

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO
I ARCHITEKTURA

Vol. 14(4) 2015

Politechnika Lubelska
Lublin, 2015

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO I ARCHITEKTURA



Vol. 14(4) 2015

Politechnika Lubelska
Lublin, 2015

Rada Naukowa

Tomasz Bajda (AGH Kraków)
Ivan Baláž (University of Economics in Bratislava)
Mykola Bevz (National University Lviv Polytechnic)
Grażyna Dąbrowska-Milewska (Politechnika Białostocka)
Wiesława Głodkowska (Politechnika Koszalińska)
Adam Goliger (The Council for Scientific and Industrial Research - CSIR)
Zbyněk Keršner (Brno University of Technology)
Halit Cenani Mertol (Atılım University)
Carlos M. Mozo (University of Castilla - La Mancha)
Adam Nadolny (Politechnika Poznańska)
Sandro Parrinello (Pavia University)
Stanislav Pospíšil (Institute of Theoretical and Applied Mechanics)
Wojciech Radomski (Politechnika Łódzka i Politechnika Warszawska)
Elżbieta Radziszewska-Zielina (Politechnika Krakowska)
Petro Rychkov (National University of Water Management and Nature Resources Use)
Shamsher Bahadur Singh (Birla Institute of Technology and Science)
Anna Sobotka (AGH Kraków)
Thomas Thiis (Norwegian University of Life Sciences)
Viktor Tur (Technical University of Brest)
Tim K.T. Tse (The Hong Kong University of Science and Technology)

Kolegium Redakcyjne

Redaktor naczelny: **Wojciech Franus**

Redaktorzy Tematyczni:

Stanisław Fic, Joanna Giecewicz, Anna Halicka, Piotr Jaśkowski, Wojciech Kosiński,
Jan Kukielka, Tomasz Lipecki, Marek Łagoda, Wojciech Piasta, Jadwiga Roguska,
Małgorzata Rozbicka, Elżbieta Ryńska, Bogusław Szymgin, Maciej Trochonowicz,
Magdalena Wdowin, Daniel Załuski

Sekretariat: Lidia Bandura

Adres redakcji:

Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: wb.bia@pollub.pl

Strona czasopisma:

<http://wbia.pollub.pl/pl/o-wydziale/czasopismo-budownictwo-i-architektura>

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej
Finansowana w ramach środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego

© Copyright by Politechnika Lubelska 2015

ISSN 1899-0665

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej
Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej
ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin, email: wydawca@pollub.pl
Fundacja Rozwoju Politechniki Lubelskiej

SPIS TREŚCI CONTENTS

Mykoła Bevz, Olga Okonchenko:

- Zamek w Brodach: fazy rozwojowe fortyfikacji
The castle in town of Brody: the phases of development of fortifications 5

Stanisław Fic, Andrzej Szewczak:

- Skuteczność hydrofobizacji ceramiki budowlanej polimerami nieorganicznymi
dezintegrowanymi ultradźwiękami z dodatkiem napelniaczy
*Hydrophobisation effectiveness of building ceramics, polymeric inorganic
ultrasound integrated with the addition of fillers* 19

Lucjan Gazda, Marcin Górski, Katarzyna Skiba:

- Analiza możliwości adaptacji drewnianego obiektu rekreacyjnego w funkcjonalny
obiekt mieszkalny z zachowaniem rozwiązań i technologii wernakularnych
*Analysis of adaptability of the recreational property in a wooden residential
building with functional behavior of solutions and technologies vernacular* 29

Jakub Gontarz, Jerzy Podgórski:

- Badanie cech mechanicznych porowatego gipsu
The study of the mechanical properties of the porous gypsum 43

Mirosława Górecka:

- Przyczyny realizowania niskoenergochłonnych domów na terenach wiejskich
Reasons of realization of low energy consuming houses on rural areas 55

Piotr Kłoda:

- Konserwacja drewnianej architektury wernakularnej – wnioski i doświadczenia
z przeprowadzonych prac
*Conservation of wooden vernacular architecture – lessons and experience from
the work carried out* 67

Ryszard Kozłowski, Kajetan Pyrzyński, Agnieszka Michalska,

Małgorzata Muzyczek, Krzysztof Salaciński, Jacek Rulewicz:

- Zabezpieczanie przed ogniem drewnianych obiektów zabytkowych
Wooden heritage buildings and preventing them against fire 79

Szymon Malinowski, Justyna Jaroszyńska-Wolińska:

- The physical and mechanical properties of magnesium oxychloride cement-based materials* 89

Maciej Prarat, Ulrich Schaaf:

- Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa zabytków architektury drewnianej w procesie
konserwatorskim – problemy i propozycja standaryzacji
*Measurement and drawing inventory of wooden architecture monuments
in the renovation process – problems and proposal of standardization* 99

Olga Skoczylas:

- Dostosowywanie obiektów mieszkalnych do potrzeb osób z dysfunkcją ruchu
Customizing residential buildings for people with dysfunction of motion 111

Maciej Szelaĝ, Stanisław Fic:

Analiza rozwoju spękań klastrowych w zaczynie cementowym modyfikowanym mikrokrzemionką

Analysis of the development of cluster cracks in the cement paste modified by microsilica 117

Bartosz Szostak, Tomasz Nicer:

Analiza nośności drewnianych więźb dachowych ekspozycyjnych obiektów architektury wernakularnej

Analysis of bearing capacity of wooden rafter frames in wooden vernacular building 129

Michał Tomczak, Robert Bucoń:

Milk runs model with overtime: application to cluster supply chain 139

Maciej Trochonowicz, Nina Kołodziejczuk:

Wpływ temperatury, wilgotności i kierunku badań na wartość współczynnika przewodności cieplnej λ w różnych gatunkach drewna

The impact of temperature, humidity and the direction of analysis

on thermal conductivity λ in different types of wood 149

Piotr Witomski:

Konserwacja zachowawcza a trwałość budowli drewnianych

Preventive conservation of historical wooden architecture 157

Rafał Zapłata:

Pomiar, inwentaryzacja i diagnostyka drewnianej architektury wernakularnej – wybrane zagadnienia zastosowania technologii skanowania naziemnego

Measurement, inventory and diagnostics of wooden vernacular architecture

– selected issues the use of terrestrial scanning technology 165

Tomasz Źmijewski:

Jak dostosowywać budynki drewniane do przepisów pożarowych?

How to adapt wooden buildings to fire regulations? 183

Bohdan Dołżycki:

Badania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)

Researches of mineral-cement-emulsion mixes (MCE) 189

Marcin Górecki, Dominika Franczak-Balmas:

Wzmocnienie stropu Kleina w świetle aktualnych norm

Strengthening Klein's floor slabs with the use of current norms 197

Zamek w Brodach: fazy rozwojowe fortyfikacji

Mykoła Bevz¹, Olga Okonchenko²

¹ *Katedra Konserwacji Zabytków, wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska;*

Katedra Konserwacji Zabytków Architektury i Sztuki, Instytut Architektury,

Narodowy Uniwersytet Politechnika Lwowska, e-mail: m.bevz@pollub.pl

² *Katedra Podstaw Projektowania, Instytut Architektury,*

Narodowy Uniwersytet Politechnika Lwowska, e-mail: oliakonchenko@gmail.com

Streszczenie: Artykuł poświęcony genezie i rozwojowi fortyfikacji zamkowej w Brodach. Wykonano analizę fortyfikacji zamkowej w aspekcie planistycznym, przestrzennie – kompozycyjnym. Ujawniono cechy stylistyczne umocnień zamku na podstawie analizy map historycznych i badań terenowych. Po raz pierwszy przeanalizowano plany umocnień zamku na mapach Brodów z okresu XVIII w. Rekonstruowano fazy rozwojowe zamku.

Słowa kluczowe: zamek, fortyfikacja, miasto Brody

1. Wprowadzenie

Zamek w Brodach posiada znacząca wartość historyczną, architektoniczną i urbanistyczną. Jest on także dziełem ważnym w historii architektury i fortyfikacji polskiej i europejskiej. Zachowane fragmenty zabudowań i fortyfikacji wskazują że obok głównej funkcji zamku – militarnej, pełnił on także funkcje siedziby właściciela, ujawniając jego specyficzny typ architektoniczny – „palazzo in fortezza”. W porównaniu z innymi obiektami zamkowymi powstającymi w okolicach Lwowa w ostatnich latach XVI wieku, zamek brodzki wyróżnia się nowatorskim rozwiązaniem militarno-architektonicznym. Tym nie mniej jego elementy fortyfikacyjne posiadające funkcję obronne nie doczekały się do dzisiaj należytej analizy i oceny. Do takiej sytuacji doprowadziły przyczyny takie jak: utrata części linii obronnej w XIX w., złożona historia zamku i częste przebudowy jego struktury, zasłaniające jego pierwotny kształt, a także brak zainteresowania badaczy obiektem po drugiej wojnie Światowej, możliwości i niemożność wykonania precyzyjnych pomiarów i niedostępność materiałów archiwalnych. Konieczność analizy i identyfikacji różnych fragmentów fortyfikacji zamku powstała po raz pierwszy w końcu lat 1980-ch, kiedy wykonywano pierwsze plany konserwacji obiektu (Ulana Pichurko [10]). Próby wykonania prac ratunkowych, jak również przygotowanie planów rewitalizacji zamku, a także powstające w ostatnich latach programy adaptacji pałacu i kazamat, ponownie wskazują na konieczność kompleksowych badań obiektu i otoczenia, odczytania i zrozumienia historii zamku. Dla tak cennego zabytku wykonanie przekształceń, opracowanie projektu konserwatorskiego i rewitalizacji należy planować na bazie szczegółowej rekonstrukcji faz rozwojowych obiektu i pełnej identyfikacji wszystkich jego elementów.

Wcześniejsze badania, koncentrując się przeważnie na zagadnieniach z historii architektury zamku, zawierały bardzo skromną analizę jego struktur obronnych [4, 9, 14, 18, 20, 22]. Naukowcy, pisząc o zamku, bez wątplenia stwierdzają jego unikalny charakter: przynależność umocnień zamkowych do typu fortyfikacji nowożytnych bastionowych (jeszcze rzadko stosowanych na kresach w rozpatrywanym okresie), „wzorcowy”- regularny układ

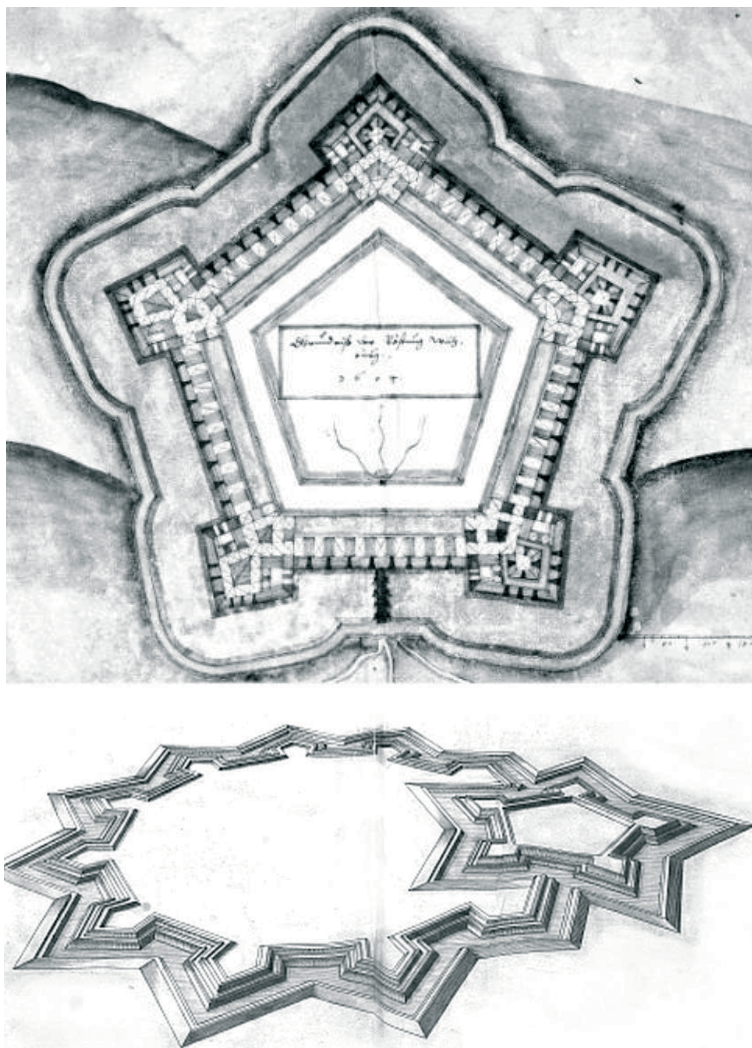
planistyczny w porównaniu z Zamościem czy Żółkwią. Stworzenie idealnego schematu miasta-twierdzy, klasyfikuje obiekt do specyficznego typu założeń zamkowych zespolonych ze średnicą [27 (Sosnowski O.), 32, 34 (Krawcow S.), 28, 29 (Bevz M.)]. Liczne badacze zastanawiają się nad metodami realizacji jego budowy w tak krótkim okresie. Jednakże bez odpowiedzi pozostają: zagadnienia związane z sprecyzowaną identyfikacją umocnień, dokładną identyfikacją rodzaju i typu bastionów, kurtyn, ich „przywiązanie” do konkretnej szkoły fortyfikacyjnej. Próby wykonania prac identyfikacyjnych w terenie utrudnia fakt utrzymywania zamku w stanie trwałej ruiny. W rezultacie współczesnych badań można znaleźć różnicę w potraktowaniu charakteru umocnień zamkowych. Przedstawimy poglądy różnych badaczy.

W artykułach naukowych architektów-konserwatorów U. Pichurko, D.Krivoshejevej, A.Lyczko A. [10], przedstawiono koncepcyjny projekt restauracji zamku (wykonany w instytucie "Ukrzachidproektrestavracija-Укрзахідпроектреставрація" w latach 1988-89), w którym podkreślano przynależność bastionowej fortyfikacji zamkowej do szkoły włoskiej. Autorzy uzasadniają także hipotezę – o przynależności obwarowań bastionowych średnicy i części zewnętrznych obwarowań zamkowych jako „posiadających elementy szkoły holenderskiej” [10].

Znany historyk sztuki W. Owsyczuk wskazuje, że zamek został zbudowany na zasadach holenderskiego systemu bastionowego [7]. Wybitny polski badacz architektury obronnej J. Bogdanowski w monografii poświęconej badaniu architektury obronnej w Polsce i na ziemiach ukraińskich odnosi pięciokątny zamek w Brodach do szkoły staro holenderskiej [17]. Historyk architektury S.Kravcov uważa, że rozplanowanie zamku i miasta wykonano na zasadach francuskiej szkoły fortyfikacyjnego budownictwa [32, 33, 34].

Warto również wspomnieć, że teoretyk polskiej architektury militarnej Naronovich-Naroński w pracy, ukończonej w 1659 r., w przeglądzie historycznych typów fortyfikacji, wyróżnia jako oddzielny typ zamku, tak zwany - "zamek z kazamatami". Charakteryzując wyróżniony typ, określa istnienie jego w dwóch wersjach, posiadających różne rozwiązania bastionowe włoskiej szkoły – z zaokrąglonymi (a) i prostokątnymi (b) uszami na skrzydłach bastionów. W pracy autor wspomina o Brodach, zaliczając fortecę do wymienionego typu „b” fortyfikacji włoskiej z prostokątnymi uszami [23].

Różnicę w ustalaniu typu fortyfikacji możemy wyjaśnić istnieniem rzeczywistych różnoczasowych elementów struktur obronnych zamku, które zostały zrealizowane na obiekcie w różnych okresach historycznych jego funkcjonowania. Możliwe są również niewielkie odchylenia od standardowych teoretycznych rozwiązań systemów obronnych (rysowanych często w pracach teoretycznych w małej skali) i tworzenie przez budowniczego rzeczywistej fortyfikacji, która łączy w sobie zdobycze różnych szkół budownictwa fortyfikacyjnego, w tym także staro holenderskiej i włoskiej. Na przykład, wykorzystanie wnętrza wału do umieszczenia kazamat – typowe rozwiązanie dla szkoły bastionowej włoskiej, ale nie straciło znaczenia we wszystkich następnych okresach konstruowania fortyfikacji bastionowej. Nawet po utracie właściwej funkcji kazamaty w bastionach i wałach zamku w Brodach były używane przez wojsko w XIX i XX w. Fortyfikacja zamkowa w Brodach aktywnie funkcjonowała w ciągu dwóch stuleci i przeszła znaczące zmiany i przekształcenia, dostosowywana była do nowych, ciągle się zmieniających wymogów militarnych.



Rys. 1. Odpowiedniki do pięciokątnej fortyfikacji zamku w Brodach: góra: Wülzburg (wyidealizowany rysunek bastionowego zamku), 1604 r., nieznanego autora; dół: perspektywiczny widok twierdzy, autor Janssonius, 1645 (Zasoby elektroniczne: Deutsche Fotothek, tryb dostępu: www.deutschefotothek.de).

