



WIADOMOŚCI KONSERWATORSKIE

JOURNAL OF HERITAGE CONSERVATION

RESTAURACJA OŁTARZA WIELKIEGO W KOŚCIELE
OO. BERNARDYNÓW W RZESZOWIE

RESTORATION OF THE GRAND ALTAR
IN THE OBSERVANT CHURCH IN RZESZÓW



WIADOMOŚCI KONSERWATORSKIE

JOURNAL OF HERITAGE CONSERVATION

Radaktor Naczelny • Editor In Chief

Prof. dr hab. Kazimierz Kuśnierz

Redaktorzy Tematyczni • Topical Editors

Dr Łukasz Bednarz

(konstrukcje murowane / *masonry structures*), Politechnika Wroclawska

Prof. dr hab. Jerzy Jasięńko

(konstrukcja i konserwacja / *constructions and conservation*)

Politechnika Wroclawska

Dr hab. Hanna Kóčka-Krenz, prof.

(archeologia / *archaeology*), Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

Prof. Andrzej Koss

(konserwacja i restauracja dzieł sztuki

conservation and restoration of works of art)

Akademia Sztuk Pięknych w Warszawie

Prof. dr hab. Czesław Miedziałowski

(konstrukcja / *constructions*), Politechnika Białostocka

Dr Tomasz Nowak

(konstrukcje drewniane / *timber structures*), Politechnika Wroclawska

Prof. dr hab. Zdzisława Tołłoczko

(historia sztuki, kultury, estetyka / *history of art and culture, aesthetics*)

Politechnika Krakowska

Sekretarz Redakcji • Editorial Secretary

Dr Dominika Kuśnierz-Krupa

e-mail: wk@skz.pl

Biuro Redakcji • Editorial Office

Mgr Jacek Rulewicz, Sekretarz Generalny SKZ

Dr Maria Stepińska

00-464 Warszawa, ul. Szwoleżerów 9

tel. 22-629-21-31, e-mail: info@skz.pl, wk@skz.pl

Tłumaczenie • Translation

Mgr Violetta Marzec

Projekt okładki • Cover design

Dr Dominika Kuśnierz-Krupa, Dr Michał Krupa

Opracowanie graficzne i DTP • Graphic design and DTP

Sławomir Pęczek, EDITUS, tel. 71-793-15-00, 502 23-43-43

www.editus.pl

Redaktor techniczny • Technical Editor

Zdzisław Majewski

Realizacja wydawnicza • Publishing

Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne

53-204 Wrocław, ul. Ojca Bezymy 20/b

tel./fax 71-363-26-85, 71-345-19-44

www.dwe.wroc.pl

Wydawca • Publisher

Zarząd Główny Stowarzyszenia Konserwatorów Zabytków

00-464 Warszawa, ul. Szwoleżerów 9

tel. 22-621-54-77, fax 22-622-65-95

Nakład: 1000 egz. Edition: 1000 copies.

Druk ukończono w 2014 r. Printed in 2014.

Rada Naukowa – Scientific Board

Prof. dr hab. Jerzy Jasięńko

Politechnika Wroclawska (Polska) – przewodniczący

Wroclaw University of Technology (Poland) – chairman

Prof. Maria Teresa Bartoli

Uniwersytet we Florencji (Włochy) / *University of Florence (Italy)*

Prof. Mario Docci

Uniwersytet Sapienza w Rzymie (Włochy) / *Sapienza University in Rome (Italy)*

Prof. Wolfram Jaeger

Uniwersytet w Dreźnie (Niemcy) / *University of Dresden (Germany)*

Prof. dr hab. Andrzej Kadłuczka

Politechnika Krakowska (Polska) / *Cracow University of Technology (Poland)*

Prof. Tatiana Kirova

Politechnika w Turynie, Uniwersytet Uninettuno w Rzymie (Włochy)

Polytechnic University of Turin, University Uninettuno in Rome (Italy)

Prof. Andrzej Koss

Akademia Sztuk Pięknych w Warszawie (Polska)

Academy of Fine Arts in Warsaw (Poland)

Prof. dr hab. Kazimierz Kuśnierz

Politechnika Krakowska (Polska) / *Cracow University of Technology (Poland)*

Dr hab. Jadwiga Łukaszewicz, prof.

Uniwersytet Mikołaja Kopernika (Polska)

Nicolaus Copernicus University in Toruń (Poland)

Prof. Emma Mandelli

Uniwersytet we Florencji (Włochy) / *University of Florence (Italy)*

Prof. dr hab. Czesław Miedziałowski

Politechnika Białostocka (Polska) / *Bialystok University of Technology (Poland)*

Prof. Claudio Modena

Uniwersytet w Padwie (Włochy) / *University of Padua (Italy)*

Prof. Andre de Naeyer

Uniwersytet w Antwerpii (Belgia) / *University of Antwerp (Belgium)*

Dr hab. Piotr Rapp

Politechnika Poznańska (Polska) / *Poznan University of Technology (Poland)*

Prof. Gennaro Tampone

Uniwersytet we Florencji (Włochy) / *University of Florence (Italy)*

Prof. Angelo Di Tommaso

Uniwersytet w Bolonii (Włochy) / *University of Bologna (Italy)*

Czasopismo jest wydawane drukiem w formacie A4 (wersja pierwotna) oraz w wersji elektronicznej. Na stronie internetowej www.skz.pl dostępne są pełne wersje numerów czasopisma w formacie pdf.

The Journal is printed in A4 format (original version) and in the electronic version. Full versions of the journal issues are available in the pdf format on the Internet website www.skz.pl

**Ministerstwo
Kultury
i Dziedzictwa
Narodowego**

**Ministry of
Culture
and National
Heritage of
the Republic
of Poland**

WIADOMOŚCI KONSERWATORSKIE
2014 dofinansowano ze środków Ministra
Kultury i Dziedzictwa Narodowego oraz
Narodowego Instytutu Dziedzictwa.



**NARODOWY INSTYTUT
DZIEDZICTWA**
NATIONAL HERITAGE BOARD OF POLAND

Journal of Heritage Conservation 2014 was subsidised by the Minister of Culture and National Heritage and National Heritage Board of Poland.

Wiadomości Konserwatorskie są indeksowane przez BazTech – Bazę danych o zawartości polskich czasopism technicznych (<http://baztech.icm.edu.pl>).
Journal of Heritage Conservation are indexed by BazTech – Polish Technical Journal Contents (<http://baztech.icm.edu.pl>).

Instrukcje dla autorów, podstawowe zasady recenzowania publikacji oraz lista recenzentów dostępne są na stronie internetowej

www.wiadomoscikonserwatorskie.skz.pl

Instructions for authors, basic criteria for reviewing the publications and a list of reviewers are available on the Internet website

www.wiadomoscikonserwatorskie.skz.pl

Od redakcji

Przekazujemy Naszym P.T. Czytelnikom czwarty, ostatni tegoroczny numer „Wiadomości Konserwatorskich – Journal of Heritage Conservation”.

Nasze czasopismo skutkiem zmniejszenia dotacji celowej dla Stowarzyszenia Konserwatorów Zabytków musiało ulec uszczupleniu, zaś redakcja zmuszona była zaproponować uboższą szatę graficzną w celu utrzymania ciągłości wydawniczej oraz punktualności wydawania poszczególnych zeszytów. Mamy nadzieję, że ta zła passa jest przejściowa. Naszym zasadniczym celem jest spełnienie i utrzymanie wymogów wynikających z oceny parametrycznej czasopism naukowych.

W związku z opisanymi wyżej problemami finansowymi w bieżącym numerze, podobnie jak w numerze 39, zamieszczamy łącznie siedem artykułów, sześć w dziale NAUKA i jeden w dziale PREZENTACJE/RAPORTY. Wśród artykułów naukowych znalazły się m.in. publikacja o restauracji ołtarza wielkiego w kościele oo. Bernardynów w Rzeszowie; artykuł dotyczący analizy możliwości ekspozycji architektonicznej palatium Mieszka i Dąbrówki w Poznaniu, a także publikacja o „Drodze Królewskiej”, starożytnym i współczesnym szlaku przez Transjordanię i jego dziedziectwie (ang. „*King's Highway*”: *ancient and modern route through Transjordan and its heritage*).

Wśród najważniejszych wydarzeń, które miały miejsce w środowisku konserwatorskim jesienią, należy wymienić dwa zjazdy sprawozdawczo-wyborcze: SKZ oraz PKN MROZ ICOMOS. Pierwszy z nich odbył się 21 listopada, w Łazienkach Królewskich w Warszawie. Drugi odbędzie się w dniu 5 grudnia. Dla nas najważniejszy jest ten pierwszy, który sankcjonuje obecne dokonania (sprawozdanie z kadencji 2011-2014 zamieściliśmy na stronie internetowej SKZ) oraz wytycza nowe kierunki działań związane z potrzebami środowiska konserwatorskiego drugiej dekady XXI wieku. Z uwagi na fakt, że termin Zjazdu pokrywa się z zakończeniem prac nad

From the Editor

We present our Readers with the fourth, and final this year, issue of the “Conservation News – Journal of Heritage Conservation”.

Because of depleted designated subsidy, the volume of our quarterly published by the Association of Monument Conservators had to be reduced, and the editors were forced to propose a much shabbier graphic layout in order to maintain the continuity and punctuality of issuing individual magazines. We hope that this losing streak is only temporary. Our fundamental aim is to fulfil and maintain the standards required by the parametric assessment of scientific periodicals.

In relation to the above described financial problems, this issue, like the previous one no 39, contains seven articles in total: six in the SCIENCE section, and one in the PRESENTATIONS/REPORTS section. Among the scientific articles there are e.g.: a text concerning the restoration of the high altar in the Bernardine church in Rzeszow; an article analysing the possibilities of architectonic exhibition of the palatium of Mieszko and Dąbrówka in Poznan, and a publication about the “King’s Highway”: an ancient and modern route through Transjordan and its heritage.

Among the most important events of the conservation milieu this autumn, one ought to mention two General Meetings and Elections: of the AMC and of the PKN MROZ ICOMOS. The former was held on November 21 in Łazienki Królewskie in Warsaw. The latter will take place on December 5. For us the first was crucial as it sanctioned our up-to-date achievements (the report from the 2011-2014 term of office was published on the AMC’s Internet website) and charted new directions in activity associated with the needs of the conservation milieu in the second decade of the 21st century. Because the date of the General Meeting coincides with completion of work on the

bieżącym numerem WK, obszerne sprawozdanie z spotkania z Łazienkach zostanie opublikowane w kolejnym numerze, który ukaże się już w 2015 roku, zaś informacja o nowych władzach SKZ będzie upowszechniona na stronie internetowej. Tam też zostanie zamieszczona lista członków SKZ, którzy otrzymali wysokie odznaczenia państwowe, resortowe, a także nagrody w corocznych konkursach naszego Stowarzyszenia.

Razem z końcem kadencji Zarządu Głównego SKZ kończy się także kadencja pracy Redakcji naszego kwartalnika, która w obecnym składzie pracuje od 2002 roku, a więc od 12 lat. W tym czasie dokonaliśmy szeregu zmian i innowacji w funkcjonowaniu periodyku, dostosowując go do wymogów „ryнку” wydawnictw naukowych początkowo o zasięgu krajowym, a obecnie międzynarodowym.

Jako Redaktor Naczelny WK składam podziękowanie wszystkim, którzy pracując w naszym skromnym zespole przyczynili się do stałego polepszania jakości merytorycznej czasopisma.

Zbliża się rok 2015. Redakcja WK składa naszym P.T. Czytelnikom najlepsze życzenia świąteczne i noworoczne. Nowym władzom SKZ składamy życzenia powodzenia w misji ochrony zabytków kultury narodowej. Takie same życzenia składamy nowemu Prezesowi oraz Zarządowi Polskiego Komitetu Narodowego MROZ ICOMOS.

Redaktor Naczelny
Editor in Chief



Kazimierz Kuśnierz

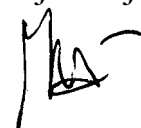
current issue of CN, a thorough report from the meeting in Łazienki will be presented in the next magazine which will be published in 2015, and the information regarding the new AMC authorities will be available on the Internet website. The list of AMC members who received state and departmental awards as well as prizes in annual competitions of our Association, will also be available there.

The end of the term of office for the Main Board of the MCA coincides with that of the Board of Editors of our quarterly who have been working in the same composition since 2002, so for 12 years. During that time we have introduced several alterations and innovations into the periodical's functioning, adjusting it to the demands of the “market” of scientific publications, first of national and now international scope.

As the Editor-in-Chief of the CN, I would like to thank all the people who by working in our modest team contributed to the constant amendment of the quality of our periodical.

The year 2015 is approaching. Therefore, the editors of CN would like to wish our Readers a Merry Christmas and Happy New Year. We wish the new Board of the MCA every success in the mission of protecting our cultural heritage. We address the same wishes to the new Chairman and the Board of the Polish National Committee of MROZ ICOMOS.

Przewodniczący Rady Naukowej
Chairman of Scientific Board



Jerzy Jasieńko

NAUKA

Beata Jagieła, Marek Gosztyła
 Restauracja ołtarza wielkiego
 w kościele oo. Bernardynów w Rzeszowie 7

Dominik Przygodzki
 Palatium Mieszka I i Dąbrówka
 w Poznaniu. Analiza możliwości
 ekspozycji architektonicznej 13

Piotr Kołodziejczyk
 Droga Królewska: dziedzictwo
 i ochrona dawnego szlaku
 na terenie Jordanii 23

Klaudia Skrzężyna
 Wokół lokacyjnego układu
 urbanistycznego miasta Słomnik 32

Piotr Rapp
 Zabytkowe dzwony – zagadnienia
 mechaniki i napędu 41

Jerzy Jasieńko, Tomasz Nowak, Anna Karolak
 Historyczne złącza ciesielskie 58

PREZENTACJE – RAPORTY

Andrzej Golembnik
 Rola nowych technik
 dokumentacyjno-pomiarowych
 w interdyscyplinarnych działaniach
 badawczo-konserwatorskich 83

SCIENCE

Beata Jagieła, Marek Gosztyła
 Restoration of the grand altar
 in the Observant Church in Rzeszów 7

Dominik Przygodzki
 Palace of Mieszko I and Dąbrówka
 in Poznań. Analysis of the possibilities
 of architectural display 13

Piotr Kołodziejczyk
 King's Highway: heritage
 and protection of ancient
 and modern, Transjordanian route 23

Klaudia Skrzężyna
 Around the layout
 of the city Słomniki 32

Piotr Rapp
 Historical bells – mechanics
 and drive problems 41

Jerzy Jasieńko, Tomasz Nowak, Anna Karolak
 Historical carpentry joints 58

PRESENTATIONS AND REPORTS

Andrzej Golembnik
 The role of new documentation
 and measurement
 techniques in interdisciplinary research
 and conservation activities 83

Beata Jagieła*, Marek Gosztyła**

Restauracja ołtarza wielkiego w kościele oo. Bernardynów w Rzeszowie

Restoration of the grand altar in the Observant Church in Rzeszów

Słowa kluczowe: zabytek architektury, kościół, klasztor, architekt, konserwacja zabytków, autonomia galicyjska

Key words: architecture monument, church, monastery, restoration of monuments, Galician autonomy

Niezwykle interesującą grupą projektów związanych z koncepcją restauracji kościoła oo. Bernardynów w Rzeszowie są dokumentacje dotyczące ołtarza wielkiego. Są one niewątpliwym dowodem na to, że temu szczególnemu zabytkowi poświęcił Hendel wiele uwagi – pozostaje jednak wciąż kwestią wymagającą gruntownego przeanalizowania (m.in. na bazie dokumentacji archiwalnej Archiwum Prowincji oo. Bernardynów w Krakowie), które z tych projektów i w jakim zakresie zostały zrealizowane.

Z lektury licznych dokumentów oraz opracowań poświęconych ołtarzowi wielkiemu w bazylice oo. Bernardynów w Rzeszowie, z których bodaj najświeższe stanowi *Dokumentacja konserwatorska* prac przeprowadzonych przy obiekcie, pochodząca z 1996 roku, odnajdujemy wiele istotnych szczegółów związanych z tym niezwykle ciekawym zabytkiem, a także wiele pytań dotyczących jego przekształceń. Jej autor, Stanisław Juszcak pisze: „Początkowo ołtarz wielki zamykał prezbiterium od strony zachodniej. W roku 1862 przestawiony został na ścianę wschodnią prezbiterium [6, s. 143]. Równocześnie poddano go restauracji. Dalsze restauracje ołtarzy w mniejszym bądź większym stopniu dokonywano z okazji trzech koronacji cudownej Matki Boskiej Rzeszowskiej: 1763 (?), 1866, 1868. Także w 1874 roku za gwardiana Rudolfa Wągi ze składek wiernych; w 1884

A really interesting group of projects connected with the concept of restoring the church of Friars Minor in Rzeszów they are the documents regarding the grand altar. They are undoubtedly a proof that Hendel paid much attention to this monument – however, it still remains as the issue to be deeply analysed (i.a. in the archive documentation base of the Archive of the Province of the Observant in Cracow), which projects and in which scope, they were implemented.

Numerous documents and studies describing the altar of the Basilica of the Observant in Rzeszów, the most recent constitutes the *Restoration documentation* of the works performed on the object, coming from 1996, where we can find many significant details connected with this incredible monument as well as many questions regarding its transformations. Its author, Stanisław Juszcak writes: “At the beginning, the grand altar closed the chancel from the western side. In the year 1862, it was located to the eastern wall of the chancel [6, p. 143]. At the same time, it underwent restoration. Further restorations of altars, to greater or smaller extent, were performed due to three coronations of Our Lady from Rzeszów: 1763 (?), 1866, 1868. Also, in 1874, by the guardian Rudolf Waga from believers’ contributions; in 1884 for the 400th anniversary of blessed John from Dukla in 1913 and for the 400th anniversary of the revela-

* dr Beata Jagieła, starszy wykładowca w Państwowej Wyższej Szkole Techniczno-Ekonomicznej w Jarosławiu, beata.jagiela@op.pl.

** dr hab. inż., prof. PRz Marek Gosztyła, kierownik Katedry Konserwacji Zabytków na Politechnice Rzeszowskiej, gosztyla@prz.edu.pl

* Beata Jagieła, Ph.D. senior lecturer at State Higher School of Technology and Economics in Jaroslaw, beata.jagiela@op.pl.

** Ph.D. Eng., prof. Marek Gosztyła, Chair of the Monument Conservation Department at Rzeszow University of Technology, gosztyla@prz.edu.pl



Ryc. 1. Zygmunt Hendel, Rzeszów – kościół przy klasztorze oo. Bernardynów – fragment części ołtarza głównego – projekt przebudowy, 1900 rok, 90 x 82 cm, kredka, nr inw. MNK III-PL-823

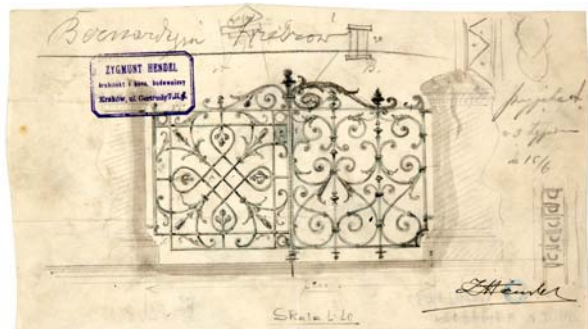
Fig. 1. Zygmunt Hendel, Rzeszów – church at the monastery of the Observants – the fragment of the grand altar – the project of rebuilding, 1900, 90 x 82 cm, colored pencil, ref. no. MNK III-PL-823

na 400-lecie błogosławionego Jana z Dukli i w 1913 r. na 400-lecie objawień Matki Boskiej. Z odnotowanej w kronice konwentu restauracji ołtarza głównego w latach 1896-98 wynika, że wówczas został on położony złotem sprowadzonym z fabryki Majera we Wiedniu, a wykonawcą był Antoni Rarogiewicz z Przeworska” [14, s. 9]. Pomimo dokładnej analizy i oglądu stopnia zachowania ołtarza, a także analizy materiałów źródłowych, jak stwierdza autor cytowanej dokumentacji: „(...) nie wiadomo jakie prace restauracyjne prowadzono przy ołtarzu w latach 1901-1906 pod kierunkiem inż. arch. Zygmunta Hendla z Krakowa” [14, s. 10]. Wspomniana



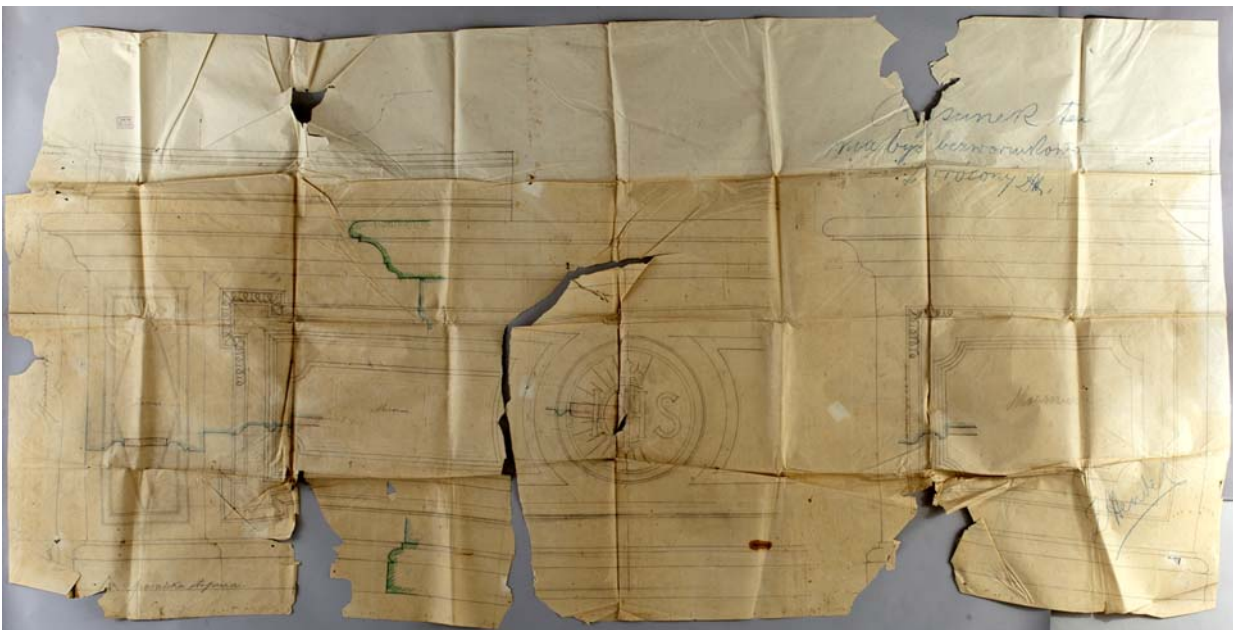
Ryc. 3. Zygmunt Hendel, Rzeszów – kościół klasztoru oo. Bernardynów – 2 rysunki: widok główny; widok boczny, 1900 rok, 36,5 x 59 cm, tusz, płótno, nr inw. MNK III-PL-848

Fig. 3. Zygmunt Hendel, Rzeszów – church at the monastery of the Observant – 2 fig.: main view; side View, 1900, 36.5 x 59 cm, ink, cloth, ref. no. MNK III-PL-848



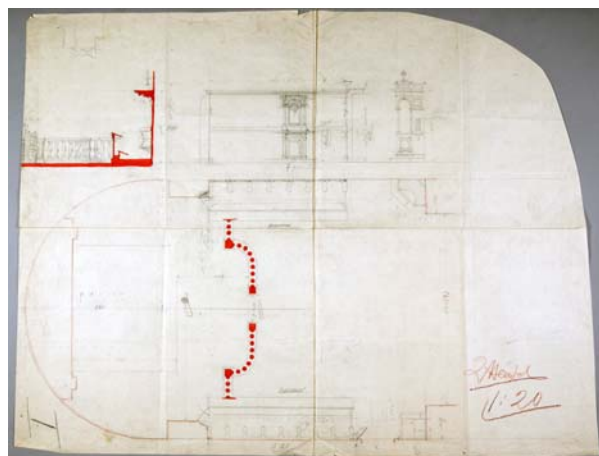
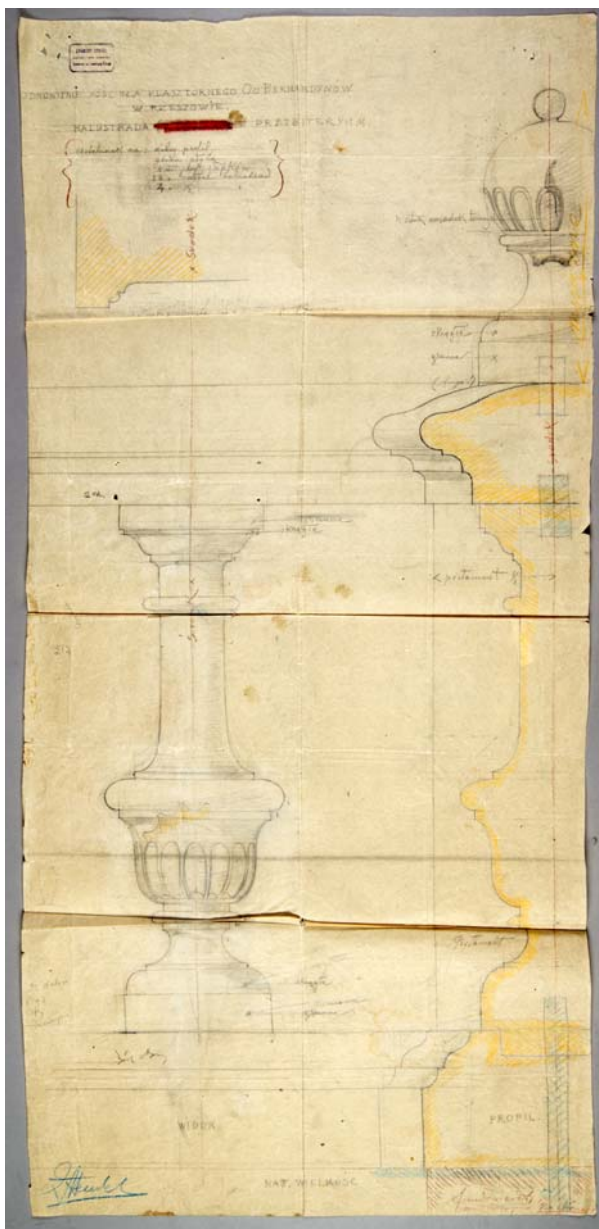
Ryc. 4. Zygmunt Hendel, Rzeszów – kościół przy klasztorze oo. Bernardynów – projekt ażurowej bramki wykonanej z metalu, do balustrady oddzielającej prezbiterium od nawy, 1900 rok, 14,5 x 26 cm, akwarela, ołówek, papier, nr inw. MNK III-PL-821

Fig. 4. Zygmunt Hendel, Rzeszów – church at the monastery of the Observant – the project of the openwork gate made of metal, towards the balustrade separating the chancel from the nave, 1900, 14.5 x 26 cm, watercolor, pencil, paper, reference no. MNK III-PL-821



Ryc. 2. Zygmunt Hendel, Rzeszów – kościół przy klasztorze oo. Bernardynów – projekt przebudowy – rysunek roboczy – ołtarz główny – widok i przekroje fragmentów, 1900 rok, wymiary 2: ok. 30 x 152 cm, papier, nr inw. MNK III-PL-840

Fig. 2. Zygmunt Hendel, Rzeszów – church at the monastery of the Observant – the project of rebuilding – figure – grand altar – view of the cross-sections of fragments, 1900, dimensions 2: ca. 30 x 152 cm, paper ref. no. MNK III-PL-840



Ryc. 6. Zygmunt Hendel, Rzeszów – kościół przy klasztorze oo. Bernardynów – 4 rysunki: plan kościoła; widok frontalny połowy balustrady wraz z bramką; widok frontalny części stall; widok boczny konfesjonału, 1900 rok, 77,5 x 100 cm, kredka, ołówek, papier, nr inw. MNK III-PL-830

Fig. 6. Zygmunt Hendel, Rzeszów – church at the monastery of the Observant – 4 fig.: plan of the Church building; frontal view of the half of the balustrade along with the gate; frontal view of the stalls; lateral view of the confessional, 1900, 77.5 x 100 cm, colour pencil, pencil, paper, ref. no. MNK III-PL-830

◀ Ryc. 5. Zygmunt Hendel, Rzeszów – kościół przy klasztorze oo. Bernardynów – balustrada w prezbiterium – 3 rysunki: profil dolnej części słupa; górna płyta balustrady; profil, 1900 rok, 124 x 56 cm, kredka, ołówek, papier, nr inw. MNK III-PL-829

Fig. 5. Zygmunt Hendel, Rzeszów – church at the monastery of the Observant – balustrade in the chancel – 3 fig.: profile of the lower part of the post; upper plate of the balustrade; profile, 1900, 124 x 56 cm, colour pencil, pencil, paper, reference no. MNK III-PL-829

analiza technologiczna obiektu, a także zachowane szczęśliwie projekty, do których udało się autorom niniejszego opracowania dotrzeć, dają przybliżony, choć wciąż jeszcze mało precyzyjny pogląd na zakres tych prac.

Dokumentacja konserwatorska prac prowadzonych przy ołtarzu wielkim uściśla jednak, że i później – bo w latach 20. i 30. XX wieku prowadzono prace przy ołtarzu, o czym świadczą liczne ślady naprawcze oraz przemalówki [14, s. 10].

Wróćmy jednak do zapisów S. Juszcza na temat badań technicznych zabytku oraz jego stanu zachowania, które mogą stanowić drogowskaz, ułatwiający zrozumienie i weryfikację tego, które z odnalezionych projektów Z. Hendla, dotyczących przekształceń ołtarza wielkiego, mogły zostać zrealizowane.

Badania, o których mowa, zostały poprzedzone szeroko zakrojonymi pracami konserwatorskimi przy ołtarzu¹. W ich efekcie udało się ustalić, że ołtarz został poddany gruntownej restauracji około 1900 roku. Spora-

tion of Our Lady. In the noted convent chronicle of the grand altar restoration in the years 1896-98 results that it was gilded with the gold from the Mayer's Factory in Vienna and its performer was Antoni Rarogiewicz from Przeworsk" [14, p. 9]. Despite the detailed analysis and the review of the level of preserving the altar as well as the analysis of source materials, as confirmed by the author in the cited documentation: "(...) it is not known which restoration works were performed on the altar in the years 1901-1906 under supervision of ing. arch. Zygmunt Hendel from Cracow" [14, p. 10]. The aforementioned analysis of the building as well as remained projects, which the authors reached, provide an approximate, however, still not very precise view on the scope of these works.

The restoration documentation of the works performed on the grand altar shows, however, that not later than in 1920s and 1930s restoration works were performed, what is proven by numerous repair remains and repainting [14, s.10].

However, let's come back to the writings of S. Juszcza on the technical works of the monument and its state of maintenance, which may constitute the lodestar, allowing to understand and verify those which are discovered from Hendel's projects, regarding the transformations of the grand altar, which may have been implemented.

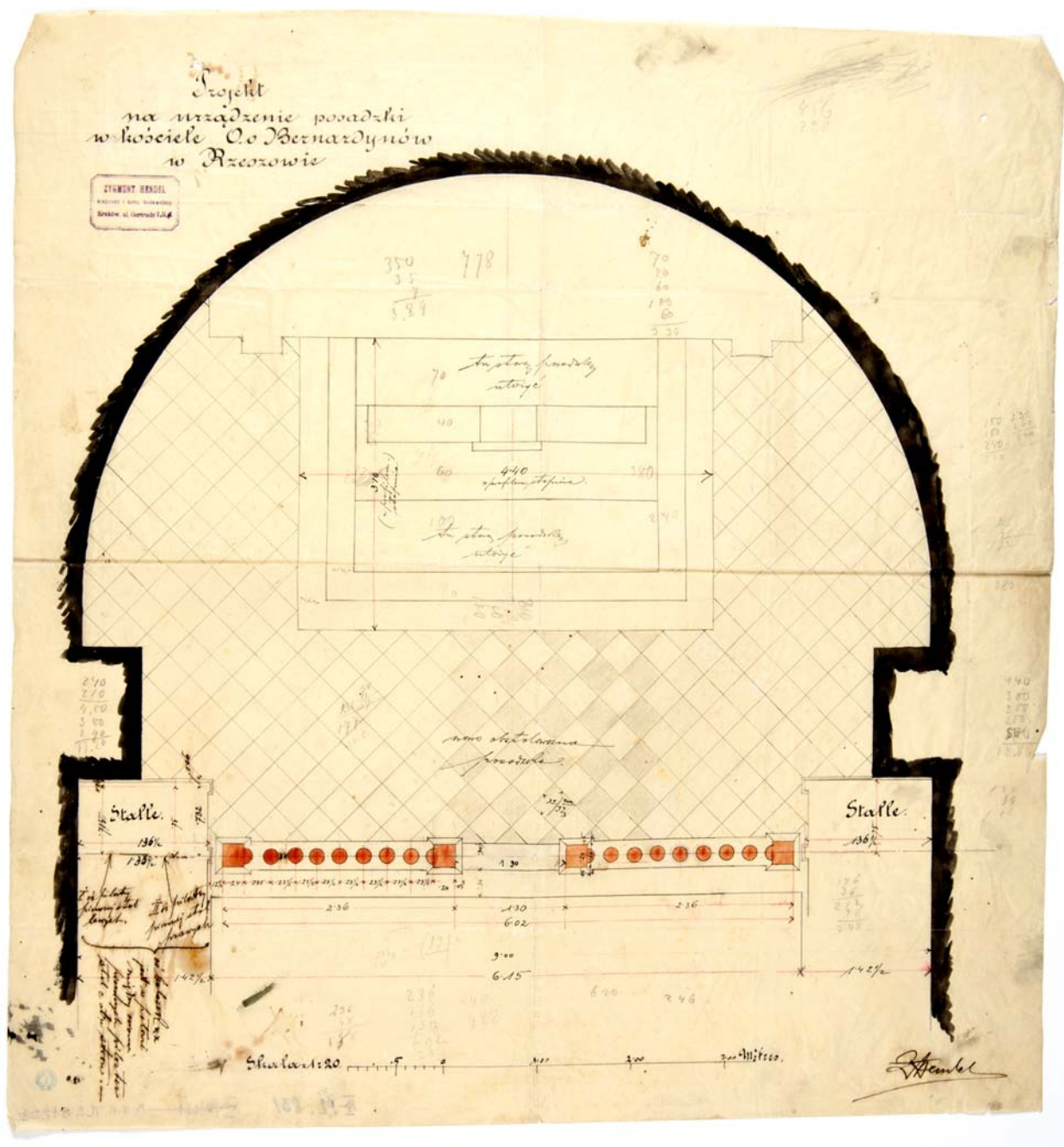
The aforementioned studies, preceded by broadly introduced restoration works on the altar¹. As a result,

dyczne przemałówki i uzupełnienia wcześniejsze, które wykonywano niejednokrotnie w oparciu o substytuty (np. złączenia uzupełniano brązą proszkową, a także podmalowywano olejną farbą polichromie płaskorzeźb, wyrównywano alabastry kitami itp.) [14, s. 13] były jednak ingerencjami na niewielką skalę, zabiegami doraźnymi, których długofalowy skutek nie służył najlepiej obiektowi i nie licował z rzetelnością konserwatorską.

Przeniesienie ołtarza wiązało się ze zbudowaniem nowej konstrukcji, a także rozbudową ołtarza celem zaadaptowania go do większej przestrzeni. Zdaniem współczesnych konserwatorów zadanie to zostało przeprowadzone dość niedbale. „Przykładem niech będzie

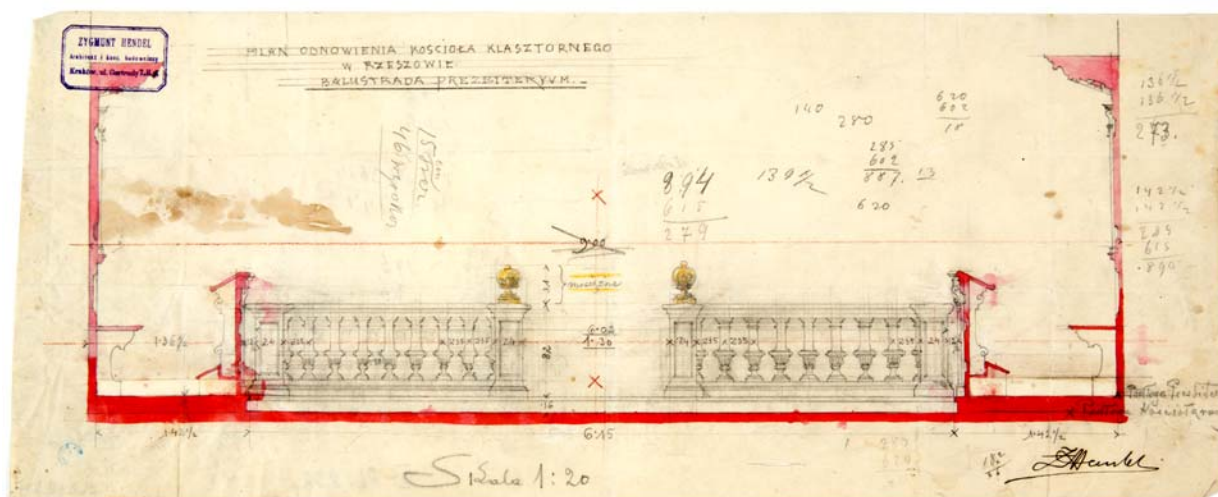
it was possible to state that the altar underwent total restoration around the year 1900. Sporadic painting and previous completions which were performed on the basis of substitutes (e.g. gilding was completed by powdered bronze as well as painting polychromes of reliefs with oil paints, alabasters were smoothed by fillers etc.) [14, p.13], however, they were interventions to some extent, by temporary procedures, whose long-lasting result was not good for the object and was not connected with restoration diligence.

Transferring the altar was connected with building a new structure as well as extending the altar in order to adopt it to the greater space. In the opinion



Ryc. 7. Zygmunt Hendel, Rzeszów – kościół klasztorny oo. Bernardynów – posadzka, 1900 rok, 58 x 55 cm, tusz, papier, nr inw. MNK III-PL-831

Fig. 7. Zygmunt Hendel, Rzeszów – church at the monastery of the Observant – floor, 1900, 58 x 55 cm, ink, paper, ref. no. MNK III-PL-830



Ryc. 8. Zygmunt Hendel, Rzeszów – kościół klasztorny oo. Bernardynów – plan odnowienia, 1900 rok, 21,2 x 53 cm, technika rysunkowo-malarska, papier, nr inw. MNK III-PL-832

Fig. 8. Zygmunt Hendel, Rzeszów – Church at the monastery of the Observant – plan of restoration, 1900, 21.2 x 53 cm, painting and drawing, paper, ref. no. MNK III-PL-832

– pisze S. Juszcak – scena z płaskorzeźbą Wniebowzięcia Marii na naczółku w ramie arkadowej. Ponieważ otwór w licu ołtarza okazał się być za wysoki dołem [brak dokładnego wymiarowania – dopisek B.J.], przestrzeń wypełniono deską szerokości 30 cm, na której umieszczono przypadkowy ornament. Cokół naczółka ponad architravem pokryto listwą z ornamentem secesyjnym z początku naszego wieku. Rama drewniana wokół centralnej płaskorzeźby alabastrowej o szerokości 23 cm wykonana została przerzeźbionym ornamentem liściastym z początku naszego wieku, a do dekoracji użyto starszych wykonaniem i stylem główek aniołków. Przykładem takiego myślenia kompilacyjnego są także inne elementy wtórnej dekoracji. Większość listew kryjących na odstępach także została wykonana i zamocowana później, zważywszy na fakt, że są to listwy opracowane na maszynach stolarskich i pochodzą z późniejszych dodatków, nawet gdy dla [harmonii] całości zostały pozłoczone. Podczas oglądu odwrocie ołtarza deski użyte do konstrukcji i płyciny odróżniają się od desek użytych do drewnianych płaskorzeźb. Podczas gdy deski konstrukcji w większości są wygładzone maszynowo, to deski na odwrocie płaskorzeźb w większości są rowkowane ręcznie dłutem lub heblem profilowanym” [14, s. 14-15].

Biorąc pod uwagę powyższe – jest faktem bezspornym, że ołtarz zyskał nową konstrukcję oraz posiada liczne uzupełnienia pochodzące z początków XX stulecia. Czy wszystkie te przekształcenia przypisać możemy Hendlowskiemu projektowi? Raczej mało prawdopodobne, biorąc pod uwagę, że od momentu jego działań konserwatorskich prowadzonych na przestrzeni lat 1901-1906 ołtarz jeszcze co najmniej dwukrotnie restaurowano (w 1913 r. oraz w latach 20. i 30. XX wieku). Trudno sobie bowiem wyobrazić, by ten tradycyjalista, gruntownie wykształcony architekt, konserwator zażytków pochodzący ze środowiska krakowskiego – był w stanie zaprojektować secesyjny ornament mający zdo-

of contemporary restorers, this task was performed rather carelessly. “The example will be – as written by S. Juszcak – the scene with a relief of the Assumption of Mary on the top of the arcade frame. As the hole in the face of the altar turned out to be deep pit [no precise measurement – comment: B.J], the space was filled with boards of 30 cm wide, on which, a casual ornament was located. The pedestal over the architrave was covered by the strip of the Art Nouveau ornament from the beginning of our century. The wooden frame around the central alabaster relief with the width of 23 cm was performed by the leaf ornament at the beginning of the century and decorations included angel heads which are older by the performance and style. The example of such compilation thinking are also other elements of secondary decoration. The majority of the slates covering the gaps, was also performed and mounted later, due to the fact that these are slates made on carpentry machines and they come from later additions, even though for the [harmony] of entirety, they were gilded. During the review of the back of the altar, the boards and panels used for the construction are different from the boards used for wooden reliefs. As the boards of the structure are smoothed by machine, the boards on the back of reliefs are grooved manually by a chisel or profiled plane” [14, p. 14-15].

Considering the aforementioned, it is undoubted that the altar obtained a new structure and it has various completions dating back to the beginnings of the 20th century. Are all these transformations due to the Hendel’s projects? It seems really probable, considering the fact that since the moment of restoration actions, performed in the years 1901-1906, the altar was at least twice restored (in 1913 and in the 1920s and the 1930s). It is difficult to imagine how this traditionalist, broadly educated architect, restorer of monuments, coming from Cracow environment – was able to design an Art Nouveau ornament which was to decorate an amazing

bić ten przeświety przykład manieryzmu z widocznymi śladami ornamentyki flamandzkiej.

Ciekawym projektem Hendla, potwierdzającym powyższe założenie, jest jeden z rysunków dotyczących przebudowy ołtarza wielkiego datowany na 1900 rok, o sygnaturze nr MNK III-PL-823. Jego zdawkowy opis nie przemyca informacji, którego z elementów ołtarza wielkiego miałby dotyczyć. Można jedynie z dużym prawdopodobieństwem założyć, że jest to niezrealizowany projekt złożonej rami, mającej stanowić oprawę jednej z płaskorzeźbionych scen ołtarza wielkiego (być może sceny głównej). Projekt przedstawia ornament pasowy budowany na bazie kimationu jońskiego oraz dekoracyjnej rozety z liści akantu.

Nie jest to jedyny, jak nadmieniliśmy, projekt związany z przebudową najważniejszego elementu prezbiterium – ołtarza wielkiego. Kolejne projekty dotyczą mensy ołtarzowej. Mają one sygnatury: MNK III-PL-848 i 240. Stanowią one dowód na autorstwo Hendla, w tym konkretnym, do chwili obecnej nieprzypisanym mu przypadku. Udowadniają, że ingerencja tego architekta w wewnętrzny kształt bazyliki oo. Bernardynów w Rzeszowie była znacznie większa i zakrojona dużo szerzej, niż zwykle się uważa.

Następną grupą hendlowskich projektów są te, które dotyczą przebudowy posadzki i organizacji przestrzennej (wydzielenia) obszaru prezbiterium.

Jednym z ciekawszych jest projekt o sygnaturze MNK III-PL-821 – przedstawiający ażurową bramkę do balustrady wykonaną z metalu, oddzielającą prezbiterium od nawy.

W piwnicach klasztornych zachowało się jedno ze skrzydeł kutej bramki łączącej prawy i lewy rząd tralek balustrady. Zdemontowano ją najprawdopodobniej podczas dostosowywania prezbiterium do wymogów spełniających kryteria posoborowe, dotyczące gabarytów tej części bazyliki. Zachowany element jest dowodem zrealizowania odnalezionego projektu Zygmunta Hendla (propozycja z lewej strony). Prostota i symetria kompozycji dowodzą pełnej świadomości próby nawiązania przez architekta do późnorenansowej estetyki ołtarza wielkiego.

W związku z planowanym nadaniem świątyni, będącej sanktuarium Matki Bożej Rzeszowskiej, rangi bazyliki mniejszej, co miało miejsce dnia 12 września 2008 [7, s. 8], przystąpiono do przekształcania obszaru prezbiterium kościoła według wytycznych posoborowych. Uczyniono to na przestrzeni lat 2007-2008. Pokłosiem tych ingerencji było powiększenie obszaru tej części kościoła, co jest aż nazbyt widoczne, gdy spojrzymy na kontrast pomiędzy starymi a nowymi płytkami posadzki (także z dużym prawdopodobieństwem wymienionej w czasie hendlowskiej restauracji – zob. ryc. 7). W tym także czasie przesunięto balustradę zaprojektowaną przez Hendla (zob. ryc. 8), co było logiczną konsekwencją przeróbek². Ona sama także uległa metamorfозie. Ślad po tych zmianach stanowi wspomniana już kuta, ażurowa bramka wykonana według projektu Z. Hendla³, obecnie przechowywana w piwnicach klasztornych.

example of mannerism with visible remains of Flemish ornamentals.

The interesting project by Hendel, confirming the aforementioned assumption is one of the drawings regarding the rebuilding of the grand altar that dates back to 1900, with the reference number no. MNK III-PL-823. Its trite description does not provide information regarding the element of the grand altar that it may concern. It may be possibly assumed that this the unperformed project of the gilded frame, which was to constitute the frame of one of the relief carving scenes of the grand altar (may be the main scene). The project presents the strap ornament built on the basis of cymatium and the decorative rosette from the acanthus leaves.

It is not the only project connected with rebuilding of the most important element of the chancel – the grand altar. Other projects regard the altar mensa. They have the following reference numbers: MNK III-PL-848 and 240. They constitute a proof for authorship of Hendel, in this concrete situation, not connected with him. They confirm that the intervention of this architect in the internal shape of the basilica of the Observant in Rzeszów was much greater and to a greater extent than it used to be claimed.

Another group of Hendel's projects are those regarding the rebuilding the floor and spatial organisation (separation) of the chancel area.

One of the most interesting is the project with the reference number MNK III PL-821 – presenting the openwork gate for the balustrade performed from the metal, separating the chancel from the nave.

In the monastery cellars, one of the sides of the forged gate connecting the left and right row of balustrade banister remained. It was demounted, probably during the accommodation of the chancel to the requirements meeting the post-council criteria regarding the size of the this part of the basilica. This element is the proof to implement the Zygmunt Hendel's project (the proposal from the left). The simplicity and symmetry of the composition prove full awareness of the attempt made by the architect to refer to late Renaissance aesthetics of the grand altar.

As a result of the planned increase in the rank of the church which the sanctuary of Our Lady from Rzeszów, up to the basilica minor, which happened on 12 September 2008 [7, p. 8], the transformation of the chancel area was commenced according to the post-council requirements. It was made in the years 2007-2008. The result of those interventions was extending the area of this part of the church, which is visible when we look at the contrast between old and new floor plates (along with great probability of the Hendel's restoration – see fig. 7). In this time, the balustrade designed by Hendel was also transferred (see fig. 8) which was the logical consequence of rebuilding². It underwent metamorphosis. The remains after these changes constitute the aforementioned forged, openwork gate performed according to the Hendel's design³, now it is stored in the monastery's cellars.

Zachowane projekty autorstwa Hendla związane z restauracją zespołu oo. Bernardynów w Rzeszowie są dowodem szacunku konserwatora dla wartości zabytkowej. Stylowe uzupełnienia elementów wystroju wnętrza cechuje historyczne i autorskie podejście oraz harmonijna kreacja w doborze repertuaru środków wynikająca z podporządkowania się uznawanym walorom restaurowanego dzieła. Mogą one stanowić pokłosie i wypadkową ogromnej wiedzy oraz świadczyć o powściągliwości i pietyzmie charakteryzującym krakowską szkołę konserwatorską.

The remains of the designs by Hendel connected with restoration of the Observant Church in Rzeszów are the proof of the restorer's respect to the monumental value. Stylish completions of the elements of the internal side are featured historically and the author's attitude as well as harmonious creation in selecting the repertoire of means resulting from the subordination to the values of the restored element. They may constitute the result and outcome of great knowledge and may confirm the restraint and pietism that characterise the restoring school of Cracow.

LITERATURA

- [1] Bogdalski Cz.: *Pamiętnik kościoła i klasztoru OO. Bernardynów w Leżajsku*, Kraków 1929.
- [2] Fischinger A., Krukowski P.: *Kościół Bernardynów w Rzeszowie*, [w:] *Studia renesansowe*, t. 3, 1963.
- [3] Gosztyła M., Jagieła B.: *Reprezentatywne zabytki kultury materialnej Podkarpacia*, Jarosław 2004.
- [4] Hendel Z., Kopera F.: *Kościół św. Idziego*, „Biblioteka Krakowska”, 1905, 29.
- [5] Hendel Z., Kopera F.: *Resztki murów romańskich w kościele św. Jana w Krakowie*, „Rocznik Krakowski”, 1907, T. 9.
- [6] *Kronika Klasztoru OO. Bernardynów*, 1862.
- [7] Kurowska E., Tokarski W.P. OFM: *Bazylika Ojców Bernardynów w Rzeszowie. Przewodnik*, Rzeszów 2009.
- [8] Laskowski A.: *Pałac Klobassy w Skołyszynie – niespełniony sen naftowego magnata*, [w:] *Dwór polski. Zjawisko historyczne i kulturowe*, Warszawa 2000.
- [9] Łuszczkiewicz W.: *Klasztor leżajski i jego dzieła sztuki. Wrażenia z podróży*, Kraków 1895.
- [10] Malczewski J.: *Dzieje Rzeszowa do 1914 roku*, Rzeszów 1985.
- [11] *Pierwsze Sprawozdanie CK Szkoły Przemysłowej we Lwowie za rok szkolny 1892/93 (z rysunkami gmachu szkolnego)*, Lwów 1893.
- [12] Stępień P.M.: *Hendel Zygmunt*, [w:] *Polski słownik biograficzny konserwatorów zabytków*, red. H. Kondziela, H. Krzyżanowska, z. 2, Wyd. Poznańskie, Poznań 2006.
- [13] Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków w Rzeszowie: *Karta Ewidencyjna Zabytków Architektury i Budownictwa, Kościół OO. Bernardynów w Rzeszowie*, opr. J. Malczewski, 10.01.93, zał. nr 1.
- [14] Zbiory Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Rzeszowie: *Dokumentacja Konserwatorska, Rzeszów – ołtarz główny kościoła OO. Bernardynów w Rzeszowie*, opr. S. Juszcak, Rzeszów 1996.

¹ Przeprowadzono je w II poł. lat 90. ubiegłego stulecia.

² Rozmowa B. Jagieły z Wiktorem P. Tokarskim OFM z dnia 28.08.2013 roku.

³ Projekt reprodukowany powyżej.

Streszczenie

Celem opracowania jest omówienie koncepcji restauracji ołtarza wielkiego w zespole oo. Bernardynów w Rzeszowie autorstwa krakowskiego architekta Zygmunta Hendla. Pogłębiona analiza konceptu konserwatorskiego z I dekady XX wieku przeprowadzona została w oparciu o dokumentację projektową pochodzącą ze zbiorów Muzeum Narodowego w Krakowie. Badania archiwalne i terenowe pozwoliły poszerzyć wiedzę, tak w zakresie historii omawianego zabytku, jak i historii konserwacji zabytków na ziemiach Galicji w okresie autonomii. Odnaleziona dokumentacja pozwoliła przybliżyć rozwiązania konserwatorskie przyjmowane w Galicji z końcem XIX i początkiem XX wieku.

Abstract

The aim of the work is to discuss the concept of restoring the grand altar in the complex of Friars Minor of Observant in Rzeszów by the architect of Cracow Zygmunt Hendel. The in-depth characteristics of restoring projects from the first decade of the 19th century was performed on the basis of the project documentation coming from the resources of the National Museum in Cracow. Archive and field studies allowed to deepen knowledge of both the history of the discussed monument and the history and development of restoring monuments in the area of Galicia in the period of autonomy. The given documentation allowed to bring the assumed restoration solutions closer in Galicia at the end of the 19th century and the beginning of the 20th century.

Dominik Przygodzki*

Palatium Mieszka I i Dąbrówki w Poznaniu. Analiza możliwości ekspozycji architektonicznej

Palace of Mieszko I and Dąbrówka in Poznań Analysis of the possibilities of architectural display

Słowa kluczowe: Archeologia, relikty architektoniczne, palatium, przedromańska architektura, koncepcja architektoniczna, rekonstrukcja, Ostrów Tumski, Poznań, Mieszko I, Dąbrówka

Key words: Archaeology, architectural relics, palace, pre-Romanesque architecture, architectural concept, reconstruction, Ostrów Tumski, Poznań, Mieszko I, Dąbrówka

Latem 1999 roku środowisko archeologów, historyków architektury i konserwatorów zostało poruszone sensacyjnym odkryciem na Ostrowie Tumskim w Poznaniu, gdzie prof. Hanna Kočka-Krenz z Uniwersytetu Adama Mickiewicza odkopłała po zachodniej stronie fasady kościoła NMP relikty budowli przedromańskiej¹.

Kontynuowane i rozszerzane w latach następnych badania wokół zachodniej fasady kościoła NMP pozwoliły na uchwycenie zarysu prostokątnej budowli o wymiarach 11,70–11,90 × 27,25 m oraz postawienie hipotezy roboczej, że mamy tu do czynienia z pozostałościami palatium książęcego Mieszka I i Dąbrówki, którego lokalizację na Ostrowie Tumskim wskazywały źródła historyczne. Jak oceniła ten etap badań prof. Hanna Kočka-Krenz, nie pozwoliły one na odtworzenie podziałów wewnętrznych, ale sugerowały konieczność ukierunkowania poszukiwań kaplicy pałacowej we wnętrzu kościoła NMP².

Przeprowadzone tam badania georadarowe wyraźnie zaznaczyły przebieg wschodniej ściany palatium, a wykonane wykopy archeologiczne potwierdziły relikty ścian zewnętrznych i ślady podziałów wewnętrznych. Mury palatium zbudowane były w sposób charakterystyczny dla techniki wykorzystującej łupane płytki kamienne spajane zaprawą wapienną oraz tynkowane obustronnie tynkiem gipsowym. Szczególnie interesującym rezultatem było odkrycie śladów po-

In the summer of 1999, the milieu of archaeologists, historians of architecture and conservators became excited about the sensational discovery made by Professor Hanna Kočka-Krenz from Adam Mickiewicz University in Ostrów Tumski in Poznań; Professor Krenz dug out relics of pre-Romanesque structure on the western side of the façade of the Church of the Blessed Virgin Mary¹.

In the next years, excavations around the western façade of the Church of the Blessed Virgin Mary were continued and extended; they allowed for capturing an outline of a rectangular structure with the following dimensions: 11.70–11.90 × 27.25 m; the scientists put forward a working hypothesis that these were the remnants of a ducal palace of Mieszko I and Dąbrówka, whose location in Ostrów Tumski was indicated by historical sources. According to Professor Hanna Kočka-Krenz, this stage of studies did not allow for reconstruction of internal divisions, but it suggested the necessity of searching for the palace chapel inside the Church of the Blessed Virgin Mary².

