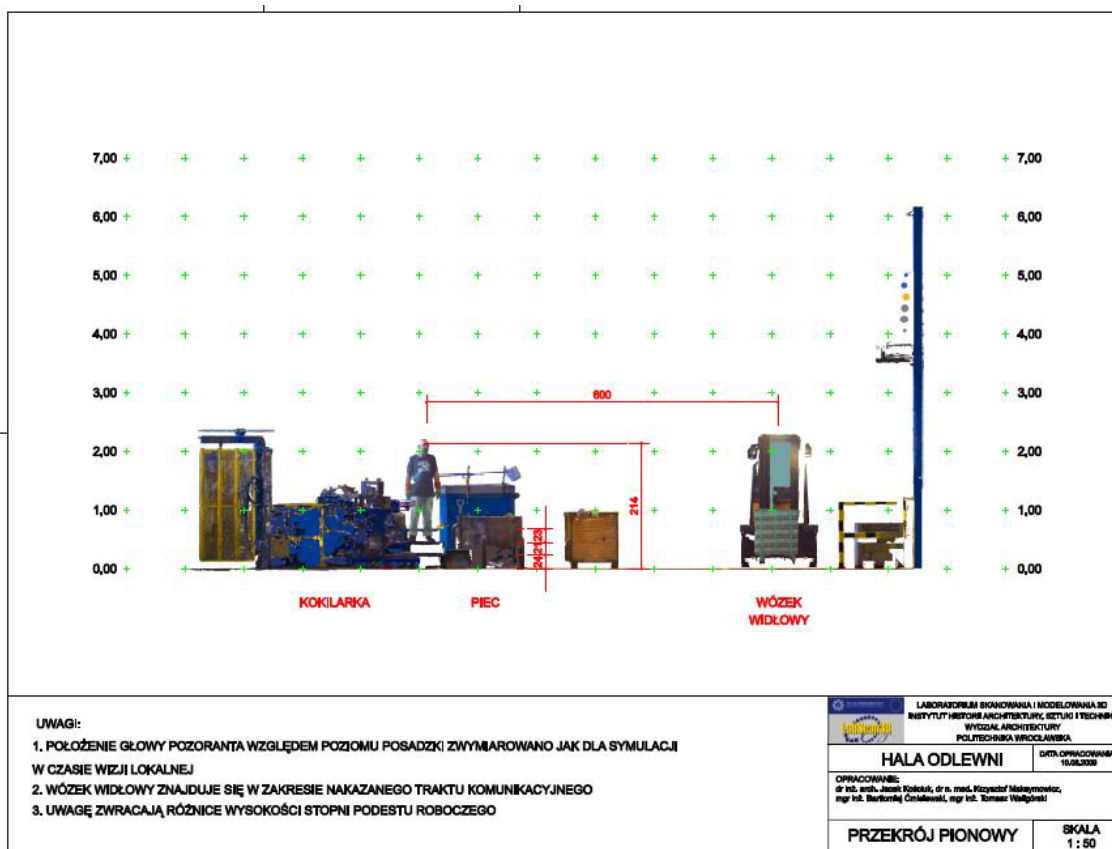
positions lets perceive details of the surroundings hidden in some projections behind other objects. The assembly of the image from three positions makes up a complete image of the entire place being the object of imaging. After coupling the image as above mentioned with the cloud of points obtained by scanning, the spatial image of high level of imaging of details was received, with somewhat worse color saturation in comparison with the image from the panoramic camera. The analysis of the image from the medical-forensic and criminalistic point of view, in the reference to the earlier obtained data concerning the objective event, enabled us to disclose the presence of elements which could be of great importance for the matter. They were as follows: presence of mobile elements of an overhead travelling crane, which were beyond the field of sight of a person moving about the hall, the communication track of operating production vehicles, significant difference of the height of the steps of the working platform. Plotting the obtained image in a 3D coordinate system XYZ allowed to correlate the topography of the equipment in the hall with the potential scripts of moving of the participants of the event. This in turn gave the possibility to formulate the hypothesis about the possible course of the event, giving directives about the direction of further search of material proofs essential for the matter.



Rys. 1. Usytuowanie pozycji aparatu i skanera  
 Fig. 1. Scanner and camera positions



Rys. 2. Przekrój pionowy obrazowanej przestrzeni  
 Fig. 2. Vertical cross-section of the site view of the recorded area



Rys. 3. Fragment panoramy wykonanej aparatem z obiektywem szerokokątnym  
 Fig. 3. Fragment of the panoramic picture recorded with a camera with a wide angle lens

## 6. Omówienie

Skaner 3D łączy w sobie elementy technik diagnostycznych fizykalnych z technikami cyfrowymi, zachowując wysoką rozdzielczość przy obrazowaniu przedmiotów w trzech wymiarach. Bezdotykowa i nie destruktywna technika obserwacji i gromadzenia danych z zastosowaniem promienia laserowego zachowuje badany obiekt w nienaruszonym stanie, co jest tak istotne z punktu widzenia prawnej wartości dowodowej badanego obiektu. Szybkość uzyskiwania danych opisujących obiekt, możliwość jednoczesnej ich archiwizacji i przesyłania na dowolną odległość, ma zastosowanie gdy wymagany jest szybki transport danych dowodowych pomiędzy ośrodkami badawczymi, na przykład w celu wielodyscyplinarnych konsultacji czy porównania i identyfikacji uzyskanych informacji z zasobami w istniejących już bazach danych [5,6]. Cechy szczególne skanowania 3D to niski koszt jednostkowy badania, prostota obsługi skanera, jego mobilność, niezależność od zewnętrznych źródeł energii, możliwość współpracy praktycznie ze wszelkiego rodzaju narzędziami badawczymi pracującymi w technice cyfrowej, w tym szczególnie z urządzeniami obrazującymi, rejestrującymi i utrwalającymi dane. Szeroki zakres warunków pracy skanera pozwala na rejestrację danych w skali makroskopowej na przykład ze sceny miejsca zdarzenia w postaci zobrazowania całości materiału dowodowego, jak też obserwację i archiwizację danych w skali mikroskopowej poprzez obrazowanie poszczególnych przedmiotów ze sceny przedmiotowego zdarzenia. Zarejestrowany obraz może być odtworzony między innymi poprzez wydruk z drukarki 3D, co zastąpić może techniki odlewów gipsowych i makiet. Nałożenie na siebie obrazów makroskopowych i mikroskopowych daje pełen obraz i trójwymiarowy wgląd w miejsce zdarzenia, dodatkowo z możliwością symulacji hipotetycznego przebiegu zdarzenia. Całość takiego obrazu praktycznie eliminuje zastosowanie klasycznych metod archiwizacji opartych na odlewach i makietach gipsowych, szkicach sytuacyjnych, czy nawet zapisach obrazu w wymiarze dwupłaszczyznowym [7,8]. Szczególnie istotne dla praktyki medyczno-sądowej i kryminalistycznej jest to, że dane uzyskane ze skanera Leica HDS 3000 są „odporne” na wszelkiego rodzaju wtórne manipulacje. Pierwotna informacja o zarejestrowanej przestrzeni przechowywana jest zawsze w bazie danych w stanie nienaruszonym i w każdej chwili umożliwia powrót do oryginalnych danych z przed procesu ich obróbki i przetworzenia. Ma to szczególne znaczenie przy ocenie danych ze skanowania 3D jako materiału dowodowego.

## 6. Discussion

The 3D scanner itself links the elements of diagnostic physical techniques with digital techniques, keeping high resolution of the image when illustrating the objects in three dimensions. The non-touch and non destructive technique of observation and data accumulating with the use laser beam keeps the studied object intact, which is so essential from the point of view of legal validity of the studied object as evidence. The speed of obtaining the data describing the object, possibility of simultaneous filing and sending the data at any distance, is applied when quick transportation of the evidence data is required between investigative centers, for example in order to have these interdisciplinary consulted or in order to compare and identify the obtained information with the resources in already existing databases [5,6]. The specific features of 3D scanning are low cost of the investigation per unit, simplicity of the service of the scanner, its mobility, independence from the external sources of energy, possibility of co-operation practically with every kind of investigative tools working in the digital techniques, in this particularly with the devices for imaging, recording and fixing the data. The wide range of operating conditions of the scanner allows to carry out registration of the data in the macroscopic scale for example from the scene of the site of event in the form of image of the whole evidence material, as well as observation and filing of the data in microscopic scale by imaging individual objects from the scene of the objective event. The registered image can be reproduced among others with the help of print out made with the 3D printer which may replace the techniques of plaster casts and models. Putting macroscopic and microscopic images one upon another gives full range and three-dimensional insight in the place of the event, additionally with the possibility of simulation of the hypothetical course of the event. The whole of such image practically eliminates the use of classic methods of filing based upon plaster casts and plaster models, situational drafts, or even the notations of the image in bi-planar dimension [7,8]. Particularly essential for the medical-forensic and criminalistic practice is the fact that the data obtained from the scanner Leica HDS 3000 are 'resistant' to any kind of secondary manipulations. The primary information about the registered space is always kept in the database in the state intact and it is always possible at every moment to come back to the original data from before processing thereof. This is of special meaning for assessment of the data from 3D scanning as the evidence materi-

Zastosowany przez autorów skaner jest jednak typowy dla rejestracji obrazów makroskopowych, mieliśmy zatem możliwość oceny jedynie złożonych obrazów makroskopowych.

## 7. Wnioski

Rejestracja obrazu skanerem 3D całego miejsca zdarzenia pozwala na permanentną i wnikliwą ocenę wszystkich szczegółów znajdujących się na obserwowanym i poddanym badaniom terenie z możliwością wielokrotnej rewizji tego samego obrazu. Te i potencjalnie jeszcze kolejne do odkrycia zastosowania skanowania 3D w medycynie sądowej w powiązaniu z innymi dyscyplinami naukowymi, stwarzają platformę do rozwoju nowych technik, metod i algorytmów postępowania w praktyce medyczno-sądowej, których potencjalny zakres może być nawet większy niż obecnie oczekiwany. Interdyscyplinarne skonsolidowanie doświadczeń, zasobów intelektualnych, technicznych, materialnych i logistycznych prowadzi do stworzenia nowego wieloskładnikowego i wielofunkcyjnego narzędzia. Jedną z istotnych części składowych takiego uniwersalnego narzędzia, poza mikroskopią elektronową, tomografią komputerową i obrazowaniem termowizyjnym, powinno być obrazowanie przestrzenne z zastosowaniem skanera 3D. Jest to szczególnie cenne i pełne możliwości nowe narzędzie badawcze, jakie rozwój technik cyfrowych pozwolił dać do dyspozycji badaczom.

al. However, the scanner applied by the authors is typical for registration of macroscopic images, so we had only the possibility to assess complex macroscopic images.

## 7. Conclusions

The registration of the image with 3D scanner for the whole place of the event enables to carry out permanent and thorough assessment of all the details which exist at the area which underwent observation and investigation, with the possibility of multiple revision of the same image. These applications of 3D scanning and those potentially to be discovered yet in the forensic medicine, in connection with other scientific disciplines, create the platform for development of the new techniques, methods and algorithms of conduct in the medical-forensic practice, whose potential range can be even larger than expected at present. The interdisciplinary consolidation of experiences, intellectual, technical, material and logistic resources can lead to creation of the new multi-component and versatile tool. One of essential components of such universal tool, besides to electron microscopy, computer scanning and thermo-visual imaging, should be spatial imaging with the use of a 3D scanner. This is a particularly valuable and full of possibilities new investigative tool that the development of digital techniques has given the investigators at their disposal.

## Literatura • References

- [1] Raszeja S., Nasiłowski W., Markiewicz J., *Medycyna Sądowa*. Warszawa, PZWL, 1990.
- [2] Maksymowicz K., *Skanowanie przestrzenne 3d, potencjalne możliwości w medycynie sądowej i kryminalistyce – doniesienie wstępne*. [w:] V Ogólnopolskie Seminarium Kryminalistyczne w Zielonej Górze, 2009.
- [3] Hanausek T., *Kryminalistyka – zarys wykładu*, Zakamycze, Kraków 2005.
- [4] Mazepa Jacek, *Vademecum technika Kryminalistyki*, Wolters Kluwer, Warszawa 2009
- [5] Craig Fries, Cutting Edge 3-D Reconstruction. *Forensic Magazine*, August/September, 2006.
- [6] *Texas police department adopts 3D laser scanner for crime scene investigation*, [www.innovmetric.com](http://www.innovmetric.com), 2006
- [7] *Forensic Storage & Technology Center*, [www.forensidjs.com](http://www.forensidjs.com), 2009.
- [8] *Forensic Image Visualization software*, [www.scincegl.com/Forensic](http://www.scincegl.com/Forensic), 2009.

---

\* Katedra Medycyny Sądowej Akademii Medycznej we Wrocławiu.

Department of Forensic Medicine, Medical University of Wrocław, Wrocław, Poland

\*\* Zakład Inżynierii Biomedycznej i Mechaniki Eksperymentalnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej. Biomedical Engineering and Experimental Mechanics Division, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

\*\*\* Katedra Medycyny Sądowej, Zakład Prawa Medycznego Akademii Medycznej we Wrocławiu.

Department of Forensic Medicine, Medical Law Unit at the Medical University of Wrocław, Wrocław, Poland

## Streszczenie

Oparta na skanerze laserowym 3D metoda dokumentacji otworzyła nowe horyzonty dla medycyny sądowej i kryminalistyki, głównie ze względu na jej zdolność faktycznie 'zamrożenia' jakiegokolwiek miejsca przestępstwa. Niektóre cechy, takie jak wysoka rozdzielczość zapisywania danych tworzących obraz, zachowując badany przedmiot w stanie nietkniętym, szybkość gromadzenia danych, możliwość bieżącego zapisu danych w postaci pliku i przesyłania ich na dowolną odległość, niski koszt pojedynczych oględzin, prostota konserwacji skanera, jego mobilność, niezależność od zewnętrznych źródeł energii, możliwości kooperacji z każdym rodzajem narzędzia badawczego operującego w technice cyfrowej, stawiają skaner 3D w roli przydatnego i wszechstronnego narzędzia w codziennej praktyce medycyny sądowej i kryminalistyki.

## Abstract

Based on 3D laser scanner method of documentation has opened new prospects for forensic medicine and crime detection, mainly in respect to its ability to virtually 'freeze' any crime scene. Some features like high resolution of the imaging data recording, preserving the examined object in intact state, speed of data collection, possibility of instant data filing and transmission at any distance, low cost of singular examination, simplicity of scanner maintenance, its mobility, independence from an external source of energy, possibility of cooperation with every kind of research tool working in digital technique, put the 3D scanner as a useful and versatile tool in everyday forensic medicine and crime detection practice.

Tomasz Waligórski

## Pomiary w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie z wykorzystaniem skanowania laserowego 3D

### Survey in the Bear Cave in Kletno with the use of the 3D laser scanner

#### 1. Wstęp

Przez dwadzieścia pięć lat, od momentu otwarcia Jaskini Niedźwiedziej dla ruchu turystycznego, ok. 1,5 miliona osób przemierzyło jej wąskie korytarze, zwiedzając sale i podziwiając złożoną rzeźbę. Aby przygotować jaskinię na kolejne setki lat wizyt zwiedzających należy określić sposób pozwalający zachować ją w jak najlepszym stanie, jednocześnie umożliwiając ludziom podziwianie jej przepięknych wnętrz.

W dzisiejszych czasach nowoczesne laserowe techniki pomiarowe pozwalają na stworzenie trójwymiarowych modeli wnętrza jaskini, które określają jej reakcję na ludzką działalność. Umożliwią one kontrolę uformowania złożonej rzeźby jaskiń, a także określenie działania czynników klimatycznych. Stworzenie cyfrowego modelu pozwala na zaprojektowanie i wykonanie chodników, schodów i tras koniecznych przy udostępnieniu danej jaskini do zwiedzania. W takim modelu można mierzyć, oznakowywać, określać wszystkie wymiary stalaktytów i stalagmitów jak i innych form występujących w danej jaskini.

Skanowanie laserowe 3D oraz uzyskane w efekcie cyfrowe modele są odpowiedzią na pytanie jak najlepiej użytkować, chronić a także monitorować. Niniejsze opracowanie przedstawia kolejne etapy prac pomiarowych a także skanowania laserowego wykonanych w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie.

#### 1. Introduction

For about twenty five years since the moment when the Bear Cave was opened for tourists about 1.5 million people have visited its narrow corridors and rooms, admiring the Cave's elaborate shape. In order to prepare the Cave for next hundreds of years of visits there should be defined the best possible way to preserve it and at the same time to allow the visitors to admire its beautiful interiors.

At present the modern laser measurement techniques enable the creating of three-dimensional models of the Cave interiors which also demonstrate its reaction to human activity. Furthermore, they help to control the formation of the elaborate cave shape as well as measure the effect of the climatic factors. The development of a digital model enables the designing and constructing walking passages, steps and trails needed for the tourists visiting a given cave. In this model one can measure, mark and determine all dimensions of stalactites and stalagmites as well as other formations which appear in a given cave.

3D laser scanning and the resulting digital models are the response to the question of what is the best way of using, preserving and monitoring the caves. This paper presents the successive steps of the surveying as well as laser scanning conducted in the Bear Cave in Kletno.



## 2. Dotychczasowe prace geodezyjne oraz przegląd metod stosowanych przy tworzeniu modelu Jaskini Niedźwiedziej

W czerwcu 1983 roku pierwsi turyści zwiedzili korytarze Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie. Poprzedziły to wieloletnie prace odkrywcze i przygotowawcze, które zapoczątkowane zostały przypadkowym odkryciem jaskini przez Romana Kińczyka podczas kolejnego dnia eksploatacji kamieniołomu Kletno III [1]. To wydarzenie pociągnęło za sobą szereg badań oraz wypraw w głąb jaskini, w których swój udział mieli także geodeci.

Pierwszym efektem prac geodezyjnych w jaskini było założenie przestrzennego ciągu poligonalnego, który został pomierzony w latach 1975–1979 w ramach obozów naukowych przez studentów Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Podczas tych prac wykonano również mapy sytuacyjno-wysokościowe wnętrza jaskini, co pozwoliło na określenie położenia korytarzy, komór oraz rzeźby poszczególnych sal. Kolejnym etapem pomiarów było rejestrowanie pionowych zmian górotworu jaskini zarówno na zewnątrz, jak i w jej wnętrzu. Pomiary te wykonano w oparciu o sieć reperów niwelacji precyzyjnej założoną w lutym 1984 roku [2].

Kolejne prace geodezyjne wykonywane w Jaskini Niedźwiedziej miały na celu przedstawienie jej wnętrza przy pomocy modelu przestrzennego. Pierwszy z nich został wykonany przez Joannę Bac oraz Mirosława Kaczałkę w 1979 [3]. Model ten powstał na podstawie przekrojów pionowych jaskini płaszczyznami świetlnymi, które sfotografowano po uprzednim wyznaczeniu ich laserem.

Na podstawie tych przekrojów, w 2001 roku, Tomasz Baran w wyniku digitalizacji stworzył cyfrowy model przedstawiający wnętrza Jaskini Niedźwiedziej w postaci tuneli i korytarzy z ich wklęsłościami i wypukłościami [4]. Następną próbę stworzenia modelu podjął Maciej Puchała, który w swojej pracy magisterskiej do wykonania modelu wykorzystał pomiar tachimetryczny. Pomierzył on siatkę punktów rozmieszczonych w poziomych pasach od 5 do 40 cm w zależności od rzeźby Jaskini Niedźwiedziej [5].

Kolejny model przedstawiający fragment Sali Pałacowej w Jaskini Niedźwiedziej powstał przy użyciu metod fotogrametrycznych. Wykonał go Grzegorz Sztonyk, który w 2005 roku sfotografował wnętrza jaskini, a następnie pomierzył geodezyjnie zamarkowane wcześniej fotopunkty. Pozwoliło to na wpasowanie i orientację wykonanych zdjęć, a także dowiązanie do istniejącej osnowy i wyskalowanie powstałego modelu. Niestety zbyt złożona budowa rzeźby wnętrza Jaskini Niedźwie-

## 2. The surveys conducted so far and the review of the methods used in the development of the Bear Cave model

The first tourists visited the corridors of the Bear Cave in Kletno in June 1983. It was preceded by many years of exploration and preparation which started when the Cave was accidentally discovered by Roman Kińczyk during the regular exploration of Kletno III Quarry [1]. This event triggered a number of surveys and exploratory missions into the depth of the Cave in which geodesists also participated.

The first effect of the geodetic works in the Cave was the assumption of the spatial polygonal traverse which was measured in the years 1975–1979 during the scientific field research by the students of the Agricultural University of Wrocław. During those works the planimetric and contour maps of the Cave interiors were also developed, which enabled the locating of the corridors, chambers and the determining of the shape of individual rooms. Another stage of the measurements was the registration of vertical changes in the rock body of the Cave both outside and inside. The measurements were conducted on the basis of the network of the precise leveling benchmarks developed in February 1984 [2].

The objective of the next geodetic works conducted in the Bear Cave was to present its interior with the use of a 3D model. The first of them was made by Joanna Bac and Mirosław Kaczałek in 1979 [3]. Their model was developed on the basis of the vertical cross sections of the Cave along the light planes which had been photographed after marking with the laser.

In 2001, Tomasz Baran, on the basis of these cross sections digitalization developed a digital model presenting the interiors of the Bear Cave in the form of tunnels and corridors with its visible concavities and convexities [4]. The next attempt was made by Maciej Puchała who, in his master's thesis, used the tachymetric measurements in order to develop the model. He measured the network of points distributed in horizontal 5 to 40 cm wide bands, depending on the shape of the Bear Cave [5].

The next model presenting a fragment of the Palace Room in the Bear Cave was developed with the use of photogrammetric methods. It was developed by Grzegorz Sztonyk, who in 2005 photographed the interiors of the Cave and then geodetically measured the control points marked earlier. This enabled him to locate and orient the pictures, as well as attach them to the existing network and scale the developed model. Unfortunately because of the highly complex structure of the interiors of

dziej oraz liczne inne czynniki utrudniły opracowanie i utworzenie kompletnego modelu fragmentu Sali Pałacowej [6].

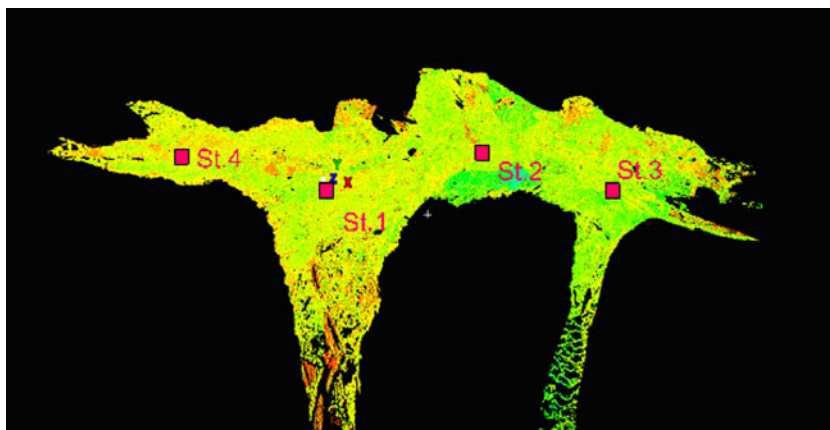
### 3. Skaner laserowy w Jaskini Niedźwiedziej

W lipcu 2008 roku, w ramach pracy magisterskiej, autor wykonał kolejne pomiary wewnątrz Jaskini Niedźwiedziej [7]. Dzięki uprzejmości dr inż. Jaceka Kościuka z Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, który udostępnił skaner laserowy Leica HDS 3000, w ciągu 24 godzin zebrano informacje z 4 stanowisk pomiarowych, na którą składa się ponad 76 milionów punktów określonych poprzez współrzędne (X, Y, Z) a także wartość RGB pobraną przez kamerę wbudowaną wewnątrz skanera.

the Bear Cave and other numerous factors it was difficult to prepare and develop a complete model of the fragment of the Palace Room [6].

### 3. The laser scanning in the Bear Cave

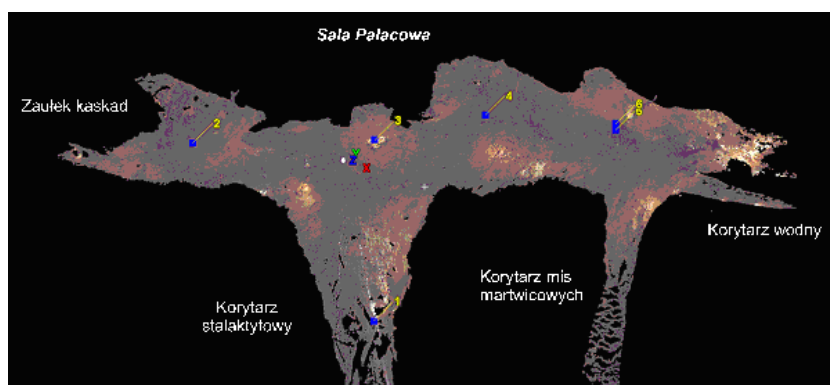
In July 2008, as part of my master's thesis, I conducted the next measurements of the interiors of the Bear Cave [7]. Thanks to the courtesy of Jacek Kościuk, Eng.D. from the 3D Scanning and Modeling Laboratory, who made the Leica HDS 3000 laser scanner available, it was possible within 24 hours lasting session, to collect information from four scan stations including over 76 million points with known X, Y, Z coordinates as well as their RGB value which has been acquired the internal camera of the scanner.