2. Analiza cech planistycznych i przestrzennych umocnień w poszczególnych fazach rozwojowych zamku.

Zamek lokalizowany obok śródmieścia, na obszarze o płaskim nizinnym terenie. Istotnym elementem ważnym dla zabezpieczenia obronności zamku była zawsze rzeka. Naturalne przeszkody, takie jak strome zbocza lub szerokie i nieprzebyte bagna, które zapewniały niedostępność dla artylerii w poprzednich latach, przestają służyć jako pewny element obronności przy nowej dalekosiężnej artylerii w końcu XVI – XVII w. W nowym czasie aktywniej wykorzystywany duży obszar sztucznie zalany wodą, poziom, której był regulowany przez system zapór, a podejścia są pilnie strzeżone. Chociaż obecne warunki

hydrologiczne otoczenia zamku w Brodach są bardzo zmienione, wiemy, że w przeszłości zamek był otoczony wielką powierzchnią wodną. Potwierdzają ten fakt historyczne mapy: Boplana G. (1650) [11] i Friedricha von Miega (1779/82) [8]. Od strony miasta zamek broniony był przez szeroką wypełnioną wodą fosę (rys. 2).

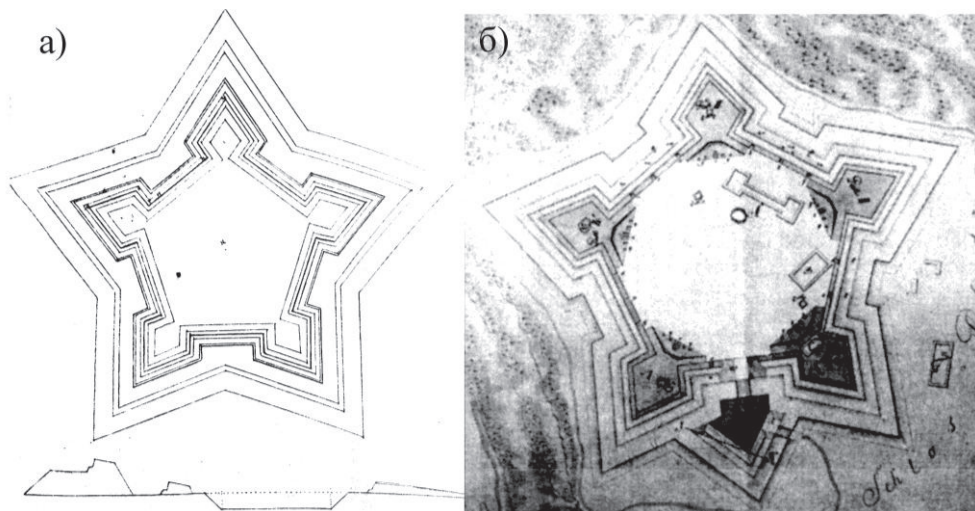


Rys. 2. Zamek i miasto Brody na mapie F. von Miega z 1781 r. (Kriegsarchiv, Wien). Odbitka – prof. M.Bevz.

Analiza publikacji i dokumentów historycznych wykazuje, że zamek w Brodach był dwukrotnie „zakładany” i posiada następujące fazy rozwojowe:

2.1. Etap I – koniec XVI w.

Pierwsze założenie zamku miało miejsce pod koniec XVI w. W tym miejscu należy powołać się na przywilej Stanisława Żółkiewskiego z 1586 r., w którym decyduję się na budowę zamku na wyspie pośrodku stawu w Brodach [21, s. 3]. Dotychczas nie mamy potwierdzenia źródłowego o istnieniu zamku S. Żółkiewskiego [3, s. 50-54] we wspomnianym okresie. Brak dokumentów potwierdzających jego założenie, wzmianek że został zbudowany, wskazówek o miejscu jego lokalizacji, o jego architekturze i wyglądzie. Wyjątkiem jest praca Z.Pilyarchyka, w której autor wspomina się, że w 1610 r. część zamku w Brodach spłonęła w czasie pożaru miasta. Zaznaczono także, że „zostały zniszczone dwie wieże z artylerią” [24]. Opis zamku z 1689 r., publikowany niedawno przez historyka V. Aleksandrowicza, podaje istnienie ośmiokątnej prochowni znajdującej się na dziedzińcu fortecy [1]. Uważamy, że ośmiokątna forma planu prochowni może wskazywać na jej zbudowanie we wcześniejszej fazie istnienia zamku. Podobne rozwiązania potwierdzają p ówczesne traktaty o fortyfikacjach [23].



Rys. 3. Porównanie planu zamku w Brodach (b) z pentagonową fortecą z eseju J. Naronowicza-Narońskiego (a) ilustracja z książki J. Naronowicza-Narońskiego [23, str. 40]; b) plan Zamku w Brodach z 1791 opublikowany w pracy Adamczyka J.L. [15, c.189].

2.2. Etap II – 30-te lata XVII w

Druga wzmianka o budowie (czy przebudowie?) zamku dotyczy lat trzydziestych XVII w. [18, c. 67]. Fakt budowy ufortyfikowanej twierdzy (zamku i miasta) z inicjatywy Stanisława Koniecpolskiego potwierdza postanowienie sejmu z 1633 r. Postanowienie przedstawiono w publikacji S. Barącza [16, c. 186-190]). Niektórzy badacze sugerują, że zamek został zbudowany na miejscu poprzedniego [20; 10]. Niestety, na dzień dzisiejszy nie mamy pewności co do samego autora projektu i osoby nadzorującej budowę. Uważa się, że autorem mógł być inżynier wojskowy – Francuz Guillaume Levasseur de Boplan (1600-1673) (Le Vasseur de Beauplan), gdyż był inżynierem nadwornym S. Koniecpolskiego [20; 18; 16]. Wersję tą potwierdzają wzmianki źródłowe, mówiące o obecności Levasseura de Beauplana w Brodach [3]. Niektórzy badacze sugerują, że prace prowadził, również królewski inżynier pochodzenia włoskiego Andrea del Aqua (Andrea dell'Aqua), który przez pewien czas mieszkał w Brodach i był zatrudniany przez Stanisława Koniecpolskiego [22; 19; 9; 6; 2; 7]. Szczegóły budowy czy rozbudowy zamku po 1630 r. potrzebują kolejnych wnikliwych badań.

2.3. Rozwój fortyfikacji zamkowej w Brodach w XVII w

Istnieje mało informacji na temat rozwoju i stanu fortyfikacji brodzkiego zamku pod koniec XVII w. i w następną lata. Z pierwszego znanego opisu fortyfikacji zamku z 1671 r., autorstwa Ulricha von Werduma, wiemy że zamek: "... według nowoczesnych wymagań dobrze chroniony przez cztery (?) prawidłowej formy (wieże?) bastiony..." [12]. Przesłanka ta najpewniej jest mylna co do ilości bastionów – w rzeczywistości było ich pięć. Inaczej należy przyjąć wersję o możliwości istnienia 4 bastionów w obwodzie obronnym zamku przez jakiś czas, co wydaje się niewiarygodnym.

Z opisu twierdzy, wykonanego 14 lat później, w 1685 r., przez dworzanina króla Polskiego Jana III Sobieskiego Franciszka Daleyraka, uzyskać możemy następującą informację o widoku zamku: „pentagon bastionowy doskonały i bardzo dobrze wykonany; bastiony zbudowane z cegły, z gzymsami i innymi ozdobami z ciosanego kamienia, ale nie posiadają

żadnych okopów zewnętrznych; nawet fosa jest bardzo wąska lub wypełniona bagnem, które zastępuje zewnętrzne okopy. Zwiększenie wysokości wałów od strony miasta jest dobrze zmodelowane i w dobrych proporcjach wykonane. Most zwodzony bardzo długi i szeroki. Na dziedzińcu nie było widać żadnego budynku, tylko proste, drewniane mieszkanie, dość długie, zbudowane według tradycji polskiej i przeznaczony dla namiestnika lub komendanta fortecy. Dwa bastiony frontowe od miasta posiadają nadszańce i wały znacznie wyższe [18].

Ten stan zewnętrznych elementów zamku o zróżnicowanych oskarpowanych z kazamatami wałów może być efektem niedokończonej pracy związanej z modernizacją fortecy. Co prawda taki stan nie zgadza się z informacją, że pod koniec 1669 r. Stanisław Koniecpolski rozpoczął wielkie prace naprawcze zamku i cały zamek „doprowadził do porządku” [16]. Może wtedy linia bastionów otrzymała nowy zarys zaawansowanych bastionów i wałów w kurtynach, które wykorzystane były na nadbudowę nadszańców na dwóch stronach linii bastionów od strony miasta. Możemy przypuszczać że ówczesna rozbudowa fortecy, trwała dłuższy okres i przewidywała także m.in. przebudowę wewnętrznej przestrzeni. Tym można wytłumaczyć obecność wewnątrz twierdzy w 1685 r. tylko jednego prostego drewnianego domu. Taką hipotezę potwierdza informacja z następnego opisu zamku z 1689 r. Po 4 latach wewnątrz fortecy (cyt. Ulyanov), ilość budowli jest znacznie większa [13].

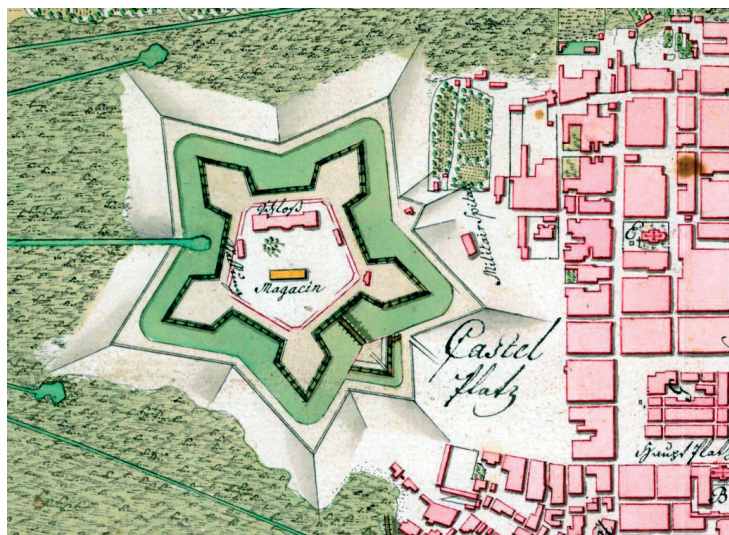
Obecność pałacu z "pańskimi pokojami", a także nadszańców zabezpieczonych koszami, gdzie umieszczono artylerię (według powyższego opisu) wykazuje, że forteca funkcjonowała zupełnie jak sformowana obronna rezydencja. Architektura i technika budowlana zachowanego pałacu wskazują, datę jego powstania – na schyłek XVII w.



Rys. 4. Zdjęcie elewacji pałacu i linii obronnej zamku z kazamatami. Foto: O.Okonchenko, 2012.

Badania naukowców spierają datę budowy rawelinu przed zamkiem na koniec XVII czy I poł. XVIII w [4]. S. Kravtsov datuje powstanie bramy wjazdowej z rawelinem – „na przełomie XVII na XVIII w” [20]. Podstawa w ustaleniu daty jest ustawa z 1704 r., która zawiera listę istniejącego uzbrojenia fortecy [16]. Jednakże w 1689 r. zgodnie z opisem, który był cytowany przez S. Kravtsova [20] przed bramą znajdował się „szaniec w bardzo złym stanie”. Nazwana w opisie szanccem ziemna oskarpowana obronna budowla, usytu-

owana przed bramą, opatrzona z dwóch stron w fosę (przez które prowadziły mosty z częściami zwodzonymi), bez wątplenia możemy zaliczyć do raweliny, który pełnił funkcję obronę węzła wjazdowego do zamku. Często „szańcem” w opisach nazywano nie tylko ziemne fortyfikacje polowe, ale także długotrwałe umocnienia, na przykład: bastiony, na co zwraca uwagę J. Bogdanovsky [17]. Mając na uwadze powyższą argumentację proponujemy datować budowę raweliny na okres nie później koniec XVII w. Choć możliwe jest, że rawelin był wielokrotnie naprawiany lub przebudowywany i zmieniał swój kształt.



Rys. 5. Brody: zamek i fragment zabudowań miasta na mapie z 1780 r. Autor mapy - Louis de Jann. [Austriacki archiwum wojskowy (Kriegsarchiv, Wien)]. Odbitka ze zbioru dr. Tarasa Piniashka.

2.4. Fortyfikacje zamku w XVIII w

Analizując wydarzenia wojenne w XVIII w., wymienione w artykule A.Korchaka, możemy stwierdzić, że militarna funkcja Brodskiego zamku nadal nie zmniejszała się [4]. Jednak w nowym okresie na zamku miało miejsce wiele zmian, które wskazują na wzrost znaczenia funkcji prezentacyjno-rezydencjonalnej obiektu. W 1755 r. na dziedzińcu zamkowym wzniesiono pałac, a nad bramą wjazdową wybudowano kilkunastopiętrową wieżę z zegarem [18;10]. Historyk V.Ulyanov zakłada, że nowa restrukturyzacja warownego zamku została wykonana przez Stanisława Potockiego, który był doświadczonym architektem i inżynierem wojskowym, a także przez pułkownika Królewskiej Artylerii Christophera Dahlke, który w tym czasie był zatrudniony u Potockiego [13]. Można także przypuszczać że wówczas kazamaty otrzymały formę, w jakiej zachowały się do dnia dzisiejszego.

Formy architektoniczne zamku w II poł. XVIII wieku przedstawia akwarela, która znajduje się w gabinecie rycin Lwowskiej Biblioteki Naukowej UAN (opublikowana S.Kravtsovym) [20], a także jej wcześniejsza kopia, opublikowana w czasopiśmie «Przyjaciel Domowy» [25]. Na rysunku przedstawiono wszystkie zachowane kurtyny z kazamatami, bastiony, fosy i rawelin. Fortyfikacje na rysunku nie wykazują oznak zniszczenia, ale na bastionach widoczny jest brak nadszańcy. Nad bramą pośrodku kurtyny jest precyzyjnie wyrysowana kilkunastopiętrowa wieża.

Fortyfikacje zamkowe były utrzymywane w dobrym stanie do koń. XVIII w., czego potwierdzeniem jest wizerunek zamku na mapie F. von Miega z 1779–1783r. [8]. Na mapie

wyrysowano równoległe do linii bastionów zewnętrzne formy glasisu z ukrytą drogą, a także rawelin. Potwierdzeniem istnienia fortyfikacji zamkowej w pełnej formie jest także mapa z 1791 r., publikowana przez J. Adamczyka [15]. W szczególowej formie z pełnym zarysem jego fortyfikacji zamek przedstawiono na mapie Luisa de Janna z 1780 roku (przechowywana w austriackim archiwum wojskowym (Kriegsarchiv) w Wiedniu) [13].



Rys. 6. Brody. Plan zamku i fragment zabudowań śródmieścia na mapie z lat 1780-ch. Autor A. Pintershoffen. [Austriacki archiwum wojskowy (Kriegsarchiv, Wien)]. Odbitka ze zbioru dr. Tarasa Piniashka.

3. Utrata cech obronnych

W 1772 r. miasto weszło do prowincji austriackiej. W zamku zakwaterowano garnizon [4]. Inżynieryjne rozwiązania fortecy na pocz. XIX w. nie spełniają ówczesnych wymogów użycia artylerii. W 1809 r. podjęto decyzję o rozbiórce fortyfikacji twierdzy Brodskiej – jak zamku, tak i miasta [18]. Austriacki rząd nakazał właścicielowi zamku W. Potockiemu zniszczyć zamek. Najpierw została rozebrana i zdemontowana część fortyfikacji, znajdująca się w ruinie od strony miasta: szczatki bramy z wieżą i bastiony, a także wały kurtyn przy bramie. Materiał z rozbiórki został wykorzystany dla zasypywania fortecznej fosy i zniwelowania terenu otoczenia zamku [4]. Bez zmian pozostawiono pałac, używany jako mieszkanie, i część kazamatów, które służyły jako magazyny i sklepy [16]. Po II wojnie światowej zamek był używany jako miejsce postoju sowieckiej jednostki wojskowej [26], która stacjonowała tutaj do rozpadu państwa. Zamkowy pałac po remoncie w 1993 r. przekazany został do użytku przez miejskie instytucje kulturalne i edukacyjne, ale w dniu dzisiejszym jest nieużytkowany [13].

4. Podsumowanie

Wykonana analiza literaturowa, kartograficzna, a także badania terenowe pozwoliły wykazać istnienie Brodzkiej fortecy w przeszłości w co najmniej dwóch wersjach, powiązanych z różnymi okresami czasowymi:

- a) faza pierwsza – założenie zamku i miasta w 1590 r.; zamek – to niewysoka budowla w formie pięcioboku, ze skarpowanym walem z kazamatami o pięciu bastionach narożnych (typu „palazzo in fortezza”, charakter umocnień świadczy o zakończeniu prac budowlanych w pierwszym dziesięcioleciu XVII w). Forteca składała się z małych bastionów (które w nieco zmienionej formie dotrwały do naszych czasów) i kurtynowych zewnętrznych murów przy walach z kazamatami od wewnętrznej strony. Wały kurtynowe i bastiony były oskarpowane od zewnątrz murem ceglanym na kamiennej podmurówce (rys. 7). Do zamku prowadziła jedyna brama z mostem od strony miasta. Ze wszystkich stron zamek był otoczony stawem. Istnienie w tym okresie struktury wewnętrznej murowanej wypływa z zastosowanego schematu planu kompleksu typowo włoskiej szkoły fortyfikacyjnej. Zachowane archeologiczne szczątki bastionu, należącego do włoskiej szkoły architektury, należało by sprawdzić przez badania archeologiczne i architektoniczne w miejscu rozebranych umocnień, dla odnalezienia pozostałości charakterystycznych włoskich uszy bastionowych. Jeżeli badania wykazały by istnienie w pierwszym okresie przedwau przy głównym wale, - takiego typu planistyczny schemat fortyfikacji można przypisać staro holenderskiej szkole, która rozpowszechniła się w Rzeczpospolitej, zaczynając od lat 20-tych XVII w.