The georadar studies conducted in the location clearly marked the positioning of the eastern wall of the palace and the archaeological excavations that were performed confirmed the relics of external walls and traces of internal divisions. The walls of the palace were built in a manner characteristic for the technology of split stone slates bound with lime mortar and covered

* mgr inż. arch., Instytut Historii Architektury i Konserwacji Zabytków, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki

* *M.Sc. Arch., Institute of History of Architecture and Monument Preservation, Faculty of Architecture, Tadeusz Kościuszko Cracow University of Technology*

lichromii na tynku, oraz drewnianej belki progowej w portalu wejściowym, która w wyniku badań dendro-chronologicznych została datowana na 941 rok³.

Według Hanny Kočki-Krenz budynek palatium był dwukondygnacyjny, w planie przyziemia podzielony na trzy części. Rekonstrukcja w trzecim wymiarze wykonana przez autorkę badań została oparta na reliktach destruktu przewróconej szczytowej ściany północnej palatium o wysokości dochodzącej do 11 m, ale hipoteza o kaplicy pałacowej w formie rotundy na osi palatium musiała zostać zweryfikowana wobec braku jakichkolwiek śladów takiej budowli wewnątrz kościoła NMP. Przełom przyniosły dopiero kolejne sesje badawcze przeprowadzone w rejonie narożnika południowo-zachodniego kościoła NMP, w wyniku których odsłonięto niemal pełny zarys niewielkiej kaplicy zintegrowanej z korpusem palatium w jego południowo-wschodnim narożniku. Według Hanny Kočki-Krenz ta niewielka kaplica pałacowa o powierzchni użytkowej 10 m² w przyziemiu, obok półkolistej absydy, posiadała po swych obu stronach dwa symetrycznie rozmieszczone płytkie aneksy i niemożliwy dziś do rozpoznania sposób połączenia funkcjonalnego z palatium.

Rozmiary wnętrza kaplicy w przyziemiu są tak małe, że mogła ona zaledwie pomieścić celebransę z asystą, stąd Klaudia Stala uważa, że niezbędna empora dla księcia, jego małżonki i najbliższego dworu mogła być ulokowana wtórnie na poziomie piętra, nad tajemniczym aneksem w narożniku południowo-wschodnim palatium, być może reliktem pierwotnego wejścia do palatium nad zewnętrznym gankiem – trybuną księcia i dworu⁴.

Pomimo niewielkich rozmiarów kaplica posiadała wyjątkowo bogaty wystrój artystyczny. Badania specjalistyczne ujawniły wysoki standard zastosowanych technik i materiałów wykończeniowych, ściany pokryte były trójwarstwowymi kremowo-białymi tynkami wapiennymi, co może sugerować zastosowanie dekoracji o charakterze sgraffita, dodatkowo wzbogacone wielobarwną dekoracją mozaikową oraz ceramicznymi posadzkami⁵. Należy w pełni podzielić ocenę prof. Hanny Kočki-Krenz, że „przedromańska kaplica pałacowa na poznańskim grodzie różni się kształtem od pozostałych kaplic znanych z wczesnośredniowiecznych zespołów pałacowo-sakralnych na terenie Polski, w których prostokątny w zarysie budynek świecki był od fundamentów połączony ze świątynią w formie rotundy. Ponadto sposób połączenia tej kaplicy z domem książęcym jest odmienny, co w sumie czyni ją wyjątkową wśród dotychczas znanych form. Kaplica ta jest niewielkim kościołem halowym zamkniętym od wschodu absydą⁶”.

Dodać należy, że wartość naukowa, historyczna, edukacyjna i kulturowa stawia palatium z kaplicą na poznańskim Ostrowie Tumskim w rzędzie najważniejszych zabytków architektury doby wczesnopiastowskiej, choć z punktu widzenia ekspozycji stan zachowania substancji autentycznej nie ułatwia, ale też nie powinien przekreślić możliwości kreacji nietypowej i nowatorsko rozwiązanej

with gypsum plaster on both sides. A very interesting outcome was discovery of traces of polychrome on the plaster and a wooden threshold beam in the entrance which, as a result of dendro-chronological studies, was dated at 941³.

According to Hanna Kočka-Krenz, the palace building was a two-storied structure; on the lowest storey, it was divided into three sections. Reconstruction in the third dimension performed by the author of the studies was based on relics of the rubble of the toppled northern end-wall of the palace with a height reaching 11 m, but the hypothesis concerning the palace chapel in the form of a rotunda on the palace axis had to be verified with respect to absence of any traces of such structure inside the Church of the Blessed Virgin Mary. Subsequent research studies conducted in the area of the south-western corner of the Church of Blessed Virgin Mary brought a breakthrough; as a result of them, an almost complete outline of a small chapel integrated with the body of the palace in its south-eastern corner was revealed. According to Hanna Kočka-Krenz, this small palace chapel with the utility surface area of 10 m² in the lowest storey, next to a semicircular apse, had two symmetrically placed shallow annexes on both sides; the manner of functional connection with the palace is no longer possible to recognize.

Dimensions of chapel interior in the lowest storey are so small that the structure could have accommodated only an officiator with an assistant; thence, Klaudia Stala believes that the necessary mezzanine for the prince, his spouse and the court could have been located on the level of the ground floor, above the mysterious annex in the south-eastern corner of the palace, possibly a relic of the original entrance to the palace over the external porch – a stand for the prince and the court⁴.

Despite its small size, the chapel had exceptionally wealthy and artistic interior design. Specialist studies revealed high standard of applied technologies and finishing materials; the walls were covered with cream and white-coloured lime plaster, which may suggest application of sgraffito-type decoration, additionally enriched with multi-coloured mosaic decoration and ceramic floors⁵. One has to agree with the assessment of Professor Hanna Kočka-Krenz that “the shape of the pre-Romanesque palace chapel in the Poznań borough differs from other chapels known from early-Medieval palaces and sacral complexes in the area of Poland, where the rectangular lay building was connected with a rotunda-shaped temple at the foundations. Moreover, the manner of connection of the chapel with the prince’s dwelling is different, which, in sum, makes it exceptional among other forms known to date. The chapel is a small hall church, enclosed from the east with an apse⁶”.

It is necessary to add that the scientific, historical, educational and cultural values place the palace and the chapel in the Ostrów Tumski in Poznań among most important monuments of early-Piast architecture. From the perspective of displaying the facility

ekspozycji. Pozwalają na to nie tylko nowe technologie i nowoczesne materiały, ale także coraz powszechniej stosowane w ekspozycjach muzealnych techniki i systemy multimedialne. Rozwiązania takie są szczególnie istotne tam, gdzie pojawia się problem uczytelnienia reliktyw architektonicznych, rozwiązywany tradycyjnie najchętniej metodami fizycznej rekonstrukcji obiektu lub jego fragmentów, często kwestionowanej z punktu widzenia współczesnej teorii ochrony dziedzictwa⁷.

Pomimo werbalnych deklaracji dotyczących zasad konserwatorskich, zawartych w licznych oficjalnych międzynarodowych dokumentach, manifestach ideowych, kartach, konwencjach i deklaracjach teoria często pozostaje zapisem myśli i intencji, podczas gdy praktyka staje się coraz częściej „wyjątkową” regułą. Tę zadziwiającą dychotomię ilustruje szereg przykładów zrealizowanych w dalszej i bliższej przeszłości w całej Europie:

- Saalburg,
- Stoa Attalosa na Agorze Ateńskiej,
- Wiessenburg,
- Xanten,
- Carnuntum,
- Frauenkirche w Dreźnie,
- projekt odbudowy Zamku Hohenzolernów w Berlinie.

W ramach współpracy z Wojewódzkim Konserwatorem Zabytków w Poznaniu Instytut Historii Architektury i Konserwacji Zabytków wprowadził do planu badań naukowych⁸ temat związany z problematyką ekspozycji reliktyw archeologicznych architektury średniowiecznej, podejmując opracowanie założeń i koncepcji architektoniczno-konserwatorskiej ekspozycji reliktyw palatium Mieszka I i Dąbrówki w Poznaniu⁹.

Rozpoczynając pracę nad analizą możliwości ekspozycji architektonicznej należy zaznaczyć, iż relikty budowli przedromańskiej nie znajdują się dokładnie pod kościołem NMP. Są to dwa całkiem odrębne obrysy budowli. Kiedy korpus kościoła NMP jest niemalże idealnie zorientowany na osi wschód-zachód, to główna bryła palatium, o kształcie w rzucie prostokąta, zorientowana jest jej dłuższym bokiem na osi północ-południe, gdzie w części południowej znajduje się kaplica dedykowana Dąbrówce. W ten sposób relikty średniowiecznego budynku palatium znajdują się zarówno wewnątrz kościoła NMP, jak i na zewnątrz tejże budowli, co z jednej strony może być ciekawym i zróżnicowanym pod względem rodzaju i formy ekspozycji reliktyw architektonicznych, jak i trudnym i skomplikowanym z racji właśnie tegoż ciekawego położenia obu brył względem siebie. Jedyny wspólny mianownik obu budowli, gdzie mury późniejszego gotyckiego kościoła NMP bezpośrednio oparte są na romańskich relikwach murów, to dwie kolumny pierwszego rzędu patrząc od zachodu znajdujące się na osi muru wschodniej ściany palatium oraz ślizgający się po północnej ścianie kaplicy „Dąbrówki” fragment murów południowej elewacji kościoła NMP. Pozostałe mury obu budynków w żaden sposób nie pokrywają

to broader audience, the preservation degree of the authentic substance makes the task difficult; however, these hindrances should not rule out the possibility of creating an untypical and innovative display. This is possible thanks to modern technologies and materials, including multimedia techniques and systems that are used more and more often in museum exhibitions. Such solutions are particularly important in places where there are problems with making architectural relics legible, which is traditionally solved via methods of physical reconstruction of a facility or its fragments, often challenged from the point of view of the modern theory of heritage protection⁷.

In spite of verbal declarations regarding conservation principles, contained in numerous official documents, ideological manifestoes, charters, conventions and declarations, theory often remains the record of thoughts and intentions, whereas practice becomes, more and more often, the rule of exception. This surprising dichotomy is illustrated by a series of projects implemented in distant and closer past around Europe:

- Saalburg,
- Stoa Attalosa at the Agora of Athens,
- Wiessenburg,
- Xanten,
- Carnuntum,
- Frauenkirche in Dresden,
- reconstruction design of the Hohenzollern Castle in Berlin.

Within the scope of cooperation between the Province Conservator of Monuments in Poznań, the Institute of History of Architecture and Preservation of Monuments introduced the issue related to display of architectural relics of Medieval architecture to the plan of scientific studies⁸, undertaking the task of preparing the premises along with the architectural and conservation concept of display of relics from the palace of Mieszko I and Dąbrówka in Poznań⁹.

Upon commencing the work on the analysis of possibilities of architectural display, it has to be noted that the Church of the Blessed Virgin Mary and the relics of pre-Romanesque structure are not located directly beneath each other. These are two completely separate outlines; the body of the Church of the Blessed Virgin Mary fits almost ideally on the east-west axis, whereas the main body with a rectangular shape has its longer side along the north-south axis; the chapel dedicated to Dąbrówka is located in the southern section. Therefore, the relics of the Medieval palace are located both inside the Church of the Blessed Virgin Mary and outside this structure. Such positioning may, on the one hand, be interesting and diversified with respect to the type and form of display of architectural relics, but on the other, it creates difficulties resulting from the unique positioning of two structures with respect to each other. The only common denominator of both structures, where the walls of the later Gothic Church of the Blessed Virgin Mary are directly resting on Romanesque relics of walls, are two columns of the first

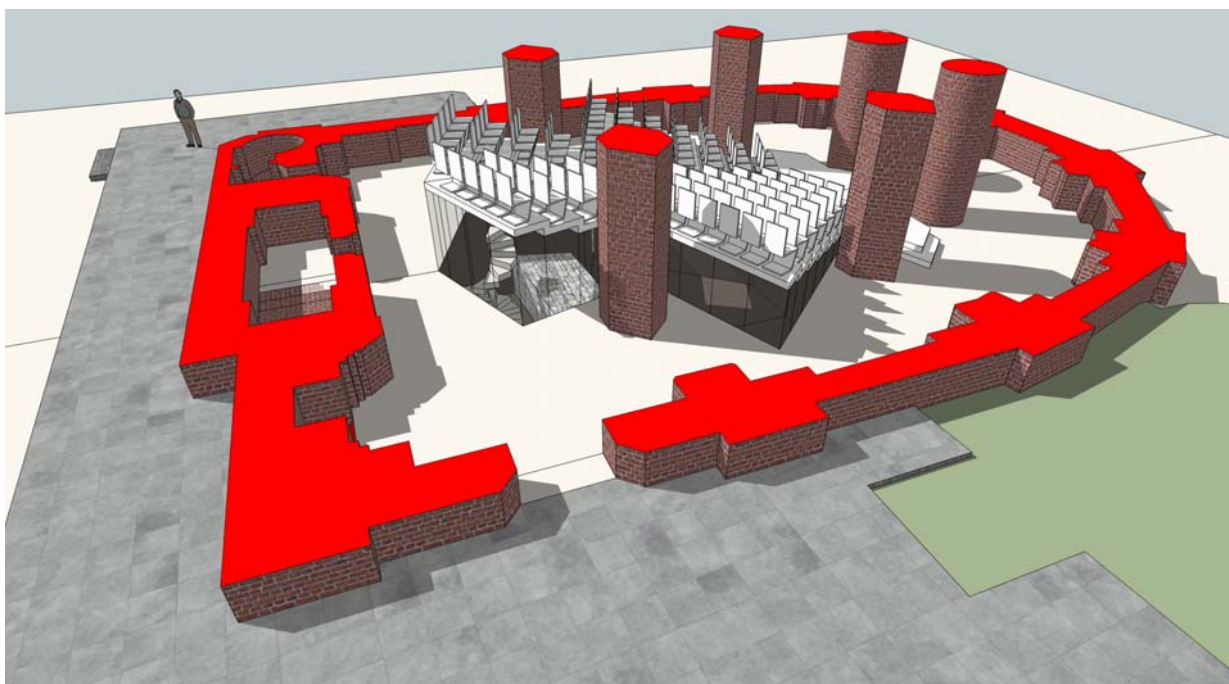
się w rzucie, co stwarza możliwość ekspozycji relikwii bezpośrednio od góry.

Bazując na zgromadzonych materiałach z badań prof. Hanny Kočki-Krenz¹⁰ oraz dostępnych badaniach georadarowych wyraźnie wskazujących na usytuowanie relikwii romańskich pod poziomem gruntu oraz posadzki kościoła NMP można było rozpocząć poszukiwania sposobu, formy i wielkości ekspozycji architektonicznej palatium Mieszka I i Dąbrówki.

Jedną z koncepcji skupiła się na ekspozycji relikwii głównie we wnętrzu kościoła NMP. Tutaj również

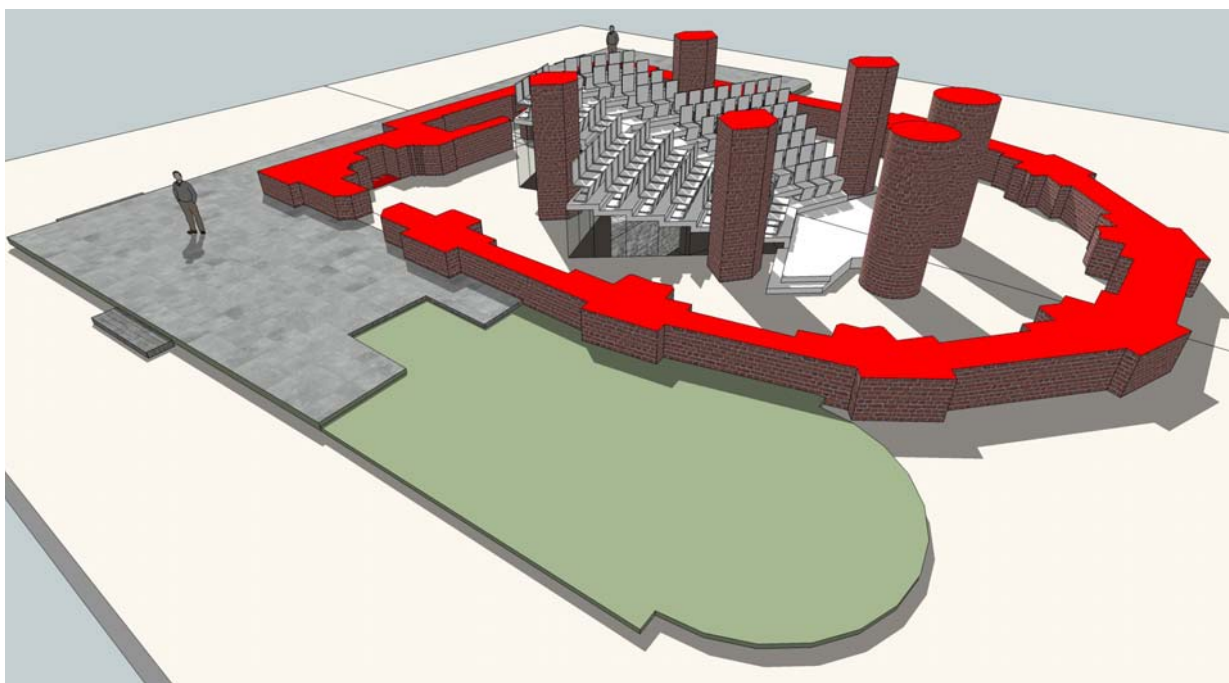
row, looking from the west, located on the axis of the eastern wall of the palace and the southern façade of the Church of the Blessed Virgin Mary overlapping with the fragment of the northern wall of the “Dąbrówka” chapel. The remaining walls of both structures do not overlap in the projection, and this offers a possibility of display of relics directly from above.

Relying on materials collected during the studies of Professor Hanna Kočka-Krenz¹⁰ and available georadar studies clearly indicating location of Romanesque relics under the level of the ground and the floor of the



Ryc. 1. Model koncepcyjny – oprac. Dominik Przygodzki

Fig. 1. Conceptual model, prepared by Dominik Przygodzki



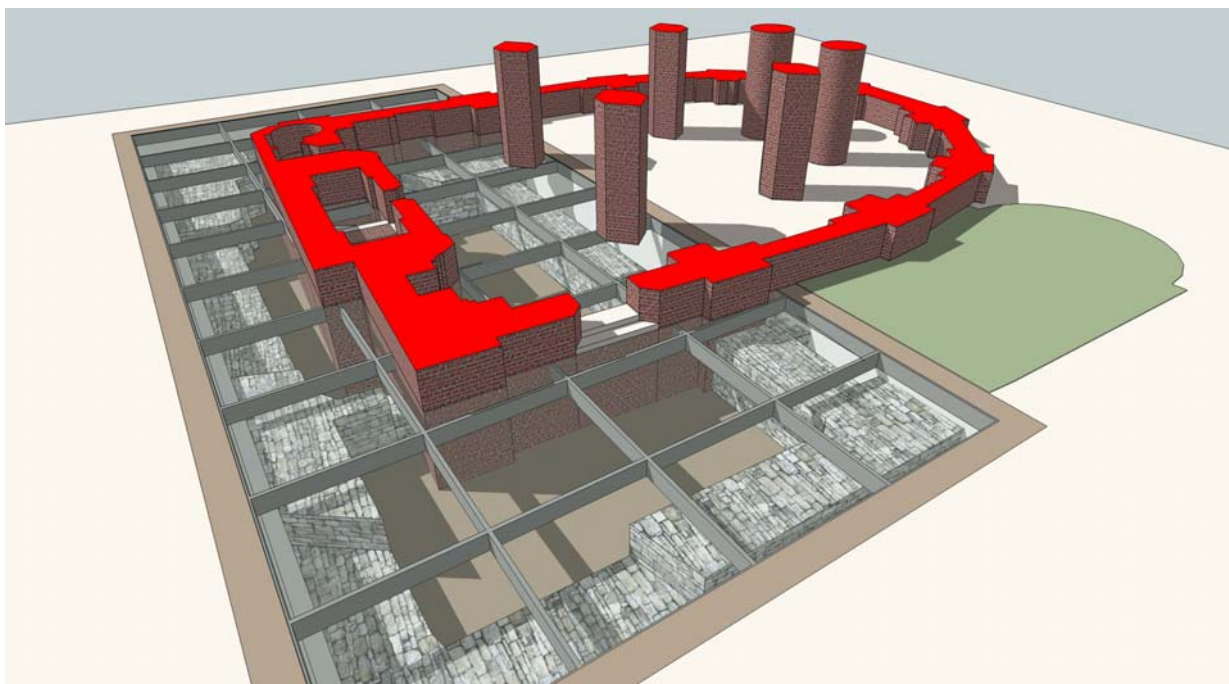
Ryc. 2. Model koncepcyjny – oprac. Dominik Przygodzki

Fig. 2. Conceptual model, prepared by Dominik Przygodzki

zmodyfikowaniu ulegała funkcja samego kościoła NMP z całkowitego przeznaczenia sakralnego w połączenie funkcji świeckich i sakralnych. Dla lepszego wykorzystania przestrzeni kościoła zaproponowano, zgodnie z dodatkową, nową funkcją edukacyjną, która pozwoliłaby na maksymalne wykorzystanie możliwości wnętrza oraz dostępność w całym zakresie czasowym dnia dla połączenia obu tych funkcji wzajemnie się nie wykluczających, stopnie amfiteatralne tworzące widownię z podnoszącymi się fragmentów posadzki kościoła. Uniesiona podłoga, z której utworzona została

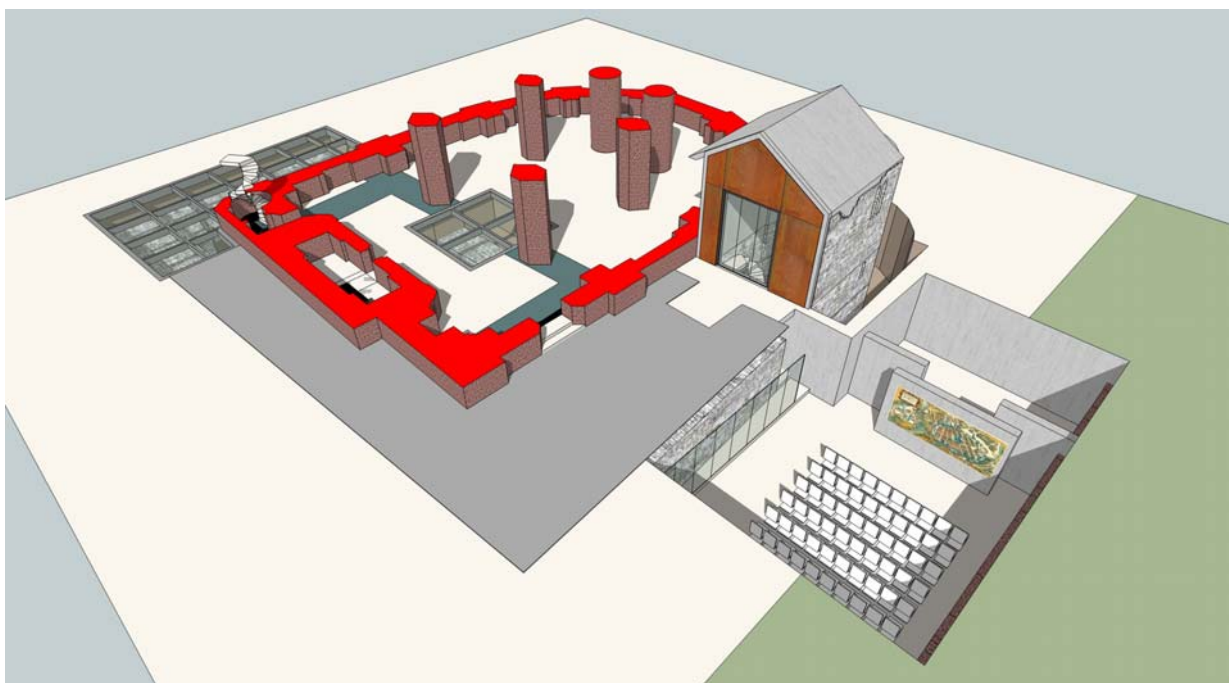
Church of the Blessed Virgin Mary, it was possible to commence a discussion concerning the manner, the form and the volume of architectural display of the palace of Mieszko I and Dąbrówka.

One of the concepts focused on display of relics mainly inside the Church of the Blessed Virgin Mary. Here, the function of the Church of the Blessed Virgin Mary was also modified: from completely sacral use to combination of lay and sacral functions. With respect to better utilization of the space of the church, a proposal was put forward (in line with the additional



Ryc. 3. Model koncepcyjny – oprac. Dominik Przygodzki

Fig. 3. Conceptual model, prepared by Dominik Przygodzki



Ryc. 4. Model koncepcyjny – oprac. Dominik Przygodzki

Fig. 4. Conceptual model, prepared by Dominik Przygodzki

platforma dla widowni, otwiera przestrzeń znajdującą się poniżej i ujawnia zawartą w niej wschodnią ścianę palatium. Jest to właśnie ta ściana, gdzie możemy zobaczyć bezpośrednią relację obu budowli względem siebie. To tu właśnie kolumny opierają się na relikwach średniowiecznych czyniąc tę przestrzeń wartą wyjątkowego wyeksponowania. Cała przestrzeń została wydzielona przezroczystą przeponą ze szkła hartowanego i bezpiecznego, aby jeśli to konieczne, możliwe było odpowiednie utrzymanie mikroklimatu dla relikwów architektonicznych (ryc. 1).

Trybuna o kształcie wpasowującym się pomiędzy kolumny kościoła znajduje się w centralnej jego części i jednocześnie pozostawia na tyle wolnej przestrzeni wokół siebie, aby wierni, turyści lub publiczność swobodnie mogła się poruszać po przestrzeni wnętrza kościoła, jednocześnie mając niczym nieskrępowany wgląd w ekspozycję średniowiecznych murów. Dzięki wydzieleniu przeponami wnętrza zyskujemy możliwość zamieszczenia wewnątrz odpowiedniej instalacji holograficznej, dzięki której można by wyświetlać pełne rekonstrukcje kolejnych faz przebudowy i historii palatium Mieszka I. Rozważano również możliwość zejścia w tę przestrzeń na poziom palatium, gdzie możliwe byłoby bliższe studiowanie relikwów architektury i archeologicznych eksponatów, lecz ten wariant uzależniony byłby od stanu zachowania i liczby zdobytych relikwów architektoniczno-archeologicznych. Choć ta koncepcja skupia się głównie na wnętrzu, należy również wspomnieć o tym, co na zewnątrz. Jak już wiemy, budowle przenikają się wzajemnie na rzucie, więc w stopniu minimalnym, nie ingerującym w tkankę znajdującą się poniżej gruntu zostaje oznaczony obrys budowli w posadzce o odmiennej kolorystyce niż otaczający ten budynek chodnik lub lekko wyniesionym tarasem o również odmiennym materiale okładziny. Utrzymując zasadę obrysu tkwiących poniżej relikwów, ale zmieniając strukturę na obszar zielony w postaci trawnika, eksponuje się szczególnie ważny element palatium, jakim jest kaplica „Dąbrówki” (ryc. 2).

Kolejna z koncepcji skupiła się w całości na możliwości ekspozycji relikwów głównego trzonu budynku palatium. Tak więc powstała prostokątna w kształcie forma o nieco większym obrysie od rysunku rzutu palatium, będąca zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz kościoła NMP (ryc. 3).

Założeniem była eksploracja całego obszaru wewnątrz obrysu murów romańskich, obniżenie terenu od 1,5 m do 2 m pozwalające na całkowite odsłonięcie pozostałości po murach palatium. Całe to zamierzenie ograniczone ścianami będącymi jednocześnie murem oporowym zostało przekryte konstrukcją stalową tworzącą siatkę kwadratów o boku ok. 2 m, na której położone zostały trójwarstwowe panele szklane umożliwiające bezpośredni wgląd do wnętrza przestrzeni eksponującej relikty murów romańskiego budynku palatium. Do konstrukcji stalowej wspierającej przeszklenie przymocowane zostało oświetlenie skupiające uwagę na poszczególnych, wybranych ważnych ele-

new educational functions, which would allow for a maximum use of the interior and its availability at all times) to combine both these functions with the use of amphitheatre steps, which would make up an audience seating area from rising fragments of the church floor. Raised floor, from which a platform for the audience was made, opens onto the space located below and shows the eastern wall of the palace embedded in it. Here, columns rest on Medieval relics making this space worthy of unique display. The entire space is separated by a transparent membrane made of tempered glass, which could preserve the microclimate for the architectural relics, if necessary (fig. 1).

The stand is located in the central part of the church and its shape fits between church columns; at the same time, it leaves enough open space so that believers, tourists and the audience can move freely around the church, at the same time having unobstructed insight onto the display of Medieval walls. Obviously, thanks to separation of the interior with membranes, there is an option of placing a relevant holograph installation inside, thanks to which it would be possible to show complete reconstruction of subsequent stages of the project and the history of the palace of Mieszko I. A possibility of connecting this level with the level of the palace (where closer study of relics of architecture and archaeological exhibits would be possible) was also taken into consideration, yet this variant depends on the status of preservation and the number of collected architectural and archaeological relics. Even though this concept focuses mainly on the interior, it is necessary to mention the exterior too. As it is known, buildings overlap each other, thence on the projection (in a minimum degree, not interfering with the tissue located below the ground), the outline of the building is marked on the floor with a different colour than the pavement surrounding the building, or with the use of a slightly raised terrace with a different lining material. Observing the principle of outline of relics located below, but changing the structure for a green area in the form of a lawn, a particularly important element of the palace, i.e. the “Dąbrówka” chapel, is given prominence (fig. 2).

Another concept focuses entirely on the possibility of displaying the relics of the main core of the palace building. Therefore, a rectangular form was created with an outline slightly larger than the projection of the palace, located both outside and inside the Church of the Blessed Virgin Mary (fig. 3).

The assumption relies on exploration of the entire area inside the outline of Romanesque walls, lowering the area from 1.5 m to 2 m which would allow for complete disclosure of all remnants of the palace walls. The entire project is delimited by walls, which simultaneously function as the retaining wall, and is covered with a steel structure which makes up a mesh of squares with sides of 2 m, on which three-layered glass panels were placed, enabling direct insight into the interior of the space where relics of walls of the Romanesque palace

mentach architektury oraz instalacja multimedialna w postaci np. projektorów o dużej jasności emitujące obrazy na ściany lub posadzki w postaci mappingu. Możliwość ekspozycji relikwii romańskich budowli pod przekryciem jednocześnie będącym posadzką można prześledzić na przykładzie Wiślicy, gdzie w kolegiacie NMP pod poziomem posadzki można odnaleźć relikwii romańskiego kościoła z XII wieku z cenną posadzką rytowaną oraz relikwii etapów przebudowy kolegiaty z okresu późnoromańskiego i wczesnogotyckiego kolegiaty NMP¹¹. Eksploracja we wnętrzu kościoła NMP osiągnęła poziom umożliwiający zejście pod poziom obecnej posadzki. Schody kręcone znalazły się w kruchcie wejściowej zachodniej elewacji kościoła NMP. Dzięki wygospodarowaniu przestrzeni pod posadzką i udostępnieniu jej zwiedzającym pojawiła się możliwość dokładniejszego studiowania relikwii architektury oraz wykorzystania technologii cyfrowych do np. rzutowania za pomocą projektorów rekonstrukcji posadzki lub ukazania kolejnych warstw przebudowy palatium oraz całości założenia. W tej wersji kaplica „Dąbrówki” jest niedostępna, relikwii zostają pozostawione dla przyszłych pokoleń badaczy architektury, lecz nie jest ukryta, a efekty badań archeologicznych oraz liczne rekonstrukcje w postaci modeli fizycznych oraz modeli 3D i hologramów zostały zgromadzone w pomieszczeniu położonym poniżej poziomu gruntu, na dawnym poziomie palatium i kaplicy. Zarys kaplicy podobnie jak w poprzedniej koncepcji tworzy obrys rzutu w poziomie obecnego chodnika wykształcony z formy zieleńca. Koncepcja ta pozostawia kościół NMP i jego wnętrze nadal miejscem sakralnym, co jest zgodne z wytycznymi archidiecezji poznańskiej co do zagospodarowania wnętrza kościoła NMP.

Trzecia, najbardziej rozbudowana pod względem zakresu ekspozycji, działań architektonicznych oraz funkcji koncepcja obejmuje zarówno wnętrze kościoła, jak i teren przyległy do jego bryły. Ekspozycja na zewnątrz kościoła NMP murów romańskich pod szklanym przekryciem została ograniczona do północnego fragmentu budynku palatium znajdującego się w północno-zachodnim narożniku kościoła NMP. Scenariusz ekspozycji jest podobny do poprzednich wersji (ryc. 4).

Odpowiednie oświetlenie sprzężone z komputerem umożliwiającym odtwarzanie pewnych sekwencji związanych z eksponowaniem poszczególnych najbardziej interesujących fragmentów relikwii architektonicznych oraz projektory odtwarzające i rzutujące mapping na ściany oraz posadzki rezerwatu. We wnętrzu utworzono „okno” o boku 3 × 3 m, w tej samej technologii co przekrycie rezerwatu na zewnątrz, pomiędzy pierwszym rzędem kolumn gotyckiego kościoła w miejscu, gdzie znajduje się wschodnia ściana palatium. Relikt ściany wewnątrz odpowiednio oświetlony i obdarzony odpowiednim opisem w postaci wytrawionego tekstu na panelach szklanych tworzących posadzkę. Tu też we wnętrzu kaplicy na posadzce pojawia się zarys murów palatium, doskonale widoczny w odczytach

buildings are displayed. Lights attached to the steel structure supporting the glazing focus the audience's attention on selected fragments of architecture; there is also a multimedia installation in the form of bright projectors which present images on walls or vaults in the form of mapping. The possibility of display of relics of Romanesque structures under coverage which, at the same time, functions as a vault is modelled upon the example of Wiślica, where the Collegiate Church of the Blessed Virgin Mary features a display of relics of a Romanesque church from the 12th century with a valuable engraved vault and relics of stages of reconstruction of the Collegiate Church from late-Romanesque period and early-Gothic period¹¹. The display is located below the level of the floor. Exploration inside the Church of the Blessed Virgin Mary reached the level enabling descent under the level of the present-day floor. The winding stairs are located in the entrance porch on the western side of the Church of the Blessed Virgin Mary. Due to the fact that some space was made available to visitors under the floor, there is a possibility of closer inspection of relics of architecture and use of digital technology, e.g. for showing reconstruction of the vault or subsequent layers of reconstruction of the palace and the entire complex with the use of projectors. In this version, the “Dąbrówka” chapel remains inaccessible, whereas relics are left for the future generations of architecture researchers, without being hidden; the effects of archaeological studies and numerous reconstructions in the form of physical 3D models and holograms are presented in a room located below the level of the ground and on the former level of the palace and the chapel. The outline of the chapel, similarly to the previous concept, creates the outline of the projection on the level of the present-day pavement, formed out of the lawn. In this concept, the interior of the Church of the Blessed Virgin Mary remains a sacral space, which complies with the guidelines of the Poznań Archdiocese concerning management of the interior of the Church of the Blessed Virgin Mary.

The third concept, most extended with respect to the range of exhibition, architectural activities and functions, encompasses both interior of the church and the level adjoining it. The exhibition outside the Church of the Blessed Virgin Mary and the Romanesque walls under the glazing was restricted to the northern fragment of the palace building located in the north-western corner of the Church of the Blessed Virgin Mary. The scenario of display is similar to previous versions (fig. 4).

Proper lighting combined with computer equipment enables screening of certain sequences related to display of individual most interesting fragments of architectural relics and projectors displaying and projecting mapping on the walls and vaults of the facility. Inside, a window of 3 × 3 m was executed in the same technology as the glazing of the facility outside; it is located between the first row of columns of the Gothic Church, in place where the eastern wall of the palace is positioned. The wall relic is properly lit inside and provided with relevant caption in the form of text etched



Ryc. 5. Widok wejścia do kaplicy „Dąbrówki” – oprac. Dominik Przygodzki

Fig. 5. View onto entrance to “Dąbrówka” chapel, prepared by Dominik Przygodzki



Ryc. 6. Wizualizacja koncepcji, elewacja południowa kościoła NMP – oprac. Dominik Przygodzki

Fig. 6. Visualization of the concept, southern façade of the Church of the Blessed Virgin Mary, prepared by Dominik Przygodzki



Ryc. 7. Model koncepcyjny, „rekonstrukcja” kaplicy „Dąbrówki” – oprac. Dominik Przygodzki

Fig. 7. Conceptual model, “reconstruction” of the “Dąbrówka” chapel, prepared by Dominik Przygodzki

z georadaru, w postaci odmiennej kolorystyki i faktury materiału, z którego została wykonana posadzka kościoła. Ten sam zabieg ujawnienia obrysu budynku romańskiego palatium pojawia się na zewnątrz bryły kościoła. Obrys wykształcony z odmiennego materiału o innej fakturze tworzący niewielki placik przed kościołem NMP (ryc. 5).

Sugerowany materiał to ten sam kamień, z którego wykonane zostały mury palatium. Jest to nawiązanie wprost oraz możliwość obcowania z tymże materiałem w sposób bezpośredni, taki jak np. dotyk. Koncepcja ta jako jedyna ze wszystkich trzech tu opisywanych zawiera propozycję „rekonstrukcji” kaplicy „Dąbrówki”. Dzięki przenikającym się rzutom obu budynków, kościoła i palatium, jest tutaj możliwość pojawienia się bryły bezpośrednio nad relikwami znajdującymi się poniżej *in situ*. W tym miejscu pojawia się „rekonstrukcja”, ale jako bryła o gabarytach i kształcie oryginalnej kaplicy, jednak bez detalu architektonicznego, wykonana z neutralnego materiału, jakim jest beton architektoniczny. Jako przykład takiej „rekonstrukcji” w postaci prostej bryły „postawionej” bezpośrednio na murach *in situ* jest Muzeum Archeologii Praça Nova Do Castelo de São Jorge w Lizbonie, gdzie także kształt bryły budowli został odzwierciedlony w uproszczonej formie i neutralnym materiale. Ciekawą propozycją jest próba podniesienia i wykorzystania południowej ściany kaplicy, która obecnie leży przewrócona przy południowej elewacji kaplicy (ryc. 6).

Wiedzę tę czerpiemy z badań archeologicznych przeprowadzonych przez prof. Hannę Kočkę-Krenz. Co ciekawe, w ścianie znajduje się nienaruszony otwór okienny, który tylko wzmacnia atrakcyjność tego elementu reliktu architektury romańskiej. Podniesienie

on glass panels that make up the floor. Here, inside the chapel, the outline of the palace walls is presented on the floor; it is excellently visible in georadar readings; the outline is marked with the use of different colour and texture of materials of which the church floor was made. The same procedure of marking the outline of the Romanesque palace is used outside the church. The outline marked with the use of different materials and texture creates a small square in front of the Church of the Blessed Virgin Mary (fig. 5).

The suggested material is the stone from which walls of the palace were built; this is a clear reference to the original structure and it also offers a possibility of contact with the material in a direct manner, e.g. via touching. This concept is the only one among three concepts described here that includes the proposal of “reconstruction” of Dąbrówka chapel. Thanks to overlapping projections of both buildings, the church and the palace, there is a possibility of displaying the structure directly above the relics located below, *in situ*. This is the place where the “reconstruction” appears – the structure whose size and shape corresponds to the original chapel, yet without architectural details, made of neutral material, such as architectural concrete. An example of such “reconstruction” in the form of a simple structure “placed” directly on the walls *in situ* is the Museum of Archaeology Praça Nova Do Castelo de São Jorge in Lisbon, where the shape of the building is rendered in a simplified form and in neutral material. An interesting proposal is also an attempt at uplifting and using the southern wall of the chapel, which currently lies toppled by the southern facade of the chapel (fig. 6).

The knowledge derives from the architectural studies conducted by Professor Hanna Kočka Krenz.

ściany za pomocą współczesnych technik budowlanych jest obecnie jak najbardziej możliwe i bezpieczne, a wykorzystanie oryginalnej ściany w bryle kaplicy jest interesującym rozwiązaniem, które podnosi zainteresowanie. Pozostałe ściany i elementy bryły, czyli absyda oraz dwuspadowy dach zostają zrealizowane w betonie architektonicznym, ściana północna kaplicy pozostaje „zatopiona” w elewacji południowej kościoła NMP. Bryła kaplicy od strony wschodniej i południowej jest otoczona fosą na głębokość dawnego poziomu terenu, dzięki czemu otrzymujemy możliwość wyeksponowania oryginalnych kamiennych murów kaplicy znajdujących się obecnie pod poziomem gruntu. Na elewacji południowej, tam gdzie znajduje się oryginalny fragment ściany kaplicy, przejście pomiędzy nieregularnie urywającą się oryginalną ścianą z kamienia a ścianą bryły kaplicy jest wyraźnie rozdzielone szczeliną o szerokości 10 cm, tak aby nie było wątpliwości, gdzie stare z nowym się spotyka. Natomiast od strony zachodniej bryła kaplicy urywa się na wysokości bramy przejazdowej, a powstała „sztuczna” zachodnia elewacja zostaje wykonana jako przekrój, gdzie beton ujawnia się po obwodzie krawędzi bryły, a wewnątrz zostaje zasklepienie płaszczyzną wykonaną z paneli blachy cortenowej. W tejże elewacji znajduje się również przeszklony otwór będący jednocześnie oknem z możliwością wglądu do wnętrza oryginalnej kaplicy „Dąbrówka” oraz wejściem do wnętrza poprzez kręcone schody. I tu dochodzimy do kolejnej funkcji, o którą została ta wersja koncepcji rozbudowana, a mianowicie funkcji naukowo-edukacyjnej. Schody znajdujące się w kaplicy prowadzą na poziom dawnego przyziemia i stamtąd przedostajemy się do niewielkiej sali multimedialnej zlokalizowanej wzdłuż południowej ściany palatium, która jest elementem eksponowanym we wnętrzu tejże sali. Sala multimedialna służyć może pokazom związanym z historią miejsca jako elementowi uzupełniającemu scenariusz zwiedzania tego miejsca, jak i również może służyć jako minisala konferencyjno-prelekcyjna (ryc. 7).

Jako alternatywne rozwiązanie wejścia do tej przestrzeni pojawia się forma prostopadłościanu wychodzącego z ziemi zakończony szklanym przedsionkiem w zachodniej części całego zagospodarowania. Obie propozycje komunikacyjne sali mogą być połączone i tworzyć obieg jednokierunkowy z wejściem i wyjściem.

Prace nad przedstawionymi tu kilkoma wersjami koncepcji możliwości aranżacji relikwów architektonicznych palatium przy kaplicy NMP w Poznaniu nadal są rozwijane, kontynuowane jest poszukiwanie alternatyw o różnych kierunkach i stopniach ekspozycji tkanki zabytkowej. Na bieżąco śledzone są działania badawczo-archeologiczne odbywające się przy tej lokacji oraz prowadzone są konsultacje z Wojewódzkim Konserwatorem Zabytków w Poznaniu, a prace prowadzone są z uwzględnieniem wszelkich sugestii oraz informacji na temat nowych odkryć archeologicznych i możliwości ich wykorzystania w omawianym projekcie.

It is interesting to note that the wall features an intact window opening, which increases attractiveness of this element of relic of Romanesque architecture. Raising the wall with the use of modern construction techniques is currently possible and safe, whereas use of the original wall in the structure of the chapel constitutes an interesting solution, which could make the facility more interesting. The remaining walls and elements of the structure, i.e. the apse and the pitched roof, could be executed in architectural concrete, whereas the northern wall of the chapel would be “sunk” in the southern façade of the Church of the Blessed Virgin Mary. On the eastern and southern side, the structure of the chapel would be surrounded by a moat at a depth of the former ground level, which offers an opportunity of displaying the original stone walls of the chapel currently located under the ground level. On the southern façade, where the original fragment of the wall chapel is located, the passage between the irregularly broken original stone wall and the wall of the chapel is clearly separated by a crack 10 cm wide, so that there are no doubts concerning the meeting point of the new and the old structure. On the other hand, on the western side, the structure of the chapel ends at the height of the entrance gate and the “artificial” western facade is made as a cross-section, where the concrete material lines the edge of the structure, whereas the interior is sealed up with corten sheet panels. In the façade, there is also a glazed opening which functions as a window offering the possibility of looking inside the original “Dąbrówka” chapel and an entrance inside via a winding staircase. This place accommodates another function of this concept, i.e. the scientific and educational function. Stairs in the chapel lead to the former lowest storey; from there, visitors can access a small multimedia room located along the southern wall of the palace, which constitutes an element displayed inside this room. The multimedia room may also be used for presentations related to the history of the place, as an element supplementing the sightseeing scenario of this location; it may also function as a mini conference and lecture room (fig. 7).

A cuboid form emerging from the ground and topped with a glazed foyer in the western section of the facility could function as an alternative entrance. Both proposals of passageways to the hall may be connected and create a one-direction system with an entrance and exit.

Work on the presented concepts of arranging architectural relics of the palace by the Chapel of the Blessed Virgin Mary in Poznań is still under way; alternative manners of display of the historical tissue on various levels are searched for. On an ongoing basis, research and architectural studies conducted in the location are being monitored and consulted with the Province Conservator of Monuments in Poznań, taking into account all suggestions and information regarding new architectural discoveries and the possibilities of using them in the discussed project.

LITERATURA

- [1] Kadłuczka A., *Rekonstrukcja architektoniczna – realne czy wirtualne modelowanie rzeczywistości historycznej?* [w:] *Doktryny i realizacje konserwatorskie w świetle doświadczeń krakowskich ostatnich 30 lat*, praca zbiorowa pod red. B. Krasnowolskiego, Wyd. WAM-SKOZK, Kraków 2011, s. 209-223.
- [2] Kočka-Krenz H., *Wczesnopiastowski Poznań w świetle źródeł archeologicznych*, [w:] *Gniezno i Poznań w państwie wczesnych Piastów*, red. A. Wójtowicz, Poznań 2000, s. 61-76.
- [3] Kočka-Krenz H., *Początki monumentalnej architektury świeckiej w grodzie poznańskim*, [w:] *Początki architektury monumentalnej w Polsce*, red. T. Janiak, D. Stryniak, Muzeum Początków Państwa Polskiego, Gniezno 2004, s. 71-84.
- [4] Kočka-Krenz H., *Kostki mozaikowe Ostrowa Tumskiego w Poznaniu*, *Archaeologia Historica Polona*, t. 15/2, 2005, s. 187-200.
- [5] Kočka-Krenz H., *Pre-Romansque Chapel in Poznań*, [w:] *Questiones Medii Aevi Novae*, t. 15, Societas Vistulana/Fundacja Centrum Badań Historycznych, Warszawa 2010, s. 221-239.
- [6] Kočka-Krenz H., *Na wyspie Ostrów, przy której dzisiaj jest Poznań*, Muzeum Archeologiczne w Poznaniu, Poznań 2012, s. 1-80.
- [7] Stala K., *Architektura rezydencji wczesnopiastowskich w Polsce, próba reinterpretacji dotychczasowych poglądów z uwzględnieniem tła europejskiego*, Seria Architektura, Monografia 442, Wyd. PK, Kraków 2013, s. 177-180.
- [8] Zalewski W., Stec M., *Rytowana romańska posadzka w kolegiacie wiślickiej. Studium konserwatorskie*, [w:] *Studia i Materiały Wydziału Konserwacji Dzieł Sztuki ASP w Krakowie*, t. IV, ASP Kraków, Kraków 1994.

¹ H. Kočka-Krenz, *Wczesnopiastowski Poznań w świetle źródeł archeologicznych*, [w:] *Gniezno i Poznań w państwie wczesnych Piastów*, red. A. Wójtowicz, Poznań 2000, s. 61-76.

² Idem, *Początki monumentalnej architektury świeckiej w grodzie poznańskim*, [w:] *Początki architektury monumentalnej w Polsce*, red. T. Janiak, D. Stryniak, Muzeum Początków Państwa Polskiego, Gniezno 2004, s. 71-84.

³ Idem, *Pre-Romansque Chapel in Poznań*, [w:] *Questiones Medii Aevi Novae*, t. 15, Societas Vistulana/Fundacja Centrum Badań Historycznych, Warszawa 2010, s. 221-239.

⁴ K. Stala, *Architektura rezydencji wczesnopiastowskich w Polsce, próba reinterpretacji dotychczasowych poglądów z uwzględnieniem tła europejskiego*, Seria Architektura, Monografia 442, Wyd. PK, Kraków 2013, s. 177-180.

⁵ H. Kočka Krenz, *Kostki mozaikowe Ostrowa Tumskiego w Poznaniu*, *Archaeologia Historica Polona* t. 15/2, 2005, s. 187-200.

⁶ H. Kočka-Krenz, *Na wyspie Ostrów, przy której dzisiaj jest Poznań*, Muzeum Archeologiczne w Poznaniu, Poznań 2012, s. 1-80.

⁷ A. Kadłuczka, *Rekonstrukcja architektoniczna – realne czy wirtualne modelowanie rzeczywistości historycznej?* [w:] *Doktryny i realizacje konserwatorskie w świetle doświadczeń krakowskich ostatnich 30 lat*, praca zbiorowa pod red. B. Krasnowolskiego, Wyd. WAM-SKOZK, Kraków 2011, s. 209-223.

⁸ nr A-1/38/2013/DS.

⁹ Autor koncepcji: arch. Dominik Przygodzki, konsultacje architektoniczno-konserwatorskie prof. arch. Andrzej Kadłuczka, konsultacje archeologiczne dr hab. Klaudia Stala.

¹⁰ K. Stala, op. cit., s. 172-174.

¹¹ W. Zalewski, M. Stec, *Rytowana romańska posadzka w kolegiacie wiślickiej. Studium konserwatorskie*, [w:] *Studia i Materiały Wydziału Konserwacji Dzieł Sztuki ASP w Krakowie*, t. IV, ASP Kraków, Kraków 1994, s. 86 i 87.

Streszczenie

Artykuł porusza tematykę poszukiwań formy ekspozycji odkrytych przedromańskich relikwów archeologicznych w ramach współpracy Instytutu Historii Architektury i Konserwacji Zabytków z Wojewódzkim Konserwatorem w Poznaniu. Rozważania nad kierunkiem rozwoju dalszych prac archeologiczno-konserwatorskich w rejonie kościoła NMP na Ostrowie Tumskim w Poznaniu oraz przedstawienie kilku zróżnicowanych pod względem zarówno formy, jak i funkcji, z wykorzystaniem tradycyjnych i współczesnych technologii budowlanych oraz multimedialnych form, koncepcji sposobów prezentacji relikwów architektury romańskiej, jakim jest palatium Mieszko I i Dąbrówki.

Abstract

In the article, the author discusses the search for the form of display of discovered pre-Romanesque archaeological relics within the scope of cooperation of the Institute of History of Architecture and Preservation of Monuments with the Province Conservator in Poznań. The author presents the directions of development of further archaeological and conservation work in the area of the Church of the Blessed Virgin Mary in Ostrów Tumski in Poznań and shows several concepts for the manner of presenting the relics of Romanesque architecture, i.e. the palace of Mieszko I and Dąbrówka diversified with respect to the form and function, using traditional and modern construction technologies and multimedia forms.

Piotr Kołodziejczyk*

Droga Królewska: dziedzictwo i ochrona dawnego szlaku na terenie Jordanii

King's Highway: heritage and protection of ancient and modern, Transjordanian route

Słowa kluczowe: dawne drogi, szlaki handlowe, Jordania, dziedzictwo Bliskiego Wschodu, historia handlu

Key words: old roads, trade routes, Jordan, Middle Eastern heritage, history of trade

Ekonomia, widoczna zwłaszcza w relacjach handlowych, odgrywała na Bliskim Wschodzie rolę kluczową od czasów najdawniejszych. Ślady tych relacji w postaci szlaków karawanowych, schronisk i studni, znaków orientacyjnych czy wreszcie osad i faktorii handlowych są jednak często pomijane w procesie konserwacji i nie doczekują się kompleksowych programów badawczych. Podobnie jest w przypadku badaczy zajmujących się studiowaniem krajobrazu i jego relacji z człowiekiem w przeszłości. Bardziej interesują ich stanowiska o wyraźnie osadniczym charakterze lub cmentarzyska niż, często mało spektakularne, ślady kontaktów handlowych. Tymczasem ślady kontaktów pomiędzy społecznościami lub nawet kulturami, podobnie jak same artefakty z nimi kojarzone, wydają się być nieocenionym źródłem wiedzy o rozwoju człowieka, zmianach kulturowych i technologicznej dyfuzji idei i praktyk. Dlatego warto, na przykładzie jednego z najważniejszych bliskowschodnich szlaków handlowych, spojrzeć na ten problem. Szlak ten jest pełen śladów aktywności ludzkiej w postaci budowli, fragmentów samej drogi i różnych elementów związanych z jej rolą w dawnej ekonomii, a także niezwyklej walorów krajobrazowych i przyrodniczych. Zrozumiemy także dzięki temu znaczenie handlu w regionie Bliskiego Wschodu, jako ważnego elementu i celu działań konserwatorskich i badawczych.

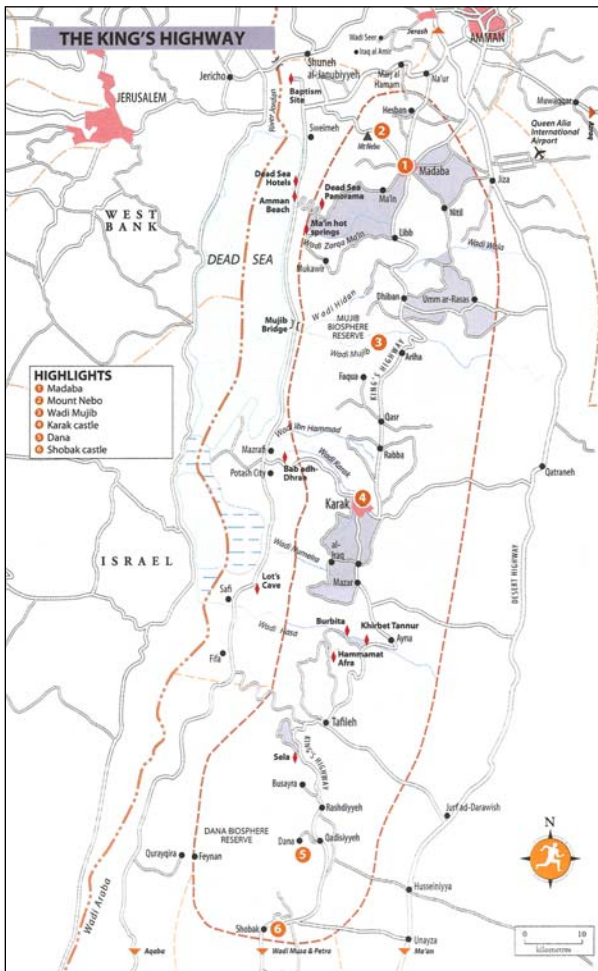
Nie ma wątpliwości, że jednym z najważniejszych szlaków handlowych Bliskiego Wschodu była tzw. Droga Królewska (ryc. 1). Miała ona kluczowe znaczenie dla kontaktów handlowych w starożytności i średniowieczu na tym terenie. Szlak ten miał swój początek w Egipcie

Economy including trade relations have played a significant role in the Middle East since ancient times. Their footprints in the form of caravan routes, shelters, wells, orientation marks, settlements and commercial trading factories are often overlooked and in conservation and their research programs do not have a complex, serious position. Similarly, scientists studying human connections with the landscape not often draw attention to these aspects and more often to the settlement or funeral areas. Meanwhile, signs of contact between the group or even cross-cultural meetings as well as artifacts found within their context, seems to be an invaluable source of knowledge about human development, cultural change and technological diffusion of ideas and practices. Therefore it is worth to look at one example of important route, which is still full of activity traces: buildings, roads fragments and facilities related to economic. We may also notice some crucial trade issues and their role in the knowledge of the Middle Eastern civilizations, in the context of conservation and research approaches.