Rys. 1. Rozmieszczenie stanowisk skanera i chmura punktów  
Fig. 1. Scan stations positions and 3D point cloud

Pomiar mający na celu zeskanowanie wnętrza Sali Pałacowej rozpoczął się od rozstawienia tarcz HDS, które w dalszym procesie opracowania pozwoliły na połączenie chmur punktów uzyskanych z poszczególnych stanowisk. Sześć tarcz celowniczych zostało rozstawionych na całej powierzchni Sali Pałacowej, a następnie określono ich położenie.

The survey whose purpose was to scan the interior of the Palace Room began by positioning the HDS targets which in further processing enabled the connection of the point clouds acquired from subsequent scan stations. Six targets were positioned on the whole surface of the Palace Room and then their locations were determined.



Rys. 2. Rozmieszczenie tarcz celowniczych HDS i chmura punktów  
Fig. 2. Targets positions and 3D point cloud

Początkowo zaplanowano, iż układ współrzędnych całego projektu będzie zgodny z ciągiem poligonowym założonym w latach 1975-1979. W ten sposób tworzony model zostałby wpasowany w lokalny układ jaskini. Niestety w związku z niedawnymi pracami wykonanymi w Jaskini Niedźwiedziej (udostępnienie jej osobom niepełnosprawnym, poruszającym się na wózkach inwalidzkich), zostały zniszczone punkty wyżej wspomnianego ciągu. Nie pozwoliło to na wyznaczenie pozycji tarcz we wspomnianym układzie. Ze względu na powyższe utrudnienie, wyznaczenie pozycji tarcz zostało wykonane w lokalnym układzie współrzędnych. Obliczone współrzędne zostały zestawione w tabeli 1.

It was originally planned that the coordinates system of this project will be related to the spatial polygonal traverse which was measured in the years 1975–1979. This way the model being developed would fit the local coordinates system of the Cave. Unfortunately, as a result of recent works conducted in the Bear Cave (making it accessible for the disabled persons in wheelchairs), the mentioned earlier reference points in the passage were destroyed and consequently it was impossible to calculate the positions of the targets in the system of Cave coordinates. Due to that difficulty, the positions of the targets were calculated in the local coordinate system. Table 1 shows the calculated results.

Tab. 1. Zestawienie współrzędnych tarcz celowniczych HDS  
*List of coordinate targets HDS*

Numer tarczy HDS <i>HDS target number</i>	X	Y	H
1	1013.87	1000.00	100.000
2	994.51	1011.11	100.918
3	997.62	995.91	100.058
4	997.52	986.16	99.712
5	1001.12	975.64	98.717
6	1001.12	975.63	100.168

Określenie pozycji dokładnej tarcz HDS pozwoliło na połączenie w procesie rejestracji chmur punktów zarejestrowanych poszczególnych stanowiskach do wspólnego układu współrzędnych. W wykonanym połączeniu chmur punktów, przedstawiających wnętrza Sali Pałacowej, wartości błędów wpasowania tarcz pomiędzy kolejnymi stanowiskami nie przekraczały 2 mm, co świadczy o bardzo dużej dokładności wykonanych pomiarów. Rysunek 3 przedstawia szczegółowe zestawienie błędów na poszczególnych tarczach.

Known coordinates of HDS targets enabled the so called registration process – connecting all point clouds acquired from several scan stations into common coordinates system. The registered point cloud, representing the interiors of the Palace Room, show values of the target registration errors and vector errors between the individual stations as not exceeding 2 mm, which testifies to a very high accuracy the survey. Figure 3 shows a detailed list of errors in specific targets.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
TargetID: 3	stanowisko 1 (...)	stanowisko 2 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.001) m
TargetID: 4	stanowisko 1 (...)	stanowisko 2 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 1 (...)	stanowisko 2 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 5	stanowisko 1 (...)	stanowisko 2 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 3	stanowisko 1 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.001) m
TargetID: 4	stanowisko 1 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 1 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.002, 0.000, -0.001) m
TargetID: 5	stanowisko 1 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000) m
TargetID: 3	stanowisko 1 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 1 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 5	stanowisko 1 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 2	stanowisko 1 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.001, -0.001) m
TargetID: 5	stanowisko 2 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 2 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, 0.000, -0.001) m
TargetID: 4	stanowisko 2 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000) m
TargetID: 3	stanowisko 2 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 5	stanowisko 2 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 2 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 3	stanowisko 2 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, -0.001, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 3 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.002, 0.001, 0.001) m
TargetID: 3	stanowisko 3 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, -0.001, -0.001) m
TargetID: 5	stanowisko 3 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m

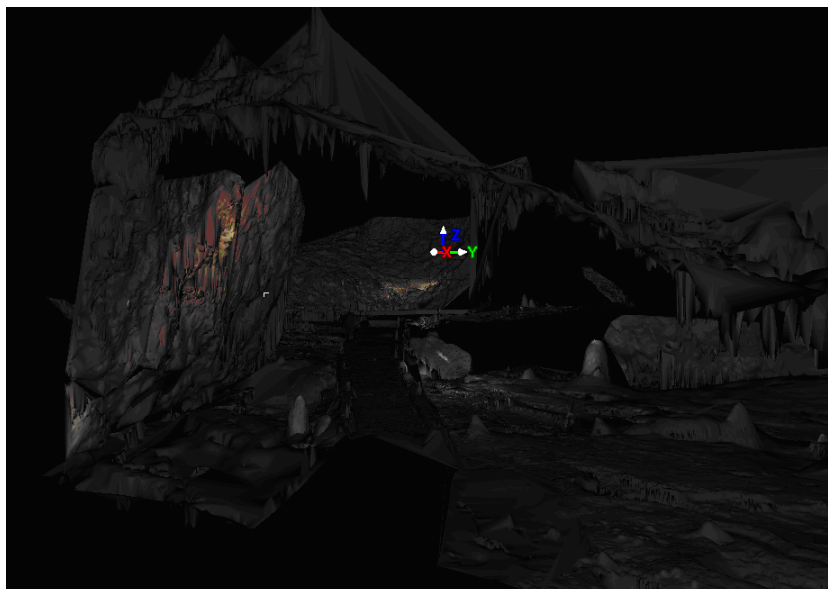
Rys. 3. Zestawienie wartości błędów wpasowania tarcz HDS  
*Fig. 3. List of HDS target registration errors and vector errors*

Przy pomiarze Jaskini Niedźwiedziej najczęściej zastosowano gęstość skanowania 3 mm w pionie i 5 mm w poziomie. Dobór gęstości skanowania był uzależniony przede wszystkim od struktury i budowy danego fragmentu Sali Pałacowej. W miejscach, gdzie budowa ściany była bardzo skomplikowana, stosowano maksymalną rozdzielczość (1,2 x 1,2 mm), co pozwala na bardziej wierną reprezentację danego fragmentu. W przypadku skanowania płaskich obszarów, których struktura była mniej złożona, zastosowano rozdzielczości na poziomie 5 mm w pionie i poziomie.

Wykonane skanowanie pozwoliło autorowi na stworzenie fragmentu modelu przestrzennego wnętrza Jaskini Niedźwiedziej, a także dają możliwość dalszych prac – generowania przekrojów poprzecznych i podłużnych, powlekania chmury punktów zdjęciami z zewnętrznego aparatu cyfrowego itp.

When surveying the Bear Cave the most often used scanning density was that of 3 mm vertically and 5 mm horizontally. The choice of scanning density was determined mainly by the texture and structure of the specific fragment of the Palace Room. In places where the structure of the walls was very complicated the maximum density was applied (1.2 x 1.2 mm), which provides a more precise representation of the given fragment. In the case of scanning more flat surfaces, whose structure was less complex, the density of 5 mm vertically and horizontally was applied.

The conducted scanning survey enabled author to develop a fragment of the 3D model of the Bear Cave interiors. They also enable further works – the development of the cross and longitudinal sections, covering the point cloud with pictures from external camera, etc.



Rys. 4. Przestrzenny model fragmentu Jaskini Niedźwiedziej  
*Fig. 4. 3D model of Bear Cave fragment*

#### 4. Kontynuacja prac w roku 2009

Dotychczasowe rezultaty pomiarów z wykorzystaniem skanera laserowego wykonane w Jaskini Niedźwiedziej wpłynęły na decyzję o kolejnych pracach mających na celu zobrazowanie dalszej części Jaskini Niedźwiedziej i połączenie ich z istniejącymi już danymi. Prace te uzyskały także życzliwe poparcie Dyrekcji Jaskini Niedźwiedziej.

Dzięki współpracy pomiędzy Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D przy Instytucie Historii Architektury Sztuki i Techniki na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej, Instytutem Geodezji i Geoinformatyki na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, a także Leica

#### 4. Continuation of the project in 2009

The results of the measurements achieved so far with the use of laser scanning in the Bear Cave influenced the decision to continue the works in order to document further sections of the Bear Cave and to connect them with the already existing data. The works have been also appreciated and supported by the Management of the Bear Cave.

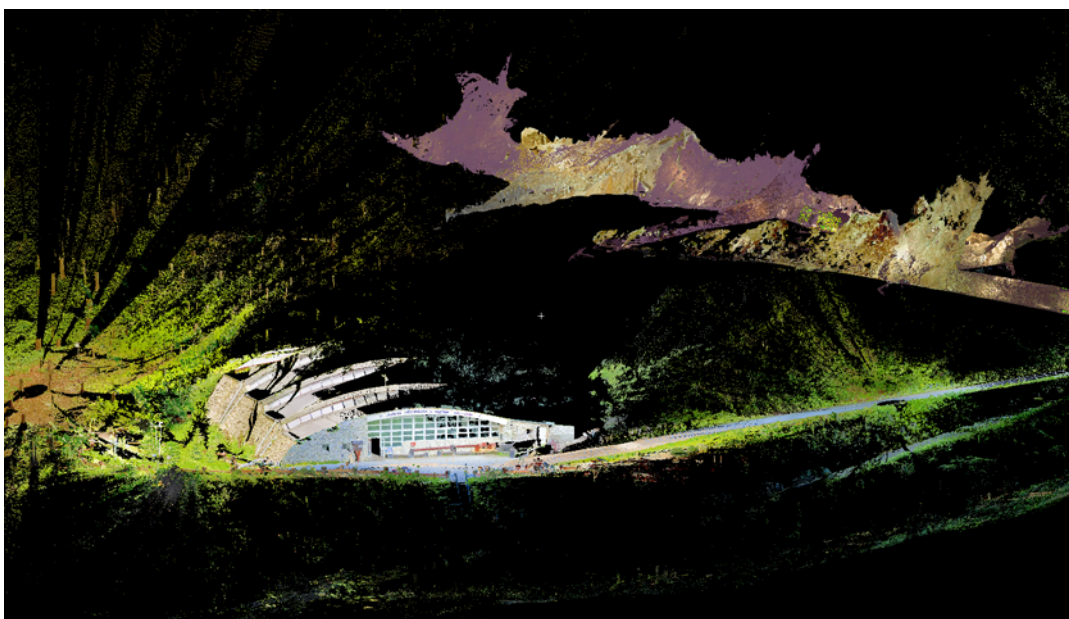
Due to the cooperation between the 3D Scanning and Modeling Laboratory at the Institute of History of Architecture, Art and Technology of the Faculty of Architecture at Wrocław University of Technology, as well as the Institute of Geodesy and Geoinformatics at the Faculty of Environmental Engineering and Geodesy at Wrocław University of Environmental and

Geosystems Polska, która uczestniczyła w pomiarach z drugi skanerem laserowym, w pierwszych dniach lipca 2009 roku udało się pomierzyć kolejne fragmenty korytarzy jaskini.

W ciągu 24 godzin z 17 stanowisk zeskanowano elewację zewnętrzną pawilonu wejściowego na tle zbocza góry Stromej, wyjście z jaskini wraz z otaczającym go terenem, sztolnię wyjściową, a także Korytarz Wodny prowadzący do Sali Pałacowej. Dodatkowa wizyta w początkach sierpnia 2009 pozwoliła uzupełnić te dane o dokumentację zbocza góry Stromej. W ten sposób wykonany w 2008 roku pomiar został wzbogacony o duży obszar otaczającego terenu oraz następne fragmenty wnętrza jaskini, co pozwala na przedstawienie jej usytuowania przestrzennego.

Life Sciences and also Leica Geosystems Poland which joined project with another laser scanner, it was possible in the first days of July 2009 to scan next fragments of the Cave corridors.

During scanning session lasting 24 hours, the external facade of the entrance hall together with slopes of Stroma Mountain, the Cave entrance with its surrounding area, as well as the exit tunnel and the Water Corridor leading to the Palace Room were scanned from 17 scanning stations. During the additional visit at the beginning of August 2009 these data were completed with survey of Stroma Mountain slopes. This way the measurement conducted in 2008 was supplemented with a large part of surrounding area and further sections of the Cave, which enables the presentation of its spatial orientation.



Rys. 5. Fragment Jaskini Niedźwiedziej wraz z pawilonem wejściowym – chmura punktów  
Fig. 5. Fragment of Bear Cave together with entrance hall – 3D point cloud

## 5. Wstępne opracowanie wyników

Jednym z wyników skanowania Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie, jest powstający przestrzenny model przedstawiający jej wnętrza. Pierwsze fragmenty tego modelu przedstawia rysunek 6, na którym można zaobserwować bardzo wiernie odwzorowaną strukturę ścian Sali Pałacowej.

Na podstawie powstałego przestrzennego modelu stworzono linie przekrojowe poziome i pionowe. Na rysunku 7 przedstawione zostały przekroje w dwóch płaszczyznach wygenerowane w odstępach 20 cm.

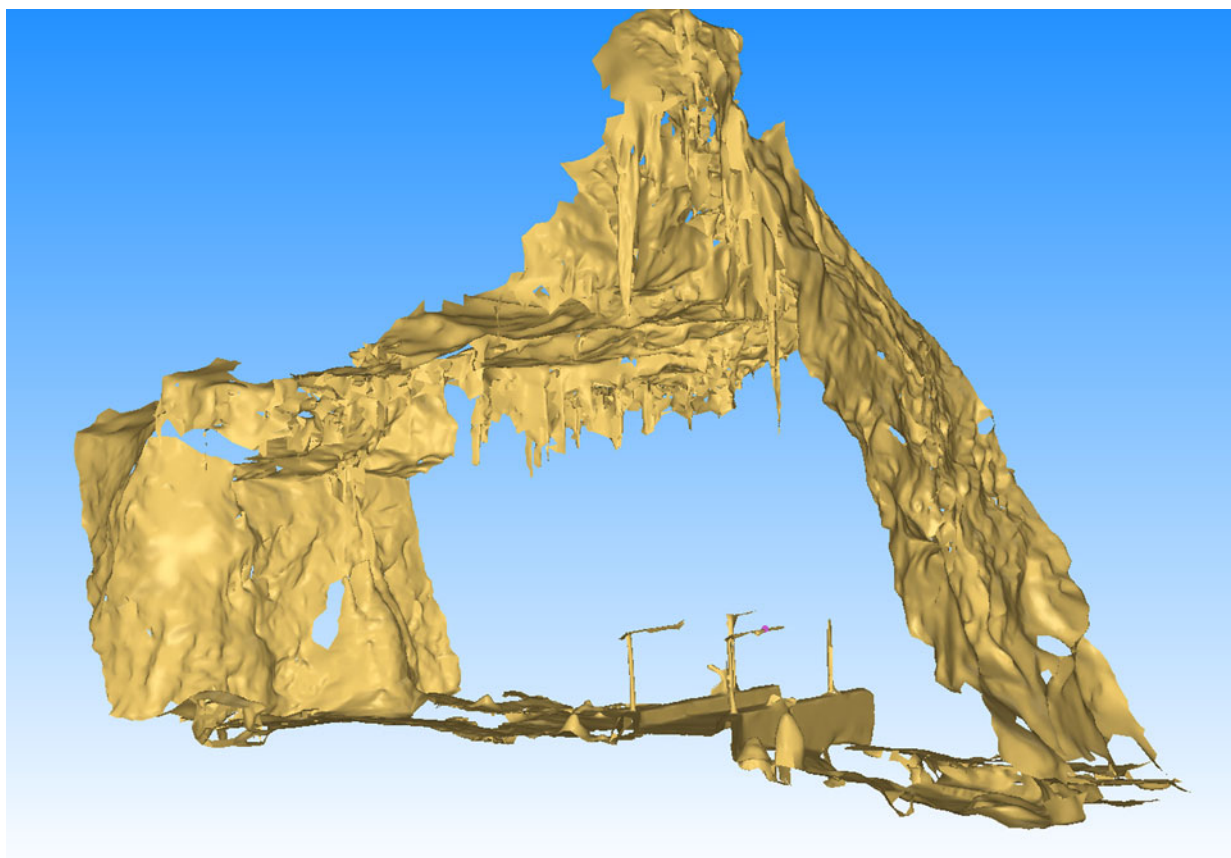
Ponieważ cały system korytarzy Jaskini Niedźwiedziej liczy ponad 3,5 km, w tym znaczna część dostępna dla skanera, to w kolejnych sezonach planowana jest kontynuacja prac mających na celu rejestrację całości wnętrza jaskini, a także otaczającego ją terenu.

## 5. Preliminary evaluation of the results

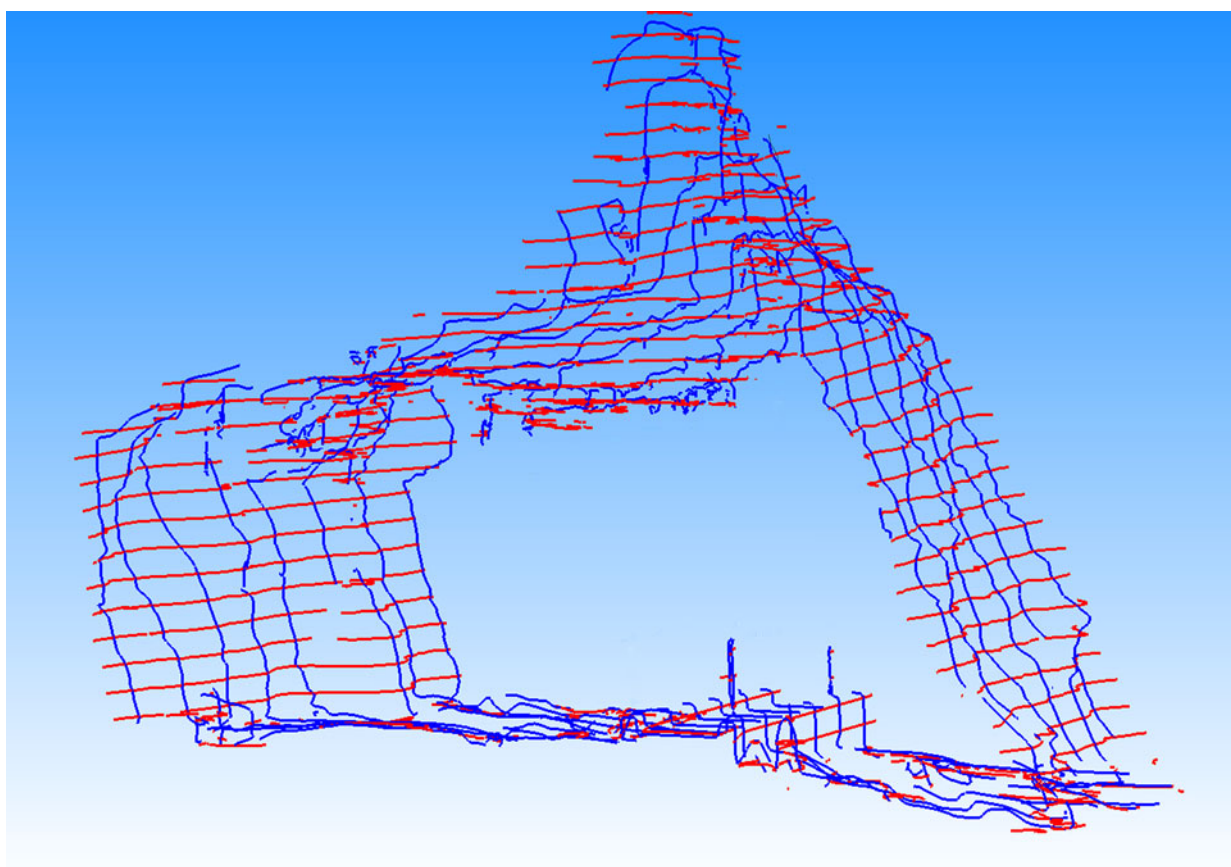
One of the results of the scanning of the Bear Cave in Kletno is the 3D model of its interiors. The first fragments of this model are presented in figure 6 where one can see a very precise representation of the texture of the Palace Room walls.

The spatial model which was developed was the basis of the horizontal and vertical cross section lines. Figure 7 shows the cross sections in two planes generated every 20 cm.

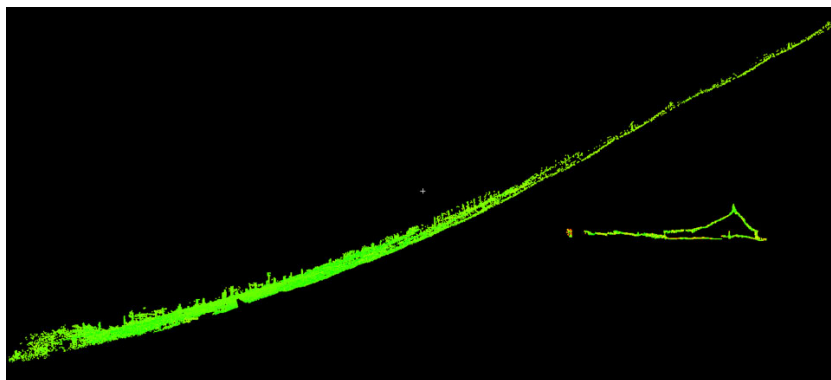
Due to the fact that the whole system of corridors in the Bear Cave, whose huge part is accessible for the scanner, is over 3.5 km long the continuation of the works aimed at recording the whole interior of the Cave as well as its surrounding area is planned in the next seasons.



Rys. 6. Fragment modelu siatkowego przedstawiający wnętrza Jaskini Niedźwiedziej  
*Fig. 6. Fragment of the Bear Cave interior meshed model*



Rys. 7. Linie przekrojowe w płaszczyźnie pionowej i poziomej  
*Fig. 7. Vertical and horizontal section lines*



Rys. 8. Przekrój przez Jaskinię Niedźwiedzią i zbocza góry Stromej  
 Fig. 8. The cross section of the Bear Cave and the slopes of Stroma Mountain

## Literatura • References

- [1] Ciężkowski Wojciech, *Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie. 40 lat eksploracji, badań, ochrony i turystyki*, Wrocław-Kletno 2006.
- [2] *Badanie przemieszczeń masywu Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie*, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.
- [3] Bac-Bronowicz Joanna, Kaczałek Mirosław, *Fotogrametryczne określenie kształtu jaskiń na przykładzie Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie*, praca magisterska, Wrocław 1979.
- [4] Baran Tomasz, *Cyfrowy Przestrzenny Model Jaskini*, praca magisterska, Wrocław 2001.
- [5] Puchała Maciej, *Budowa cyfrowego modelu jaskini na podstawie pomiarów geodezyjnych*, praca magisterska, Wrocław 2003.
- [6] Sztonyk Grzegorz, *Budowa cyfrowego modelu jaskini na podstawie pomiarów fotogrametrycznych*, praca magisterska, Wrocław 2005.

---

\*Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

Laboratorium zorganizowane zostało przy Instytucie Historii Architektury, Sztuki i Techniki na Wydziale Architektury w ramach działania SPO WKP 1/1.4.2/2/2005/87/168/464

\*Laboratory of 3D Scanning and Modeling, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

The Laboratory was organized at the Institute of History of Architecture, Arts and Technology at Faculty of Architecture (project SPO WKP 1/1.4.2/2/2005/87/168/464)

---

## Streszczenie

Jaskinia Niedźwiedzia, odkryta w 1966 roku, jest najdłuższą i jedną z najpiękniejszych jaskiń w Sudetach. Przez ponad 40 lat eksploracji i badań nie została ona w całości poznana. Niniejsza praca przedstawia opis pomiarów geodezyjnych i innych prac wykonanych w Jaskini Niedźwiedziej. Pomiarów rozpoczęto w 1975 roku poprzez założenie przestrzennego ciągu poligonowego a następnie sieci reperów niwelacji. Kolejnym krokiem była próba zbudowania trójwymiarowych modeli Jaskini Niedźwiedziej z wykorzystaniem różnych metod geodezyjnych (również opisanych w niniejszym artykule). Wykorzystanie skanera laserowego 3D, którego pierwszy raz użyto w lipcu 2008 roku, umożliwiło zbudowanie modelu 3D fragmentu Sali Pałacowej w Jaskini Niedźwiedziej. Prace kontynuowano w roku 2009 w innych częściach jaskini, dzięki czemu model ten został ulepszony. Zebrane dane są cały czas analizowane, a w przyszłości planowane są dalsze pomiary Jaskini Niedźwiedziej (z wykorzystaniem skanera laserowego 3D).

## Abstract

The Bear Cave, discovered in 1966, is the longest and one of the most beautiful caves in the Sudety Mountains. For over 40 years of exploration and measurements its whole structure has not been entirely exposed. This paper presents the description of the geodetic measurements and other works conducted in the Bear Cave. The measurements started in 1975 by the creation of polygonal traverses in corridors and leveling. Next step included the attempts at creating three-dimensional models of the Bear Cave using different geodetic methods (described in the article too.) The 3D laser scanner was used for the first time in July 2008 and it enabled the creation of a 3D model of Palace Room's fragment in the Bear Cave. The works continued in 2009 in other parts of the Cave. In this way the 3D model was improved. The collected data are still being processed and in the future the measurements (3D scanning) of the Bear Cave are also planned.