Rys. 7. Dwówarstwowa konstrukcja zewnętrznej ściany kurtyny w miejscu zrujnowanego fragmentu obronnego muru: starsza kamienna część (z prawej) i młodsza okładzina z cegły (z lewej). Foto: M. Bezv, 2014.

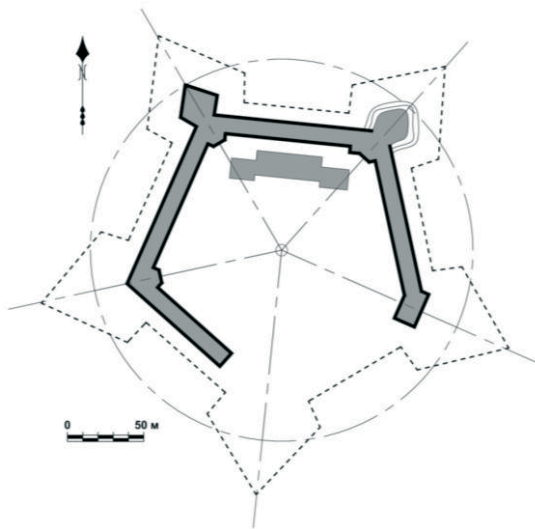
- b) Kolejną fazę rozbudowy forticy i przekształceń umocnień, należy wiązać z modernizacją fortyfikacji w II poł. XVII w. Modernizacja ta spowodowana była koniecznością zwiększenia obronności bastionów i nadbudową nadszańców w celu zwiększenia dalekiego zasięgu obrony, najpierw od strony miasta. Wtedy było wykonano powiększenie perymetru forticy i rozbudowę zewnętrznego obwodu, dodając jeszcze jedna linia muru zewnętrznego. Taka operacja spowodowała powstanie nowych skarp i potrzebę wypełnienia gruzem budowlanym i ziemią przestrzeni pomiędzy istniejącą ścianą a nowododaną. Ta wersja planu forticy przedstawiona

na mapach z XVIII wieku [15; 8]. Po demontażu fortyfikacji i zasypywaniu fos w 1812 r. odsłonił się pierwotny kształt kurtyn i bastionów, wybudowanych z kamienia, ale w bardzo zniszczonym stanie.

Zarys pięciokątnych bastionowych fortyfikacji zamku w Brodach, znany z map XVIII wieku, według planistycznych cech jest podobny do pięciokąta foremnego określonego w traktacie Naronowicza-Narońskiego [23], który był zwolennikiem staro holenderskiej szkoły. Jednak zagadką zostaje profil umocnień Brodskiego zamku pozbawiony przedwału. Taki schemat nie zgadza się z zasadami wykonania profilu w traktatach fortyfikacyjnych.

Na strukturach obronnych zamku, które przetrwały do dziś, pozostają kamienne skarpy uzupełnione cegłą w miejscach zniszczeń. Niestety, całkowicie stracony jest parapet i nie zachowały się resztki pasa kordonowego muru. Wewnętrzna struktura bastionów, wykonana z kamienia i cegły, najwyraźniej pochodzi, z pierwszej fazy istnienia fortecy. Pomieszczenia we wnętrzu wałów kurtynowych (tak zwane – kazamaty), z uwagi na materiał i sposób ich wykonania, pochodzą z okresu modernizacji fortecy w XVIII w. (czy może uzyskały wtedy ostateczną formę). Prostokątny budynek, tak zwany "skarbiec", który przylega do szyi jednego ze zrujnowanych bastionów, najprawdopodobniej wzniesiony w drugiej połowie XVII w., jako podstawę dla nadszańca, wyznaczonego do umieszczenia artylerii dalekiego zasięgu.

W XVIII w. ze względu na wzrost mocy artylerii obronne pozycje fortecy należało przenieść na przedpole do nowej linii umocnień. Ta nowa linia obronna już nie tworzy jednolitego systemu z zamkiem i znajduje się w znacznej odległości od niego. Jest to długoterminowe lub polowe fortyfikacje (które często tworzą samodzielny obwód obronny, uzupełniany w czasie wojny). Jego funkcje poszerzają się do obrony miasta i zamku, i tworzą zjednoczony wspólny obwód obronny. Obrona coraz bardziej oddala się od zamku, który staje się niedostępny dla artylerii wroga, co pozwala zwiększyć wysokość budynków powstających na dziedzińcu. Podobne czynniki powodują budowę nowych kondygnacji na bramie, która zaczyna działać jako punkt obserwacyjny do monitorowania obszaru na obrzeżach nawet oddalonych umocnień.



Rys. 8. Schemat obecnego stanu fortyfikacji zamku z naniesioną rekonstruowaną linią straconej skarpy.

Chociaż brama brodzkiej fortecy nie zachowała się, mapy i ikonografie zawierają wystarczające informacje na temat obrazu i konstrukcji budynku w XVIII w. Brama została usytuowana w środku kurtyny i nie budowana była zgodnie z zasadami typowymi dla systemu bastionowego. Miała dwa wejścia – brama główna i mała furta obok. Z opisu 1689 r. dowiadujemy się, że z okopów fosy dostać się można do mostu przy bramie (z dwóch części skomponowanego), z których jedna szersza prowadziła do samej bramy [20]. Również wymieniony w opisie inny mościak zwodzony, wąski, który prowadzi do furtki obok bramy. Obecność zwodzonego mostu przed bramą wskazuje na istnienie w tym okresie konstrukcji budynku bramy co najmniej o dwóch kondygnacjach. Nic nie wiadomo o wyglądzie bramy w pierwszej połowie XVII w.

Fosa i zewnętrzne fortyfikacje zamku ulegają zmianom w kolejnych okresach. W opisie z 1689 r. wspomina się fosa i stwierdzono, „że była kiedyś oszkarpowana, ale przeciwskarpa zepsuta” [20]. Według opisu z 1685 r. "Fosa jest wąska lub zamknięta bagnem" [18] i prawie przez sto lat fosa znów w dobrym stanie, jak dowiadujemy się z map XVIII w.: fosa posiada gwiaździsty kształt, po obwodzie biegnie ukryta droga i glasis [15; 8].

Krótki opis faz rozwojowych fortyfikacji zamku w Brodach przedstawiony w poniższej tabeli.

Pocz. XVII w. – pocz. XIX w.	System fortyfikacji – Bastionowy. Struktura planistyczna – w oparciu o prawidłową formę pięciokąta z bastionami w narożnikach.
I poł. XVII w.	Szkoła fortyfikacyjna - staro włoska (?); Przekrój umocnień (profil) – wał z przedwałem – ?; Skarpa – kamienna; Ciało wału w kurtynie – murowane z kamienia i cegły z kazamatami ?; Ciało bastionów – murowane z kamienia i cegły z kazamatami. Budowla bramy – murowana, niejasnej formy?
II poł. XVII w.	Szkoła fortyfikacyjna – staro holenderska, profil – wał bez przedwalu; Skarpa - murowana z cegły i kamienia (nie zachowana); Ciało wału w kurtynie - zbudowany z kamienia i cegły z kazamatami, wypełnienie ziemią przestrzeni między nową a starą skarpią (częściowo zachowane); Nadszańce na bastionach – wykonane z gliny w koszach, zbudowane na murowanych fundamentach (nie zachowane); Rampy (apparele) – murowane z cegły (częściowo zachowane); Budowla bramy – lokalizowana w centrum kurtyny, murowana o dwóch kondygnacjach (?); w XVIII w. nadbudowana do formy wieży, dodając zegar; Most zwodzony – składał się z dwóch części, położonych równolegle: do bramy i do furty (nie zachowane); Fosy – kopane na zewnątrz pięcioboku, wokół oszkarpowanej linii obwodu obronnego wału i bastionów (nie zachowane); Umocnienia zewnętrzne – istniały: droga ukryta, rawelin, glasis (nie zachowane).
Zabudowania nieobronnego charakteru, we wnętrzu fortecy	II poł. XVII w. – drewniane budynki; II poł. XVIII w. – pałac murowany i budynki drewniane obok; lokalizują się w centrum dziedzińca, wolnostojące, nie przylegające do obwodu obronnego.

Literatura

- 1 Materiały piątoї kryeznavchoї Konferencii "Bridschyna – Zemli na granyci Galyczyny i Wołynia", 08 kwitnia 2011. Brody muzeum historyczne. Zeszyt 4, Brody, Oswita, 2011, 12-17.
- 2 Aleksandrowicz W.. *Opys zamku w Brodach 1689*. Ukraiński Archeologiczny Rocznik. – Vypusk 8/9, Kijów, Nowy Jork, 2004. 544 - 565.
- 3 Wuytsky W. *Fortyfikatory mista XV-XVII w*. Wisnyk In-tu „Ukrzachidprojekrestawracija”, Cz. 2, Lwów, 1994, 18-29.
- 4 Korchak A. *Do problemy istorii budivnyctwa Brodivskych fortyfikacij*. Naukowi zapysky Rivnenskoho krajeznawczohoh muzeju. Wyp. 3 (Materiały naukowoji konferenciji, 24-25.11.2005), Rivne, Wołynski oberehy, 2005, 50-54.
- 5 Korchak A.M. *Oboronni fortyfikacii mista Brodiv*. Zbirnyk tez historyko-krajeznawczoji naukowoji konferenciji pryswiaczenoji 360-ij ricznyci wyzwolnych wijn 1648/54, 2008, 28-32.
- 6 Kravtsov S. *Mistobudivnelna Historia Brody i Guillaume Levasseur de Boplan*. Ukraina w przeszłości, Zeszyt 10, Kijów, Lwów, 1993, 31-39.
- 7 Matsyuk O. *Zamki i forteci Ukrainy Zachodniej*. Lwów: Centr Europy, 1997, 160 s.
- 8 Ovsiychuk V.A. *Ukraińskie mystectwo drugoji polowyny XVI do perszoi polowyny XVII wiku*. Kijów: Naukova Dumka, 1985. 182s.
- 9 Petryshyn G.P. *Mapa F. von Miha (1779-1782 lat) jak dzerelo do mistoznavstva Galyczyny*. Lwów: Wydawnictwo Uniwersytetu Narodowego Politechnika Lwowska, 2006, 292s.
- 10 Pikhurko U., Krivosheeva D., Liczko A. *Zamek Brody w obwodzie lwowskim*. Na podstawie materiału projektu restauracji. Wisnyk Instytutu „Ukrzakhidproektrestavratsiya”, Lwów, 1997, no 6, 88-95.
- 11 Pszyk W. *Ukripleni mista, zamky, oboronni dwory ta inkastelovani sakralni sporudy Lwiw-szczyny XIII-XVIII wikuw*: Katalog-informator, Lwów, 2008, 240s.
- 12 *Specjalna karta Ukrainy Guillaume Levasseura de Boplana 1650 r.* [electronic resource] Wostochnaja literatura. Dostęp do mapy: <http://www.vostlit.info/Texts/rus12/Boplan2/karten.phtml?id=1599>
- 13 Ulrich von Werdum. *Szczodennyk*. z niemieckiego I. Svarnyk, Żowteń, 10 (468), Lwów, 1983. 89-105.
- 14 Uljanow W. *Ikonograficzni dżerela do budiwelnoji istorii Brodivskoj forteci*. Brodivszczyzna - kraj na mezi Galyczyny i Wołyni. Wydanie 2. (Materiały z trzeciej konferencji regionalnej poświęconej 925-j rocznicę pierwszej pisemnej wzmianki o Brodach oraz 425-lecia przyznania Prawa Magdeburgskiego). 3 kwietnia 2009 roku, Brody, 2009, 74-79.
- 15 Boot D. *Fortyfikacja Brody XVI - XVII wieku*. Brody: Wykształcenie 2010, 184.
- 16 Adamczyk J.L. *Fortyfikacje stale na polskim przedmurzu od polowy do końca XVII wieku*. Kielce: Politechnika Świętokrzyska, 2004, 250s.
- 17 Barącz S. *Wolne miasto handlowe Brody*. Lwów: w drukarni zakładu im. Ossolińskich, 1865, 199 s. [Elektroniczny resurs] Biblioteka Narodowa. Dostęp: www.polonia.pl.
- 18 Bogdanowski J. *Architektura obronna w krajobrazie Polski: Od Biskupina do Westerplatte*. Warszawa-Kraków: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1996, 612 s.
- 19 Czołowski A., *Dawne zamki i twierdze na Rusi Halickiej*. Teka Konserwatorska, Rocznik Koła CK. Konserwatorów Galicyi Wschodniej, Lwów, 1892, 65-132.
- 20 Czołowski A., Janusz B. *Przeszłość i zabytki województwa Tarnopolskiego*. Tarnopol, 1926, 198s.
- 21 Krawcow S.R. *O układzie przestrzennym miasta Brody w XVI-XVII w*. Kwartalnik architektury i urbanistyki, Warszawa: Wydawnictwo naukowe PWN, Tom XXXVII, Zeszyt 1, 3-15.
- 22 Lipiński T. *Miasto Brody z dawnymi przynależnościami*. Warszawa, 1853, 13s. [Elektroniczny resurs] Biblioteka Narodowa. Dostęp: www.polona.pl:3520.
- 23 Miłobędzki A., *Architektura polska XVII wieku – Warszawa*, 1980, 78-79.
- 24 Naronowicz-Naroński J. *Budownictwo wojenne*. Warszawa: wyd. Ministerstwa obrony narodowej, 1957, 271s.
- 25 Pilarczyk Z. *Fortyfikacje na ziemiach koronnych Rzeczypospolitej w XVII wieku*. Poznań: Instytut Historii UAM, 1997, 370 s.

- 26 *Twierdza Brodzka. Przyjaciel domowy*. no. 2, Lwów, 1852, 10-12.
- 27 Rąkowski G. *Przewodnik krajoznawczo-historyczny po Ukrainie Zachodniej. Ziemia Lwowska. – Część III. – Pruszków*. Oficyna Wydawnicza Rewasz, 2007, 580s.
- 28 Sosnowski O. *O planach osiedli sprzeczonych w Polsce*. Biuletyn Historii Sztuki i Kultury, 1935, t. IV, nr. 2, 69-78.
- 29 Bevz M. *Żowkwa – renesansne idealne misto. Ukrainka realizacija konceptualnoji schemy w: Cattaneo P. Istoryczna, mystecka, architekturna spadszczyna Żowkwy. Problemy ochorony i wykorzystannia*. Zbirnyk materialiw ukrajinsko-polskoho naukowo-praktycznoho seminaru. Żowkwa; Lwiv, 1998, 36-43.
- 30 Bevz M. *Istoryczni mista Halyczyny: problemy wywczennia i zberezennia*. Zapysky Naukowo-ho Towarystwa imeni Szewczenka. Praci Komisiji architektury ta mistobuduwannia, Lwiv: NTSz, 2001, T. CCXLI, 84-112.
- 31 Bevz M. *Magdeburzke prawo ta urbanistycznyi ukklad prywatnoho mista-rezydencii XVII-XVIII st. (na prykladi mista Żowkwy)*. Samowriaduwannnia w Kyjewi: istoria ta suchasnist. Materialy miznarodnoji konferencii, pryswiaczenoji 500-riczczu nadannia Kyjiewu magdeburzkocho prawa. Kijów, 2000, 166-175.
- 32 Czornowus W. *Urbanistyczni koncepcii idealnoho mista epochy widrodzennia ta jich realizacija na zachidnoukrajnskych zemliach*. Naukowi zoszyty kafedry Restawracji ta rekonstrukcii architekturnych kompleksiw, Lviv: Derz. Uniwersytet „Lwiwska politechnika”, 1993, N 1., 112.
- 33 Krawcow S. *O ukladzie przestrzennym miasta Brody w XVI-XVII w.* Kwartalnik architektury i urbanistyki, T.XXXVII, Zesz. 1, Warszawa: PWN, 1992, 3-14.
- 34 Krawcow S. *Slidy francuzkoji szkoly u fortyfikacjach Ukrainy XVII st.* Fortyfikacja Ukrainy. Materialy miznarodnoji konferencii, Kamianets-Podilskyi, 1993, 24.
- 35 Krawcow S. *Mistobudiwna istoria Brodiw ta Hijom Levasseur de Beauplan*. Ukraina w mynulomu, Wyp. IV, Kyiw-Lwiv, 1993, 31-39.
- 36 Książek M. *Zagadnienia genezy rozplanowania i typologii miast prywatnych XVI i XVII w. w Poludniowej Malopolsce*. Kraków: Politechnika Krakowska, 1988, 162.
- 37 Kuśnierz K. *Zabytkowe wartości naczelnie miasta historycznego dawnej Galicji na przykladzie Brzeżan, Brodów, Żółkwi oraz Stanisławowa*. W: *Urbanistyczno-architekturni problemy mist Halyczyny*, Lwiv-Kraków: 1992, 19-20.
- 38 Zarębska T. *Teoria urbanistyki wloskiej XV i XVI w.* Warszawa: 1971.
- 39 Kowalczyk J. *Zamość. Citta ideale in Polonia*. Krajobrazy. Studia i materialy, Warszawa: Ośrodek ochrony zabytkowego krajobrazu. Narodowa instytucja kultury, 1994, 48-49.
- 40 *Plan miasta Brody z Zamkiem*. ID: 103. Rok: c. 1780. Autor Louis de Jann, Austriacki archiwum wojskowy, Brody Nr.01 Umgeb.Pl. (według: «Centr Miskoji Istorii», L’viv).
- 41 Sozanskyi I. *Z mynuwszyny Brodiw. Pryczynky do istorii mista*. Lwiv: NTSz, 1911, 69 s.