No doubt, one of the most famous Middle Eastern trade-related roads seems to be The King's Highway (fig. 1). It was a trade route of crucial importance for the ancient Middle East. It started in Egypt, and then the road continued across the Sinai Peninsula to the city and harbor of Aqaba. From this place it turned northward crossing the Jordan river, leading to Damascus and the river Euphrates (fig. 2). The origins of the road's name remain unclear. However, the term appears often in historical records – the meaning might

* dr Piotr Kołodziejczyk, Instytut Archeologii, Uniwersytet Jagielloński

* dr Piotr Kołodziejczyk, Institute of Archaeology, Jagiellonian University



Ryc. 1. Droga Królewska na terenie południowej Jordanii
Fig. 1. King's Highway in southern Jordan



Ryc. 2. Na królewskim szlaku w okolicach Udruh
Fig. 2. On the royal route near Udruh



Ryc. 3. Rzymski teatr w Ammanie
Fig. 3. Roman theater in Amman

i biegł przez półwysp Synaj do zatoki Akaba. Stąd kierował się na północ i przekroczywszy rzekę Jordan wiódł do Damaszku i dalej aż do brzegów Eufratu (ryc. 2). Początki użytkowania tej drogi pozostają dla nas zagadką, jednak sama nazwa dość wcześnie zaczyna pojawiać się w źródłach historycznych. Nazwa ta prawdopodobnie odnosiła się początkowo do znaczenia szlaku jako „głównego” czy „królewskiego” i nie miała zapewne związku z żadnym konkretnym władcą czy monarchią (Machowski, 2007). Aktywność handlowa, która miała miejsce wzdłuż drogi, była niezwykle ważna dla wielu starożytnych państw. Takie krainy i królestwa jak Edom, Moab czy Ammon czerpały bardzo dużo korzyści z przebiegu drogi i działalności, która dzięki niej mogła się rozwijać.

Opisując ten szlak nie sposób nie wspomnieć o szeregu ważnych centrów leżących wzdłuż niego, poczynając od egipskich miast Heliopolis czy Clysma (obecny Suez), poprzez egipskie forty Nekhl czy Themed położone na półwyspie Synaj, po zlokalizowane już poza granicami Egiptu na terenie Lewantu – Eilat i wspomnianą powyżej Akabę. Skracając na północ od tego miejsca Droga Królewska mijając z kolei Petrę i Ma'an, biegła do Udruh, a następnie do Shawbak i Seli. Dalej podążała przez Kerak do starożytnej krainy Moabu i miejscowości takich jak

have originally been very simple, like “royal road” or just a “principal route”, with no relation to particular king or monarchy (Machowski, 2007). The trade activity which was organized along the King's Highway was very important for a large number of ancient states. Edom, Moab, Ammon, and many other Aramaic polities relied to a large extent on the King's Highway for trade and commercial operations.

Describing this road we have to mention several important centers: beginning from the Egyptian city of Heliopolis, Clysma (modern Suez), Egyptian forts of Nekhl and Themed in the Sinai desert and further, already outside Egypt – Eilat and Aqaba. From there the Highway turned northward through the Wadi Arabah, passing Petra and Ma'an, going to Udruh, Shawbak and Sela. It passed also through Kerak and the ancient land of Moab to Madaba, Rabbah Ammon/Philadelphia (modern capital of Jordan – Amman), Gerasa, Bosra, Damascus, and Tadmor. It ended at Resafa on the upper Euphrates.

The history of the King's Highway was also connected with many wars and conflicts e.g. between the Israelites and the kingdoms of the trans-Jordanian highlands during the period of the Kingdom of Israel (and its sister-kingdom, the Kingdom of Judah). Many of those conflicts were probably at least in part fought



Ryc. 4. Centrum starego Ammanu z rzymskim teatrem i relikdami forum
 Fig. 4. Old Amman center with a relicts of theater and forum

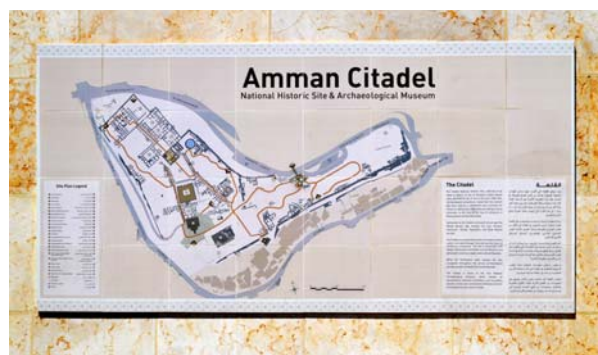
Madaba, Rabbah czy Ammon/Philadepphia, czyli obecny Amman, a także Gerasa i Bosra, by w końcu dotrzeć do Damaszku i Tadmoru. Jej ostatnim przystankiem była Resafa położona w górnym biegu Eufratu.

Historia Drogi Królewskiej jest związana nie tylko z ekonomią, ale także z wieloma konfliktami. Jednym z najbardziej znanych był konflikt pomiędzy Izraelitami i górskim królestwem Edomu w okresie tzw. Królestwa Izraela (i królestwa Judy). Wiele z tych niepokojów było spowodowanych próbami przejmowania kontroli nad tym kluczowym szlakiem. Badania archeologiczne, które trwają lub właśnie zaczynają się w rejonie Seli (współczesny dystrykt At-Tafileh), mogą rzucić nowe światło na te kwestie już w najbliższych latach.

W okresie nabatejskim rola Drogi Królewskiej jeszcze wzrosła. Nabatejscy kupcy i podróżnicy transportowali tędy towary luksusowe, takie jak pachnidła czy przyprawy z południowej Arabii (Zayadine, 1990). Natomiast w okresie rzymskim droga została przebudowana i unowocześniona za panowania cesarza Trajana, uzyskując na jego cześć nową nazwę – *Via Traiana Nova*. W ten sposób Rzymianie włączyli ten szlak do imperialnego systemu dróg, wykorzystując go specjalnie do przewożenia szczególnie dla nich ważnych towarów przez Pustynię Arabską (Bowersock, 1983). Droga Królewska pozostała bardzo ważnym traktem nawet w niespokojnym okresie nieustannych zmian zachodzących w pierwszych siedmiu wiekach naszej ery i przechodzenia tych terenów kolejno pod kontrolę Bizantyjczyków, Persów, plemion arabskich i wreszcie muzułmanów. W okresie średniowiecza stała się ważnym szlakiem pielgrzymkowym dla chrześcijańskich podróżników, ponieważ przechodziła w pobliżu ważnych ośrodków bliskowschodniego chrześcijaństwa, takich jak

for the control of the route. The archeological works which are just starting in the area of Sela site and micro-region (modern At-Tafileh district in southern Jordan) may throw some light on this issue in the next few years.

During the Nabatean period, the importance of this road was even higher. Nabataean merchants and travelers were using it to transport luxury goods such as frankincense and spices from southern Arabia (Zayadine, 1990). During the Roman period, the King's Highway was rebuilt and modernized by emperor Trajan and got a new name – *Via Traiana Nova*. The Romans included the King's Highway into their imperial road system, using it especially as a way of transport through the Arabian Desert (Bowersock, 1983). The road was so important that it remained operational even when the area was traded off between Byzantines, Arabs, Persians, and Muslims during the first seven centuries of the 1st millennium AD. In



Ryc. 5. U wejścia na tzw. Cytadelę – Amman
 Fig. 5. At the entrance to the Citadel – Amman



Ryc. 6. Fragment toponimicznej mozaiki z Mababy
 Fig. 6. Fragment of toponymic mosaic from Mababa



Ryc. 7. Wnętrze kościoła na górze Nebo
 Fig. 7. The interior of the church at the Mount Nebo



Ryc. 8. Pałac Heroda w Mukawir
 Fig. 8. Herod's Palace in Mukawir

górze Nebo czy al-Maghtas (tzw. „miejsce chrztu”) nad rzeką Jordan. Z drugiej strony muzułmanie wykorzystywali Drogę Królewską jako szlak pielgrzymkowy do Mekki, aż do czasów zbudowania w okresie otomańskim nowej drogi (Tariq al-Bint) w XVI wieku, co zmieniło trasy pielgrzymek. Na początku II tysiąclecia krzyżowcy ufortyfikowali drogę budując wspaniałe zamki, które nadal, we współczesnym jordańskim krajobrazie, stanowią na niej kluczowe znaki orientacyjne. Dzisiaj szlak ten, nazywany przez miejscowych Drogą Sultana, nie stanowi już głównej arterii komunikacyjnej regionu. Cały ciężar transportu dźwiga obecnie autostrada, położona kilkanaście kilometrów na wschód od starej drogi.

later times the King's Highway was also used as an important pilgrimage route for Christians travelers, as it passed numerous places important in Christianity, such as Mount Nebo and al-Maghtas (called “the Baptism Site”) on the Jordan River. On the other hand, Muslims used this route as the main Hajj road to Mecca until the Ottoman Turks built the new one – Tariq al-Bint in the early 16th century AD, developing an alternate route tradition. In the beginning of the 2nd millennium the crusaders fortified the highway. Their beautiful castles are still the landmarks of the modern Jordanian landscape. Today, the old route is called Tariq es-Sultani (Way of the Sultan). Contemporary

Droga Królewska w swojej najdłuższej, jordańskiej części jest także doskonałym narzędziem do śledzenia historii tego regionu i wielu związanych z nią ośrodków, rozwijających się tutaj na przestrzeni ostatnich 5000 tysięcy lat. Na bardzo duży zbiór elementów dziedzictwa przyrodniczego i kulturowego składają się m.in. kościoły i słynne mozaiki z Mabady i Góry Nebo, zamki w Keraku i Shawbak, rezerваты przyrody, wiele starożytnych relikwów i miast z najsłynniejszą Petrą na czele. Niektóre z nich stanowią unikalne dziedzictwo ludzkości – zarówno przyrodnicze, jak i historyczno-archeologiczne.

Poruszając się więc z południa na północ napotkamy Amman – współczesną stolicę królestwa Jordanii. Rozwijające się, nowoczesne miasto z widocznymi wyraźnymi śladami swej wielkiej przeszłości (ryc. 3). Są to m.in. relikwty rzymskiego teatru, a także tzw. cytadeli – wzgórze

traffic uses new, desert highways, located on the east from the old route.

The Kings' Highway at its largest, Jordanian section became a great way to trace history of the region and many sites that this 5,000 year old highway has to contain. Huge set of natural and historical heritage include the churches and mosaics at Madaba and Mount Nebo, views of the Holy Land, Kerak and Shawbak castles, nature reserves, many ancient relics and cities with the most known ancient city of Petra. Some of the relics or places which may be found on the King's Highway constitute a world heritage values both in the natural and historical, archaeological range.

Going from north to south we are meeting city of Amman – modern Jordan's capital which is now a bustling city, but also showing glimpses into its past (fig. 3).



Ryc. 9. Rezerwat przyrody – Wadi Mujib
Fig. 9. Nature reserve – Wadi Mujib



Ryc. 10. Rezerwat przyrody – Dana
Fig. 10. Nature reserve – Dana

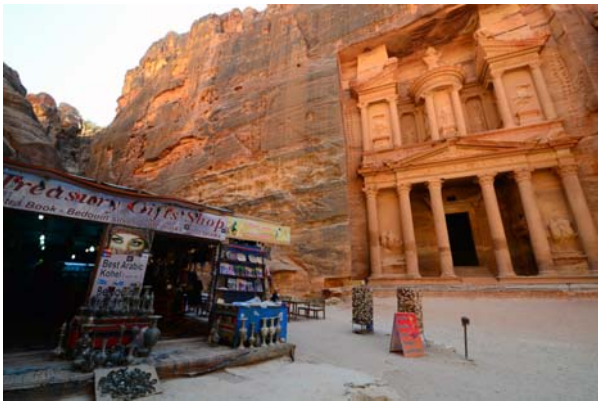


Ryc. 11-12. Ruiny zamku krzyżowców w Kerak
Fig. 11-12. The ruins of the Crusader castle in Kerak



Ryc. 13-14. Ruiny zamku w Shawbak
Fig. 13-14. The ruins of the castle in Shawbak





Ryc. 15. Najslawniejszy grobowiec fasadowy – tzw. Skarbiec Faraona w Petrze

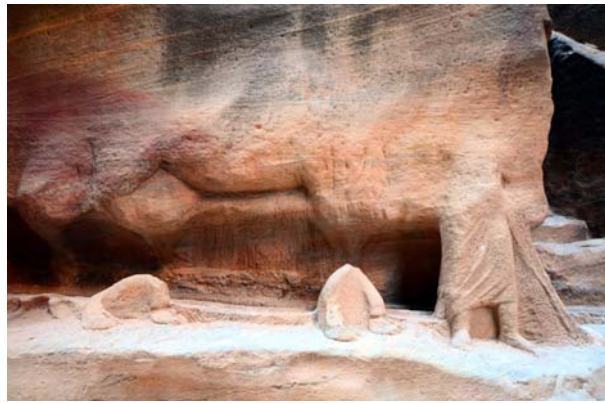
Fig. 15. The most famous facade tomb – the so-called Pharaoh's Treasury in Petra

z wieloma zabytkami, górującego nad miastem (ryc. 4-5). Na tym właśnie wzgórzu znajdują się pozostałości antycznych i średniowiecznych budowli, takich jak np. rzymska świątynia Herkulesa czy pałac zbudowany tutaj w czasach panowania dynastii Umajjadów.

Znaczące chrześcijańskie dziedzictwo tego rejonu szczególnie widoczne jest w położonej na południe Madabie. Znajduje się tam wiele chrześcijańskich kościołów rozsypanych między wąskimi, malowniczymi uliczkami. Miejsce to jest szczególnie znane z doskonale zachowanych bizantyjskich mozaik (ryc. 6). Najbardziej wartościowa z nich to mapa pochodząca z VI wieku n.e., obrazująca teren Ziemi Świętej z zaznaczonymi wieloma miejscami i rejonami. Znajduje się tutaj także Park Archeologiczny przygotowany w formie otwartego muzeum na wolnym powietrzu – teren zdecydowanie wart odwiedzenia. Innym ważnym miejscem związanym z religijnymi i historycznymi wydarzeniami, które miały miejsce w tym regionie, jest góra Nebo, z której Mojżesz miał oglądać Ziemię Świętą i gdzie wedle tradycji został później pochowany. Miejsce to stało się ważnym ośrodkiem chrześcijaństwa i ruchu pielgrzymkowego. Na szczycie góry wzniesiono około roku 393 n.e. kościół (ryc. 7). Przez wieki wielokrotnie był on przebudowywany. Znajdują się tam również mozaiki datowane na okres wczesnego średniowiecza.

W bezpośredniej bliskości Drogi Królewskiej, pomiędzy Ammanem a Wadi Mujib, zlokalizowane jest jedno z najważniejszych stanowisk archeologicznych w tym rejonie. Jest to pałac w Mukawir, przypisywany Herodowi, gdzie według źródeł pisanych miała mieć miejsce słynna biblijna scena wydania przez królewską konkubinę Salome wyroku śmierci na Jana Chrzciciela (ryc. 8). Podczas Pierwszego Powstania Żydowskiego pałac stał się miejscem obrony grupy powstańców przed Rzymianami. Nadal widoczne są ślady po obozach rzymskich żołnierzy oraz rampy przez nich budowane w celu zdobycia wzgórza pałacowego.

Wartości przyrodnicze Drogi Królewskiej i ich bogactwo są doskonale widoczne w jednym z sześciu jordańskich rezerwatów przyrody zarządzanych przez Królewskie Towarzystwo Ochrony Przyrody (RSCN) – w Wadi



Ryc. 16. Naturalnej wielkości, częściowo zachowany relief przedstawiający karawanę, Siq, Petra

Fig. 16. Life-sized, partially preserved relief of five camels and their drivers, Siq, Petra

This highlights should include the Roman theatre as well as the Citadel (fig. 4-5), which is located on a hill overlooking the modern city. At the same hill we may find also Roman, Byzantine and Umayyad ruins which are relics of many buildings. Is located there, among others, Roman temple of Hercules and the palace build during the reign of the Umayyad medieval dynasty.

A strong Christian heritage of this region is clearly visible at Madaba city which is located at the south from Amman, in the vicinity of the route. Madaba has a lot of numerous Christian churches dotted around small, charming streets. This town is also very good known from the fine examples of Byzantine mosaics (fig. 6). The most precious seems to be the map originated in the 6th century depicting the Holy Land with many sites and regions marked. Also the archaeological park, which was prepared as an open-air museum is available and worth to mention. Another important place, related to the religious and historical issues is the Nebo hill from which Moses viewed the Holy Land and where tradition has it he was later buried. Mount Nebo became an important place for Christian pilgrimage tradition. On the top the church has been erected about 393 AD (fig. 7). Since this time the relics has been much altered and restored. The monument still houses mosaics which are dated to the early medieval period around 1,500 years old.

In the vicinity of the Kings' Highway, between Amman and Wadi Mujib, one of the most important ancient sites can be noticed. Castle of Mukawir was the site of Herod's Palace, where according to written sources Salome asked for the head of John the Baptist as a reward for her dancing (fig. 8). During the First Jewish Revolt the castle became also a centre of resistance to Roman aggression. Therefore the outline of the soldier-camps and even the siege ramp built by the Roman troops to capture Mukawir are still visible.

The natural recourses of King's Highway and its vicinity is clearly visible in one of the six nature reserves in Jordan managed by the Royal Society for the Conservation of Nature (RSCN) – Wadi Mujib (fig. 9). It has been founded in 1966 in order to protect natural heritage of the valley. The Mujib Nature Reserve (of

Mujib (ryc. 9). Rezerwat ten został utworzony w 1966 r. w celu ochrony dziedzictwa tej niezwykłej doliny. Rezerwat Doliny Mujib składa się z wielkich kanionów, skał i pomniejszych dolin, a także tamy wodnej i zbiornika utworzonych w najniższej części doliny. W odróżnieniu od wielu innych dolin, Wadi Mujib posiada nieustannie bijące źródła wody, które czynią ten rejon siedliskiem wielu rzadkich gatunków roślin i zwierząt, takich jak np. nubijska kozica. Innym przykładem rezerwatu, także zarządzanego przez Królewskie Towarzystwo Ochrony Przyrody (RSCN), jest rezerwat w Dana, położony na południe od Wadi Mujib w okolicy Shawbak i obejmujący około 300 km² (ryc. 10). Znajdziemy tam także system wspaniałych dolin i wzniesień, który rozciąga się od wierzchołka płaskowyżu edomickiego aż do gorącej doliny i depresji Wadi Araba. Rejon ten stał się domem wielu dzikich gatunków zwierząt i roślin, a także niezwykle ciekawym wnętrzem krajobrazowym. Jest to także miejsce wydobywania w starożytności rudy miedzi i bogatego osadnictwa, reprezentowanego przez historyczną wioskę Dana, zamieszkiwaną od epoki brązu.

Pośrodku jordańskiego odcinka Drogi Królewskiej znajdują się dwa bardzo istotne dla krajobrazu i historii tego regionu miejsca – średniowieczne zamki. Największy z nich to zamek w Keraku, widoczny ponad współczesnym miastem (ryc. 11-12). Powstał on w 1142 roku za sprawą krzyżowców, by chronić szlak i zapobiegać islamskim najazdom. Pozostał on jednak w rękach krzyżowców jedynie przez 40 lat. Nowatorskie elementy jego architektury obronnej były później kilkakrotnie przebudowywane, np. przez Mameluków, którzy m.in. dodali niższy dziedzińiec i pogłębili fosę. Zamek jest dziś jedynie częściowo zachowany, składa się z szeregu wewnętrznych dziedzińców, dużych, halowych pomieszczeń i komnat. Drugi zamek ulokowany jest w Shawbak, w niedalekiej odległości od Petry (ryc. 13-14). Jest on mniejszy od Keraku i odwiedza go znacznie mniej turystów. Jest jednak lepiej zachowany dzięki wieloletniej, trwającej pracy badawczej i konserwatorskiej włoskich specjalistów. Jest to miejsce fascynujące, niezwykle sprytnie ulokowane, niemal niewidoczne z oddali, lecz w pełni nadające się do skutecznej obrony. Znajdują się tam doskonale zachowane dekorowane wieże, częściowo widoczne kościoły oraz podziemne pasáže. Jednym z najciekawszych jest podziemny tunel, którego 350 stopni prowadzi w dół, pod zamek. Takie korytarze pozwalały krzyżowcom na obronę lub ucieczkę i utrzymywanie się tutaj w oblężeniu przez dwa lata, zanim oddali zamek Saladynowi w 1189 roku.

Ostatnim wspomnianym tutaj elementem jordańskiego odcinka Drogi Królewskiej będzie oczywiście słynna Petra, najbardziej znany i najchętniej odwiedzany zabytek Jordanii. Skalne miasto zostało zbudowane w większości pomiędzy I wiekiem p.n.e. a I wiekiem n.e. Wyrosło ono i wzbogaciło się w znacznej mierze dzięki kontroli, jaką jego mieszkańcy sprawowali nad szlakami handlowymi, którymi przewożono z terenów Arabii głównie pachnidła i przyprawy cenione w świecie antyku. Przez stulecia Petra pozostawała zapomniana, zgodnie z wolą miejscowych

Wadi Mujib) consists of spectacular canyons, rocks and valleys as well as water dam and reservoir constructed on the lowest part of the valley. Unlike many river valleys in the region, Wadi Mujib has a year-round water sources and this make it possible to live on this area of many species of flora and fauna, including the very rare Nubian ibex. Another, also managed by the Royal Society for the Conservation of Nature (RSCN), Dana Nature Reserve located on the south from Wadi Mujib in the vicinity of Shawbak, is covering about 300 square kilometers (fig. 10). It also contains a system of wadi's



Ryc. 19. Studnia w Udruh
Fig. 19. Well in Udruh



Ryc. 20. Podstawowy dawniej środek transportu – wielbłądy
Fig. 20. Basic old method of transport – camels

and mountains, which extend from the top of the rift valley down to the hot, desert lowlands of Wadi Araba. This place became a home to a variety of wildlife, incredible canyon scenery, but also an ancient copper mines and local villages of a long history such as Dana village, which seems to be inhabited since Bronze Age.

In the central part of Jordanian section of King's Highway two important, landscape marking, medieval castles are existing. The biggest one, Kerak Castle and its towers are visible over the modern town (fig. 11-12). It has been erected in 1142 AD by Crusaders to control the territory and prevent the Islamic conquest. The castle remained in Crusader hands for only forty years. Its innovative, excellent defensive features were in later times refined by the Mamluks, with the addition of a lower courtyard and a deeper moat. The partially preserved ruins consists of number of interior halls and chambers, possible to explore. The second castle is



Ryc. 17-18. Karawanseraj w Udruh

Fig. 17-18. Caravanseraï in Udruh

Beduinów, by w 1812 zostać „odkrytą” dla świata w trakcie niebezpiecznej podróży Johanna Ludwiga Burckhardta. Dziś zajmuje ok. 250 ha i jest jednym z największych stanowisk archeologicznych na świecie. Znajdują się tutaj znane powszechnie budowle skalne, takie jak słynny tzw. Skarbiec czy Klasztor, świątynie i twierdze, badane przez setki archeologów z całego świata (ryc. 15). W Petrze odnajdziemy wiele śladów prowadzonej tu niegdyś działalności handlowej, takie jak np. słynny, częściowo zachowany relief przedstawiający karawanę wielbłądów prowadzoną przez kupca (ryc. 16; Robins, 2004).

Pytania o badania i konserwację szlaków handlowych, które były i nadal mogą pozostać kluczowym elementem rozwoju tych terenów, stają się bardzo ważnym problemem badawczym. Region Bliskiego Wschodu oraz północnej Afryki jest w ostatnich latach naznaczony niepokojami i niestabilnością. Nietustannie mamy tutaj do czynienia z problemami i konfliktami natury religijnej, politycznej i społecznej, przechodzącymi niejednokrotnie na poziom konfliktów międzynarodowych. Taka sytuacja wpływa oczywiście znacząco na badania naukowe czy rozwój turystyki i w oczywisty sposób zagraża zabytkom i innym elementom dziedzictwa, zarówno materialnego, jak i niematerialnego. Z drugiej strony rozwój technologii i postęp cywilizacyjny przynosi pozytywne skutki dla ochrony zabytków i rozwoju badań, ale zjawisko to jest widoczne głównie w dużych, znanych centrach i stanowiskach archeologicznych. Mniejsze ośrodki i zapomniane stanowiska, takie jak same szlaki, przystanki karawan, znaki orientacyjne itd. ulegają zniszczeniu lub dewastacji

located further on the south, close to Petra in Shawbak (fig. 13-14). It is smaller and has fewer visitors than Kerak however seems to be better preserved thanks to the incessant archaeological and conservation works of Italian specialists. It is a fascinating place, extremely cleverly situated, almost invisible from a distance, yet fulfilling its defensive function. Castle hill is giving us opportunity to see ornately decorated towers, past crumbling churches and underneath vaulted passageways. One of the most interesting parts of the castle is undoubtedly a corridor, descending with a 350 steps under the castle to the well that allowed the Crusaders to hold out for two years before the castle crew fell to Saladin in 1189 AD.

Last but not least mentioned element of the King's Highway route should be the rose city of Petra. The most popular and famous monument of Jordan. The city was built by the Nabateans mostly between 1 BC and 1 AD and grew rich through their control of the frankincense trade routes through Arabia. For centuries unknown according to the Bedouin rules, Petra was “discovered” in 1812, when Johann Ludwig Burckhardt tricked his way into the site. Petra is one of the biggest archaeological sites on the world. On the area of 250 hectares the most iconic structures like the Treasury or Monastery, temples and strongholds are still being analyzed and researched by hundreds of scientists from many countries (fig. 15). The site is marked by traces of commercial activities such as the famous relief depicting a caravan of camels led by the merchant (fig. 16; Robins, 2004).

Questions about research, conservation and use of trade routes as an element of development and regional promotion, remain very important issue. In today's world, the Middle East and North Africa are obviously regions ridden with problems. There is a constant set of political and social risks, religious clashes, civil unrests and conflicts between particular countries. They significantly affect scientific research and development of tourism, and of course pose a direct threat to monuments and other elements of material and non-material heritage. On the other hand, the technological development and general civilization progress is beneficial for



Ryc. 21. Pozostałości po kamiennych strażnicach w Seli

Fig. 21. The remains of the stone watchtowers at Sela archaeological site



Ryc. 22. Znaki orientacyjne na szlaku

Fig. 22. Orientation signs on the trail

(ryc. 17-22). Niestety także sam krajobraz, który stanowi przecież ważny element całego systemu szlaków i powiązań handlowych i jako taki powinien podlegać badaniom i być elementem promocji, ulega powolnemu zniszczeniu. W obecnej niestabilnej sytuacji potrzeba prowadzenia na tym terenie profesjonalnych i akceptowanych przez środowisko archeologiczne i konserwatorskie prac badawczych staje się szczególnie dobrze widoczna.

Badania takie powinny obejmować:

- analizy archeologiczne obejmujące nie tylko poszczególne stanowiska archeologiczne, ale także pozostałości samych dróg, przystanków karawanowych i znaków orientacyjnych, studni i źródeł wody itd.;
- analizy konserwatorskie obejmujące wpływ warunków klimatycznych i innych czynników na stan zachowania i przyszłe działania konserwatorskie;
- analizy krajobrazowe pozwalające określić dokładny przebieg szlaków i lokalizacje miejsc postoju, znaków orientacyjnych itd.;
- analizy etnograficzne określające lokalne tradycje, także związane z handlem i transportem (często nadal funkcjonujące) i ich historię;
- analizy środowiskowe pozwalające na stworzenie obrazu flory i fauny w regionie, teraz i w przeszłości, a także analizy geologiczne, hydrologiczne (wskazanie źródeł wody) oraz klimatyczne;
- analizy źródeł pisanych opisujących rolę handlu w tym regionie, metody transportu, produkty którymi handlowano itd.;
- analizy zabytków sztuki (np. obrazów, grafik), które zawierają przedstawienia związane z handlem lub podróżami, karawanami itd.

heritage protection, but to be honest, this applies mainly to large, famous centers. At the same time smaller sites, routes itself but also caravan stops, orientation marks etc. are often destroyed and forgotten (fig. 17-22). Unfortunately also the landscape itself, which constitutes an important element of the whole system and should contribute to both research and promotion, undergoes slow degradation. Especially in the current, unstable situation, the need for a professional (and accepted by both scientists and conservators) system of analysis and protection of trade routes in the Middle East, is clearly noticeable. It should include the following elements:

- archaeological analysis, encompassing not only particular sites located on the roads but also the traces of roads itself, stops and rest areas, water sources, orientation marks etc.;
- conservation analysis including climatic and other factors influencing the preservation and conservation of the objects;
- landscape analysis which should help to determine the precise courses, rest areas, landmarks etc.;
- ethnographic analysis determining the traditions and methods of traveling, transportation (which are very often in use till today) and their counterparts in the past;
- environmental analysis determining the floral and faunal picture of the region in ancient times, the presence of watercourses, water resources as well as climate or vegetation;
- analysis of written sources describing the role of trade routes, methods of their use and products which were transported, etc.;

Szlaki handlowe były zawsze swoistym krwiobiegami i motorem egzystencji grup ludzkich. Aspekt ten jest szczególnie widoczny na terenie Bliskiego Wschodu, naznaczonego elementami związanymi z handlem. Trakty i drogi odgrywały kluczową rolę na tym terenie od czasów neolitu przez okres epok brązu i żelaza do czasów rzymskich i dalej w epoce średniowiecza. Przez stulecia szlaki stały się siłą napędową ekonomii. Ich znaczenie rosło, ponieważ to dzięki nim wymieniano się wynalazkami, rozwijała się technologia, przenikały wierzenia i kultury, a także artystyczne trendy i zwykłe mody. Były siłą wielu społeczności, a czasem stawały się źródłem konfliktów, a nawet krwawych wojen. Dziś, gdy metody handlu i transportu uległy zmianie, pozostają one często nieużywane i zapomniane. Jednak wzdłuż nich i w ich bezpośrednim sąsiedztwie możemy znaleźć wiele elementów dziedzictwa kulturowego, zabytków o większej i mniejszej skali. Niektóre ich fragmenty, uwarunkowania środowiskowe i tradycje stały się także ważną i wpływającą na dzisiejszy rozwój tych społeczności częścią dziedzictwa niematerialnego. Dlatego szlaki handlowe i ich naturalne otoczenie wymagają specjalnego, interdyscyplinarnego podejścia badawczego, a także ochrony i dbałości o przekazywanie tradycji i pamięci o ich niezwykłej roli. Droga Królewska zasługuje na szczególną uwagę, ponieważ jako jeden z najważniejszych szlaków w starożytności i w średniowieczu znalazła swoje trwałe miejsce nie tylko w krajobrazie, ale także w pamięci i mentalności ludzi zamieszkujących te tereny.

– analysis of art masterpieces (e.g. paintings), in which elements related with trade activities, routes, caravans etc. are depicted.

Trade routes have always been the blood-stream of human existence, especially on the Middle East which seems to be particularly marked by them. They played a crucial role on this area since the Neolithic to the Bronze and Iron Age as well as in the later Roman period and the Middle Ages. During centuries routes become the driving force of the economy. Their importance was growing thanks to technological ideas diffusion, inventions, beliefs and artistic trends. They were the strength of many peoples and sometimes become also a source of conflict and a subject of bloody wars. Today, when the trade methods were changed they are mostly unused. However, around the old trail we may still find many elements of heritage, monuments of smaller or larger scale. Same trails and their environment, traditions and customs became also a major, very important and influential source of intangible heritage. Trade routes and their environment require special research approach as well as protection and care of the transmission of traditions and memory about their role which cannot be forgotten. King's Highway as one of the most important during ancient and medieval times, left permanent traces in landscape but also in the memory of the people living in the neighborhood and therefore should be especially protected.

LITERATURA

- [1] Bowersock G., *Roman Arabia*, Harvard University Press, 1983.
- [2] Dorsey D.A., *The Roads and Highways of Ancient Israel*, Johns Hopkins University Press, Baltimore 1991.
- [3] Lindsay W.S., *History of Merchant Shipping and Ancient Commerce*, Adamant Media Corporation, 2006.
- [4] Machowski W., *Petra*, Ossolineum, Wrocław 2007.
- [5] De L. O'Leary, *Arabia Before Muhammad*. Routledge, 2001.
- [6] P. Robins, *A history of Jordan*, Cambridge 2004
- [7] F. Zayadine (ed.), *Petra and the Caravan Cities*, Aman, 1990.

Autor fotografii: P. Kołodziejczyk

Mapka za: M. Teller, *The Rough Guide to Jordan*, 2013

Streszczenie

Droga Królewska to jeden z najważniejszych w starożytności i w czasach średniowiecza traktów na terenie Bliskiego Wschodu. Rozpoczynająca się w Egipcie, a kończąca na terenie dzisiejszej Syrii droga była szlakiem handlowym i miejscem wymiany idei i wynalazków. Dzięki niej rozwinęło się wiele znanych ośrodków, a w epoce średniowiecza funkcjonował ruch pielgrzymkowy. Do dziś nie brak tu śladów dawnej świetności, często zapominanych i niedocenianych. Istnieje więc silna potrzeba skupienia uwagi badaczy i konserwatorów na tym ważnym dla historii ludzkości szlaku.

Abstract

King's Highway became one of the most important routes during ancient and medieval times, in the Middle East. Starting in Egypt and ending in modern Syria, the route was a trading artery and a place of ideas and inventions exchange. Thanks to this route a number of well-known centers functioned in ancient times as well as pilgrimage traditions in the Middle Ages. Today there is almost no traces of its former glory. It seems to be frequently forgotten and underrated. There is therefore a strong need to focus interest of scholars and conservators on that, important in the history of mankind, route.

Klaudia Skreżyna*

Wokół lokacyjnego układu urbanistycznego miasta Słomnik Around the layout of the city Słomniki

Słowa kluczowe: urbanistyka, średniowiecze, Słomniki

Key words: urban planning, medieval period, Słomniki

Celem artykułu jest polemika wokół tez postawionych przez Rafała Malika w publikacji pt. *Słomniki. Charakterystyka budowy przestrzennej miasta średniowiecznego w oparciu o analizę wielkości działki lokacyjnej*, zamieszczonej na łamach niniejszego czasopisma¹. Wydaje się, że wiele koncepcji autora wymaga wyjaśnienia historyka i uzupełnienia wynikami badań źródłowych².

The goal of the article is a polemic around the thesis presented by Rafał Malik in his publication *Słomniki. Characteristics of spatial layout of a medieval town based on the analysis of a settlement plot size*¹ posted on the pages of "Journal of Heritage Conservation". It appears that lots of author's concepts should be verified by a historian and supported by results of the source document².

LOKACJA PRAWNA I PRZESTRZENNA, POWSTANIE PARAFII

R. Malik twierdzi, że nie wiadomo kiedy doszło do wzniesienia miasta, gdyż przywilej lokacyjny nie zachował się, a jego założenie nastąpiło pomiędzy 1342 a 1358 rokiem w oparciu o prawo średnie³. Autor pisze ponadto, że kościół nosi znamiona przedlokacyjności⁴. Twierdzenia te wymagają szerszego komentarza. Jak zauważa Stanisław Kuraś, trudno jest ustalić konkretną datę założenia miasta lub wsi, jeśli nawet zachował się jeden bądź kilka dokumentów lokacyjnych, a co dopiero w przypadku, kiedy takiego dokumentu brak. Powstania miasta nie można zamknąć w czasie jednego roku. Bardziej adekwatnym terminem naukowym jest używanie określenia data nadania przywileju lokacyjnego, a nie data samej lokacji⁵. Precyzyjne jest również używanie określenia proces lokacyjny, w którym następowały przemiany prawne, społeczne i przestrzenne⁶, wymagające czasu i nie dające się zamknąć jedną datą. Należy je rozpatrywać niezależnie od siebie. Można zatem mówić osobno o lokacji przestrzennej i prawnej. Według ustaleń autorki niniejszego artykułu w Słomnikach najbardziej wzmożony okres procesu lokacyjnego przebiegał pomiędzy 1335 a 1358 rokiem. Jego ramy

LOCATION LEGAL AND SPATIAL, THE CREATION OF THE PARISH

R. Malik claims that we do not know who and when Słomniki was founded as the town charter had not been preserved, but we know that the town foundation took place between 1342 and 1358 on the basis of Środa Śląska Rights³. R. Malik adds that the church bores the evidence of pre-foundation settlement⁴. These assertions require extensive comment. As pointed by Stanisław Kuraś it is difficult to determine the specific date of the founding of the city, or village even if one or some of the Town charter has been preserved, and that only in the case where such a this document has not been preserved. The creation of the city cannot be closed within one year. More adequate scientific term is the use of the term the date of posting privilege tracking, and not the date of the same location of the city⁵. Accurate is also the use of the term charter process, in which transformations of legal, social and spatial⁶, requiring time and does not give a close one date. They should be considered independently. Therefore, we may talk separately about the spatial and legal location. According to the findings of the author in Słomniki most enhanced process tracking period ran

* mgr historii; doktorant Wydziału Humanistycznego Uniwersytetu Pedagogicznego im. KEN w Krakowie, Instytut Historii, Katedra Historii Nowożytnej, e-mail: klaudia.skrezyna@wp.pl

* Master of history; graduate student Faculty of Humanities Pedagogical University of Cracow, Institute of History, Department of Modern History, mail: klaudia.skrezyna@wp.pl

chronologiczne otwiera rok 1335, który w tradycji słomnickiej parafii uchodzi za datę wybudowania pierwszego kościoła przez króla Kazimierza Wielkiego⁷. W rachunkach świętopietrza parafia wzmiankowana jest dopiero od 1349, a nie jak pisze R. Malik, od 1342 roku⁸. Tworzenie nowych parafii w Małopolsce wiązało się z akcją kolonizacyjną ostatniego Piasta na polskim tronie. Proboszcz musiał mieć podstawę dochodów, które w lokowanych miastach stanowiły łany proboszczowskie, wydzielane przy wytyczaniu nowego układu urbanistycznego miasta⁹. Położenie działki kościelnej w narożniku rynku jest dowodem na równoczesne lokowanie przestrzenne miasta i założenie parafii. W planach urbanistycznych miast lokowanych na prawie niemieckim, gdzie kościół jest starszy od daty lokacji, świątynia usytuowana jest w obrębie bloku przylegającego do pierzei rynku (Kraków, Proszowice, Wiślica), zaś w przypadku równoczesnej lokacji i erygowania świątyni charakterystyczne jest położenie kościoła i otaczającego go cmentarza przy narożniku rynku, co ma miejsce właśnie w Słomnikach¹⁰. Ponadto istnienie kościoła przed pierwszą wzmianką o prawie miejskim w Słomnikach tłumaczy fakt, że zwykle kościół parafialny był jedną z pierwszych inwestycji po lokacji miasta¹¹. W większości przypadków podczas przeniesienia osady z prawa polskiego na niemieckie erekcja parafii właśnie wyprzedzała lokację prawną. Stałym momentem powstania nowej parafii była jednoczesna lokacja przestrzenna miasta i wydzielenie łanów dla kościoła¹², co miało także miejsce w Słomnikach. W źródłach wzmianki o istnieniu słomnickiej parafii wyprzedzają zatem o kilka lat informację potwierdzającą istnienie miasta na prawie średzkim. Kościół parafialny ulokowano na skraju lessowej skarpy, poniżej której płynęła rzeka Szreniawa. Jego położenie wiązało się z pierwotnym wezwaniem Michała Archanioła¹³. Świątynie, których patronem był Archanioł Michał, zazwyczaj znajdowały się na skalistych wzgórzach. Tradycja kościelna mówi, że Michał Archanioł objawił się właśnie na skale. Najbardziej znanym przykładem świątyni ku czci św. Michała Archanioła położonej na wzgórzu jest opactwo Mont Saint Michel¹⁴, a w Polsce kościół Paulinów na Skałce w Krakowie, obecnie pod wezwaniem św. Stanisława, która to świątynia pierwotnie nosiła wezwanie św. Michała Archanioła¹⁵.

Kazimierz Wielki, monarcha który nadał Słomnikom prawa miejskie, kładł silny nacisk na zakładanie nowych parafii i uważany jest przez badaczy za twórcę nowego ustroju parafialnego w Polsce w XIV wieku. W swej trosce monarcha nie kierował się jedynie pobudkami religijnymi, lecz także, a może przede wszystkim, względami politycznymi, gospodarczymi i kulturalnym podniesieniem państwa. Parafia nadawała świeżo lokowanej miejscowości cechę trwałości, była placówką kulturalną, dającą możliwość otwarcia szkoły parafialnej. Natomiast dbałość o uposażenie duchowieństwa parafialnego miała dać oparcie królowi w tej licznej warstwie duchowieństwa jako przeciwwagę dla bogatych biskupów i wyższego duchowieństwa, tak jak wójtowie, sołtysi

between 1335 and 1358. Its chronological time frame starts in the year 1335, which in the tradition of the Słomniki parish is seeking the date of the first church built by King Casimir the Great⁷. According to Peter's pence parish is mentioned since 1349, and not, as he writes R. Malik from 1342 years⁸. Create new parishes in Malopolska associated with colonization of King Casimir the Great. The pastor must have a base income, which invested cities were cast provost, secreted in the definition of a new urban layout of the city⁹. Location of the land the church at the corner of the market is proof of the simultaneous spatial placement of the city and the establishment of the parish. In urban planning towns founded under German law, where the church is older than the date of the temple site is located within a block adjacent to the frontage of the market (Krakow, Proszowice, Wiślica) and, in the case of simultaneous location and erection of the temple is characteristic of the position of the church and surrounding cemetery at the corner market, which takes place just in Słomniki¹⁰. Furthermore, the existence of the church before the first mention of the city in almost Słomniki explained by the fact that usually the parish church was one of the first investment after the location of the¹¹. In most cases, the transfer of sediments from the Polish law on the German erection of the parish just ahead of legal sites. Constant torque creation of a new parish was simultaneous spatial location of the city and the separation of the church fiefs¹², which also took place in Słomniki. The sources mention the existence of the parish słomnickiej ahead a few years, therefore, information confirming the existence of the city for almost Środa. The parish church was located on the edge of the loess slope, below which the river flowed Szreniawa. Its location associated with the original invocation of Saint Michael the Archangel¹³. Catholic tradition says that the Archangel Michael appeared to just rock. The most famous example of the temple of the Holy. Michael the Archangel is situated on a hill abbey of Mont Sant Michel. Catholic tradition says that the Archangel Michael appeared on a rock. The most famous example of the temple of the Holy. Michael the Archangel is situated on a hill abbey of Mont Sant Michel¹⁴, Pauline church in Poland on the Skałka in Krakow, now of the Holy Stanislaus, which originally wore a church dedicated to the Holy Michael the Archangel¹⁵.

Casimir the Great, the monarch who gave the Słomniki town rights put a strong emphasis on the establishment of new parishes and is regarded by scholars as the creator of the new system parish in Poland in the fourteenth century. King led not only religion, but politics, economy and cultural elevation state. Parish gave invested in the town of durability, was cultural center where you could open a parish school. Parish clergy was to be a support for the king and even provide a counterbalance to the rich bishops and senior clergy, such as mayors, village administrators and lower ranks of the knights were to be a counterweight to the

i niższe szeregi rycerstwa miały być przeciwwagą dla możnowładców¹⁶. Wszystkie te argumenty przemawiają za tym, że kościół w Słomnikach nie był przedlokacyjny, lecz powstał w związku z lokacją i został wzniesiony w czasie trwania procesu lokacyjnego.

Przeprowadzona przez autorkę niniejszego artykułu analiza wzmianek o parafii Słomniki w rejestrze świętopietrza informuje natomiast o okresie, kiedy nastąpił napływ osadników do nowo założonego miasta, a tym samym daje odpowiedź na pytanie R. Malika, kiedy i kto wznosił Słomniki. Pierwsza informacja odnośnie do parafii pojawia się w 1349 roku, kiedy to uwzględniono ją w rejestrze świętopietrza¹⁷, jako leżącą w dekanacie Wysocice. W tymże roku parafia miała zapłacić 5 kwartników świętopietrza¹⁸. W momencie pojawienia się w rejestrze *denarius Santi Petri* parafii Słomniki zmniejszono opłatę w sąsiedniej parafii Niedźwiedź z 13 skrojców do 9 skrojców i 8 denarów. Stąd może wynikać, że obszar nowo erygowanej parafii Słomniki wyodrębnił się z parafii Niedźwiedź¹⁹. W latach kolejnych kwota płaconego przez Słomniki świętopietrza wzrastała od 5 kwartników w 1350, 1351, 1352, 1353²⁰, poprzez 3 skrojce (podwojenie opłaty) w 1354 i 1355 r.²¹, 6 skrojców w 1356 r.²², do 7 skrojców (potrójnie po raz pierwszy wniesionej opłaty) w 1357 i 1358 roku²³. Zwiększenie się opłaty w poszczególnych latach jest odzwierciedleniem fal napływu osadników do zakładanego miasta, którzy najprawdopodobniej własnym kosztem wznosili domostwa, zatem to oni „zbudowali miasto”²⁴.

Prawdopodobna i przekonująca wydaje się być teoria R. Malika w stosunku do szerokości działki siedliskowej wynoszącej 25 lub 50 stóp, zaś twierdzenie podważające założenie B. Krasnowolskiego o głębokości bloków zabudowy wynoszącej 2 sznury (ok. dziewięćdziesięciu metrów) według autorki jest mało prawdopodobne. Co na ten temat mówią źródła? Słomniki otrzymały niewielkie 10-łanowe uposażenie rolne. Dodatkowo mieszczanie otrzymali je, a tak naprawdę kupili od króla już po przeprowadzonej lokacji²⁵, zatem wydaje się, że owe ogrody na zapleczach działek siedliskowych musiały być niezbędne dla utrzymania się. Społeczność miejska wówczas była przede wszystkim rolnicza i to głównie ziemia miała wyżywić rodzinę. Wielce prawdopodobne jest zatem twierdzenie, że w momencie lokacji działki siedliskowe były głębokie na 90 m.

R. Malik nie pisze nic na temat ewentualnej siedziby wójtowskiej, która była zazwyczaj większa od parcel pozostałych mieszczan. Z informacji z okresu nowożytnego wiemy, że takowy przyrynkowy dom wójtowski istniał w Słomnikach²⁶.

CURIA REGIA

Zaproponowana przez R. Malika lokalizacja dworu królewskiego w Słomnikach wydaje się mało prawdopodobna. Po pierwsze jednoczesne istnienie obok siebie dworu królewskiego i kościoła nie było możliwe z powodu otaczającego kościół cmentarza. Ponadto nie ma jakiegokolwiek wzmianki źródłowej o istnieniu w tym

magnates¹⁶. All of these arguments suggest, therefore, that the church in Słomniki was made in connection with the foundation of a town and was built during the tracking process.

Carried out by the author of this article analysis of references to the Słomniki parish in the register of Peter's pence informs while having a period when the influx of settlers to the newly founded Słomniki town and gives the answer to the question R. Malik when and who built the city. The first information about the parish Słomniki appears in 1349, when for the first time it is in the registry pence, as lying in the Wysocice deanery¹⁷. In this year the parish had to pay five kwartnik a Peter's pence¹⁸. At the time of appearance in the register of the parish *denarius Santi Petri* Słomniki reduced fee in the neighboring Niedźwiedź parish of 13 skrojec to 9 skrojec and 8 denarii. It follows that the area of new Słomniki parish separated himself from the Niedźwiedź parish¹⁹. In subsequent years, the amount paid by Słomniki pence increased from the 5 kwartnik in 1350, 1351, 1352, 1353²⁰, by 3 skrojec (doubling of fees) in 1354 and 1355²¹, 6 skrojec in 1356²², to 7 skrojec (tripling the first time brought charges) in 1357 and 1358 years²³. The increase in fees in each year is a reflection of the waves influx of settlers to the assumed center who probably erected at the expense of their own homes, so that they "built a city"²⁴.

Probable and convincing seems to be the theory of R. Malik in relation to the width of the plot of the habitats of 25 or 50 feet. Undermine the assumption of theorem B. Krasnowolski depth building blocks of 2 strings (ninety meters) is unlikely by author. What does the source material say? Słomniki received 10 fiefs small agricultural salary. In addition, townspeople received them, and it really bought from the king after conducted a site²⁵. Therefore, it seems that these gardens in the backrooms of habitat parcels had to be necessary to maintain the. The township was primarily agricultural land and it was mainly to feed his family. Thus, it seems likely that at the time of site settlement plots were 90 meters deep.

R. Malik also does not write anything about a possible seat of the mayor, who was usually higher than the plots of other townspeople. With information from the modern period, we know that there was any, mayor house in Słomniki²⁶.

THE ROYAL COURT

Proposed by R. Malik location of the royal court in Słomniki seems unlikely. Firstly, the simultaneous existence side by side of the royal court and the church was not possible because of the surrounding church cemetery. Furthermore, there is any mention of the source of the existence in this place of the royal court in the Middle Ages and in the modern era. We have the plurality of information about the location of the royal court in the nearby Miłocice village, which managed to collect the author²⁷, belonging to the complex of

miejscu *curia regia* w średniowieczu, jak i w epoce nowożytnej. Posiadamy natomiast liczne informacje o lokalizacji dworu królewskiego w pobliskiej wsi Miłocice, które udało się zebrać autorce²⁷, należącej do kompleksu dóbr królewskich, na które składały się właśnie miasto Słomniki ze wsią Miłocice i innymi wsiami w zależności od okresu. Można wnioskować pośrednio o ciągłości istnienia *curia regia* w tym samym miejscu od średniowiecza, gdyż w innych okolicznościach pozostałyby czy to w materiale źródłowym, czy w onomastyce informacje o starym dworze, czy ewentualnie wzgórzu, jakie występują w tego typu przypadkach. Do końca epoki staropolskiej omawiany powyżej klucz dóbr królewskich nazywano słomnickim, także dwór i folwark mieszczący się we wsi Miłocice nazywano właśnie dworem lub folwarkiem słomnickim, co nie jest jednoznaczne z jego lokalizacją w obrębie miasta Słomniki. Jest zrozumiałe, że rolniczy folwark nie mógł znajdować się wewnątrz zwartej miejskiej zabudowy.

O ile we wczesnym średniowieczu ludność służebna Słomnik regulowała swój stosunek do władzy przez świadczenia i posługi wyspecjalizowane, o tyle gospodarstwo dworskie, jakie najprawdopodobniej znajdowało się w Miłocicach i okolicy, wymagało specjalnej administracji majątkowej²⁸. Majątki państwowe w XIII w. zorganizowane były w klucze, a ich centrum stanowił gród lub dwór. Był on miejscem noclegu dla monarchy podczas podróży, był także mieszkaniem zarządcy i magazynem płodów rolnych zbieranych z całej włości na potrzeby księcia czy króla. Zarządca nosił miano włodarza, łac. *procurator*²⁹. Taką genezę może mieć dwór królewski we wsi Miłocice, zwany dworem słomnickim. W słomnickim kluczu dóbr królewskich nie było dworu rezydencjonalnego, lecz znajdował się tam dwór – ośrodek klucza majątkowego³⁰. Już na samym początku państwowości polskiej posiadłości książęce objęte były organizacją kluczy – włości³¹.

W innych okolicznościach teza R. Malika odnośnie do obronnej siedziby królewskiej byłaby wielce prawdopodobna, gdyż badacz lokują ją prawidłowo w najbardziej obronnym miejscu w okolicy, lecz w stosunku do Słomnik taka lokalizacja jest niemożliwa, gdyż jak wynika z przeprowadzonych badań źródłowych, akurat ten dwór królewski nie miał charakteru obronnego. Miasto Słomniki nie powstało jako podgrodzie owej obronnej siedziby królewskiej, lecz rozwinęło się ze wsi służebnej. Słomniki nie były dworem rezydencjonalnym króla, nie musiały znajdować się w miejscu obronnym. Dwór monarszy, jaki znajdował się pod Słomnikami, był miejscem wiejskiej organizacji dworskiej, siedzibą majątkowej organizacji włości ze stawami, spichlerzami, stodołami i innymi zabudowaniami gospodarczymi³².

Do podobnych wniosków co autorka niniejszego artykułu odnośnie do lokalizacji słomnickiego dworu królewskiego dochodzą pracownicy Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków. Jarosław Wójtowicz o zespole dworsko-parkowym w Miłocicach pisze, że jest to „domniemana pozostałość po dworze myśliwskim Kazimierza Wielkiego”³³.

royal estates, which consisted of just the city of village Słomniki Miłocice and other villages depending on the period. Can be inferred indirectly by the continued existence of the royal court in the same place since the Middle Ages, as in other circumstances remain about whether it is in the source material, whether in the onomastics of the old manor, or possibly a hill that occur in such cases. By the end of the modern era of royal key called słomnicki, the manor house and farm located in the village called just Miłocice court or grange słomnicki, which is not clear from its location within the Słomniki town. It is understood that agricultural farm could be located within the urban compact development.

While in the early Middle Ages the population subservient Słomniki indulged his attitude to power through the provision and service of specialized, whereas the royal household, which most probably were in the area Miłocice and require special administration of property²⁸. Royal estates in the thirteenth century were organized in the keys, and their center was a castle, or mansion. It was a place of accommodation for the king during the trip, he was also the apartment manager and storage of agricultural produce harvested from all grounds on the needs of the prince or king. Manager wore name of *włodarz*, in Latin *procurator*²⁹. Such origins may be in a royal court in the Miłocice village, called the słomnicki court. In this key was not of royal court of residential, but there was a court-agent key property³⁰. Already at the beginning of the Polish state princely estates were covered by the organization keys – estate³¹.

In other circumstances, the thesis of R. Malik regarding defense was the royal residence to highly unlikely, as the researcher locate it properly in the most fortified place in the area, but in relation to Słomniki such a location is not possible, since this particular royal court was without any defense. Słomniki not established as a settlement below the royal castle, but developed from a village menial. Słomniki were not court Residence of the King, does not have to be in a place of defense. The royal court which was near Słomniki was the site of a rural court organization, headquartered property estate organization with ponds, granaries, barns and other outbuildings³².

To similar conclusions as the author of this article regarding the location of the słomnicki royal court reach employees of the Regional Office for the Protection of Monuments. Jarosław Wójtowicz about the court and park in Miłocicach writes that it is „supposed remnant of the hunting court of King Casimir the Great”³³.

FORTIFICATIONS

R. Malik says that “some kind of town fortifications have had. What were the nature and looked like their course, we do not know” – the author writes, continuing their arrangement gives hypothetical³⁴. The

OBWAROWANIA

R. Malik uważa, że „miasto jakiś rodzaj umocnień obronnych posiadać musiało. Jakiego były rodzaju i jak wyglądał ich przebieg, nie wiemy” – pisze autor, a kontynuując podaje hipotetyczny ich układ³⁴. Teza postawiona przez badacza wydaje się wielce prawdopodobna, gdyż na taki przebieg ewentualnych obwarowań wskazuje ukształtowanie terenu. Jednakże należy w tym miejscu zaznaczyć, że wyniki badań innych autorów wskazują, że charakterystyczny dla miast Małopolski jest właśnie brak murów obronnych. Podobna sytuacja mogła mieć miejsce w Słomnikach. Według tych badań granicę pomiędzy centrum osadniczym a otwartym terenem rolniczym najprawdopodobniej stanowił rów³⁵. Pomimo wyraźnie zaznaczonej w planie urbanistycznym granicy centrum osadniczego nie broniły jej fortyfikacje, gdyż miasta te nie posiadały środków finansowych na ich budowę³⁶. Ponadto Słomniki położone były na wzniesieniu otoczonym przez lessowe skarpy, które od trzech stron opasywała rzeka, płynąca pośród mokradel. To naturalnie obronne usytuowanie nie wymagało murów obronnych.