Jacek Kościuk\*

## 3D scanning and modeling of the upper terrace of the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari as an example of architectural heritage documentation for restoration purposes

### Skanowanie i modelowanie 3D górnego tarasu świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari jako przykład dokumentacji dla celów konserwatorskich

#### 1. Organizacja i cele projektu

W odpowiedzi na uprzejme zaproszenie Centrum Archeologii Śródziemnomorskiej w Polsce zespół Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D (LabScan3D) i Leica Geosystems Polska wziął udział w marcu 2009 r. w polsko-egipskiej misji archeologiczno-konserwacyjnej do świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari<sup>1</sup> i rozpoczął pilotażowy projekt skanowania 3D. W zespole pracującym na miejscu znaleźli się Waldemar Kubisz z Leica Geosystems Polska i Jacek Kościuk z LabScan3D. Zespół otrzymał także pomoc przedstawicieli Leica Geosystems w Egipcie i oraz Łukasza Żaka Instytutu Geodezji i Kartografii, który wykonał osnowę geodezyjną składającą się z 31 punktów referencyjnych.

Głównym celem projektu było sprawdzenie możliwości i przydatności najbardziej zaawansowanych metod pozyskiwania danych przestrzennych i wizualnych do dokumentacji Górnego Tarasu świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari. Na podstawie aktualnego planu pracy misji, do skanowania wybrano dwa obszary – tak zwany Komplex Królewskiego Kultu Pośmiertnego w południowej części tarasu i Komplex Kultu Słońca po jego przeciwnej, północnej stronie. Dodatkowo, dwa uzupełniające stanowiska skanowania w środkowej części Górnego Dziedzińca łączyły ze dane z obu kompleksów. W sumie projekt obejmował 33 stanowiska skanowania, pokrywające w całości wybrany obszar badań.

#### 1. Project organization and its objectives

Following the kind invitation from the Polish Centre of Mediterranean Archeology, a team of Laboratory of 3D Scanning and Modeling (LabScan3D) and Leica Geosystems Poland joined in March 2009 the Polish-Egyptian Archeological and Conservation Mission at the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari<sup>1</sup> and launched a pilot 3D scanning project. The field team consisted of Waldemar Kubisz from Leica Geosystems Poland and Jacek Kościuk from LabScan3D. Additionally the team was backed up by local Leica Geosystems representative from Egypt and Łukasz Żak – from the Institute of Geodesy and Cartography who established on the field a network of 31 reference points.

The main aim of this test was to check abilities and suitability of the most advanced methods of spatial and visual data collection for documenting the Upper Terrace of the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari. According to the current working plan of the Mission, two areas of the Upper Terrace has been chosen for scanning – the so called Complex of the Royal Mortuary Cult located at the southern part of the terrace and the Complex of the Sun Cult situated on the opposite northern part of the area. Additionally, two supplementary scanner positions has been added on the central area of the Upper Courtyard to combine both the complexes. All together, the project ended with 33 scanner positions fully covering the both main areas in question.



Cały projekt składał się z dwóch faz – skanowania, które zajęło 5 dni roboczych, a następnie dokumentacji skanowanych wcześniej ścian za pomocą zdjęć cyfrowych wysokiej rozdzielczości. Ta druga faza trwała 2 tygodnie. Już jednak po pierwszym tygodniu pracy na miejscu zespół był w stanie przedstawić pierwsze wyniki, które omówiono na dwóch wykładach w Muzeum Mumifikacji w Luksorze i w Polskim Centrum Archeologii Śródziemnomorskiej w Kairze. Te wstępne wyniki były także prezentowane w czerwcu 2009 r. podczas dorocznej konferencji “Polacy nad Nilem” na Uniwersytecie Warszawskim. Dalsze opracowanie zebranych w terenie danych wykonywano już w LabScan3D. Choć proces ten nie jest jeszcze w pełni ukończony, przyniósł on wiele ciekawych obserwacji, które stanowią przedmiot niniejszego artykułu.

## 2. Sprzęt

Podstawowym elementem wyposażenia używanego w terenie był skaner Leica HDS 6000 używany przez Leica Geosystems<sup>2</sup>. Specyfikacja techniczna skanera Leica HDS 6000 jest następująca:

- typ urządzenia – skaner fazowy z pełnym polem widzenia
- pole widzenia (na skan) – w poziomie 360° (maksimum), w pionie 310° (maksimum)
- zasięg – 79m @90%; 50 m @18 % albedo
- prędkość skanowania – maksymalnie do 500.000 pkt./sek
- czas skanowania (pełna panorama) – wstępny widok: 25 s; średnia rozdzielczość: 1 min 40 s; wysoka rozdzielczość: 3 min 22 s; bardzo wysoka rozdzielczość: 6 min 44 s; ultra wysoka rozdzielczość: 26 min 40 s
- rozdzielczość skanowania przy odległości 10 m – 1,6 mm dla ultra wysokiej rozdzielczości
- rozdzielczość skanowania przy odległości 50 m – 7,9 mm dla ultra wysokiej rozdzielczości
- dokładność pojedynczego pomiaru
  - położenie: 6 mm (zasięg 1 m do 25 m)
  - 10 mm (zasięg do 50 m)
  - odległość ≤ 4mm przy 90% albedo przy 25 m
  - ≤ 5mm at 18% albedo przy 25 m
  - ≤ 5mm at 90% albedo przy 50 m
  - ≤ 6mm at 18% albedo przy 50 m
  - kąt (H/V) – 125 μrad/125 μrad, 1 sigma
- dokładność modelowanej powierzchni – 2 mm przy 25 m; 4 mm przy 50 m
- dokładność rejestracji tarcz celowniczych – 2 mm odchylenia standardowego
- skupienie wiązki – 3 mm na wyjściu; 8 mm @25 m; 14 mm @50 m

The whole project consisted of two phases – scanning, which took 5 working days and following it, recording of all the previously scanned walls on high resolution digital pictures. This second phase lasted for 2 weeks. However, already after the 1<sup>st</sup> week of the field work, the team was able to show up with first results which has been displayed during two lectures held at the Museum of Mumification in Luxor and at the Polish Centre of Mediterranean Archeology in Cairo. Further presentation of these preliminary results took place in June 2009 in Warsaw during conference “Polacy nad Nilem” which is annually held at Warsaw University. Further data evaluation took place at LabScan3D and although not fully finished, jelled with many interesting observations which are main subject of this paper.

## 2. Hardware equipment

The core item of the equipment engaged on the field was Leica HDS 6000 scanner kindly provided by Leica Geosystems<sup>2</sup>. The technical specification of Leica HDS 6000 scanner is as follows:

- instrument type – phase-based, scanner with full field-of-view
- field-of-view (per scan) – horizontal 360° (maximum), vertical 310° (maximum)
- range – 79m @90%; 50 m @18 % albedo
- scan rate – up to 500,000 points/sec, maximum
- scan time (full dome) – preview: 25 sec; middle resolution: 1 min 40 sec; high resolution: 3 min 22 sec; super high resolution: 6 min 44 sec; ultra high resolution: 26 min 40 sec
- point spacing at range 10 m – 1.6 mm at ultra high resolution
- point spacing at range 50 m – 7.9 mm at ultra high resolution
- accuracy of single measurement
  - position: 6 mm (1 m to 25 m range)
  - 10 mm (to 50 m range)
  - distance ≤ 4mm at 90% albedo up to 25 m
  - ≤ 5mm at 18% albedo up to 25 m
  - ≤ 5mm at 90% albedo up to 50 m
  - ≤ 6mm at 18% albedo up to 50 m
  - angle (H/V) – 125 μrad/125 μrad, 1 sigma
- modeled surface accuracy – 2 mm at 25 m; 4 mm at 50 m
- target acquisition – 2 mm std. deviation
- scan resolution – spot size 3 mm at exit; 8 mm @25 m; 14 mm @50 m

– waga urządzenia – 14 kg (włącznie ze zintegrowaną baterią); 2,5 kg zasilacz; ok. 24 kg waga całości w skrzyni transportowej.

Do fotografii cyfrowej użyto kamery FujiFilm S5 Pro z kalibrowanym<sup>3</sup> zestawem obiektywów od 8 mm (rybie oko) do 55 mm dostarczonych przez LabScan3D wraz ze wszystkim adapterami potrzebnymi, aby połączyć kamerę ze skanerem HDS 6000. Rozdzielczość kamery wynosiła 12 mln pikseli.

– instrument weight – 14 kg (includes integrated battery); 2,5 kg AC Power Supply; ca. 24 kg shipment weight in the transportation box.

For digital photographing FujiFilm S5 Pro with calibrated<sup>3</sup> set of lenses ranging from 8 mm (Fish Eye) to 55 mm has been supplied by LabScan3D, together with all adaptors necessary to combine the camera with HDS 6000 scanner. The camera resolution is 12 mln of pixels.



Rys. 1. Skaner Leica HDS 6000 ustawiony na spodarcie  
Fig. 1. Leica HDS 6000 scanner mounted on tribrach

### 3. Oprogramowanie użyte w projekcie

Proces skanowania oraz przetwarzania wszystkich danych oparto o zestaw oprogramowania Leica Cyclone. Do opracowania danych i zestawienia wyników użyto Bentley MicroStation (główna platforma CAD w LabScan3D) oraz Bentley Descartes (do przetwarzania danych rastrowych). Poza tym zastosowano PTGui Pro do łączenia obrazów z kamery w panoramy sferyczne i odwzorowania walcowe równoodległościowe (tzw. obrazy *equirectangular*), oraz Panotools – niezbędny dodatek do PTGui. Z kolei Pano2QTVR Gui używany był do konwersji odwzorowań walcowych na tzw. *Cube Maps*, które w środowisku Leica Cyclone, pozwalały wprowadzić do chmury punktów informacje o wartościach RGB. Wszystkie licencje na oprogramowanie dostarczyło LabScan3D.

W ostatniej fazie projektu przetestowano inny zestaw oprogramowania, aby znaleźć najlepsze narzędzia modelowania powierzchni ścian oraz przekrojów

### 3. Software used in the project

The scanning process as well as processing all the recorded data has been governed by Leica Cyclone software set. Bentley MicroStation (the main CAD platform at LabScan3D) and Bentley Descartes (for raster data manipulation) were used for further data evaluation and deliverables production. Additionally, PTGui Pro was used for stitching the camera images into spherical and equirectangular images, as well as Panotools – a necessary plug-in for PTGui. Pano2QTVR Gui was used for conversion of the equirectangular image into Cube Maps which were ported to Leica Cyclone to supply the point cloud with color RGB information. All the software licenses were provided by LabScan3D.

During last phase of the project another set of software has been tested in order to find best tools for modeling walls surfaces and sections (vertical and horizontal) production. For this purposes JRC



Rys. 2. Kamera FujiFilm S5 Pro ustawiona na spodarce za pomocą przystawki Nodal Nina  
 Fig. 2. FujiFilm S5 Pro mounted on tribrach with the Nodal Ninja bracket



Rys. 3. Zdjęcie wykonane za pomocą obiektywu „Rybie Oko” (pole widzenia 180°)  
 Fig. 3. Full frame, fisheye (180° field of view) image

pionowych i poziomych. W tym celu użyto oprogramowania JRC 3D Reconstructor oraz 3D Reshaper udostępnionego do testów przez firmę Technodigit.

#### 4. Przebieg prac

Jak już wspomniano, cały projekt składał się z dwóch faz – skanowania oraz zbierania dodatkowej informacji o kolorze za pomocą fotografii cyfrowej. Już w czasie tej pierwszej fazy prac wykonywano jednak zdjęcia cyfrowe które uzupełniały chmurę punktów rejestrowana przez skaner o informacje o kolorze RGB. Po ukończeniu skanowania na poszczególnych stanowiskach, skaner (rys. 1) zdejmowano ostrożnie ze spodarki i umieszczano na specjalnie zaprojektowanym adapterze – przystawce Nodal Nina (rys. 2), która gwarantowała, iż ognisko obiektywu kamery odpowiadało dokładnie ognisku wiązki laserowej.

Na każdym stanowisku rejestrowano cztery obrazy o horyzontalnych interwałach kątowych równych 90° i dodatkowo jeden obraz skierowany w stronę zenitu, aby ułatwić zestawienie wszystkich zdjęć do formy równoodległościowego odwzorowania walcowego. W tej fazie, wszystkie zdjęcia wykonywano za pomocą obiektywu 8 mm, co dawało

3D Reconstructor was used as well as 3D Reshaper kindly supplied for tests by Technodigit.

#### 4. The work flow

As already stated, the whole project consisted of two phases – scanning and digital photo recording. However, already during the first phase, some digital images has been collected to supply the point cloud data resulting from the laser scanner with RGB colour information. After scanning on the particular scanner station has been completed, the scanner (fig. 1) has been carefully removed from its tribrach and replaced with a specially designed adapter -Nodal Ninja bracket which assure that the nodal point of the digital camera corresponds exactly with laser beam aperture (fig. 2).

Four pictures at 90° horizontal interval has been taken from each scanner position, plus additionally one zenith oriented picture to help combining all the photos into equirectangular image. All the pictures were taken with the use of full frame 8 mm lenses resulting in fisheye (180° coverage) field of view (fig. 3). The resulting equirec-

pełne pole widzenia obejmujące 180° (rys. 3). Równoodległościowe odwzorowanie walcowe (rys. 4) przekształcano następnie w tzw. *Cube Maps* (rys. 5), które wprowadzone do Leica Cyclone, dostarczały informację o kolorze RGB dla chmury punktów zarejestrowanej skanerem.

anglular image (fig. 4) was transformed into six Cube Maps (fig. 5) which were ported to Leica Cyclone to supply the point cloud with color RGB information.



Rys. 4. Odwzorowanie walcowe równoodległościowe stworzone z pięciu ujęć o polu widzenia 180°  
Fig. 4. Equirectangular image resulting from five full frame images



Rys. 5. Tzw. „Cube Maps” utworzonych z obrazu równoodległościowego  
Fig. 5. Six Cube Maps resulting from equirectangular image

W przypadku, kiedy ustawienie skanera względem dokumentowanych ścian było niekorzystne<sup>4</sup> lub w przypadku szczególnie interesujących fragmentów, w drugi etapie prac wykonywano dodatkowy zestaw zdjęć cyfrowych. Jeśli tylko było to możliwe, zdjęcia te były w zasadzie równoległe do głównej powierzchni dokumentowanych ścian.

For areas where position of the scanner in respect to walls being documented was not favorable<sup>4</sup>, or the walls in question were of particular interest, an additional set of photos was collected during second phase of the project. Whenever possible, this photos were done roughly parallel to the main surface of documented walls.

## 5. Dane zebrane podczas prac na miejscu i wyniki

W sumie podczas całego trzytygodniowego projektu zebrano 62 GB (*sic!*) danych zarejestrowanych w ponad 5.000 plikach. Główną część stanowiła 23 GB baza danych chmury punktów. Pozostałe pliki to przede wszystkim zdjęcia cyfrowe w formacie RAW, TIFF i JPG dokumentujące około 1.500 fragmentów ścian i poszczególnych ciosów. Ten ogromny zbiór danych będzie stanowił podstawę do opracowania końcowej dokumentacji w wielu wariantach. Poniżej przedstawiono krótkie opisy wszystkich możliwych rodzajów opracowań, które mogą powstać z zebranych danych.

### 5.1. Tzw. TrueView

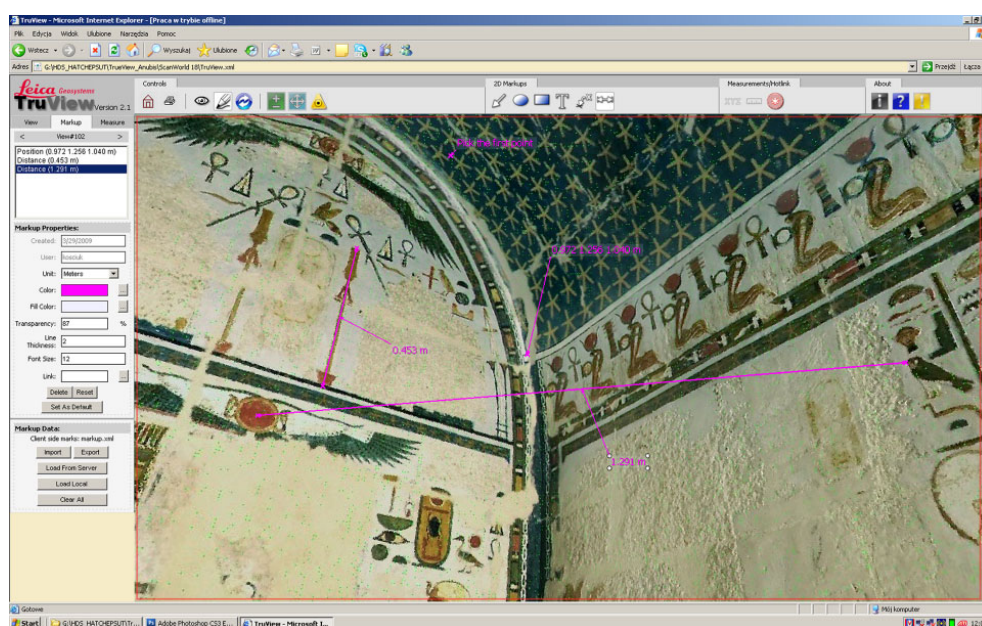
Zarejestrowana chmura punktów wraz z informacją o kolorach RGB może zostać udostępniona wszystkim zainteresowanym w formacie Leica TrueView i przeglądana za pomocą MS Internet Explorer. Leica Geosystems dystrybuje nieodpłatnie wtyczkę do MS IE niezbędną do przeglądania danych w tym trybie.

## 5. Data collected during the field work and deliverables

All together nearly 62 GB (*sic!*) of data in over 5.000 data files has been collected during the whole project which lasted for 3 weeks. The main part of it is 23 GB point cloud data base. Remaining files constitute mostly of digital photos in RAW, TIFF and JPG format, representing images of ca. 1.500 walls and blocks fragments. This vast amount of data can be used to produce several different kinds of final documentation. Below, a brief description will follow of all the possible types of deliverables which might results from all the data collected.

### 5.1. TrueView

The recorded point cloud data base, together with RGB colour information can be distributed among interested parties in form of Leica TrueView format and viewed with help of MS Internet Explorer only. The necessary MS IE plugin is distributed by Leica Geosystems free of charge.



Rys. 6. Trójwymiarowa chmura punktów w formacie TrueView w programie Internet Explorer  
Fig. 6. 3D point cloud in TrueView format viewed in Internet Explorer

Po otwarciu pliku TrueView za pomocą MS IE wyświetlony zostaje nawigator TrueView, który przedstawia wszystkie dostępne stanowiska ScanWord<sup>5</sup>. Kiedy jedna z nich zostanie wybrana, otwiera się okno TrueView (rys. 6), które przedstawia całą scenę wokół skanera. Istnieją pełne możliwości powiększania, przesuwania i obrotu poszczególnych ujęć panoramicznych. Dodatkowo narzędzia pomiarowe umożliwiają odczytanie współrzędnych X, Y,

After opening the TrueView file with MS IE, one is presented with TrueView Navigator which shows all available ScanWord positions<sup>5</sup>. After choosing one of them, TrueView window (fig. 6) opens in which all the scene surrounding the scanner is represented. Possibilities to magnify, pan and rotate the view are fully granted. Additionally, by picking measuring tools one can read X, Y, Z coordinates of any point chosen on the picture, as well as measure

Z dowolnie wybranego punktu na obrazie, a także zmierzenie przestrzennej odległości między wybraną parą punktów. Wszystkie pomiary można zapisywać i eksportować w formacie XML.

Technologia ta umożliwi także tzw. *pomiary wirtualne*, w którym część procesu pomiarowego można przenieść z terenu do biura. Leica Geosystems oferuje także rozwiązania serwerowe, które pozwalają na dystrybucję danych TrueView za pośrednictwem intranetu lub internetu.

## 5.2. Sferyczne obrazy panoramiczne

Walcowe odwzorowania równoodległościowe uzyskiwane się w trakcie opisanego wyżej procesu uzupełniania bazy danych chmur punktów informacjami o kolorach RGB pozwalają także przygotować sferyczne obrazy panoramiczne w formacie MOV (rys. 7). Podobne są one do panoram TrueView, ale w tym przypadku nie ma możliwości wykonywania pomiarów na ekranie. Przeglądając za pomocą Apple QuickTime Player, panoramy sferyczne MOV można dowolnie powiększać, przechylać i obracać. Ponieważ rozdzielczość obrazu jest o wiele wyższa niż w przypadku TrueView, panoramy MOV można wykorzystywać jako dodatkową dokumentację fotograficzną dającą wrażenie wirtualnego pobytu na obiekcie. W naszym przypadku typowy rozmiar pliku MOV w pełnej rozdzielczości wyniósł od 40 do 50 MB. Zmniejszając jednak

real distances between any chosen pair of points. All the measurements can be recorded and exported in XML format.

This technology renders possible the so called *virtual surveying*, when part of a process of the survey can be brought from the field into the office. Leica Geosystems offers also server solutions which enable distributing TrueView data through Intranet or Internet.

## 5.2. Spherical panorama pictures

Since equirectangular images are received during described above process of supplying point cloud data base with RGB colour information, there is an easy way to produce spherical panorama pictures in MOV format (fig. 7). Similar to TrueView panoramas, although without possibility to take measurements on screen, MOV panoramas can be viewed by Apple QuickTime Player. Again, such the panorama picture can be magnified, tilt, pan and rotate at will. Since the quality of the image is much higher than in case of TrueView, MOV panoramas can be used as supplementary photo documentation of the site, giving nearly a feeling of being *on the spot*. In our case, typical size of full resolution MOV files oscillates between 40 and 50 MB of data. Slimming resolution down, or better,



Rys. 7. Przykłady panoram sferycznych  
Fig. 7. Examples of spherical panoramas

rozdzielczość lub – co jest lepszym rozwiązaniem – konwertując dane do formatu Flash, panoramy MOV można także publikować w internecie.

### 5.3. Rzut Górnego Tarasu świątyni

Jednym z celów projektu było przygotowanie rzutu Górnego Tarasu świątyni. Postanowiono, że rzut będzie przedstawiał przekrój poziomy na wysokości najwyższych nisz, czyli mniej więcej 2 metry powyżej progu portalu wejściowego prowadzącego na Górny Taras. Ponieważ powierzchnie niektórych ścian, jak to się często zdarza w egipskich świątyniach, są pochyle, a wiele teoretycznie pionowych ścian wykazuje znaczne odchylenia od pionu, rzut zawiera także linie widokowe reprezentujące podstawy wszystkich ścian [4].

Błąd rejestracji wszystkich skanów do wspólnego układu współrzędnych nie przekraczał 8 mm w obrębie całego projektu. W przypadku rzutu Górnego Tarasu świątyni należy więc spodziewać się podobnej dokładności. Dla pojedynczych pomieszczeń, zwłaszcza jeśli były one skanowane z jednego lub dwóch stanowisk skanera, dokładność sięga 2-4 mm. Nowy rzut Górnego Tarasu świątyni wykazuje wyraźne różnice w porównaniu z wcześniejszymi planami.

### 5.4. Modelowanie 3D i generowanie przekrojów

Proces skanowania 3D dokumentował nie tylko ściany Górnego Tarasu, ale także całe jego otoczenie w promieniu około 75 m od pozycji skanera, objęło więc swoim zasięgiem również dużą część skalnego urwiska rozpościerającego się nad świątynią. W ten sposób po raz pierwszy pojawiła się możliwość dokładnej analizy niedostępnych dotychczas szczegółów – zboczy, fragmentów wysuniętych i nadwieszonych. Te dodatkowe informacje były szczególnie przydatne w przypadku przekrojów pionowych prowadzonych w poprzek Górnego Tarasu na liniach wschód-zachód i północ-południe [4]. Na tym etapie projektu rzut i przekroje wschód-zachód i północ-południe wyłącznie przy zastosowaniu oprogramowania Leica Cyclone.

Ostatnia, jeszcze nie ukończona, faza całego projektu, koncentruje się na wytypowaniu najbardziej przydatnych, zważywszy na specyfikę danych, narzędzi modelowania 3D i generowania szczegółowych przekrojów. Nie można w tym celu stosować typowych aplikacji AEC CAD służących do modelowania brył lub powierzchni, a to z powodu olbrzymiej ilości danych pomiarowych i wymaganego poziomu szczegółowości modelu 3D. Wydaje się, że jedyne dostępne w tej chwili rozwiązanie to

converting them into Flash format, enables publishing MOV panoramas in Internet.