The castle in town of Brody: the phases of development of fortifications

Mykoła Bevz¹, Olga Okonchenko²

¹ *Department of Konservation of Monuments, Faculty of Civil Ingeniring and Architecture, Lublin University of Technology; Department of Konservation of Architectural and Artistic Heritage, Instytut of Architecture, Lviv Polytechnic National University, e-mail: m.bevz@pollub.pl*

² *Department of Basic of Designing, Instytut of Architecture, Lviv Polytechnic National University, e-mail: oliakonchenko@gmail.com*

Abstract: The article discusses the genesis and development of the castle fortifications in Brody. Castle fortifications analysis was performed in terms of planning, spatial, compositional structures. It discloses the stylistic features of the castle fortifications on the

basis of an analysis of historical maps and fieldwork. For the first time analyzed the plans of the fortifications on maps from the period of the eighteenth century. Reconstructing development phases of the castle.

Keywords: castle, fortification, Town of Brody

Skuteczność hydrofobizacji ceramiki budowlanej polimerami nieorganicznymi dezintegrowanymi ultradźwiękami z dodatkiem napelniaczy

Stanisław Fic, Andrzej Szewczak

*Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska
email: s.fic@pollub.pl, a.szewczak@pollub.pl*

Streszczenie: W artykule opisano przebieg badań nad skutecznością hydrofobizacji powierzchni cegły ceramicznej pełnej preparatem hydrofobizującym na bazie wodnego roztworu silikonów (mikropolimer). Poszczególne serie próbek zostały poddane procesowi hydrofobizacji powierzchniowej przez zanurzenie na czas 15 s z zastosowaniem środka hydrofobizującego, którego pierwotna struktura była dodatkowo poddana działaniu ultradźwięków o mocy 400W. Dodatkowo, w przypadku 3 serii, zastosowano dodatek w postaci mikrokrzemionki, pełniącej rolę napelniacza. W celu ustalenia średniej absorpcji nanopolimeru przez próbki należące do poszczególnych serii, przed wykonaniem hydrofobizacji próbki zostały wysuszone do stałej masy i zważone. Następnie po 14 dniach od ich zanurzenia w preparacie zostały ponownie zważone w celu ustalenia procentowej zmiany masy danej próbki względem masy próbki wysuszonej. Określono wpływ energii ultradźwięków na lepkość polimerów zmierzoną wiskozymetrem Ostwalda oraz napięcie powierzchniowe, które zostało wyznaczone z wykorzystaniem stalagmometru. Właściwości hydrofobowe powstałej na powierzchniach cegieł błonki określano na podstawie pomiaru swobodnej energii powierzchniowej γ_s (SEP) z zastosowaniem metody Owensa – Wendta poprzez wyznaczenie kątów zwilżania powierzchni próbek wodą destylowaną (cieczy silnie polarnej) oraz diiodometanu (cieczy apolarnej), składowej dyspersyjnej γ_s^d oraz składowej polarnej γ_s^p (wyrażonych w mJ/m^2). Na podstawie otrzymanych wyników określono wpływ ultradźwięków na niektóre właściwości adhezyjne i fizyko – mechaniczne powierzchni badanego materiału.

Słowa kluczowe: polimery, swobodna energia powierzchniowa, lepkość, napięcie powierzchniowe, hydrofobizacja, ultradźwięki

1. Wstęp

Materiały budowlane, do których zalicza się elementy ceramiczne wypalane z gliny takie jak cegła ceramiczna i pustaki drażone, mogą ulegać zniszczeniu na skutek zawilgocenia, zasolenia lub naprężeń wywołanych zamarzającą w porach i kapilarach wodą [1]. Porowata struktura tych materiałów charakteryzuje się skłonnością do utrzymywania wilgoci w swojej objętości, która wpływa znacząco na właściwości fizyko – mechaniczne takie jak: wytrzymałość, mrozoodporność, nasiąkliwość, trwałość, termoizolacyjność [2]. Jednym z najczęściej stosowanych sposobów zabezpieczenia elementów wykonanych z ceramiki budowlanej przed destrukcyjnym wpływem wilgoci jest hydrofobizacja [3] roztworami na bazie nano – i mikropolimerów [4]. Polimery jako roztwory, poprzez nanoszenie na powierzchnię ceramiki różnymi technikami tj. malowanie, natrysk pod ciśnieniem, zanurzanie i nasycenie – zostają wprowadzone w porowatą strukturę i w różnym

stopniu zapełnia wolne przestrzenie w objętości materiału. Po zeszkliwieniu polimer tworzy na powierzchni materiału błonkę ograniczającą wnikanie wilgoci i wody, podwyższając w ten sposób jego wytrzymałość i inne parametry fizyko – mechaniczne [5]. Struktura błonki zależy od pierwotnej struktury stosowanego polimeru i ma ścisły związek z wielkością i uporządkowaniem cząstek chemicznych.

W poniższym artykule, stanowiącym kontynuację badań opisanych w [4, 6] oceniono wpływ drobnocząsteczkowego preparatu na bazie silikonów (5 serii próbek), których struktura była początkowo dezintegrowana ultradźwiękami, na właściwości adhezyjne i fizyko – mechaniczne cegły ceramicznej po hydrofobizacji. Porównano wpływ ultradźwięków oraz dodatku napełniacza (mikrokrzemionki) na wartość swobodnej energii powierzchniowej, lepkości i napięcia powierzchniowego dwóch roztworów polimerów.

Średnica porów materiału porowatego, wielkość cząsteczek oraz właściwości reologiczne polimeru mają wpływ na jego absorpcję na powierzchni próbki [7]. Ostateczne ukształtowanie błonki na powierzchni materiału jest procesem złożonym, na który wpływ ma układ konformacji cząsteczek roztworu na granicy fazy ciekłej i stałej [8]. W końcowym etapie roztwór polimeru ulega zeszkliwieniu i jako powierzchniowe zabezpieczenie materiału zostaje poddany w warunkach eksploatacji zmęczeniowi. Zniszczenie materiału spowodowane gradientem wilgoci i temperatury rozpoczyna się od miejsc będących wadami materiału i w następnych fazach zachodzi ich stopniowa eskalacja [2,9]. Jedną z kilku metod określenia właściwości fizyko – mechanicznych powierzchni materiału jest ocena stanu zeszkliwienia [5].

Pośród właściwości reologicznych polimerów, które w największym stopniu określają jego zdolność do wnikania w porowatą strukturę materiału, najważniejszymi parametrami są lepkość oraz napięcie powierzchniowe. Lepkość jest wielkością wynikającą z powstawania naprężeń ścinających w cieczy powodujących jej przepływ i charakteryzującą tarcie wewnętrzne płynu powstałe wskutek wzajemnego przemieszczania się jego cząstek [10]. Zależy od wielu czynników: właściwości fizyko – chemicznych cieczy, temperatury, szybkości ścinania, czasu, ciśnienia. Napięcie powierzchniowe jest wielkością charakteryzującą wzajemne oddziaływania międzycząsteczkowe wynikające z istnienia wiązań chemicznych i sił kohezji w odniesieniu do styku dwóch faz, np. ciecz – ciało stałe [6].

Najważniejszym parametrem określającym skuteczność hydrofobizacji są właściwości adhezyjne powstałej powłoki, które w zależności od zastosowanego roztworu polimeru mogą się różnić. Jako miarę tej wielkości wykorzystano pomiar swobodnej energii powierzchniowej SEP [11, 12]. SEP jest jedną z funkcji termodynamicznych [13] opisujących stan równowagi na powierzchni badanego materiału i jest wielkością charakterystyczną właściwą każdemu ciału fizycznemu [14]. Wielkość swobodnej energii powierzchniowej można określić metodami: Fowkesa, Owensa – Wendta, Wu, Naumanna [15]. W niniejszym artykule przedstawiono badania SEP metodą Owensa – Wendta poprzez pomiar składowej polarnej i dyspersyjnej. Poszczególne składowe zależą od oddziaływań na granicy faz ciecz – ciało stałe. Składowa polarna zależy od powstających oddziaływań mających charakter głównie chemiczny – polarne [16], wiązania wodorowe [17], akceptorowo – donorowe, kwasowo – zasadowe, indukcyjne. Składowa dyspersyjna jest natomiast wielkością zależną od rozproszenia danej cieczy i ma ścisły związek z adsorpcją cieczy na powierzchni ciała stałego [18].

2. Materiały i urządzenia użyte w badaniach

Badania przeprowadzono na 5 seriach próbek, w których każda seria składała się z 5 próbek. Próbki zostały wycięte z cegły ceramicznej pełnej charakteryzującej się następującymi parametrami:

- gęstość objętościowa – 1,69 kg/m³,
- porowatość całkowita – 33,6%,
- nasiąkliwość – 12%
- wytrzymałość na ściskanie – 10 MPa.

Następnie próbki wysuszono do stałej masy, zważono i poddano hydrofobizacji z użyciem wodnego roztworu preparatu silikonowego (stosunek preparat: woda = 1:8) o następującej charakterystyce:

- lepkość $\eta = 0,981 \cdot 10^{-3}$ Pa·s,
- napięcie powierzchniowe $\sigma = 77,24 \cdot 10^{-3}$ N/m,
- iloraz napięcia powierzchniowego do lepkości $\sigma/\eta = 78,735$,
- gęstość w temperaturze 20 °C – $\rho = 1,026$ g/cm³.

Wycięte z cegły próbki hydrofobizowano poprzez ich całkowite zanurzenie w czasie 15 s w odpowiednio przygotowanym (w zależności od receptury) roztworze polimeru na bazie małowiązujących silikonów po upływie minuty od zakończenia dezintegracji ultradźwiękami.

Poszczególne serie próbek użyte w badaniach (wraz z recepturą nanopolimeru):

- seria 1 – próbki hydrofobizowane w czystym (nie poddanym dezintegracji) roztworze silikonu,
- seria 2 – próbki hydrofobizowane w wodnym roztworze polimeru, dezintegrowanego za pomocą ultradźwięków w czasie 15 min.
- seria 3 – próbki zanurzone w dezintegrowanym, wodnym roztworze silikonu z dodatkiem 0,5% mikrokrzemionki,
- seria 4 – próbki zanurzone w dezintegrowanym, wodnym roztworze silikonu z dodatkiem 1% mikrokrzemionki,
- seria 5 – próbki zanurzone w dezintegrowanym, wodnym roztworze silikonu z dodatkiem 1,5% mikrokrzemionki.

Dezintegrację roztworów wykonano za pomocą stacjonarnego homogenizatora, ang. ultrasonic processors z końcówką emitującą drgania o maksymalnej częstotliwości 24 kHz o mocy 400 W. Urządzenie to posiada certyfikat DIN-EN ISO 9001.

Próbki przechowywano w warunkach laboratoryjnych (temperatura 20°C, wilgotność 50–55%) przez okres 14 dni. Wartość swobodnej energii powierzchniowej, na podstawie wyznaczonych za pomocą goniometru kątów zwilżania powierzchni cegły, wyznaczono korzystając z poniższych równań metody Owensa – Wendta [1,12]:

$$\gamma_s = \gamma_s^d + \gamma_s^p \text{ [mJ/m}^2\text{]} \quad (1)$$

$$(\gamma_s^d)^{0,5} = \frac{\gamma_d \cdot (\cos\theta_d + 1) - \sqrt{\frac{\gamma_d}{\gamma_w}} \cdot \gamma_w (\cos\theta_w + 1)}{2 \left[\sqrt{\gamma_d^d} - \sqrt{\gamma_d^p \cdot \frac{\gamma_w^d}{\gamma_w^p}} \right]} \quad (2)$$

$$(\gamma_s^p)^{0,5} = \frac{\gamma_w \cdot (\cos\theta_w + 1) - 2 \sqrt{\gamma_s^d \cdot \gamma_w^d}}{2 \sqrt{\gamma_w^p}} \quad (3)$$

gdzie: γ_s – swobodna energia powierzchniowa, γ_s^d – składowa dyspersyjna SEP powierzchni badanego materiału, γ_s^p – składowa polarna SEP powierzchni badanego materiału, γ_d – swobodna energia powierzchniowa diiodometanu, γ_w – swobodna energia powierzchniowa wody, γ_d^d – składowa dyspersyjna SEP diiodometanu, γ_w^d – składowa dyspersyjna SEP wody destylowanej, γ_d^p – składowa polarna SEP diiodometanu, γ_w^p – składowa polarna SEP wody destylowanej, θ_d – kąt zwilżenia powierzchni próbki wyznaczony dla diiodometanu, θ_w – kąt zwilżenia powierzchni próbki wyznaczony dla wody destylowanej.

W celu wyznaczenia wartości SEP wykorzystano dwie cieczy o znanych parametrach: diiodometan, dla którego wartość całkowita swobodnej energii powierzchniowej wynosi 50,8 mJ/m² oraz wodę destylowaną, o wartość całkowitej SEP równej 72,8 mJ/m².

Pomiar kąta zwilżania θ [13, 18], jaki tworzy kropla cieczy pomiarowej z badaną powierzchnią ustalono na podstawie programu komputerowego „NIS – Elements D” i przyrządu pomiarowego – goniometru.

W celu ustalenia właściwości reologicznych roztworów polimerów przeprowadzono pomiar lepkości za pomocą wiskozymetru Ostwalda o zakresie pomiaru 0,5–2,0 mPa·s oraz napięcia powierzchniowego za pomocą stalagmometru kapilarnego.

3. Analiza otrzymanych wyników.

Pierwszym z przeprowadzonych badań był pomiar lepkości oraz napięcia powierzchniowego roztworów polimerów w celu określenia wpływu ultradźwięków na ich właściwości reologiczne. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawione zostały w tabeli 1:

Tabela 1. Lepkość i napięcie powierzchniowe roztworów polimerów.

Roztwór serii	Gęstość [g/cm ³]	Lepkość η [mPa·s]	Napięcie powierzchniowe σ [mN/m]
1	1,03	0,98	77,24
2	1,00	0,91	62,36
3	1,00	0,95	54,22
4	1,03	0,95	58,10
5	1,03	0,95	51,91

Przeprowadzone badania wykazały zmianę lepkości i napięcia powierzchniowego roztworów poddanych działaniom ultradźwięków. W porównaniu z wyjściową wartością lepkości roztworu niedezintegrowanego największy spadek lepkości odnotowano dla serii 2, natomiast dla próbek serii, 4 i 5 różnica pomiędzy lepkością początkową a otrzymaną jest identyczna. Biorąc pod uwagę rozmiary porów i kapilar struktury cegły ceramicznej, nawet minimalna zmiana lepkości preparatu hydrofobizującego jest istotna z punktu widzenia absorpcji roztworu na powierzchni próbki. Należy zauważyć jednak, że nie ma związku pomiędzy zawartością mikrokrzemionki a zmianą lepkości preparatu. Zależność taka występuje natomiast w przypadku wartości napięcia powierzchniowego. Najniższą wartość tego parametru uzyskały próbki serii 5, dla której zmiana w stosunku do napięcia powierzchniowego niemodyfikowanego preparatu wyniosła 33%. Nie ma także ścisłego związku pomiędzy ilością napelnacza a wartością napięcia powierzchniowego. Zaobserwowane zmiany tych wartości są ściśle powiązane ze zmniejszeniem gęstości roztworów i mają wpływ na ich absorpcję na powierzchni porowatej struktury cegły. Mniejsza lepkość i napięcie powierzchniowe umożliwiają łatwiejsze wnikanie polimeru w pory materiału ceramicznego i wytworzenie szczelnej powłoki. Istotne jest, że energia ultradźwięków zmniejsza w/w właściwości reologiczne bez konieczności zmiany chemicznego składu

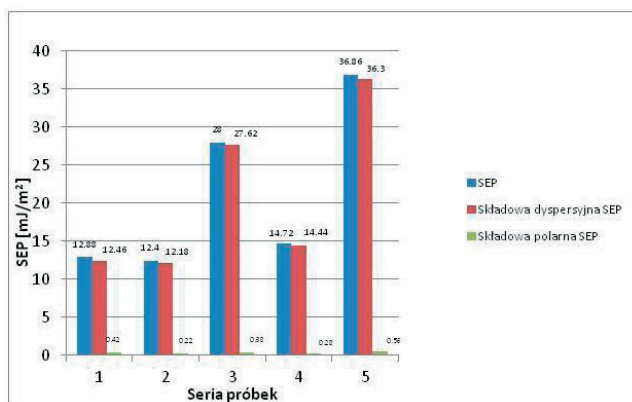
polimerów. Wartości te mogą być regulowane poprzez dobranie odpowiedniej mocy, częstotliwości, amplitudy i ultradźwięków działających na roztwór.