Główna teza R. Malika dotycząca szerokości działki lokacyjnej Słomnik opracowana na podstawie badań jest wielce prawdopodobna i godna uwagi. Jednakże pozostałe twierdzenia postawione przez tegoż autora w stosunku do charakterystyki budowy przestrzennej Słomnik w czasie lokacji winny być jeszcze raz przestudiowane w oparciu o materiał źródłowy i publikacje innych autorów.

thesis put by the investigator seems highly unlikely, as such a course indicates the formation of any fortifications, but it should be noted that the results of other authors indicate that the characteristic of the cities of Małopolska province the lack of defensive walls. A similar situation took place probably in Słomniki. The boundary between the center of the settlement, and the open agricultural area probably accounted for trench³⁵. Despite the clearly marked in the border city urban plan of the settlement, did not defend its fortifications, as these cities did not have the financial resources to build them³⁶. In addition Słomniki were located on a hill surrounded by loess slope that wrapped the three sides of a river flowing among the wetlands. This naturally defensive location did not require fortification.

The main thesis of R. Malik on the width of the plot investment Słomniki developed based on the research is highly probable and worthy of attention. However, the author of the article: *Słomniki. Charakterystyka i plan urbanistyczny*, furthermore puts a lot of bold theses, not confirmed the results of archaeological research and source, although many of them can be documented or ruled out by verifying the source material and research results of other researchers. R. Malik commits many errors of fact and language, which should not be found in a scientific publication. The author's thesis must therefore be studied again based on the source material and literature.

¹ R. Malik, *Słomniki. Charakterystyka budowy przestrzennej miasta średniowiecznego w oparciu o analizę wielkości działki lokacyjnej*, Wiadomości Konserwatorskie, 33/2013, s. 47-53.

² Autorka jest kierownikiem projektu pt. „Mikroświat jednej z królewskich włości. Społeczno-gospodarczy obraz słomnickiego klucza dóbr pomiędzy XVI, a XVIII wiekiem” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki, przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2012/05/N/HS3/01238. Przygotowuje także rozprawę doktorską pt. *Słomniki i klucz słomnicki do końca XVIII wieku. Studium z dziejów dóbr stołu królewskiego*, na Wydziale Humanistycznym Uniwersytetu Pedagogicznego im. KEN w Krakowie, w Instytucie Historii, w Katedrze Historii Nowożytnej, pod kierunkiem prof. dr. hab. F. Leśniaka.

³ R. Malik, *Słomniki...*, op. cit., s. 48.

⁴ Ibidem, s. 48, 52.

⁵ S. Kuraś, *Przywileje prawa niemieckiego miast i wsi małopolskich XIV-XV wieku*, Wrocław 1971, s. 70.

⁶ R. Szczygieł, *Proces lokacji w prawie niemieckim miasta Szczecbrzeszyna*, [w:] *Księga Jubileuszowa Profesora Feliksa Kiryka*, pod red. A. Jureczki, F. Leśniaka, Z. Nogi, Folia Academiae Pedagogicae Cracoviensis, Studia Historica, t. 21, Kraków 2004, s. 195.

⁷ Daty te podają: F.P. Navarra, *Monografia kościołów diecezji kieleckiej*, t. II, Warszawa 1911, s. 297; J. Wiśniewski, *Dekanat miechowski*, Radom 1917, s. 215. O bezpodstawności tej daty

wspomina Z. Kozłowska-Budkowa, *Z przeszłości powiatu miechowskiego (za Piastów)*, Miechów 1929, s. 13.

⁸ *Monumenta Poloniae Vaticana*, wyd. J. Ptaśnik, t. II, cz. 2, Kraków 1913, s. 220; H. Pomykański, *Zarys dziejów Słomnik do końca XVI wieku*, Rocznik Naukowo Dydaktyczny WSP w Krakowie, Prace Historyczne, Kraków 1970, z. 35, s. 73; A. Pankowicz, *Słomniki. Portret miasta w okresie staropolskim*, Kraków 1994, s. 9. R. Malik zamieścił niepoprawny tytuł tejże publikacji: A. Pankowicz, *Słomniki, Studium miasta prywatnego w okresie staropolskim*, Kraków 1994; R. Malik w jednym miejscu pisze, że parafia po raz pierwszy wzmiankowana jest w 1342, a w innym, iż w 1349 r., M. Malik, *Słomniki...*, op. cit., s. 48, 52.

⁹ Z. Kaczmarczyk, *Monarchia Kazimierza Wielkiego. Organizacja kościoła, sztuka i nauka*, t. II, Poznań 1946, s. 78-79.

¹⁰ B. Krasnowolski, *Z badań nad rynkami i placami w planach urbanistycznych i programach lokacyjnych miast małopolskich*, [w:] *Ulica, plac, cmentarz w publicznej przestrzeni średniowiecznego i wczesno nowożytnego miasta Europy Środkowej*, pod red. S. Krabatha, J. Pickarskiego, K. Wachowskiego, Wrocław 2011, s. 175.

¹¹ E. Klima, *Przestrzeń sakralna miasta*, Łódź 2011, s. 31.

¹² Z. Kaczmarczyk, *Monarchia...*, op. cit., t. II, s. 79.

¹³ Patron kościoła w Słomnikach św. Michał Archanioł występuje w okresie nowożytnym na pieczęci miejskiej Słomnik. Herb przedstawia postać świętego w szacie z mieczem w jednej ręce i wagą w drugiej. Zebrane przez autorkę odciski

pieczęci: Archiwum Główne Akt Dawnych (dalej AGAD): Archiwum Piłsudskich-Gniatowiczów, sygn. S 608, s. 2; AGAD: Archiwum Skarbu Koronnego (dalej ASK), dz. I, sygn. 2, s. 528-529; Biblioteka Polskiej Akademii Nauk w Krakowie (dalej BPANKr.): rps 439, k. 152; rps 441, k. 10; Biblioteka Czartoryskich (dalej BCzart.): Zbiór Muzeum Narodowego w Krakowie (dalej MNK), k. 74; Archiwum Narodowe w Krakowie (dalej ANKr.): *Variae civitates et villae*, fascykuł Słomniki, sygn. 287, s. 176, s. 525, 744, 768, 1085; A. Plewako, J. Wanag, *Herbarz miast polskich*, Warszawa 1994, s. 202, 286.

¹⁴ E. Klima, *Przestrzeń...*, op. cit., s. 34.

¹⁵ Wezwanie św. Michała nosił także najstarszy kościół na Wawelu. J. Wyrozumski, *Dzieje Krakowa* t. I, Kraków 1998, s. 84-85, 87-88.

¹⁶ Z. Kaczmarczyk, *Monarchia...*, op. cit., t. II, s. 80-81.

¹⁷ Świętopietrze, inaczej *tribulum, census annus, denarius Santi Petri*, lub *denarius b. Petri* było opłatą na rzecz Stolicy Apostolskiej, mającą charakter corocznego podatku w denarach płaconą przez ludność kraju początkowo po denarze od każdego członka rodziny z wyłączeniem dzieci i ludności nieosiadłej. Od 1346 r. istniało otaksowanie poszczególnych parafii w diecezji krakowskiej. Wyznaczono im stałe opłaty kontyngentowe. Ciężar świętopietrza był minimalny z powodu niskiej wartości denara w XIV w. Wysokość tej opłaty za całą rodzinę równała się wartości dwóch kurcząt. Z. Kaczmarczyk, *Monarchia...*, op. cit., t. II, s. 39-42.

¹⁸ Przy Słomnikach zanotowano, że Słomniki zapłaciły jednak 7 groszy i 6 denarów. *Monumenta Poloniae Vaticana*, wyd. J. Ptaśnik, t. II, cz. 2, Kraków 1913, s. 220

¹⁹ Ibidem, s. 210, 220.

²⁰ Ibidem, s. 230, 239, 248, 256.

²¹ Ibidem, s. 265, 272.

²² Ibidem, s. 280.

²³ Ibidem, s. 288, 295.

²⁴ Taką tezę potwierdza przykład młyna w Słomnikach, który został wzniesiony kosztem młynarza. Przywilej na jego założenie Kazimierz Wielki wydał w 1376 roku, czyli 18 lat po dacie poświadczającej lokację miasta na prawie średzkim. Młynarz wznosił młyn z własnych środków. *Zbiór Dyplomów Klasztoru Mogińskiego przy Krakowie*, wyd. E. Janota, Kraków 1865, nr 83, s. 69; Archiwum Opactwa

Cystersów w Mogile, dokument pergaminowy nr 251, *Transumpt króla Zygmunta Augusta; Katalog Archiwum Opactwa Cystersów w Mogile*, wyd. K. Kaczmarczyk, G. Kowalski, Mogiła 1919, s. 83.

²⁵ *Zbiór Dokumentów Małopolskich*, opr. S. Kuraś, cz. I, Wrocław 1962, nr 86, s. 110-111.

²⁶ ANKr.: *Variae civitates et villae*, fascykuł Słomniki, sygn. 287, s. 351.

²⁷ Np. AGAD, ASK, dz. 46, sygn. 46, s. 64; sygn. 47, s. 220-221; sygn. 48, s. 90-94; sygn. 49a, 89-91; sygn. 52, s. 81-84 verso; sygn. 52A, s. 80-83; sygn. 52B, s.35; ADAD, Metryka Koronna, dz. XVIII, sygn. 17, s. 135, 137; sygn. 67, s. 299-303; AGAD, Archiwum Publiczne Potockich, sygn. 65, s. 35-38; 49, s. 145-149; AGAD, Archiwum Zamoyskich, sygn. 2948, s. 173-176; AGAD, Zbiór. Popielów, rps. 291, s. 19; ANKr, Akta Wielkorządów Krakowskich, Inwentarz tymczasowy (dalej It.), sygn. 53, s. 63-65; It. sygn. 54, s. 130-132; It. sygn. 56, s. 335-337; It. sygn. 57, s. 374-377; It. sygn.58, s. 235-239; It. sygn. 78, s. 237-243.

²⁸ K. Modzelewski, *Organizacja gospodarcza państwa piastowskiego*, Poznań 2000, s. 152.

²⁹ R. Grodecki, *Polska piastowska*, Warszawa 1969, s. 531-533.

³⁰ K. Buczek, *Z badań nad organizacją gospodarki w Polsce wczesnofeudalnej (do początku XIV w.)*, *Kwartalnik Historii Kultury Materialnej* 27, 1969, s. 204.

³¹ K. Modzelewski, *Organizacja...*, op. cit., Poznań 2000, s. 20.

³² Ibidem, s. 11-16.

³³ Archiwum Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Krakowie, Ewidencja zabytków gminy Słomniki, Karta ewidencyjna zabytku nieruchomego zespołu pałacowo-parkowego w Miłocicach, opr. J. Wójtowicz, Kraków 2012.

³⁴ R. Malik, *Słomniki...*, op. cit., s. 51.

³⁵ B. Krasnowolski, *Średniowieczne lokacyjne układy urbanistyczne w Małopolsce*, [w:] *Europejskie miasta prawa Magdeburbskiego: tradycja, dziedzictwo, identyfikacja*, pod red. A. Biedrzyckiej, A. Kutylak-Hapanowicz, Kraków 2007, s. 31, 33. R. Malik, *Słomniki...*, op. cit., s. 51.

³⁶ B. Krasnowolski, *Wzorce lokacyjnych układów urbanistycznych w Małopolsce: stan i metody badań, postulaty badawcze, próba syntezy*, [w:] *Procesy lokacyjne miast w Europie Środkowo-Wschodniej*, pod red. C. Buśko, M. Golińskiego, B. Krukiewicz, Wrocław 2006, s. 80.

Streszczenie

R. Malik w artykule *Słomniki. Charakterystyka budowy przestrzennej miasta średniowiecznego w oparciu o analizę wielkości działki lokacyjnej* na podstawie przeprowadzonych badań i pomiarów działek dochodzi do wniosku, że fronty działek siedliskowych w Słomnikach w czasie lokacji miały szerokość 25 lub 50 stóp, z tym, że autor skłania się jednak ku 50 stopom. Inne tezy: o przedlokacyjności kościoła, dworze królewskim, obwarowaniach miasta w oparciu o materiał źródłowy zebrany przez autora i analizę wyników badań historyków wydają się mniej prawdopodobne.

Abstract

R. Malik in the article: *Słomniki. Characteristics of spatial layout of a medieval town based on the analysis of a settlement plot size* on the examinations and measurements of plots comes to the conclusion that fronts habitat in Słomniki during the site were 25 or 50 feet, the fact that the author is inclined, however, to 50 feet. Other ideas: the construction of the church before the location, the royal court, fortification of the town based on source material collected by the author and analyze the results of the research of historians seem less likely.

Piotr Rapp*

Zabytkowe dzwony – zagadnienia mechaniki i napędu

Historical bells – mechanics and drive problems

Słowa kluczowe: dzwon, wahadło fizyczne, współczynnik kształtu, środek uderzenia, obciążenie dynamiczne, napęd łańcuchowy, napęd elektromagnetyczny, jarzmo proste, jarzmo wykorbione

Key words: bell, physical pendulum, shape coefficient, strike centre, dynamic load, chain drive, electromagnetic drive, plain yoke, cranked yoke

Dzwon to narzędzie dźwiękowe z grupy idiofonów, metalofon odlewany najczęściej ze stopu w proporcjach 78% miedzi, 20% cyny oraz 2% innych metali, w kształcie kielicha; uderzany umieszczonym wewnątrz wahadłem, tzw. sercem; tyle mówi zwięzła definicja encyklopedyczna.

Inni, nadając elementom dzwonu odpowiednie nazwy, porównują go do człowieka. Dzwon wieńczy korona złożona z uszu i klucza, poniżej są czapka, szyja i boki zwane płaszczem. Wylot dzwonu niektórzy nazywają ustami, krawędź – wargą, a wewnątrz dzwonu bije serce [1].

Dzwony pochodzą z Azji i znane były już w starożytności. Są świadectwem prestiżu oraz pełnią różnorakie funkcje kulturowe. Są również jednym z najstarszych środków komunikowania się ludzi i w znacznym stopniu pełnią tę funkcję do dnia dzisiejszego. „Mowa” dzwonu polega na różnych sposobach wydobywaniu dźwięku. Instrukcja z 1463 roku zachowana w kościele Mariackim w Gdańsku wymienia trzy sposoby: kołysanie dzwonu, bicie sercem pociągającym za pomocą sznura oraz rytmiczne uderzanie sercami kilku dzwonów zwane bajrowaniem. Dźwięk dzwonu można wydobywać również za pomocą uderzania młotkiem lub młotkami. Najczęściej są to nieruchome dzwony zegarowe – tzw. typ cymbałowy [2].

Dźwięk dzwonu ma skomplikowaną budowę. Występuje ton uderzeniowy i tzw. górne *aliquoty* (tj. składowe harmoniczne, których częstotliwości są wielokrotnościami częstotliwości tonu podstawowego: oktawa, duodecyma, kwintdecyma itd.) oraz nieharmoniczne tony składowe. Ton główny – o oktawę niższy od tonu uderzeniowego, dobrze słyszalny w stadium nabrzmiewania, jest tonem kombinacyjnym, wytworem subiektywnym (nie występuje w widmie dźwięku). Dzwon jako instrument ma osobliwe brzmienie, gdyż jego tony składowe nie zlewają się w ściśle określoną barwę, lecz są słyszane osobno.

A bell is a sound tool belonging to idiophone group; it is a metallophone, usually cast from an alloy including 78% of copper, 20% of tin and 2% of other metals in a goblet shape. It is usually struck by an inside-mounted tongue, i.e. the clapper. So says a brief encyclopedia definition.

Others attribute names to bell elements comparing it to a human body. A bell is crowned, the crown parts are called eyes and key, below are shoulder and waist. The lower rim is called a mouth with lips. Inside the bell beats the heart (clapper) [1].

Bells originate from Asia and were known in ancient times already. They are a testimony to prestige and fulfil various cultural functions. Bells are among the oldest means of inter-personal communication and to a great degree play this role nowadays. The bells *speech* is manifested in various ways of sound emission. A manual dated at 1463 kept in Virgin Mary Church in Gdańsk specifies three such ways: swinging bells, striking by a clapper pulled by a rope and rhythmical striking of clappers at several bells. The bell sound may also be emitted by hammer strokes, the situation usually occurring with immovable clock bells – the so called chimes [2].

The bell sound has a complicated structure. It consists of a strike note, higher *aliquots* (i.e. the harmonic components with frequencies being multiples of the basic note: an octave, a twelfth, a fifteenth, etc.) and non-harmonic tones. The principal note – one octave lower than the strike note, which is clearly heard in the sound build-up phase is a combined note, a subjective creation not present in the sound spectrum. A bell as an instrument has an unusual sound because its components do not merge into any specified note but the components are audible separately.

* Politechnika Poznańska, pl. M. Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań

* Poznan University of Technology, pl. M. Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań

Z punktu widzenia mechaniki najciekawszym i zarazem najbardziej złożonym jest wydobywanie dźwięku dzwonu przez jego kołysanie. Powstające przy tym drgania można podzielić na dwa rodzaje: skomplikowane przestrzenne drgania czaszy dzwonu spowodowane uderzeniem serca w wieniec dzwonu, w wyniku których powstaje dźwięk, oraz płaskie wahadłowe drgania zawieszonoego na osi dzwonu traktowanego jak bryła sztywne.

Przedmiotem niniejszego opracowania są drgania dzwonu jako bryły sztywnej. Dzwon modeluje się jako wahadło fizyczne, tj. ciało sztywne o masie m mogące swobodnie obracać się dookoła stałej poziomej osi obrotu O , na które działają jedynie siła ciężkości $G = mg$ oraz reakcje V i H łożysk w osi obrotu O (ryc. 1).

Położenie dzwonu w chwili t określone jest przez zmienny kąt obrotu φ . Równanie ruchu dzwonu wynika z drugiej zasady dynamiki Newtona i ma postać

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + p^2 \sin \varphi = 0, \quad (1)$$

gdzie

$$p^2 = \frac{mgs}{J}, \quad (2)$$

oraz J oznacza moment bezwładności dzwonu względem osi obrotu O .

Równanie (1) można zapisać w postaci

$$\frac{d}{dt} \frac{1}{2} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \frac{d}{dt} (p^2 \cos \varphi), \quad (3)$$

zatem całką ruchu jest

$$\frac{1}{2} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - p^2 \cos \varphi = C, \quad (4)$$

gdzie C jest stałą całkowania. Jeśli α oznacza maksymalny kąt wychylenia dzwonu, to kąt φ zmienia się w przedziale $-\alpha \leq \varphi \leq \alpha$. W punkcie $\varphi = \alpha$ prędkość kątowa dzwonu jest równa zero, tj. $d\varphi/dt = 0$, zatem z równania (4) otrzymuje się wartość stałej całkowania

$$C = -p^2 \cos \alpha. \quad (5)$$

Po podstawieniu tej wartości do równania (4) można otrzymać równanie

$$\left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = 2p^2 (\cos \varphi - \cos \alpha). \quad (6)$$

Równanie (6), ze względu na nieliniowość, jest trudne do rozwiązania w formie analitycznej o postaci $\varphi = \varphi(t)$. Można natomiast łatwo wyznaczyć zależność odwrotną $t = t(\varphi)$. W tym celu, stosując tożsamości

$$\cos \varphi = 1 - 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}, \quad \cos \alpha = 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

równanie (6) można przekształcić do postaci

$$\left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = 4p^2 \left(\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\varphi}{2} \right), \quad (7)$$

As far as mechanics is concerned, the most complex and most interesting phenomenon is the emission of bell sound by its swinging. Vibrations resulting from this action can be divided into two groups – complex spatial vibration of the bell shell due to clapper strokes at the bell rim producing acoustic waves and plane pendulum rigid body vibrations of the bell about its axle.

The present paper is devoted to an analysis of rigid body bell vibrations. The bell is modelled as a physical pendulum, i.e. a rigid body with a mass m free to rotate about a fixed horizontal axis of rotation O . The body is subjected to a gravity force $G = mg$ and reactions V and H at bearings in the rotation axis O (fig. 1).

The bell position at a time t is determined by a variable angle of rotation φ . The equation of motion for the bell results from Newton's second principle and takes the form

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + p^2 \sin \varphi = 0, \quad (1)$$

where

$$p^2 = \frac{mgs}{J}, \quad (2)$$

and J stands for the bell moment of inertia with respect to the rotation axis O .

Equation (1) can be rewritten to get

$$\frac{d}{dt} \frac{1}{2} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \frac{d}{dt} (p^2 \cos \varphi), \quad (3)$$

thus the motion integral is

$$\frac{1}{2} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - p^2 \cos \varphi = C, \quad (4)$$

where C is an integration constant. If α denotes the maximum swinging angle, then φ is from the range $-\alpha \leq \varphi \leq \alpha$. For $\varphi = \alpha$ the bell angular velocity is equal to zero, i.e. $d\varphi/dt = 0$. Thus, the value of the integration constant

$$C = -p^2 \cos \alpha. \quad (5)$$

can be obtained from (4). Substituting (5) into (4) leads to the equation

$$\left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = 2p^2 (\cos \varphi - \cos \alpha). \quad (6)$$

which is difficult to solve in an analytical way $\varphi = \varphi(t)$ due to its nonlinearity. On the other hand, one can easily find the inverse relation $t = t(\varphi)$. To this end the following identities can be used

$$\cos \varphi = 1 - 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}, \quad \cos \alpha = 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

and (6) can be transformed to the form

$$\left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = 4p^2 \left(\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\varphi}{2} \right), \quad (7)$$

skąd po rozdzielaniu zmiennych wynika równanie

$$dt = \frac{1}{2p} \frac{d\varphi}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\varphi}{2}}}. \quad (8)$$

Po scałkowaniu równania (8) stronami otrzymuje się

$$t = t(\varphi) = \frac{1}{2p} \int_0^\varphi \frac{du}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{u}{2}}}. \quad (9)$$

Funkcja $t = t(\varphi)$ jest ściśle rosnąca, zatem istnieje i jest jednoznacznie określona również funkcja odwrotna $\varphi = \varphi(t)$ będąca rozwiązaniem równania ruchu (6).

Całkowanie w granicach od 0 do α we wzorze (9) daje $1/4$ okresu pełnego wahnięcia. Stąd okres T pełnego wahnięcia jest równy

$$T = \frac{2}{p} \int_0^\alpha \frac{du}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{u}{2}}}. \quad (10)$$

Całkowanie można wykonać za pomocą rozwinięcia funkcji podcałkowej w szereg. W tym celu wprowadza się nową zmienną całkowania ψ za pomocą wzoru

$$\sin \frac{u}{2} = \sin \frac{\alpha}{2} \sin \psi. \quad (11)$$

Zatem

$$\begin{aligned} \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{u}{2}} &= \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2} \sin^2 \psi} = \\ &= \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \psi} = \sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi, \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \cos \frac{u}{2} du = \sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi d\psi \Rightarrow du = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi}{\cos \frac{u}{2}} d\psi.$$

Wtedy wyrażenie podcałkowe we wzorze (10) można przedstawić w postaci

$$\begin{aligned} \frac{du}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{u}{2}}} &= \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi} \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi}{\cos \frac{u}{2}} d\psi = \\ &= \frac{2 d\psi}{\cos \frac{u}{2}} = \frac{2 d\psi}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{u}{2}}} = \frac{2 d\psi}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\alpha}{2} \sin^2 \psi}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Wartościom $u = 0$ oraz $u = \alpha$ odpowiadają wartości $\psi = 0$ oraz $\psi = \pi/2$, zatem po uwzględnieniu (12) wzór (10) na okres T pełnego wahnięcia dzwonu przyjmuje postać

Separation of variables leads to

$$dt = \frac{1}{2p} \frac{d\varphi}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\varphi}{2}}}. \quad (8)$$

Integration of both sides of equation (8) results in

$$t = t(\varphi) = \frac{1}{2p} \int_0^\varphi \frac{du}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{u}{2}}}. \quad (9)$$

The function $t = t(\varphi)$ is strictly increasing, thus there exists a unique inverse function $\varphi = \varphi(t)$ representing the solution of the equation of motion (6).

Determinate integration within the limits 0 and α of the formula (9) gives $1/4$ of the full swing period. Hence, the full swing period is

$$T = \frac{2}{p} \int_0^\alpha \frac{du}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{u}{2}}}. \quad (10)$$

The integration can be carried out using a series expansion of the integrated function. To this end a new integration variable ψ is introduced

$$\sin \frac{u}{2} = \sin \frac{\alpha}{2} \sin \psi. \quad (11)$$

Hence,

$$\begin{aligned} \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{u}{2}} &= \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2} \sin^2 \psi} = \\ &= \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \psi} = \sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi, \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \cos \frac{u}{2} du = \sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi d\psi \Rightarrow du = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi}{\cos \frac{u}{2}} d\psi.$$

Then the integrated function in (10) can be expressed as

$$\begin{aligned} \frac{du}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{u}{2}}} &= \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi} \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \psi}{\cos \frac{u}{2}} d\psi = \\ &= \frac{2 d\psi}{\cos \frac{u}{2}} = \frac{2 d\psi}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{u}{2}}} = \frac{2 d\psi}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\alpha}{2} \sin^2 \psi}}. \end{aligned} \quad (12)$$

The values $\psi = 0$ and $\psi = \pi/2$ correspond to $u = 0$ and $u = \alpha$, so taking (12) into account the formula (10) for the full swinging period T takes the form

$$T = \frac{4}{p} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\psi}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \psi}}, \quad (13)$$

gdzie $k = \sin \frac{\alpha}{2}$. Ze wzoru na rozwinięcie w szereg dwumianu Newtona $(1-k^2 \sin^2 \varphi)^{-\frac{1}{2}}$ otrzymuje się

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \psi}} &= 1 + \frac{1}{2} k^2 \sin^2 \psi + \\ &+ \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} k^4 \sin^4 \psi + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} k^6 \sin^6 \psi + \dots \end{aligned} \quad (14)$$

i wzór (13) można przedstawić w postaci

$$T = \frac{4}{p} \left[\int_0^{\frac{\pi}{2}} d\psi + \frac{1}{2} k^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \psi \cdot d\psi + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} k^4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^4 \psi \cdot d\psi + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} k^6 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^6 \psi \cdot d\psi + \dots \right] \quad (15)$$

Całki występujące we wzorze (15) można określić za pomocą ogólnego wzoru

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{2n} \psi \cdot d\psi = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2n-1) \pi}{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots 2n} \frac{\pi}{2},$$

zatem okres T pełnego wahnięcia dzwonu jest równy

$$T = \frac{2\pi}{p} K(\alpha), \quad (16)$$

gdzie

$$\begin{aligned} K(\alpha) &= 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \\ &+ \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \sin^6 \frac{\alpha}{2} + \dots \end{aligned} \quad (17)$$

Dla danego wahadła fizycznego można określić zastępcze wahadło matematyczne o długości l_z wykonujące drgania identyczne jak wahadło fizyczne (ryc. 2).

Równanie ruchu wahadła matematycznego ma postać

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + p_z^2 \sin \varphi = 0, \quad (18)$$

gdzie

$$p_z^2 = \frac{g}{l_z}. \quad (19)$$

Równania (1) oraz (18) mają taką samą postać, zatem zastępcze wahadło matematyczne wykonuje ruch identyczny jak wahadło fizyczne, gdy $p^2 = p_z^2$ tj. gdy

$$T = \frac{4}{p} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\psi}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \psi}}, \quad (13)$$

where $k = \sin \frac{\alpha}{2}$. The formula for the Newton binomial expansion $(1-k^2 \sin^2 \varphi)^{-\frac{1}{2}}$ yields

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \psi}} &= 1 + \frac{1}{2} k^2 \sin^2 \psi + \\ &+ \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} k^4 \sin^4 \psi + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} k^6 \sin^6 \psi + \dots \end{aligned} \quad (14)$$

and the relation (13) can be given in the following form

$$T = \frac{4}{p} \left[\int_0^{\frac{\pi}{2}} d\psi + \frac{1}{2} k^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \psi \cdot d\psi + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} k^4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^4 \psi \cdot d\psi + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} k^6 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^6 \psi \cdot d\psi + \dots \right] \quad (15)$$

The integrals in (15) can be expressed in a general way as

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{2n} \psi \cdot d\psi = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2n-1) \pi}{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots 2n} \frac{\pi}{2},$$

thus, the bell full swinging period T is

$$T = \frac{2\pi}{p} K(\alpha), \quad (16)$$

where

$$\begin{aligned} K(\alpha) &= 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \\ &+ \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \sin^6 \frac{\alpha}{2} + \dots \end{aligned} \quad (17)$$

For an arbitrary physical pendulum one can introduce an equivalent mathematical pendulum with length l_z which vibrates in the identical way (fig. 2).

The equation of motion for the mathematical pendulum takes the form

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + p_z^2 \sin \varphi = 0, \quad (18)$$

where

$$p_z^2 = \frac{g}{l_z}. \quad (19)$$

Equations (1) and (18) have the same form, thus the mathematical pendulum exhibits the same motion as the physical pendulum when $p^2 = p_z^2$, i.e. when

$$\frac{mgs}{J} = \frac{g}{l_z}. \quad (20)$$

Stąd długość zastępczego wahadła matematycznego jest równa

$$l_z = \frac{J}{ms}. \quad (21)$$

Moment bezwładności J dzwonu (wahadła fizycznego) względem osi obrotu O jest równy

$$J = J_0 + ms^2, \quad (22)$$

gdzie J_0 oznacza moment bezwładności dzwonu względem osi przechodzącej przez jego środek ciężkości S . Można zatem napisać

$$l_z = \frac{J_0 + ms^2}{ms} = \frac{J_0}{ms} + s, \quad (23)$$

co oznacza, że $l_z > s$. Długość l_z wyznacza na osi dzwonu punkt C , który nazywa się *środkiem wahan* (ryc. 3). Jeśli $J_0 = mr_0^2$, gdzie r_0 jest promieniem bezwładności, to wzór (23) można przedstawić w postaci

$$l_z = \frac{r_0^2}{s} + s. \quad (24)$$

Przedstawiając równanie (24) w postaci $s^2 - sl_z + mr_0^2 = 0$ widać, że jest ono spełnione przez dwie liczby s_1 i s_2 takie, że $s_1 + s_2 = l_z$. Jeśli zatem na ryc. 3 oznaczy się $s = s_1$, to $s_2 = l_z - s_1$. Stąd wynika, że jeśli wahadło zawieszono w punkcie O ma środek wahan w punkcie C , to nawzajem wahadło zawieszono w punkcie C ma środek wahan w punkcie O .

Dla dzwonów wprowadza się parametr c

$$c = \frac{s}{l_z} = \frac{ms^2}{J} \quad (25)$$

nazywany *współczynnikiem kształtu* dzwonu. Dla dzwonów o klasycznych proporcjach współczynnik kształtu jest równy $c = 0,75 \div 0,80$ [6].

Dynamiczna równoważność wahadła fizycznego i zastępczego wahadła matematycznego występuje wtedy, gdy moment bezwładności masy zastępczej m_z względem osi obrotu O jest równy momentowi bezwładności J wahadła fizycznego: $m_z l_z^2 = J$. Stąd i z (21) wynika, że

$$m_z = \frac{J}{l_z^2} = \frac{J}{l_z} \frac{1}{l_z} = \frac{J}{l_z} \frac{ms}{J} = m \frac{s}{l_z} = c \cdot m. \quad (26)$$

Dynamiczna równoważność wahadła fizycznego i zastępczego wahadła matematycznego oznacza, że siły bezwładności wywołane ruchem obu wahadeł są identyczne.

Reakcje podporowe w osi obrotu dzwonu można wyznaczyć z warunków równowagi sił czynnych i sił bezwładności działających na dzwon w trakcie jego ruchu.

$$\frac{mgs}{J} = \frac{g}{l_z}. \quad (20)$$

Hence, the length of the equivalent mathematical pendulum is given by

$$l_z = \frac{J}{ms}. \quad (21)$$

The bell (physical pendulum) moment of inertia J with respect to the rotation axis O is

$$J = J_0 + ms^2, \quad (22)$$

where J_0 denotes the bell moment of inertia with respect to its central axis (S is the bell centroid). One can write down the following relations

$$l_z = \frac{J_0 + ms^2}{ms} = \frac{J_0}{ms} + s, \quad (23)$$

It means that $l_z > s$. The length l_z defines a point C on the bell axis. It is the *swinging centre* (fig. 3). If $J_0 = mr_0^2$, where r_0 is the radius of gyration, then (23) can be given as

$$l_z = \frac{r_0^2}{s} + s. \quad (24)$$

Expressing (24) in the form $s^2 - sl_z + mr_0^2 = 0$ shows, that it is fulfilled by two such numbers s_1 and s_2 that $s_1 + s_2 = l_z$. Thus, if we denote $s = s_1$ in fig. 3, then $s_2 = l_z - s_1$. Hence, if a pendulum hanging at O has its swinging centre at C , then, mutually, a pendulum hanging at C has a swinging centre at O .

A certain parameter c is introduced as

$$c = \frac{s}{l_z} = \frac{ms^2}{J} \quad (25)$$

and it is called the bell *shape coefficient*. For classically shaped bells the shape coefficient $c = 0,75 \div 0,80$ [6].

The dynamic equivalence of physical and mathematical pendula occurs when the moment of inertia for the equivalent mass m_z with respect to the rotation axis O is equal to the moment of inertia J for the physical pendulum: $m_z l_z^2 = J$. Thus from (21) one gets

$$m_z = \frac{J}{l_z^2} = \frac{J}{l_z} \frac{1}{l_z} = \frac{J}{l_z} \frac{ms}{J} = m \frac{s}{l_z} = c \cdot m. \quad (26)$$

The dynamic equivalence of physical and mathematical pendula means, that the inertia forces due to the motion of both pendula are identical.

The support reaction at the rotation axis of the bell can be determined from the equilibrium of active and inertia forces acting on the bell during its motion.

There are two inertia forces (fig. 4):

Na dzwon będący w ruchu działają dwie siły bezwładności (ryc. 4):

- wypadkowa sił odśrodkowych działająca w osi dzwonu

$$N(\varphi) = ms\dot{\varphi}^2, \quad (27)$$

- wypadkowa stycznych sił bezwładności działająca prostopadle do osi dzwonu

$$T(\varphi) = ms\ddot{\varphi}. \quad (28)$$

Wypadkowy moment stycznych sił bezwładności względem osi obrotu O jest równy

$$M(\varphi) = J\ddot{\varphi}. \quad (29)$$

Na podstawie wzorów (28), (29) i (21) można obliczyć ramię działania siły $T(\varphi)$ względem O :

$$\frac{M(\varphi)}{T(\varphi)} = \frac{J\ddot{\varphi}}{ms\ddot{\varphi}} = \frac{J}{ms} = l_z.$$

To oznacza, że wypadkowa stycznej siły bezwładności $T(\varphi)$ przechodzi przez punkt C . Punkt C ma tę właściwość, że jakkolwiek siła zewnętrzna działająca na linii siły $T(\varphi)$ nie wywoła reakcji osi obrotu dzwonu, gdyż równoważy ona wypadkową stycznych sił bezwładności. Z tego powodu środek wahań nazywa się również *środkiem uderzenia*. Proporcje dzwonu są tak dobrane, by serce uderzało w dzwon w pobliżu punktu uderzenia. Interpretując znaczenie środka uderzenia można rozważyć pionowy pręt zawieszony na górnym końcu, ryc. 5.

Problem ten dotyczy nie tylko dzwonu, lecz również serca dzwonu, które często kształtuje się w postaci pręta przedłużonego poniżej punktu uderzenia.

Korzystając ze wzorów (1), (2), (6), (21), (26) oraz (27), (28), siły bezwładności można przedstawić w postaci

$$N(\varphi) = G \frac{2s}{l_z} (\cos \varphi - \cos \alpha) = 2cG(\cos \varphi - \cos \alpha), \quad (30)$$

$$T(\varphi) = -G \frac{s}{l_z} \sin \varphi = -cG \sin \varphi. \quad (31)$$

Z warunków równowagi sił działających na dzwon, zgodnie z ryc. 6, otrzymuje się

$$V = V(\varphi) = G + N(\varphi) \cos \varphi + T(\varphi) \sin \varphi, \quad (32)$$

$$H = H(\varphi) = N(\varphi) \sin \varphi - T(\varphi) \cos \varphi. \quad (33)$$

Stąd, po wstawieniu wzorów (30) i (31) otrzymuje się wzory określające reakcje osi dzwonu:

$$V = V(\varphi) = G + cGF_V(\alpha, \varphi), \quad (34)$$

$$H = H(\varphi) = cGF_H(\alpha, \varphi), \quad (35)$$

gdzie

- resultant of centrifugal forces acting along the bell axis

$$N(\varphi) = ms\dot{\varphi}^2, \quad (27)$$

- resultant of tangential forces acting perpendicularly to the bell axis

$$T(\varphi) = ms\ddot{\varphi}. \quad (28)$$

The resultant moment of tangential inertia forces with respect to the rotation axis O is

$$M(\varphi) = J\ddot{\varphi}. \quad (29)$$

From (28), (29) and (21) one can compute the arm of the force $T(\varphi)$ with respect to O :

$$\frac{M(\varphi)}{T(\varphi)} = \frac{J\ddot{\varphi}}{ms\ddot{\varphi}} = \frac{J}{ms} = l_z.$$

This means that the resultant of tangential inertia force $T(\varphi)$ passes through the point C . This point has such a property, that any external force acting along the line of action of the force $T(\varphi)$ does not yield any reaction of the bell rotation axis, because it is balanced with the resultant of tangential inertia forces. Thus, the swinging centre is also called the strike centre. The bell proportion is assumed in such a way, that the clapper strikes in the vicinity of the *strike centre*. To analyze the meaning of the strike centre one can consider a vertical rod hanging at its upper tip, fig. 5.

The problem at hand is not only related to bells but also to clatters, which are usually formed as rods extending below the strike centre.

Using the relations (1), (2), (6), (21), (26) and (27), (28), the inertia forces can be given in the following form

$$N(\varphi) = G \frac{2s}{l_z} (\cos \varphi - \cos \alpha) = 2cG(\cos \varphi - \cos \alpha), \quad (30)$$

$$T(\varphi) = -G \frac{s}{l_z} \sin \varphi = -cG \sin \varphi. \quad (31)$$

The equilibrium conditions for forces acting on the bell, according to fig. 6, are

$$V = V(\varphi) = G + N(\varphi) \cos \varphi + T(\varphi) \sin \varphi, \quad (32)$$

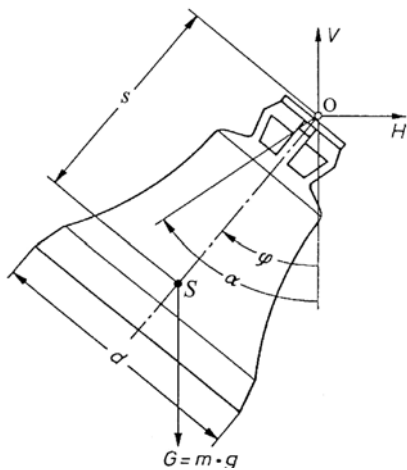
$$H = H(\varphi) = N(\varphi) \sin \varphi - T(\varphi) \cos \varphi. \quad (33)$$

Then, substituting the formulae (30) and (31), one gets the values of the reactions at the bell axis:

$$V = V(\varphi) = G + cGF_V(\alpha, \varphi), \quad (34)$$

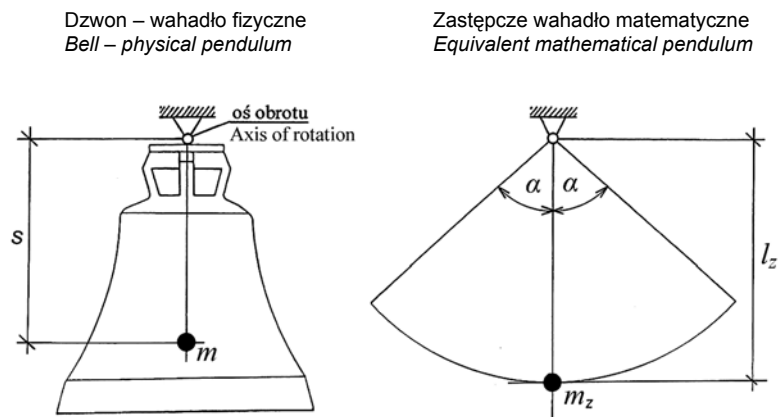
$$H = H(\varphi) = cGF_H(\alpha, \varphi), \quad (35)$$

where

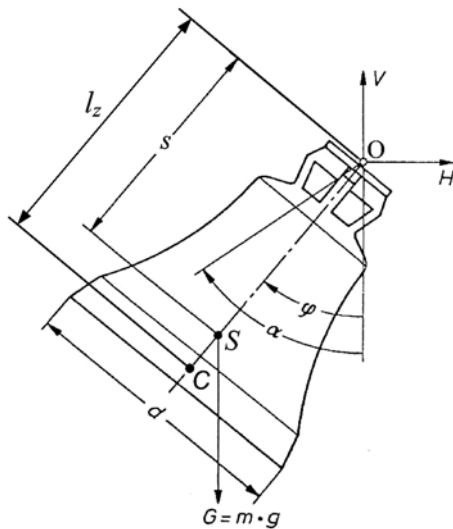


Ryc. 1. Wahadło fizyczne – model obliczeniowy dzwonu

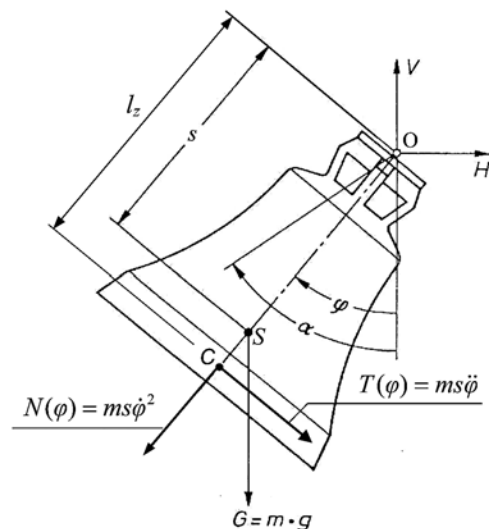
Fig. 1. Physical pendulum – calculation model of a bell



Ryc. 2. Zastępcze wahadło matematyczne
Fig. 2. Equivalent mathematical pendulum



Ryc. 3. Położenia środka ciężkości S i środka wahania C dzwonu
Fig. 3. Location of centroid S and swinging centre C for a bell



Ryc. 4. Siły czynne i siły bezwładności działające na dzwon
Fig. 4. Active and inertia forces acting on a bell

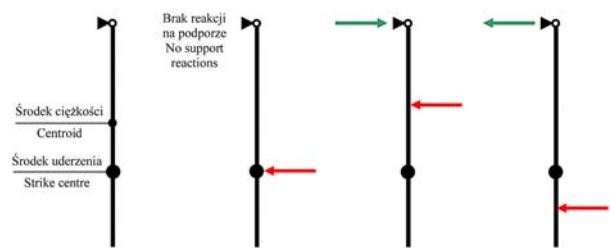
$$F_V(\alpha, \varphi) = (3 \cos^2 \varphi - 2 \cos \varphi \cos \alpha - 1), \quad (36)$$

$$F_H(\alpha, \varphi) = \left(\frac{3}{2} \sin 2\varphi - 2 \sin \varphi \cos \alpha \right). \quad (37)$$

We wzorach (34) i (35) należy zauważyć, że $G \frac{s}{l_z} = m_z g$, zatem reakcje osi dzwonu od sił bezwładności są takie same jak reakcje osi od sił bezwładności zastępczego wahadła matematycznego.

Wykorzystując wzór (10) można również utworzyć wykresy reakcji osi oraz wychylenia φ dzwonu w zależności od czasu t .

Największa wartość bezwzględna reakcji pionowej V występuje dla $\varphi = 0$. Na przykład dla maksymalnego wychylenia dzwonu $\alpha = \pi/2$ otrzymuje się $|V| = (1 + 2c)mg$. Wartość ta może ponad dwukrotnie przekroczyć ciężar dzwonu. Dla $\alpha = \pi/2$ maksymalna wartość reakcji poziomej występuje przy wychyleniu $\varphi = \pi/4$ i jest równa $|H| = (3/2)cmg$. Jest to siła, która może znacznie przekroczyć ciężar dzwonu.



Ryc. 5. Wpływ punktu uderzenia na reakcje podporowe
Fig. 5. Influence of strike centre location on support reactions

$$F_V(\alpha, \varphi) = (3 \cos^2 \varphi - 2 \cos \varphi \cos \alpha - 1), \quad (36)$$

$$F_H(\alpha, \varphi) = \left(\frac{3}{2} \sin 2\varphi - 2 \sin \varphi \cos \alpha \right). \quad (37)$$

Let us observe, that in the relations (34) and (35) $G \frac{s}{l_z} = m_z g$, hence, the reactions at the bell axis due to the inertia forces are the same as those due to the inertia forces in the equivalent mathematical pendulum.

Funkcje wychylenia φ oraz reakcji osi V i H osi obrotu dzwonu są funkcjami okresowymi, lecz nie harmonicznymi. Stąd, dla celów projektowych konstrukcji wsporczych oraz wież dzwonowych niezbędna jest analiza harmoniczna funkcji reakcji V i H .

Funkcje V i H można przedstawić w postaci nieskończonych rozwinięć w szereg Fouriera:

$$H(t, \alpha) = cG(\gamma_1(\alpha)\sin\omega t + \gamma_3(\alpha)\sin 3\omega t + \gamma_5(\alpha)\sin 5\omega t + \dots) = cG\sum_{i=0}^{\infty}\gamma_{2i+1}(\alpha)\sin(2i+1)\omega t, \quad (38)$$

$$T = \frac{60}{n} = \frac{120}{a}, \quad (39)$$

gdzie ω oznacza pierwszą częstość kołową drgań dzwonu.

Wartości współczynników γ oraz β w zależności od kąta α maksymalnego wychylenia dzwonu przedstawione są na ryc. 6.

Po odlaniu dzwonu ludwisarz wykonuje badania i określa liczbę a uderzeń serca dzwonu w ciągu 1 minuty. W ciągu jednego pełnego wahnięcia serce uderza w dzwon 2 razy, zatem liczba n pełnych wahnięć dzwonu w ciągu 1 minuty (tj. częstość drgań) wynosi $n = a/2$ (częstotliwość drgań $f = 1/T$). Stąd można określić okres drgań dzwonu:

$$T = \frac{60}{n} = \frac{120}{a} \quad (40)$$

oraz pierwszą częstość kołową drgań dzwonu

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\pi a}{60} = \frac{\pi n}{30}. \quad (41)$$

Przeciwnie skierowane reakcje osi obrotu dzwonu stanowią obciążenie konstrukcji wsporczej, na której zawieszony jest dzwon i tym samym stanowią obciążenia wieży, na której dzwon jest umieszczony. Z wykresów przedstawionych na ryc. 6 wynika, że największy wpływ na wielkość tych obciążeń mają kilka pierwszych składowych harmonicznymi drgań dzwonu. Wyższe harmoniczne jako małe można pominać. Z dostateczną dokładnością dla celów technicznych przyjmuje się, że obciążenie konstrukcji wsporczej oraz wieży od wahażącego się dzwonu określone jest wzorami

$$H(t, \alpha) = cG(\gamma_1(\alpha)\sin\omega_1 t + \gamma_3(\alpha)\sin 3\omega_1 t + \gamma_5(\alpha)\sin 5\omega_1 t), \quad (42)$$

$$V(t, \alpha) = G + cG(\beta_2(\alpha)\cos 2\omega_1 t + \beta_4(\alpha)\cos 4\omega_1 t + \beta_6(\alpha)\cos 6\omega_1 t). \quad (43)$$

Wprowadzając częstości kołowe dla harmonicznymi $i = 1, 2, 3, \dots$ według wzoru

$$\omega_i = i\omega \quad (44)$$

Taking advantage of (10) one can also find the distributions of the axis reactions and swinging angle φ of the bell as functions of time t .

The highest absolute value of the vertical reaction V is found for $\varphi = 0$. For instance, with the maximal swinging angle $\alpha = \pi/2$ one gets $|V| = (1 + 2c)mg$. This value can be twice as big as the bell weight. For $\alpha = \pi/2$ the maximum value of the horizontal reaction corresponds to the swinging angle $\varphi = \pi/4$ and reaches $|H| = (3/2)cmg$. This force can exceed the bell weight, too.

The functions of the swinging angle φ and the axis reactions V and H are periodic but not harmonic ones. Thus for design purposes related to supporting structures and belfries a harmonic analysis of the reaction functions V and H is necessary.

The functions V and H can be represented in the form of infinite Fourier series:

$$H(t, \alpha) = cG(\gamma_1(\alpha)\sin\omega t + \gamma_3(\alpha)\sin 3\omega t + \gamma_5(\alpha)\sin 5\omega t + \dots) = cG\sum_{i=0}^{\infty}\gamma_{2i+1}(\alpha)\sin(2i+1)\omega t, \quad (38)$$

$$T = \frac{60}{n} = \frac{120}{a}, \quad (39)$$

where ω denotes the first natural frequency of the bell.

Values of the coefficients γ and β as functions of the maximum bell swinging angle α are depicted in fig. 6.

Having cast a bell a bellfounder carries out an analysis and determines the number of clapper strokes a per minute. During one full swing the clapper strikes the bell twice, so the number of full bell swings per minute n is $n = a/2$ (the vibrations frequency $f = 1/T$). Thus the vibrations period for the bell:

$$T = \frac{60}{n} = \frac{120}{a} \quad (40)$$

can be determined as well as the first natural frequency

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\pi a}{60} = \frac{\pi n}{30}. \quad (41)$$

Opposite reactions at the bell rotation axis form a loading acting on the supporting structure of the bell and, thus, are the loading for the belfry. It can be concluded from the distributions presented in fig. 6 that only a few first harmonic components of the bell vibration have the biggest influence on the loading magnitude. The higher harmonics can be neglected. It is assumed with a sufficient accuracy, that the loading acting on the supporting structure and the belfry due to the swinging bell can be given as

$$H(t, \alpha) = cG(\gamma_1(\alpha)\sin\omega_1 t + \gamma_3(\alpha)\sin 3\omega_1 t + \gamma_5(\alpha)\sin 5\omega_1 t), \quad (42)$$

funkcje (42) i (43) można przedstawić w postaci (ryc. 7)

$$H(t, \alpha) = cG(\gamma_1(\alpha)\sin\omega_1 t + \gamma_3(\alpha)\sin\omega_3 t + \gamma_5(\alpha)\sin\omega_5 t), \quad (45)$$

$$V(t, \alpha) = G + cG(\beta_2(\alpha)\cos\omega_2 t + \beta_4(\alpha)\cos\omega_4 t + \beta_6(\alpha)\cos\omega_6 t). \quad (46)$$

Dla poszczególnych harmonicznych wprowadza się również okresy drgań określone wzorem

$$T_i = \frac{1}{i} T. \quad (47)$$

Oddziaływania dzwonów na wieżę mają charakter dynamiczny. W praktyce wieże można obliczać na obciążenia statyczne, przyjmując zastępcze oddziaływania dzwonów. Siły zastępcze oblicza się przez pomnożenie amplitud sił rzeczywistych określonych wzorami (45) i (46) przez współczynnik dynamiczny.

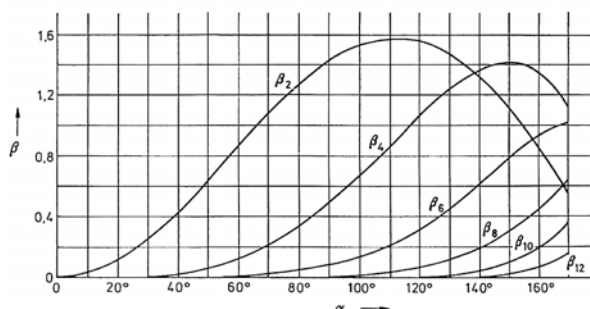
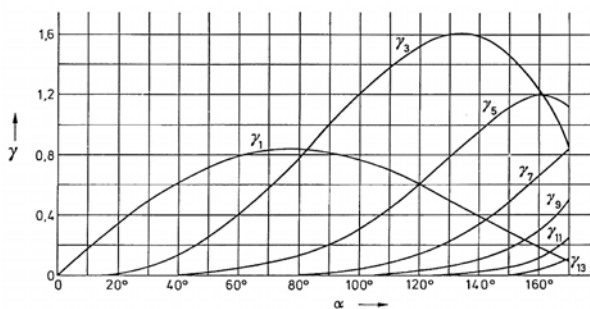
Obciążenia wywoływane przez dzwony można również wyznaczać ze wzorów uproszczonych. Według Neuferta [4], o ile nie wykonuje się dokładnych obliczeń, amplitudy sił pionowych i poziomych wywołanych przez dzwony można przyjmować następująco:

– zawieszenie dzwonu na jarzmie prostym (ryc. 8)

$$H = 1,55 \cdot G, \quad V = 3,1 \cdot G, \quad (48)$$

– zawieszenie dzwonu na jarzmie wykrębnym (ryc. 9)

$$H = 0,25 \cdot G, \quad V = 1,5 \cdot G. \quad (49)$$



Ryc. 6. Wartości współczynników γ oraz β w zależności od kąta α maksymalnego wychYLENIA dzwonu (wykresy z DIN 4178, April 2005 [6])

Fig. 6. Coefficients γ and β as functions of the maximum bell swing angle α (according to DIN 4178, April 2005 [6])

$$V(t, \alpha) = G + cG(\beta_2(\alpha)\cos2\omega_1 t + \beta_4(\alpha)\cos4\omega_1 t + \beta_6(\alpha)\cos6\omega_1 t). \quad (43)$$

Introducing the frequencies for the harmonics $i = 1, 2, 3, \dots$ according to the formula

$$\omega_i = i\omega \quad (44)$$

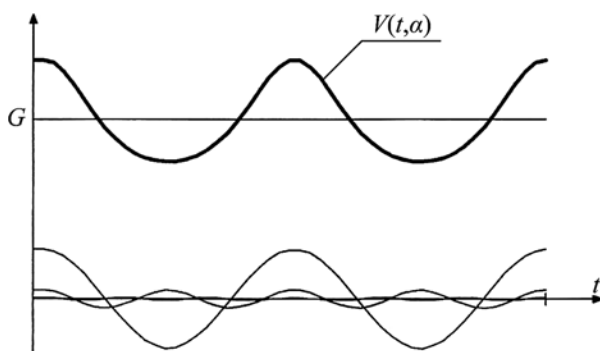
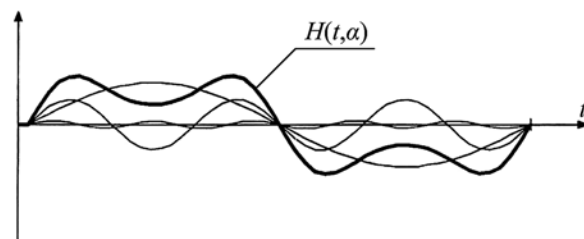
the functions (42) and (43) can be given in the form (fig. 7)

$$H(t, \alpha) = cG(\gamma_1(\alpha)\sin\omega_1 t + \gamma_3(\alpha)\sin\omega_3 t + \gamma_5(\alpha)\sin\omega_5 t), \quad (45)$$

$$V(t, \alpha) = G + cG(\beta_2(\alpha)\cos\omega_2 t + \beta_4(\alpha)\cos\omega_4 t + \beta_6(\alpha)\cos\omega_6 t). \quad (46)$$

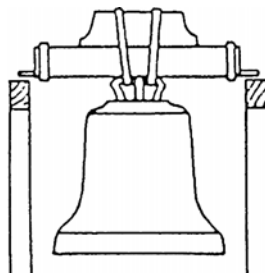
For the subsequent harmonics one can also introduce the vibration periods according to

$$T_i = \frac{1}{i} T. \quad (47)$$

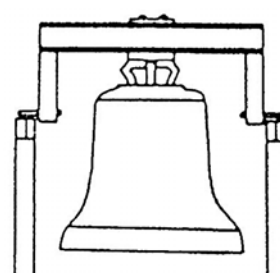


Ryc. 7. Wykresy funkcji $H(t, \alpha)$, $V(t, \alpha)$

Fig. 7. Plots of functions $H(t, \alpha)$, $V(t, \alpha)$



Ryc. 8. Jarzmo proste [4]
Fig. 8. Plain yoke [4]



Ryc. 9. Jarzmo wykrębnym [4]
Fig. 9. Cranked yoke [4]

Współczynnik dynamiczny określony jest wzorem

$$\eta = \frac{n_e^2}{n_e^2 - n_m^2}, \quad (50)$$

gdzie: n_e – częstość drgań własnych wieży,

n_m – częstość danej składowej harmoniczej wymuszającej drgania.