### 5.3. General plan of the Upper Terrace of the Temple

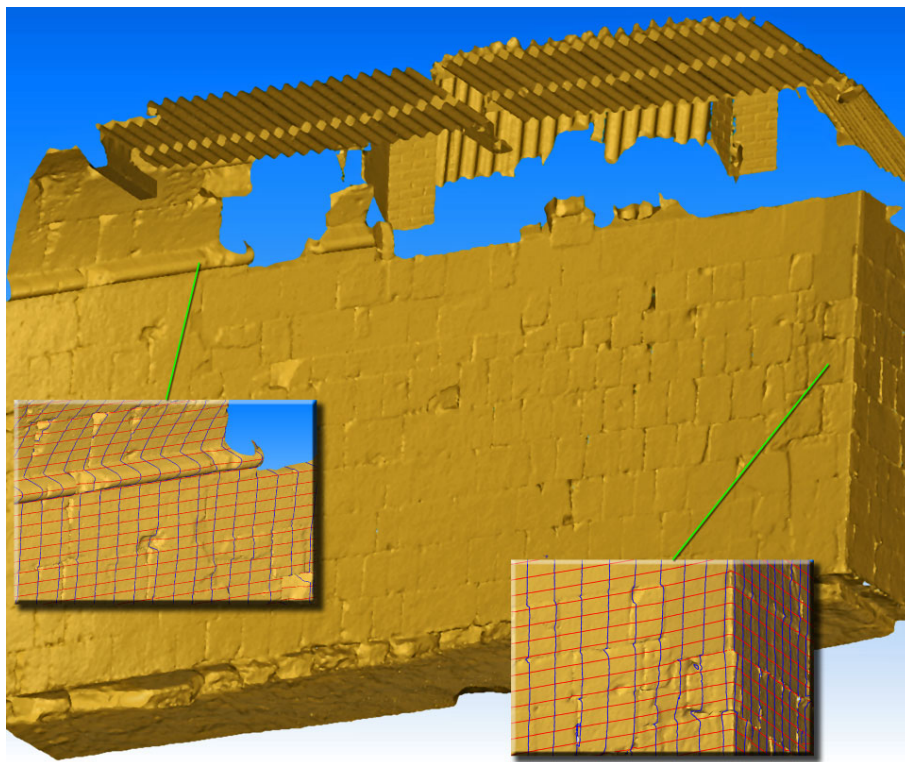
One of the main aims of this project was however to establish a new general plan of the Upper Terrace of the Temple. It has been decided that this plan will represent horizontal section on a level corresponding with the highest niches. This is roughly 2 meters above the threshold of the Upper Terrace entrance gate. Since some of the walls faces, as often in case of Egyptian temples, are sloping, and many nominally vertical walls show noticeable irregularities, the general plan also includes view lines of bottom parts of all the walls [4].

In view of the fact that accuracy of registering separate scans into common point cloud resulted in a mean error not greater than 8 mm over the whole area, the similar overall accuracy can be expected in case of the Upper Terrace general plan. In case of single rooms, especially those which were scanned from one or two scanning stations, an accuracy between 2 and 4 mm has been reached. The new plan of the Upper Terrace shows noticeable differences if confronted with the one which existed until now.

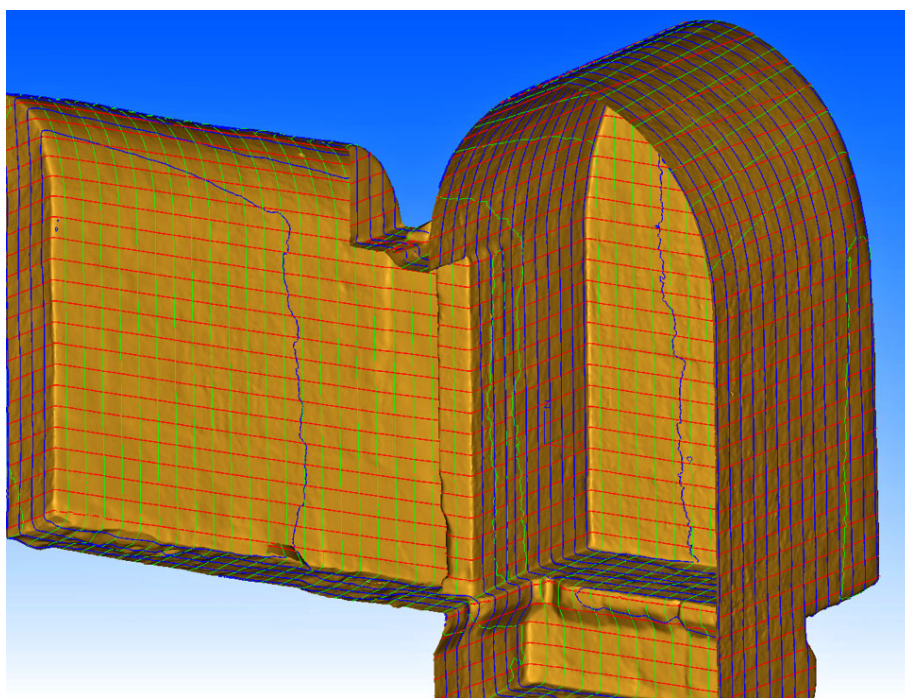
### 5.4. Modeling 3D and sections production

Since 3D scanning recorded not only all walls of the Upper Terrace but also whole surroundings within radius of ca. 75 meters from scanner stations, a good part of the *gebel* overlooking the site has been also included. This way, for the first time, it is also possible to see in details the *gebel* itself – its slopes, its exposed and overhanging areas. General E-W and N-S sections across the Upper Terrace are particularly benefiting from this additional information [4]. At this stage of the project, preparing of the general plan and general E-W and N-S sections has been accomplished entirely in Leica Cyclone software.

Still unfinished, the last phase of our project concentrates on finding the most suitable tools for 3D modeling and detailed sections production. Typical AEC CAD applications for solid or surface modeling can not be used there for the reason of waste scanning data amount and demanded accuracy of the 3D model. The only solution there is using point cloud data to produce mesh models. Two already mentioned applications were tested. Both have very similar functionality and both proved to be also very efficient. JRC 3D Reconstructor seems to be especially useful in filtering the data and generating fea-



Rys. 8. Model siatkowy północnej ściany kaplicy Hatszepsut  
 Fig. 8. Mesh model of the Hatshepsut Chapel northern wall



Rys. 9. Fragment modelu siatkowego Północnej Kaplicy Anubisa wraz z i liniami przekrojowymi  
 Fig. 9. Fragment of mesh model of the Northern Anubis Chapel with detailed section lines

wykorzystanie danych z chmury punktów do tworzenia modeli siatkowych. W tej fazie projektu testowano dwie wspomniane już poprzednio aplikacje. Obie wyposażone są w podobne funkcje i obie okazały się równie skuteczne. JRC 3D Reconstructor wydaje się przy tym szczególnie pomocny w filtrowaniu danych i automatycznym generowaniu krawędzi, natomiast

ture lines, while 3D Reshaper proved to be excellent tool in meshing point clouds and automatically generating detailed section lines in any desired direction.

Since 3D point cloud data collected in very dusty conditions of Upper Egypt needed to be carefully filtered, still another application – Mesh-



3D Reshaper okazał się bardzo skutecznym narzędziem tworzącym modele siatkowe na podstawie chmur punktów, a także był wyjątkowo efektywny w przypadku generowania linii przekrojowych prowadzonych w dowolnie wybranym kierunku.

Typowe dla Górnego Egiptu warunki skanowania (wysoka temperatura i znaczne zapylenie), wymagały starannego filtrowania danych. Przetestowano więc także jeszcze jedną aplikację: MeshLab<sup>6</sup>. Zastosowano wiele filtrów, które okazały się przydatne nie tylko w filtrowaniu chmur punktów, ale także w czyszczeniu, naprawie i wygładzaniu modeli siatkowych.

### 5.5. Fotomozaiki i ortofotomapy ścian

Generalnie możliwe są dwa rodzaje widoków elewacyjnych – ortofotomapy i fotomozaiki. Pierwszy typ to wierny obraz danej sceny ze wszystkimi elementami we właściwej skali i bez zniekształceń perspektywicznych. Tworzenie, na dostawie skanów 3D, takiej ortofotomapy z wymaganą dla tego projektu rozdzielczością, czyli wielkością piksela poniżej 0,5 mm wymaga jednak bardzo gęstego skanowania i precyzyjnego generowania modeli siatkowych. Z drugiej

Lab<sup>6</sup> has been also successfully tested. Many filters implemented there proved to be very useful not only in filtering point clouds, but also in cleaning, repairing, remeshing and smoothing meshed models.

### 5.5. Photomosaics and orthophoto of walls

Generally two kinds of wall facades plans are possible – orthophotos and photomosaics. The first one is the true representation of a given scene where all entities are in a right scale and without any perspective distortions. Such the orthophoto production with demanded pixel resolution below 0,5 mm involves very dense scanning and careful meshing. On the other hand, only representation of the main surface of the wall was the most important



Rys. 10. Ortfofotomapa jednej ze ścian świątyni użyty jako dokument referencyjny przy generowaniu fotomozaiki  
*Fig. 10. Orthophoto image of one of temple walls used as reference for photomosaic production*

strony, podstawowym zadaniem tej fazy projektu była dokumentacja głównej płaszczyzny ściany. Na szczęście, większość ścian świątyni można uznać za niemal idealne płaskie powierzchnie. Wybrano więc inne rozwiązanie problemu – fotomozaiki, gdzie tylko główną płaszczyznę ściany przedstawia się w prawidłowej skali bez żadnych geometrycznych zniekształceń. W tym przypadku wszystkie elementy, które znajdują się za główną płaszczyznę ściany są repre-

issue of this project and fortunately most of the temple walls could be considered as nearly planar surfaces. Therefore a more simple approach has been chosen – photomosaics, where only the main surface of walls is represented in a right scale and without any geometrical distortions. In this case, all items which are behind the plane of the main surface of the wall are represented in a slightly smaller scale and with perspective distortions and

zentowane w nieco mniejszej skali i ze zniekształceniem perspektywicznym. Odpowiednio, wszystkie elementy przed główną płaszczyzną ściany będą odwzorowane w większej skali. Różnice głębokości między główną płaszczyzną ściany a elementami położonymi przed nią i za nią, nie przekraczały w naszym przypadku 15 mm. Zdjęcia wykonano zwykle z odległości około 2 metrów uzyskując wielkość piksela nie przekraczającą 0,3 mm. Przewidywany teoretyczny błąd wynikający z faktu iż powierzchnia ściany nie jest idealną płaszczyzną (różnice głębokości +/- 15 mm) wynosi więc około 0,75% i był do zaakceptowania w naszym przypadku.

Pierwszym krokiem było wygenerowanie za pomocą Leica Cyclone, bezpośrednio z chmury punktów 3D, czarno-białych ortofotomap poszczególnych ścian (rys. 10). Ich rozdzielczość nie przekraczała 2 mm, ale była wystarczająca do znalezienia zestawu analogicznych punktów na szczegółowych zdjęciach cyfrowych i czarno-białych ortofotomapach. Posłużyły one jako punkty referencyjne pozwalające na przekształcenie obrazów rastrowych<sup>7</sup> za pomocą Bentley Descartes.

W zależności od rozmiaru detali, które miała przedstawiać końcowa dokumentacja, rozdzielczość stworzonych fotomosaik wyniosła od 0,3 do 0,5 mm. Pozwala to na wydruk fotomosaik w skali 1 : 10 z rozdzielczością 600 dpi, która całkowicie odpowiada potrzebom nowoczesnego procesu wydawniczego. Fotomosaiki o najwyższej rozdzielczości (0,3 mm) i wykonane w korzystnych warunkach oświetleniowych<sup>8</sup> pozwalają na powiększenia, edycję i druk nawet w skali 1:1 (rys. 11).

respectively all those projecting in front of the main surface of the wall will appear bigger. Depth differences between main surface of the wall and items which are in front or behind were not exceeding in our case 15 mm. Pictures were taken with pixel resolution 0,3 mm at a distance of typically 2 meters. Therefore, expected theoretical errors resulting from main wall surface being not exactly a planar (depth differences +/- 15 mm) should be around 0,75% and were acceptable for this project.

As the first step, using 3D point clouds, rough black and white, orthophoto images of walls plans were produced from Leica Cyclone (fig. 10). Their resolution did not exceeded 2 mm but it was enough to find suitable set of analogical points represented on digital photos and on black and white orthophotos. They served as reference points upon which pictures were warped<sup>7</sup> with help of Bentley Descartes.

Depending from the size of details which were to be represented on the final documentation, the resolution of resulting photomosaic pictures is between 0,3 and 0,5 mm. This permits publishing photomosaics in a scale 1 : 10 with 600 dpi resolution which is fully suitable for modern publishing process. Photomosaic images of highest resolution (0,3 mm) and recorded in favorable lighting conditions<sup>8</sup> permit also enlarging, viewing and printing of chosen fragments up to 1:1 scale (Fig.11).



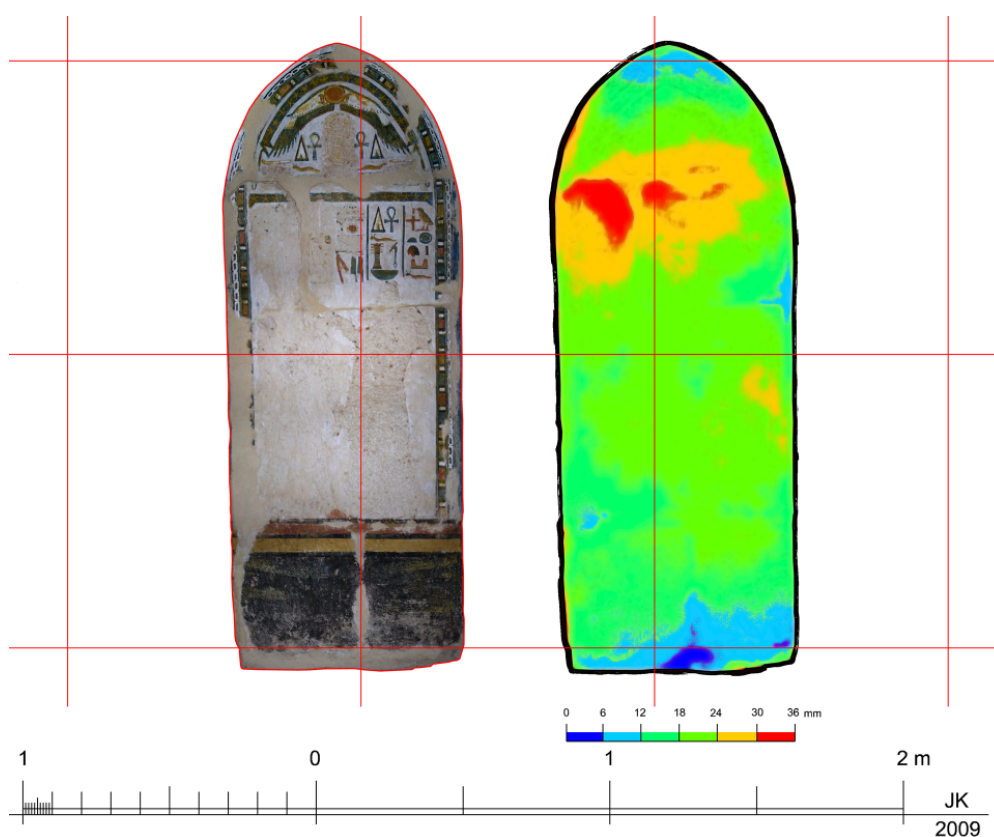
Rys. 11. Przykład fotomosaiki z rozdzielczością pikseli 0,3 mm  
Fig.11. Photomosaic example with pixel resolution 0,3 mm

### 5.6. Mapy wgłębień

W przypadku wielu ścian widoczne były nieregularności powierzchni, a ich fasady bynajmniej nie stanowiły idealnej płaszczyzny. Podjęto więc próbę dokumentacji tych cech w formie tak zwanych *map wgłębień*. W tym przypadku, elewacje poszczególnych ścian przedstawiono w sposób przypominający hipsometrię na planach topograficznych, gdzie różnice (wysokości i głębokości) powierzchni ścian symbolizuje odpowiedni kod kolorów<sup>9</sup> (rys. 12). Ten rodzaj prezentacji danych przestrzennych może być potencjalnie niezwykle przydatny dla inżynierów zajmujących się badaniem stabilności ścian, których część uległa poważnym przesunięciom z powodu niestabilności podłoża, trzęsień ziemi i licznych innych powodów.

### 5.6. Walls surface displacement plans

Since many of walls show noticeable irregularities, their facades being far from an ideal flat surface, an attempt was made to show this features in form of so called *walls surface displacement plans*. In this case walls facades are represented in a way similar to hypsometry on topographical plans, where differences (heights and depths) in the wall surface is symbolized by colour coding<sup>9</sup> (Fig.12). This kind of spatial data presentation can be potentially of a great interest to civil engineers when examining stability of walls which underwent serious dislocation of blocks due to ground instability, earthquakes or any other reasons.



Rys. 12. Przykład mapy wgłębień  
Fig. 12. Example of displacement map

## 6. Wnioski i wstępna propozycja kontynuacji projektu w sezonie 2010

W konkluzji trzeba stwierdzić, że metoda dokumentacji świątyni Hatszepsut za pomocą skanowania 3D potwierdziła swoją przydatność, zarówno jeśli chodzi o efektywności, jak i dokładności. Główną przeszkodą, jaką napotkał zespół, był brak zawodowego fotografa. Ponieważ jakość fotomosaik zależała

## 6. Conclusions and preliminary proposal of project continuation during 2010 season

To conclude, one must state that the idea of documenting the Hatshepsut Temple by means of 3D scanning proved to be both very efficient and very accurate. The main obstacle which the field team faced during the whole project was lack of professional photographer. Since the quality of photomo-

w ogromnym stopniu od jakości zdjęć zebranych w terenie, planuje się, szczególnie w obszarach zadaszonych, gdzie potrzebne jest sztuczne oświetlenie, dokooptować do zespołu zawodowego fotografa z doświadczeniem w fotografowaniu ścian zdobionych reliefami. Przewiduje się, że prace będą kontynuowane wiosną 2010 r. Do dokumentacji wybrano cztery kolejne obszary Górnego Tarasu:

- Południowa Kaplica Amuna wymagająca 2 stanowisk skanera
- Północna Kaplica Amuna wymagająca 4 stanowisk skanera
- Główne Sanktuarium Amuna wymagające 16 stanowisk skanera
- wewnętrzne fasady Portyku Ptolomejskiego wymagające 3 stanowisk skanera.

Ogólnie szacuje się, że potrzebne będzie około 25 stanowisk skanowania, co oznacza minimum 3 dni pracy w terenie. Należy jednakże przewidzieć dodatkowy dzień lub dwa na wypadek nieprzewidywanych problemów.

saics greatly depends on quality of pictures collected on the field, it is advisable, particularly on the roofed areas where artificial lighting must be engaged, to supply the field team with professional photographer with good experience in shooting relief decorated walls. It is anticipated that the work will be continued during spring 2010. Four further areas of the Upper Terrace has been already chosen to be documented. This are:

- the Southern Chapel of Amun involving 2 scanner stations required
- the Northern Chapel of Amun involving 4 scanner stations required
- the Main Sanctuary of Amun involving 16 scanner stations required
- the inner facades of Ptolemaic Portico involving 3 scanner stations required.

All together 25 scanner positions are estimated, what results in 3 full days of scanning. However, one additional day or two should be added in anticipation of any unexpected problems.

## Literatura • References

- [1] Z. Szafranski (ed.), *Królowa Hatshepsut i jej świątynia 3500 lat później*, Warszawa 2001.
- [2] Z. Wysocki (ed.), *The temple of Queen Hatshepsut. Vol. 4. The report of the Polish-Egyptian archaeological and preservation mission Deir el-Bahari 1980-1988*, Warszawa 1991.
- [3] T. Kaczor, *Teoria i praktyka w konserwacji starożytnych zespołów zabytkowych w Tebach*. Raporty Inst. Hist. Archit Proc. 2007, Ser PRE nr 422, <http://www.dbc.wroc.pl/publication/1563>, 97-101, 2007.
- [4] J. Kościuk, T. Kaczor, B. Chmielewski, T. Waligórski, P. Srokowski. *Skanowanie 3D fragmentów świątyni Hatshepsut w Deir el-Bahari w Egipcie*, Raporty Instytutu I-12 Serii Sprawozdania nr 19/09 (raport nie publikowany), 2009.

---

\*Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska  
*Laboratorium zorganizowane zostało przy Instytucie Historii Architektury, Sztuki i Techniki na Wydziale Architektury w ramach działania SPO WKP 1/1.4.2/2/2005/87/168/464.*

<sup>1</sup> Historię świątyni można znaleźć w [1]. Historię restauracji świątyni i polskiego udziału w tym zadaniu można znaleźć w [2] i [3].

<sup>2</sup> Zespół serdecznie dziękuje panu Lotharowi Assenmacherowi – Dyrektorowi Generalnemu Leica Geosystems, który udzielił ogromnego wsparcia projektowi i umożliwił jego realizację.

<sup>3</sup> O znanych parametrach równania soczewek, które umożliwiło korekcję dystorsji i innych wad obiektywu.

<sup>4</sup> Zbyt daleko do ściany lub pod niekorzystnym kątem.

<sup>5</sup> Poszczególne stanowiska skanera w trakcie skanowania.

<sup>6</sup> Visual Computing Lab – ISTI – CNR;  
<http://meshlab.sourceforge.net/>

<sup>7</sup> Obraz rastrowy przeliczono ponownie za pomocą odpowiednich wielomianów.

<sup>8</sup> Najlepiej na zewnątrz w bezpośrednim świetle słonecznym.

<sup>9</sup> Wgłębienia reprezentowane są w kolorach niebieskich, a wypukłości w czerwieniach.

---

\*Laboratory of 3D Scanning and Modeling, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland  
*The Laboratory was organized at the Institute of History of Architecture, Arts and Technology at Faculty of Architecture (project SPO WKP 1/1.4.2/2/2005/87/168/464).*

<sup>1</sup> For the temple history see [1]. For history of restoration of the temple and Polish contribution see [2] and [3].

<sup>2</sup> The team would like to express special thanks to Lothar Assenmacher – the General Director of Leica Geosystems who greatly supported this project and rendered it possible.

<sup>3</sup> With known lens equation parameters permitting us to remove distortion and other lens errors.

<sup>4</sup> To far from the wall or in unfavorable angle of view.

<sup>5</sup> Particular locations of the scanner during any scanning process.

<sup>6</sup> Visual Computing Lab – ISTI – CNR;  
<http://meshlab.sourceforge.net/>

<sup>7</sup> Raster image metrics has been recalculated with polynomial equations.

<sup>8</sup> Preferably outdoors with direct sun light.

<sup>9</sup> Depths are show in blue while heights in red colors.

Bartłomiej Ćmielewski\*  
Krzysztof Mąkolski\*\*

## Porównanie geodezyjnych metod klasycznych oraz technologii HDS do określenia odkształceń kratowej konstrukcji masztu

## Comparison of classic geodetic methods and HDS technology for determination of strains in truss construction mast

### 1. Wprowadzenie

Rozwój sieci teleinformatycznych, a co za tym idzie ich technologii, wpływa na coraz większe zapotrzebowanie na obiekty wysmukłe. Ze względu na niebezpieczeństwa, jakie wiążą się z deformacjami takich konstrukcji, niezbędna jest stała kontrola ich usytuowania [2,4]. Wyniki będące efektem pomiarów kontrolnych muszą być rzetelnym i pewnym źródłem informacji o odchyłkach, aby móc stwierdzić wystąpienie stanu zagrożenia [1]. Od wyników tych prac zależą w znacznej mierze działania podejmowane z użytkowaniem konstrukcji.

Realizacja tych prac może przebiegać przy użyciu wielu metod i różnego sprzętu. Na podstawie pomiaru odchyłek usytuowania masztu porównano dokładności i skuteczności trzech metod. Pierwsza – metoda tradycyjna, polegająca na pomiarze kierunków; druga – metoda zmodyfikowana, wykorzystująca bezlustrowy pomiar odległości oraz trzecia – przy użyciu naziemnego skanera laserowego. Pierwsze dwie wykonano przy użyciu tachymetru elektronicznego, natomiast trzecia za pomocą skanera laserowego 3D.

### 2. Opis obiektu badań

Przedmiot badań znajduje się w okolicy Wrocławia w rejonie Wzgórz Trzebnicko-Ostrzeszowskich (Kocie Góry). Maszt zbudowany jest z trój-

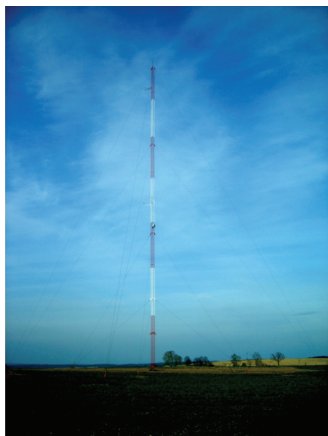
### 1. Introduction

Development of telephone and informatics networks, and what follows it, their technology, influences on more and more bigger demand for tall objects. Due to the dangers accompanying deformations of such constructions it is necessary to keep control over the location thereof [2, 4]. The results obtained in supervisory measurements must be a reliable and sure source of information about any deviations, to enable us to find out the occurrence of the state of endangerment [1]. The actions undertaken when using such constructions depend to considerable extent on the results of these works.

Realization of these works may be executed with the use of many methods and various equipment. Precision and effectiveness of three methods were compared on the basis of measurement of deviations of the location of the mast. The first – a traditional method, consisting in measurement of directions; the second – a method modified, using measurements of distance without a reflector and the third – with the use of a terrestrial laser scanner. Two first were made with the use of electronic tachymeter, whereas the third method with the use of a 3D laser scanner.

### 2. Description of the object of investigations

The object of investigations is situated in the neighborhood of Wrocław in the region of Trzebnicko-Ostrzeszowskie Hills (Kocie Góry). The mast



Rys. 1. Widok ogólny obiektu badań  
Fig 1. A general view of the mast

kątej kratownicy o boku 0,60 m, zmontowanej z okrągłych rur o średnicy 30mm. Wysokość masztu wynosi 60,0 m. Jest on zabezpieczony czterema kompletami lin odciągowych, zawieszonymi odpowiednio na 12, 24, 42 oraz 60 metrze konstrukcji (rys. 1).