Przeprowadzony pomiar swobodnej energii powierzchniowej oraz jej składowych – polarnej i dyspersyjnej oraz kąta zwilżania powierzchni badanego materiału pozwolił na określenie faktycznych właściwości hydrofobowych uzyskanych przy zastosowaniu nanopolimeru modyfikowanego dodatkami i poddanemu wpływowi ultradźwięków.

Wyniki pomiarów składowych energii swobodnej (dyspersyjnej i polarnej) zostały przedstawione w tabeli 2, natomiast ich graficzny wykres na rysunku nr 1:

Tabela. 2. Wartości swobodnej energii powierzchniowej γ_s , składowej dyspersyjnej γ_s^d i polarnej γ_s^p .

Number of series	γ_s [mJ/m ²]	γ_s^d [mJ/m ²]	γ_s^p [mJ/m ²]
seria 1	12,88	12,46	0,42
seria 2	12,4	12,18	0,22
seria 3	28	27,62	0,38
seria 4	14,72	14,44	0,28
seria 5	36,86	36,3	0,56

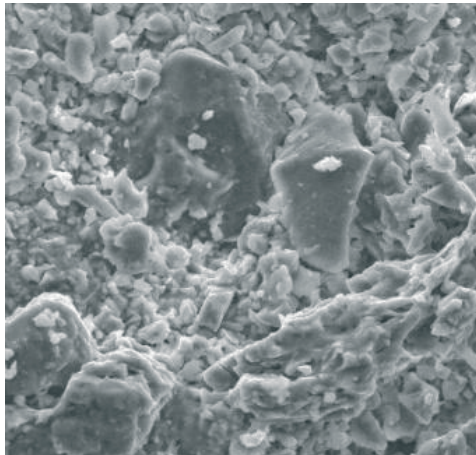


Rys. 1. Swobodna energia powierzchniowa i jej składowe.

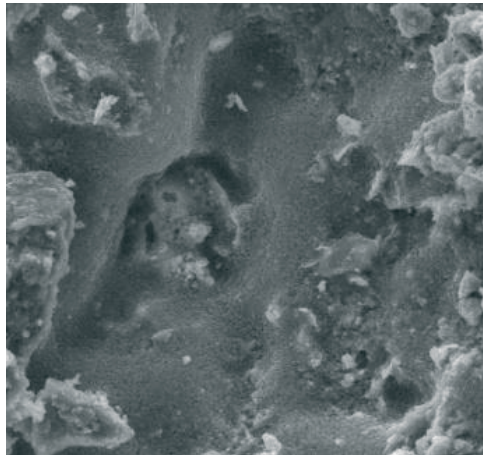
Z uzyskanych wyników badań można wywnioskować, że swobodna energia powierzchniowa nieznacznie maleje w przypadku dezintegracji struktury polimerów za pomocą ultradźwięków (tablica 2). Próbkę serii 1 charakteryzuje się zbliżoną wartością składowej dyspersyjnej SEP oraz 2 razy większą składową polarną niż próbki serii 2. Świadczy to o skuteczności uzyskanej w ten sposób powłoki hydrofobowej. Ciekawą zależność można zaobserwować w przypadku próbek serii 3–5, dla których uzyskane wyniki należy interpretować jednak niezależnie od wyników serii 1 i 2. Każda z serii próbek charakteryzuje się inną wartością całkowitej SEP. Wartości składowych polarnych są zbliżone, natomiast wartości składowych dyspersyjnych są znacznie większe niż dla próbek wcześniejszych serii. Podobnie jak w przypadku napięcia powierzchniowego, nie ma ścisłej zależności pomiędzy zawartością napelniacz a wartością SEP – najniższa wartość odnotowano dla preparatu z zawartością 1% mikrokrzemionki. Wyższe wartości nie świadczą jednak o braku skuteczności uzyskanej błonki hydrofobowej. Mniejsze napięcie powierzchniowe umożliwia głębszą penetrację roztworu silikonu w cegle i dokładniejsze wypełnienie porów i kapilar. W ten sposób w dalszym ciągu możliwe jest skuteczne zabezpieczenie przed wnikaniem wody, która jednak przez dłuższy czas może utrzymywać się na powierzchni cegły, do momentu odparowania.

Zależność pomiędzy wartościami poszczególnych składowych SEP widać także na przykładzie wyznaczanych dla dwóch cieczy kątów zwilżania – dla próbek serii 1 średnia wartość θ_d wyniosła 92° , wartość θ_w – ok. 125° , dla próbek serii 2 wartość θ_d wyraźnie wzrosła do 95° , przy wartości θ_w równej ok. 129° . Z tego powodu powstała powłoka jest skuteczniejsza, gdyż zapobiega wchłanianiu zarówno cieczy o charakterze polarnym (woda) jak również rozpuszczalników organicznych (apolarnych). Dla próbek serii 3–5 nastąpił wyraźny spadek wartości θ_d , przy zachowaniu wartości θ_w na poziomie powyżej 100° , co świadczy o zachowaniu hydrofobowego charakteru otrzymanej powłoki. Istotny wpływ na wielkość SEP ma działanie ultradźwięków – na skutek dezintegracji i rozbitcia pierwotnej struktury polimeru dochodzi do jego wtórnej reorganizacji na powierzchni próbki. Energia ultradźwięków absorbowana przez cząstki polimerów wywołuje szereg zjawisk: punktowe podgrzewanie, ruch (drżenie cząsteczek), a także częściowe przetopienie polimeru, które ułatwia zmieszanie masy. Zjawisko to ma ścisły związek z adhezją i tworzeniem mikropołączeń mechanicznych polegających na wtłoczeniu cząsteczek polimeru (pod wpływem ciśnienia zewnętrznego) w pory trwalszego materiału – w tym przypadku badanej cegły. Na przykładzie analizy zdjęć powierzchni badanych próbek przeprowadzonej za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego SEM zauważyć można charakterystyczną strukturę błonki powstałej na powierzchni cegieł. W przypadku próbek serii 1 i 2 jest ona bardziej uporządkowana niż w przypadku próbek serii 3 i 4. Ma to ścisły związek ze strukturą polimeru silikonowego. Widoczny jest natomiast wpływ ultradźwięków na ukształtowanie błonki na powierzchni cegieł – jest ona wyraźniejsza i jednolita, Obraz powierzchni próbek serii 1 i 5 przedstawia Rysunek 2:

a)



b)



Rys. 2. Mikroskopowy obraz SEM powierzchni próbek: a) serii 1, b) serii 5 (powiększenie x 2000).

Przeprowadzone badania SEM, przedstawione na rys. 3 pokazują obraz charakterystycznego kształtu powierzchni próbki zanurzonej w roztworach polimerów: rys. a – powierzchnia próbki zanurzonej w niemodyfikowanym preparacie; rys. b – powierzchnia próbki zanurzonej w dezintegrowanym preparacie z dodatkiem mikrokrzemionki. Zdjęcia pokazują różnicę pomiędzy strukturą powierzchni próbek. Na zdjęciu b widoczna jest wyraźna grudkowata powłoka, powstała z cząsteczek mikrokrzemionki, która zwiększa chropowatość powierzchni (i jednocześnie powoduje wzrost wartości składowej dyspersyjnej SEP), ale zapobiega także wnikaniu wody w pory cegły.

Wpływ ultradźwięków oraz wielkości cząstek wynikającej z rodzaju zastosowanego polimeru na absorpcję na powierzchni cegły widać także analizując skład chemiczny powstałej na powierzchni próbki błonki. Średnia procentowa zawartość Si (krzem, będącego podstawowym składnikiem siloksanów i silikonów, a w konsekwencji powstałej na powierzchni próbek powłoki na powierzchni próbek serii 1 wynosiła 29,18%, natomiast dla próbek serii 2 była to wartość 26,56%. Nieco inna sytuacja ma miejsce w przypadku wodnego roztworu dla próbek serii 3–5 średnia zawartość Si wyniosła 62,3%. Rozmiar cząstek silikonów uniemożliwia wnikanie cząsteczek mikrokrzemionki do wnętrza cegły. Z tego też względu zawartość SiO_2 na powierzchni próbek serii 3–5 jest większa niż dla próbek serii 1 i 2, ponieważ część polimeru została zaabsorbowana na wewnętrznych powierzchniach porów i kapilar cegły, co w konsekwencji wpłynęło na obniżenie wartości swobodnej energii powierzchniowej. Należy jednak zauważyć, że zastosowanie ultradźwięków pozwala na uzyskanie zbliżonych właściwości hydrofobowych na powierzchni cegły bez względu na rodzaj polimeru.

4. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników badań należy stwierdzić, że dezintegracja struktury silikonów przy użyciu ultradźwięków stanowi skuteczną metodę prowadzącą do zwiększenia właściwości hydrofobowych powierzchni materiału poddanego hydrofobizacji. Szereg procesów zachodzących w roztworze polimerów poddanego działaniu ultradźwięków spowodował obniżenie wartości swobodnej energii powierzchniowej, szczególnie jej składowej polarnej, która w znaczącym stopniu wpływa na właściwości hydrofobowe badanych powierzchni. Ultradźwięki spowodowały zmianę gęstości poszczególnych roztworów polimerów, a konsekwencji obniżenie ich lepkości oraz napięcia powierzchniowego. Na obniżenie wartości SEP wpływa rodzaj zastosowanego polimeru, jego struktura chemiczna wynikająca z wielkości cząsteczek oraz dezintegracja ultradźwiękami. Dodatek napelnacza w postaci mikrokrzemionki, pomimo wzrostu wartości SEP spowodowanego chropowatością otrzymanej powłoki także pozwala na zachowanie wymaganych właściwości hydrofobowych przy zwiększeniu wytrzymałości mechanicznej powłoki. Należy podkreślić, że cegła jako materiał heterogeniczny, porowaty wymaga starannie przygotowanych próbek do badań gdyż niejednorodność materiału powoduje zakłócenia w odczytach mierzonych wartości co może powodować konieczność ponownego przeprowadzenia pomiarów. Przedstawione badania oraz ich analiza może być pomocna do praktycznych zastosowań jako wytyczne wpływające na poprawę zabezpieczenia porowatych materiałów budowlanych przed wpływem wilgoci i wody. Możliwość zastosowania modyfikowanych w ten sposób polimerów w praktyce skutkuje większą odpornością na działanie wody i podwyższa trwałość wbudowanych materiałów ceramicznych, szczególnie w obiektach zabytkowych.

Literatura

- 1 Tittarelli F., *Oxygen diffusion through hydrophobic cement-based materials*. Cement and Concrete Research 39 (2009) 924–928. DOI:10.1016/j.cemconres.2009.06.021.
- 2 Hall C., Hoff W.D., Nixon H.R., *Water movement in porous building materials – VI evaporation and drying brick and block materials*. Building and Environment, 1984, 19.1 pp. 13–20.
- 3 Fowkes F.M., *Hydrophobic surfaces*, Academic Press, New York, 1969.

- 4 Fic S., Kłonica M., Szewczak A. *Właściwości adhezyjne małowężeczkowego polimeru modyfikowanego nanokrzemionką i dezintegrowanego ultradźwiękami przeznaczonego do hydrofobizacji ceramiki budowlanej*. Polimery 60(11-12) (2015).
- 5 Fic. S., Barnat-Hunek D., *The effectiveness of hydrofobisation of porous building material by using the polymers and nanoparticles solution*, IMSE CN1002 2(2) (2014) 93–98.
- 6 Fic S., Szewczak A., *Wpływ energii ultradźwięków i napętniaczy nieorganicznych na właściwości reologiczne nanopolimerów, Materiały kompozytowe i możliwości ich zastosowania w budownictwie tradycyjnym i energooszczędnym*, Lublin, Politechnika Lubelska, 2014, s. 105–113.
- 7 Łukaszewicz J.W., *Badania i zastosowanie związków krzemoorganicznych w konserwacji zabytków kamiennych*, UMK Toruń, 2002.
- 8 Chlibowski S., Hołysz L., I. Adh. Since and Tech., 1997, 11.
- 9 Neville A.M., *Properties of concrete*, wyd. IV, Polski Cement, Kraków, Polska, 2008 p. 373–400; 561 – 603.
- 10 Schramm G., *Reology – basis and applications*. Centre of the Science Publications, Pozen Poland, 1998, pp. 10–50.
- 11 Żenkiewicz. M., *Methods for the calculation of surface free energy*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Kazimierz Wielki University, Department of Material Engineering, Bydgoszcz, Poland, 2007, pp. 137–143
- 12 Rudawska A., Janicka E., *Analysis of determining surface free energy uncertainty with the Owens-Wendt method*. International Journal of Adhesion and Adhesives 29 (2009) 451–457
- 13 Neumann A.W., Spelt J. K., *Applied surface thermodynamic*, Marcel Dekker, New York, 1996.
- 14 Hutchinson A.R., Iglauers S., Int. J. Adhes Adhes, 2006, 26, 555, 195.121.
- 15 Kuczmaszewski J., *Fundamentals of metal – metal adhesive joint design*. Polish Academy of Sciences, Lublin Brauch, 2006, p. 206
- 16 Wu S., *Polar and nonpolar interactions in adhesion*, Journal of Adhesion 5 (1973) 39–55.
- 17 Oss van C.J., Good R.J., Chaudhury M.K., *The role of van der Waals forces and hydrogen bonds in “hydrophobic interactions” between biopolymers and low energy surfaces*, Journal of Colloid and Interface Science 111 (1986) 378–390
- 18 Bangham D.H., Razouk R.I., *Adsorption and the wettability os solid surfaces*, Transaction of Faraday Society 33 (1937) 1459–1463.
- 19 Yuan Y., Lee T.R., *Contact angle and wetting properties*, chapter 1 of *Surface Science Techniques* edited by Bracco. G., Holst B., Springer Series in Surface Sciences 51, 2013, DOI 10.1007/978 – 3 – 642 – 34243 – 1 1, p. 3 – 29.

Hydrophobisation effectiveness of building ceramics, polymeric inorganic ultrasound integrated with the addition of fillers

Stanisław Fic, Andrzej Szewczak

*Department of General Construction, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, email: s.fic@pollub.pl, a.szewczak@pollub.pl*

Abstract: The article describes the studies of efficacy of ceramic brick surface hydrophobisation by preparations based on silicones (micropolymer). The different series of specimens were subjected to a process of surface hydrophobisation by immersion for 15 s using the hydrophobizing formulations, whose structure was further sonificated by power of 400 W. In order to determine the average absorption of polymer by specimens in respective series, before the hydrophobisation samples were dried to a constant weight and weighed. Then, after 14 days of their immersion in the formulation, specimens were

weighed again in order to determine the percent change in the sample weight to the weight of the dried sample. The impact of ultrasonic energy on the viscosity of the polymer (measured by Ostwald viscometer) and on the surface tension (measured by stalagmometer) was determined. The hydrophobic properties of the resulting nanofilm created on the surface of the ceramic brick were determined on the basis of the measurement of surface free energy γ_s (SFE) by using Owens – Wendt method measuring the sample surface contact angles with distilled water (highly polar liquid) and diiodomethane (a polar liquid) to determine the dispersive γ_s^d and polar γ_s^p components (expressed in mJ/m^2). Based on the results, the effect of sonification on some adhesive and physico. – mechanical properties of the tested material surface was determined.

Keywords: polymers, surface free energy, viscosity, surface tension, hydrophobisation, sonification

Analiza możliwości adaptacji drewnianego obiektu rekreacyjnego w funkcjonalny obiekt mieszkalny z zachowaniem rozwiązań i technologii wernakularnych

Lucjan Gazda¹, Marcin Górski², Katarzyna Skiba³

¹ *Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: l.gazda@pollub.pl*

² *Zakład Dziedzictwa Architektonicznego i Sztuki, Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej, e-mail: mientus@pro.onet.pl*

³ *NOBA Biuro Architektoniczne, Warszawa, e-mail: k.skiba@noba-ba.com*

Streszczenie: W artykule omówiono drewnianą architekturę wernakularną Nałęczowa i okolic. Ukształtowana w cieniu stylowej architektury Uzdrowiska w drugiej połowie XIX wieku, bez mała niezmienną realizowaną była w formie „nałęczowskiego” standardu do połowy XX wieku. Zmiany cywilizacyjne powodowały już od połowy XX wieku likwidację tych obiektów lub jej mniej lub bardziej udane adaptacje i przebudowy. Przedstawiana praca jest wstępnym studium możliwości adaptacji drewnianego obiektu wernakularnego do współczesnych wymogów użytkowych i funkcjonalnych poprzez dobudowę bryły budynku w technologii budownictwa naturalnego, z wykorzystaniem zielonej gliny, która jest materiałem lokalnym, a zarazem stworzenia czegoś, co będzie symbiozą nowoczesności i tradycji.