W przypadku rezonansu współczynnik dynamiczny należy przyjmować $\eta = 10$.

Okres wahan dzwonu mieści się na ogół w granicach $1,5 \text{ s} \leq T_1 \leq 3 \text{ s}$. Dla dominującej trzeciej składowej harmoniczej mamy $0,5 \text{ s} \leq T_3 \leq 1 \text{ s}$, a dla piątej składowej $0,3 \text{ s} \leq T_5 \leq 0,6 \text{ s}$, gdzie $s = 1$ sekunda. Wymuszenia o okresach T_3 i T_5 leżą często w obszarze okresów drgań własnych wieży i powinny być brane pod uwagę w obliczeniach.

Z uwagi na stosunkowo niskie wartości tłumienia drgań należy zawsze sprawdzać możliwość powstania rezonansu dla trzeciej składowej harmoniczej wymuszenia drgań. W przypadku kilku dzwonów wymuszających drgania należy wyznaczyć widmo pierwszych kilku częstości drgań własnych wieży, najlepiej przez pomiar na obiekcie. Wielkości dzwonów należy tak dobierać, by pierwsza, trzecia i piąta częstości drgań wymuszających leżały poza widmem częstości drgań własnych wieży. Niebezpieczeństwo rezonansu występuje wtedy, gdy częstość drgań własnych wieży różni się od częstości najbliższej składowej harmoniczej o mniej niż 20%. Wymaganie to dotyczy przede wszystkim trzeciej składowej harmoniczej wymuszenia drgań przez dzwony.

Dla każdego odlanego dzwonu wytwórca powinien podać ton dzwonu oraz następujące parametry:

d – średnica dzwonu,

G – ciężar dzwonu,

α – maksymalny kąt wychylenia dzwonu w stopniach,

a – liczba uderzeń serca dzwonu na 1 minutę,

c – parametr kształtu dzwonu.

Ze wzorów (48) i (49) wynika, że oddziaływania dzwonu zawieszonoego na jarzmie wykorbionym są znacznie mniejsze niż oddziaływania dzwonu na jarzmie prostym. Stare dzwony były bowiem na ogół zawieszane na jarzmach prostych, zatem wywoływały duże oddziaływania dynamiczne na konstrukcje wsporcze i nie były obojętne dla konstrukcji wieży. Często również przy dobrej koniunkturze ekonomicznej w trakcie rozwoju parafii na wieżach kościelnych zawieszano nowe dodatkowe dzwony, które wraz z dzwonami starymi zwiększają obciążenia dynamiczne wieży. W takiej sytuacji, w celu zmniejszenia oddziaływań dynamicznych, zarówno stare jak i nowe dzwony zawieszano na jarzmach wykorbionych.

Przy zmianie zawieszenia dzwonu z jarzma prostego na wykorbione zmniejszenie poziomych oddziaływań dynamicznych na ogół nie jest tak korzystne jak podaje pierwszy wzór Neuferta (49). Z doświadczenia autora niniejszej pracy wynika, że wielkość poziomego oddziaływania dzwonu zawieszonoego na jarzmie wykorbionym stanowi ok. 30–45% wielkości poziomego oddziaływania

Action of bells on its belfry is dynamic. In practice belfries can be analyzed as loaded statically with equivalent forces assumed. They are determined from a multiplication of real force amplitudes given by (45) and (46) by a dynamic coefficient.

The loading due to bells can also be found using simplified relations. According to Neufert [4], if the accurate computations are not performed, the amplitudes of vertical and horizontal forces evoked by bells can be taken as:

– for a bell hanging from a plain yoke (fig. 8)

$$H = 1,5 \cdot G, \quad V = 3,1 \cdot G, \quad (48)$$

– for a bell hanging from a cranked yoke (fig. 9)

$$H = 0,25 \cdot G, \quad V = 1,5 \cdot G. \quad (49)$$

The dynamic coefficient is given by

$$\eta = \frac{n_e^2}{n_e^2 - n_m^2}, \quad (50)$$

where: n_e – belfry natural frequency,

n_m – frequency of a given harmonic excitation.

In a case of resonance the dynamic coefficient should be taken as $\eta = 10$.

The bell swinging period is usually in the range $1,5 \text{ s} \leq T_1 \leq 3 \text{ s}$. For the dominating third harmonic one gets $0,5 \text{ s} \leq T_3 \leq 1 \text{ s}$, and for the fifth component $0,3 \text{ s} \leq T_5 \leq 0,6 \text{ s}$, where $s = 1$ second. Excitation with the periods T_3 and T_5 are usually in the range of belfry natural frequencies and should be taken into account in computations.

Due to relatively low values of vibration damping one has always to check a possibility of resonance with the third harmonic of the excitation. In the case of several bells exciting vibrations a spectrum for a few first natural frequencies of belfry has to be determined, preferably by in-situ measurements. The bell dimensions should be adopted in such a way that the first, third and fifth excitation frequencies lay beyond the spectrum of belfry natural frequencies. Resonance danger takes place when a belfry natural frequency differs by less than 20% from the closest harmonic frequency. This requirement is especially valid for the third harmonic component of bell excitations.

For each bell cast, the bell founder should specify the bell note and the following parameters:

d – bell diameter,

G – bell weight,

α – maximum bell swinging angle in degrees,

a – number of clapper strokes per minute,

c – bell shape parameter.

It turns out from the formulae (48) and (49) that bell excitations in a case of a cranked yoke are much smaller than in a case of a plain yoke. Old bells were usually hanging from plain yokes and exerted large excitations on their supporting structures. The excitations

dzwonu zawieszono na jarzmi prostym, gdyż w takim stopniu zmniejsza się współczynnik kształtu ϵ występujący we wzorze (45).

Dla nowo projektowanych dzwonnicy zawsze przyjmuje się dzwony zawieszono na jarzmach wykręconych. Zawieszenie na jarzmi wykręconym wymaga również mniej energii potrzebnej do wzbudzenia i podtrzymania wahań dzwonu.

Wprowadzone wyżej wzory określające ruch dzwonu oraz wielkości jego oddziaływań na konstrukcję wsporczą i wieżę pozostają słuszne, gdy dzwon wykonuje wahań swobodne. Wahań swobodne jednak szybko zanikają, zatem potrzebne są siły podtrzymujące ruch dzwonu. Dzwon w ruchu ustalonym wykonuje drgania wymuszone.

Czy wzory wprowadzone dla wahań swobodnych dzwonu mogą być słuszne dla dzwonu wykonującego ustalone drgania wymuszone? To zależy od sposobu podtrzymywania ruchu dzwonu.

Dzwonnicy, tj. osoby wzbudzające ruch dzwonu, nie mogą działać wbrew temu, co „chce” dzwon, lecz jedynie muszą go wspierać w podtrzymaniu ruchu. Dzwonnicy musi współdziałać z dzwonem w rytmie jego wahań swobodnych. Podtrzymywanie wahań dzwonu w taki sposób sprowadza się do zrównoważenia tłumienia i można przyjąć, że dzwon wykonuje wahań wymuszone, które są równoważne wahań swobodnym bez tłumienia. W takiej sytuacji wzory określające wahań swobodne pozostają słuszne dla dzwonu wykonującego wahań ustalone wymuszone. Pociąganie przez dzwonnika (dzwonników) za linę (liny) w rytmie wahań swobodnych dzwonu jest najwłaściwszym naturalnym sposobem podtrzymania jego ruchu. Do tego potrzebne są wyczucie i doświadczenie.

Obecnie większość dzwonów jest napędzanych mechanicznie. Stosuje napęd łańcuchowy złożony z silnika elektrycznego z małym kołem zębatym na osi wirnika połączonym łańcuchem z dużym kołem zamocowanym do jarzma dzwonu z jednej lub z dwóch stron. Dzwony z napędem łańcuchowym są ruchome. Często jednak dzwony pozostają nieruchome, a dźwięk wydobywany jest przez ruchome serce pociągane liną. Przykłady takich mechanizmów zastosowanych w jednym z kościołów w Barcelonie pokazane są na ryc. 10 i 11.

Napęd łańcuchowy jest prosty w wykonaniu i stosunkowo tani. Jego wadą, szczególnie w przypadku dużych dzwonów, jest bardziej gwałtowne w porównaniu do napędu ręcznego oddziaływanie na dzwon, w wyniku czego powstają większe reakcje na podporach dzwonu. W pewnych przypadkach zamocowanie dzwonu na podporach może ulec zniszczeniu. Przykładem jest zniszczenie zamocowania podstawy łożysk podporowych największego w Polsce dzwonu Bogurodzica w Licheniu (14,7 tony) pokazanego na ryc. 12. Dzwon Bogurodzica jest zawieszony w jednej z wież Bazyliki w Licheniu, rys. 13 i 14.

Zniszczenie zamocowania dzwonu Bogurodzica polegało na ścięciu śrub mocujących podstawę łożyska do jednej z belek żelbetowych, na których dzwon jest ustawiony, ryc. 15.

were also important for belfry structures. Very often, in a situation of good economic conditions during the parish history, new additional bells were mounted which increased substantially the loading on the belfries. In such cases new and old bells were mounted using cranked yokes.

The change from a plain to a cranked yoke lead to a decrease of horizontal excitations which, however, is not so emphasized as the first Neufert formula suggests (49). The author's experience indicates that the magnitude of horizontal excitation in the case of the cranked yoke is usually equal to about 30–45% of the excitation in the plain yoke case. It is due to the respective change of the shape coefficient ϵ present in (45).

In the cases of newly designed belfries only cranked yokes are considered. Such a layout requires less energy necessary to start and sustain the bell swinging, too.

The formulae derived above determining the bell motion and magnitudes of its actions on the supporting structure and the belfry remain valid only when the bell undergoes free vibrations. However, the free vibrations decay rapidly and external forces are necessary to sustain the bell motion. So, the steady-state bell vibrations are actually forced.

Hence, the question arises, if the formulae derived for the case of free vibrations of a bell can be valid in the case of steady-state forced vibrations? It turns out that the answer depends on the method of motion sustaining.

The bell ringers who start the bell swinging cannot act against the “will” of the bell but have to assist in swinging sustainment only. The bell ringer must collaborate with the bell in the rhythm of its free vibrations. Swinging sustainment in this way leads to equilibrating of damping and it can be assumed that the bell undergoes forced vibrations equivalent to free undamped vibrations. In such a case the formulae describing the free vibrations remain valid in the forced vibration case. Pulling the rope by a bell ringer in the rhythm of the bell free vibrations is the most proper, natural way to sustain the bell motion. This requires experience and a feeling.

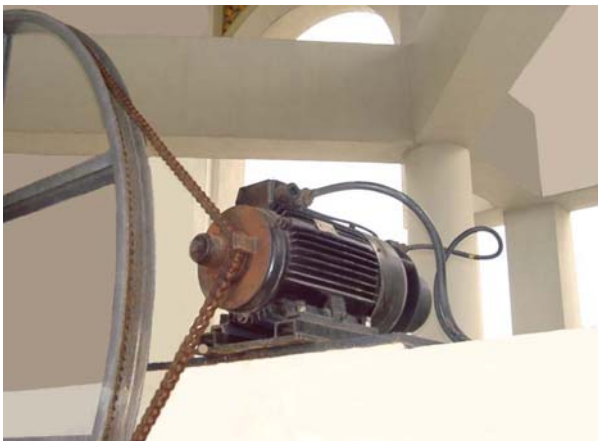
Nowadays the majority of bells is driven mechanically. Usually a chain drive is used with an electric engine and a small gear on the rotor axle connected by a chain to a large wheel mounted at a bell yoke on one or both sides. Bells with a chain drive are movable. However, quite often the bells remain fixed and the sound is made by a movable clapper driven by a rope. Examples of such layout in one of Barcelona churches are presented in figs. 10 and 11.

The chain drive is relatively easy and cheap to construct. Its drawback, especially in a case of large bells is a too rash action on the bell when compared to a manual drive. This results in larger reactions at bell supports. In some cases these supports can be destroyed. As an example the destruction of support bearing bases at the largest bell in Poland – *Bogurodzica* (Mother of God) bell in Licheń (14.7 tons) is presented



Ryc. 10-11. Napędy mechaniczne dzwonów w jednym z kościołów w Barcelonie

Fig. 10-11. Mechanical drives of bells in one of churches in Barcelona



Ryc. 12. Fragment napędu łańcuchowego dzwonu Bogurodzica w Licheniu

Fig. 12. Detail of chain drive of Bogurodzica bell in Licheń



Ryc. 13. Wieża dzwonowa w Licheniu

Fig. 13. Belfry in Licheń



Ryc. 14. Usytuowanie dzwonu wewnątrz wieży

Fig. 14. The bell location inside the belfry

W związku z zaistniałą awarią postanowiono zamienić napęd łańcuchowy na bardziej łagodny napęd elektromagnetyczny. Przykład napędu elektromagnetycznego przedstawiony jest na ryc. 16.

Silnik liniowy składa się z induktora oraz dwuwarstwowego bieznika z blachy stalowej i aluminiowej. W obwodzie magnetycznym silnika liniowego występują siła wywołująca ruch wzdłużny bieznika względem induktora oraz siła wzajemnego przyciągania

in fig. 12. This bell hangs in one of towers in Licheń Basilica, figs. 13 and 14.

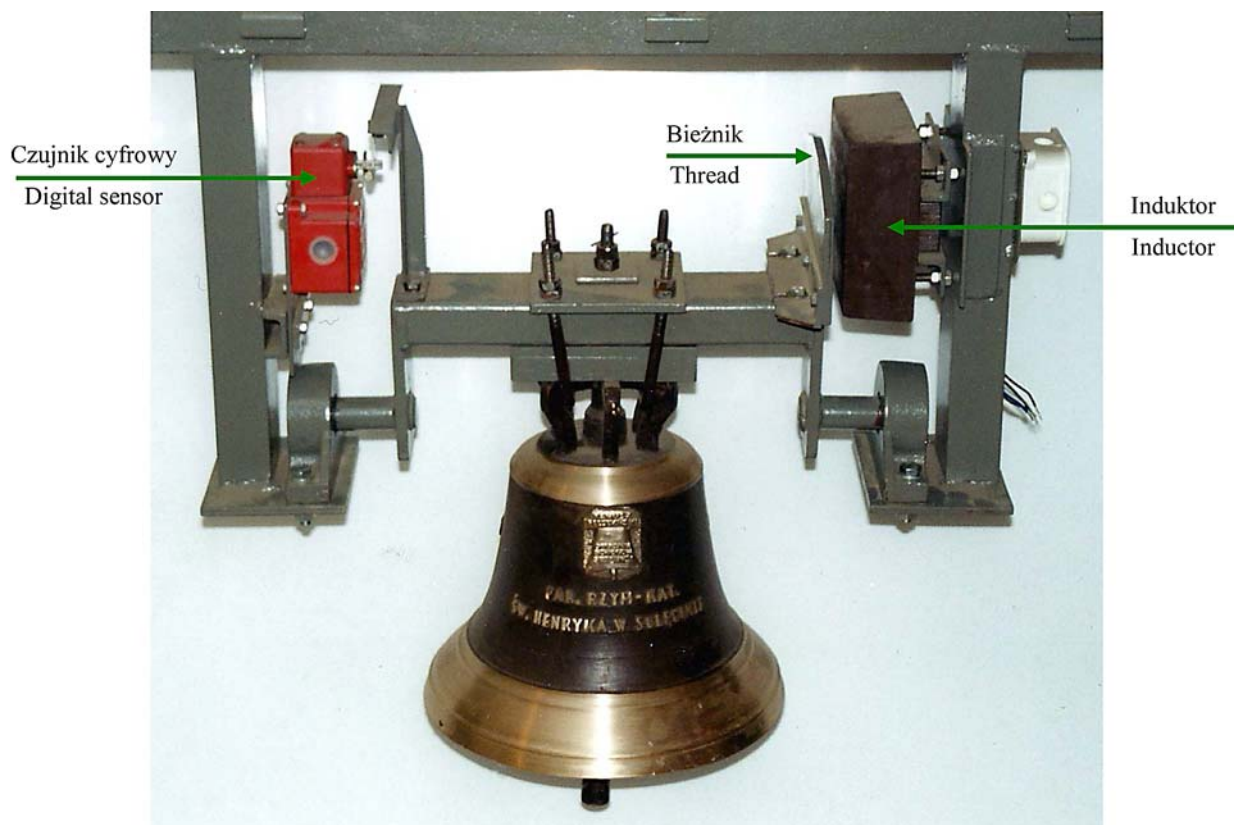
The bell mount was destroyed by shearing the screws fixing the bearing base to one of reinforced concrete beams supporting the bell, fig. 15.

Due to this situation it was decided to change the chain drive to a more delicate electromagnetic drive. An example of an electromagnetic drive is presented in fig. 16.



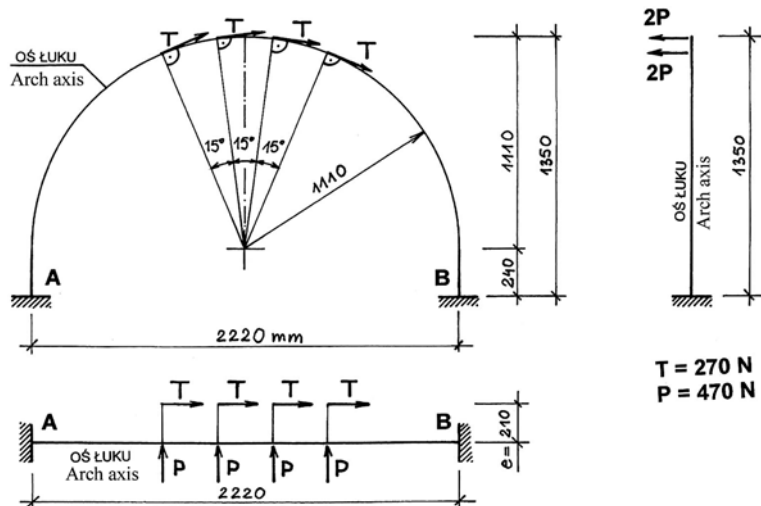
Ryc. 15. Ścięte śruby mocujące podstawę łożyska dzwonu do belki żelbetowej

Fig. 15. Sheared screws fixing the bell bearing base to a RC beam

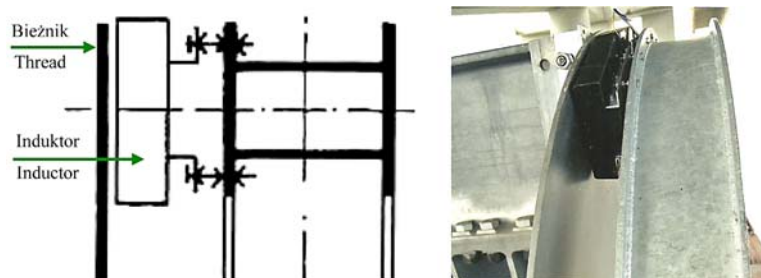


Ryc. 16. Elektromagnetyczny napęd dzwonu wykonany przez firmę PRAIS (za zgodą firmy PRAIS)

Fig. 16. Bell electromagnetic drive produced by PRAIS (courtesy of PRAIS)



Ryc. 17. Siły działające na łuk stalowy
Fig. 17. Forces acting on the steel arch



Ryc. 18. Detal mocowania induktora
Fig. 18. Detail of the inductor mount

bieżnika i induktora. Do uruchomienia i podtrzymania ruchu dzwonu tak dużego jak dzwon Bogurodzica potrzebnych jest kilka silników liniowych. W firmie PRAIS powstał projekt napędu dzwonu Bogurodzica składającego się z ośmiu silników liniowych. Dla uzyskania pełnej efektywności działania silników liniowych autor niniejszego artykułu we współpracy z firmą PRAIS zaproponował rozmieszczenie silników na okręgach symetrycznie po obu stronach jarzma i wykonał projekt konstrukcji wsporczej, na której zainstalowano silniki liniowe [7]. Siły działające na łuk stalowy przedstawione są na ryc. 17.

Dla efektywnego działania silnika liniowego szczelina między induktorem i bieżnikiem powinna wynosić ok. 2 mm (ryc. 18). Z tego powodu, dla uzyskania odpowiedniej sztywności, łuk wsporczy zaprojektowano jako utwierdzony na podporach w postaci spawanego profilu zamkniętego. Przemieszczenie poziome łuku w miejscu mocowania induktorów wynosi ok. 0,22 mm. W tych warunkach zapewniona jest właściwa praca silnika liniowego. Widok zrealizowanej konstrukcji przedstawiony jest na ryc. 19 i 20.

Napęd elektromagnetyczny jest łagodny i ma dynamikę zbliżoną do napędu ręcznego. Można zatem uznać, że wzory wyprowadzone dla wahań swobodnych dzwonu są słuszne dla dzwonu wykonującego ustalone drgania wymuszone napędem elektromagnetycznym.

Ze względu na dominującą masę dzwonu, traktowanie dzwonu jako wahadło fizyczne z pominięciem

A linear induction motor consists of an inductor and a two-layered tread made of steel and aluminum plates. In the magnetic circuit of the linear induction motor a force exciting the longitudinal motion of the thread with respect to the inductor is exerted as well as an attraction force between the thread and the inductor. To start and sustain the motion of the bell as large as *Bogurodzica* a number of linear induction motors is necessary. The design of *Bogurodzica* bell drive by the company PRAIS includes eight motors. In order to achieve the full effectiveness of the drive, the author collaborated with PRAIS in the design of location of the motors on perimeters at both sides of the bell yoke and designed the supporting structure on which the motors are located [7]. The forces acting on the steel arch are shown in fig. 17.

The gap between the inductor and the thread should be of about 2 mm to achieve the full effectiveness of the drive (fig. 18).

For this reason, to achieve the appropriate stiffness, the supporting arch was designed from a welded closed profile, fixed at the supports. The horizontal displacement of the arch at the inductor locations is about 0.22 mm. In this way a correct functioning of the linear induction motor is ensured. The designed structure is presented in figs. 19 and 20.

The electromagnetic drive is steady and has the dynamic characteristics similar to the manual drive. So it can be concluded, that the relations derived for free vibrations of bells are valid also for a bell vibrating under an electromagnetic excitation.

Due to the dominant bell mass, analysis of the bell as a physical pendulum with the clapper mass neglected is justified to determine the dynamic influence of the bell on the supporting structure and the belfry where it is mounted. The dynamic action of the bell on the structure has to be taken into account for safety reasons. However, it is in fact a negative side effect when compared to the main role of the bell, i.e. the generation of sound. In this aspect the system bell-clapper is to be considered. The sound effects depend on the mutual correlation between the bell and the clapper. Thus, this system has to be modelled as a double pendulum, where the bell motion is evoked by the rotational moment M_d , and the clapper motion – by the bell motion at the point where the clapper is hung. Both motions are mutually interrelated.

A model of the bell-clapper system as a double pendulum is presented in fig. 21.

O_d – bell rotation axis
 m_d – bell mass



Ryc. 19. Konstrukcja łuku wsporczy dla silników liniowych
Fig. 19. Structure of the supporting arch for linear induction motors



Ryc. 20. Zrealizowany napęd elektromagnetyczny dzwonu Bogurodzica w Licheniu
Fig. 20. The electromagnetic drive for Bogurodzica bell in Licheń

serca jest uzasadnione z punktu widzenia określenia oddziaływań dynamicznych dzwonu na konstrukcję wsporczą oraz wieżę, na której jest on zainstalowany. Dynamiczne oddziaływanie dzwonu na konstrukcję, które ze względów bezpieczeństwa musi być brane pod uwagę, jest jednak negatywnym efektem ubocznym w porównaniu z podstawową funkcją dzwonu, jaką jest wydobywanie dźwięku. W tym aspekcie mamy do czynienia z układem dzwon-serce. Efekt dzwonienia jest zależny od wzajemnej korelacji dzwonu i serca. Układ dzwon-serce należy zatem modelować jako wahadło podwójne, w którym ruch dzwonu jest wymuszony obciążeniem momentem obrotowym M_d , a ruch serca jest wymuszony kinematycznie ruchem dzwonu w punkcie zawieszenia serca. Ruch dzwonu i ruch serca są z sobą sprzężone.

Model układu dzwon-serce jako wahadło podwójne przedstawiony jest na ryc. 21. Dla opisu tego układu wprowadzono następujące oznaczenia:

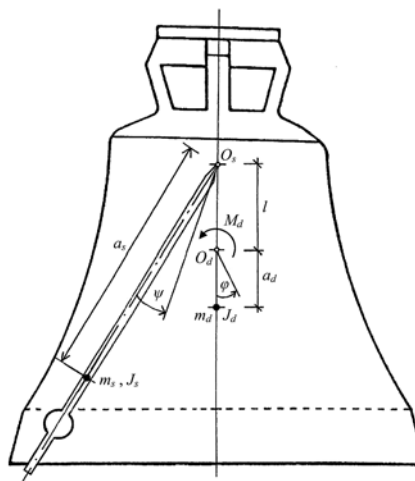
- O_d – oś obrotu dzwonu
- m_d – masa dzwonu
- J_d – moment bezwładności dzwonu względem osi O_d
- O_s – os obrotu serca
- m_s – masa serca
- J_s – moment bezwładności serca względem osi O_s
- M_d – moment obciążający dzwon
- φ – kąt obrotu dzwonu
- ψ – kąt obrotu serca

Równania opisujące ruch układu dzwon-serce modelowanego jako wahadło podwójne są następujące [5]:

$$(J_d + m_s l^2) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} - m_s a_s l \cos(\psi - \varphi) \frac{d^2 \psi}{dt^2} + m_s a_s l \sin(\psi - \varphi) \left(\frac{d\psi}{dt} \right)^2 + g(m_d a_d + m_s l) \sin \varphi = -M_d \quad (51)$$

$$J_s \frac{d^2 \psi}{dt^2} - m_s a_s l \cos(\psi - \varphi) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} - m_s a_s l \sin(\psi - \varphi) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + g m_s a_s \sin \psi = 0.$$

- J_d – bell moment of inertia with respect to the axis O_d
- O_s – clapper rotation axis
- m_s – clapper mass
- J_s – clapper moment of inertia with respect to the axis O_s
- M_d – moment load acting on the bell
- φ – bell rotation angle
- ψ – clapper rotation angle



Ryc. 21. Układ dzwon-serce jako wahadło podwójne
Fig. 21. Bell-clapper system as a double pendulum

Equations describing the motion of the bell-clapper system modelled as a double pendulum take the following form [5]:

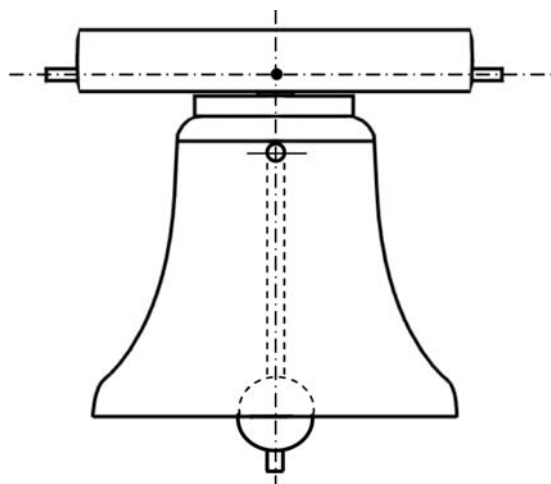
$$(J_d + m_s l^2) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} - m_s a_s l \cos(\psi - \varphi) \frac{d^2 \psi}{dt^2} + m_s a_s l \sin(\psi - \varphi) \left(\frac{d\psi}{dt} \right)^2 + g(m_d a_d + m_s l) \sin \varphi = -M_d \quad (51)$$

$$J_s \frac{d^2 \psi}{dt^2} - m_s a_s l \cos(\psi - \varphi) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} - m_s a_s l \sin(\psi - \varphi) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + g m_s a_s \sin \psi = 0.$$

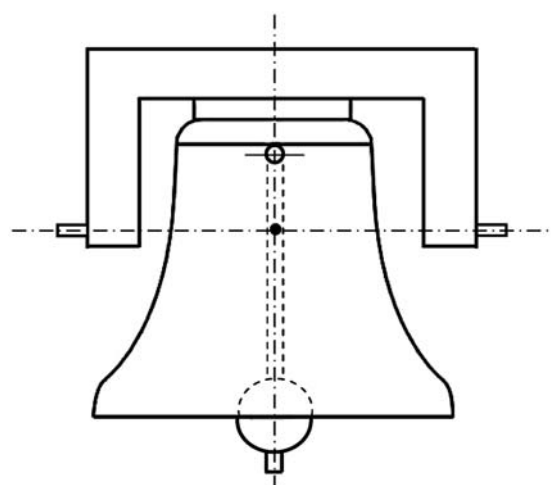
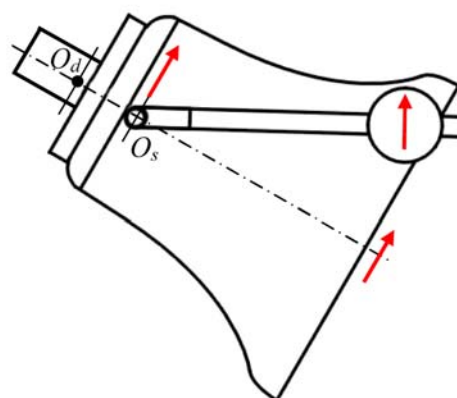
Jest to układ dwóch nieliniowych równań różniczkowych względem funkcji czasu $\varphi(t)$, $\psi(t)$.

Równania (51) nie stanowią jednak pełnego opisu układu dzwon-serce, gdyż nie jest w nich uwzględniony efekt odbicia serca o dzwon.

Układ dzwon-serce pracuje w odmienny sposób, w zależności od tego, czy dzwon jest zawieszony na jarzmie prostym, czy też na jarzmie wykrębnym. Te dwa przypadki różnią się położeniem punktu zawieszenia serca O_s względem osi obrotu O_d dzwonu (ryc. 21).



Ryc. 22. Jarzmo proste – serce dochodzące
Fig. 22. Plain yoke – approaching clapper



Ryc. 23. Jarzmo wykrębnione – serce opadające
Fig. 23. Cranked yoke – falling clapper

Jeśli dzwon jest zawieszony na jarzmie prostym, to punkt zawieszenia serca O_s znajduje się poniżej osi obrotu O_d dzwonu. Wtedy serce porusza się w tym samym kierunku co dzwon, szybciej niż dzwon. W pobliżu maksymalnego wychylenia dzwonu serce dogania dzwon i uderza w górną część wieńca dzwonu wydobywając dźwięk. Jest to tzw. *serce dochodzące* (ryc. 22).

Jeśli dzwon jest zawieszony na jarzmie wykrębnym, to punkt zawieszenia serca O_s znajduje się powyżej osi obrotu O_d dzwonu. Wtedy w pobliżu maksymalnego kąta wychylenia dzwonu serce porusza się w przeciw-

They represent a set of two non-linear differential equations with unknown functions of time $\varphi(t)$, $\psi(t)$.

Equations (51) do not cater for the full description of the bell-clapper system because they do not include the effect of clapper strikes on the bell.

The system consisting of the bell and the clapper exhibits different properties for plain and cranked yokes. These two cases differ in the relative position of the clapper hanging point O_s with respect to the bell rotation axis O_d (fig. 21).

If the bell is hanging from a plain yoke, then the clapper axis O_s is located below the bell rotation axis O_d . In this case the clapper moves in the same direction as the bell does, but it is faster. In the vicinity of the maximal bell swing angle the clapper overtakes the bell and strikes the upper part of the bell rim producing the sound. This layout is called as *approaching clapper* (fig. 22).

If the bell hangs from the cranked yoke, then the clapper axis of rotation O_s is located over the bell rotation angle. In this case, in the vicinity of the bell maxi-

nym kierunku niż dzwon. W momencie uderzenia serce opada na dolną część wieńca dzwonu. Jest to tzw. *serce opadające* (ryc. 23).

W trakcie eksploatacji dzwonu w czasie wielu, np. kilkuset lat, dzwony często pękają. Pęknięcia biorą swój początek w miejscach uderzenia serca w wieniec dzwonu. Po wielu latach eksploatacji, by zapobiec pęknięciu dzwonu, można zmienić miejsca uderzenia serca w wieniec przez obrót dzwonu o 90 stopni.

Pęknięcia dzwonu mogą być spowodowane również innymi przyczynami, np. przez zbyt ciężkie serce dzwonu.

Serca dzwonów również pękają, np. w XIX w. serce dzwonu Zygmunta pękało trzykrotnie. Obecne, nowe serce zainstalowano w roku 2001. Upadek odłamka pękniętego serca może być niebezpieczny i może wywrządzić poważne szkody. Z tego powodu elementy serca zabezpiecza się stalowymi linkami.

During their service in many years, sometimes during several hundreds of years, the bells break frequently. The cracks initiate at the spots where clappers strike bell rims. This can be prevented after some years of service by rotating the bell by 90 degrees and changing the striking spot. Breaking of bells can also be attributed to too heavy clappers.

Also the clappers do break, e.g. the clapper of Zygmunta bell (Cracow cathedral) broke thrice during the 19th century. The currently existing clapper was installed in 2001. Falling of the separated fragment of a clapper can be dangerous and may lead to a serious damage. To eliminate such a danger, clapper parts can be secured by steel cables.

During their service in many years, sometimes during several hundreds of years, the bells break frequently. The cracks initiate at the spots where clappers strike bell rims. This can be prevented after some years of service by rotating the bell by 90 degrees and changing the striking spot. Breaking of bells can also be attributed to too heavy clappers.

Also the clappers do break, e.g. the clapper of Zygmunta bell (Cracow cathedral) broke thrice during the 19th century. The currently existing clapper was installed in 2001. Falling of the separated fragment of a clapper can be dangerous and may lead to a serious damage. To eliminate such a danger, clapper parts can be secured by steel cables.

LITERATURA

- [1] Januszajtis A.: *Gdańskie zegary, dzwony i kariliony*, Wyd. Diecezji Pelplińskiej „Bernardinum”, 2003.
- [2] Jaworski T., Nasieniewski M., Brzegietka K.: *Tajemnice starych dzwonów Torunia i Chełmna*, TONI-K Toruń 2001.
- [3] Müller F.P.: *Berechnung und Konstruktion von Glockentürmen*, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin – München 1968.
- [4] Neufert E.: *Podręcznik projektowania architektonicznego*, Arkady, Warszawa 1980.
- [5] Huber M.T.: *Mechanika ogólna i techniczna*, PWN, Warszawa 1956.
- [6] DIN 4178. *Glockentürme. Berechnung und Ausführung*, April 2005.
- [7] Rapp P.: *Projekt konstrukcji wsporczej dla silników liniowych do napędu dzwonu Bogurodzica w świątyni Matki Bożej Licheńskiej*, Poznań, październik 2004.

Streszczenie

W prezentowanym artykule na wstępie przedstawiono nawiązanie do historii oraz krótki opis dzwonu jako instrumentu muzycznego. W głównym nurcie artykułu w sposób bardziej szczegółowy omówiono kilka podstawowych zagadnień, takich jak mechanika dzwonu traktowanego jako wahadło fizyczne wykonujące płaskie drgania wokół osi obrotu w miejscu oparcia jarzma na konstrukcji wsporczej, oddziaływanie dzwonu na konstrukcję wsporczą, sposoby wzbudzania i podtrzymywania drgań dzwonu, elektromagnetyczny napęd największego w Polsce dzwonu Bogurodzica w Licheniu oraz zawieszenia dzwonów na jarzmach prostych i wykorbionych. Omawiane zagadnienia mają istotne znaczenie nie tylko dla nowo projektowanych dzwonnicy, lecz w znacznie większym stopniu są ważne dla obiektów zabytkowych, w których dynamiczne oddziaływania dzwonów mogą mieć niekorzystny wpływ na ich konstrukcję.

Abstract

In the introduction to the paper a short historical background and a brief description of a bell as a musical instrument is presented. The main part of the paper is devoted to a few fundamental issues related to bell mechanics: bell analysis as a plane physical pendulum vibrating in about the axis passing through the point where yoke is fixed to the supporting structure, action of the bell on the supporting structure, methods of starting and sustaining the bell vibrations, electromagnetic drive of the largest bell in Poland – Bogurodzica and hanging the bells in plain and cranked yokes. These issues are of significant importance not only for newly designed belfries but even in a greater extent to monumental buildings where dynamic action of bells may have a negative influence on the structure.

Jerzy Jasieńko*, Tomasz Nowak*, Anna Karolak*

Historyczne złącza ciesielskie

Historical carpentry joints

Słowa kluczowe: konstrukcje drewniane, połączenia ciesielskie, znaki ciesielskie, połączenia czopowe, połączenia wrębowe, połączenia stykowe, analiza pracy statycznej połączeń, wzmocnienia połączeń

Key words: timber structures, carpentry joint, carpenter's marks, mortise and tenon joints, notched joints, scarf joints, analysis of static behavior of joints, reinforcement of joints

1. WPROWADZENIE – RYS HISTORYCZNY

Rozwój budownictwa drewnianego uwarunkowany był dobrymi parametrami wytrzymałościowymi drewna oraz jego szeroką dostępnością. Wznoszono budynki od obwarowań, poprzez domy i budowle sakralne, aż po wielkie obiekty inżynierskie. Kluczowym zagadnieniem w kształtowaniu tych obiektów było wykonywanie połączeń, które zespalały elementy budynku w całość, zapewniały przenoszenie sił i niejednokrotnie świadczyły o wysoko rozwiniętej technice i kunszcie budowniczych. Budowle z drewna były tworzone już w epoce kamienia i brązu za pomocą ówczesnych prostych narzędzi. Na uwagę zasługują najstarsze drewniane mosty (np. most na Renie z 55 r. p.n.e. czy most Trajana przez Dunaj ze 105 r.). Najstarsze zachowane w Europie obiekty to domy o drewnianym szkielecie wypełnionym deskami i plecionką (IX w.) i domy z bali o konstrukcji zrębowej ścian (X–XII w.). Pierwsze połączenia w tych domach to połączenia trzpieniowe i klinowe. Łączniki wykonywano z drewna twardszego, np. dębowego lub jesionowego. W grodzie Radzim pochodzącym z IX/X w. odkryto pierwsze połączenia czopowe [1]. W pierwszych domach szkieletowych z XIII w. stosowano połączenia czopowe wzmocniane klinami, połączenia wrębowe z czopami i w kształcie jaskółczego ogona. Między XIII a XVII w. nastąpił znaczny rozwój sztuki ciesielskiej i powstały nowe typy konstrukcji więźby, m.in. w gotyckich dachach i barokowych kopułach oraz nowe formy połączeń [1]. Od XVII w. na pograniczu Niemiec, Czech i Polski wznoszono tzw. domy przy-

1. INTRODUCTION – HISTORICAL BACKGROUND

Development of timber construction has always depended on good wood strength properties and ready access to wood material. Timber structures constructed range from defence walls to houses and sacral buildings through to large engineered structures. A key factor in building construction related to the performance of joints, which held together building elements as a single structure and ensured the transfer of forces, demonstrating in many cases highly developed technical expertise and craftsmanship. Wooden structures were being built as long ago as the Stone and Bronze Ages using simple tools that were available at the time. The oldest wooden bridges are especially noteworthy (e.g. bridge across the Reine dated at 55 BC or Trajan's bridge across the Danube dated at 105 AD). The oldest timber buildings preserved in Europe are wooden-framed longhouses filled with planks and braids dating from the 9th century and loghouses based on wall-framed crowned construction dating from the 10th–12th centuries. The earliest joint-types in these buildings were dowel and cotter joints. Joints were made from harder wood, e.g. oak or ash. The first mortise and tenon joints were discovered in the castle-town of Radzim dating back to the 9th and 10th centuries [1]. The first wood-frame house constructions dating back to the 13th century included mortise and tenon joints, strengthened with wedges, notched joints with tenons and dovetail joints. Wood craftsmanship developed significantly between the 13th and 17th centuries with new types of roof structures, incl. gothic roofs and baroque

* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

* Wroclaw University of Technology, Faculty of Civil Engineering

słupowe, gdzie dolne kondygnacje wykonywane były jako konstrukcje zrębowe z połączeniami czopowymi i wrębowymi [2]. Kolejne lata to konstrukcje dachowe o dużych rozpiętościach, oparte często na formie łuku [3]. Stosowanie wielu elementów składowych prowadziło do konieczności wytworzenia wielu połączeń, co było problematyczne. Dlatego do powszechnego użycia weszły łączniki metalowe.

W Polsce od okresu średniowiecza aż do teraz stosowane są rozwiązania ciesielskie. W domach wznoszono przede wszystkim ściany wieńcowe (zrębowe) i sumikowo-łątkowe (ryc. 1), w budynkach gospodarczych ściany szkieletowe z wypełnieniem. Ustroje dachowe to najczęściej więzary krokwiowe lub jętkowe [4] (ryc. 2). Bardziej skomplikowane więzby wznoszono w obiektach sakralnych, które wymagały takich rozwiązań ze względu na większe rozpiętości. Do najstarszych zachowanych przykładów zalicza się więźbę dachową kościoła św. Jakuba w Toruniu, pochodzącą z początku XVI w., ze złączami nakładkowymi w formie jaskółczego ogona [5]. Od poł. XV w. do przełomu wieków XVIII i XIX powszechnie stosowana była storczykowa więźba dachowa [6].

Złożone więzby dachowe wymagały wprowadzenia systemu oznaczeń, który pozwalał na identyfikację poszczególnych elementów, właściwego ich położenia względem siebie oraz ich miejsca w całej konstrukcji [7]. Przykład oznaczeń ciesielskich na historycznej więźbie dachowej, datowanej na podstawie badań dendrochronologicznych na rok 1492, kościoła Najświętszej Marii Panny w Ingolstadt pokazany jest na ryc. 3.

domes, as well as new types of joints [1]. From the 17th century, so-called Upper Lusatian houses were built in the borderlands of Germany, Bohemia and Poland, in which the lower floors were constructed as timber frames held together with mortise and tenon joints and notched joints [2]. In subsequent years, attention focused on large span roof structures, shaped often as arches [3]. Making use of many elements created a need for many joints, which became problematic. For this reason metal joints came to be used extensively.

Carpentry solutions have been applied in Poland from the Middle Ages until today. Crowned and bonded constructions were used especially in houses (fig. 1), whereas wood-frame constructions with filling were used in outbuildings. Roof structures were most common in the form of rafter or collar beam roofs [4] (fig. 2). More complicated roof structures were used in sacral architecture, the need for which arose from the larger surface spans involved. One of the oldest examples preserved is that of the roof structure of the Church of St. Jacob in Torun, dating from the 16th century, which includes notched joints with dovetail tenons [5]. From the second half of the 15th century to the turn of the 18th and 19th centuries king post roof structures became common [6].

Installing more complex roof structures required a system of markings, which enabled identification of individual elements, indicating their location in relation to other elements and their place in the structure as a whole [7]. An example of carpenter's marks on an historical roof structure in Our Lady's Church in Ingolstadt, dated dendrochronologically to the year 1492 is shown in fig. 3.



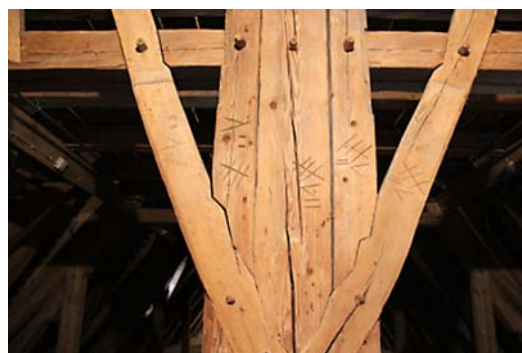
Ryc. 1. Karczma z Sochocina (XVIII w.) z konstrukcją ścian sumikowo-łątkową i chałupa z Rębowa (1875 r.) z konstrukcją zrębową ścian

Fig. 1. The Inn in Sochocin (18th century) with bonded construction walls and the cottage in Rebowo Village (1875) with crowned construction



Ryc. 2. Więżba dachowa jętkowa chałupy z Rębowa (1875 r.)

Fig. 2. A collar beam roof structure in the cottage in Rebowo Village (1875)



Ryc. 3. Znaki ciesielskie na elementach więźby kościoła NMP w Ingolstadt (XV w.)

Fig. 3. Carpenter's marks on elements of the roof structure of Our Lady's Church in Ingolstadt (15th century)

Połączenia ciesielskie to połączenia kształtowane. Zapewniają przenoszenie obciążeń z elementu na element oraz odpowiednie położenie elementów względem siebie. Utrzymują także zdolność do przenoszenia obciążeń po demontażu i powtórny montaż, co stanowi ważną cechę z punktu widzenia prac remontowych i konserwatorskich. Doskonałym tego przykładem może być Świątynia Wang, wybudowana na przełomie XII i XIII w. w Norwegii, przeniesiona w XIX w. do Karpacza, gdzie znajduje się dzisiaj. W kościele wszystkie połączenia zrealizowano za pomocą drewnianych złączy ciesielskich, bez użycia gwoździ, co pozwoliło na demontaż konstrukcji i ponowne jej wzniesienie w innym miejscu.

W [8] pokazano istotność badania zagadnienia połączeń ciesielskich w kontekście analizy całej konstrukcji (tab. 1).

Carpentry joints are customised. This is to assure loading is transferred from one element to another and that elements are appropriately positioned with respect to one another. The capability of transferring loading is retained after disassembly and reassembly, which is an important feature from the perspective of renovation and conservation work. An excellent example in this respect is the Wang Church built at the turn of the 12th century in Norway and transported to Karpacz in the 19th century, where it is to this day. All joints used in the church were wood carpentry joints without nails, which enabled disassembly and reassembly in a new location.

The significance of researching carpentry joints in the context of the whole construction is presented in [8] (tab. 1).

Tab. 1. Zagadnienia dotyczące analizy historycznych konstrukcji

Tab. 1. Problems related to structural analysis of timber constructions

Zagadnienie <i>Problem</i>	Wpływ na wynik <i>Influence on result</i>	Uwagi <i>Remarks</i>
przestrzenny schemat przekazywania sił (redystrybucji) <i>schematic of structural load transfer (redistribution)</i>	tym większy, im większy stopień skomplikowania konstrukcji <i>the more complicated the structure, the greater the impact</i>	stąd wnioskować można, w jaki sposób poszczególne elementy są obciążane <i>It is possible to conclude which elements are subject to which type of loading</i>
kształtowanie podpór <i>form of supports</i>	częściowo znaczny wpływ <i>significant influence in part</i>	zwykle trudne do ustalenia <i>Usually difficult to determine</i>
połączenia ciesielskie <i>carpentry joints</i>	z reguły duży wpływ na wynik <i>usually high influence</i>	Eurokod 5 [9] zaleca uwzględniać w obliczeniach i analizie podatność, mimośrodowość; podatność połączeń wpływa znacząco na przebieg sił wewnętrznych; normy i literatura nie są w tym względzie kompletne <i>According to Eurocode 5 [9] it is recommended to take into account flexibility and eccentricity of joints in calculations; the flexibility of carpentry joints affects significantly the transfer of internal structural forces; technical standards and literature on the subject are incomplete in this regard</i>
przyjęte parametry materiałowe <i>material parameters assumed</i>	średni wpływ na wynik <i>medium influence</i>	zagadnienie złożone ze względu na anizotropowość materiału i różne parametry wytrzymałościowe przy ściskaniu i rozciąganiu <i>complex problem due to the anisotropy of material and different strength parameters during compression and tensiling</i>
wymiary przekroju poprzecznego <i>dimensions of transverse cross – section</i>	niewielki wpływ na wynik <i>small influence</i>	przekroje elementów poza złączami zwykle mają za duże wymiary* <i>Dimensions of cross-sections of elements apart from joints are often oversized*</i>
dalsze efekty <i>further effects</i>	częściowo nieznanne <i>partly unknown</i>	deformacje wynikające z pełzania, zmiany objętości wskutek zmian wilgotności <i>deformations due to creep and volume changes resulting from changes in moisture</i>

* Połączenia ciesielskie osłabiają przekroje elementów łączonych, które muszą mieć wymiary takie, by przenosiły powstałe naprężenia. Stąd przekroje elementów poza złączami mają z reguły większe wymiary niż wynika to z warunków wyężenia, co wpływa na zwiększenie sztywności konstrukcji.

Uwaga: Tabela wykonana na podstawie niepublikowanych materiałów CH.ESS 2013: The Role of Timber in Construction – between Tradition and Innovation (Meisel, Schickhofer).

* *Carpentry joints weaken the cross-sections of elements being joined. They must be of a dimension that enables transfer of structural loadings arising. This is why elements apart from joints have typically larger dimensions than would appear warranted by loading conditions and which contribute to increasing the rigidity of the structure.*

Please note: The table was prepared on the basis of unpublished materials CH.ESS 2013: The Role of Timber in Construction – between Tradition and Innovation (Meisel, Schickhofer).

Zachowanie statyczne połączeń wpływa w znaczący sposób na siły wewnętrzne w modelu statycznym, dlatego, aby przeprowadzić dokładną analizę całej konstrukcji, należy dokonać analizy zachowania połączeń (z uwzględnieniem podatności i mimośrodków).

Static behavior of joints significantly influences internal forces of the static model, which is why carrying out a detailed analysis of the whole structure requires analysis of joints (taking into account their flexibility and eccentricity).

2. TYPY POŁĄCZEŃ

W konstrukcjach historycznych istnieje kilkaset typów połączeń ciesielskich [10], które kształtowały się w wyniku doświadczenia cieśli danego obszaru czy okresu. Dokonuje się różnych podziałów połączeń, w zależności od ich formy na trzpieniowe, klejowe i wrębowe [11], pod względem pełnionej funkcji na przedłużające, zwiększające wymiary, zespalające elementy [12] itd.

2.1. Połączenia ścienne

W konstrukcjach drewnianych ścian wyróżnia się m.in. wieńcowe (zrębowe), szkieletowe (ryglowe) i sumikowo-łątkowe.

Ściany o konstrukcji wieńcowej są najczęściej stosowanym typem w historycznych obiektach drewnianych w budownictwie wiejskim i małomiasteczkowym w Polsce. Istnieje kilkanaście różnych rodzajów połączeń elementów ścian wieńcowych w narożach, nazywanych węglami [5], z osatkami i bez (ryc. 4). Złącza z osatkami były prostsze i tworzyły naroża mocne statecznie. Były to zakładki proste lub w jaskółczy ogon. Złącza bez osatków wykonywano jako zakładki proste lub ukośne.

W obiektach historycznych w Polsce najbardziej powszechne są, nazwane tradycyjnie od regionów występowania, zamek węglowy podhalański i słowiański. Zamek węglowy podhalański zaczął pojawiać się w Polsce już w XV–XVI w., np. w XV-wiecznym drewnianym kościółku z Dębna [5]. Zamek węglowy podhalański jest formą połączenia na nakładkę wzmocnionego klinowatymi wypustami (tab. 2), przez co staje się sztywny i wytrzymały. Połowizny w ścianie łączone są między sobą na twarde drewniane kołki. Zamek słowiański to zamek pletwowy (tab. 2). Nie jest to rozwiązanie tak estetyczne ani korzystne, jak w zamkach podhalańskich. Z powodu braku osatków charakteryzowały się one gorszą izolacyjnością termiczną – przemarzały w narożach ze względu na wyższy współczynnik przenikania ciepła dla drewna wzdłuż niż w poprzek włókien.

W innych rozwiązaniach (tab. 2) belki również łączone były w narożnikach na nakładki lub zamki, a spoczywające jeden na drugim wieńce między sobą kołkami. Rzadszym rozwiązaniem, w przypadku dłuższych ścian i zastosowania słupów pionowych, jest łączenie ich na czop z podwaliną i górną belką [13]. Ściany wewnętrzne łączono ze ścianami zewnętrznymi w jaskółczy ogon lub na nakładki, jak w narożach.

Rozkwit budownictwa szkieletowego, znanego od ponad tysiąca lat, przypada na XV i XVI w. [5]. W Polsce, poza rejonami Pomorza, Warmii, Mazur i Śląska, system ten nie był tak powszechnie stosowany, jak w Niemczech, Francji i Anglii [14], [15].

Konstrukcja połączeń w tego typu ustrojach wyglądała następująco (ryc. 5):

- belki podwalinowe ułożone na podmurówce na całej długości łączone były w narożach na zamek pletwowy (zwany też tyrolskim), w nakładkę prostą kołkowaną lub zamek francuski;

2. JOINT TYPES

Historical structures include several hundred different types of carpenter's joints [10], which were developed through the experience gained by carpenters in a specific area or time-period. Joints are classified in different ways, depending on their form: dowel, glued and notched [11] or their function: extending, increasing dimensions, integrating elements [12] etc.

2.1. Wall joints

In wooden wall structures, the following joints are distinguished *inter alia*: crowned, framed (bolted) and bonded.

Crowned construction of walls is the most common type used in historical timber buildings in Poland's rural areas and small towns. There are a dozen or so different types of joints connecting crowned walls at their corners called quoins [5], with and without protrusions left at the corners (fig. 4). Joints with protrusions were simpler and created statically strong corners. These joints were half lap or dovetail joints. Joints without any protrusions were made as half lap or skewed joints.

The two most common types of joints used in historical buildings in Poland were named after the regions where they originated: Podhale quoined lap joint and Slavic lap joint. The Podhale quoined lap joint started to be used in Poland as early as the 15th–16th century, for example in the 15th century wooden church in Dębno [5]. It is a form of a lap joint reinforced with a wedged tenon (tab. 2), thanks to which the joint becomes rigid and durable. Beams are joined to one another in the wall with hard wooden pegs. The Slavic lap joint is a finger joint (tab. 2). This does not provide for a solution that is aesthetically pleasing nor beneficial in other ways as in the case of Podhale quoined lap joints. Due to the absence of protrusions, Slavic lap joints are characterised by worse thermal insulation properties – leading to freezing in the corners on account of a higher heat transfer coefficient for wood running in parallel with the grain than that running perpendicular to it.