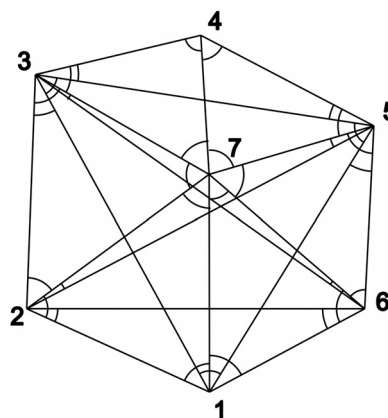
### 3. Omówienie wyników obserwacji osnowy pomiarowej

Osnowę pomiarową, stanowiącą podstawę dla określenia przestrzennego usytuowania masztu, stanowi 7 punktów, z których 6 rozmieszczonych zostało wokół masztu, a siódmy w pobliżu obiektu w celu wzmocnienia konstrukcji tej osnowy. Szkic osnowy pomiarowej przedstawiono na rys 2.

Pomiar osnowy, jak również i pomiary konstrukcji masztu zrealizowano tachymetrem elektronicznym firmy Leica TCRP 1203 o parametrach pomiarowych:

- powiększenie lunety: 30×,
- dokładność pomiaru kierunku: 3'' – 10<sup>cc</sup>,
- dokładność pomiaru odległości z lustrem: 1mm + 1,5 mm/km,
- dokładność pomiaru odległości bez lustra: 2 mm + 2 mm/km
- zasięg na lustro: do 3000m,
- zasięg w pomiarze bezlustrowym: do 300m.
- zastosowany w pomiarze bezlustrowym laser posiadał wiązkę o barwie czerwonej.

Czas wykonania pomiaru wynosił około 7 godzin. Po pomiarach terenowych obliczono osnowę pomiarową w kilku różnych kombinacjach. Warianty te różniły się między sobą wyborem poszczególnych obserwacji oraz ich ilością. Celem tego zabiegu było porównanie rezultatów uzyskanych dla sieci kątowej, sieci liniowej oraz kombinacji kątowo-liniowej (rys. 3). Dokładniejszym rozwiązaniem okazało się użycie sieci liniowej. Następnie przeprowadzono symulacje z zawężoną



Rys. 2. Szkic osnowy pomiarowej masztu  
Fig. 2. A sketch of a measurement network

is built from the triangular truss of the side length 0.60 m, assembled from round pipes of 30 mm in diameter. The height of the mast is 60.0 m. It is secured with four sets of stay ropes, attached respectively at the height of 12, 24, 42 and 60 meter of its construction (fig. 1).

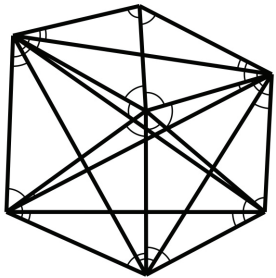
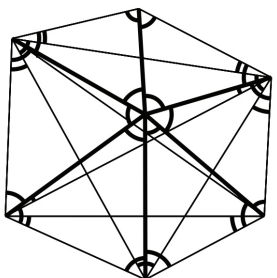
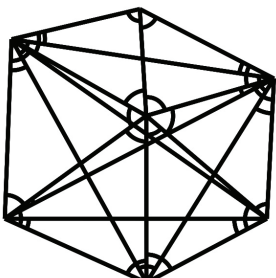
### 3. Discussion of the results of the observation of the measurement matrix

The measurement matrix making up the basis for determination of the spatial location of the mast consists of 7 points, out of which 6 were disposed around the mast, and the seventh near the object in order to make the construction of this matrix firmer. The draft of the measuring matrix has been introduced in fig. 2.

The measurements of the matrix and the measurements of the construction of the mast were realized with the use of electronic tachymeter of the firm Leica TCRP 1203 having the following measuring parameters:

- magnification of the telescope: 30×,
- precision of the measurement of the direction: 3'' – 10<sup>cc</sup>,
- precision of the measurement of distance with a reflector: 1mm + 1.5 mm/km,
- precision of the measurement of distance without a reflector: 2mm + 2 mm/km
- range to the reflector: up to 3000 m,
- range in the measurement without a reflector: up to 300 m.
- the laser applied in the measurement without a reflector had the beam of red color.

The time of the realization of a measurement was about 7 hours. The measuring matrix was calculated in several different combinations after the field measurements had been accomplished. These variants differed from each other in the choice of individual observations and their number. The objective of such proceeding was to compare the results obtained for angular network, for linear network and for a combination of an-

Sieć liniowa	Sieć kąтова	Sieć kątowno-liniowa
Linear network	Angular network	Linear-angular network
		

Rys. 3. Warianty rozwiązania osnowy  
Fig. 3. Variant solutions for measurement network

ilością obserwacji, co mogłoby wynikać z możliwych, występujących w terenie przeszkód.

Oprócz wspomnianych wcześniej wariantów rozwiązania osnowy pomiarowej, wykonano również obliczenia dla osnowy w kształcie rozety (nie posiadającej przekątnych) oraz dla osnowy w kształcie trójkąta (nie posiadającego punktu centralnego).

Biorąc pod uwagę wszystkie przedstawione warianty symulacyjne, widoczne jest, że dużo dokładniejsze wyniki otrzymuje się w przypadku wykorzystania do obliczeń obserwacji liniowych. Błędy położenia punktu wahają się tu w zakresie od 0,2 mm do 0,4 mm (tab. 1). Natomiast przy rozwiązaniu kątowym błędy mieszczą się w między 0,6mm, a 1,0 mm (tab. 1, tab. 2). Zestawiając wartości współrzędnych punktów osnowy, uzyskanych w poszczególnych wersjach, można stwierdzić, że ich maksymalne różnice nie przekraczają 0,7 mm (tab. 2).

#### 4. Pomiar odkształceń masztu metodą trygonometryczną

Pomiary konstrukcji wykonano na pięciu poziomach – przy podstawie, na trzech poziomach pośrednich oraz na szczycie, celując na środek rury konstrukcji masztu. Do pomiarów metodą trygonometryczną użyto tachymetru elektronicznego firmy Leica TCRP1203. Oprócz obserwacji kierunków mierzono również odległości wykorzystując pomiar bezlusterkowy. Po wykonaniu obserwacji połowych obliczenie współrzędnych punktów kontrolowanych konstrukcji masztu przeprowadzono również w kilku wariantach. W tym przypadku najlepsze wyniki uzyskano wykorzystując do obliczeń tylko obserwacje kierunków ze wszystkich punktów osnowy pomiarowej. Dla sprawdzenia poprawności wyznaczania współrzędnych punktów kontrolowanych, w warunkach ograniczonej dostępności do obiektu, wykonano obli-

gular-linear network. (fig. 3). The use of the linear network turned out to be a more precise solution. Then simulations were conducted with the restricted number of observations, which might happen as the result of possible obstacles occurring in the field.

In addition to the earlier mentioned variants of solution of the measurement matrix, the calculations were also made for the matrix in the shape of a rosette (not possessing diagonals) and for the matrix in the shape of a triangle (without the central point).

Taking under consideration all the presented simulating variants, it becomes evident that a lot more precise results are obtained in the case of using linear observations to the calculations. Here the errors of the bearings of a point oscillate within the range from 0.2 mm to 0.4 mm (table 1). However, errors for the angular solution are within the range between 0.6 mm and 1.0 mm (table 1, table 2). When comparing the values of the co-ordinates of the points of the matrix obtained in individual versions, one can state that their maximum differences do not exceed 0.7 mm (table 2).

#### 4. Measurements of the strains of the mast by the trigonometric method

Measurements of the construction were executed at 5 levels – near the base of the mast, at three intermediate levels and at the top, taking aim at the centre of the mast construction pipe. For measurements by the trigonometric method an electronic tachymeter of the firm Leica TCRP1203 was used. In addition to the observation of directions, the distances were also measured using the measurement without reflector. Having accomplished the observations in the field, the calculation of the co-ordinates of the controlled points of the mast construction were also calculated in several variants. In this case the best results were obtained by using to the calculations only the observations of directions from all the points of the measuring matrix. In order to prove the correctness of the determination of co-ordinates of the points controlled, in the conditions of restricted accessibility to

Tab. 1. Błędy położenia punktów osnowy w zależności od rozwiązania osnowy  
*Errors of location of network points for each measurement network solution*

Numer punktu Point No	Obserwacje liniowe Linear observations			Obserwacje kątowe Angular observations			Obserwacje liniowo-kątowe Linear-angular observations		
	mx	my	mp	mx	my	mp	mx	my	mp
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
2	0,2	0,1	0,2	1,0	0,8	1,3	0,2	0,2	0,3
3	0,2	0,2	0,3	1,3	0,8	1,5	0,2	0,2	0,3
4	0,2	0,3	0,4	0,2	1,1	1,1	0,2	0,3	0,4
5	0,2	0,2	0,3	1,2	0,6	1,3	0,2	0,1	0,2
6	0,2	0,1	0,2	1,0	0,9	1,4	0,3	0,1	0,3
Wartości średnie Average values	0,2	0,2	0,3	0,9	0,8	1,3	0,2	0,1	0,3

Tab. 2. Różnice współrzędnych uzyskanych pomiędzy poszczególnymi rozwiązaniami osnowy  
*Variation of coordinates obtained from individual measurement network solutions*

Numer punktu Point No	Obserwacje liniowe Linear observations		Obserwacje kątowe Angular observations				Obserwacje liniowo-kątowe Linear-angular observations			
	X	Y	X	Y	dx	dy	X	Y	dx	dy
	[m]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[m]	[m]	[mm]	[mm]
2	129.1390	37.6931	129.1397	37.6926	0,70	0,50	129.1390	37.6931	0,00	0,00
3	208.9867	40.4602	208.9872	40.4605	0,50	0,30	208.9867	40.4602	0,00	0,00
4	222.4355	97.3992	222.4354	97.3981	0,10	1,10	222.4355	97.3990	0,00	0,20
5	191.0073	156.9385	191.0074	156.9379	0,10	0,60	191.0074	156.9385	0,10	0,00
6	128.3436	153.5445	128.3445	153.5449	0,90	0,40	128.3437	153.5445	0,10	0,00
Wartości średnie Average values					0,46	0,58			0,04	0,04

gdzie dx, dy – różnice pomiędzy współrzędnymi z obserwacji liniowych a poszczególnych rozwiązań.  
 wherein: dx, dy – differences between the coordinates obtained from linear observations for individual solutions.

czenia współrzędnych. Wykorzystano w tym celu obserwacje kierunków tylko z trzech wybranych stanowisk oraz obserwacje odległości z trzech innych punktów osnowy. Przeprowadzono też obliczenia dla wcięć kątowno-liniowych zrealizowanych z dwóch stanowisk.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że pomiar metodą kierunkową (tab. 3) daje najlepsze rezultaty (0,9 mm ÷ 1,4 mm), dla porównania przy pomiarze bezlustrowym uzyskane błędy wahały się od 3,3 mm do 3,9 mm. W przypadku gdy w terenie występują utrudnienia związane z właściwym rozmieszczeniem osnowy pomiarowej poprawne wyniki można także uzyskać z pomiaru biegunowego (1,3 mm ÷ 2,0 mm). Sposób ten można stosować przy wykonywaniu rektyfikacji [3] przestrzennego usytuowania obiektów wysmukłych.

Uzyskiwane wyniki dla innych obiektów będą różne ze względu na specyfikę konstrukcji. Dla obiektów zbudowanych z rur dokładność będzie determinować średnica rury a w przypadku konstrukcji z kątowników identyfikacja krawędzi.

the object, the calculations of co-ordinates were made. The observations of directions used in this purpose were those taken from only three chosen positions together with the observations of distance from three other points of the matrix. Calculations were also conducted for angular-linear intersections realized from two measurement positions.

The results of the analyses that were carried out show that measurement by direction method (table 3) gives the best results (0.9 mm ÷ 1.4 mm); compare this with the errors from 3.3 to 3.9 mm that occurred for the measurement without a reflector. In the case when there occur difficulties in correct positioning of the measurement matrix in the field, one can also get correct results from the polar measurement (from 1.3 mm to 2.0 mm). One can use this way for executing an adjustment [3] of the spatial location of tall objects.

The results obtained for different objects will be different because of the specificity of the constructions. For the objects built from pipes the pipe diameter will determine precision and in the case of



Tab. 3. Zestawienie współrzędnych (X, Y) osi rur na poszczególnych poziomach wraz z ich błędami – pomiar metodą kierunkową  
*Coordinates (X, Y) of the axes of the pipes at individual levels with their errors – measurements using the direction method*

Numer punktu <i>Point number</i>	X wyr.	Y wyr.	mx	my	mp
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]
1A	164.0358	106.3311	0.8	0.7	1.1
1B	164.0612	105.7351	0.6	0.6	0.9
1C	164.5643	106.0584	0.8	0.6	1.0
2A	163.9777	106.2176	0.7	0.7	1.0
2B	164.0378	105.6218	0.6	0.7	1.0
2C	164.5217	105.9707	1.0	0.9	1.4
3A	163.9343	106.0885	0.7	0.7	1.0
3B	164.0185	105.4932	0.8	0.8	1.1
3C	164.4861	105.8621	0.9	0.7	1.1
4A	163.8668	105.9995	0.9	1.0	1.4
4B	163.9806	105.4112	0.8	0.8	1.1
4C	164.4325	105.8084	1.0	0.9	1.3
5A	163.8045	105.9194	0.8	0.6	1.0
5B	163.9341	105.3391	0.7	0.8	1.0
5C	164.3725	105.7372	0.8	0.8	1.2
Wartości przeciętne <i>Average values</i>			0.8	0.8	1.1

Dla sprawdzenia poprawności uzyskanych wyników przeprowadzono analizę w oparciu o wzory (1, 2).

the construction made from angle sections the identification of the edges will determine it.

The analysis was conducted to prove correctness of the obtained results, on the basis of the formulae (1, 2).

$$M_p = r \times m_p \leq R \times P \quad (1)$$

gdzie:  $M_p$  – błąd graniczny wyznaczenia przemieszczenia,

$P$  – graniczne przemieszczenie określone dla danego obiektu w projekcie technicznym lub w odpowiednich przepisach techniczno-eksploatacyjnych,

$R$  – parametr określający jaką częścią granicznego przemieszczenia ( $P$ ) może być błąd graniczny jego wyznaczenia ( $M_p$ ),

$m_p$  – błąd średni wyznaczenia przemieszczenia,  
 $r$  – współczynnik, którego wartość zależy od wymaganego prawdopodobieństwa poprawności wyników oraz od stopnia przypadkowości błędów pomiarów służących do wyznaczenia przemieszczenia.

wherein:  $M_p$  – the boundary error of determining the dislocation,

$P$  – the boundary dislocation as determined for the given object in the technical design or in respective technical – exploitation regulations,

$R$  – the parameter defining what part of the boundary dislocation of ( $P$ ) can be the boundary error of determining thereof ( $M_p$ ),  
 $m_p$  – the average error of determining the dislocation,

$r$  – the coefficient whose value depends on the required probability of correctness of the results and on the extent of randomness of the errors of measurements used to determine the dislocation.

$$a \leq h/1000 \quad (2)$$

gdzie:  $a$  – dopuszczalne wychylenie masztu (przemieszczenie graniczne),

$h$  – wysokość masztu.

Przyjmując rzeczywistą wysokość masztu:  $h = 60,00$  m, a parametr  $R = 0,1$  oraz zakładając duże prawdopodobieństwo poprawności uzyskanych wyników, na poziomie ufności  $P = 0,997$  (parametr  $r = 3$ ), otrzymamy wartość błędu średniego wyznaczenia przemieszczenia równą 1,8 mm. Ana-

wherein:  $a$  – admissible deflection of the mast (boundary dislocation),

$h$  – the height of the mast.

Accepting the actual height of the mast:  $h = 60.00$  m, and the parameter  $R = 0.1$  and assuming large probability of correctness of the results obtained, at the level of confidence  $P = 0.997$  (parameter  $r = 3$ ), the obtained value of the average error of determining the dislocation will be 1.8 mm.

lizując uzyskane wyniki z poszczególnych wariantów można stwierdzić, że kryterium dokładnościowe jest spełnione tylko w przypadku metody pomiaru kierunków. W przypadku kombinacji kątowo-liniowej oraz pomiarów liniowych uzyskane błędy dwukrotnie przekraczały zakładane dokładności. Wynika z tego, że w przypadkach wystąpienia dużych trudności w poprawnym założeniu osnowy pomiarowej można wykorzystać, w prowadzonych obserwacjach obiektów wysmukłych, również i pomiary odległości wykonane sposobem bezlustrowym.

### 5. Pomiar odkształceń masztu przy użyciu naziemnego skanera laserowego

Maszt pomierzono również za pomocą naziemnego skanera laserowego ScanStation (rys. 4), charakteryzującego się następującymi danymi technicznymi:

- dokładność pomiaru kierunków: 60 mikroradianów – 40<sup>cc</sup>,
- dokładność pomiaru odległości: 4 mm,
- dokładność pomiaru pojedynczego punktu w przestrzeni trójwymiarowej: 6 mm,
- wbudowany kompensator o rozdzielczości: 1<sup>''</sup>,
- metoda pomiaru impulsowa wykorzystująca laser o widzialnej wiązce w kolorze zielonym,
- wielkość plamki lasera przy odległości 50m – 5 mm,
- maksymalna zadana rozdzielczość skanowania w poziomie i pionie: 1 mm,
- zakres pola widzenia skanera w pionie 270 stopni, w poziomie 360 stopni,
- zasięg skanera: 300 m przy 90% albedo; 134 m przy 18% albedo.

Pomiary zrealizowano z trzech stanowisk przy założonej rozdzielczości na obiekcie 2mm w płaszczyźnie poziomej oraz 4mm w płaszczyźnie pionowej. Czas trwania sesji pomiarowej na jednym stanowisku wyniósł około 2 godzin. Pomierzono około 3 000 000 punktów.

Opracowanie pomiarów terenowych przeprowadzono stosując oprogramowanie firm Leica oraz Bentley. Umożliwiły one obliczenie odchyłek usytuowania oraz pozwoliły na przedstawienie dowolnych wymiarów i przekrojów elementów konstrukcji (rys. 5, 6).



Rys. 4. Pomiary instrumentem Leica ScanStation  
Fig. 4. Measurements with Leica ScanStation

By analyzing the obtained results from the individual variants one can state that the criterion of accuracy is met only in the case of the method of direction measurement. In the case of the angular-linear combination and linear measurement the obtained errors twofold exceeded the set precision. Due to this, if there occur large difficulties in the correct establishing the measuring matrix, one can also use the distance measurements made without a reflector in the observations of tall objects.

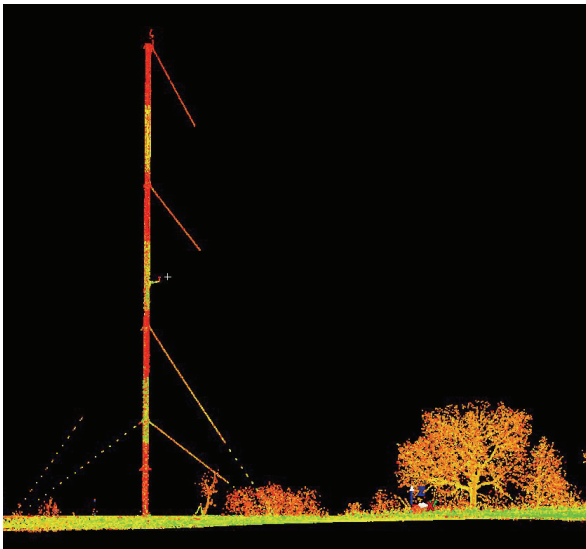
### 5. Measurement of strains of the mast with the use of the terrestrial laser scanner

The mast was also measured using the terrestrial laser scanner ScanStation (fig. 4), which features the following technical parameters:

- precision of the direction measurement: 60 microradian – 40<sup>cc</sup>,
- precision of the distance measurement: 4 mm,
- precision of the measurement of a single point in the three-dimensional space: 6 mm,
- built-in compensator of resolution: 1<sup>''</sup>,
- impulse laser method of measurement using a laser with the visible beam in green color,
- the size of the spot of the laser beam at the distance 50 m – 5 mm,
- maximum set resolution of scanning, horizontal and vertical: 1 mm,
- the range of the visual field of the scanner: vertical 270 degrees, horizontal 360 degrees,
- the range of the scanner: 300 m for albedo 90%; 134 m for albedo 18%.

Measurements were carried out from three positions at the set resolution on the object 2 mm in horizontal plane and 4 mm in vertical plane. The time of duration of the measuring session at one position was about 2 hours. About 3,000,000 points were measured.

The results of field measurements were numerically processed with the use of software of the firm Leica and Bentley. This software made possible the calculation of the deviations of the location and allowed to present any dimensions and cross-sections of the elements of construction (fig. 5, 6).

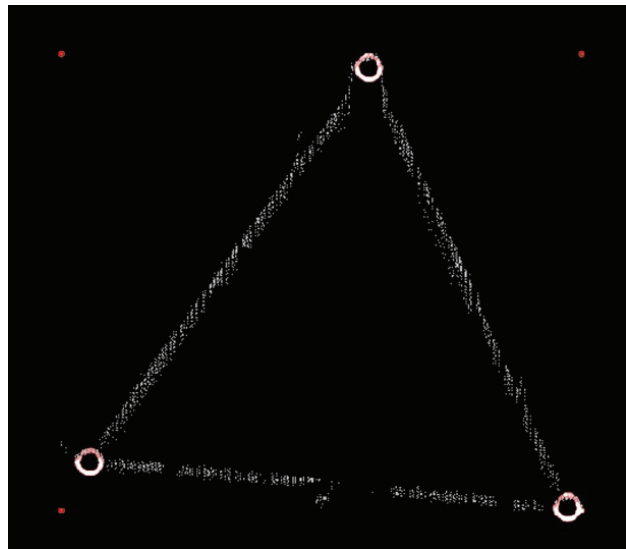


Rys. 5. Chmura punktów przedstawiająca konstrukcję masztu uzyskana z pomiaru skanerem laserowym Leica ScanStation  
*Fig. 5. A point cloud representing the mast construction achieved by measurements with a laser scanner Leica ScanStation*

## 6. Porównanie wyników wychyleń konstrukcji masztu

W celu kontroli efektywności wykorzystanych metod pomiarowych zestawiono wielkości odchyłek, które były bezpośrednim wynikiem obliczeń przeprowadzonych na bazie współrzędnych punktów kontrolnych. Obliczeniom podlegały zarówno deformacje osi masztu w rzutach bocznych (rys. 7) jak i w rzucie z góry (rys. 8). Ze względu na znikome wartości różnic wychyleń osiągniętych z obu metod pomiaru – metodzie klasycznej – kierunkowej jak i przy użyciu naziemnego skanera laserowego (rys. 7), przebieg osi konstrukcji zobrażowano na wykresie jedną linią. W przyjętej skali różnice byłyby niewidoczne. Różnice wartości wychyleń na poszczególnych poziomach wahają się od 1 mm do 8 mm. Spowodowane może być to złymi warunkami atmosferycznymi w dniu pomiarów (duża zmienność kierunku wiatru oraz jego natężenia), a także czasem trwania obserwacji. Wysoce przekracza to obliczone wcześniej kryterium dokładnościowe (1,8 mm), jednak w stosunku do obliczonego dopuszczalnego wychYLENIA masztu ( $a = 60$  mm,) oraz uzyskanych z pomiarów wartości przemieszczenia konstrukcji (rys. 7), jest wartością niewielką.

Reasumując dane, otrzymane przy użyciu naziemnego skanera laserowego, mogą więc z powodzeniem być wykorzystane do podejmowania decyzji związanych z bieżącą eksploatacją obiektów wysmukłych oraz ich ewentualną rektyfikacją.