Słowa kluczowe: Nałęczów, budownictwo drewniane, adaptacja, budownictwo z gliny

1. Wprowadzenie

Krajobraz kulturowy Nałęczowa, miasta ogrodu, kojarzony jest głównie z Uzdrowiskiem, którego ponad dwustuletni rozwój i architektura znaczone są plejadą wybitnych architektów XVIII –XX wieku. Jan Ferdynand Nax, projektodawca wczesnoklasycystycznego pałacu Małachowskich w Parku Zdrojowym. Karol Kozłowski projektant budynków uzdrowskich i przebudowy pałacu Małachowskich. Walerian Kronenberg autor przebudowy Parku Zdrojowego. Adam Nagórski i Michał Górski prekursorzy stylu szwajcarskiego w budownictwie pensjonatowym Nałęczowa i Elwiro Michał Andriolli, którego elementy stylu „świdermajer” obecne są w kilku drewnianych willach. No i chyba najbardziej rozpoznawalny w drewnianym budownictwie Nałęczowa, Jan Witkiewicz Koszyc, obok Zenona Chrzanowskiego implementator stylu zakopiańskiego w Uzdrowisku. Witkiewicz to także twórca Szkoły Rzemiosł Budowlanych w Nałęczowie, przeniesionej później do Kazimierza Dolnego nad Wisłą. Stare drewniane budownictwo wiejskie okolic Nałęczowa wzbudzało etnograficzne zainteresowanie wskrzesicieli Uzdrowiska w końcu XIX wieku. Waclaw Lasocki stworzył modele chat włościańskich, które były eksponowane w miejscowym muzeum [1], a następnie, w okresie międzywojennym zostały przeniesione do Muzeum Ziemi Lubelskiej w Lublinie [2]. Były to zapewne obiekty z XVIII i początku XIX wieku. W cieniu tych zainteresowań i dokonań wyrastało budownictwo niewielkich domów drewnianych, budowanych „dla siebie” przez dorosłych architektów [3], współ-

częśnie określane jako drewniana architektura wernakularna. Rozwój i ukształtowanie standardu tego budownictwa w rejonie Nałęczowa i Wojciechowa zbiegło się z uwłaszczeniem chłopów w 1864 roku oraz parcelacją majątków kościelnych i ziemiańskich. W krajobrazie Nałęczowa i okolic zmiany te są wyraźnie odnotowane na materiałach kartograficznych w formie powstałych licznych kolonii osadniczych Nałęczowa i Wojciechowa oraz prawie całkowitym wylesieniem okolicy. Typowy dla historii i krajobrazu tego rejonu jednokondygnacyjny, niewielkich rozmiarów dom drewniany pod dwuspadowym dachem z jednym kominem oraz towarzyszące mu obiekty inwentarskie wykonane najczęściej z lokalnego białego kamienia, to coraz rzadsze relikty, wypierane od lat 60-tych XX przez współczesne, zunifikowane budownictwo. Drewniane, pionierskie obiekty z XIX wieku praktycznie już nie istnieją, te z początku XX wieku, oszpecone wcześniej eternitowymi dachami, są likwidowane lub przesłaniane budownictwem współczesnym w ramach beztrudnych działań planistów opracowujących warunki zabudowy i zagospodarowania tych peryferyjnych w stosunku do Nałęczowa jednostek osadniczych. Oczywiście ok. 50 m² powierzchni użytkowej tych obiektów nie jest w stanie zapewnić współcześnie odpowiedniego standardu, nawet dla użytkowników wykorzystujących je wyłącznie okresowo do celów rekreacyjnych. Wymagają one najczęściej modernizacji, przebudowy lub rozbudowy do obowiązujących obecnie standardów funkcjonalnych i użytkowych. Przedstawiana praca jest wstępnym studium możliwości dobudowania do istniejącego drewnianego obiektu wernakularnego, bryły budynku w technologii budownictwa naturalnego, z wykorzystaniem zielonej gliny, która jest materiałem lokalnym, a zarazem stworzenia czegoś, co będzie symbiozą nowoczesności i tradycji. Dzięki wykorzystaniu naturalnego materiału jakim jest zielona glina, dobudowa wtapia się teren, jednocześnie współgrając z istniejącym drewnianym, wernakularnym domkiem. Głina to obecnie niedoceniony materiał budowlany, a poprzez swój niepowtarzalny kolor staje się wyjątkowy. Zależało nam na tym, aby go odzarować i pokazać, że można stworzyć współczesną formę, która będzie zakorzeniona w tradycji lokalnej, tworzona przez miejscowych i z dostępnych materiałów, ulepszenie architektury wernakularnej technologią wernakularną.

2. Głos architekta

Architektura wernakularna, tworzona rękami lokalnych rzemieślników, bez udziału architektów, to szczególnie temat do rozważań dla praktykującego projektanta. Za prostymi, tradycyjnymi formami zabudowy stoi pytanie o sens zawodu. Czy można stworzyć architekturę bez udziału architekta? Jeśli tak to czy zawód architekta jest potrzebny? A wątpliwości mnożą się w dobie komputeryzacji, parametryzacji i innych wynalazków mających uprościć proces budowlany ograniczając w nim coraz bardziej rolę indywidualnego człowieka. Podziwiając kunszt dawnych rzemieślników, precyzję wykonania konstrukcji, dbałość o detal, znajomość właściwości fizycznych i mechanicznych drewna, i wreszcie doskonale wypracowane przez stulecia proporcje budownictwa drewnianego trudno rozwiązać wewnętrzne wątpliwości. Za prostymi formami chałup, świronków, wiejskich kościołów kryje się, dziś w znacznej mierze zapomniana, mądrość wykorzystania materiału. W drewnianym budownictwie wernakularnym odnaleźć można wszystkie zasady architektury witruińskiej: trwałość, użyteczność i piękno, stawiającym je na równi z dziełami stworzonymi przez profesjonalnych architektów [4]. W 1985 roku profesor Tłoczek pisał o trójjedności funkcji, konstrukcji i formy, która „... widoczna jest w sposób szczególnie czytelny w dziełach architektonicznych z drewna... Zewnętrzna powłoka – obejmująca otoczoną ścianami, zamkniętą stropem i nakrytą dachem przestrzeń, urobiona z budowlanego tworzywa – stawała się w ręku człowieka jednym z arcydzieł kultury materialnej”[5]. Inaczej

rzec się ma, gdy popatrzeć na ten sam proces wznoszenia i przekształcania budownictwa wernakularnego obecnie. W jaki sposób sztuka architektury wernakularnej uprawiana jest współcześnie? Jak groteskowo wyglądają współczesne próby modernizacji drewnianej zabudowy przez właścicieli? Nadbudowy, rozbudowy, dobudowy, termomodernizacje z wykorzystaniem sidingu, PCV, styropianu i niezastąpionej pianki poliuretanowej. Czy oprócz doraźnych potrzeb użytkowych realizowane są pozostałe postulaty Witruwiusza trwałości i piękna?

W latach 70-tych XX wieku Marian Prokopek w swojej książce o budownictwie ludowym wskazywał na proces całkowitego oderwania się od tradycyjnych form zmieniających charakter dawnego budownictwa, na skutek:

- naśladownictwa form małomiasteczkowych
- realizowania gotowych, znormalizowanych budynków zaprojektowanych przez architektów,
- wykorzystania nowych materiałów i technologii budowlanych [6].

O współczesnym budownictwie wiejskim krytycznie wypowiadał się także profesor Tłoczek wskazując na niski walor użytkowy, estetyczny i ekonomiczny: „Nowe pokolenia ludności wiejskiej stawiają coraz większe wymagania użytkowe, nie licząc się z walorami estetycznymi, a nawet kosztami budowli. Projektanci oferują więc rozwiązania kosztowne, wymyślne i nieodpowiadające realiom współczesnego życia. Poza tym inwestor, chcąc urządzić sobie dom funkcjonalnie i wedle własnych wyobrażeń wprowadza zmiany w trakcie budowy, które podnoszą koszty, ale nie zapewniają osiągnięcia zamierzonego celu”[3]. Innym czynnikiem ulegającym zmianie jest także według Tłoczka czas budowy: „Wczorajszy cieśla z dwoma pomocnikami ustawiał zrąb ściany wieńcowej i dach wraz z ułożeniem stropu zazwyczaj w ciągu jednego tygodnia... Dziś natomiast wznoszenie domu z żelbetowych elementów prefabrykowanych, mimo wykorzystania nowoczesnych maszyn, trwa miesiącami” [5].

Uznając wartości architektoniczne dawnej zabudowy wernakularnej i widząc zagrożenia, na jakie jest narażona współcześnie, na architekta nałożona jest szczególna odpowiedzialność:

- zrozumienia tradycyjnych technik i zasad wznoszenia drewnianych budynków,
- stosowanie materiałów naturalnych, co najmniej podobnej jakości co oryginalne,
- dostosowania do współczesnych standardów użytkowych,
- poszukiwania nowych rozwiązań estetycznych, eksponujących zarazem piękno drewnianej zabudowy.

Przykłady takich pozytywnych działań wykorzystania przez architekta wzorców architektury wernakularnej w procesie projektowym można odnaleźć w przeszłości. Przykładem harmonijnego modernizowania tradycyjnej ciesiołki przez architektów i inżynierów jest styl zakopiański Witkiewicza wzorowany na podhalańskich chatach. Według Piotra Winskowskiego „styl narodowy” Witkiewicza prezentował działania nie tylko zgodne „...z parametrami materiału, ale i zachowanie postawy wmyślenia się w ten materiał, podążania dalej niż dotychczasowe rzemiosło, lecz bez chęci epatowania skrajnymi, „wyśrubowanymi” parametrami nowych obiektów”[7].

Prekursorem innego nurtu architektonicznego opartego o wernakularne wzorce był Elwiro Michał Andriolli autor pierwszych nadświdrzańskich willi. Uznany za ojca „stylu świdermajer” Andriolli w swojej twórczości architektonicznej potrafił w sposób harmonijny połączyć edukację artystyczną z inspiracjami ze studenckich podróży po Europie oraz (w związku z działalnością powstańczą) z zesłania w głąb Rosji. Były to zarówno formy ludowej architektury tyrolskiej jak i syberyjskiej, ponadto drewniane budownictwo uzdrowiskowe, kolejowe oraz osiągnięcia wystaw światowych [8].

Przyjmując zasady podane powyżej, chcąc kontynuować tradycję drewnianego budownictwa wernakularnego, wymaga to zrozumienia zasad pierwotnie ją definiujących i procesów cywilizacyjnych zachodzących obecnie:

- użycie drewna było podyktowane kiedyś łatwą dostępnością i niską ceną materiału, podobnie jak dzisiaj niskiej jakości produkty drewnopochodne i PCV dostępne w każdym markecie budowlanym,
- ze względu na ograniczone możliwości transportowe kiedyś korzystano z materiału dostępnego na miejscu (dziś liczne przepisy i regulacje ograniczają dostęp do materiału lokalnego będącego w gestii różnych instytucji takich jak Lasy Państwowe czy w przypadku kopalin procesu koncesyjnego), dziś często łatwiej użyć kamienia sprowadzanego z Chin niż z najbliższego kamieniołomu,
- stale maleje liczba rzemieślników posiadających wiedzę i umiejętności w zakresie wznoszenia tradycyjnych budynków drewnianych,
- wznoszenie obiektów budowlanych (w tym budownictwa jednorodzinnego) zostało obwarowane licznymi przepisami i warunkami technicznymi.

Konkludując, aby kontynuować tradycję budownictwa wernakularnego niezbędny jest dziś:

- architekt wyposażony w solidną wiedzę teoretyczną i praktyczną o budownictwie lokalnym,
- świadomy wartości architektury inwestor,
- duch zapisany w drewnianej budowlu warty zachowania w formie niezmienionej lub harmonijnie zmodernizowane.

3. Architektura wernakularna w krajobrazie kulturowym Nałęczowa i Wojciechowa

Ukształtowany pod koniec XIX wieku i budowany do lat 30-tych XX wieku drewniany dom mieszkalny Nałęczowa i okolic (rys. 1) realizowany był w mieszanym systemie wieńcowym oraz wieńcowo-słupowym (rys. 2), które umożliwiały podział funkcjonalny obiektu oraz podział funkcji nośnych i osłonowych zrębu. Klasyczny dom licznych kolonii Nałęczowa i Wojciechowa ma wymiary w obrysie ok. 5,5 x 11,0 m, składa się z dwóch izb ze wspólnym systemem grzewczym (kuchnia z piecem chlebowym i zapiecek) oraz przed-sionka i komory wydzielonych z części ogrzewanej. Przekryty jest symetrycznym dachem dwuspadowym kryjącym w swojej przestrzeni gospodarcze pomieszczenie strychu. Zręby tworzą z bali sosnowych grubości ok. 12 cm i zmiennej, max. do 40 cm wysokości, stosując zawęglowanie na tzw. „jaskółczy ogon” z ostatekami (rys. 2) i bez ostateków, które umożliwiało szalowanie obiektu. Dodatkowe usztywnienie konstrukcji uzyskiwano przez wprowadzanie złączy na kołki oraz w połączeniach ze słupami na wpust i kryty zamek. Dolną warstwę zrębu stanowiła podwalina, przycieś, z reguły dębowa sytuowana na płytkim fundamencie z gez na spoiwie glinianym lub gliniano-wapiennym.

Obiekty „miejskie” Nałęczowa (rys. 3) zachowując wymiary i proporcje standardu pozbawione są części komorowej i w całości są szalowane.

W młodszych obiektach (rys. 4 i 5) wyraźnie dostrzega się naśladownictwo wzorców z dojrzałej architektury drewnianej Uzdrowiska (rys. 6 i 7).

Bryła domu zachowuje jednak zbliżone wymiary obrysu oraz jednokondygnacyjność funkcji użytkowych. W Nałęczowie już w drugiej połowie XIX wprowadzono zakaz wykonywania strzech. W koloniach strzechy przetrwały do połowy XX wieku, wypierane stopniowo eternitem i blachą ocynkowaną.



Rys. 1. Typowy układ zabudowy peryferii Nałęczowa. Centralnie obiekt z początku XX wieku, z lewej na górze modernizacja takiego obiektu wykonana w latach 90-tych XX wieku, z prawej fragment obiektu murowanego z lat 70-tych XX wieku wyznaczający nową linię zabudowy.



Rys. 2. System wieńcowy i wieńcowo-słupowy (ściana szczytowa).



Rys. 3. Standardowe obiekty drewniane w części śródmiejskiej Uzdrowiska. Jeden z niewielu zachowanych w części miejskiej Nałęczowa standardowych obiektów drewnianych jednorodzinnych.



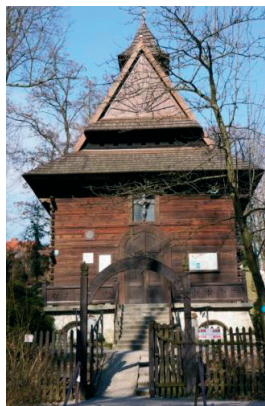
Rys. 4. Standardowe obiekty drewniane w części śródmiejskiej Uzdrowiska. Standard z modyfikacją dachu.



Rys. 5. Standardowe obiekty drewniane w części śródmiejskiej Uzdrowiska. Standard z modyfikacją dachu oraz ozdobnymi gankami i werandami.



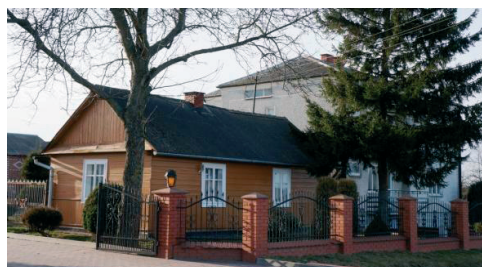
Rys. 6. Stylowa zabudowa drewniana Nałęczowa. Willa Podgórze w stylu szwajcarskim.



Rys. 7. Stylowa zabudowa drewniana Nałęczowa. Kaplica św. Karola Boromeusza w stylu zakopiańskim.

Wernakularne budynki drewniane zaczęły tracić walory funkcjonalne i użytkowe już w latach 60-tych XX wieku i od tego okresu zaczęły ginąć z krajobrazu, przesłaniane nowo budowanymi obiektami murowanymi (rys 1, 8, 9), likwidowane całkowicie lub przekształcane drewnianymi lub murowymi dobudówkami i „unowocześniane” zmienionymi elewacjami (rys. 10 i 11).

Odmienność traktowania historycznego obiektu w Uzdrowisku i koloniach Nałęczowa oraz Wojciechowa wynika w głównej mierze z uwarunkowań planistycznych i wielkości działek. Przy potrzebie mieszkania w obrębie działki lub siedliska i określonej zamożności użytkowników warunki te pozwalają na pozostawienie obiektu w formie „skansenu” (rys. 8, 9), wyburzeniu obiektu lub kurczowym pozostawianiu przy obiekcie wernakularnym.



Rys. 8-9. „Dożywocie” wernakularnego drewnianego domu nałęczowskiego w cieniu obiektów z przełomu XX i XXI wieku we wsi Nowy Gaj.