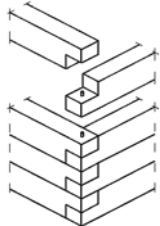
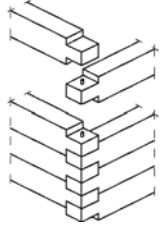
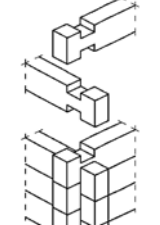
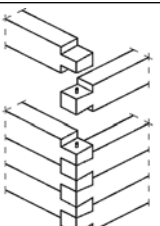
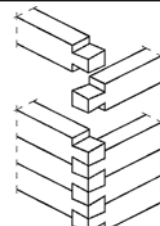
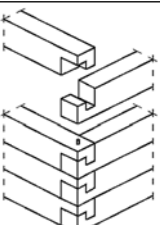
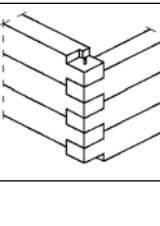
In other solutions (tab. 2), beams were joined in the corners through lap joints or scarf joints, whereas the tie-beams resting upon one another were joined with pegs. A less common solution used in the case of longer walls and vertical pillars is to join them with a mortise and tenon joint to the groundbeam and to the uppermost beam [13]. Internal walls were joined to external walls by means of dovetail or lap joints as in the corners.

The golden age of wooden frame construction, known for over a thousand years, took place in the 15th and 16th centuries [5]. In Poland, aside from the Pomeranian, Warmia, Mazurian and Silesian regions, the system was not as common as in Germany, France and England [14], [15].

The structure of joints in this type of arrangement is presented as follows (fig. 5):

Tab. 2. Złącza ścian wieńcowych w narożach

Tab. 2. Corner connections in crowned constructions

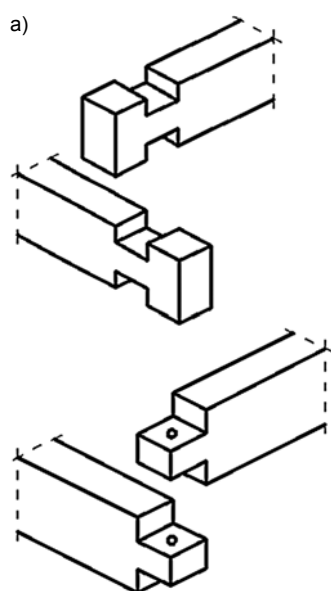
Rodzaj połączenia <i>Type of joint</i>	Rysunek połączenia <i>Joints illustrated</i>	Opis połączenia <i>Description of joint</i>	Uwagi dodatkowe <i>Additional comments</i>
Nakładka prosta z kołkowaniem <i>Half lap joint with pegs</i>		Końce belek pozacinane pół na pół tworzą wieńce wyrównane z góry i dołu <i>The beam ends are cut out half-way and form a crown smoothed from top to bottom</i>	Konieczne kołkowanie <i>Pegs are essential</i>
Na obłap bez ostatek (nakładka obustronna z kołkowaniem) <i>Saddle notch corner joint without protrusions (double half lap joint with pegs)</i>		Wieńce nie są wyrównane; belki mijają się na przemian po wysokości <i>The crown is not smoothed out; beams alternate with one another with height</i>	Tzw. węgiel gładki; konieczne kołkowanie <i>Smooth quoin; pegs are essential</i>
Na obłap z ostatekami (nakładka obustronna z ostatekami) <i>Saddle notch corner joint with protrusions (double half lap joint with protrusions)</i>		Jak powyższe, z wypuszczonymi poza lico ściany ostatekami <i>As above, except with protrusions extending from the wall face</i>	Połączenie nieprzesuwalne, o ile zostaną wypuszczone ostateki <i>The joint is not to be moved if the protrusions are extended outward.</i>
Nakładka pletwowa (nakładka obustronna poszerzana) <i>Finger lap joint (double lap joint widened on both sides)</i>		Nakładka poszerzona obustronnie – w jednej belce z boku od strony wewnętrznej, w drugiej u końca <i>Lap joint widened on both sides – on the internal side of one beam, and at the end of the other</i>	Tzw. cynkowanie; połączenie zabezpieczone przed rozsunięciem w jedną stronę <i>So called galvanization; joint secured against being drawn apart in one direction</i>
Zamek pletwowy (zamek słowiański, zamek tyrolski) <i>Lap joint (Slavic lap joint, Tyrolean lap joint) lap joint with key locking</i>		Wycięcia w belkach poszerzone zarówno u końców, jak i od strony wewnętrznej u boków <i>The notch in beams is extended both at the ends and on the internal sides</i>	Pożądane kołkowanie dla wzmocnienia połączenia <i>Pegs are desirable to strengthen the joints</i>
Zamek francuski <i>French lap joint lap joint with key locking</i>		Wieńce wyrównane obustronnie z wycięciami tworzącymi zamek; jedna z belek trzyma się zakończeniem hakowym, druga rozszerzeniem w jaskółczy ogon <i>Crown is smoothed on both sides of the notches making up the fastener; one beam has a hook end, whereas the other has a dovetail end</i>	Połączenie stosowane do łączenia w narożach podwalin ścian zewnętrznych i działowych <i>This joint is used to connect ground beams to the corners with external and internal walls</i>
Zamek podhalański (zamek góralski) <i>Podhale lap joint (Highlander scarf joint) lap joint with key locking</i>		Nakładka wzmocniona klinowatymi wypustami (tzw. palcami) w jednej belce zaciskanyymi w odpowiadających im wciętych w drugiej belce wpustach <i>Lap joint reinforced with wedge-shaped tenon (so called fingers) in one beam pressed into a corresponding notch cut out in the second beam</i>	
Wrąb zwyczajny <i>Simple notch</i>		Belki zacięte na kilka cm; pozostają między nimi szpary <i>Beam is notched to couple of cm; spaces remain in between the beams.</i>	

- słupy pośrednie połączone były z podwaliną na czopy proste, zaś słupy narożne na czopy boczne (odsadzone);
- zastrzały wpuszczane w podwalinę i oczep na czopy skośne z zaciosem lub bez (nie łączono ich ze słupami);
- rygle łączone ze słupami na czopy proste (połączenie kołkowane), a w nadprożach i parapetach z zaciosem. Rygle z zastrzałami łączone były na czopy skośne (połączenie kołkowane);
- w oczep wpuszczano czopy słupów i zastrzałów. Oczepty łączono w narożnikach jak podwaliny;
- na oczeple położone były belki stropowe połączone na wręby (na jaskółczy ogon, narożny) [13].

Najstarsze znane konstrukcje w typie sumiko-wołatkowym pochodzą z VIII–IX w. Stosowane były wówczas w ścianach budynków mieszkalnych i gospodarczych, m.in. w Biskupinie [5]. Ten typ konstrukcji rozpowszechnił się później na znaczny obszar i przetrwał do dziś, głównie w budownictwie wiejskim Polski północnej i zachodniej. Sumiki (belki poziome) wpuszczane były w żłobki w łątkach (słupkach) na wpust.

2.2. Połączenia stropowe

Belki stropowe w konstrukcjach historycznych generalnie łączone były za pomocą połączeń czopowych. W budynkach o ścianach wieńcowych opierano je na elementach ściany i łączono z nimi zwykle na zamki pletwowe, które zapewniały dobre zakotwienie. W ścianach szkieletowych belki umieszczano na oczeple, stosując połączenia wrębowe (ryc. 5).



Ryc. 4a. Sposoby łączenia ścian wieńcowych w narożach: na zakładkę prostą z ostatekami i bez



Ryc. 4b. Połączenie węglowe z ostatekami na jaskółczy ogon chałupy z Rębowa

Fig. 4a. Methods of joining walls in crowned construction with a half lap joint with and without protrusions at the corners

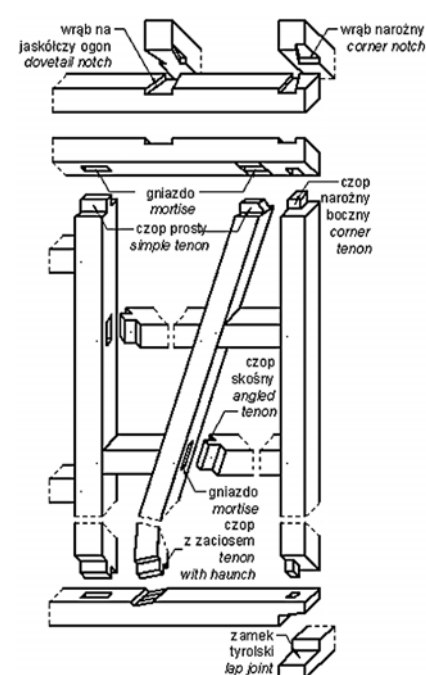
Fig. 4b. Corner joint with dovetail protrusions in the cottage in Rębowa Village

- ground beams are laid on a supporting masonry wall along the whole length of the building joined in corners by a finger lap joint (known also as the Tyrolean lap joint) with a half lap joint with pegs or a French lap joint;
- intermediate posts were joined with the ground beam by means of a simple tenon, whereas the corner pillars were joined with side tenons (teased);
- braces were introduced into the ground beam and capping beam for angled tenons with or without a dovetail (they were not joined with posts);
- bolts were connected to posts with simple tenons (pegged connection), and lintels and parapets with dovetail tenons. Bolts with braces were connected to angled tenons (pegged connection);
- posts and brace tenons were introduced to the capping beam. The capping beams were joined in the corners in the same way as ground beams;
- ceiling beams connected with notched joints (dovetail, corner) were placed on the capping beam [13].

The oldest known bonded constructions date back to the 8th–9th centuries. At that time they were used in residential and outbuildings, *inter alia* in Biskupin [5]. This construction type became widespread and still survives today, mainly in buildings in the rural areas of north and west Poland. Short beams were inserted into grooves in vertical posts using a matching tongue.

2.2. Ceiling joints

Ceiling beams in historical buildings were most commonly joined together by means of mortise and tenon joints. In buildings with crowned construction



Ryc. 5. Szczegóły łączenia ścian ryglowych

Fig. 5. Details of joining timber frame walls

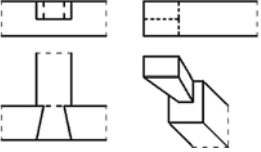
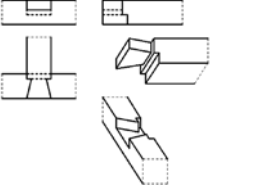
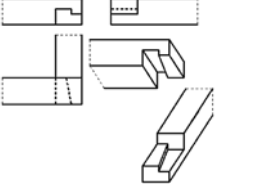
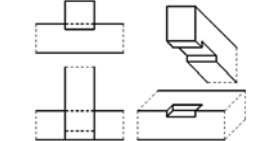

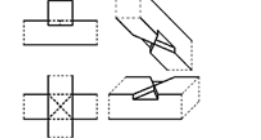
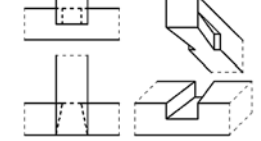
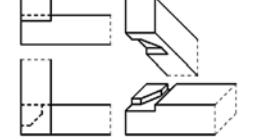
Tab. 3. Złącza w ścianach szkieletowych.

Tab. 3. Connections of wall-frame elements

Rodzaj połączenia <i>Type of joint</i>	Rysunek połączenia <i>Schematic</i>	Zastosowanie, uwagi <i>Applications, notes</i>
Połączenia elementów na długości – podwaliny, oczepy <i>Joining elements lengthwise – ground beams, capping beams</i>		
Nakładka prosta <i>Half lap splice joint</i>		Dla podwalin na podmurówce; konieczne kołkowanie; nie przenosi rozciągania <i>For ground beams on the supporting masonry wall; pegging is essential; does not transfer tension</i>
Nakładka skośna <i>Beveled lap splice joint</i>		Zastosowanie jak nakładka prosta, dla płatwi; konieczne kołkowanie; nieco wytrzymalsza na siły poprzeczne <i>Applied as with the half lap splice joint to purlin plates; pegging is essential; somewhat more resistant to lateral forces</i>
Nakładka zazębiona <i>Tabled lap splice joint</i>		Dla podwalin na pełnym podkładzie lub w innych przypadkach przy wzmocnieniu śrubami lub strzemionami; może przenosić siły rozciągające <i>For ground beams placed on a supporting masonry wall or in other cases with strengthening with internal bolts or stirrups; may transfer tensile stresses</i>
Nakładka na znak pioruna <i>Hooked scarf joint with nibs</i>		Zastosowanie jak nakładka zazębiona; odporniejsza na siły poprzeczne; przy dodatkowym okuciu może przenosić zginanie <i>Applied as with the tabled lap splice joint; more resistant to lateral forces; with additional fittings can transfer flexural loads</i>
Zamek skośny klinowany <i>Wedged tabled splice joint</i>		Np. między słupami ściany ryglowej; wymagane kołkowanie tylko przeciw przesunięciom bocznym; dobrze pracuje na zginanie przy niewielkich rozpiętościach <i>e.g. between posts in a timber-frame wall; pegging is needed only to counteract sideways shifts; good flexural performance for short spans</i>
Zamek na znak pioruna <i>key locked hooked scarf joint with nibs</i>		Zastosowanie i zachowanie jak zamek skośny; odporniejszy na siły poprzeczne; przy odpowiednim okuciu może pracować na zginanie na większych rozpiętościach <i>Application and behaviour as with the tabled splice joint; more resistant to lateral forces; with appropriate fittings, it can carry flexural loads also for larger spans</i>
Połączenia elementów pod kątem – podwaliny, oczepy <i>Angled connecting elements – ground beams, capping beams</i>		
Nakładka prosta <i>simple lap joint</i>		Dla naroży i styków pod kątem, dla podwalin na podmurówce; konieczne kołkowanie; nie przenosi rozciągania <i>For angled corners, for ground beams on a supporting masonry wall; pegging is essential; does not transfer tension</i>
Nakładka zazębiona <i>tabled lap joint</i>		Zastosowanie jak nakładka prosta; nieco wytrzymalsza na siły poprzeczne, jednak przy większych siłach hak może ulec ścięciu <i>Applied as in with the simple lap joint; somewhat more resistant to lateral forces, but with larger forces the hook may be severed</i>

Tab. 3. cd.

Tab. 3. cont.

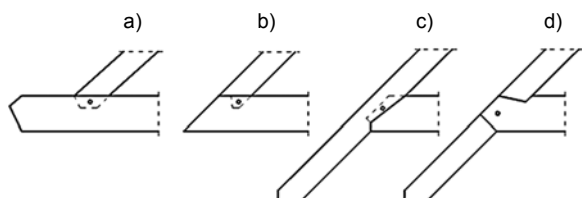
Rodzaj połączenia <i>Type of joint</i>	Rysunek połączenia <i>Schematic</i>	Zastosowanie, uwagi <i>Applications, notes</i>
Nakładka w jaskółczy ogon <i>Dovetailed lap joint</i>		Pracuje lepiej na rozciąganie; osłabia nadmiernie belkę przy dużym wycięciu, przy zbyt małym (mniej niż pół belki) nieodporna na siły ścinające <i>Works best to prevent tension; weakens inordinately the beam where the notch is larger; where the notch is smaller (less than half the beam length) it is not resistant to shearing forces</i>
Nakładka w jaskółczy ogon z posłkiem <i>Dovetailed lap joint with shoulder</i>		Jaskółczy ogon – 1/3 belki, a tylko posłtek przy styku dochodzi do połowy; belka nie jest nadmiernie osłabiona, a połączenie staje się odporne na ścinanie; zastosowanie: w wymianach narożnych <i>Dovetail – 1/3 of the beam, and only the shoulder at the point of contact extends to half way; the beam is not weakened especially and the connection is resistant to shear stresses; used in corner exchanges</i>
Zamek francuski <i>key locked lap joint</i>		Do belek o dużych wymiarach i dobrym materiale; lepsze zamki pletwowe <i>For beams of large dimensions and good materials; finger lap joints are better</i>
Połączenia elementów na wręby – podwaliny, oczepy <i>Connecting elements with notches – ground beams, capping beams</i>		
Wrąb prosty <i>simple notched joint</i>		Zbliżony do nakładki zazębionej, mniejszy wzajemny wpust – 2–3 cm <i>Similar to the table spliced joint; smaller tongue on both sides – 2–3 cm</i>
Wrąb podwójny <i>double notched joint</i>		Lepszy od prostego, gdyż nie osłabia belki na podporze <i>Better than the simple notched joint as the beam is not weakened with respect to its load-bearing support</i>
Wrąb krzyżowy <i>Cross notched joint</i>		Równie dobry jak podwójny, mniej osłabiony przekrój oczepu <i>As good as the double notched joint; weakness of the cross-section of the capping beam is lessened.</i>
Wrąb w jaskółczy ogon <i>Dovetailed notched joint</i>		Znaczne osłabienie przekroju oczepu <i>Considerable weakening of the capping beam cross-section</i>
Wrąb narożny <i>corner notched joint</i>		W tzw. ścięty ząb lub przesunięty jaskółczy ogon <i>With so-called cut tooth or shifted dovetail</i>

2.3. Połączenia w więźbie dachowej

W przypadku najprostszej więźby krokwiowej sposób łączenia krokwi z belką wiązarową zależał od usytuowania ich zakończeń [16]. W przypadku, gdy belka wystawała poza krokiew, stosowano wrąb zębaty z czopami lub bez czopów (ryc. 6a). Gdy belka i krokiew kończyły się w tym samym miejscu, stosowano wrąb zębaty cofnięty (odsadzony) lub czop odsadzony (ryc. 6b). Dla krokwi zwisającej poza belkę, tworzącej okap, stosowano zaś czop z zaciosem lub bez, albo czop na nakładkę (ryc. 6c, d).

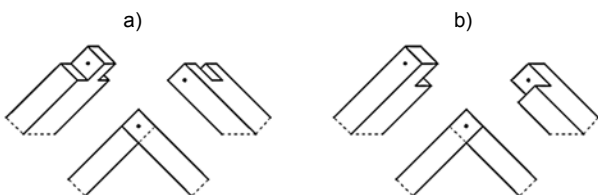
W kalenicy krokwie łączono na zwidłowanie, które umożliwiało przenoszenie sił osiowych i uniemożliwiało przesunięcie krokwi lub, w przypadku zbyt małej szerokości krokwi, która nie pozwalała na wykonane zwidłowania, na nakładkę (ryc. 7).

W więźbach jętkowych jętka była łączona z krokwią na nakładkę zwykłą, w jaskółczy ogon lub na czopy z kołkowaniem (ryc. 8). W przypadku stosowania murłat (namurnic – wg [4]) układano na nich belki wiązarowe na wrąb. Krokwie dołączano niejednokrotnie za pomocą krótkich belek krokwiowych prostopadle na nakładkę w jaskółczy ogon.



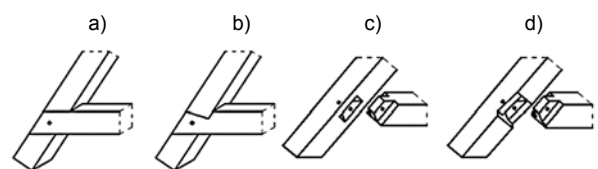
Ryc. 6. Połączenie krokwi z belką wiązarową: a) na czop zwykły, b) na czop cofnięty, c) na czop z zaciosem, d) na nakładkę

Fig. 6. Joints connecting roof rafter and tie-beam: a) simple mortise and tenon, b) receding tenon, c) dovetail tenon, d) lap joint



Ryc. 7. Połączenia krokwi w kalenicy: a) na zwidłowanie, b) na nakładkę

Fig. 7. Types of joints between roof rafters at the roof ridge: a) bridle joint b) lap joint



Ryc. 8. Połączenia jętki z krokwią: a) na nakładkę prostą, b) na jaskółczy ogon, c) na czop zwykły, d) na czop z wrębem

Fig. 8. Types of joint connecting collar beam with roof rafter: a) simple lap joint, b) dovetailed lap joint, c) mortise and tenon, d) mortise and tenon with haunch

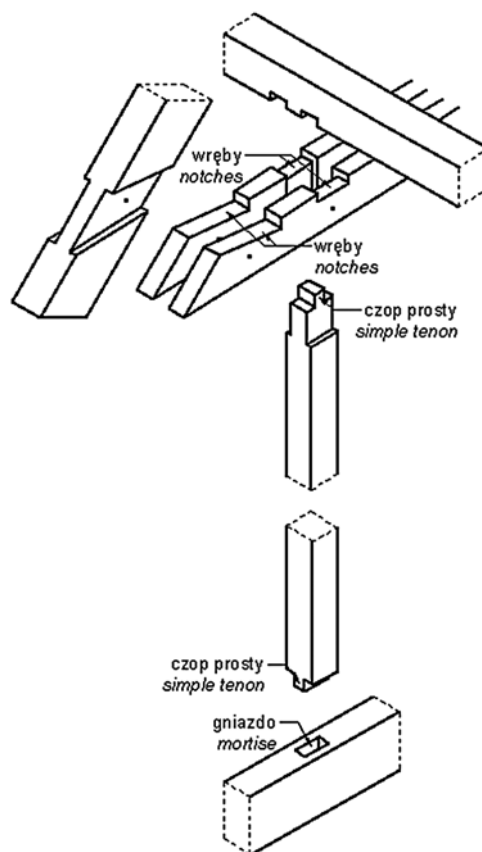
W więźbach płatwiowo-kleszczowych słupy wpuszcane były czopami w gniazda wykonane w belkach wiązarowych lub podwalinowych i płatwiach. Kleszcze wcinano na wrąb w słupy i krokwie (złącza były czasem

walls they rested on wall elements and were joined most commonly with finger lap joints, which assured good anchoring. In framed wall constructions, beams were placed on capping beams and connected by means of notched joints (fig. 5).

2.3. Joints in roof structures

In the simplest form of rafter framing, the method of joining the roof rafters to the tie-beam depended on positioning their endings [16]. Where the tie-beam extended beyond the rafter, use was made of grooved notches with or without tenons (fig. 6a). Where the tie-beam and the rafter end were in the same place, an embedded and receding notch or tenon was applied (fig. 6b). For rafters which extended beyond the tie-beam creating an overhang, dovetail tenons or lap joints were used (fig. 6c, d).

At the roof ridge, rafters were connected using bridle joints, which enabled a transfer of axial forces and prevented shifting of the rafters, or using lap joints in cases where the rafters were unduly narrow and bridle joints could not be used (fig. 7).



Ryc. 9. Połączenie w więźbie płatwiowo-kleszczowej

Fig. 9. Joints in a purlin-tie roof

In collar beam roofs, collar beams were joined to rafters by means of a simple lap joint with a dovetail or mortise and tenon joints with pegging (fig. 8). Where wall plates were used (according to [4]), tie-beams

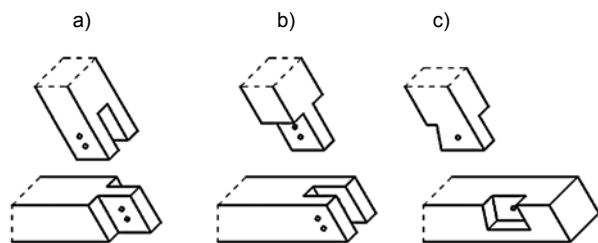
wzmocnione za pomocą śrub). Płatwie nad kleszczami unieruchomione były dzięki wrębom. Krokwie opierane były na płatwiach za pomocą połączeń na wręb [16]. System połączeń w więźbie płatwiowo-kleszczowej przedstawiono na ryc. 9.

W więźbach dachowych kościołów romańskich i gotyckich przykłady pokazują połączenia krokwi z belką na zwidłowanie (połączenia kołkowane), przy czym zwidłowanie może występować zarówno w krokwi (kościół w Niedermending), jak i w belce (katedra w Konstancji, kościół w Rudzie Drogolewskiej z XIV w. [6]) – ryc. 10 (a i b). Inny przykład połączenia krokwi z belką to połączenie na jaskółczy ogon – ryc. 10c (kościół w Szydłowie z XIV w.).

Z czasem zaczęto wykonywać połączenia na czop zwykły lub cofnięty.

Połączenie krokwi w kalenicy wykonywano najczęściej na nakładkę prostą lub zwidłowanie z użyciem kołków początkowo na nakładkę prostą lub jaskółczy ogon, a później na czop i gniazdo zwykłe albo na czop i gniazdo z wrębem. Sposoby łączenia storczyków i wieśzaków przedstawiono w tab. 4.

W [17], [18] opisane jest także połączenie na zamek ukośny, inaczej znak pioruna (ryc. 11), które było powszechnie stosowane w architekturze sakralnej włoskiego renesansu, a które wg badań archeologicznych znane było już w starożytnym Rzymie. Przykład takiego połączenia pochodzi z XVII-wiecznego kościoła św. Antoniego w Ostrawie [17].



Ryc. 10. Połączenia krokwi z belką: a) na zwidłowanie w krokwi, b) na zwidłowanie w belce, c) na jaskółczy ogon

Fig. 10. Types of joints connecting rafter and tie-beam: a) bridle joint on rafter, b) bridle joint on tie-beam; c) dovetail joint

3. ANALIZA PRACY STATYCZNEJ WYBRANYCH POŁĄCZEŃ

Z istotności połączeń ciesielskich w analizie całej konstrukcji zdawano sobie sprawę już w minionych epokach, o czym świadczą zachowane dokumenty, np. [19], [20]. Stan techniczny połączeń wpływa na zdolność konstrukcji do przenoszenia obciążeń, jej zachowanie i deformacje. Uszkodzenie połączeń może być niebezpieczne dla całej konstrukcji ze względu na znaczne osłabienie przekrojów elementów w złączach. Połączenia ciesielskie mogą przenosić obciążenia dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu i dopasowaniu powierzchni. Występujące na powierzchniach styku elementów siły tarcia pomagają w przenoszeniu obciążeń oraz zapewniają spójność złącza. Można stwierdzić, że większość historycznych połączeń

were placed on them on notches. Rafters were joined together in many cases by means of short rafter beams placed perpendicularly using a dovetail lap joint.

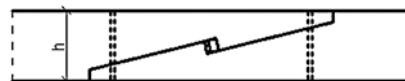
In purlin-tie roofs, posts with tenons were inserted into mortises made in tie-beams or purlin beams. Roof ties were notched into the posts and rafters (sometimes, the joints were reinforced using screws). The purlin beams above the roof ties were immobilized by means of notches. The rafters rested on the purlin beams and connected with the notched joints [16]. The joining system in the purlin roof is presented in fig. 9.

The roof rafters of Romanesque and Gothic churches provide examples of different types of joints connecting roof rafters to beams using bridle joints (pegged joints), where pegs can be found both in rafters (Church in Niedermending) and also in the beam (the cathedral in Constance, church in Ruda Drogolewska from the 14th century in [6]) – fig. 10 (a and b). Another example of connecting the roof rafter and beams involved making use of the dovetail joint – fig. 10c (church in Szydłów from the 14th century).

Over time, simple or receding mortise and tenon joints became common.

Joining rafters at the roof ridge was most commonly realised with a simple lap joint or bridle joint with pegs applied as a simple lap joint or dovetail, and later on as a simple mortise and tenon or a mortise and tenon with haunch. The different ways of joining king and queen posts are presented in tab. 4.

The scarf joint known also as the hooked scarf with nibs is described in [17] and [18] (fig. 11) was widely used in Italian Renaissance sacral architecture and was also known in ancient Rome according to archaeological research. An example of this type of joint can be found in the 17th century Church of St. Anthony in Ostrava [17].



Ryc. 11. Połączenie na znak pioruna (zamek ukośny)

Fig. 11. Scarf joint: key locked hooked scarf with nibs

3. ANALYSIS OF STATIC BEHAVIOUR OF SELECTED JOINTS

The significance of wood joinery for analysing a construction as a whole was recognised in past centuries, as evidenced by surviving documents, e.g. [19], [20]. The technical status of joints influences the capability of the whole building structure to carry loads, as well as building behaviour and deformation. Damage to specific joints could be dangerous for the building structure as a whole as the cross-sections of building elements are weakened at points of connection.. Carpentry joints can carry loads due to appropriate shaping and matching of surfaces. Friction forces arising on surfaces where elements join help to carry loads and ensure joint integrity. It is possible to state that most

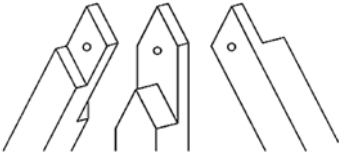
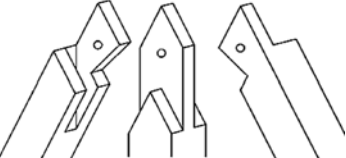
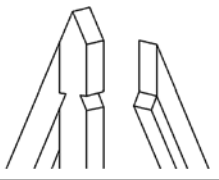
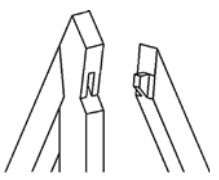
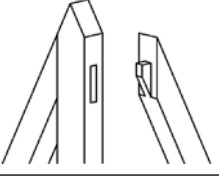
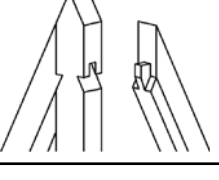
cielskich przenosi naprężenia ściskające i ścinające; niektóre – niewielkie naprężenia rozciągające (połączenia na jaskółczy ogon). Stateczność konstrukcji jest uzależniona od sztywności złącza [21]. W przypadku złączy przegubowych, w odróżnieniu do sztywnych, konieczne było stosowanie stężeń. Przed wprowadzeniem elementów wzmacniających z żelaza i stali uzyskanie sztywnych węzłów było praktycznie niemożliwe.

W Eurokodzie 5 [9] wymagane jest uwzględnienie podatności i mimośrodków w złączach, jednak nie zawarto w nim informacji dotyczących ich ustalania.

historic carpentry joints are able to carry compressive and shear stresses; and some (dovetail joints) relatively small tensile stresses. The static behaviour of the building structure is dependent on the rigidity of the joint [21]. In contrast to rigid joints, hinged joints required the application of braces. Achieving completely rigid joints was practically impossible prior to the introduction of strengthening elements made of metal or steel.

According to Eurocode 5 [9], joinery must take into account flexibility and eccentricity, yet there is no information provided as to how these are to be determined.

Tab. 4. Złącza elementów więźb dachowych
Tab. 4. Joining elements in roof constructions

Rodzaj połączenia <i>Type of joint</i>	Rysunek połączenia <i>Schematic</i>	Zastosowanie, uwagi <i>Application, notes</i>
Połączenie storczyka z krokiewmi w więźbie storczykowej <i>Joints for connecting the king post to rafters in a king post truss</i>		
Nakładka prosta <i>halved lap joint</i>		Połączenie zapewnia współpracę krokwi i pionowego stężenia dachu; nie musi przenosić obciążeń pionowych; konieczne kołkowanie; Przykład: dach kościoła w Szydłowie [13] <i>The joint ensures cooperation between rafters and the vertical bracing of the roof; it does not necessarily entail transfer of vertical loading; pegging is essential; Example: church roof in Szydłów [13]</i>
Zwidlowanie <i>bridled joint</i>		Połączenie zapewnia współpracę krokwi i pionowego stężenia dachu; nie musi przenosić obciążeń pionowych; konieczne kołkowanie; precyzyjniejsze ustawienie elementów względem siebie niż w przypadku nakładki <i>The joint ensures cooperation between rafters and the vertical bracing of the roof; it does not necessarily entail transfer of vertical loading; pegging is essential; more precise positioning of elements with respect to one another than in the case of the halved lap joint</i>
Na wręby <i>notched joint</i>		Połączenie zapewnia współpracę krokwi i pionowego stężenia dachu; nie musi przenosić obciążeń pionowych; Przykład: dach kościoła w Domachowie [6] <i>The joint ensures cooperation between rafters and the vertical bracing of the roof; it does not necessarily entail transfer of vertical loading; Example: church roof in Domachow [6]</i>
Inne: na styk z kołkiem oraz na styk z kołkiem ze ściętym obustronnie storczykiem <i>Other: adjacent to the peg or adjacent to the peg with the king post bevelled on both sides</i>		
Połączenie wieszaka z krokiewmi <i>Joints for connecting queen posts to rafters</i>		
Czopy cofnięte <i>Receding mortise and tenon joint</i>		Połączenie ma przenosić siły między wieszakiem a krokiewmi <i>The joint allows transfer of forces between the queen post and rafters</i>
Czopy cofnięte z ukosowaniem wieszaka <i>Receding mortise and tenon joint with bevelling of the king post</i>		Połączenie ma przenosić siły między wieszakiem a krokiewmi; ukosowanie wieszaka zwiększa znacznie nośność połączenia <i>The joint allows transfer of forces between the queen post and rafters; the bevelling of the post significantly increases the load-bearing capacity of the joint</i>
Czopy cofnięte z wrębami w wieszaku <i>Receding mortise and tenon joint with notches in the king post</i>		Połączenie ma przenosić siły między wieszakiem a krokiewmi; wykonanie wrębów w wieszaku znacznie zwiększa nośność połączenia <i>The joint allows transfer of forces between the queen post and rafters; notches in the post significantly increase the load-bearing capacity of the joint</i>

W analizie uwzględnić należy podatność złączy, których modelowanie wiąże się z trudnością, wynikającą z różnic w geometrii i różnych cech mechanicznych dla każdego złącza ([22], [23], [24], [25]). W [8] przedstawiono wartości sztywności oszacowane dla powszechnie występujących połączeń o typowych wymiarach (tab. 5).

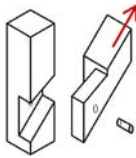

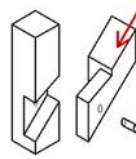
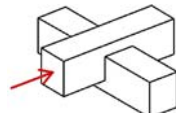
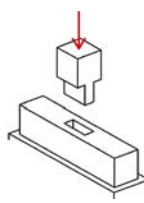
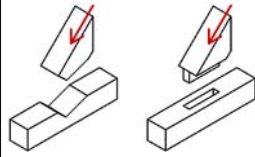
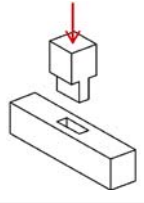
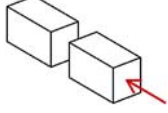
Powinno się uwzględniać mimośrodowość złączy, gdy wartości oczekiwanych sił normalnych lub mimośródów są duże, tak, że uzyskuje się znaczne wartości momentów zginających. Na przykładzie połączenia na wrąb czołowy (ryc.12a) widać, że miejsce przekazania

Analysis must take into account the flexibility of joints, which presents modelling with difficulties due to different geometry and different mechanical properties of each joint ([22], [23], [24], [25]). The estimated stiffness values for the most common joints of the most typical dimensions are presented in [8] (tab. 5).

The eccentricity of the joint should be considered when the expected values of normal or eccentric forces are so large that they generate significant bending moment values. The example of a frontal angled notched joint (fig. 12a) shows that the point of force transfer is

Tab. 5. Przykładowe wartości sztywności dla poszczególnych połączeń [8]

Tab. 5. Example stiffness values for different types of joints [8]

Rodzaj połączenia <i>Type of joint</i>	Rodzaj obciążenia <i>Type of load</i>	Szkic <i>Sketch</i>	Wartość sztywności <i>Stiffness value</i>
Połączenie na jaskółczy ogon <i>Dovetail joint</i>	rozciąganie <i>tension</i>		1–3 kN/mm
Kolek drewniany <i>Wooden peg</i>	ściananie <i>shearing</i>		2–7 kN/mm
Połączenie na jaskółczy ogon <i>dovetail halved joint</i>	ściskanie <i>compression</i>		5–30 kN/mm
Wrąb jednostronny <i>notched and halved joint</i>	ściskanie <i>compression</i>		10–20 kN/mm
Czop zwyczajny pełny ~ belka podparta w sposób ciągly <i>Inclined tenon</i> ~ continuously supported beam	ściskanie <i>compression</i>		80–150 kN/mm
Wrąb pełny, wrąb z czopem <i>single abutting joint/ single step joint</i>	ściskanie <i>compression</i>		80–150 kN/mm
Czop zwyczajny pełny ~ belka niepodparta w sposób ciągly <i>Inclined tenon</i> ~ Beam that is not continuously supported	ściskanie <i>compression</i>		150 kN/mm
Styk poziomy prosty <i>butt joint</i>	ściskanie <i>compression</i>		→ ∞



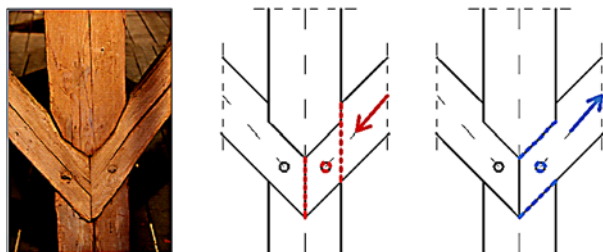
Ryc. 12. Schematy węzłów i ich mimośrody

Fig. 12. Schematics of joints and their eccentricities

siły nie jest równoznaczne z miejscem przecinania się osi prętów – powstaje więc mimośród. O ile w tym przypadku jest prosty do wyznaczenia, to w przypadku bardziej złożonych połączeń (jak np. w węźle pokazanym na ryc. 12b), jest to zagadnienie bardziej skomplikowane.

Na zachowanie statyczne połączeń ciesielskich, oprócz wymienionych zagadnień, wpływ ma wiele innych czynników, często trudnych do określenia. Są to między innymi: spękania, sęki, nierównomierny przebieg włókien i inne niedoskonałości występujące w drewnie; wcześniejsze obciążenia i związane z nimi odkształcenia materiału oraz obciążenia długotrwałe; wilgotność wpływająca na zachodzące zjawiska zmiany objętości – skurcz i pęcznienie.

W zależności od sposobu obciążenia złącze może różnie pracować i siły/naprężenia przenoszone są przez różne jego części (ryc. 13), co skutkuje różnicą w podatności.



Ryc. 13. Schemat połączenia na jaskółczy ogon z zaznaczonymi elementami przenoszącymi obciążenia pod wpływem siły ściskającej (kolor czerwony) – docisk i rozciągającej (kolor niebieski) – tarcie
Fig. 13. Schematic of a dovetail joint with identification of elements carrying compressive loads (red colour) – contact pressure and tensile loads (blue colour) – friction

Kołki nie tylko wspomagają przenoszenie sił rozciągających, ale także zapewniają dokładne usytuowanie elementów względem siebie. Z analiz, m.in. w [6], [26], [27], [28] wynika, że kołki są elementami zwiększającymi w sposób znaczący nośność połączenia.

Połączenia czopowe

Połączenia na czop i gniazdo przenoszą przede wszystkim naprężenia ściskające. Nie były zbyt mocne i wymagały kołkowania. Zwykle otwór na kołek w czopie był lekko przesunięty w stosunku do otworu w gnieździe tak, że złącze zostawało zacieśnione po wprowadzeniu kołka. Siła między kołkiem a czopem powodowała przyleganie do gniazda i zapewniała złączu ścisłe przy-

not always the same as the crossing-point of rod axes – eccentricities arise as a result. In this case, determining the force transfer is straightforward, but in more complex joints (as for example in the joint shown in fig. 12b) the matter is much more complicated.

In addition to the matters discussed, the static behaviour of carpentry joints is influenced by many other factors, which are often difficult to determine. These include *inter alia*: cracks, knots, irregular direction of wood grain and other imperfections appearing in the wood; earlier loading and subsequent material strains or long-term loading; humidity influencing volume changes – contraction and swelling.

Depending on the type of loading, the joint can behave differently and the forces/stresses are carried by different parts of the joint (fig. 13), which results in differences in maleability.

Pegs not only enable the transfer of tensile forces, but also ensure that elements are positioned precisely in relation to each other. From analyses reported *inter alia* in [6], [26], [27], [28] it can be concluded that pegs are elements, which significantly increase the load-bearing capacity of the joint.

Mortise and tenon joints

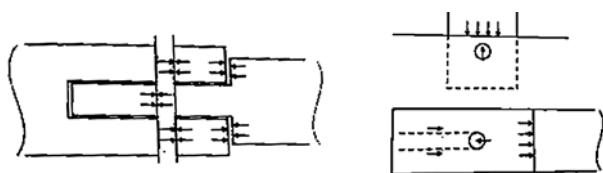
Mortise and tenon joints transfer compressive stress in the first instance.

They were not strong and so required pegging. Most commonly, the peg in the tenon was slightly displaced in relation to the opening in the mortise so that the joint could be tightened following insertion of the peg. The force between the peg and the tenon caused adherence to the mortise and assured tight adherence of the joint. The peg was bent and subjected to stresses resulting from its function to stiffen the joint (fig. 14). Too large a force in the joint could also destroy the peg. Pegs were made from harder wood, as with softer wood, the destruction would take place more quickly due to shear stresses [21], [29]. As the distance to the ends beyond the peg is limited, the joint does not carry significant tensile loads [30].

Notched joints

Notched joints transfer mainly compressive loads. Depending on the form of the notch, it is possible to

leganie. Kołek był zginany, występowały w nim naprężenia wynikające z tego, że usztywniał złącze (ryc. 14). Zbyt duże siły powstające w złączu mogły spowodować zniszczenie kołka. Kołki wykonywane były z twardego drewna; w miękkim proces zniszczenia następowałby szybciej w wyniku ścinania [21], [29]. Jako że odległość końców poza kołkiem jest ograniczona, połączenie nie przenosi znacznych obciążeń rozciągających [30].



Ryc. 14. Schemat rozkładu sił w kołkowanym połączeniu [29]

Fig. 14. Schematics showing distribution of forces in a pegged joint [29]

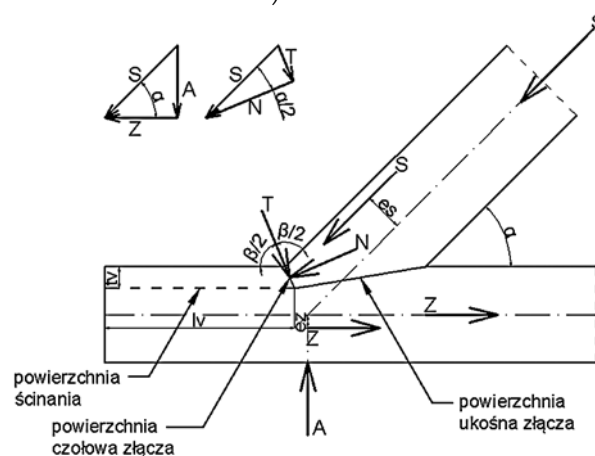
Połączenia na wręby

Połączenia na wręby przenoszą głównie obciążenia ściskające. Ze względu na formę wrębów można wyróżnić połączenia na wręby policzkowe i czołowe: pojedyncze i podwójne, wykonywane przy dużych siłach ściskających i małych kątach (do 25°) w celu korzystniejszego rozkładu sił i naprężeń [11]. Wartość przenoszonej siły jest zależna od wartości dopuszczalnych naprężeń na docisk w pochylonych powierzchniach wrębu, od odpowiadającej powierzchni elementu przyjmującego obciążenie i od wielkości powierzchni wrębu [31]. W przypadku idealnym siła ściskająca byłaby rozłożona na składowe działające na dwie powierzchnie styku: czołową i ukośną. Jednak w warunkach rzeczywistych pojawiają się szczeliny, nie można zatem zakładać idealnego przylegania powierzchni. Przyjmuje się, że siła ściskająca jest przenoszona jedynie przez docisk czołowy. Siłę ściskającą S rozkłada się na normalną N i poprzeczną T (ryc. 15), w wyniku czego powiększa się mimośród siły S względem osi elementu. Siła poprzeczna T przenoszona jest przez tarcie występujące na powierzchni czołowej lub na przedniej części powierzchni ukośnej. Najkorzystniejszym położeniem powierzchni czołowej wrębu jest położenie po dwusiecznej kąta rozwartego połączenia, gdyż skutkuje ono uzyskaniem najmniejszej wartości kąta między kierunkiem działania siły a kierunkiem włókien i w rezultacie prowadzi do zwiększenia wartości dopuszczalnej docisku i zmniejszenia głębokości wcięcia, czyli najmniejszego osłabienia przekroju elementu. W poziomym elemencie występują także naprężenia ścinające, które mają rozkład nierównomierny (największa wartość tych naprężeń występuje najbliżej powierzchni czołowej wrębu i zmniejsza się wraz z oddalaniem się).

Połączenia stykowe

Połączenia stykowe, stosowane do przedłużania elementów, wykonywano w najmniej wyężonym przekroju, gdyż łączone elementy w styku nigdy nie

distinguish joints with side and leading surface notches: single and double notches, which are realised when there are large compressive forces and small angles (up to 25°) with the objective of bringing about a more favourable distribution of forces and stresses [11]. The value of the force transferred is dependent on the value of stress allowed for the contact pressure on the inclined surface of the notch, as well as on the surface area of the element to which the loading is transferred and on the size of the notch surface [31]. In the ideal situation, the compressive force would be distributed on the joint elements impacting the two adjoining surface areas: the leading and inclined ones. But in field conditions, fissures appear, which means that it is impossible to assume an ideal contiguity between the surfaces. Thus it is assumed that compression force is transferred only through the leading surface contact pressure. The compressive force S is divided into a normal force N and a transverse force T (fig. 15), which results in an increase of eccentricity of the force S in relation to the axis of the element. The transverse force T is transferred through friction on the leading surface or the front part of the inclined surface. The most favourable position for the notch leading surface is the position following the open angle bisector of the joint, as this results in attaining the smallest value of the angle between the direction of force and the direction of wood grains of the wood fibres and which leads to increasing the allowable value of contact pressure and reducing the depth of the notch – in other words, the smallest weakening of the element cross-section. In an horizontal element, shear stresses also appear, which have an irregular distribution (the highest value of such stresses appears nearest the leading surface and decreases with distance).



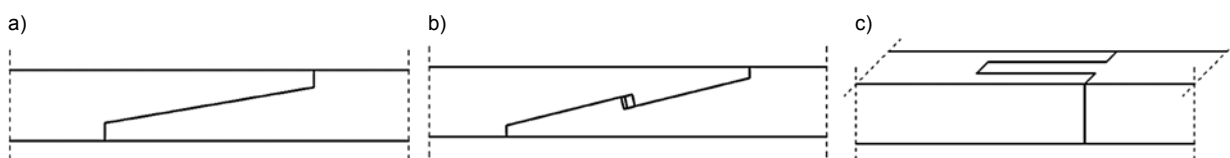
Ryc. 15. Schemat przenoszenia sił w połączeniu na wręb czołowy pojedynczy

Fig. 15. Schematic showing load transfer in an angled simple notched joint

Scarf joints

Scarf joints are used to elongate building elements and were applied in the least strained cross-section as elements where they are joined will never have the

mogły mieć takiej nośności jak przekrój niełączony [30]. W historycznych konstrukcjach połączenia te, poza przedłużaniem podwalin i oczepów w budynkach szkieletowych, wykonywane były do przedłużania elementów więźb dachowych, takich jak płatwie czy belki wiązarowe. Prosta nakładka skośna (ryc. 16a) mogła być stosowana w przypadku złączy obciążonych prostopadle i zlokalizowanych przy podporze. Wówczas złącze odpowiadało za przeniesienie sił ścinających. W przypadku łączenia elementów rozciąganych, takich jak belki wiązarowe, konieczne było zastosowanie innego połączenia. Dla elementów rozciąganych wykonywano zamki na znak pioruna (ryc. 16b). Połączenia były klinowane, co miało pomagać w przenoszeniu obciążeń oraz zapewniać ścisłość złączy. Gdy siła, która miała zostać przeniesiona przez złącze, działała w innej płaszczyźnie, np. dla murłat obciążonych siłą poziomą przekazywaną z krokwi, stosowano złącza na zwidłowanie (ryc. 16c). Złącza te często ulegały zniszczeniu, głównie z uwagi na znaczne osłabienie przekroju [29].



Ryc. 16. Połączenie stykowe: a) na nakładkę skośną, b) na znak pioruna, c) na zwidłowanie
 Fig. 16. Scarf joints: a) nibbed scarf, b) key locked hooked scarf with nibs, c) bridle scarf

Przykłady typowych połączeń w historycznych więźbach dachowych

Połączenie krokwi z belką tramową ma przenosić rozpór (siłę poziomą) oraz siłę pionową z krokwi. W przypadku powszechnie stosowanych połączeń na zwidłowanie (ryc. 10) siła pionowa przenoszona jest przez docisk, a pozioma siła rozporu przez tarcie pomiędzy belką i krokwią oraz kołki. Wielkość siły tarcia zależy od kąta nachylenia krokwi i dla większego kąta nachylenia jest większa. Wartość współczynnika tarcia spada z 0,6 dla elementów suchych do 0,35 dla elementów zawilgoconych [26], [27], a co za tym idzie zmienia się wartość kąta nachylenia dachu, przy którym tarcie równoważy rozpór poziomy. Analizy w [6] wykazały, że dla przykładowej więźby krokwiowej w stanie suchym kąt nachylenia, przy którym rozpór jest równoważony przez siłę tarcia, wynosi ok. 40°, a w przypadku zawilgocenia minimum 55°. Liczne konstrukcje nie spełniały tego warunku i gdy dochodziło do uszkodzenia pokrycia dachu i zawilgocenia drewna, wiele połączeń ulegało zniszczeniu. W rzadszym połączeniu krokwi z belką na jaskółczy ogon (ryc. 10 c) siła pionowa przenoszona jest przez docisk krokwi do belki, siła pozioma przez ścinanie nakładki (czopa krokwi) i jej docisk do czołowej ściany wycięcia w belce. Dla późniejszych połączeń czopowych przenoszenie sił realizowane jest podobnie. Połączenie jętki z krokwią na jaskółczy ogon było stosowane najczęściej, gdyż mogło przenosić siłę rozciągającą. Wszystkie rozwiązania przenoszą docisk do krokwi i ścinanie.

Examples of typical joinery in historic roof structures

Joining rafters to the cross-beam is aimed at transferring thrust (horizontal force) and vertical force from the rafter. In the case of commonly used bridle scarf joints (fig. 10), the vertical force is transferred through contact pressure, whereas the horizontal thrusting force is transferred through friction between the beam and the rafter and pegs. The friction force value depends on the angle of the inclination of the rafter and is larger for larger angles. The value of the friction coefficient falls from 0.6 for dry elements to 0.35 for damp elements [26], [27], which in turn changes the angle of inclination of the roof to where the friction is counterbalanced by horizontal thrust force. Analyses [6] have shown that in an example dry roof rafter structure, the angle of inclination at which the friction force is counterbalanced is approx. 40°, whereas for damp ones the minimum is 55°. Many building structures did not meet this condition and when the roof cover sustained damage and damp affected the wood, many joints were destroyed. In the case of application of the rarer dovetail joint in connecting the rafter and beam (fig. 10c), the vertical force is transferred through contact pressure of the rafter on the beam, whereas the horizontal force is transferred through shearing of the lap joint (the rafter tenon) and its contact pressure on the leading surface of the mortise in the beam. In the case of subsequent mortise and tenon joints forces are transferred in a similar

Połączenie rygla ze słupem, wykonywane zwykle na czop i gniazdo, przenosi docisk oraz ścinanie równoległe do słupa. Analogicznie jest to w przypadku połączeń ze storczykiem lub wieszakiem.

Badania i analizy połączeń ciesielskich

W [34], [35] opisano m.in. połączenia czopowe i nakładkowe (ryc. 16) w strukturach więźb dachowych barokowych kościołów. Analizowano ich sztywność, stanowiącą złożone zagadnienie w modelowaniu konstrukcji (opisano m.in. w [8]). Zwrócono uwagę na połączenie wieszaka ze skośnymi elementami stężającymi. Do wieszaka zamocowane są dwa elementy, wzmacnione jedynie drewnianym kolkiem. Było to połączenie niezbyt mocne, prawdopodobnie więc było jego zerwanie przy pojawieniu się dużych naprężeń rozciągających, np. podczas występowania silnego wiatru. Wszystkie złącza tego typu zostały do dziś zniszczone [35]. Oznaki uszkodzenia złączy to luzy między łączonymi elementami, które mogą powstać w wyniku skurczu drewna – np. połączenia nakładkowe lub przez niedokładność dopasowania – głównie połączenia czopowe.

Badania doświadczalne oraz modele analityczne i numeryczne złączy w konstrukcjach drewnianych historycznych przedstawiono m. in. w [26], [27], [28], [36], [37].

Badania elastooptyczne i analiza numeryczna

Jedną z metod badań połączeń ciesielskich jest metoda elastooptyczna [28]. W metodzie tej buduje się model połączenia z materiałów przezroczystych, dzięki czemu możliwe jest wykorzystanie zjawisk polaryzacji światła i dwójłomności wymuszonej materiału. Jako wynik badania otrzymuje się obraz izochrom, linii będących połączeniem punktów, w których różnica naprężeń głównych jest taka sama. Pokazuje to stan naprężeń w badanych elementach.

Bazując na metodzie elastooptycznej, w [28] i [37] dokonano analizy połączeń czopowych (połączenie wieszaka z tramem) i na jaskółczy ogon (połączenie jętki z krokwią, krokwi z zastrzałem, storczyka z mieczami i tramu z mieczami) z trzpieniem drewnianym, z trzpieniem stalowym i bez trzpienia przy ściskaniu i rozciąganiu. Na podstawie otrzymanych obrazów izochrom otrzymano informacje o różnicy naprężeń głównych występujących w analizowanym obszarze. Otrzymane wartości i rozkłady naprężeń były w większości zbieżne z wynikami analiz numerycznych (ryc. 17, 18). Różnice w wynikach spowodowane są różnymi modelami przyjętymi do badań elastooptycznych, wykonanych z kompozycji żywicznej, będącej materiałem izotropowym, podczas gdy drewno jest materiałem anizotropowym. Na ryc. 17, 18 przedstawiono obraz izochrom i rozkład naprężeń dla wybranego połączenia.

way. Dovetail joints were used to connect collar beams to rafters most frequently, as they could transfer tensile forces. All solutions transfer contact pressure onto the rafter, as well as shearing forces.

Connections of the spandrel beam to the post usually involved a mortise and tenon joint, which transferred contact pressure and shearing force parallel to the post. An analogous situation takes place in the case of connections with king or queen posts.

Testing and analysis of carpentry joints

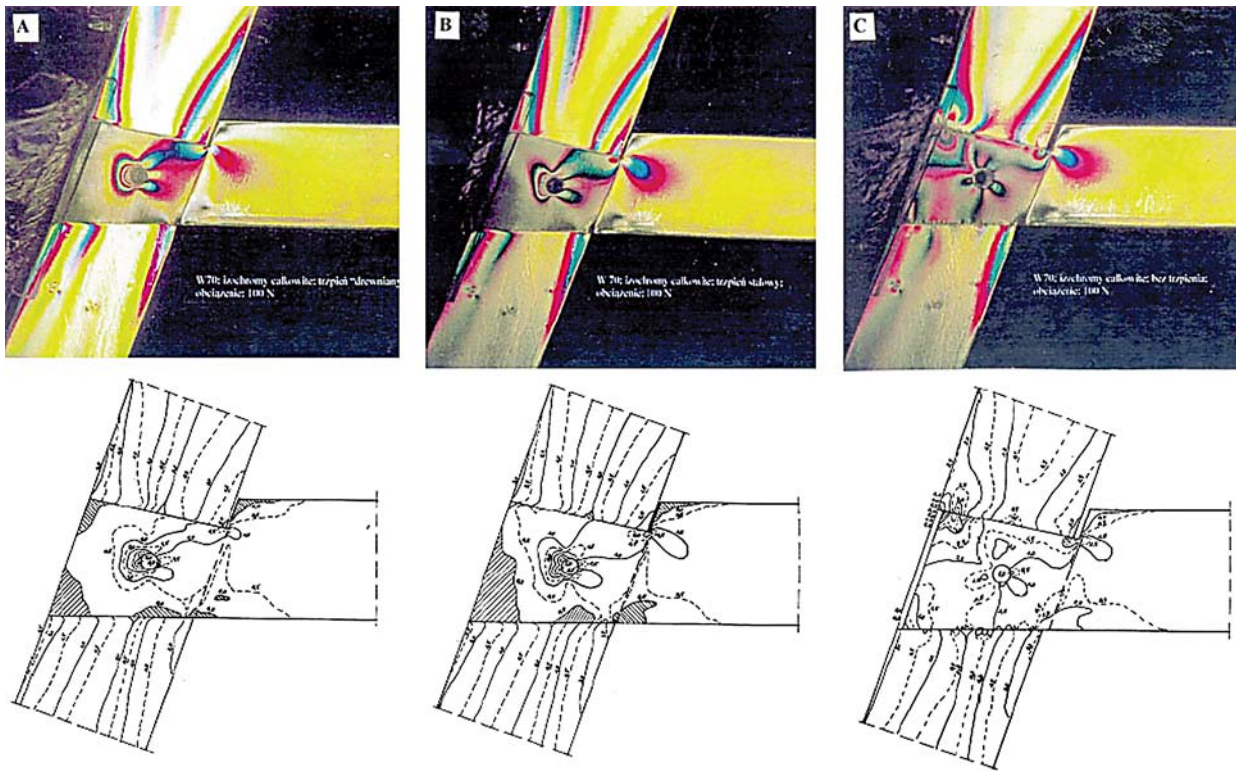
Studies [34], [35] have discussed application of *inter alia* mortise and tenon joints and lap joints (fig. 16) in the roof structures of baroque churches. Their rigidity was analysed as a complex problem of modelling building structures (described *inter alia* in [8]). Attention was paid to the connection of a king post to angled braces. The king post has two elements connected to it, strengthened only with a wooden peg. This did not make for a very strong joint, and so it was more than likely that it would be damaged with the appearance of large tensile stresses, e.g. as in the case of strong winds. All joints of this type have been destroyed [35]. An indication of joint damage is a loosening of elements, which were once joined. This arises also from wood contraction – e.g. as in lap joints or due to imprecision in matching the two elements – mostly in the case of mortise and tenon joints.