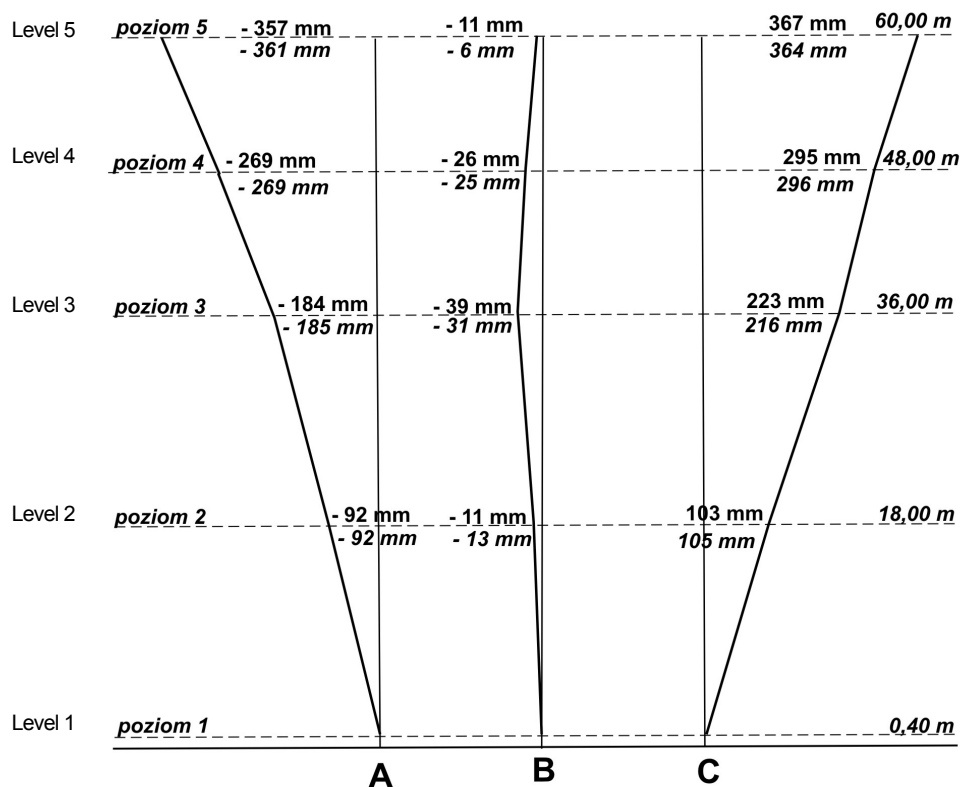


Rys. 6. Wpasowanie rur konstrukcyjnych masztu w chmurę punktów na wybranym poziomie  
*Fig. 6. Superposition of the construction pipes of the mast into the point cloud at a chosen level*

## 6. Comparison of the results of deflection of the mast construction

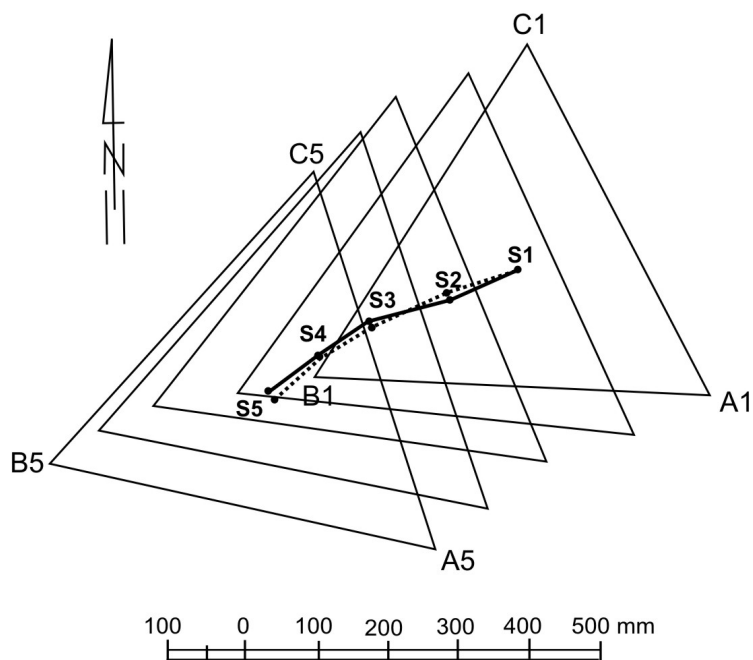
In order to control the efficiency of the used measuring methods the magnitude of the deviations which were a direct result of calculations carried out on the basis of co-ordinates of control points have been set together. The calculations included both deformations of the axis of the mast in end views (fig. 7) and in top view (fig. 8). Because of the minimum values of differences in deflection found in both methods of the measurement - the classic, direction method – and the method with the use of a terrestrial laser scanner, the course of the axis of the construction was pictured (fig. 7) on the graph with one line. The differences would be invisible in the applied scale. The differences of the values of deflections at individual levels oscillate from 1 mm to 8 mm. This could have been caused by bad weather condition on the day of measurements (large changeability of the direction and the strength of the wind), and also by the time of duration of the observation. This extremely exceeds the calculated earlier accuracy criterion (1.8 mm), however, in the relation to the calculated admissible deflection of the mast ( $a = 60$  mm) and the values of dislocation of construction obtained from measurements (fig. 7), it is still a little value.

Recapitulating, the data received with the use of a terrestrial laser scanner can now be successfully used for making decisions connected with the current exploitation of tall objects and their possible adjustment.



the values of deflection obtained from geodetic measurements  
**- 357 mm** - wartości odchyień otrzymane z pomiarów geodezyjnych  
 the values of deflection obtained from laser scanning  
 - 361 mm - wartości odchyień otrzymane ze skaningu laserowego

Rys. 7. Odchylenia osi masztu – rzuty z boku od poszczególnych krawędzi masztu  
 Fig. 7. Side views of deflections of the axis of the mast



————— wartości odchyień otrzymane z pomiarów geodezyjnych  
 the values of deflection obtained from geodetic measurements  
 - - - - - wartości odchyień otrzymane ze skaningu laserowego  
 the values of deflection obtained from laser scanning

Rys. 8. Odchylenia osi masztu – rzut z góry  
 Fig. 8. Deflections of the axis of the mast – a top view

## 7. Wnioski

1. Wykorzystując do obserwacji obiektów wysmukłych metodę przy użyciu naziemnego skanera laserowego otrzymujemy porównywalne do metod geodezyjnych wartości wychyleń ich konstrukcji
2. Stosując technologię HDS mamy możliwość pozyskiwania informacji o całej konstrukcji, a nie tylko o jej wybranych elementach zmierzonych metodami klasycznymi.
3. Wyniki pomiarów otrzymane przy użyciu naziemnego skanera laserowego są wystarczająco dokładne dla podjęcia decyzji, co do dalszej eksploatacji badanych obiektów.

## 7. Conclusions

1. With the use of the method based on a terrestrial laser scanner the observation of tall objects gives values of deflection of the construction of the object comparable to obtained by geodetic methods.
2. By applying the HDS technology we have the possibility of obtaining information about the whole construction, and not only about its chosen units as measured by classic methods.
3. The results of measurements received with the use of the terrestrial laser scanner are sufficiently precise for making decisions concerning further exploitation of the studied objects.

## Literatura • References

- [1] Jankowska B., *Błąd wzoru na wyznaczanie przemieszczeń masztu 3-ściennego wg instrukcji ER-01*, Zeszyty Naukowe, Budownictwo, Politechnika Zielonogórska, 2001, z. 127 (35), s. 111-119.
- [2] Wichtowski B., *Geometria stalowych wież i masztów radiowo-telewizyjnych na podstawie inspekcji okresowych*, Budownictwo PN PS, 2002, nr 561/2002, s. 37-51.
- [3] Wichtowski B., *Rektyfikacja stalowych wież antenowych na podstawie inspekcji okresowych*, XXII Konferencja naukowo-techniczna, Szczecin – Międzyzdroje, 23 – 26 maja 2007, s. 665-672.
- [4] Instrukcja ER – 01, *Eksploatacja wież i masztów*, Telekomunikacja Polska SA, Warszawa 1994.

---

\* Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska  
Laboratory of 3D Scanning and Modeling, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

\*\* Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław, Polska  
Institute of Geodesy and Geoinformatics, Wrocław University of Environmental and Life, Wrocław, Poland

---

## Streszczenie

Kratownicowa konstrukcja, taka jak maszt, ma często skomplikowaną przestrzenną budowę. Istnieje kilka metod, by określić jej odchylenia i wypaczenia. Niniejszy artykuł przedstawia porównanie dokładności i efektywności wybranych metod pomiaru. Odchylenie i wypaczenie przedstawionego obiektu zostały wyznaczone przy pomocy metod z zastosowaniem elektronicznego tachymetru Leica TCRP1203: tradycyjnej – z pomiarem kierunku, zmodyfikowanej – przy zastosowaniu pomiaru odległości bez reflektora i techniki z użyciem lasera skanującego Leica ScanStation.

## Abstract

A truss construction, such as a mast, has often complicated spatial composition. There are several methods to determine its deflections and distortions. This article presents the comparison of precision and efficiency of chosen measurement methods. Deflection and distortion of presented object was determined by methods with the use of an electronic tachymeter Leica TCRP1203: traditional – direction measurements, modified – which uses measurement of distances without a reflector and the technique of laser scanning using Leica ScanStation apparatus.

Bjorn Van Genechten\*  
Luc Schueremans\*\*

## Laserscanning for heritage documentation

## Skonowanie laserem dla dokumentacji dziedzictwa kulturowego

### 1. Introduction

In recent years, 3D laser scanners have gained interest, especially in 3D reconstruction and reproduction, mainly because of their capability to record huge numbers of points with high accuracy in a relatively short period of time. Especially in the field of deformation monitoring for analyzing the structural stability of built heritage, laser scanners can provide a much denser and thus better representation of the deformations taking place over time.

The single-point precision of modern mid-range laser scanners varies from 5 to 25mm depending on the laser and the measuring principle used, but also depending on the measurement conditions and the object surface to be scanned. Comparing this precision to that of traditional surveying techniques used for deformation monitoring such as total stations or contact sensors, the precision of a laser scanner is approximately 1 order lower in magnitude. The main disadvantage of these traditional techniques is that they only offer single-point measurements and thus require prior knowledge of critical zones.

The accuracy of a laser scanner can, however, be upgraded by fitting surfaces to the collected points and as such average the errors on each single point. In order to optimize the accuracy even further, multiple scans of the same object can be acquired sequentially, increasing the number of points and thus theoretically improving the standard deviation of a single point measurement [1].

In this paper, the results of a test under laboratory conditions are presented which aimed at de-

### 1. Wprowadzenie

W niedawnych latach skanery laserowe 3D stały się obiektem zainteresowania, szczególnie w zakresie rekonstrukcji i reprodukcji 3D, głównie z powodu ich możliwości zarejestrowania ogromnej liczby punktów, z wysoką dokładnością, w stosunkowo krótkim czasie. Specjalnie w obszarze monitoringu deformacji, w celu analizowania konstrukcyjnej stabilności budowli stanowiącej dziedzictwo kulturowe, skanery laserowe mogą zapewnić dużo gęstsze i w ten sposób lepsze przedstawienie deformacji, które nastąpiły w miarę upływu czasu.

Jednopunktowa dokładność nowoczesnych skanerów laserowych średniego zasięgu waha się od 5 do 25 mm, zależnie od lasera i zastosowanej metody pomiarowej, ale również w zależności od warunków pomiaru i powierzchni przedmiotu, który ma zostać zeskanowany. W porównaniu z dokładnością tradycyjnych technik pomiarów geodezyjnych używanych dla monitorowania deformacji, takich jak tachimetry lub czujniki kontaktowe, dokładność skanera laserowego jest w przybliżeniu o jeden rząd wielkości lepsza. Główną wadą tych tradycyjnych technik jest to, że oferują one tylko jednopunktowe pomiary, a zatem wymagają wcześniejszej znajomości krytycznych stref.

Dokładność skanera laserowego może jednakże zostać polepszona przez dopasowanie powierzchni do zbiorów punktów, i jako taka pozwoli uśredniać błędy dla każdego pojedynczego punktu. Aby jeszcze bardziej zoptymalizować dokładność, można przeprowadzić po kolei wielokrotne skonowanie tego samego przedmiotu, zwiększając liczbę punktów i w ten sposób teoretycznie poprawiając odchylenie standardowe pomiaru pojedynczego punktu [1].

termining the sensitivity of laser scanning for detecting deformations.

## 2. 3D-Laser Scanning

Laser scanners used in built heritage recording are categorized by their measuring principles: phase-based scanners and pulse-based scanners. Pulse-based scanners emit laser pulses and measure the time between sending these pulses and receiving their reflection from a surface. Since the laser pulse travels with a constant speed, the speed of light, the distance between the scanner and the object can be determined. Their main benefits are the large range (up to 3km) and the fact that their accuracy is independent of the distance to the objects that needs to be measured. One disadvantage is the fact that before sending a second pulse, one needs to wait for the reflection of the first pulse to be received. This makes this measurement principle rather slow (50.000 pts./sec) compared to phase-based scanners (500.000 pts./sec.). Phase based scanners emit a continuous modulated signal and calculate the distance to the object by comparing the phase of the reflected signal to that of the sent signal. This allows a faster point acquisition. However, as the signal modulation is affected by noise at longer distances, its range is limited to 50 meter, or even to 25 meter for highly accurate measurements.

The result of a 3D laser scanning campaign is a virtual three-dimensional point cloud representing the entire geometry of the scanned area. As laser scanning is a field-of-view technique, meaning that laser scanners cannot 'see' through obstacles or around edges, multiple scan positions are often necessary to cover the whole object. The process of linking these different positions is called 'registration'. The registration of multiple scans is often performed using artificial targets placed in the scene and captured with very high resolution using the laser scanner. These artificial targets then define reference points in the virtual point cloud and allow the computation of transformations putting all the scans in the same reference system.

Once all the sub-scans are registered, the global point cloud still needs extensive processing in order to obtain useful information. The main steps in this processing workflow are: noise reduction, resampling, surface modeling and hole filling.

## 3. Deformation monitoring using laser scanning

Research on the use of terrestrial laser scanners for deformation monitoring has started only recently,

W niniejszym artykule są przedstawione wyniki badań w warunkach laboratoryjnych, które miały na celu określenie czułości lasera skanującego dla wykrywania deformacji.

## 2. Skanowanie laserowe 3D

Skanery laserowe użyte do rejestrowania budowlanych obiektów dziedzictwa kulturowego są sklasyfikowane według ich zasady przeprowadzania pomiaru jako: skanery fazowe i skanery impulsowe. Skanery impulsowe emitują impulsy laserowe i mierzą czas między wysłaniem tych impulsów i odbiorem ich odbicia od powierzchni. Ponieważ impuls laserowy przemieszcza się ze stałą szybkością, szybkością światła, może zostać określona odległość między skanerem i przedmiotem. Ich głównymi zaletami są duży zasięg (do 3 km) i fakt, że ich dokładność jest niezależna od odległości od przedmiotów, które mają zostać zmierzone. Wadą jest fakt, że przed wysłaniem drugiego impulsu trzeba poczekać, aż odbicie pierwszego impulsu zostanie odebrane. Ta zasada czyni pomiar raczej powolnym (50.000 punktów/sekunde) w porównaniu ze skanerami fazowymi (500.000 punktów/sekunde). Skanery fazowe emitują ciągły modulowany sygnał i obliczają odległość do przedmiotu przez porównywanie fazy sygnału odbitego z fazą sygnału wysłanego. To pozwala na szybsze gromadzenie punktów. Jednakże, ponieważ na większych odległościach na modulację sygnału wpływa szum, jego zasięg jest ograniczony do 50 metrów lub nawet do 25 metrów dla wysoce dokładnych pomiarów.

Wynikiem przeprowadzonej akcji skanowania laserowego 3D jest wirtualna trójwymiarowa chmura punktów, reprezentująca całą geometrię analizowanego obszaru. Ponieważ skanowanie laserowe jest techniką pomiaru tego, co jest w polu widzenia, oznacza to, że skanery laserowe nie mogą 'widzieć' przez przeszkody lub za krawędzią, i często konieczne są skanowania przeprowadzone z wielu różnych pozycji, aby objąć przedmiot 'wzrokiem' w całości. Proces powiązania tych rozmaitych pozycji nazywany jest „rejestracją”. Rejestracja wielokrotnych skanów jest często wykonywana przy użyciu sztucznych celów umieszczonych w scenie i uchwyconych z bardzo dużą rozdzielczością przy użyciu skanera laserowego. Te sztuczne cele wtedy definiują następnie punkty odniesienia w wirtualnej chmurze punktów i pozwalają na obliczenia przekształceń zestawiających wszystkie skany w tym samym systemie odniesienia.

Gdy tylko wszystkie pod-skany są zarejestrowane, globalna chmura punktów nadal musi zostać głęboko przetworzona, aby uzyskać przydatną informację. Główne kroki w tym schemacie działań są następujące: redukcja szumów, ponowne po-

mainly because of the low single point accuracy that can be achieved. However, in literature a number of references can be found using this technique. Tsakiri [2] publishes the results of a deformation measurement of a sea lock using a laser scanner which is fixed on a stable position. The point clouds are then segmented by fitting planes and the distances between these planes are computed as a deformation measurement. The detected deformation are in the order of 9 to 21 mm.

Gonzales and Aguilera [3] use terrestrial laser scanning to perform 3 subsequent measurements of a dam in Spain. The first survey is done when the reservoir behind the dam is empty, and the second survey when it is filled. Between the second and the third survey, a tunnel was built close by. In order to orient the point clouds according to each other, they use artificial targets attached to an external reference system using total station measurements. The detected deformations between the first and the second measurement campaign fulfilled the expected pattern, resulting in deformation of 8mm in the center of the dam decreasing towards the edges. Between the second and the third measurement, deformations up to 18 mm were detected.

Gielsdorf [4] describes an algorithm that orients subsequent point clouds according to each other based on the automatic recognition of flat surfaces. Tests prove that deformations larger than 10 mm can be detected.

The workflow for deformation monitoring using terrestrial laser scanning can be described as follows. A structure is scanned at two different times  $t_1$  and  $t_2$ , assuming it deforms within this time frame. This results in two point clouds representing the structures' condition at these points in time. For the sake of simplicity we will assume that only one scan is made of the structure, so that there is no need for registration of different point clouds.

Next, both point clouds must be positioned according to the same spatial reference. This is a crucial step which we will call "orientation". After having been oriented in a unique reference system, the point clouds can be compared to determine the deformations that have taken place between  $t_1$  and  $t_2$ . However, since laser scanners never measure exactly the same points two times in a row, rough point clouds cannot be compared. Therefore at least one of the point clouds must be converted to a mesh before the differences between both scans can be computed.

bieranie próbki, modelowanie powierzchni i wypełnianie dziur.

### 3. Monitoring deformacji przy użyciu skanowania laserowego

Badanie dotyczące użycia naziemnych skanerów laserowych dla monitoringu deformacji zaczęły się dopiero ostatnio, głównie z powodu niskiej dokładności pojedynczego punktu możliwej do osiągnięcia. Jednakże w literaturze można znaleźć kilka odniesień do zastosowania tej techniki. Tsakiri [2] publikuje wyniki pomiaru deformacji śluzy morskiej przy użyciu skanera laserowego, który jest umocowany na stałej pozycji. Chmury punktów są następnie dzielone poprzez dopasowanie płaszczyzn, i obliczane są odległości między tymi płaszczyznami jako miara odkształcenia. Wykryte odkształcenia są rzędu 9 do 21 mm.

Gonzales i Aguilera [3] użyli naziemnego skanowania laserowego, aby wykonać 3 kolejne pomiary tamy w Hiszpanii. Pierwszy pomiar geodezyjny był zrobiony, kiedy zbiornik za tamą był pusty, a drugi pomiar geodezyjny był dokonany przy napelnionym zbiorniku. Między drugim i trzecim pomiarem, w pobliżu obiektu zbudowano tunel. Aby zorientować chmury punktów odpowiednio względem siebie, użyli oni sztucznych celów związanych z zewnętrznym systemem odniesienia, stosując pomiary tachimetrem. Wykryte odkształcenia między pierwszą i drugą sesją pomiarową spełniały oczekiwania dla tego modelu, wykazując odkształcenia 8 mm w centrum tamy, malejące w kierunku ku jej krawędziom. Wykryto, że między drugim i trzecim pomiarem odkształcenia zwiększyły się do 18 mm.

Gielsdorf [4] opisuje algorytm, który orientuje kolejne chmury punktów względem siebie, oparty na automatycznym rozpoznaniu płaskich powierzchni. Testy udowadniają, że można wykryć odkształcenia większe niż 10 mm.

Schemat procesu monitorowania odkształceń przy użyciu naziemnego skanowania laserowego może zostać opisany następująco. Jakaś konstrukcja jest skanowana w dwu odrębnych momentach czasu  $t_1$  i  $t_2$ , przy założeniu że w tej ramie czasowej wystąpiło odkształcenie. To doprowadza do otrzymania dwóch chmur punktów, reprezentujących stan tej konstrukcji w tych dwóch punktach czasu. Dla uproszczenia założymy, że tylko jedno skanowanie konstrukcji zostało przeprowadzone, a zatem nie ma potrzeby rejestracji innych chmur punktów.

Następnie obydwie chmury punktów muszą zostać usytuowane zgodnie z tym samym przestrzennym układem odniesienia. To jest decydujący krok, który nazwiemy „orientowanie”. Po zorientowaniu w jednoznacznym systemie odniesienia, chmury pun-



The orientation of the point clouds in a common reference is of the greatest importance for the accuracy of the detected deformations. For this reason, four possible configurations (table 1) for the set-up of the measurement campaign are preset. Each of these configurations implies a different way of referencing the point clouds captured at different times. However, only two of the configurations lead to an accuracy that is high enough for deformation monitoring in historical buildings.

któw mogą zostać porównane, aby określić odkształcenia, które nastąpiły między  $t_1$  i  $t_2$ . Jednakże, ponieważ skanery laserowe nigdy nie mierzą dokładnie tych samych punktów dwa razy pod rząd, nie można porównywać tylko przybliżonych chmur punktów. Dlatego też co najmniej jedna z chmur punktów musi zostać przetworzona do siatki, zanim będą mogły zostać obliczone różnice między obu skanami.

Orientacja chmur punktów we wspólnym układzie odniesienia ma największe znaczenie dla dokład-

Tab. 1. Accuracy of displacement measurements with total station and laser scanner  
Dokładność pomiarów przemieszczenia tachimetrem i skanerem laserowym

	Configuration <i>Konfiguracja</i>	Advantages <i>Zalety</i>	Disadvantages <i>Wady</i>
Fixed scanner <i>Umocowany skaner</i>	Scanner fixed on a permanent, stable position. <i>Skaner umocowany na trwałej, stałej pozycji.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Accurate <i>Dokładny</i></li> <li>– Little labour intensive <i>Mało pracochłonny</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Expensive <i>Drogi</i></li> <li>– Chance of theft or damage <i>Możliwość kradzieży lub uszkodzenia</i></li> <li>– Scanner position must be stable <i>Pozycja skanera musi być stała</i></li> <li>– Only 1 point cloud per scanner possible <i>Możliwa jest tylko jedna chmura punktów na jeden skaner</i></li> </ul>
Fixed targets <i>Umocowane cele</i>	Targets are fixed on stable positions in or on the structure. <i>Cele są umocowane na stałych pozycjach w lub na konstrukcji.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Accurate <i>Dokładny</i></li> <li>– Multiple point clouds possible <i>Możliwe są wielokrotne chmury punktów</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Requirement for stable target positions (Possible movement of targets) <i>Wymaganie są stałe pozycje celów (Możliwe poruszenie celów)</i></li> </ul>
Temporary targets <i>Tymczasowe cele</i>	Targets are surveyed from each scanner setup and are also topographically surveyed referencing them to the same coordinate system. <i>Cele są zmierzone geodezyjnie dla każdego ustawienia skanera i również topograficznie względem tego samego układu współrzędnych.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No permanent elements on the monument (No chance of damaging the structure) <i>Nie ma żadnych trwałych elementów na budowli (Nie ma szans uszkodzenia konstrukcji)</i></li> <li>– No chance of moving targets <i>Nie ma szansy przemieszczenia celów</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Complex survey of targets <i>Złożony pomiar geodezyjny celów</i></li> <li>– Labor intensive <i>Pracochłonność</i></li> </ul>
Stable surrounding elements in the point cloud <i>Stabilne elementy otaczające w chmurze punktów</i>	No use of targets; a stable and easy to model part of the surroundings is used. <i>Nie używa się żadnych celów; używa się elementów otoczenia, które są stabilne i łatwe do modelowania</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No permanent elements on the monument (No chance of damaging the structure) <i>Nie ma żadnych trwałych elementów na budowli (Nie ma szans uszkodzenia konstrukcji)</i></li> <li>– No chance of moving targets <i>Nie ma szansy przemieszczenia celów</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No absolute reference possible <i>Żadne absolutne odniesienie nie jest możliwe</i></li> <li>– Requires stable elements in the surroundings <i>Wymaga stałych elementów w otoczeniu</i></li> <li>– Low accuracy <i>Niska dokładność</i></li> </ul>

The first set-up consists of a laser scanner placed in a permanent and stable position from where it can measure the structure at given time intervals. Since the scanner does not move between scans, its internal reference system does not change.

Therefore the resulting point clouds are automatically positioned in a unique reference and there is no need for further orientation. The main drawback of this configuration is the high cost involved, as the scanner should be left in place.

ności wykrytych odkształceń. Z tego powodu możliwe są cztery konfiguracje (tab. 1) organizowania sesji pomiarowej. Każda z tych konfiguracji pociąga za sobą inny sposób dopasowania chmur punktów ujętych w różnych momentach czasu do układu odniesienia. Jednakże tylko dwie z tych konfiguracji prowadzą do dokładności, która jest wystarczająco wysoka dla monitoringu odkształceń w historycznych budynkach.

Pierwsza organizacja składa się ze skanera laserowego umieszczonego w trwałej i stałej pozycji, z której może on zmierzyć daną konstrukcję w zadanych odstępach czasu. Ponieważ skaner nie porusza

A second set-up consists of permanent targets that are placed on stable positions. These targets, that are supposed not to move between measurements, are used for the orientation of the point clouds measured at different times. Since the orientation for this setup is based entirely on targets, the scanner moved after one measurement and placed back on approximately the same position for a measurement at another time. A potential problem with this set-up is the need to find stable points for the targets inside the scanned area. As historical buildings are constantly moving, this might be problematic.

When it is impossible to find stable locations for targets inside the scanned area, a third configuration can be used. In this set-up, targets are removed from the scanned area after every measurement and placed back (on possibly entirely different positions) for the next measurement. An external reference consisting of stable points outside the scanned area is then used to determine the position of the targets inside the scanned area before every measurement. The coordinates of the targets are determined using a topographical surveying method which should be as accurate as possible (i.e. total station). Although this set-up has been used with success for the monitoring of large dams [5], our tests have shown that the resulting accuracy is too low for deformation monitoring in historical structures.

The fourth set-up does not make use of any targets, nor does it need a laser scanner placed in a permanent and stable position. In this last case, stable parts of the structure itself or of its surroundings are used to orient the point clouds. The stable parts of the point clouds are selected and fitted together, resulting in the determination of the parameters of the rigid body transformation that orients one cloud with respect to another. Although our own tests have shown that even deformations of up to 2,5 cm could not be detected, Gielsdorf [4] claim to have detected deformations of 1 cm by using plane-fitting algorithms on historical buildings. This seems possible if the algorithms were of a very high quality, but in any case it is far below the sub-millimeter accuracy that is pursued in our research.

#### 4. Test case

In order to study the minimum detectable deformation using a terrestrial laser scanner, a test

się między poszczególnymi skanowaniami, jego wewnętrzny system odniesienia nie zmienia się.