Różnicę tę wyraźnie na niekorzyść, dostrzega się w obrębie części Uzdrowskiej Nałęczowa, gdzie całkowicie bezstylowo, eklektycznie dostosowywane są te obiekty do współczesnych standardów (rys. 10-11).



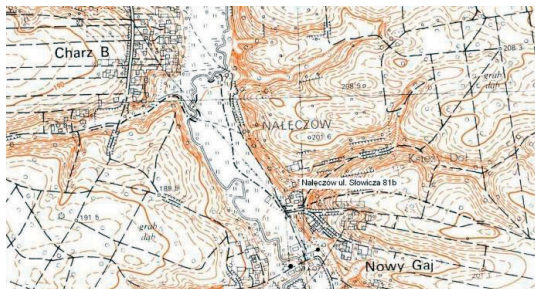
Rys. 10-11. „Eklektyczne” modernizacje, adaptacje i rozbudowy wernakularnego domu drewnianego typu „nałęczowskiego” w Uzdrowisku.

4. Historia drewnianego obiektu w Nałęczowie, ul. Słowicza 81 b

Zabudowa działki 913/1 w Nałęczowie przy ul. Słowiczej 81b w formie udokumentowanego obiektu drewnianego (rys. 12) sięga lat 20-tych XX wieku. Z ustnych przekazów wynika, że teren był pioniersko zasiedlany po parcelacji majątku parafialnego w drugiej połowie XIX wieku. Jest to południowa część majątku parafii Bochońnica, której granicę stanowił wąwóz utrwalony w miejscowym nazewnictwie, jako Księży Dół (rys. 13). Pierwsze XIX-wieczne obiekty miały tu charakter półziemiarki i prymitywnej zabudowy gospodarskiej z lokalnego kamienia [9], z których niewiele się zachowało. Powierzchnia tego rejonu morfologicznie jest bardzo zróżnicowana, o dużych spadkach i dużej podatności na erozję, co znacznie utrudniało tu gospodarowanie i uzyskiwanie dochodów pozwalających na zabudowę powyżej występujących w okolicy standardów. Budowa drewnianego domu mieszkalnego w „stylu nałęczowskim” musiała być dużym wysiłkiem inwestycyjnym, małorolnych gospodarzy.



Rys. 12. Drewniany dom przy ul Słowiczej 81 b, stan na grudzień 1996.



Rys. 13. Lokalizacja obiektu Słowicza 81b na mapie topograficznej.

O utrudnieniach gospodarowania w tym terenie może świadczyć duża luka osadnicza. Między neolitem, który znaczonej jest archeologicznie obecnością licznych dobrze zorganizowanych osad (rys. 15), a osadnictwem z końca XIX wieku brak jest w tym rejonie wyraźnych śladów stałego przebywania człowieka. Może to być także efektem lokalnych predyspozycji środowiska endogenicznego [10].



Rys. 14. Zdjęcie lotnicze rejonu Słowiczej 81b (działka 913/1), stan na ok. 2000 rok.



Rys. 15. Wycinek SUiKZP Gminy Nałęczów w rejonie opracowania [11].

W grudniu 1996 roku (rys. 12) dom przy ul. Słowiczej był opuszczony, po eksploatacji 2-3 pokoleń budowniczych i ich następców. Był to typowy obiekt dla Nałęczowa oraz okolic (Nowy Gaj, Wojciechów) wykorzystywany do celów mieszkaniowych przez dwupokoleniową rodzinę chłopską. Drewniana konstrukcja wieńcowo - słupowa (sosna na podwalinie dębowej) oszalowana. Wymiary w obrysie (fundament kamienny spajany gliną) 11 x 5,5 m. Dom był jednopiętrowy, dwuizbowy z komorą i strychem pod dwuspadowym dachem. Jeden komin połączony był z kamiennie - glinianym piecem kuchennym i zapiekiem. Posadzka w formie polepy słomiano-glinianej. Strop ocieplony był warstwą siewki słomianej. W części komorowej (północna część domu) piwnica kamiennie-ceglana na zaprawie glinianej i wapiennej. Dom wewnątrz pokryty był cienką warstwą gliny i wapna. Pokrycie dachu z lat 60-tych było eternitowe (pierwotnie była to strzecha). Dom miał dwa niewielkie okna w ścianie wschodniej i jedno oraz drzwi wejściowe w części zachodniej. Strych doświetlany był dwoma małymi oknami w szczytach. Stan techniczny konstrukcji w okresie zmiany właściciela nie dawał możliwości użytkowania i remontu.

4.1. Adaptacja lokalizacji wernakularnego obiektu drewnianego do celów rekreacyjnych

Adaptację lokalizacji wiekowego użytkownika działki nr 913/4 i działek sąsiednich, przy ul. Słowiczej 81 b w Nałęczowie na cele rekreacyjne zrealizowano w 1997 roku w ramach wernakularnych działań miejscowych rzemieślników, cieśli i stolarzy. Na miejsce zlikwidowanego pierwotnego obiektu przeniesiono zbliżony wymiarami dom typu „nałęczowskiego” z Kolonii Wojciechów. Zachowano wymiary i orientację bryły w planie. Z wcześniejszego obiektu pozostawiono jedynie piwnicę kamienną. Zachowano konstrukcję wieżbowo-słupową parteru, modyfikując nieznacznie układ otworów okiennych i drzwiowych. Zabiegi te były konieczne z uwagi na wprowadzenie do obiektu węzła sanitarnego oraz częściowej modyfikacji komunikacji wewnętrznej z potrzebą włączenia do części użytkowej poddasza. Przeniesienie drewnianego obiektu z Kolonii Wojciechów do Nałęczowa można traktować, jako aktywną ochronę i kontynuację budownictwa wernakularnego typu „nałęczowskiego” w lokalnym krajobrazie.



Rys. 16. Elewacja wschodnia wernakularnej adaptacji wernakularnego obiektu drewnianego do celów rekreacyjnych



Rys. 17. Szczyt od strony północnej i zewnętrzna część użytkowa obiektu od strony zachodniej.

Przeniesienia i złożenia domu dokonali cieśle z Wojciechowa w ciągu jednego tygodnia. W konstrukcji pierwszego poziomu użyto niewiele ponad 10% nowych bali (podwalina, konstrukcja słupowa otworów okiennych). Modernizacja konstrukcji polegała na dodaniu ścianki kolankowej (trempel w gwarze miejscowych cieśli) o wys. 1 m, co pozwoliło na uzyskanie ze strychu pomieszczeń użytkowych doświetlanych lukarnami i oknami w szczytach (rys 16, 17). Dom ocieplono wełną mineralną i oszalowano na zewnątrz i wewnątrz. Wprowadzono ogrzewanie elektryczne i kominkowe. Od strony zachodniej dobudowano taras. Pokrycie dachu, podobnie jak w pierwowzorze z Kolonii Wojciechów, wykonano z blachy ocynkowanej, dodatkowo pomalowanej.

4.2. Dekapitalizacja walorów technicznych i użytkowych obiektu

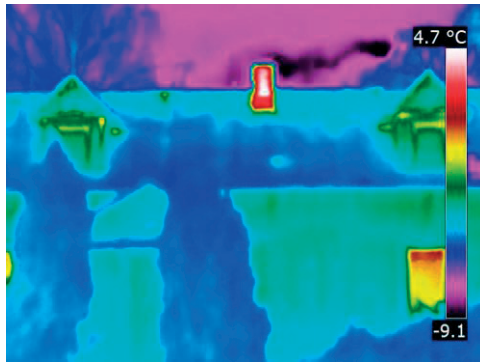
Bez mała dwadzieścia lat użytkowania pozwoliło zweryfikować mankamenty techniczne i użytkowe obiektu. Można je ująć w kilku punktach:

- konstrukcja poddasza i dachu jest nie do końca stateczna,
- wykonane izolacje termiczne tracą stopniowo swoją skuteczność, co wymaga wykonania termomodernizacji,
- z uwagi na okresowe, ale równocześnie całoroczne użytkowanie, obiekt wymaga wprowadzenia dodatkowego systemu ogrzewania,
- forma i intensywność wykorzystania obiektu wymaga zwiększenia powierzchni użytkowej i zwiększenia jakości korzystania z obiektu.

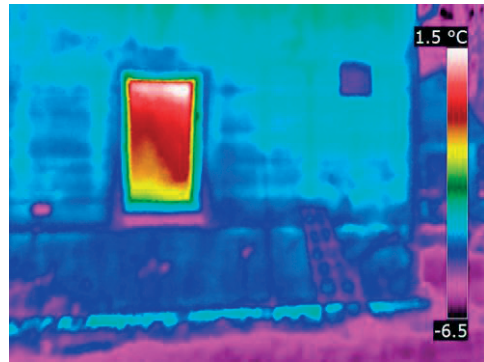
Już pierwszy rok użytkowania obiektu wykazał pewne dysfunkcje konstrukcji nadbudowy o ściankę kolankową, która się lekko (ok. 5 cm) wychyliła na zewnątrz (ściana wschodnia), równocześnie nieznacznie (1-2 cm w kalenicy) deformując dach. Jej nie do końca prawidłowe rozwiązanie spowodowało potrzebę wykonania stężeń jego oczepu ściągami z prętów stalowych. Sytuacja ta nie pozwala na dodatkowe obciążenie dachu, np. ogniwami lub kolektorami słonecznymi.

Po kilkuletnim użytkowaniu dał się zauważyć spadek termoizolacyjności obiektu, który na podstawie kilku odśnieżeń można wiązać z uszkodzeniem powłok wiatrochronnych oraz grawitacyjnym kolapsem wełny mineralnej, nie do końca prawidłowo zamontowanej przez „wernakularną” ekipę wykonawców. W efekcie daje to dość skomplikowaną mozaikę dróg ucieczki ciepła, zarówno przez dach jak i ściany (rys. 18, 19).

Unowocześnienie obiektu wymaga zwiększenia powierzchni i przestrzeni technicznych (kotłownia, garaż) oraz poprawiających ogólny komfort użytkowania obiektu (zwiększenie ilości sypialni, łazienek i pomieszczeń wspólnych).



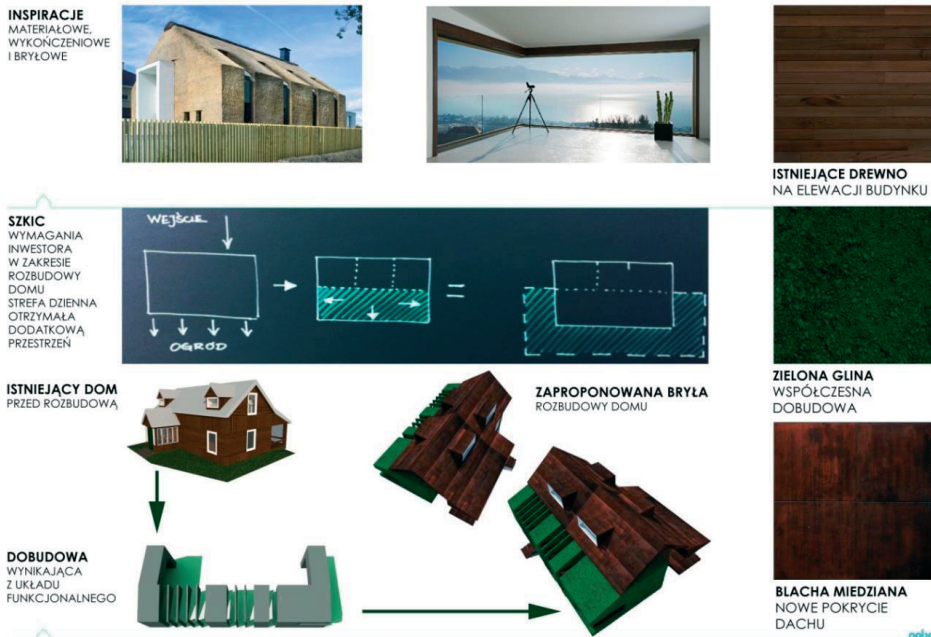
Rys. 18. Obraz termowizyjny wschodniej elewacji obiektu: punktowe i liniowe drogi ucieczki w obrębie połaci dachowej i otworów okiennych.



Rys. 19. Obraz termowizyjny wschodniej elewacji obiektu: regularna kratka dróg ucieczki odpowiadająca liniom rozluźnienia taflı wełny mineralnej.

5. Analiza możliwości architektoniczno-budowlanych sanacji walorów użytkowych obiektu i zwiększenia jego funkcjonalności z zachowaniem wernakularnych rozwiązań technologicznych

Przywiązanie właścicieli do miejsca oraz do istniejącego wernakularnego drewnianego domu skłoniło do podjęcia próby dobudowania do istniejącego, bryły budynku w technologii budownictwa naturalnego, z wykorzystaniem słomy i gliny, która jest materiałem lokalnym, a zarazem stworzenia czegoś, co będzie symbiozą nowoczesności i lokalnej tradycji utrwalonej w istniejącym obiekcie (rys. 20, 21, 22).



Rys. 20. Analiza koncepcji dobudowy bryły z gliny do istniejącego obiektu wernakularnego (aut. K. Skiba).

W ramach rozważanej koncepcji pozostawione będą fragmenty bryły i typowych faktur drewnianego obiektu wernakularnego od strony zachodniej, odbieranej z perspektywy ul. Słowiczej przez uczestników ciągów spacerowych Uzdrowiska. Czytelny będzie układ pierwotnego, szerokofrontowego, symetrycznego domu drewnianego typu „nałęczowskiego”. Rozbudowa realizowana będzie od strony wschodniej, wychodzącej na ogród i las, stanowiących intymną, prywatną przestrzeń. Po rozbudowie dom zyska pożądaną stateczność, dodatkową przestrzeń dzienną, doświetloną dużą ilością przeszkleń od strony ogrodu, oraz pod- i nadpoziomowe przestrzenie gospodarcze. Dzięki wykorzystaniu naturalnego materiału, jakim jest zielona glina, dobudowa wtapia się w teren, jednocześnie współgrając z istniejącym drewnianym domkiem.



Rys. 21. Wernakularna technologia budowy z użyciem słomy i gliny (aut. K. Skiba).

Glina to obecnie niedoceniony materiał budowlany [12,13]. W realizacji dobudowy będzie wykorzystana rzadka w przyrodzie zielona glina, której niepowtarzalny kolor staje się wyjątkowy, szczególnie w połączeniu z brązami starego drewna. Zależało nam na tym, aby pozostawiając wernakularny dom drewniany równocześnie go odczarować i pokazać, że można stworzyć współczesną formę, która będzie zakorzeniona w tradycji lokalnej, tworzona przez miejscowych i z dostępnych materiałów. Równocześnie będzie pionierską innowacją materiałową, gdyż zielone gliny glaukonitowe nie były dotychczas wykorzystywane do celów budowlanych. Oprócz unikatowej zielonej barwy i korzystnych walorów fizycznych i technologicznych [14,15] istotne są także jej walory wynikające ze składu mineralnego, szczególnie obecności glaukonitu. Powinien on wpływać pozytywnie na środowisko wewnętrzne, wilgotność i jakość powietrza a także ekranowania potencjalnych emanacji radonowych występujących w tym rejonie [10].



Rys. 22. Wizualizacja projektowanej dobudowy glinianego bloku do istniejącego drewnianego obiektu wernakularnego (aut. K. Skiba).

6. Wnioski

Szczegółą cechą wernakularnej architektury drewnianej jest jej ścisły związek z naturą odczuwalny fizycznie przez jej użytkowników. W dobie uprzemysłowienia procesu budowlanego rzemieślniczy charakter drewnianych budynków, świadomość indywidualnych cech każdego kawałka drewna i niepowtarzalności każdego elementu wytworzonego ludzką ręką nadaje obiektom architektury wernakularnej wyjątkową, niepowtarzalną wartość. Wartości te dostrzegane były już przez pozytywistycznych etnografów działających w Nałęczowie i uroda tych obiektów w formie makiet była przenoszona do muzeów. Same chaty, chałupy, wernakularne domy stopniowo były wypierane przez nowsze, bardziej „miejskie” obiekty, początkowo drewniane w XIX/XX wiecznym stylu „nałęczowskim”, by w drugiej połowie wieku XX ustępować współczesnemu budownictwu murowanemu. Proces ten szybciej przebiega w obrębie większych działek i kapitałów peryferii i kolonii Nałęczowa i Wojciechowa, wolniej w strefie zwartej zabudowy miejskiej, gdzie przywiązanie użytkowników do miejsca bierze górę nad nad możliwościami adaptacji obiektów do współczesnych standardów, prowadząc do tanich, eklektycznych dobudów i modernizacji. Alternatywą do cywilizowania tych wernakularnych obiektów mogą być stosunkowo proste i tanie modernizacje wynikające z inspiracji i rozwiązań „organicznymi” - bliskich natury. W przypadku budynku drewnianego w Nałęczowie została podjęta próba połączenia tradycyjnej formy wernakularnej, z nowym wyróżniającym się formalnie elementem wykonanym w naturalnej technologii gliny. Drewno posłużyło tu jedynie jako materiał konstrukcyjny, jednak rozbudowa spełnia podstawowy postulat architektury wernakularnej - związku natury i rękodziłem. Nurt „architektury organicznej” zapoczą-

kowany został w latach 60-tych na Węgrzech. I jak pisze profesor Miriam Wiśniewska zrealizowane tam przykłady: "... kościołów, budynków mieszkalnych, oświatowych i usługowych, świetnie wpisanych w otaczający krajobraz, dają dużo do myślenia i poniekąd odpowiadają na pytanie, czy architektura drewniana ma rację bytu w zjednoczonych strukturach Europy"[16].