Experimental testing and analytical and numerical modelling of joinery in historic wooden building structures is discussed *inter alia* in [26], [27], [28], [36], [37].

Photo-elasticity testing and numerical analysis

One method of testing carpentry joints is photo-elasticity testing [28]. The method involves building a model of the joint using transparent material, thanks to which it is possible to use light polarisation properties and birefringence of the material. The result of the test is an isochromatic picture, which consists of a line joining points, where the difference in relation to the main stresses the same. This indicates the state of stress in the tested elements.

Based on the photo-elasticity test, an analysis [28] and [37] was carried out on mortise and tenon joints (connecting the king post to the cross-beam) and on dovetail joints (connecting the collar beam to the rafter, the rafter to the brace, the king post to angle ties and the cross-beam to the angle ties) with wooden pegs, with steel pegs and without pegging with respect to both compressive and tensile stresses. Based on the isochromatic pictures, information was obtained on the differences in the main stresses appearing in the analysed area. The values obtained and the stress distribution were in the main consistent with the results of numerical analysis (fig. 17, 18). The differences in results which appeared, could be attributed to the different models used to undertake the photo-elasticity



Ryc. 17. Wyniki badań metodą elastoptyczną dla połączenia krokwi z jętką na jaskółczy ogon przy rozciąganiu wg [28]: A – z trzpieniem drewnianym, B – z trzpieniem stalowym, C – bez trzpienia

Fig. 17. Results from photo-elasticity tests of rafter and collar-beam dovetail connections subjected to tensile stress according to [28]: A – with wooden peg, B – with steel peg, C – without peg

W badaniach elastoptycznych (ryc. 17) zaobserwowano w połączeniu z trzpieniami koncentrację izochrom przy trzpieniu od strony przeciwnej niż działanie siły. Przebieg izochrom w czopie jaskółczego ogona, w jętce i w krokwi jest podobny. Maksymalne wartości izochrom są takie same bezpośrednio przy trzpieniach. Układ i wartości izochrom wskazują, że obciążenie przenoszone jest głównie przez trzpienie. W połączeniu bez trzpienia, gdzie całe obciążenie przenoszone jest przez czop i gniazdo, czop jętki uległ znacznemu przemieszczeniu w kierunku działania siły. Koncentracja izochrom występuje wzdłuż obu krawędzi połączenia, a maksymalne wartości pojawiają się w górnym narożu jaskółczego ogona i w krokwi.

Na podstawie analizy numerycznej (ryc. 18) stwierdzono, że w połączeniu bez trzpienia (model I), przy rozciąganiu, naprężenia koncentrują się w narożach i w pobliżu naroży połączenia. W połączeniu z trzpieniem drewnianym (model II) naprężenia koncentrują się wokół trzpienia, a ich maksymalne wartości są znacznie niższe niż w przypadku połączenia bez trzpienia. W połączeniu z trzpieniem drewnianym współpracującym z czopem i gniazdem połączenia (model III) układ naprężeń świadczy o współpracy trzpienia i gniazda w przenoszeniu obciążeń. Wartości naprężeń są niższe niż w przypadku przenoszenia obciążeń tylko przez trzpień drewniany (model II).

W badaniach [28], [37] okazało się, że dla połączenia czopowego przy ściskaniu naprężenia w znacznym stopniu przenoszone są przez docisk elementu, w dużo

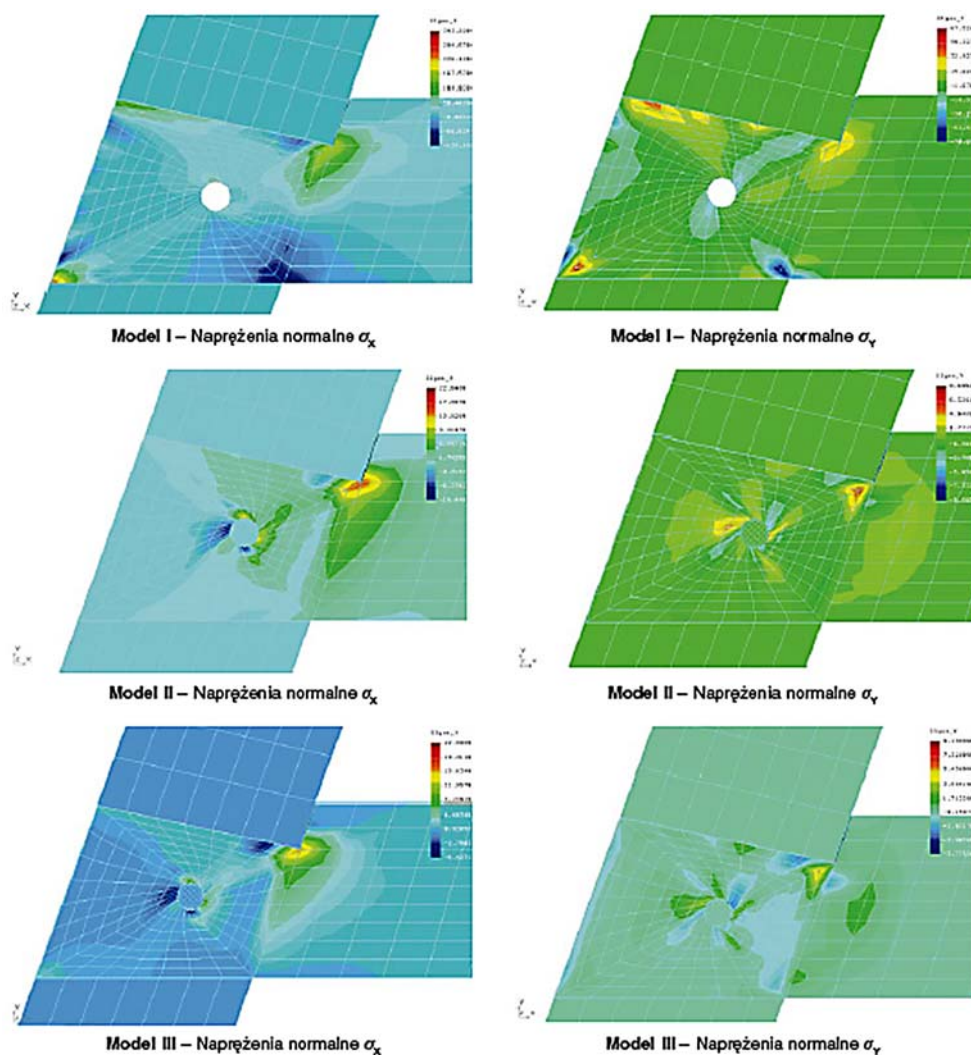
testing, which were made from resin composite, which is isotropic whereas wood is an anisotropic material. The isochromatic picture and stress distribution for the selected joint are presented in figs. 17, 18.

In the photo-elasticity testing (fig. 17), in the case of joints with wooden pegs a concentration of isochromes was observed on the opposite side of the peg with relation to the action of the force. The pattern of isochromes in dovetail tenon, in the collar-beam and in the rafter is similar. The maximum values of the isochromes are the same in the direct vicinity of the wooden pegs. The distribution and values of the isochromes indicated that loading is transferred mainly through the wooden pegs. In the joint without pegging, where the whole loading was transferred through the mortise and tenon, the tenon in the collar-beam was significantly displaced in the direction of the action of the force. A concentration of isochromes appears along both edges of the joint and maximum values appear in the upper corner of the dovetail and in the rafter.

Based on the numerical analysis (fig. 18) it was determined that in the joint without wooden peg (model I) subjected to tensile stress, stresses concentrate in corners and near corners of the joint. In the joint with wooden pegging (model II), stresses concentrate around the peg and their maximum value is significantly lower than in the case where there was no wooden pegging. In the connection where the wooden peg functions in conjunction with the mortise and

mniejszym przez trzpień. W połączeniu tego typu bez trzpień naprężenia przenoszone przez docisk, mają mniejsze wartości. Koncentracja naprężeń występuje bezpośrednio przy trzpieniu. Przy rozciąganiu wartości naprężeń są przeciwne.

tenon joint (model III) the stress distribution confirms that the wooden peg works with the mortise and tenon to transfer loading. The values of the stresses are lower than when loading is transferred by the wooden peg alone (model II).



Ryc. 18. Wyniki analizy numerycznej dla połączenia krokwi z jętką na jaskółczy ogon przy rozciąganiu wg [28]:
 Model I – bez trzpień, obciążenie przenosi gniazdo krokwi,
 Model II – obciążenie przenosi trzpień drewniany,
 Model III – obciążenie przenosi trzpień drewniany i gniazdo krokwi

Fig. 18. Results of numerical analysis for connections of the rafter and collar-beam with dovetail joints under tensile stress according to [28]:
 Model I – without wooden pegging, loading displaces the rafter mortise,
 Model II – loading is transferred by the wooden peg,
 Model III – loading is transferred by the wooden peg and the rafter mortise

W połączeniu rozciągany na jaskółczy ogon z trzpieniem (ryc. 17, 18) naprężenia przenoszone są głównie przez trzpień, przy czym układy izochrom i ich wartości nie różnią się zasadniczo w przypadku trzpień drewnianych (podatnych) i trzpień stalowych (niepodatnych).

W modelu bez trzpień (ryc. 17, 18) obciążenie przenoszone jest przez czop oraz gniazdo i elementy ulegają znacznemu przemieszczeniu. Koncentracja naprężeń występuje wzdłuż krawędzi połączenia, maksymalne wartości pojawiają się w narożach.

Research [28], [37] found that the mortise and tenon joints when subjected to compression, transfer stresses to a significant degree through contact pressure and to a much lesser degree via the wooden peg. In joints of this type without pegging, stresses transferred through contact pressure have smaller values. Concentration of stresses appears directly in the vicinity of the wooden peg. When there is tension, the stress values are opposite.

In a dovetail joint with wooden pegging subjected to tensile stress (fig 17, 18), stresses are transferred

Maksymalne wartości izochrom są we wszystkich przypadkach większe dla połączeń bez trzpieni niż dla połączeń z trzpieniami.

Jeżeli chodzi o model zniszczenia połączenia dla połączenia czopowego bez trzpienia, odkształceniu ulegną miejsca wzdłuż krawędzi bocznych czopu. Przy rozciąganiu element łączony przemieści się zgodnie z kierunkiem działania siły, przy ściskaniu odkształci się pod wpływem mimośrodowego działania tej siły. W połączeniach z trzpieniem spodziewać się można wgniecień w czopie w obszarze łączenia z trzpieniem oraz ścięcia czopu i/lub zniszczeń w narożach i wzdłuż krawędzi bocznych czopu. Element łączony się przemieści.

Autor badań [37] zauważa, że uzyskane wyniki różnią się częściowo od obserwowanych zachowań i uszkodzeń występujących w rzeczywistych obiektach.

W analizie nie uwzględniono odkształceń wywołanych skurczem drewna, które mogą mieć znaczny wpływ na pracę połączeń (opisane w [29]).

Znaczące przybliżenie wyników badań prowadzonych metodą elastooptyczną do rzeczywistych zachowań połączeń drewnianych można uzyskać, stosując do badań modele z drewna w skali naturalnej (lub w niewielkim pomniejszeniu), pokryte warstwą optycznie czułą.

Opisane badania potwierdzają, że w połączeniach elementów występują znaczne lokalne koncentracje naprężeń oraz mogą występować przemieszczenia elementów, co może prowadzić do ich uszkodzenia.

W [26] i [27] Jasieńko i Kardysz dokonali analizy połączeń na jaskółczy ogon (jętki z krokwią oraz zastrzałą z krokwią), połączenia czopowego krokwi z belką tramową oraz połączenia krokwi i storczyka w kalenicy. Zwrócono uwagę na dobór odpowiednich parametrów materiałowych. Drewno w skali mniejszych elementów, takich jak złącza, wykazuje cechy materiału plastycznego. W analizie przyjęto model drewna jako materiał liniowo sprężysty – idealnie plastyczny, poprzecznie izotropowy, co pozwala na uzyskanie zapasu nośności, szczególnie w przypadku połączeń kołkowanych. Koncentracja naprężeń ma miejsce na powierzchni otworów na kołki. Na krawędziach otworów powstają pierwsze ślady odkształceń plastycznych. Dodatkowo analizy wykazały, że kołkowane połączenia na jaskółczy ogon mogą przenosić niewielkie obciążenia rozciągające, ulegając jednak znacznym przemieszczeniom. Obciążenie zostaje przejęte przez kołek, a naprężenia na krawędzi otworu osiągają maksymalną wartość. Wyniki badań pokazały, że odkształcenia plastyczne w połączeniach zaczynają pojawiać się już przy przemieszczeniu rzędu 2–3 mm.

W [38] przedstawiono testy wytrzymałościowe drewnianego złącza na czop i gniazdo, prowadzone na modelach pełnowymiarowych, z drewna nowego i starego, które jest typowym przykładem połączenia między krokwią a zastrzałem. Opisane zostały mechanizmy zniszczenia złącza. Zwrócono uwagę na znaczny wpływ przyjętej sztywności na zachowanie złącza. Jednym z parametrów, który, jak ustalono, ma największy wpływ na nośność złącza, jest wytrzymałość

primarily by the wooden peg. It is important to note that the distribution of isochromes and their values do not differ in any basic way in the case of wooden pegs (flexible) and steel pegs (non-flexible).

In the model without wooden pegging (fig. 17, 18), loading is transferred by the mortise and tenon and the elements sustain considerable displacement. Stresses are concentrated along edges of the joint and maximum values appear in their corners.

The maximum values for the isochromes in all cases were greater for joints without wooden pegging when compared to joints with wooden pegging.

When it comes to modes of destruction for the mortise and tenon joint without pegging, strain occurs along the side edges of the tenon. When subjected to tensile stresses, the connecting element will be displaced in the direction force is exerted, whereas when subjected to compression, the strain of the element will be caused by eccentric behaviour of the force. In joints with wooden pegs, it can be expected that there will be indentation in the tenon in the area of connecting the wooden peg and shearing of the tenon and/or damage to corners and side-edges of the mortise and tenon. The element being joined will be displaced.

One researcher [37] noted that the results obtained differ in part from observed performance of joints and damage appearing in existing building structures.

The analysis did not take into account strain generated through wood contraction, which may have a significant impact on the performance of joints (described in [29]).

Significant consistency between results obtained from photo-elasticity testing and from actual behaviour of wood joints can be obtained using wooden models at scale (or with only minor size reduction) covered with an optically-sensitive layer.

The testing described here confirms that in using joints to connect elements, significant local stress concentrations appear and that displacement of elements may occur, which may lead in turn to damage.

Jasieńko and Kardysz [26] and [27] analysed dovetail joints (collar beam and rafter, and also brace and rafter), mortise and tenon joints between rafter and cross beam, and also connections between rafters and king post at the roof ridge. They drew attention to the importance of selecting the right material parameters. At smaller scales, wood elements such as those in joints display plastic material properties. In the analysis, it was assumed for the purposes of the model that wood was linearly elastic – with ideal plasticity and isotropic crosswise, which secured reserves in load-bearing capacity, especially in the case of pegged joints. Stresses concentrated in surface areas of the peg openings. The first signs of plastic deformation appear on the edges of the openings. In addition, the analyses found that pegging a dovetail joint can transfer small tensile loads, but causes considerable displacements. Loading is taken over by the peg as the stresses at the edge of the opening reach their maximum value. Test results

na ściskanie w poprzek włókien drewna. Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien okazuje się nie mieć żadnego wpływu na wynik.

W pracy [39] autorzy zajęli się badaniami zniszczenia połączenia wrębowego w wyniku działania ścinania. Spękania skurczowe nie mają wpływu na wytrzymałość złącza na ścianie, o ile nie leżą dokładnie w płaszczyźnie ścinania. Niektóre cechy, jak sęki czy nierównomierny przebieg włókien, mogące wpływać negatywnie na charakterystyki materiału, nie mają jednak znaczenia w przypadku wytrzymałości na ścinanie.

4. METODY KONSERWACJI POŁĄCZEŃ W HISTORYCZNYCH KONSTRUKCJACH DREWNIANYCH

W wyniku działania wielu negatywnych czynników drewno w obiektach zabytkowych bardzo często narażone jest na zniszczenie. Do najczęstszych przyczyn należą zawilgocenie, rozwój szkodników biologicznych, czas eksploatacji i związane z nim procesy starzeniowe. Wybór odpowiednich metod konserwatorskich powinien w każdym przypadku uwzględniać zabytkowy charakter i wartości historyczne nie tylko obiektów jako całości, ale także poszczególnych elementów. Każdy rodzaj połączenia cechuje odmienny układ przenoszonych naprężeń, co wiąże się z różnymi mechanizmami zniszczenia i powinno być uwzględnione. W pracach [32], [33] zwrócono uwagę na to, jak istotne jest stosowanie odpowiednich metod przy wzmacnianiu złączy, gdyż niezrozumienie pracy konstrukcji i nieodpowiednie wzmocnienie często prowadzi do występowania nieprzewidzianych naprężeń, które mogą niekorzystnie wpłynąć na pracę połączenia. Niektóre z metod wzmacniania [40] wiążą się ze zmianą schematu statycznego i wymagają dokładnej całościowej analizy pracy statycznej. Działania konserwatorskie dotyczące połączeń ciesielskich opisano m.in. w [41]. Wykonuje się nowe elementy połączeń, np. kołki, klocki itp. Jest to związane z tradycyjnymi pracami ciesielskimi. Kolejną metodą jest usztywnianie przestrzeni między prętami łączonymi w węzłach. W związku z wysychaniem elementy ulegają skróceniu i zmniejsza się sztywność całej konstrukcji. Uzupełnienia wykonywane są przez wklejenie elementów z drewna twardego lub przez wypełnienie wolnych przestrzeni żywicą epoksydową. W przypadku węzłów rozluźnionych można wprowadzać do złącza nowe elementy, takie jak śruby ściągające, wkręcane kotwy stalowe, elementy z materiałów kompozytowych lub z żywic epoksydowych itp. Uszkodzone końce prętów lub całe węzły naprawia się przy użyciu nowego drewna lub kompozycji żywicznych. Dzięki tej metodzie można uzyskać początkową sztywność odtwarzanego węzła, co jest niezwykle ważne dla odkształceń całego ustroju.

Przykłady wzmocnień

W pracach [32], [33] dokonano oceny różnych technik wzmacniania tradycyjnych złączy na przykładzie po-

showed that plastic deformation in joints appear with displacements in the order of 2–3 mm.

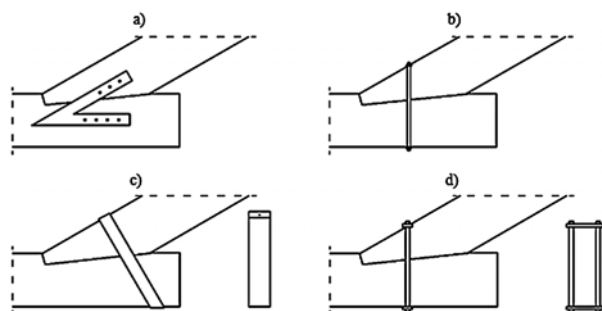
Strength tests for wooden mortise and tenon joints are presented in [38], based on full-scale models made of both old and new wood, which are typical of the joints between rafter and brace. The modes of destruction of joints are described. The research found out the significant influence of assumed rigidity on the behaviour of the joint. It was determined that the parameter, which has the largest influence on load-bearing capacity is compressive strength of wood cross-grain. Compressive strength along wood grain turns out to have no influence on the result.

In studies [39] of the destruction of notched joints, researchers focused on the results of shear stresses. Cracking due to contraction has no influence on the joint shear strength on the condition that cracks do not lie directly in the plane of shearing force. Some properties, such as knots or irregular grain of wood, which could negatively influence material characteristics, turned out not to be significant with respect to shear strength.

4. CONSERVATION METHODS FOR HISTORIC TIMBER STRUCTURES

Due to a variety of negative factors, wood in heritage buildings frequently sustains damage. The most common causes are damp, proliferation of biological pests, long-time use and related ageing processes. The selection of the most appropriate conservation methods must in every case take into account the heritage character and historic value not only of the building structure as a whole, but also its constituent elements. Every type of joint is characterised by a different arrangement for transferring stresses, which means that different modes of destruction need to be taken into account. Studies [32], [33] have drawn attention to the importance of applying appropriate methods in reinforcing joints, as failure to understand structural behaviour and inappropriate reinforcement can negatively impact joint performance. Some reinforcement methods [40] translate into changes in the static schema and require a detailed analysis of the static behaviour of the structure as a whole. Conservation actions relating to carpentry joints have been described *inter alia* in [41]. New joint elements need to be made, e.g. pegs, blocks etc. This must draw on the work of traditional carpenters. Another method is to stiffen the space between rods connected in the joint. Due to drying out, elements contract, thereby weakening the rigidity of the whole structure. Replenishment is achieved through gluing in hardwood elements or filling empty spaces with epoxy resin. In the case of loosened joints, it is possible to introduce new elements to the connection, such as internal bolts, steel tie screws, elements made of composite materials or from epoxy resins etc. Damaged rod ends or whole joints are

łączenia wrębowego. Metalowe wzmocnienia nie mają być w tym przypadku odpowiedzialne za bezpośrednie przenoszenie sił, ale za zapewnienie odpowiedniej pozycji łączonych elementów, zapewnienie ścisłości złącza i jego prawidłowego funkcjonowania w różnych warunkach. Przeprowadzono testy na modelach złączy niewzmocnionych i wzmocnionych za pomocą prostych elementów metalowych: płaskowników, śrub, obejm i ściągów (ryc. 19).



Ryc. 19. Tradycyjne metody wzmocnień połączenia na wrąb: a) płaskownik, b) śruba ściągająca, c) obejma, d) ściąg

Fig. 19. Traditional methods of reinforcing an angled notched joint: a) stirrup, b) internal bolt, c) binding strip, d) tension tie

Wzmocnienia są niezbędne w celu zapewnienia odpowiedniej pracy połączeń, w szczególności pod wpływem obciążeń cyklicznych, mogących reprezentować obciążenia sejsmiczne, lub innych nieprzewidzianych niekorzystnych warunków obciążenia. Wyniki potwierdziły, że wszystkie analizowane techniki wzmocnień powodują znaczący wzrost nośności i współczynnika tłumienia, istotnego przy zagadnieniu obciążeń cyklicznych. Spośród metod wzmocniania dla połączenia wrębowego najkorzystniejszymi okazały się: zastosowanie śrub (jedna śruba przechodząca przez połączenie osiowo – ryc. 19b) i zastosowanie metalowych płaskowników ściągniętych dwustronnie śrubami (ryc. 19a) [32], [33].

Inne badania [42] dotyczyły połączenia na wrąb czołowy i połączenia czopowego, niewzmocnionych oraz wzmocnionych za pomocą metalowych strzemion/płaskowników i ściągów. Uwzględniono również, mającą wpływ na wynik, wilgotność elementów drewnianych. Modele poddawane były obciążeniom stałym, symulującym ciężar własny oraz obciążenia z wiązarów dachowych. Stwierdzono, że głębokość wrębu wydaje się nie mieć znaczenia przy badaniu wytrzymałości złącza pod obciążeniem ciągłym. Potwierdzono też bardzo duże znaczenie dokładnego dopasowania elementów połączenia na powierzchni wrębu, gdyż w przypadku jego braku złącze traci swoją sztywność i nośność. Potwierdzono, że płaskowniki stalowe wyraźnie poprawiają zachowanie się połączeń wrębowych.

W [43] opisano pracę złącza krokwi z belką wiązarową oraz skuteczność różnych metod napraw i wzmocnień. Przeprowadzono testy dla różnych połączeń pod względem geometrii, zastosowanych elementów wzmocniających czy różnej zawartości wilgoci w elementach. Autorzy zwrócili uwagę na istotność odpowiedniego

repaired using new wood or resin composites. Thanks to this method, it is possible to attain initial rigidity of the restored joint, which is especially important for warping of the structure as a whole.

Examples of strengthening

Studies [32], [33] have assessed different techniques for reinforcing traditional joints using a notched joint as an example. Metal reinforcement in this case was not intended to transfer stresses, but rather to ensure appropriate positioning of joined elements, ensuring tightness of the connection and appropriate functioning under different conditions. Tests were carried out on models of joints without reinforcement and reinforced using simple metal elements: stirrups, internal bolts, binding strips and tension ties (fig. 19).

Reinforcement is essential for assuring appropriate performance of joints, especially with respect to cyclic loading, which could be in the form of seismic loading or other unforeseen negative loading conditions. Results confirmed that all the reinforcing techniques analysed translated into an increase in load-bearing capacity and suppression co-efficient, which is significant in the case of cyclic loading. From among methods used to reinforce notched joints, the most effective were found to be: internal bolts (a single screw passing through the axis of the joint – fig. 19b) and application of metal stirrups tightened on both sides with screws (fig. 19a) [32], [33].

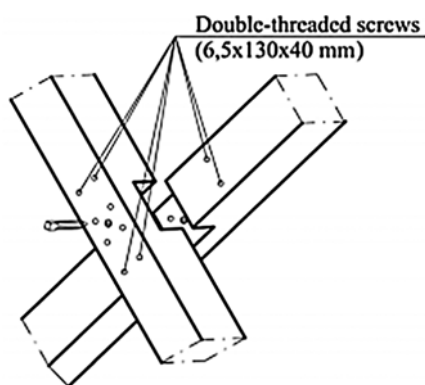
Other research [42] was concerned with leading surface notched joints and mortise and tenon joints, without reinforcement and reinforced by means of metal stirrups and tension ties. The dampness of wooden elements, which also influences results, was also taken into account. The models were subjected to continuous loading, simulating their dead load and loading transferred from roof elements. It was determined that the depth of the notch did not have any significance on strength tests in conditions of continuous loading. It was confirmed that precise matching of elements at the notch surface was of great significance as in the absence of this, the joint loses its rigidity and load-bearing capacity. It was confirmed also that the steel stirrups clearly improve the performance of notched joints.

In [43], the study is concerned with joint performance connecting the rafter with the tie-beam and the effectiveness of different methods of repair and reinforcement. Tests were carried out on different joints with respect to geometry, strengthening elements applied and on different moisture content of elements. The authors draw attention to the significance of appropriate introduction of compressive force to the rafter, which ensures a tight fit between the elements at the joint and at the same time improves its performance. For a leading surface simple notched joint without any additional metal elements, it was determined that there was no significant impact on

wprowadzenia siły ściskającej w krokwi, która zapewnia dobre przyleganie elementów w złączu i tym samym poprawne jego działanie. Dla złącza na wręb czołowy prosty bez dodatkowych elementów metalowych potwierdzono brak znaczącego wpływu wzrostu zawartości wilgoci w elementach z 12% do 20% na nośność i sztywność złącza. Dla złączy z elementami metalowymi potwierdzony został znaczący wzrost nośności przez zastosowanie wzmocnień. Wpływ zewnętrznych klamr ściskających i płaskowników jest zbliżony dla elementów drewnianych o wilgotności 12%. Ponadto wzrost zawartości wilgoci z 12% do 20% w złączach wzmocnianych elementami metalowymi okazuje się być korzystny dla wzmocnień płaskownikami ze śrubami w związku z lepszym przyleganiem między elementem drewnianym a metalowym, podczas gdy dla połączeń z klamrami dociskowymi obserwuje się redukcję nośności. Wzmocnienie wrębu czołowego śrubą przechodzącą przez połączenie zasadniczo nie zmienia początkowej sztywności złącza, zwiększa jednak jego nośność. Metoda ta zapobiega także rozłączeniu elementów łączonych, zachowując się jak zewnętrzna klamra dociskowa.

W [23] przeprowadzono analizy na przykładzie kościoła *Pieve* w Cavalese z gotycką wieżbą dachową. W konstrukcjach dachowych z obszaru Włoch najczęściej występujące złącza to połączenia nakładkowe (nakładka prosta lub obustronna/wzajemna/podwójna), w jaskółczy ogon, stykowe o różnej geometrii (m.in. połączenie na znak pioruna [17]). W opisanym przypadku wszystkie złącza były kołkowane. Do połączenia elementów pod kątem stosowano połączenia wrębowe, które mogły przenosić duże naprężenia. Zastosowane metalowe gwoździe kwadratowe (poł. XVII w.) służyć miały jako wzmocnienie złączy. Kościół poddany został rekonstrukcji. Odtworzono tradycyjne połączenia i zastosowano metalowe wzmocnienia (ryc. 20).

W [44] przedstawiono podstawowe węzły w tradycyjnych więzarach dachowych na przykładzie obiektów włoskich. Połączenia często są w złym stanie technicznym, jednak są świadectwem sztuki ciesielskiej swoich czasów. Większość połączeń ma wciąż dużą wartość dla kultury i dziedzictwa kraju i w związku z tym wymagane są ich naprawy i konserwacje.



Ryc. 20. Szczegół wzmocnienia połączenia na nakładkę obustronną [23]

Fig. 20. Detail of a two-sided lap joint reinforcement [23]

load-bearing capacity and joint rigidity of increases in moisture content of the elements from 12% to 20%. For joints with metal elements, it was confirmed that significant increases in load-bearing capacity were achieved through the reinforcement applied. The impact of external ring clasps and metal plates is similar to wood elements with a 12% moisture content. Moreover, the increase of moisture content from 12% to 20% on joints strengthened with metal elements turned out to be favourable for reinforcing with metal plates with screws due to better adhesion between the wood and metal element, whereas in the case of reinforcement with ring clasps, a decrease in load-bearing capacity was observed. Reinforcement of the leading surface notch with a screw passing through the whole joint does not fundamentally change the initial joint rigidity, but it does increase its load-bearing capacity. It is a method for preventing disconnection of joined elements as it behaves as an external pressure clamp.

An analysis [23] was carried out using the example of the *Pieve* church in Cavalese, which has a gothic roof structure. Roof structures in Italy make use most commonly of the following joints: lap joints (simple lap joints or two-sided), dovetail joints, scarf joints of varying geometry (*inter alia* key locked hooked scarf with nibs [17]). All joints were pegged in the example discussed. Notched joints were used in angled connections, which are able to transfer large stresses. Square metal nails (mid 17th century) were used to strengthen the joints. The church has been renovated. Traditional joints were restored and metal reinforcement was applied (fig. 20).

The most basic connecting joints used in traditional timber roof beams are presented in [44] based on Italian building structures. Joints are often in a bad technical condition, but bear witness to the carpentry skills of their time. Most joints are still of great value in terms of national culture and heritage and so require repair and conservation.



Ryc. 21. Przykład wzmocnienia węzła przy użyciu płaskowników stalowych, kościół św. Stanisława, św. Doroty i św. Wacława we Wrocławiu

Fig. 21. Example of joint reinforcement with steel stirrups, church of St. Stanislaus, St. Dorothea and St. Wenceslaus in Wrocław

W konserwacji ścian drewnianych wieńcowych należy wziąć pod uwagę fakt, że połączenia w narożnikach stanowią najważniejszy element konstrukcji i od ich stanu zależy bezpieczeństwo całej konstrukcji [41]. Uszkodzone węgly należy uszczelnić i uzupełnić ubytki materiałowe. Uszczelnienia dokonuje się np. poprzez skręcenie bali między sobą. Ubytki w zamkach wypełnia się stosując dopasowane klocki wklejane mocowane wkrętami.

5. PODSUMOWANIE

Połączenia ciesielskie to połączenia kształtowane, w których możliwość przenoszenia obciążeń zapewniona jest poprzez odpowiednie ukształtowanie i dopasowanie do siebie elementów. Obciążenia przenoszone są poprzez siły docisku i tarcia. Z reguły połączenia te przenosić mogą naprężenia ściskające i ścinające, niektóre także niewielkie naprężenia rozciągające – jak połączenie na jaskółczy ogon. Nie przenoszą natomiast momentów zginających, dlatego w analizie konstrukcji przyjmowane są zazwyczaj jako węzły przegubowe. Pojedyncze przykłady z praktyki pokazują jednak, że istnieją połączenia, które mogą być modelowane z pewną sztywnością. Dotyczy to przede wszystkim precyzyjnie wykonanych połączeń na jaskółczy ogon. Istotną rolę w połączeniu odgrywa ją kołki (najczęściej z drewna twardego), które poddawane są ścinaniu i zginaniu. Za jakość połączenia odpowiada nie tylko jego ukształtowanie, ale także jakość wykonania. Wraz z upływem czasu, zmieniającymi się warunkami wilgotnościowymi i związanymi z tym zmianami objętości drewna i deformacjami w połączeniach nastąpić może rozluźnienie, ich jakość ulega pogorszeniu. W wyniku zawilgocenia złącza spada także współczynnik tarcia.

Podjęmowano i nadal podejmuje się zagadnienia analizy pracy statycznej połączeń ciesielskich. Wykonywane były zarówno badania na modelach rzeczywistych z wykorzystaniem różnych materiałów (modele drewniane, modele z kompozycji żywicznych), jak i opisy analityczne i testy numeryczne. Połączenia poddawano obciążeniom statycznym i cyklicznym (obciążenia sejsmiczne). Analizy miały na celu ustalenie pracy złączy, mechanizmu przekazywania sił, sprawdzenie naprężeń w poszczególnych elementach, ustalenie mechanizmów zniszczeń i ocenę roli trzpieni w połączeniach kołkowanych. Badano także skuteczność dokonanych wzmocnień, głównie z użyciem elementów metalowych. Publikacje i prace naukowe prezentują zasób informacji dotyczących połączeń ciesielskich, jednak wiedza na ten temat wciąż jeszcze nie jest kompletna i wymaga uzupełnienia. Zadaniem dzisiejszych inżynierów i badaczy jest jej pogłębienie i lepsze zrozumienie pracy statycznej połączeń realizowanych w drewnianych obiektach zabytkowych, tak aby dobierając odpowiednie metody, móc je w odpowiedni sposób utrzymywać i konserwować, zachowując przy tym ich wartość historyczną.

When conserving wooden crowned construction walls, it is important to remember that corner joints constitute the most important element of the building structure as safety of the building as a whole depends on their state [41]. Damaged quoins must be tightened and material losses replenished. Tightening is carried out for example through screwing beams to each other. Material losses in connections are replenished using customised blocks glued in and held in place with screws.

5. CONCLUSION

Carpentry joints are customised connections, which provide for transfer of loading by means of appropriate shaping and matching together of the elements to be joined together. Loading is transferred through contact pressure and friction. As a rule, these joints can transfer both compressive and shear stresses, and some can also transfer relatively small tensile stresses – as in the case of dovetail joints. They do not, however, transfer bending moments, which is why in analyses of building structures they are treated usually as hinged nodes. Individual examples from the field do show that there are joints which can be modelled with certain rigidity. This relates especially to dovetail joints, which have been made with great precision. A key role in joinery is played by pegs (most commonly made from hardwood), which are subjected to shearing and bending stresses. The quality of a joint is a function not only of its shape, but also of the quality of its realisation. With the passing of time, changing moisture conditions and related changes in wood volume and deformation, joints can become looser and their quality can deteriorate. As a result of increasing dampness of a joint, the friction co-efficient also decreases.

Analysis of the static behaviour of carpentry joints has been and continues to be a topic of interest. This has involved tests of models made from different materials (wood models, resin composite models), as well as analytical descriptions and numerical tests. Joints have been subjected to static and cyclic loading (seismic loading). The goal of these analyses was to determine joint performance, mechanisms for transferring forces, testing stresses in constituent elements, understanding modes of destruction and assessing the role of pegs in pegged joints. Research has also been concerned with the effectiveness of reinforcement previously carried out, mainly with application of metal elements. Scientific publications and studies are an information resource related to carpentry joinery, but these are still incomplete and require additional research. The challenge for today's engineers and researchers is to deepen and improve our understanding of static behaviour of joints realised in historic wooden buildings so that appropriate methods can be selected to ensure their sustainability and conservation, while preserving their historical value.

LITERATURA

- [1] Erler K., *Alte Holzbauwerke. Beurteilen und Sanieren*, Huss – Medien GmbH Verlag Bauwesen, Berlin 2004.
- [2] Trocka-Leszczyńska E., *Wiejska zabudowa mieszkaniowa w rejonie sudeckim*, Wrocław 1995.
- [3] Jasięńko J., Nowak T., Ostrycharczyk A., *Hybrydowa kopuła z drewna klejonego i stali – studium konstrukcji*, Wiadomości Konserwatorskie 30/2011, 81-93.
- [4] Tajchman J., *Propozycja systematyki i uporządkowania terminologii ciesielskich konstrukcji dachowych występujących na terenie Polski od XIV do XX w.*, Monument, Warszawa 2005.
- [5] Kopkowicz F., *Ciesielstwo polskie*, Arkady, Warszawa 1958.
- [6] Rapp P., *Historyczny rozwój ciesielskich konstrukcji dachowych w polskich kościołach*, [w:] Ganowicz R., *Historyczne więźby dachowe polskich*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań 2000, 74-95.
- [7] Mączyński D., *Znaki, inskrypcje i ślady na powierzchni drewna w zabytkowych konstrukcjach dachowych*, Wiadomości Konserwatorskie 25/2009, 28-36.
- [8] Meisel A., Bogensperger Th., Moosbrugger Th., Schickhofer G., *Historische Dachtragwerke aus Holz – Statische Analyse und Tragwirkung*, Teil 2, Bauingenieur 2 – 2013, 61-72.
- [9] PN-EN 1995-1-1:2010 – Eurokod 5: *Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków*.
- [10] Kopkowicz F., *Ciesielka wiejska i małomiasteczkowa*, Automa, Warszawa 1948.
- [11] Michniewicz W., *Konstrukcje drewniane*, Arkady, Warszawa 1958.
- [12] Lenkiewicz W., Zdziarska-Wis I., *Ciesielstwo*, WSiP, Warszawa 1989.
- [13] Sieczkowski J., Nejman T., *Ustroje budowlane*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [14] Bajon-Romańska M., *Jak budowano drewniane kościoły w średniowiecznej Małopolsce*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2008.
- [15] Nowak T., Matkowski Z., *Analiza stanu konstrukcji słupowo-ryglowej w remontowanym budynku gospodarczym adaptowanym na cele mieszkalne*, Materiały Budowlane 5/2013, 12-14.
- [16] Mączyński Z., *Poradnik budowlany dla architekta*, Budownictwo i Architektura, Warszawa 1954.
- [17] Tampone G., Semplici M., *Rescuing the Hidden European Wooden Churches Heritage, An International Methodology for Implementing a Data Base for Restoration Projects*. In cooperation with Fly Events and Alter Ego Ing Arch S.r.l. (a Subsidiary Company of the Collegio degli Ingegneri della Toscana), 2006.
- [18] Perez L. P., *Design and construction of timber roof structures, built over different structural systems. Cases studium At the Valencia Community*, [in:] Proceedings of the First International Congress on Construction History, Madrid, January, 2003.
- [19] Derinaldis P. P., Tampone G., *The Failure of the Timber Structures Caused by Incorrect Design – Execution of the Joints. Two Cases Study*, [in:] Proceedings of the 16th International Conference: From Material to Structure – Mechanical Behavior and Failures of the Timber Structures, ICOMOS International Wood Committee, Florence – Venice – Vicenza, 2007.
- [20] Tampone G., *Mechanical Failures of the Timber Structural Systems*, [in:] Proceedings of the 16th International Conference: From Material to Structure – Mechanical Behavior and Failures of the Timber Structures, ICOMOS International Wood Committee, Florence – Venice – Vicenza, 2007.
- [21] Yeomans D., *How Structures Work. Design and Behavior from Bridges to Buildings*, Wiley, Blackwell, 2009.
- [22] Parisi M., Piazza M., *Mechanics of plain and retrofitted traditional timber connections*, Journal of Structural Engineering – ASCE 2000: 126 (12), 1395-1403.
- [23] Piazza M., Riggio M., *Typological and Structural Authenticity in Reconstruction: The Timber Roofs of Church of the Pieve in Cavalese, Italy*, International Journal of Architectural Heritage: 2007, 1(1), 60-81.
- [24] Chang, W., Hsu, M., Chen, C.J., *Estimating rotational stiffness of timber joints by using fractional experiments combined with computer simulation*, [in:] Proceeding of the 8th WCTE Conference, Lathi, Finland, June 14-17, 2004.
- [25] Piazza, M., Riggio, M., and Brentari, G., *Strengthening and control methods for old timber trusses: the queen-post truss of the Trento theatre*, [in:] Proceedings of the 4th International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Padua, Italy, November 10-13 2004. Leiden, The Netherlands, Balkema.
- [26] Jasięńko J., Kardysz M., *Analiza pracy statycznej połączeń stosowanych w drewnianych konstrukcjach zabytkowych*, [w:] *Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych*, praca zbiorowa pod red. J. Jasięńki [i in.], Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006, 218-230.
- [27] Jasięńko J., Kardysz M., *Deformation and strength criteria in assesing mechanical behaviour of joints in historic timber structures*, [in:] Proceedings of the 16th International Conference: From Material to Structure – Mechanical Behaviour and Failures of the Timber Structures, ICOMOS International Wood Committee, Florence – Venice – Vicenza, 2007.
- [28] Jankowski L., Engel L. J., Jasięńko J., *Praca statyczna wybranych połączeń występujących w drewnianych obiektach*

- tach historycznych*, Wiadomości Konserwatorskie 18/2005, 29-41.
- [29] Yeomans D., *The repair of historic timber structures*, Thomas Telford Ltd, London 2003.
- [30] Ross P., *Appraisal and repair of timber structures*, Thomas Telford Ltd, London 2002.
- [31] Neuhaus H., *Budownictwo drewniane*, Polskie Wydawnictwo Techniczne, Rzeszów 2006.
- [32] Branco J., Piazza M. Cruz P., *Experimental evaluation of different strengthening techniques of traditional timber connections*, Engineering Structures 2011, 33(8), 2259-2270.
- [33] Branco J., Cruz P., Varum H., *Strengthening techniques of Portuguese traditional timber connections*, [in:] Proceedings of the International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2006, New Delhi 2006.
- [34] Köck B., Holzer S. M., *Baroque Timber Roofs without a Continuous Tie – beam*, [in:] Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus, May 2009.
- [35] Holzer S. M., Köck B., *Investigations into the Structural Behavior of German Baroque Timber Roofs*, International Journal of Architectural Heritage 2009, 3(4), 316-333.
- [36] Jasięńko J., Engel L. J., Rapp P., *Study of strain and stresses in historical carpentry joints by photoelasticity modeling*, [in:] Proceedings of the International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2006, New Delhi 2006.
- [37] Engel L., *Wpływ formy i konstrukcji na stan zachowania drewnianych obiektów zabytkowych*, rozprawa doktorska, Politechnika Wroclawska, Wydział Architektury, Wrocław, 2006.
- [38] Feio A. O., Lourenço, Machado J. S., *Testing and modeling of traditional timber mortice and tenon joint*, Materials and Structures 2014, 47, 213-225.
- [39] Thoma H., Togni M., Uzielli L., *Full-Size Truss Joints Made of Old Wood: Laboratory Tests on Shear Failures*, [in:] Proceedings of the 16th International Conference: From Material to Structure – Mechanical Behavior and Failures of the Timber Structures, ICOMOS International Wood Committee, Florence – Venice – Vicenza, 2007.
- [40] Jasięńko J., *Połączenia klejowe i inżynierskie w naprawie, konserwacji i wzmacnianiu zabytkowych konstrukcji drewnianych*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003.
- [41] Jasięńko J., Rapp P., *Metody naprawy i wzmacniania zabytkowych konstrukcji drewnianych*, [w:] *Zabytkowe Budownictwo Drewniane w Polsce – diagnostyka, wzmacnienia i zabezpieczenia*, praca zbiorowa pod redakcją Z. Mielczarka, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2008, 34-52.
- [42] Palma P., Cruz H., *Mechanical Behavior of Traditional Timber Carpentry Joints in Service Conditions – Results of Monotonic Tests*, [in:] Proceedings of the 16th International Conference: From Material to Structure – Mechanical Behavior and Failures of the Timber Structures, ICOMOS International Wood Committee, Florence – Venice – Vicenza, 2007.
- [43] Palma P., Garcia H., Ferreira J., Appleton J., Cruz H., *Behavior and repair of carpentry connections – Rotational behavior of the rafter and tie beam connection in timber roof structures*, Journal of Cultural Heritage 2012, 13S, 64-73.
- [44] Tampone G., Derinaldis P. P., Ferretti E., *The Fundamental Node of a Traditional Truss. Influence of Morphology on Efficiency*, [in:] SHATIS'11 International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures – Lisbon, Portugal – June 2011.

Streszczenie

Praca stanowi wstępne zebranie stanu aktualnej wiedzy dotyczącej historycznych złączy ciesielskich i będzie kontynuowana przez cykl publikacji w „Wiadomościach Konserwatorskich” na temat szczegółowych analiz pracy statycznej poszczególnych typów złączy.

W pracy przedstawiono rozwój połączeń ciesielskich na przestrzeni wieków oraz typologię połączeń występujących w ścianach i więźbach dachowych. Skupiono się głównie na pracy statycznej wybranych połączeń ciesielskich, przedstawiono przykłady typowych połączeń w historycznych więźbach dachowych, dokonując ich opisu i analizy. Opisano dotychczasowe badania połączeń, w tym badania metodą elastooptyczną. Następnie przedstawiono metody wzmacniania i naprawy połączeń oraz przykłady dokonanych interwencji konserwatorskich. Wyniki przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu zaprezentowano w niniejszej pracy.

Abstract

The paper represents an initial effort to review our current knowledge concerning carpentry joints and will be continued as a series of papers in the “Journal of Heritage Conservation” focused on detailed analysis of static behaviour of specific types of joints.

The paper discusses the development of carpentry joints over the centuries and presents a typology of joints found in timber walls and roof structures. The focus is mainly on the static behaviour of selected carpentry joints with presentation of examples of typical joints found in historic timber roof structures, which are described and analysed. Existing research on testing joints is reviewed, including photo-elasticity testing. Methods for reinforcement and repair of joints are presented, along with examples of heritage conservation interventions. The results of a literature review are presented in the paper.

Andrzej Gołębniak

Rola nowych technik dokumentacyjno-pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo-konserwatorskich

The role of new documentation and measurement techniques in interdisciplinary research and conservation activities

Słowa kluczowe: archeologia, badania interdyscyplinarne, CAD, dokumentacja konserwatorska, fotografia cyfrowa, fotogrametria cyfrowa, GIS, innowacyjne techniki, LIDAR, naziemne skanowanie laserowe 3D, przestrzenne bazy danych, skanowanie światłem strukturalnym

Key words: archaeology, interdisciplinary research, CAD, documentation, digital photography, digital photogrammetry, GIS, innovative techniques, LIDAR, close range photogrammetry, spatial data bases, laser scanning

Jestem archeologiem, który od wielu lat współpracuje z przedstawicielami różnych dyscyplin nauki, głównie architektury, historii sztuki i architektury krajobrazu¹. Nie jest to przypadek, bowiem od pewnego już czasu interdyscyplinarny wymiar badań obiektów i przestrzeni zabytkowych zyskał status normy. Jednym z powodów takiego stanu rzeczy jest coraz większa liczba przedsięwzięć badawczo-konserwatorskich realizowanych w ramach zakrojonych na szeroką skalę programów. Wiele spośród nich prowadzi do głębokich ingerencji, wymagających kompleksowego rozpoznania historii i struktury zabytkowego obiektu. Skala dokonywanych odkryć zmusza przy tym do poszukiwania sposobów, które usprawniłyby i podniosły wartość wykonywanej dokumentacji, tak na poziomie badań, jak i realizacji konserwatorskich. Równoległe, niemal całkowitej zmianie uległ sposób gromadzenia i analizy zgromadzonych materiałów, co sprzyja wymianie myśli pomiędzy reprezentantami różnych dyscyplin. Proces ten opiera się obecnie na wielostronnym zastosowaniu cyfrowego sposobu zapisu obrazu, wykorzystaniu najnowszych technik komputerowych, użyciu laserowych urządzeń pomiarowych i przestrzennych baz danych².

Prowadząc swoje prace w tej zmieniającej się rzeczywistości miałem zaszczyt pracować z najlepszymi i dla najlepszych, i to w miejscach szczególnie ważnych dla polskiej historii i kultury³. Wszystko to sprawia, że efektem tych prac jest spory bagaż doświadczeń,

przemysłów i ustaleń, którymi chciałbym podzielić się z czytelnikami „Wiadomości Konserwatorskich”. Żyjąc bowiem w czasach rewolucyjnej transformacji, wręcz rewolucji, której motorem napędowym są nowe techniki i technologie, stawiać musimy na otwartą wymianę poglądów. Tylko bowiem w ten sposób zredukować będziemy mogli liczbę „ofiar”, które każda rewolucja po sobie zostawia⁴.

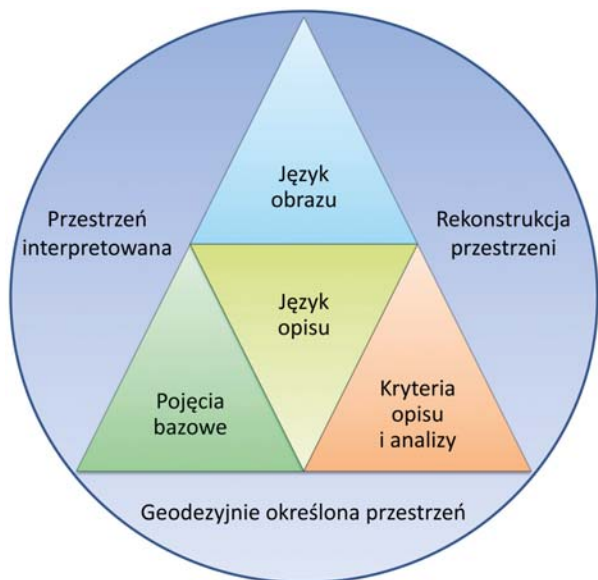
Świadomość konieczności wykorzystania najnowszych zdobyczy techniki w dziedzinie opieki nad zabytkami legła przed laty u podstaw stworzenia w Krajowym Ośrodku Badań i Dokumentacji Zabytków placówki, której zadaniem miało być wypracowywanie podstawowych norm badawczych i dokumentacyjnych, uwzględniających zastosowanie najnowszych zdobyczy techniki. Pracownia Badań Interdyscyplinarnych, bo tak nazywała się ta placówka, za główny poligon swoich działań obrała Wilanów. Przez pięć lat, korzystając z przychylności Dyrektora Muzeum, oczekującego stworzenia przejrzystego systemu gromadzenia i przetwarzania wiedzy, udało się stworzyć podstawy systemu określanego dziś jako „archeologia wilanowska”⁵. Był to pierwszy w kraju sposób oparty na szerokim zastosowaniu technik cyfrowych, łączących we wspólnym języku komputerowym wszystkie aspekty pracy badawczej i wszelkich czynności dokumentacyjnych, zamkniętych w spójnej logicznie, przestrzennej bazie danych. System ten miał być w zamiarach Dyrekcji KOBiDZ materiałem dla ogólnośro-

* INCEDO3D, ul. Kościuszki 41, Ostrówek, 05-205 Klembów

dowiskowej dyskusji, której konkluzje trafić miały do osób decydujących o formie i sposobach szeroko pojętej opieki nad zabytkami. Niestety, w wyniku restrukturyzacji KOBiDZ, przeprowadzonej w początkach 2007 r., Pracownia została zlikwidowana, a KOBiDZ wycofał się z badań prowadzonych w Wilanowie. I chociaż dzisiaj

można powiedzieć, że badania wilanowskie udało się z powodzeniem zakończyć, to jednak trudno jest ukryć fakt, że jeden z podstawowych, dalekosiężnych celów tych badań nie został zrealizowany (ryc. 1).

Pojawianie się nowych technik od zawsze prowadziło do pozytywnych zmian metodyki działań badawczo-



Ryc. 1. Schemat działania zespołu archeologów Pracowni Badań Interdyscyplinarnych Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków (obecnie Narodowy Instytut Dziedzictwa) stosowany podczas prac badawczych, prowadzonych na terenie królewskiej rezydencji w Wilanowie. Należy zwrócić uwagę na uznanie nadrzędnej roli zdefiniowanej geodezyjnie przestrzeni i upodmiotowienie „języka obrazu”, jako podstawy treści dokumentacji i interpretacji dokonywanych odkryć. Opr. A. Golembnik

Fig. 1. Functional diagram of the archaeological team of Interdisciplinary Research Laboratory of the KOBiDZ (now National Heritage Board of Poland), used during the research work carried out in the royal residence in Wilanów. Attention should be drawn to the recognition of the key role of defined geodesic space and empowerment „visual language”, as the basis of content of the document and interpret the findings.