Z tego względu chmury punktów, otrzymane jako wynik, automatycznie są usytuowane w jednoznacznym układzie odniesienia i nie ma żadnej potrzeby dalszej orientacji. Głównym mankamentem tej konfiguracji jest wysoki koszt jaki to pociąga za sobą, ponieważ skaner powinien być pozostawiony na miejscu.

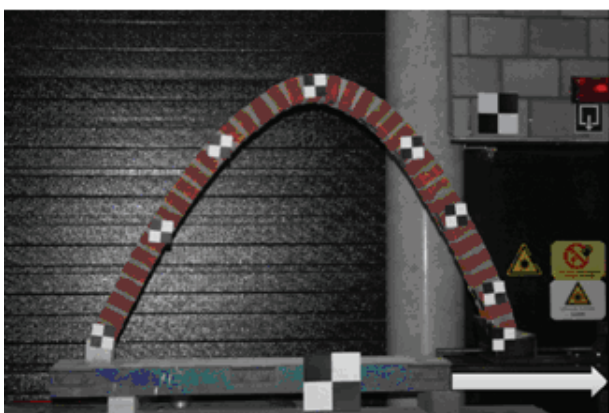
Druga organizacja składa się z trwałych celów, które są umieszczone na stałych pozycjach. Te cele, które mają pozostać nie ruszone w czasie między pomiarami, są użyte dla zorientowania chmur punktów zmierzonych w różnych momentach czasu. Ponieważ orientowanie przy tej organizacji jest oparte całkowicie na celach, skaner jest zabierany po każdym pomiarze i umieszczany z powrotem w przybliżeniu w tej samej pozycji dla przeprowadzenia pomiaru w innym momencie czasu. Potencjalnym problemem przy tej organizacji jest potrzeba znalezienia stałych punktów jako celów wewnątrz skanowanego obszaru. Ponieważ historyczne budynki stale przesuwają się, to mogłoby to być problematyczne.

Kiedy niemożliwe jest odnalezienie stałych miejsc jako celów wewnątrz skanowanego obszaru, może zostać użyta trzecia konfiguracja. W tej organizacji, cele są usuwane ze skanowanego obszaru po każdym pomiarze i są umieszczane z powrotem (na prawdopodobnie całkowicie odmiennych pozycjach) dla następnego pomiaru. Wtedy, aby określić pozycję celów wewnątrz skanowanego obszaru, przed każdym pomiarem użyty jest zewnętrzny system odniesienia składający się ze stałych punktów poza skanowanym obszarem. Współrzędne celów są określane przy użyciu topograficznej metody pomiaru geodezyjnego, która powinna być tak dokładna, jak to możliwe (tzn. tachimetr). Choć ta organizacja została z sukcesem użyta dla monitoringu dużych tam [5], nasze testy pokazały, że wynikowa dokładność jest zbyt niska dla monitorowania odkształceń w historycznych konstrukcjach.

Czwarta organizacja nie wykorzystuje żadnych celów, ani nie potrzebuje skanera laserowego umieszczonego w trwałej i stałej pozycji. W tym ostatnim przypadku, stałe części samej konstrukcji lub jej otoczenia są użyte do zorientowania chmur punktów. Stałe części chmur punktów są wybierane i dopasowywane do siebie, co prowadzi do określenia parametrów transformacji ciała sztywnego i orientacji jednej chmury w odniesieniu do innej. Choć nasze własne testy pokazały, że nawet odkształcenia do 2,5 cm nie mogłyby zostać wykryte, Gielsdorf [4] twierdzi, że wykrył odkształcenia 1 cm przy użyciu algorytmów dopasowania płaszczyzn na historycznych budynkach. To wydaje się możliwe, jeżeli algorytmy były bardzo wysokiej jakości, ale w każdym razie jest to daleko mniej niż dokład-

case was prepared. The object of the test measurements is a 90 cm high by 140 cm wide masonry arch (figure 1). One of the legs of the arch was attached to a movable platform controlled by a screwing mechanism. The masonry arch was selected because of its rough but realistic texture, its high resistance to deformations and the high occurrence of arches in historical heritage buildings.

At first the scanner for placed in a stable position and was not moved throughout the experiment, allowing to test the first setup configuration. The scanner used in this test campaign was a Leica Scanstation 2 pulse-based scanner which has a per point accuracy of 4-6 mm.



ność poniżej milimetra, która jest osiągnięta w naszych badaniach.

#### 4. Konkretny przykład próby

Aby zbadać minimalne wykrywalne odkształcenie przy użyciu naziemnego skanera laserowego, został przygotowany przykład. Przedmiotem testowych pomiarów jest murowany łuk o wysokości 90 cm i rozpiętości 140 cm (rys. 1). Jedna z podpórek łuku została przymocowana do ruchomej platformy kontrolowanej przez mechanizm śrubowy. Murowany łuk został wybrany z powodu swojej szorstkiej, ale realistycznej tekstury, wysokiej odporności na odkształcenia i częste występowanie łuku w historycznych budynkach stanowiących dziedzictwo kulturowe.

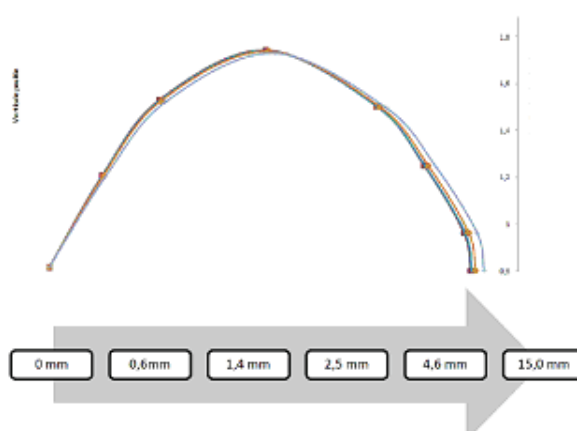


Fig. 1. The masonry arch with paper targets (left), scheme of subsequent applied deformations (right)  
Rys. 1. Murowany łuk z papierowymi celami (po lewej), schemat kolejnych zastosowanych odkształceń (po prawej)

The arch was scanned multiple times, moving the right leg of the arch a few millimeters outwards between scans. The exact displacement of the foot was measured using an electronic vernier calliper with a precision of 0,1 mm. After every step, two scans were taken of the arch and its surroundings, one with a resolution of 5 mm and one with 1 mm. This allowed to determine the effect of resolution on the accuracy of the results.

Firstly, the ability to detect deformations based on artificial targets was analyzed. A paper target was attached to the moving platform. This target was measured using both a reflectorless total station and the terrestrial laser scanner after each step. In this way, the accuracy of the displacement measured by both total station and laser scanner could be checked. Table 2 shows the error on the difference between two positions of a target measured from the same scanning position. As such, any systematic errors are ruled out and there is no uncertainty about the orientation between different point clouds. As both

Najpierw skaner umieszczono w stałej pozycji i nie był poruszony przez cały okres eksperymentu, co pozwalało przetestować pierwszą konfigurację organizacji pomiaru. Skaner użyty w tej sesji testowej był to skaner Leica Scanstation 2, impulsowy skaner, o dokładności 4-6 mm na jeden punkt.

Łuk był skanowany wiele razy, przy przesuwaniu prawej podpórki łuku między poszczególnymi skanowaniami w kierunku na zewnątrz o kilka milimetrów. Dokładne przemieszczenie podpórki zostało zmierzone przy użyciu elektronicznej suwmiarki z noniusem o dokładności 0,1 mm. Po każdym kroku dokonywano dwu skanowań łuku i jego otoczenia, jednego z rozdzielczością 5 mm i jednego z rozdzielczością 1 mm. To pozwoliło określić wpływ rozdzielczości na dokładność wyników.

Najpierw została przeanalizowana zdolność wykrywania odkształceń w oparciu o sztuczne cele. Cel wykonany z papieru został przymocowany do poruszanej platformy. Ten cel został zmierzony po każdym kroku, przy użyciu zarówno tachimetru bez reflektora, jak i naziemnego skanera laserowego. W ten sposób dokładność przemieszczenia, wymie-

Tab. 2. Accuracy of displacement measurements with total station and laser scanner  
*Dokładność pomiarów przemieszczenia tachimetrem i skanerem laserowym*

Displacement [mm] <i>Przemieszczenie [mm]</i>	Total station <i>Tachimetr</i>		Laser scanner <i>Skaner laserowy</i>	
	Measured [mm] <i>Zmierzone [mm]</i>	Error [mm] <i>Błąd [mm]</i>	Measured [mm] <i>Zmierzone [mm]</i>	Error [mm] <i>Błąd [mm]</i>
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,6	1,0	0,4	1,0	0,4
1,4	2,0	0,6	1,2	0,2
2,5	3,0	0,5	2,1	0,4
4,6	5,0	0,4	5,0	0,4
15,0	15,0	0,0	15,2	0,2
	mean error <i>średni błąd</i>	0,3	mean error <i>średni błąd</i>	0,3

the total station and the laser scanner use the same measuring principle of reflectorless measuring, the errors are very similar.

Then, the point clouds themselves were used to detect deformations. The point clouds measured after each deformation step were compared with a mesh of the original geometry of the arch. This brings up the first parameter influencing the measurements, namely the scan resolution. The higher the resolution, the better the local surface is approximated. However, in practice, a proper balance needs to be found between the required level of detail and the scan time. In this test case scans were made with a resolution of 1 mm and 4 mm. The point clouds obtained were then meshed using the software package Geomagic Studio. Scans made at a resolution of 1 mm were clearly oversampled. Oversampling occurs when the resolution is chosen so small that the distance between neighboring points becomes smaller than the error on the distance between scanner and object. For the Scanstation 2, this error on the distance measurement is approximately 4 mm.

Comparison between the scans with resolution 1 mm (which are clearly oversampled) and those with resolution 5 mm showed that the measurement error on the distance between scanner and object is independent of the resolution. This means that the accuracy of an oversampled point cloud is as good as the accuracy of a normal point cloud. Some problems arise, however, when a meshing algorithm is applied to the data. Oversampled point clouds lead to meshes with a very poor quality. This can be explained by the fact that the angle between neighboring elementary planes becomes too sharp, resulting in a very coarse surface. This can be seen in figure 2.

rzona zarówno tachimetrem, jak i skanerem laserowym mogła zostać sprawdzona. Tabela 2 podaje błąd różnicy między dwiema pozycjami celu wymierzonego z tej samej pozycji skanera. Systematyczne błędy są wykluczone jako takie, i nie ma żadnej niepewności co do orientacji między różnymi chmurami punktów. Jako że zarówno tachimetr, jak i skaner laserowy stosują tę samą zasadę pomiarową – bez reflektora, błędy są bardzo podobne.

Następnie użyto samych chmur punktów, aby wykryć odkształcenia. Chmury punktów wymierzone po każdym kroku odkształcenia były porównywane z siatką oryginalnej geometrii łuku. To dostarcza pierwszego parametru wpływającego na pomiary, mianowicie rozdzielczości skanowania. Im wyższa rozdzielczość, tym lepsza aproksymacja lokalnej powierzchni. Jednakże w praktyce musi zostać znaleziona właściwa równowaga między wymaganym poziomem uszczegółowienia i czasem skanowania. W tym testowym przypadku skanowania zostały wykonane z rozdzielczością 1 mm i 4 mm. Uzyskane chmury punktów zostały następnie przyporządkowane siatce przy użyciu oprogramowania Geomagic Studio. Skanowanie wykonane przy rozdzielczości 1 mm było wyraźnie obciążone nadmiarową ilością próbkowania. Nadmiarowa ilość próbkowania występuje wtedy, kiedy rozdzielczość jest wybrana tak gęsto, że odległość między sąsiadującymi punktami staje się mniejsza niż błąd pomiaru odległości między skanerem i przedmiotem. Dla Scanstation 2 ten błąd pomiaru odległości wynosi w przybliżeniu 4 mm.

Porównanie między skanami z rozdzielczością 1 mm (które jest wyraźnie obciążone nadmiarową ilością próbkowania) i tymi z rozdzielczością 5 mm pokazało, że błąd pomiaru odległości między skanerem i przedmiotem jest niezależny od rozdzielczości. To znaczy, że dokładność chmury punktów z nadmiarową ilością próbkowania jest również dobra, jak

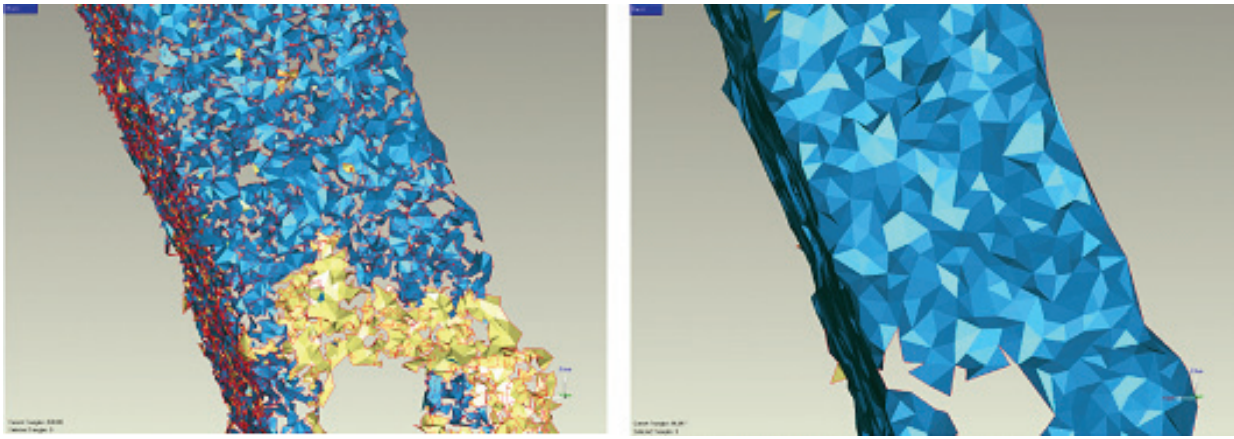


Fig. 2. Meshed point clouds resulting from different point cloud resolutions, (left) 1mm, (right) 5mm  
 Rys. 2. Chmury punktów przypisane do siatki, będące wynikiem różnych rozdzielczości chmury punktów, (lewa) 1 mm, (prawa) 5 mm

Tests were performed, applying smoothing algorithms or resampling the oversampled point clouds in order to reduce their point density. These resulted in negative effects on the accuracy of the data. For this reason it is very important that the resolution should be correctly chosen from the start. As a rule one should remember that the resolution must be at least as big as the error on the distance measurement from scanner to subject.

Finally, the 5 mm resolution scans were used and the distances between the deformed point clouds and the original meshes were computed and plotted on a 3D model of the arch using Geomagic. A colored representation illustrates the computed distances between the models, where green are relative distance smaller than 0,5 mm. These are the points for which it is impossible to tell whether the distance between the point clouds is due to noise in the data or due to real deformations.

The other colors give the magnitude of distances that should represent real deformations. Analyzing the different deformations, it was possible to clearly detect deformations of the point cloud for a displacement of the foot of the arch over 0,8 mm. The distance plot for this step is shown in figure 3. Bigger displacements led to (much) clearer results.

The other setup configurations were tested as follows. For the second configuration a number of artificial targets (both black-and-white paper targets and highly reflective Leica HDS targets) were placed on stable positions around the arch. The third configuration was simulated by placing a larger amount of targets around the arch than necessary. In this way, targets could be deleted from the point clouds, resulting in point clouds containing each a different set of targets. The coordinates of

dokładność normalnej chmury punktów. Jednakże, powstają pewne problemy, kiedy algorytm dopasowania do siatki jest zastosowany do danych. Chmury punktów z nadmiarową ilością próbkowania prowadzą do tworzenia siatek o bardzo złej jakości. To można wyjaśnić faktem, że kąt między sąsiadującymi elementarnymi płaszczyznami staje się zbyt ostry, co doprowadza do bardzo szorstkiej (zgrubnej) powierzchni. To można zobaczyć na rys. 2.

Testy zostały wykonane przy zastosowaniu wygładzających algorytmów lub z ponownym pobieraniem próbki chmury punktów z nadmiarową ilością próbkowania, aby zredukować ich gęstość punktów. To skutkowało negatywnie na dokładność danych. Z tego powodu bardzo ważne jest, żeby rozdzielczość została od początku poprawnie wybrana. Z reguły należy pamiętać, że rozdzielczość musi być co najmniej tak duża, jak błąd pomiaru odległości od skanera do przedmiotu.

W końcu zastosowano skanowanie przy rozdzielczości 5 mm i zostały obliczone odległości między zniekształconymi chmurami punktów i oryginalnymi siatkami i zostało to nałożone w układzie współrzędnych na trójwymiarowym modelu łuku przy użyciu oprogramowania Geomagic. Barwna ilustracja przedstawia obliczone odległości między modelami, gdzie na zielono oznaczono względne odległości mniejsze niż 0,5 mm. To są te punkty, dla których niemożliwe jest określenie, czy odległość między chmurami punktów jest wynikiem szumu danych czy prawdziwych odkształceń.

Inne kolory podają wielkość odległości, które powinny reprezentować prawdziwe odkształcenia. Przy analizie rozmaitych odkształceń możliwe było wyraźne wykrycie zniekształcenia dla chmury punktów przy przemieszczeniu podparcia łuku o ponad 0,8 mm. Naniesienie odległości w układzie współrzędnych, dla tego kroku, jest pokazane na rys. 3. Większe przemieszczenia prowadziły do (znacznie) wyraźniejszych wyników.

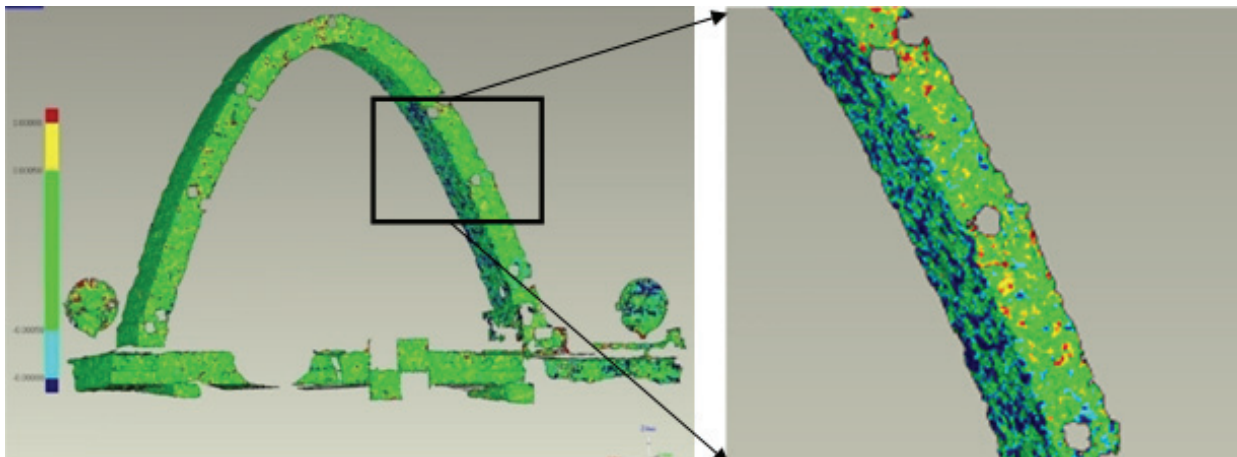


Fig. 3. Deformation plot of a displacement of the right foot over 0,8 mm outwards. The blue colour represents displacements to the right

Rys. 3. Nałożenie w układzie współrzędnych odkształcenia i przemieszczenia prawej podkowy o ponad 0,8 mm w kierunku na zewnątrz. Niebieski kolor reprezentuje przemieszczenia w prawo

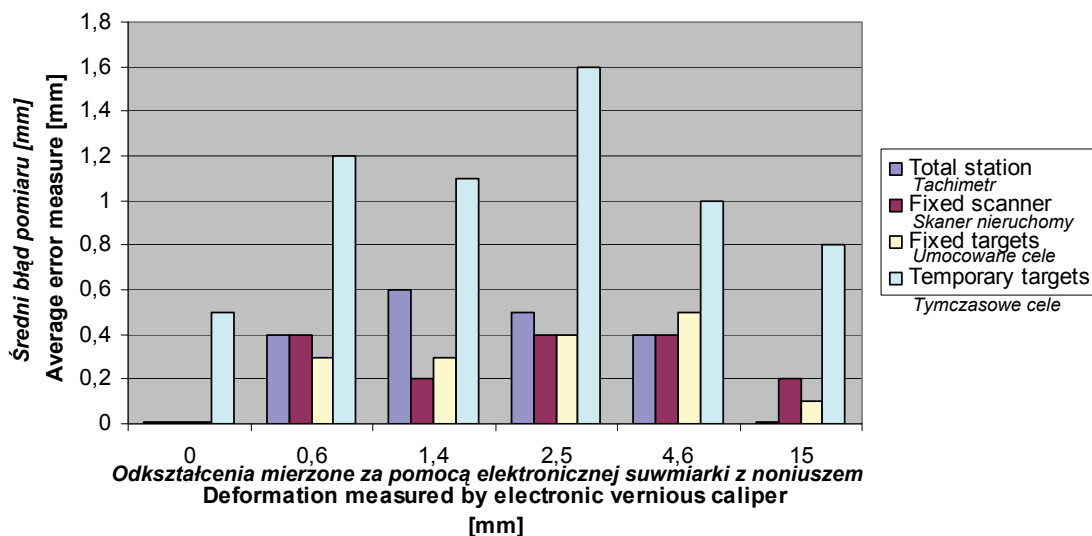


Fig. 4. Average errors on the target measurements for different measurement configurations

Rys. 4. Średnie błędy pomiarów celów dla rozmaitych konfiguracji pomiaru

all the targets were measured by a total station standing on a permanent position during the whole test. Finally, the fourth configuration was simulated by deleting all the targets in the point clouds and by using the surrounding walls and furniture as stable parts of the point clouds.

For the configuration using fixed targets, the average errors on the target measurements are almost identical to those of the configuration using a fixed scanner position (see figure 4). The use of temporary targets led to a slightly larger error in the order of 1 mm. However, it has to be noted that the total station was not moved in our study. This means that in practice, a set error will be introduced by repositioning the total station. As this set error can be minimized by using a proper network, it can be said that even temporary targets can be used for deformation monitoring.

The final configuration using some stable elements in the environment lead to much larger errors

Inne konfiguracje organizacji pomiaru były testowane następująco. Dla drugiej konfiguracji kilka sztucznych celów (zarówno czarno-białe cele wykonane z papieru, jak i silnie odbijające cele Leica HDS) zostało umieszczonych na stałych pozycjach dookoła łuku. Trzecia konfiguracja była symulowana przez umieszczanie większej, niż to konieczne, ilości celów dookoła łuku. W ten sposób cele mogły zostać skreślone z chmur punktów, dając w wyniku chmury punktów z których każda zawierała inny zbiór celów. Współrzędne wszystkich celów zostały zmierzone przez tachimetr stojący na stałej pozycji podczas całego testu. W końcu czwarta konfiguracja była symulowana przez usunięcie wszystkich celów w chmurach punktów i przez używanie otaczających ścian i mebli jako stałych części chmur punktów. Dla konfiguracji używającej stałych celów, średnie błędy pomiarów celu są prawie identyczne jak te z konfiguracji przy użyciu ustalonej pozycji skanera (patrz rys. 4). Użycie tymczasowych celów prowadziło do

in the order of 30 to 40 mm. It also has to be noted that in the presented test, the deformation subject was many times smaller than the stable area used for the orientation. In practice this will often be vice versa. As such this configuration cannot be used for deformation monitoring purposes.

## 5. Conclusion

Using a laboratory test on a masonry arc, it has been shown that displacements of 0,8 mm can be detected from a point cloud obtained by terrestrial laser scanning. The main benefit of using laser scanning for deformation monitoring is the fact that it can give a clear understanding of the general trend of the displacement as opposed to traditional (total station) measurements that only survey a sparse set of points. As the detectable deformation obtained by using artificial targets is 2 times higher than when using only the point clouds, it is advised to combine both. The target measurements will provide accurate deformation measures while the point clouds will point up the global deformation trend and possible critical zones. For an extensive discussion of this case study and a more detailed overview of the accuracy of current laser scanners we refer to Demeyere and Herinckx [6].

nieznacznie większego błędu, rzędu 1 mm. Jednakże należy zauważyć, że w naszych badaniach tachimetr nie został przesunięty. To znaczy, że w praktyce stały błąd będzie wprowadzony przez przemieszczenie tachimetru. Ponieważ ten stały błąd może zostać zminimalizowany przez używanie właściwej siatki, to można powiedzieć, że nawet tymczasowe cele mogą zostać użyte dla monitoringu odkształceń.

Końcowa konfiguracja przy użyciu jakichś stałych elementów z otoczenia prowadzi do znacznie większych błędów, rzędu 30 do 40 mm. Należy też zauważyć, że w przedstawionym teście obiekt ulegający odkształceniu był wiele razy mniejszy niż stały obszar użyty dla zorientowania. W praktyce często będzie sytuacja odwrotna. Jako taka, ta konfiguracja nie może zostać użyta dla monitoringu odkształceń.

## 5. Wnioski

Przy użyciu prób w laboratorium, przeprowadzonych na murowanym łuku, zostało pokazane, że można wykryć przemieszczenia 0,8 mm przy pomocy chmury punktów uzyskanej przez naziemne skanowanie laserowe. Główną korzyść z zastosowania skanowania laserowego dla monitoringu odkształceń płynie z faktu, że może to dać jasne ogólne pojęcie o generalnej tendencji przemieszczenia, w przeciwieństwie do tradycyjnych (tachimetr) pomiarów, które pozwalają uzyskać tylko pomiary geodezyjne rzadkiego zbioru punktów. Jako że odkształcenia wykrywalne przy użyciu sztucznych celów są 2 razy większe niż kiedy używa się tylko chmury punktów, zaleca się, by utworzyć kombinację obydwu. Pomiar z celem dostarczą dokładnej miary odkształcenia, podczas kiedy chmury punktów wskażą globalny trend odkształcenia i możliwe krytyczne strefy. Dla zapoznania się z obszerną dyskusją tego badanego przypadku i bardziej szczegółowym przeglądem dokładności aktualnych skanerów laserowych należy skorzystać z Demeyere i Herinckx [6].

## References • Literatura

- [1] [1] Lichti, D., Gordon, S., Stewart M., *Ground-based Laser Scanners: Operation, systems and Applications*, Geomatica, 2002, 56 (1), 21-33.
- [2] [2] Tsakiri, M., Lichti, D., Pfeifer, N., *Terrestrial laser scanning for deformation monitoring*. In: Proceedings of the 3rd IAG/12th FIG Symposium, 2006.
- [3] [3] González-Aguilera, J.S.D., Gómez-Lahoz., J., *A new approach for structural monitoring of large dams with a three-dimensional laser scanner*. Sensors, 2008, 8, ISSN 1424-8220.
- [4] [4] Gielsdorf, F., Gruendig, L., Milev, I., *Deformation analysis with 3D laser scanning*. In: Proceedings of the 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, 2008.
- [5] [5] Alba, M., Giussani, A., Roncoroni, F., Scaioni, M., Valgoi, P., *Geometric Modelling of a Large Dam bu Terrestrial Laser Scanning*. In: Proceedings of the XXIII FIG Congress, 2006.
- [6] [6] Demeyere, T., Herinckx, S., *Terrestrische laserscanning in de monumentenzorg: Nauwkeurighedsanalyses en generatie van 2D snedes*. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven 2009.

## Abstract

Over the last few years many researchers have tried to exploit the benefits of laser scanning by using the technique in a broad range of applications and constantly challenging its possibilities. Especially in the field of cultural heritage, laser scanning has become an important tool for the creation of as-built data for digital archiving, monitoring or restoration of important elements of our cultural heritage patrimonial. One of the challenges, still remaining, is the use of laser scanning for deformation monitoring. This article addresses the question whether laser scanning can produce sufficiently accurate measurements so that it can be used for deformation monitoring of historical structures.

## Streszczenie

W ciągu ostatnich kilku lat wielu naukowców próbowało wykorzystać skanowanie laserowe, używając tej techniki w szerokim zakresie zastosowań i stale rzucając wyzwanie jej możliwościom. Zwłaszcza w dziedzinie dziedzictwa kulturowego skanowanie laserowe stało się ważnym narzędziem dla tworzenia rzeczywistych, wynikających z budowli, danych dla cyfrowego archiwizowania, monitoringu lub restaurowania ważnych elementów naszego ojczystego dziedzictwa kulturowego. Jednym z wyzwań, nadal stojącym przed nami, jest użycie skanowania laserowego dla monitoringu odkształceń. Ten artykuł stawia pytanie, czy skanowanie laserowe może zapewnić wystarczająco dokładne pomiary, żeby mogło zostać użyte dla monitoringu odkształceń historycznych konstrukcji.



Marek Baścik\*, Paweł Dudek\*

## Generowanie ortofotoplanów w programie Pointools – zastosowanie skanera laserowego 3D

### Creating cost-effective orthophotoplans with Pointools software – one innovative application of 3D laser scanning

Do tej pory fotogrametria była praktycznie jedyną metodą umożliwiającą wygenerowanie ortofotoplanów elewacji budowli zabytkowych, często wymaganych przez konserwatorów. Wymagania te znacznie zwiększają koszty opracowania pełnej inwentaryzacji. Implementacja skanerów 3D do generowania zdjęć metrycznych usprawnia procedury pomiarowe, co w efekcie pozwala na znaczne obniżenie kosztów.

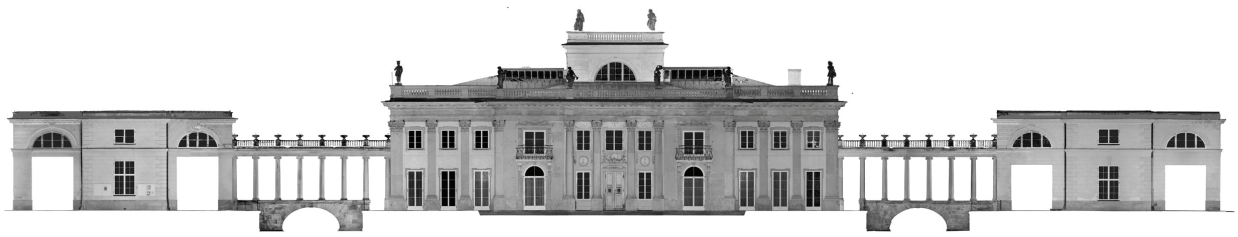
Fotogrametria nie ustępuje jednak całkowicie. W przypadku gdy projekt zakłada wykonanie ortofotoplanu o wielkości piksela mniejszej niż 3 mm, zastosowanie tylko i wyłącznie skanowania laserowego 3D jest zadaniem trudnym. W większości skanerów istnieje tak zwany czwarty wymiar, to znaczy oprócz standardowych trzech współrzędnych punktu mierzona jest jego intensywność, co składa się na siłę odbitego promienia laserowego. Tworzy to pewne złudzenie tekstury, wydatnie wspomagając obróbkę oraz interpretację chmury punktów, jednak nie oddaje realnie rzeczywistości. Warunki świetlne tak istotne w fotogrametrii nie mają znaczenia podczas skanowania, możliwa jest praca w całkowitej ciemności. Istotny jest jednak rodzaj oraz kolor materiału skanowanego obiektu, od których zależy siła odbitego sygnału.

Przykładem zastosowania skanowania laserowego 3D do wygenerowania ortofotoplanów może być jeden z naszych projektów przedstawiony poniżej. Zleceniodawca inwentaryzacji w „Łazienkach Warszawskich” w Warszawie zamówił wykonanie czarno-białych ortofotoplanów wszystkich elewa-

Photogrammetry – often an indispensable tool for architectural restorers – was once virtually the only method for generating an orthophoto elevation of an historic building. But creating such an image often significantly increase the costs of a project. Using 3D scanners to generate metric images, however, improves the measurement accuracy and significantly lowers costs at the same time.

Photogrammetry, however, cannot be eliminated completely. If the project involves the implementation of orthophotoplans with a pixel size of less than 3mm, creating an image with the use of 3D scanning alone is difficult. Most scanners are “fourth dimensional”, that is in addition to the standard three coordinates of a point they also measure the intensity of the reflected laser beam. This creates an illusion of texture and aides the treatment and interpretation of the pointcloud, but it does not accurately reflect the physical reality of the object scanned. Light conditions which are so important in photogrammetry are not a factor at all during the laser scan, so it is possible to work in complete darkness. However, the type and color of the material of the scanned object is important, since it determines the strength of the reflected signal.

One of our projects on showcase below is an excellent example of how 3D laser scanning can be used to generate an orthophoto. For our survey of the “Łazienki Królewskie” complex in Warsaw (euphemistically known as the “Royal Baths”) we needed to create a black and white orthophoto for



Rys. 1. Ortofotoplan południowej elewacji "Pałacu na Wodzie" w Łazienkach Królewskich w Warszawie. Wielkość piksela 4 mm.  
 Ortofotoplany wygenerowane w programie Pointools  
 Fig. 1. Orthophotoplan of south elevation of "Palace on the Water" in Warsaw. Pixel size 4 mm. Orthophotoplan generated in program called Pointools View Pro



Rys. 2. Fragment południowej elewacji  
 Fig. 2. Part of south elevation



Rys. 3. Detal architektoniczny elewacji południowej  
 Fig. 3. Architectural detail of south elevation

cji „Pałacu na Wodzie”. Do pomiaru wykorzystano skaner laserowy Faro LS 880 oraz precyzyjny tachimetr Leica TCRA 1101 plus. Dla zwiększenia globalnej dokładności chmury punktów wykonaliśmy pomiar i wyrównanie sieci geodezyjnej, szacujemy iż osiągnęliśmy dokładność na poziomie 3 mm. Narzędziem do wygenerowania widoków orto był program Pointools View Pro, który posiada funkcję wyświetlania chmury punktów w widokach ortogonalnych, a następnie tworzenia zdjęć o założonej wielkości piksela. Zdjęcia te mogą być produktem końcowym. Istnieje również możliwość dodawania współrzędnych do wygenerowanych zdjęć, co umożliwi odpowiednią orientację ich w programach CAD i późniejszą wektoryzację. Pomiar metodą skanowania laserowego trwał cztery dni, prace kameralne zajęły dwóm osobom dwa tygodnie. Nasza oferta zawierała również wykonanie tego zlecenia metodami tradycyjnymi. Zleceniodawca ze względu na znacznie wyższą cenę i dłuższy czas opracowania przy zastosowaniu metody tradycyjnej, zdecydował się na zastosowanie skanowania laserowego 3D.

Poniżej prezentujemy zdjęcia z Łazienek Królewskich w Warszawie.

each external wall of the “Pałac na Wodzie” or “Palace on the Water”. To do this we used the Faro Laser Scanner LS 880 and a Precision Total Station Leica TCRA 1101 plus. To increase the accuracy of the global pointcloud we integrated all the images from multiple observation points into a survey network. This gave us accuracy within 3 mm. To generate orthophotos we used a program called Pointools View Pro, which can display point clouds in an orthogonal view and create images based on the representative size of a pixel. These images are our final product. Another feature allows adding the coordinates to the generated ortho which incorporates the appropriate orientation and the subsequent vectorization in Cad. It took us 4 days to complete all the 3D scanning and surveys. Office work (including data processing and generation of orthophotoplans) was finished by two people over two weeks. If our client had chosen traditional photogrammetry, the price would have been higher and the final product would have been the same. The traditional method would also have taken longer to complete than 3D laser scanning.

Below we have a few examples from the “Łazienki Królewskie” project in Warsaw.

---

\* 3Deling, Kraków, Polska  
3Deling, Cracow, Poland

## Kongres Kultury Polskiej

### Congress of Polish Culture

W dniach 23-25 września 2009 roku w Krakowie odbył się VI Kongres Kultury Polskiej. Obradowano w Auditorium Maximum Uniwersytetu Jagiellońskiego. W drugim dniu Kongresu zorganizowano panel zatytułowany "W stronę systemu ochrony dziedzictwa kulturowego w Polsce". Moderatorem panelu był prof. F.Ziejka. Zaproszonymi do wypowiedzi uczestnikami paneli byli: prof. Jerzy Jasieńko, prof. Konrad Kucza-Kuczyński, prof. Bogumiła Rouba, prof. A.Tomaszewski. Panel rozpoczął wprowadzeniem prof. F.Ziejka. Następnie prof. Jacek Purchla przedstawił główne tezy "Raportu o systemie ochrony dziedzictwa kulturowego", które zostały opublikowane w, towarzyszącym Kongresowi, wydawnictwie: "Raporty o stanie kultury. Wnioski i rekomendacje". Autorzy Raportu (J.Purchla, A.Böhm, P.Dobosz, P.Jaskanis, B.Szmygin) uznali, iż do najważniejszych, koniecznych do niezwłocznego przeprowadzenia zadań, które stoją dziś przed władzą państwową odpowiedzialną za ochronę i opiekę nad zabytkami, należy zaliczyć, cyt.:

- ponowne scentralizowanie (oddespolenie) służb konserwatorskich i ich reintegrację;
- przywrócenie autonomicznego (odpolitycznionego) statusu urzędu Generalnego Konserwatora Zabytków i kadrowe wzmocnienie służb konserwatorskich;
- stworzenie alternatywnych pozabudżetowych mechanizmów finansowania ochrony dziedzictwa w analogii do istniejącego w Polsce systemu ochrony środowiska naturalnego;
- oparcie systemu zarządzania zasobami dziedzictwa kulturowego przede wszystkim na zasadach ekonomii społecznej, a nie na komercjalizacji zabytków;
- przełamanie syndromu Polski resortowej - zwłaszcza w dziedzinie gospodarki przestrzennej;
- lepsze wykorzystanie istniejących rozwiązań prawnych, takich jak park kulturowy (jego usta-

From 23rd to 25th September 2009, Krakow hosted the 6th Congress of Polish Culture. The conference was held in the Auditorium Maximum of the Jagiellonian University. During the 2nd day the plenary panel entitled "Towards a system of Cultural Heritage Preservation in Poland" took place. The panel was chaired by Professor F. Ziejka, other participants including Professors: Jerzy Jasieńko, Konrad Kucza-Kuczyński, Bogumiła Rouba, and A. Tomaszewski.

The panel started with an introduction by Professor F. Ziejka, then Professor Jacek Purchla presented the main thesis of "The Report on the system of preservation of cultural heritage", which has been published in: "Reports on the state of culture. Conclusions and recommendations." The esteemed authors of the Report (J. Purchla, A. Böhm, P. Dobosz, P. Jaskanis, B. Szmygin) came to the conclusion, that among the most important challenges, which ought to be answered immediately by due state authorities are:

- centralization of monument protection services and their reintegration;
- more autonomy for the General Monument Conservator Office (which should restrain from political influence); increasing the number of members of the monument protection services;
- introducing alternative extra-budgetary methods of founding protection of the cultural heritage and historic monuments in analogy to the existing system of environmental protection;
- setting the system of cultural heritage management on social economy basis and not solely on the commercial use of historic monuments;
- putting a stop to the "Polish resort syndrome" - especially in the management of space;
- forceful use of already existing legislative solutions, such as the cultural park (which should be implemented by the Voivodeship Monument

- nowienie winno być kompetencją wojewódzkiego konserwatora zabytków) dla prowadzenia skutecznej ochrony krajobrazu kulturowego;
- zrewidowanie polityki wpisu do rejestru (nawet za cenę powrotu do kategoryzacji zabytków) przez stosowanie statusu Pomnika Historii jako formy ochrony szczególnie wspieranej przez państwo;
  - podjęcie prac nad kompleksowym systemem edukacji na rzecz dziedzictwa, pojmowanej przede wszystkim jako wychowanie w poszanowaniu tradycji i wartości jej świadectw oraz nauka o skutecznym zarządzaniu zasobami dziedzictwa;
  - wspieranie przez państwo aktywnej partycypacji społeczeństwa obywatelskiego w procesie ochrony zabytków i opieki nad nimi, a zwłaszcza wykorzystanie potencjału organizacji pozarządowych;
  - ratyfikację międzynarodowych konwencji w zakresie ochrony dziedzictwa kulturowego i ścisłe przestrzeganie przez Polskę ich ducha i litery.

Po wypowiedzi prof. J. Purchli, głos zabrali zaproszeni paneliści.

Prof. K. Kucza-Kuczyński szczególnie nacisk położył na absolutną konieczność ochrony przestrzeni łącznie z obiektem zabytkowym, rozwijając tę tezę i dokumentując jej niezbywalność dla jakości i wartości chronionego pejzażu kulturowego.

Prof. B. Rouba przedstawiła wiele przykładów realizacji konserwatorskich z obszaru konserwacji obiektów budownictwa i architektury, zawierających istotne błędy, demontujące spójność wartości artystycznych, formalnych, materialnych, a tym samym niematerialnych zabytku.

Prof. A. Tomaszewski podkreślił, przede wszystkim, wagę potrzeby odziespolenia służb konserwatorskich. Podkreślił również, iż niespełna dwugodzinny panel, w żaden sposób nie równoważy znaczenia zabytków dla polskiej kultury, tożsamości, dla szeroko rozumianego, rozwoju Polski.

Prof. Jerzy Jasieńko przypomniał, iż w 2005 roku w Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie, miał miejsce, zorganizowany przez Stowarzyszenie Konserwatorów Zabytków, pierwszy po II wojnie światowej, Kongres Konserwatorów Polskich, w którym brali udział przedstawiciele całego środowiska (ok. 300 uczestników).

Kongres Konserwatorów Polskich przyjął (już wtedy, w 2005 roku) REZOLUCJĘ, której główne tezy są jednoznacznie zbieżne z tezami RAPORTU, przedstawionego przez prof. J. Purchlę. Opoowiedział się w nim za zamknięciem szerokiej dyskusji (wobec ponownie potwierdzonego stanowiska środowisk konserwatorskich) i za przystąpieniem do pilnych prac legislacyjnych. W obszernym wystąpieniu zwrócił uwagę, iż jednym z kierunków mo-

Conservator) for the more effective preservation of cultural landscape;

- changing methods of registry listing (even by reapplying categorization of historic monuments) – for example by granting the title of a “Monument of History” as a form of preservation supported by the State;
- preparation of a uniform system for cultural heritage education, which would stress the importance of tradition and its legacy, as well as popularize the knowledge and skills needed for its effective management;
- the State support for active participation of the society in the process of protection and preservation of cultural legacy (especially by non-governmental means);
- ratification of the international Conventions Concerning the Protection of Cultural Heritage and strict adherence to them.

After the statement by Professor Purchla, other guests presented their views and opinions.

Professor K. Kucza-Kuczyński stressed the absolute necessity to protect the heritage object as well as its space, as a key component for maintaining quality and value of the protected cultural landscape.

Professor B. Rouba presented examples of building and architecture conservation containing relevant faults, which diminished their artistic, formal, material coherence, and therefore the overall intangible value of the monuments.

Professor A. Tomaszewski emphasised the necessity for centralization of monument protection services. He also stated that a mere 2 hour discussion does not, by any means, gratify the importance of material heritage for our national culture, Polish identity and prospect development.

In 2005, in the Palace of Culture and Science in Warszawa - as Professor Jerzy Jasieńko kindly pointed out - the Congress of Polish Conservators of Historic Monuments took place. It was organized by the Association of Monument Conservators and has been the first such congress since World War II. Nearly 300 participants attended, which accounts for a good representation of the Conservators' milieu. Due to the fact, that in the year 2005 the Congress of Polish Conservators of Historic Monuments had already prepared a RESOLUTION, which contains theses similar to those of Professor Purchla's REPORT, Professor Jerzy Jasieńko stressed the need to end discussions and implement their findings - starting with legislation.

He noted that creating a National Center for Heritage Preservation could be a good solution. The

głoby być tu powołanie Narodowego (Polskiego) Centrum Ochrony Dziedzictwa a w rozważanym zamyśle decentralizacja powinna przebiegać w kierunku zwiększenia merytorycznej efektywności systemu ochrony, m.in. przez:

- dobudowanie, rozszerzenie grupy konserwatorów miejskich i samorządowych, powiązanych z Wojewódzką Służbą na drodze instancji odwoławczej
- poszerzenie i skonkretyzowanie współpracy organów ochrony z prestiżowymi organizacjami pozarządowymi i konserwatorami diecezjalnymi.

Prof. J. Jasieńko zwrócił również uwagę na potrzebę stworzenia przez Ministerstwo Kultury i Dziedzictwa Narodowego, mechanizmu przyznawania grantów ośrodkom naukowym w zakresie badań związanych z technologiami konserwatorskimi, analizami wytrzymałościowymi, technikami pomiarowymi, etc., w celu wsparcia ich rozwoju naukowego, którego efekty mogłyby mieć walor aplikacyjny.

Należy podkreślić, iż wszyscy paneliści w swoich wypowiedziach podtrzymali główne tezy RAPORTU. Panel, w krótkim wystąpieniu podsumował prof. F. Ziejka.

Panel był transmitowany „on line” w internecie.

Redakcja

Center would increase the efficiency of the preservation system by:

- augmenting municipal and local government conservators, associated with Voivodeship Service as their appeal authority
- specification and enhancing cooperation between preservation services, non-governmental organizations and diocesan conservators.

Furthermore, Professor J. Jasieńko advocated that the Ministry of Culture and National Heritage should implement new, more effective methods of granting funds for conservatory technologies, endurance analysis, measurement analysis etc., which would allow further research and development.

It is worth mentioning that all the participants agreed on the main subjects of the REPORT. The plenary panel was briefly summed up by Professor Ziejka, and it was transmitted online by the Internet.

## Streszczenie

We wrześniu 2009 roku odbył się VI Kongres Kultury Polskiej. Miejscem spotkania najwybitniejszych w kraju ludzi kultury był Kraków.

W trakcie obrad Kongresu wielokrotnie poruszano problemy związane z ochroną zabytków w Polsce. Temat ten zdominował drugi dzień Kongresu, kiedy to zorganizowano specjalny panel dyskusyjny zatytułowany: „W stronę systemu ochrony dziedzictwa kulturowego w Polsce”. Jego moderatorem został prof. F. Ziejka, a dyskutantami przedstawiciele różnych środowisk i władz związanych z ochroną zabytków w Polsce.

## Abstract

The 6th Congress of Polish Culture took place in September 2009. The most distinguished people of culture in Poland met in Krakow.

Problems connected with the protection of monuments in Poland were addressed repeatedly during the Congress's debates. This issue dominated the second day of the Congress, when a plenary panel entitled “Towards a system of Cultural Heritage Protection in Poland” was presented. The moderator of this panel was Professor F. Ziejka. The participants in discussions were representatives of various circles and authorities connected with monument protection in Poland.

Adamowski Józef	538	Kadłuczka Andrzej	381, 427
Ałykow Krzysztof	609, 646	Kadłuczka Katarzyna	427
Angeli Albino	289	Kamiński Mieczysław	584
Antonowicz Ryszard	365	Kania Stanisław	510
Arun Görün	279	Kania Tomasz	510
Bajno Dariusz	617	Karaszkievicz Paweł	94
Barazzetti Luigi	135	Kasprzak Tomasz	547
Baścik Marek	738	Kędzierski Michał	670
Bayram Bülent	659	Klimek Adam	365
Bednarz Łukasz	300	Kobielarz Magdalena	689
Beran Pavel	224	Konarzewski Leszek	369
Berkowski Piotr	108, 480	Kondolewicz Adam	166
Bettiol Giulia	186	Koss Andrzej	65
Bilko Piotr	245	Kościuk Jacek	679, 705
Binda Luigia	135	Kowal Zbigniew	565
Blasi Carlo	197	Koźmiński Leszek	679
Borri Antonio	147	Kubisz Waldemar	679
Brol Janusz	345	Kučerová Irena	224
Brzozowska Marzena	679	Kuleta Piotr	637
Casarin Filippo	186	Kurtz Karolina	518
Chyży Tadeusz	499	Kwiatkowska Ewa A.	94
Coisson Eva	197	Kwiecień Arkadiusz	234
Corradi Marco	147	Lipiec Marzena	463
Czapliński Kazimierz	218, 559	Łękawa-Wysłouch Teresa	94
Czech Krzysztof Robert	499	Magott Cezariusz	125
Ćmielewski Bartłomiej	718	Maksymowicz Krzysztof	689
da Porto Francesca	186	Malesza Mikołaj	499
Dalla Benetta Massimo	186	Małyszko Leszek	245
Dąbrowski Rafał	670	Mantegazza Giovanni	159
Di Tommaso Angelo	177	Marczak Jan	65
Dmochowski Grzegorz	108, 471	Matkowski Zygmunt	538
Dobrowolski Maciej	627	Mazzon Nicola	186
Drdáček Miloš	224	Mąkolski Krzysztof	718
Drobiec Łukasz	437	Medeksza Stanisław	627
Dudek Paweł	738	Miedziałowski Czesław	499
Edwards Howell G.M.	55	Misztal Barbara	336
Engel Lech	166	Moczko Andrzej	108
Fryškowska Anna	670	Modena Claudio	186
Gaczoł Andrzej	404	Munari Marco	186
Garbin Enrico	186	Musiał Michał	584
Gawron Krzysztof	218	Napierała Piotr	13
Giannantoni Antonella	147	Napiórkowska-Ałykow Magdalena	609, 646
Gosowski Bronisław	547	Nowak Rafał	253, 260
Gosowski Maciej	547	Nowak Tomasz	300, 314, 427
Iwanicka Magdalena	94	Ogrodnik Beata	463
Iwasaki Yoshinori	270	Orłowicz Romuald	245, 253, 260
Jasieńko Jerzy	166, 300, 314, 427	Otoni Federica	197
Jaskanis Paweł	390	Pająk Zbigniew	574
Jurek Tomasz	689	Panizza Matteo	186
		Paszkowski Zbigniew	518
		Peszko Andrzej	447
		Piazza Maurizio	289

Pieczynska Joanna	481	Slowek Grzegorz	592
Pietraszek Piotr	510	Speranzini Emanuela	147
Pikos Michał	57	Sroczyńska Jolanta	427
Pluska Ireneusz	26	Sylwestrzak Marcin	94
Przesmycka Elżbieta	415	Szczepaniak Paula	529
Puła Olgierd	492	Szeląg Henryk	77
Puła Wojciech	492	Ścigałło Jacek	592, 601
Rapp Piotr	314	Taranto Paolo	135
Rdzawska Elżbieta	325	Targowski Piotr	94
Riggio Mariapaola	289	Tomasi Roberto	289
Roca Pere	207	Tomaszek Tomasz	354
Rokiel Maciej	125	Trocka-Leszczyńska Elżbieta	325
Rosiek Genowefa	86	Tymińska-Widmer Ludmiła	94
Rouba Bogumiła J.	94	Valluzzi Maria Rosa	186
Rybak Jarosław	481	Van Genechten Bjorn	727
Rzeszotarski Andrzej	260	Vatan Meltem	659
Scaioni Marco	135	Wala Danuta	86
Schueremans Luc	727	Waligórski Tomasz	697
Selbesoğlu M. Oğuz	659	Wesołowska Maria	115, 529
Sieniawska Małgorzata	463	Wilińska Michalina	670
Skarbek Jerzy	447	Zioberski Jan Lech	463
Skorek Aleksandra	77		
Slížková Zuzana	224		