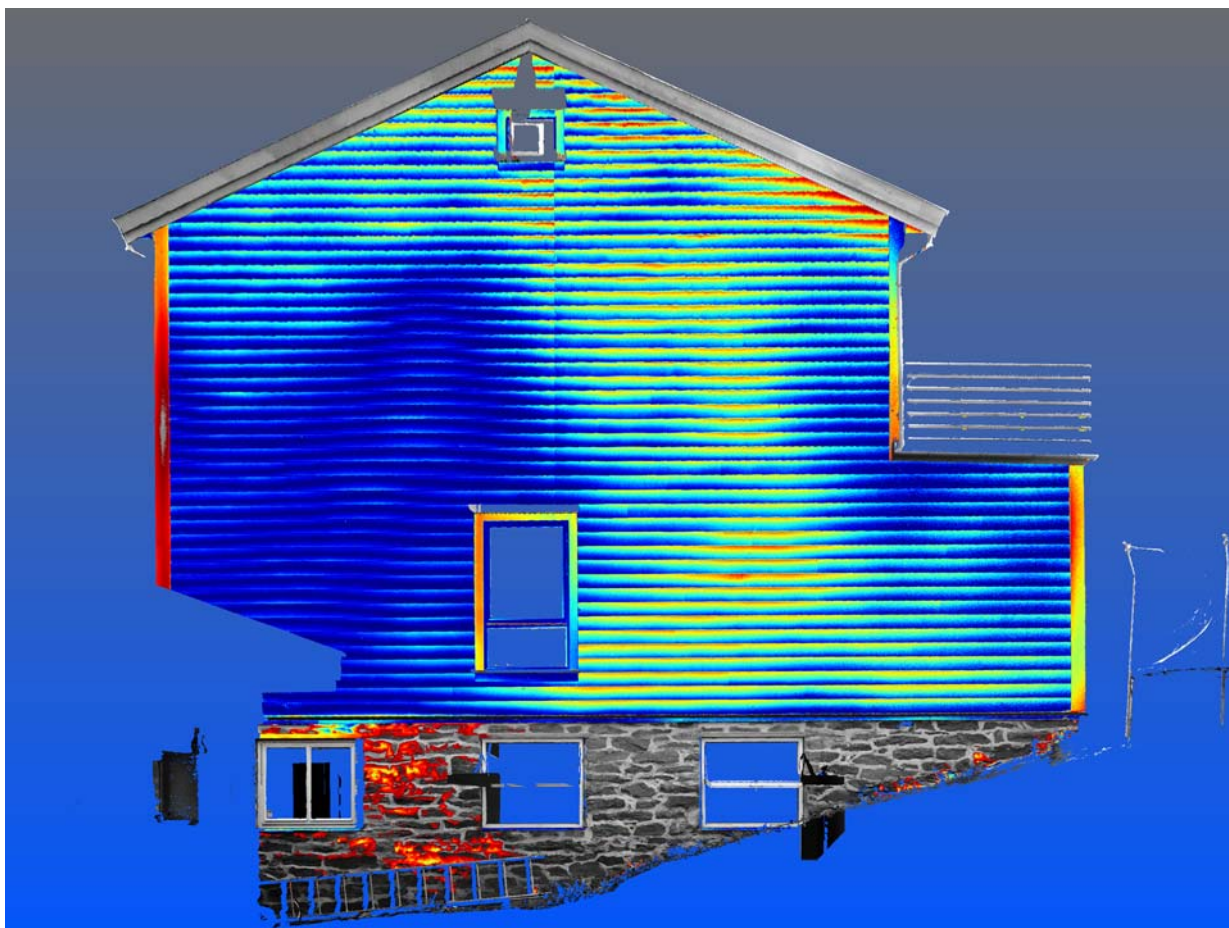
Ryc. 2. Geodezja jest nauką o praktycznym zastosowaniu geometrii w dziele określania wielkości i kształtu ziemi oraz ustalania położenia punktów na jej powierzchni. Dzięki zastosowaniu nowoczesnego sprzętu pomiarowego i nowych programów komputerowych wykorzystujących ich moc, stworzona została szansa łatwego tworzenia przestrzennych bazy danych oraz skalibrowanych, trójwymiarowych modeli badanych powierzchni. Uczyniło to z zasad geodezji podstawę metodycznego działania. Fot. A. Golembnik

Fig. 2. Geodesy is the science of practical application of geometry in work of determining the size and shape of land and positioning of points on its surface. Thanks to modern measuring equipment and new computer programs using their power, a chance of easy creation of spatial database and calibrated, three-dimensional models of the investigated space appeared. These undoubted benefits have established roles of surveying as a foundation of methodological activities.



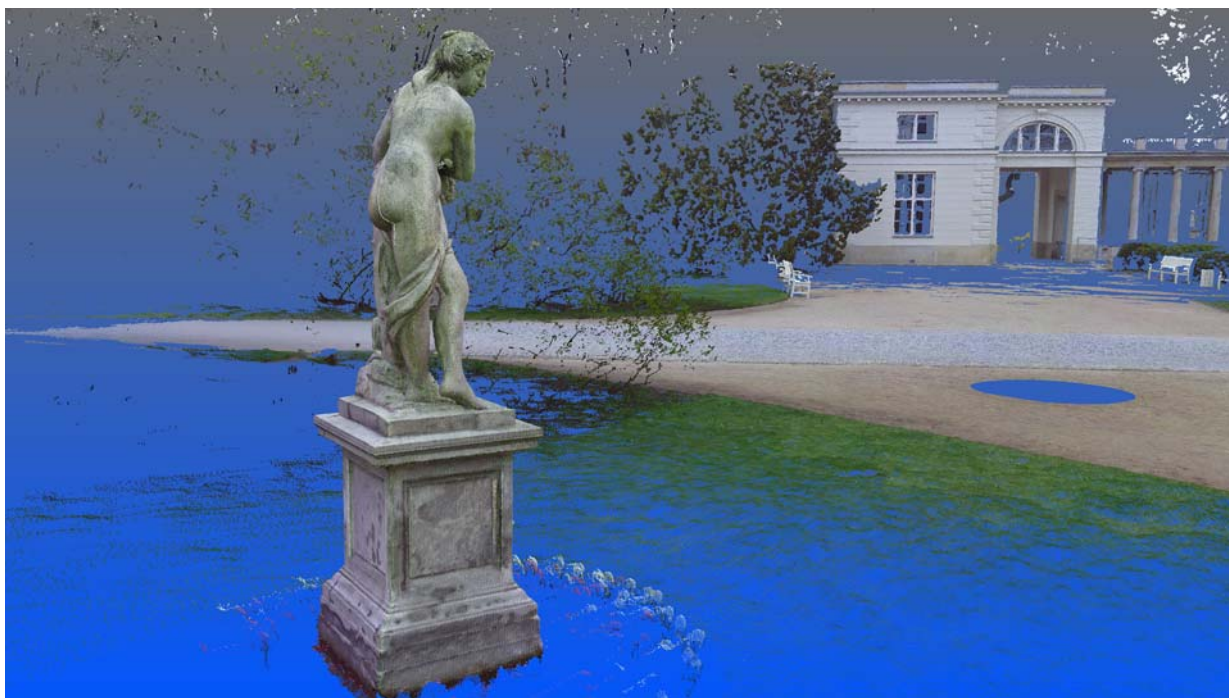
Ryc. 3. Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie – fasada ogrodowa Pałacu. Wynik skanowania laserowego w formie kolorowej chmury punktów. Wyk. INCEDO3D Archiwum Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie

Fig. 3. Museum of King Jan III's Palace in Wilanów – Garden facade of the Palace. The result of laser scanning in the form of a colored point cloud



Ryc. 4. Bergen – analiza odchyleń ściany szczytowej zabytkowego budynku drewnianego, wykonana przy użyciu skanera FARO X-330 i oprogramowania JRC Reconstructor 3D. Wyk. B. Gotembnik/INCEDO3D

Fig. 4. Bergen – analysis of deviations of the gable wall of historic wooden building, made by scanner FARO X-330 and software JRC 3D Reconstructor



Ryc. 5. Łazienki Królewskie w Warszawie – rzeźba parkowa Alegoria Wody. Wynik podstawowej rejestracji, wpisującej obiekt w geodezyjną przestrzeń zabytkowego parku w skali 1:1 (półprodukt)
Wyk. INCEDO3D Archiwum Muzeum Łazienki Królewskie w Warszawie

Fig. 5. Łazienki Królewskie Park in Warsaw – the park sculpture „Allegory of Water”. The result of the basic laser registration, setting the object into geodetic space of the park, in a scale of 1:1 (intermediate)



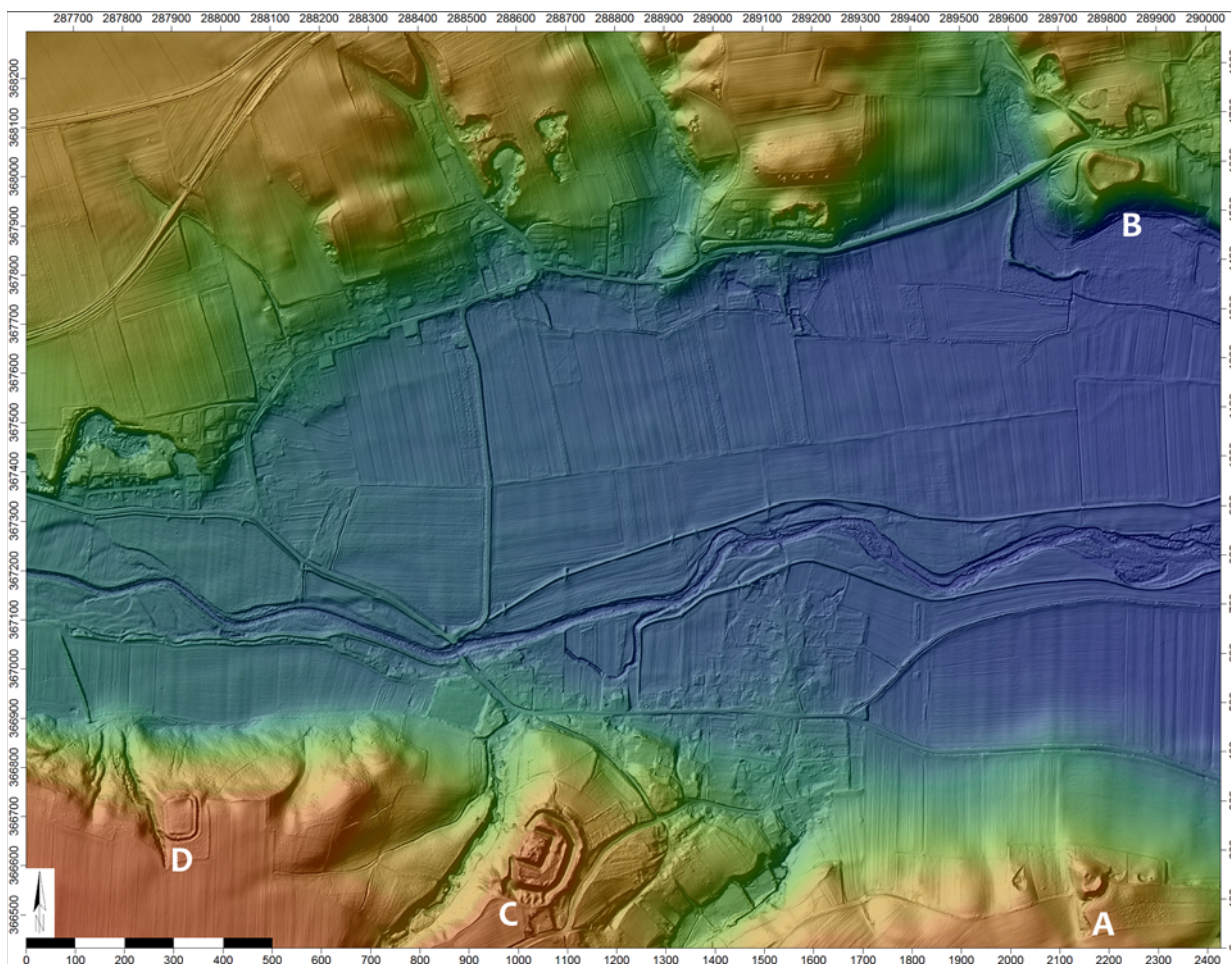
-konserwatorskich, zawsze usprawniając przy tym proces tworzenia dokumentacji. Nie inaczej jest obecnie, z tym że przy dzisiejszym tempie rozwoju technicznego zamknięta została droga procedur wdrożeniowych. Nie ma już czasu na polemikę i wybór optymalnych rozwiązań, bowiem nowe techniki, jeszcze często przed opracowaniem zasad ich użycia, podlegają kolejnym usprawnieniom i modyfikacjom. Będąc aktywnym uczestnikiem tego „wyścigu” wiem, że w wielu przypadkach jest on twórczy, chociaż zdarzają się okoliczności, w których tak nie jest. Często dochodzi bowiem do sytuacji, w której chęć zastosowania nowego urządzenia lub oprogramowania bez należytego poznania i zrozumienia wszystkich jego technicznych uwarunkowań prowadzi do niekontrolowanych zubożeń, częściowej utraty danych lub utrwalenia ich w nieprzydatnej formie. W dłuższej perspektywie to zagrożenie wydaje się być jeszcze większe i to z wielu powodów, nie zawsze zależnych od wykonawcy prac czy instytucji gromadzącej informacje o zabytku. Warto zatem dokonać przeglądu podstawowych spośród stosowanych obecnie technik i wskazać na ich dobre i złe strony, zwracając przy tym uwagę na wspomniane niebezpieczeństwa.

Na wstępie tych rozważań warto zwrócić uwagę na czynnik odgrywający bodaj najważniejszą rolę w procesie unowocześniania warsztatu badawczego (a także i konserwatorskiego, jeśli ten ma być kompatybilny z dokumentacją naukową). Jest on wspólny dla niemal wszystkich zaawansowanych nowinek technicznych, choć nie zawsze jest wymogiem *sine qua non* dla ich zastosowania. Mam tu na myśli pomiar geodezyjny. Dziś to właśnie geodezja, dzięki nowoczesnym technologiom, innowacyjnym technikom cyfrowej obróbki obrazu i nowym aplikacjom komputerowym, stała się podstawą niemal każdego nowoczesnego działania. To nie przypadek, że producenci nowych modeli aparatów cyfrowych połączyli matrycę z odbiornikiem GPS. Pozycja geodezyjna, mierzona wartościami współrzędnych x , y , z staje się wartością obecną w każdej przestrzennej bazie danych, a te w szybkim tempie stają się podstawowym narzędziem sprawnego administrowania zasobami, także w sferze opieki nad zabytkami. Trudno jest obecnie wyobrazić sobie np. wiarygodnie wykonaną rejestrację fotogrametryczną, pozbawioną precyzyjnie zmierzonych koordynatów. Tych przykładów wymaganej obecności urządzeń pomiarowych i osób sprawnie je obsługujących można byłoby podać więcej. Stała się zatem geodezja nie tylko partnerem w pierwszej fazie prac badawczo-konserwatorskich, ale także spoiwem dla interdyscyplinarnych projektów i gwarantem poprawnej realizacji całego zadania (ryc. 2).

Wraz z nowymi urządzeniami pomiarowymi pojawiła się w pracy badawczej niespotykana dotychczas precyzja.

Ryc. 6. Łazienki Królewskie w Warszawie – rzeźba parkowa Alegoria Wody. Docelowy wynik rejestracji powstałej po połączeniu dwóch technik dokumentacyjnych (skanowania i fotogrametrii krótkiego zasięgu) i zastosowaniu programu prezentacyjnego. Wyk. INCEDO3D/Feel3D, Archiwum Muzeum Łazienki Królewskie w Warszawie

Fig. 6. Łazienki Królewskie in Warsaw – the park sculpture Allegory of Water. The target score of registration, formed after the merger of two documentation techniques, laser scanning and close range photogrammetry and the use of the presentation software

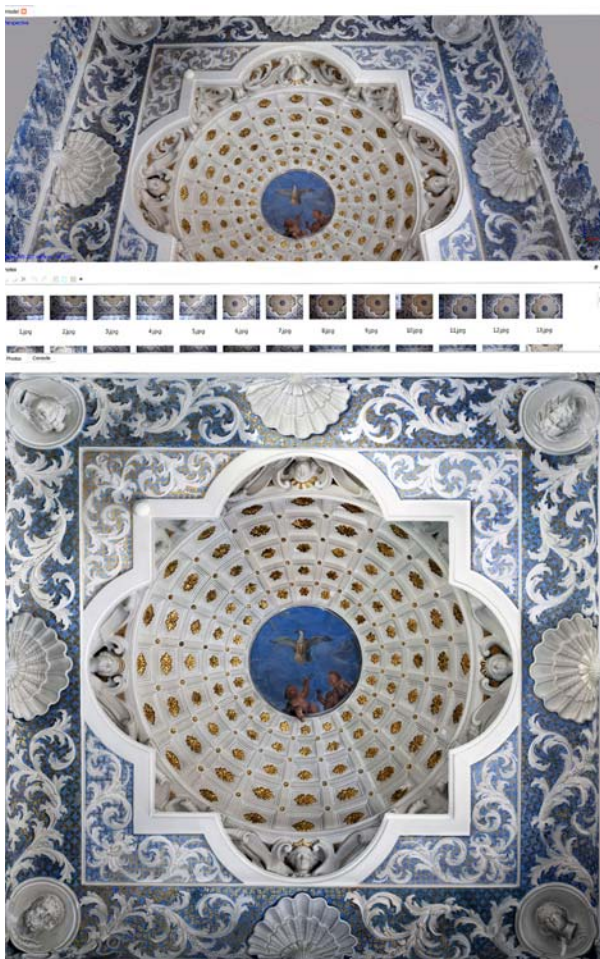


Ryc. 7. Złotoryja – Obiekty obronne z różnych okresów na terasach Kaczawy w pobliżu Złotoryi: A – grodzisko ze starszych faz wczesnego średniowiecza w Rokitnicy, B – grodzisko z młodszych faz wczesnego średniowiecza w Wysocku, C – zamek w Rokitnicy z XIII-XIV w., D – nowożytny obóz wojskowy. Oprac. M. Legut-Pintal

Fig. 7. Defensive structures from different periods, situated on the Kaczawa terraces, near Złotoryja: A – stronghold of the older phases of the early Middle Ages in Rokitnica, B – stronghold of the younger phases of the early Middle Ages in Wysock, C – castle in Rokitnica from 13th-14th c., D – modern military camp

Użycie urządzeń geodezyjnych nowej generacji, w tym w pierwszym rzędzie laserowego skanera 3D, pozwalające określić położenie milionów punktów z milimetrową dokładnością, z odległości kilkuset metrów, staje się powoli wykładnią badawczej i konserwatorskiej rzetelności. Zmierzona precyzyjnie trójwymiarowa przestrzeń jest bowiem jedyną w pełni obiektywną wartością referencyjną jej stanu na czas wykonywania rejestracji. Wartością niezmienną co do swej treści i formy, zapisanych w wartościach ponadczasowych, a więc uniwersalnych. Efekt pracy skanera staje się zatem obiektywnym zapisem stanu rzeczywistego. Wydaje się więc, że tak jak i każdy proces badawczy, także i przebieg prac konserwatorskich zyskał narzędzie określające przestrzenie z należytą precyzją każdy z etapów prowadzonych prac. Należy przy tym podkreślić, że możliwość efektywnego użycia tego samego instrumentu na etapie badań i konserwacji zbliża ze sobą dwa te procesy, zapisując ich wynik w zintegrowanym środowisku przestrzennej bazy danych. Tak oto, dzięki nowym technologiom, prace konserwatorskie stały się rozwinięciem i zwieńczeniem procesu badawczego. Trudno o lepszą informację dla ludzi opiekujących się zabytkami (ryc. 3).

Skanery laserowe 3D pojawiły się w naszym kraju już ponad 10 lat temu. Od tego czasu zdążyły przejść dość istotną ewolucję, poprawiając dzięki modyfikacjom precyzję pomiaru i jakość obrazu⁶. Podstawy techniki pozostają jednak wciąż te same. Urządzenie, wysyłając z ogromną częstotliwością wiązki lasera, zbiera informacje o pozycji geodezyjnej każdego fragmentu powierzchni rejestrowanego obiektu, budując jego trójwymiarowy obraz, złożony z gęstej chmury punktów. Najnowsze generacje tych urządzeń są w stanie wykonywać pomiary z prędkością miliona punktów na sekundę, mierząc obiekt z odległości kilkuset metrów z milimetrową dokładnością. Sprzęgnięcie skanera z wbudowanym (lub dołączanym) cyfrowym aparatem fotograficznym pozwala obecnie chmurę tę przedstawić w formie rzeczywistego obrazu, jakością nie odbiegającego od cyfrowej fotografii. Rzecz w tym, że ten fotorealistyczny obraz jest w swej istocie aktywnym, trójwymiarowym modelem w skali 1:1, w którym każdy z setek milionów punktów tworzący ów model ma swoją pozycję geodezyjną. Precyzja pomiaru jest tu sprawą nadrzędną, bowiem skaner rejestruje anomalie niewi-



Ryc. 8. Wilanów, Muzeum Pałacu Króla Jana III – zrzut z ekranu widoku aksonometrycznego modelu 3D plafonu Pokoju Farfurowego oraz jego ortofotograficzna wersja. Wyk. INCEDO3D, Archiwum Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie

Fig. 8. Museum of King Jan III's Palace in Wilanów – screenshot of 3D model of the ceiling of Farfurowy Room and its orthophotographical version

doczne gołym okiem, co przekładać się może na wiele użytecznych analiz. Nie od dziś wiadomo, że analiza powierzchniowa pozwala wychwycić miejsca zawilgoceń i zmian temperatury, nie mówiąc już o mechanicznych odkształceniach i uszkodzeniach, których znajomość jest niezbędna przy ocenie stanu zachowania zabytku i śledzeniu tempa jego zmian (ryc. 4).

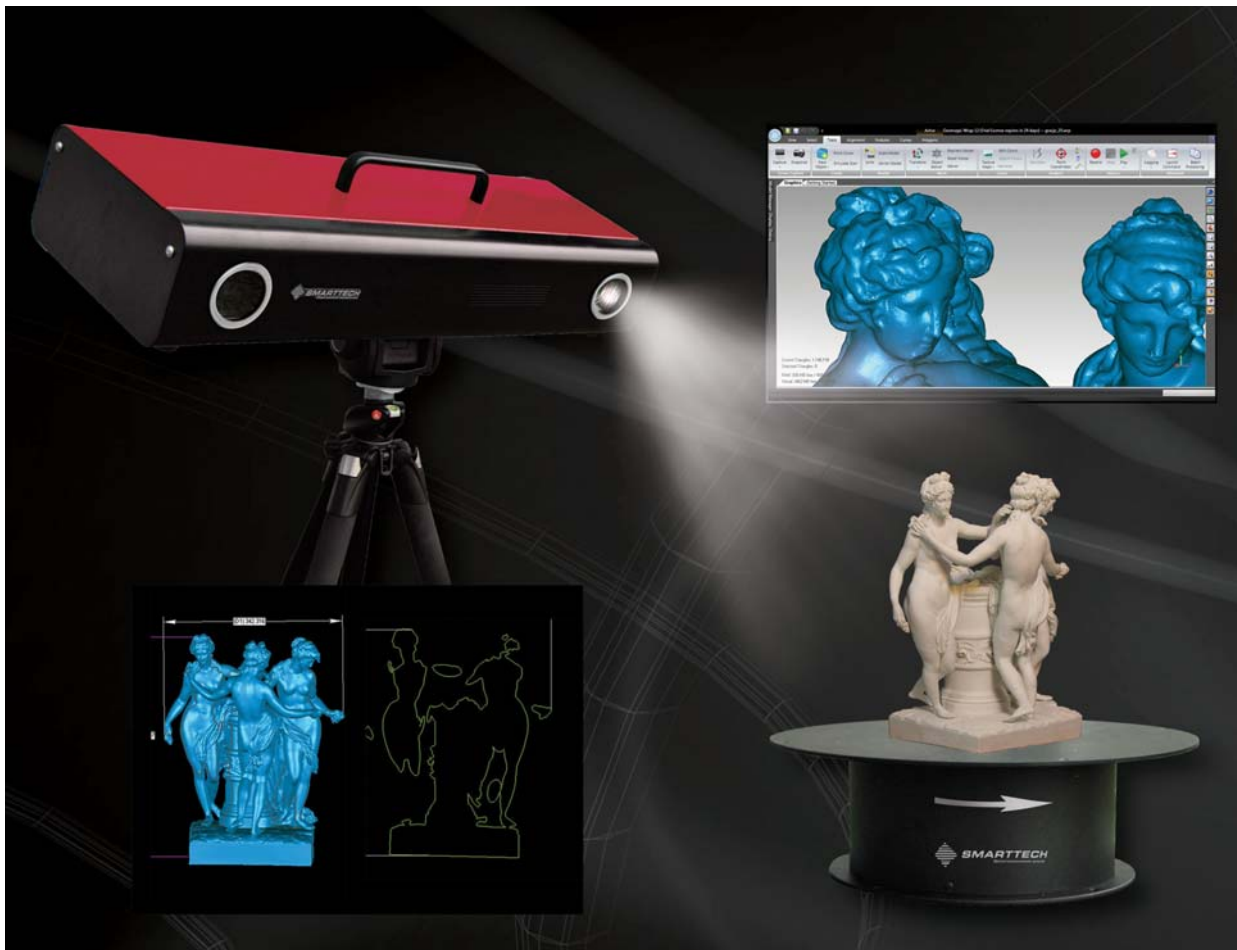
Wspominam o zaletach skanera laserowego 3D w pierwszej kolejności, bo też i wartość tej techniki przewyższa znacznie wszystkie pozostałe. Niestety, w pierwszych latach stosowania tego urządzenia nie wszyscy wykonawcy zadbali o należyty poziom świadczonych usług. I chociaż trudno jest zepsuć sam proces skanowania, to jednak brak umiejętności wykorzystania oprogramowania służącego do obróbki chmury punktów był dla wielu odbiorców prac poważnym problemem. Do tego zdarzały się przypadki stosowania dość nieuczciwej praktyki, która polegała na dostarczeniu wyniku prac na nośnikach cyfrowych, których nie można było otworzyć bez zakupu specjalistycznego oprogramowania. Takie działania zraziły wielu administratorów obiektów zabytkowych. Trudno dziwić się takiej reakcji, bowiem usługa ta była jeszcze do niedawna bardzo kosztowna.

Ale czasy się zmieniły. Skanerów jest „na rynku” usług już znacznie więcej, zatem pojawiła się i konkurencja. Spowodowało to spadek cen i wyraźny wzrost jakości usługi. Warto zaznaczyć, że dzieje się też tak i z powodu modyfikacji samego sprzętu i rozwoju programów obsługujących chmurę punktów. Poza tym nie ma już dzisiaj obawy, że rozmiar pliku tworzącego model uniemożliwi efektywne jego wykorzystanie. Dzisiaj obraz taki można przesyłać nawet przez Internet, nie zważając przy tym na zbyt wyśrubowane parametry komputera.

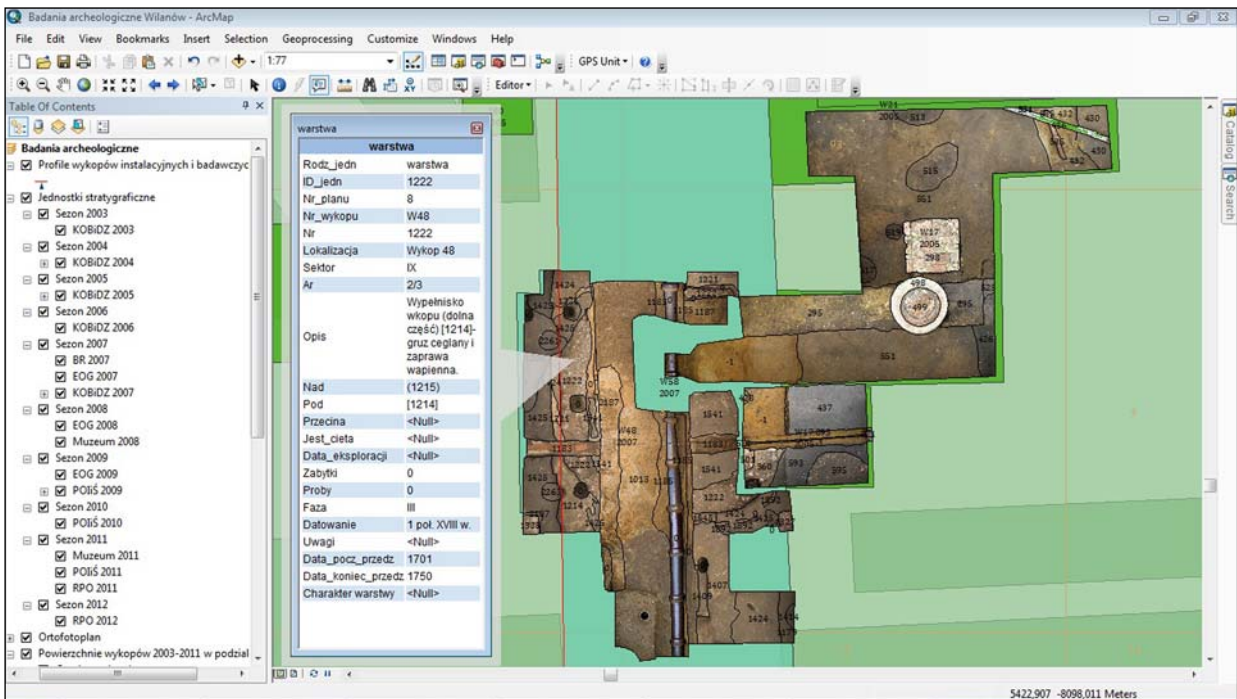
Dokładność pomiaru skanera jest podstawowym wykładnikiem wartości wykonanej pracy. Określa się ją w momencie przypisania markerom wartości geodezyjnych i podnosi, zagęszczając chmurę punktów. W wyniku tego procesu każdy z milionów punktów otrzymuje swoje współrzędne x , y i z . Część badaczy, a zapewne i konserwatorów, nie przywiązuje wagi do nadmiernej precyzji pomiaru, w tym też i pomiaru geodezyjnego. Unikam dyskusji na ten temat, bowiem wychodzę z założenia, że efekt pracy osoby wykonującej dokumentację powinien być *a priori* dziełem o najwyższym z możliwych stopniu precyzji (ryc. 5).

Trzeba pamiętać, że dokumentacja wykonana przy użyciu skanera, poprzez swój uniwersalny wymiar, staje się produktem możliwym do wykorzystania przez różnych specjalistów i to do różnych celów, w tym też i projektowych (że nie wspomnę już o możliwości monitorowania postępujących zmian) – musi więc być dokładna. Jestem zatem zdania, że decydując się na zamówienie skanowania warto wymagać od wykonawcy produktu o możliwie największym zagęszczeniu chmury punktów i najwyższej dokładności geodezyjnego pomiaru. To prawda, że pliki takie zajmują mnóstwo pamięci, ale warto jest mieć je w archiwum, bowiem jak wspomniałem, przy obecnym poziomie technicznym „odchudzenie” takiego pliku i aktywne jego wykorzystanie nie stanowi już problemu⁷ (ryc. 6).

Rozpatrując wartość dokumentacyjną skanów laserowych 3D nietrudno zauważyć, że kolejną ich zaletą jest fakt równoległej rejestracji szerokiego, zdefiniowanego geodezyjnie kontekstu. A więc ponownie przestrzeń staje się czynnikiem istotnym, poszerzającym pole obserwacji i podnoszącym jej wartość, nie mówiąc już o stawianych diagnozach oraz wnioskach. To kolejny dowód, że rejestracja przestrzeni właśnie, dopisująca kontekst do przedmiotu naszych zainteresowań, narzuca interdyscyplinarny wymiar prowadzonych prac. Warto zatem przywołać tu jeszcze jeden sposób rejestracji przestrzeni, zbliżony w swym działaniu do skanowania laserowego. Jest nim technika LIDAR⁸. To rejestracja wykonywana z powietrza, obejmująca swoim zasięgiem dowolną przestrzeń i dokumentująca ją z niespotykaną dotychczas dokładnością. Wspominam o niej, bowiem analiza otrzymanego obrazu umożliwi nie tylko ustalenie zasięgu zabytkowych przestrzeni, ale także i niuansów ich pierwotnego rozplanowania przestrzennego. Jest zatem nie tylko narzędziem archeologów, ale też historyków architektury, krajobrazu i pośrednio konserwatorów. Warto pamiętać przy tym, że jakość rejestracji dostarcza



Ryc. 9. „Trzy gracje”, rejestracja wykonana przy użyciu skanera wykorzystującego promienie światła strukturalnego. Wyk. Smarttech
 Fig. 9. „The Three Graces”, registration made by a scanner that uses structured light ray



Ryc. 10. Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie, „strona” przestrzennej bazy danych GIS, obrazująca epizod poszukiwań archeologicznych, związanych z odkrywaniem negatywu fontanny na Tarasie Górnym i ukazujący relację stratygraficzną zarejestrowanych jednostek stratyfikacji. <http://gis.muzeum-wilanow.pl/archeologia>

Fig. 10. Muzeum of King Jan III's Palace in Wilanów, „page” of the spatial GIS database, showing the episode of archaeological research, related to discovery of the fountain's negative, found on the Upper Terrace of the king's garden and showing stratigraphical relation between registered stratification units. <http://gis.muzeum-wilanow.pl/archeologia>

też informacji o geograficznym i przyrodniczym kontekście zabytkowej przestrzeni. Możliwość dysponowania danymi LIDAR, do niedawna niezmiernie droga, jest od pewnego czasu dostępna, dzięki zasobom osiągalnym przez Internet: www.cotgik.gov.pl, udostępnianym za przystępną cenę dla niemal całej powierzchni naszego kraju⁹ (ryc. 7).

Popularność innowacyjnych technik pomiarowych wciąż wzrasta, a to głównie za sprawą formy produktu finalnego, który jest *de facto* zwymiarowanym, trójwymiarowym i fotorealistycznym obrazem, czyli mówiąc inaczej, zwizualizowaną, aktywną (ruchomą) formą przestrzenną. I jako że łączyć może w sobie kilka podstawowych cech, w tym przede wszystkim pomiarową, jest na wiele sposobów formą funkcjonalną, działającą poprzez trójwymiarowy obraz na wyobraźnię, co nie pozostaje bez znaczenia w procesie badawczym czy też konserwatorskim. Nie dziwi zatem wielka popularność cyfrowych metod fotogrametrycznych, rozwijających się w ostatnich latach tak dynamicznie. Fotogrametria bliskiego zasięgu, bo taką oficjalną nazwę otrzymała metoda łączenia zdjęć cyfrowych, stosowana jest z powodzeniem od blisko trzydziestu lat¹⁰. Z początku dwumiarowa, sprowadzająca się do wykonywania ortofotografii, przybrała u schyłku ubiegłego wieku także formę trójwymiarową. Z początku nie budziła większego zainteresowania reprezentantów nauk humanistycznych, dopóki nie zostały opracowane automatyczne algorytmy, pozwalające składać serie zdjęć w jeden, spójny obraz 3D. Skoro zatem metoda ta staje się tak popularna, warto przyjrzeć się jej z bliska, pozostawiając przy tym sprawy techniczne fachowcom¹¹.

Fotogrametria cyfrowa 3D zawdzięcza swoją popularność opinii o łatwości, z jaką uzyskiwany jest trójwymiarowy obraz. To właśnie ta pozorna przystępność techniki czyni ją obecnie jednym z wiodących sposobów wykonywania dokumentacji. Piszę „pozorna”, bowiem podobnie jak w czasie zmierzchu fotografii analogowej, kiedy to starannie dobrane kadry zastąpiły setki zdjęć cyfrowych o charakterze reportażowym, tak i robione z ręki „foty”, składane przez automatyczne funkcje programów fotogrametrycznych, nierzadko wprowadzają do zbiorów dokumentacji chaos. Rzecz w tym, że wszystkie innowacyjne aplikacje związane z tworzeniem trójwymiarowych rejestracji, czy to laserowych, czy fotogrametrycznych, wykonywanych z powietrza czy też z ładu, mają swoją podstawę w skomplikowanych zasadach geodezji. Wracamy zatem i w tym przypadku do wyrażonej uprzednio myśli o wiodącej roli precyzyjnego pomiaru w procesie tworzenia podstaw naukowej (konserwatorskiej) dokumentacji. Innymi słowy, należy raz jeszcze podkreślić, że czynnikiem utrzymującym jej ład są precyzyjnie pomierzone punkty, stanowiące część osnowy i wpisujące dokumentowany obiekt w szerszy kontekst przestrzenny. Przypomnę zatem, że tylko zmierzona przestrzeń jest w pełni obiektywnym czynnikiem, łączącym złożoną rzeczywistość badawczo-konserwatorską w spójną całość (ryc. 8).

Świadomość takiego stanu rzeczy sprawiła, że dokonany został przełom w dotychczasowym myśleniu o zasadach tworzenia i archiwizowania dokumentacji. Dotyczy to zresztą wszystkich uczestników prac przy zabytkowym obiekcie czy też historycznej przestrzeni. Zanim przejdę do omówienia konsekwencji takiego stanu rzeczy, powrócę do spraw związanych z wykonywaniem trójwymiarowej dokumentacji fotogrametrycznej, bowiem kusząca funkcja składania trójwymiarowej przestrzeni „z automatu” nie wydaje się być rozwiązaniem w pełni bezpiecznym. Otóż takie wykonywanie dokumentacji, szczególnie dla znacznych powierzchni, niesie ze sobą ryzyko powstania pomiarowych błędów. Próba udowodnienia, że algorytmy łączące piksele pozwalają wiernie (w rozumieniu metrycznym) odwzorować dokumentowaną przestrzeń, jest nieprawdziwa. Wystarczy porównać efekt takiej pracy ze stanem faktycznym (mierząc odległość pomiędzy skrajnymi punktami wybranej płaszczyzny). Podobnie niekorzystnie wypadnie porównanie efektu rejestracji fotogrametrycznej z wynikiem skanowania laserowego. Skala tego błędu jest różna i zależy od kilku czynników, w tym przede wszystkim od jakości aparatu, liczby i sposobu wykonywania zdjęć, które mają podstawowy wpływ na stopień pokrycia sąsiadujących kadrów i ich ostrości (w tym rzecz jasna i jej głębi).

Pozostawiając na boku techniczne uwarunkowania będące powodem tych niedoskonałości, warto podkreślić, że wbrew pozorom nie jest to technika prosta. I chociaż już wszyscy liczący się na rynku producenci oprogramowania fotogrametrycznego wprowadzili kuszącą funkcję automatycznego łączenia zdjęć, to w przypadku prac dokumentacyjnych funkcja ta stosowana być powinna z rozwagą. Nie przez przypadek jest ona główną atrakcją tańszej, podstawowej wersji programów. Jest jednak i druga, znacznie droższa wersja, zawierająca m.in. możliwość pozycjonowania geodezyjnego i nie przez przypadek nosi ona miano „profesjonalnej”¹². Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że wtórne przypisywanie wartości geodezyjnych i pozycjonowanie dokumentowanego obiektu po zakończonym procesie automatycznego składania niesie ze sobą ryzyko popełnienia błędu – szczególnie w przypadku dokumentowania większych płaszczyzn. Być może zgubione podczas łączenia zdjęć 5 czy 10 centymetrów nie dla wszystkich będzie miało znaczenie, jednak już wpisane do pamięci komputera (a są to dane podlegające zapisowi i komputerowemu przetworzeniu) może okazać się dewastujące. Jestem przy tym zdania, że pojęcie błędu pomiarowego, czy też marginesu takiego błędu, powinno być z zasady wyeliminowane ze wszystkich prac prowadzonych w obrębie zabytkowych przestrzeni. Każda praca ma bowiem swoje parametry oceny, z których tym najważniejszym i jak sądzę, najłatwiejszym do weryfikacji, jest ocena dokładności pomiarowej (ryc. 9).

Skoro mowa o błędzie pomiarowym, warto wspomnieć o innych sposobach wykonywania trójwymiarowej dokumentacji, a mianowicie o skanowaniu promieniami światła strukturalnego¹³. Jest to technika,



Ryc.11. Łazienki Królewskie w Warszawie – rekonstrukcja Mostu Chińskiego. Model 3D wpisany w dzisiejszą przestrzeń parkową (wizualizacja). Wyk. INCEDO3D (model I. Żyła, montaż R.Solecki), Archiwum Muzeum Łazienki Królewskie w Warszawie

Fig. 11. Łazienki Królewskie park in Warsaw – reconstruction of the Chinese Bridge. 3D model entered in space of the present day park (visualization)

która wykorzystuje efekt deformacji linii promienia światła oświetlającego powierzchnię dokumentowanego przedmiotu. Proste linie promieni ulegają zniekształceniu natrafiając na nieregularną płaszczyznę obiektu, co rejestrowane jest przez kamerę i analizowane w komputerze. Metoda ta jest niewątpliwie jednym z bardziej precyzyjnych sposobów wykonywania trójwymiarowych rejestracji, stosowanych jednak głównie przy sporządzaniu dokumentacji zabytków o małych gabarytach. Osiągnięta dzięki rozwojowi tej techniki precyzja stała się powodem kolejnej dyskusji, tym razem dotyczącej granicy dokładności. Okazuje się bowiem, że dzięki zastosowaniu najnowszych skanerów wykorzystujących promień światła, dokładność odwzorowania powierzchni liczyć można w mikronach, a nawet w dziesiątych ich częściach. Czy zatem i tu trudno jest o konsensus? Wydaje się, że niestety tak, chociaż powtórzę, że nadmiar precyzji nikomu nie zaszkodził, zaś jej brak zaszkodził wielu. Nie ulega przy tym wątpliwości, że w celu sporządzania wartościowej dokumentacji stosować należy metody najlepsze, w tym te najbardziej dokładne. Natomiast decyzję o tym, którą z nich uznać za wiodącą, pozostawić należy tym, którzy potrafią jasno określić priorytety formalne i funkcjonalne i którzy za ten wybór ponoszą odpowiedzialność.

Omawiając wszystkie powyższe techniki trójwymiarowego zobrazowania obiektu lub przestrzeni warto zwrócić uwagę na to, że każda z nich może być zapisana w kilku zasadniczych postaciach. Jest to siła nowych

technologii, które poprzez zmienność formy zapisu i zobrazowania przestrzeni zyskują możliwość łączenia odmiennych technik rejestracyjnych. I tak przestrzeń uzyskana dzięki połączeniu zdjęć cyfrowych w programie fotogrametrycznym może być przekształcona w siatkę trójkątów lub chmurę punktów, co stwarza możliwość połączenia jej z przestrzennym wynikiem skanowania. Ta niewątpliwa dogodność rysuje ciekawą przyszłość dla ewolucji form dokumentacyjnych. Bo jeśli do tego dodamy możliwość wykonywania wybranych w wirtualnej przestrzeni rzutów ortogonalnych i generowania przekrojów w dowolnie wygranym miejscu, obliczania kątów, odległości i powierzchni, jeśli fotorealistyczna forma zyskać może wyrys wektorowy i to dowiązany do rzędnych geodezyjnych, spełniając inżynierskie normy projektowe, to nietrudno przewidzieć, że trójwymiarowa, cyfrowa forma dokumentacyjna zyska wkrótce status normy.

Możliwość zapisania w pamięci komputera zobrazowanej przestrzeni, która dzięki najnowszym aplikacjom staje się aktywna w każdym jej polu, otworzyła szansę przypisania wszystkim jej elementom nie tylko geodezyjnej pozycji, ale także i jej cech charakterystycznych¹⁴. Otwarta została zatem droga dla stworzenia jednej, a następnie wielu baz danych, które mogą być przypisane konkretnemu miejscu i to niekoniecznie przez jednego specjalistę. Definiując przestrzeń zyskano osnowę, precyzyjnie zdefiniowane metrycznie i obrazowo środowisko, w którym lokować można różnego

typu informacje, gromadzone przez przedstawicieli różnych specjalizacji i dyscyplin nauki. To pojemna baza przestrzenna, porządkująca i sortująca obrazy, dane tabelaryczne i opisowe. To wreszcie środowisko przetwarzające i analizujące tę wiedzę. Określane jest mianem Systemu Informacji Geograficznej (GIS, od angielskiego *Geographic Information System*) i stosowane jest z powodzeniem od wielu już lat w naukach społecznych i przyrodniczo-geograficznych¹⁵. Po raz pierwszy w Polsce, w obszarze przestrzeni zabytkowej, system ten zastosowany został podczas prac konserwatorskich i badawczych, prowadzonych na terenie Muzeum Pałacu króla Jana III w Wilanowie¹⁶ (ryc. 10).

Teoretycy GIS twierdzą, że siłą systemu jest jego uniwersalizm. To prawda – współrzędne określające przestrzeń są obiektywne i niezmiennie. Prawdą jest też i to, że wszystko co nas otacza, nawet wartości niematerialne, ma swoje, możliwe do określenia miejsce. Oznacza to, że w pamięci komputera zapisywać możemy niemal wszystkie kategorie zjawisk, a od naszej wiedzy, doświadczenia i wyobraźni zależeć będzie struktura budowanej bazy. Kryteria budowy są tu niezmiernie ważne, bowiem największą siłą współczesnych, przestrzennych baz danych, jest możliwość przenikania się ich treści. Przy łatwości wyszukiwania opisanych zjawisk lub określonych cech i możliwości stosowania rozbudowanych funkcji przetwarzania zawartych w bazach informacji system GIS staje się narzędziem uniwersalnym, wielofunkcyjnym. Staje się analitycznym archiwum zawierającym nie tylko różnego rodzaju informacje czy też ilustracje, ale też i przestrzenne modele 3D. Jego siłą jest możliwość sukcesywnego uzupełniania i modyfikowania jego treści (ryc. 11).

Należy przy tym pamiętać, że podstawą baz danych może być dowolnie wybrana przestrzeń bądź obiekt. Może nią być fragment obiektu, a nawet jego detal i to w kilku wersjach, tworzonych przez przedstawicieli nie zawsze pokrewnych specjalności. Wszystko zależy od wizji twórcy bazy i oczekiwań jej odbiorców. Rzecz w tym, że nie tylko komputerowi programiści, ale ludzie obdarzeni wyobraźnią i wrażliwością mogą mieć znaczący wpływ na kształt i wartość budowanej bazy. Pamiętać

bowiem należy, że jej równie ważnym atutem jest możliwość wykorzystania zbioru informacji dla celów popularyzatorskich i edukacyjnych, daleko wykraczających poza oczekiwania samych specjalistów. Nie bez znaczenia pozostaje tu fakt łatwości, z jaką zawartość bazy, rzecz jasna odpowiednio zabezpieczonej, może być upubliczniona – chociażby poprzez dostęp internetowy. Próba taka została z powodzeniem zastosowana w Wilanowie, gdzie entuzjaści historii królewskiej rezydencji śledzić mogli przebieg badań archeologicznych, a następnie oceniać część ich wyników w umieszczonej na stronie Muzeum bazie. To cenne doświadczenie, które warto powielać, szczególnie, że od tamtego czasu minęło już kilka lat i obecne narzędzia programowe dają znacznie szersze możliwości.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt technicznej rewolucji. Otóż sposób i tempo wprowadzania innowacyjnych technik dokumentacyjnych, dynamika rozwoju komputerowego sprzętu i niekontrolowany zalew rynku nowymi rozwiązaniami programowymi wymuszają wśród zwolenników innowacyjności działania oparte na szybkiej decyzji i dużej dozie ryzyka. Ci, którzy starają się sprostać nowym wyzwaniom, muszą angażować nie tylko swoją wiedzę, czas i znaczne środki. Muszą przede wszystkim zdążyć opanować nową technikę, nowy program, zanim pojawi się kolejna jego wersja. Muszą ją zrozumieć i wdrożyć, zanim nie rozpocznie się produkcja nowego typu aparatury. Wszystkie te działania stoją w całkowitej sprzeczności z próbami odgórnego narzucenia dyrektyw, norm i standardów. Nic tak nie zabija rozwoju, jak sztywne reguły, którymi przesiąknięty jest dzisiejszy świat urzędniczy. Kończę zatem swój tekst apelem, zwróconym do tych instytucji i instytutów centralnych, które normy takie próbują narzucać. Zostawcie metodykę działań tym, którzy śledzą rozwój narzędzi ją kształtujących. Nie wytyczajcie kierunków działania, bo próba narzucenia nowych norm jest działaniem, które rozwój hamuje. Pozostańcie w sferze wartości fundamentalnych, egzekwując jedynie poszanowanie dla dwóch zasadniczych działań: prawidłowego pomiaru i precyzyjnej rejestracji trójwymiarowego obrazu.

LITERATURA

- [1] Crutchley S., Crow P., *The Light Fantastic. Using airborne lidar in archaeological survey*, English Heritage, Swindon 2009.
- [2] Dziubek A., *Skaner 3D na bazie strukturalnego oświetlenia*, praca magisterska, Uniwersytet Wrocławski, Wydział Matematyki i Informatyki, Wrocław 2009.
- [3] Gołembnik A., *Problemy i perspektywy współczesnej archeologii (przyczynek do dyskusji o metodyce badań stanowisk w obrębie miast zabytkowych)*, [w:] Radom: korzenie miasta i regionu, T. 3. *Archeologia w obliczu wyzwań współczesności*, IAiE PAN, Warszawa 2012, s. 73-107.
- [4] Gołembnik A., „*Archeologia Wilanowska*” – wyniki badań 2003-2011, *Z Otchłani Wieków*, Rocznik 66, Nr 1-4/2011-2012, s. 72-83.
- [5] Gołembnik A., *Metodyka archeologicznych badań terenowych w dobie przemian technologicznych*, [w:] Nawarstwienia historyczne miast, Forum naukowe 2008, red. M. Wardas-Lasoń, Kraków 2012, s. 237-259.

- [6] Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., *GIS – Obszary zastosowań*, PWN, Warszawa 2008.
- [7] Kovalev V.A., Eichinger W.E., *Elastic Lidar: Theory, Practice and Analysis Methods*, Wiley, Hoboken 2004.
- [8] Kraszewski B., *Określanie zakresu wykorzystania modeli stereoskopowych naziemnych zdjęć cyfrowych do odtwarzania wnętrza pomieszczeń*, Biuletyn WAT, vol. LX, nr 3, 2011, s. 277-290.
- [9] Pilecki R., *Zastosowanie naziemnego skanera laserowego*, Mechanika, Czasopismo Techniczne, Zeszyt 26, Rok 109, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2012, [www. http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i7/i6/i4/r15764/PileckiR_ZastosowaniaNaziemnego.pdf](http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i7/i6/i4/r15764/PileckiR_ZastosowaniaNaziemnego.pdf).
- [10] Waldhäusl P., Ogleby C., *3×3-Rules for Simple Photogrammetric Documentation of Architecture*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXX, Part 5, Melbourne, 1994, pp. 426-429.
- [11] Davis O., *Processing and Working with LiDAR Data in ArcGIS: A Practical Guide for Archaeologists*, The Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales, Aberystwyth 2012, <http://www.rcahmw.gov.uk/media/259.pdf>

¹ www.incedo3D.com

² Gołębniak A., *Problemy i perspektywy współczesnej archeologii (przyczynek do dyskusji o metodyce badań stanowisk w obrębie miast zabytkowych)* [w:] Radom: Korzenie Miasta i regionu, Tom 3. Archeologia w obliczu wyzwań współczesności, IAiE PAN, Warszawa 2012, s. 73-107.

³ Wspomnę tu o dwóch najważniejszych: Wilanów i Krzyżtopór.

⁴ W archeologii brak szybkiej reakcji wyższych uczelni sprawił, że absolwenci większości instytutów nie są przygotowani do właściwego wykorzystania najnowszych zdobyczy techniki. Efektem braku wiedzy jest improwizacja, która w wielu przypadkach kończy się porażką badacza.

⁵ Gołębniak A., „Archeologia Wilanowska” – wyniki badań 2003-2011, *Z Otchłani Wieków*, Rocznik 66, Nr 1-4/2011-2012, s. 72-83.

⁶ Pilecki R., *Zastosowanie naziemnego skanera laserowego*, Mechanika, Czasopismo Techniczne, Zeszyt 26, Rok 109, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2012, [www. http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i7/i6/i4/r15764/PileckiR_ZastosowaniaNaziemnego.pdf](http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i7/i6/i4/r15764/PileckiR_ZastosowaniaNaziemnego.pdf).

⁷ Pisząc o zaletach skanowania należy zwrócić szczególną uwagę na nowe możliwości tej techniki. Być może ich znajomość może pomóc przyszłym zleceniodawcom jasno precyzować swoje oczekiwania i wymagania wobec wykonawców. Po pierwsze pamiętać należy o tym, że wynik skanowania jest częścią złożonego procesu. Składa się nań etap pomiarowy, w czasie którego wykonywanych jest wiele sesji, składanych później w model ostateczny. Podstawą złożenia jest pomiar punktów referencyjnych (markerów), znajdujących się w obrębie skanowanego obiektu. Należy w tym miejscu podkreślić, rozwijając wątpliwości opiekunów zabytkowych powierzchni, że nowa generacja oprogramowania może łączyć je w całość wykorzystując charakterystyczne punkty, a nie siatkę markerów, które mogą stanowić zagrożenie dla zabytkowej powierzchni.

⁸ *Light Detection and Ranging*. Rozwinięcie angielskojęzycznego skrótu oznacza wykrywanie i określanie położenia za pomocą światła. Nie wdając się w opisy szczegółowe, należy wiedzieć, że technika ta zbliżona jest zasadą działania do radaru. Technika różni się od radaru tym, że zamiast impulsu dźwiękowego wysyłany jest promień laserowy: V.A. Kovalev, W.E. Eichinger, *Elastic Lidar: Theory, Practice and Analysis Methods*, Wiley 2004; S. Crutchley, P. Crow, *The Light Fantastic. Using airborne lidar in archaeological survey*, English Heritage, Swindon 2009; S. Wiley-Blackwell, O. Davis, *Processing and*

Working with LiDAR Data in ArcGIS: A Practical Guide for Archaeologists, The Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales, Aberystwyth 2012.

⁹ Analizę otrzymanych zdjęć wykonuje się poprzez zastosowanie specjalistycznego oprogramowania, dostępnego także poprzez aplikacje *freeware*. Warto jednak ja zlecić wyspecjalizowanej firmie.

¹⁰ P. Waldhäusl, C. Ogleby, *3×3-Rules for Simple Photogrammetric Documentation of Architecture*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXX, Part 5, Melbourne, 1994, pp. 426-429.

¹¹ Kraszewski B., *Określanie zakresu wykorzystania modeli stereoskopowych naziemnych zdjęć cyfrowych do odtwarzania wnętrza pomieszczeń*, Biuletyn WAT, vol. LX, nr 3, 2011, s. 277-290.

¹² Znaczna różnica w cenie sprawiła, że najbardziej popularna „na rynku” jest wersja podstawowa. W związku z tym większość firm usługowych oferuje produkt niepełnowartościowy, w którym wartość geodezyjna dołączana jest niejako wtórnie, po wykonaniu złożenia trójwymiarowego „modelu”. Jest to zła praktyka, w wyniku której zamawiający otrzymuje produkt o zafałszowanej dokładności, a więc niepełnowartościowy. Warto jest zatem zapytać wykonawcę o rodzaj oprogramowania i warto we własnych pomysłach inwestycyjnych przewidzieć większy wydatek na pełnowartościowy produkt.

¹³ Dziubek A., *Skaner 3D na bazie strukturalnego oświetlenia*, praca magisterska, Uniwersytet Wrocławski, Wydział Matematyki i Informatyki, Wrocław 2009.

¹⁴ W przypadku tych ostatnich, dzięki zastosowaniu nowych technik dokumentacyjnych, uzyskano możliwość dołączenia do tradycyjnego języka opisu także i szczegółowo odwzorowanego wizerunku obiektu, wraz z jego kontekstem. W archeologii ta forma graficznego przedstawienia zyskuje miano „języka obrazu”.

¹⁵ Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., *GIS – Obszary zastosowań*, PWN, Warszawa 2008.

¹⁶ Nie do przecenienia jest na tym polu praca wykonana przez zespół konserwatorów Międzyuczelnianego Instytutu Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki, kierowany przez prof. Andrzeja Kossę. Pełna baza GIS zastosowana została także w przypadku trwających 10 lat badań archeologicznych: Gołębniak A., *Metodyka archeologicznych badań terenowych w dobie przemian technologicznych*, [w:] *Nawarstwienia historyczne miast*, Forum naukowe 2008, red. M. Wardas-Lasoń, Kraków 2012, s. 237-259.

CZŁONKOWIE WSPIERAJĄCY SKZ



www.btmjurkiewicz.pl



www.brobud.pl
wizytka o białym cementa
www.bialycement.pl

www.brobud.pl
www.bialycement.pl



www.castellum.pl



www.trojanowscy.krasnik.pl



www.dolinapalacow.pl



www.keim.com.pl



www.rem-mix.pl



www.restauro.pl



www.sto.pl



www.quick-mix.pl



www.kingspaninsulation.pl



www.zamek-gniew.pl



SKANOWANIE 3D. FOTOGRAMETRIA 3D. GIS. WWW.INCEDO3D.COM

www.incedo3d.com