Literatura

- 1 Puławski A.A. *Przeszłość i terażniejszość Nałęczowa*. Wyd. Kaniewski i Waclawowicz, Warszawa 1903.
- 2 Hwalewik E. *Zbiory polskie*. T1-2. Warszawa 1926-27.
- 3 Kozuchowski Z., (red.). *Z dziejów dawnego i współczesnego Nałęczowa*. Warszawa, 1925.
- 4 Witruwiusz "O architekturze ksiąg dziesięć", <https://kulturaantyczna.files.wordpress.com/2011/12/witruwiusz-o-architekturze-ksic485g-dziesiec499c487.pdf> (24.05.2015)
- 5 Tloczek I., *Dom mieszkalny na polskiej wsi*. Warszawa 1985.
- 6 Prokopek M., *Budownictwo ludowe w Polsce*. Warszawa 1976.
- 7 Winskowski P., *Drewno kształtowane przez człowieka: relikw tradycji, dzisiejsza konieczność czy tworzywo przyszłości?* [w:] *Budownictwo drewniane w gospodarce przestrzennej europejskiego dziedzictwa*. Białystok 2004.
- 8 Lewandowski R., *Twórcy stylu „świdermajer”*, Józefów 2014.
- 9 Gazda L., Gazda B. *Górnictwo skalne Nałęczowa*. [w:] *Historia i współczesność górnictwa na terenie Lubelszczyzny: Kazimierz Dolny n. Wisłą*. 7-8 grudnia 2005, Lublin, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2005.
- 10 Gazda L., Kozak K., Południk B. *Morphogenesis of lublinites in indoor environment*. Healthy Building Conference, Brisbane, Australia, 8D.9, 2012.
- 11 Chmielewska W. z zespołem. *Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Gminy Nałęczów*. 2013.
- 12 Niemirowicz M. *Wznoszenie budynków z gliny*. Reprint wydawnictwa: Poradnik wiejskiego budownictwa ogniotrwałego z gliny Milanówek 2014 (Wilno 1930).
- 13 Kelm T., Długosz-Nowicka D. *Budownictwo z surowej ziemi. Idea i realizacja*. Warszawa, 2011.
- 14 Gazda L., Franus M. *Właściwości fizykochemiczne i mechaniczne wybranych gruntów spoistych Lubelszczyzny do zastosowań hydroizolacyjnych*. *Budownictwo i Architektura* 13 (2), s.17-24. Politechnika Lubelska.
- 15 Gazda L., Głub S., Bezv M., Petryk V. *Glaukonityt - unikatowy materiał budowlany i architektoniczny XIII- wiecznych budowli ziemi chełmskiej* (2015, w druku).
- 16 Wiśniewska M. *Uwagi do dziejów budownictwa drewnianego w Polsce*. [w:] *Budownictwo drewniane w gospodarce przestrzennej europejskiego dziedzictwa*. Białystok 2004.

Analysis of adaptability of the recreational property in a wooden residential building with functional behavior of solutions and technologies vernacular

Lucjan Gazda ¹, Marcin Górski ², Katarzyna Skiba ³

¹ *Department of Geotechnics, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Lublin,
e-mail: l.gazda@pollub.pl*

² *Department of Architectural Heritage and the Arts, Faculty of Architecture Warsaw University of
Technology, e-mail: mientus@pro.onet.pl*

³ *NOBA Architectural Office, Warsaw, e-mail: k.skiba@noba-ba.com*

Abstract: The article discusses the vernacular wooden architecture Naleczow and surrounding areas. He forged in the shadow of stylish architecture spas in the second half of the nineteenth century. Unchanged was implemented in the form of "Naleczow" standard of the mid-twentieth century. Societal changes resulted from the liquidation of the mid-twentieth century, these objects, or eclectic adaptations and remodeling. The presented work is a preliminary study of the needs and possibilities of adapting a wooden object vernacular to contemporary requirements and functional. Designs August realize this by building a solid building natural building technologies, using straw and green clay. The intention is to create an object vernacular, combining modernity with tradition.

Keywords: Naleczow, wood construction, adaptation, construction of clay

Badanie cech mechanicznych porowatego gipsu^a

Jakub Gontarz, Jerzy Podgórski

*Katedra Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: j.gontarz@pollub.pl, j.podgorski@pollub.pl*

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań mechanicznych porowatego gipsu. Materiał do badań pozyskano z płyt gipsowych Pro-Monta o grubości 100mm. Wykonano badania ściskania próbek sześciennych, na podstawie których określono wartość wytrzymałości na ściskanie, współczynnik Poissona i moduł Younga. Wytrzymałość na rozciąganie określono na podstawie próby trójpunktowego zginania beleczki o przekroju prostokątnym. Wyznaczono także współczynniki tarcia powierzchni wygładzonej próbki wyciętej z płyty Pro-Monta oraz surowej powierzchni (po przecięciu płyty) o powierzchni podkładki wykonanej z płyty pilśniowej. Porowatość materiału próbek określono standardową metodą normową. Wartości parametrów mechanicznych materiału mogą być przydatne w próbach modelowania zjawisk zniszczenia i odkształcenia materiału podejmowanych metodami analitycznymi a także numerycznymi.

Słowa kluczowe: Cechy mechaniczne gipsu, wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie moduł Younga, współczynnik Poissona, gips porowaty

1. Wstęp

W Katedrze Mechaniki Budowli (KMB) Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej (WBiA PL) od lat prowadzone są prace dotyczące numerycznego modelowania zjawisk pęknięcia materiałów kruchych takich jak skały naturalne oraz sztuczne np. beton i inne kompozyty tworzone na bazie cementu oraz kompozyty na bazie żywic. W ramach tych badań teoretycznych niezbędne są także testy laboratoryjne, których wyniki służą do weryfikacji wyników uzyskanych metodami numerycznymi oraz kalibracji parametrów modelu numerycznego. W latach 2013-14 podjęto prace nad numeryczną symulacją znanego od wielu lat testu laboratoryjnego tzw. próby brazylijskiej, która stosowana jest bardzo często do uzyskania wytrzymałości na rozciąganie materiałów kruchych. Popularność tej próby wynika z pewnością z jej prostoty i łatwości pozyskania próbek walcowych wycinanych bezpośrednio z rdzeni odwiertów geologicznych, bo stan naprężeń w ściskanym na pobocznicę walca dalece odbiega od jednorodnego stanu wymaganego do uzyskania wartości krytycznej naprężenia, które interpretujemy jako wytrzymałość na rozciąganie. Wytrzymałość uzyskana w ten sposób, nazywana jest zatem wytrzymałością na rozłupywanie. Szczegółowe rozważania dotyczące tego stanu są ciągle aktualnym tematem badań [1,2,3,4,5] a także były przedmiotem publikacji autorów [6].

Precyzyjna symulacja numeryczna testu brazylijskiego wymaga poznania mechanicznych własności materiału, których zwykle nie dostarczają producenci elementów budowlanych ze względu na ich małą przydatność w praktyce projektowej i wykonawczej. Konieczne więc były prace laboratoryjne prowadzące do wyznaczenia wartości potrzebnych

^a Opisane badania zostały wykonane w ramach Funduszu Statutowego Katedry Mechaniki Budowli WBiA PL, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego RP.

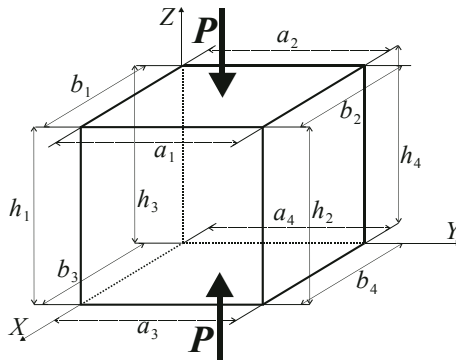
w symulacjach parametrów. W celu unikania efektów wywołanych niejednorodnością materiału, co ma duży wpływ na punkt inicjacji zniszczenia oraz kierunek propagacji szczelin, wybrano materiał charakteryzujący się dużą jednorodnością oraz posiadający cechy materiału kruchego tzn. znacznie większą wytrzymałością na ściskanie w stosunku do wytrzymałości na rozciąganie. Wyniki otrzymane z analiz prowadzonych metodami analitycznymi, mających na celu określenie punktu inicjacji szczelin w próbce brazylijskiej, wskazywały na wybór materiału o stosunkowo niewielkim stosunku $\eta = R_c/R_t$ gdzie R_c oznacza wytrzymałość na ściskanie a R_t wytrzymałość na rozciąganie [6], co pozwala najwyraźniej zauważyć wpływ niejednorodnego pola naprężeń na lokalizację punktu inicjacji szczeliny.

Takimi własnościami charakteryzuje się gips i w szczególności gips spieniony występujący w bloczkach gipsowych Pro-Monta. Przemysłowy charakter produkcji tych elementów zapewniał potrzebną jednorodność i powtarzalność ich cech mechanicznych. Ze względu na możliwość wykonania jak największych próbek wybrano płyty Pro-Monta o grubości 100 mm. Z płyt zostały wycięte próbki walcowe, sześciennie i prostopadłościenne (beleczki), które poddano próbom w Laboratorium Budownictwa WBIA PL. Wyniki testów laboratoryjnych i otrzymanych w ich wyniku wartości niezbędnych w symulacjach stałych materiałowych są przedmiotem dalszej części prezentowanej pracy.

Kompleksowe badania właściwości gipsu przedstawione są w monografii S. Klina [7].

2. Próba jednoosiowego ściskania próbek sześciennych

W celu ustalenia wytrzymałości na ściskanie oraz modułu Younga i współczynnika Poissona dla spienionego gipsu, wykonano podstawowe badanie w jednoosiowym stanie naprężenia. Do badania użyto czterdziestu próbek sześciennych o nominalnym wymiarze boku 100 mm, wymiary próbek oraz uzyskane w wyniku testu laboratoryjnego wartości przedstawione są w Tabeli 1. W czasie badania rejestrowano odkształcenia próbek za pomocą systemu optycznego Aramis oraz odpowiadające im wartości sił za pomocą komputerowego systemu sterującego maszyną wytrzymałościową MTS 647.



Rys. 1. Wymiary próbki sześciennych. Wymiary uśrednione: $a=(a_1+a_2+a_3+a_4)/4$, $b=(b_1+b_2+b_3+b_4)/4$, $h=(h_1+h_2+h_3+h_4)/4$.

W tabeli oznaczono a, b, h – uśrednione wymiary próbek zgodnie z Rys. 1; A – pole powierzchni przekroju poprzecznego próbki: $A = a \times b$; P – maksymalna siła zarejestrowana przez system MTS; R_c – wytrzymałość na ściskanie obliczona na podstawie wzoru: $R_c = P/A$; E, ν – moduł Younga i współczynnik Poissona wyznaczone zgodnie z procedurą opisaną w punkcie 3.

Tabela 1. Wymiary próbek i wyniki otrzymane w próbie jednoosiowego ściskania

Nr	Próbka	H [mm]	a [mm]	b [mm]	A [cm ²]	P [kN]	R_c [MPa]	κ [kN/mm]	E [MPa]	ν [-]
1	1a	100,04	101,46	101,36	102,84	54,6313	5,3123	60,0025	583,69	0,143
2	1b	100,27	100,22	100,24	100,46	47,6456	4,7426	58,4623	583,47	0,203
3	1c	100,23	102,01	101,10	103,13	48,8671	4,7383	58,9248	572,68	
4	1d	100,24	100,69	100,43	101,12	47,3383	4,6816	58,2799	577,74	
5	2a	100,12	100,60	99,95	100,55	48,9719	4,8702	56,8138	565,70	0,160
6	2b	99,99	101,49	100,87	102,37	59,7651	5,8383	61,8598	604,24	0,183
7	2c	100,19	101,11	100,77	101,89	49,1993	4,8286	59,4367	584,44	
8	2d	100,43	100,49	100,74	101,23	57,6615	5,6963	60,2631	597,91	0,235
9	3a	100,45	99,90	100,01	99,90	56,3096	5,6363	60,8156	611,49	0,143
10	3b	100,42	99,96	100,09	100,04	57,7908	5,7765	60,7018	609,29	0,203
11	3c	100,10	100,49	100,56	101,05	58,2428	5,7637	60,2600	596,95	
12	3d	100,09	100,79	100,89	101,68	57,2997	5,6352	61,3278	603,69	
13	4a	100,22	100,75	101,59	102,35	55,3732	5,4103	60,4556	591,98	
14	4b	100,22	100,30	99,98	100,28	48,113	4,7979	56,2413	562,05	
15	4c	100,22	101,04	101,72	102,78	58,0244	5,6453	61,4581	599,24	
16	4d	100,29	100,88	100,90	101,79	57,7448	5,6731	52,6260	518,50	
17	5a	100,22	101,75	101,48	103,25	54,0275	5,2328	60,1677	584,01	
18	5b	100,07	99,67	100,13	99,80	54,8948	5,5005	59,6595	598,18	
19	5c	100,06	100,64	100,86	101,51	57,6449	5,6790	60,5804	597,19	
20	5d	100,03	100,02	100,09	100,11	52,9582	5,2903	59,4834	594,40	
21	6a	100,16	100,07	100,22	100,28	44,5471	4,4423	55,5827	555,13	
22	6b	100,35	99,09	99,70	98,80	45,9741	4,6534	56,8489	577,41	
23	6c	100,33	99,13	99,69	98,82	46,905	4,7466	57,7304	586,11	
24	6d	100,25	100,41	100,63	101,04	59,9373	5,9320	60,4939	600,19	
25	7a	100,26	100,98	100,61	101,60	57,9099	5,6999	59,7101	589,25	
26	7b	100,21	101,84	101,32	103,18	54,196	5,2525	58,3538	566,72	
27	7c	100,33	99,88	100,04	99,92	44,7605	4,4797	58,2177	584,60	
28	7d	99,97	100,96	101,94	102,92	56,6436	5,5037	59,4400	577,34	
29	67a	100,25	101,70	101,06	102,78	51,6267	5,0229	58,1805	567,47	
30	67b	100,00	100,99	100,99	101,98	57,7809	5,6658	59,4427	582,87	
31	67c	100,20	101,20	101,29	102,50	59,3716	5,7922	60,3990	590,43	
32	67d	100,27	100,48	100,35	100,82	59,5126	5,9028	60,4492	601,17	0,237
33	A4a	100,19	100,90	100,51	101,41	54,5476	5,3787	59,0725	583,61	
34	A4b	100,18	100,39	100,48	100,87	46,2004	4,5801	56,8066	564,14	
35	A4b	100,16	99,99	100,72	100,71	47,5223	4,7185	57,6251	573,08	
36	A4c	100,27	101,04	100,81	101,86	43,2683	4,2478	58,7048	577,88	
37	z1a	100,12	100,43	100,16	100,59	53,806	5,3491	59,1946	589,21	
38	z1b	100,13	100,62	101,30	101,93	59,0854	5,7966	61,2341	601,54	
39	z1c	100,42	100,02	100,00	100,03	58,6244	5,8610	60,2812	605,18	
40	z1d	100,09	101,01	100,55	101,57	53,4321	5,2607	59,1911	583,30	

Rys. 2 przedstawia zdjęcie próbki w trakcie badania na maszynie MTS z zastosowaniem systemu Aramis do pomiaru odkształceń.

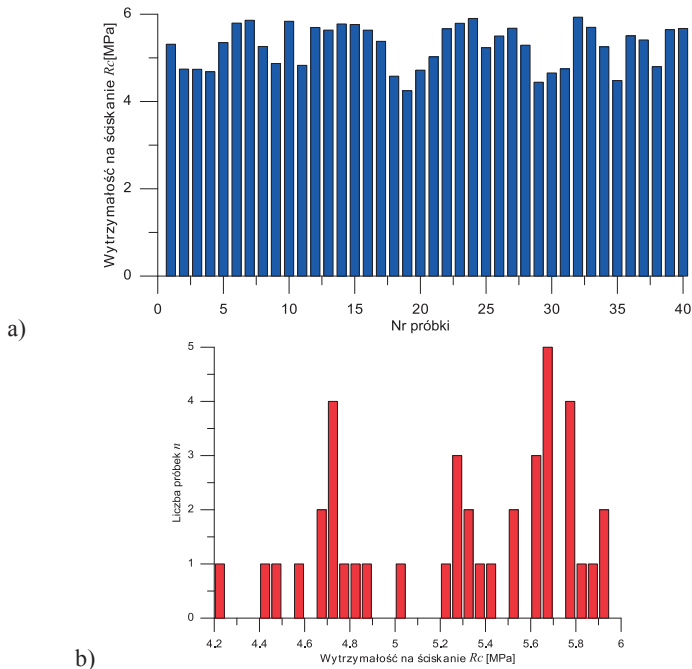


Rys. 2. Próbką kostkowa badana Rysunek maszynie MTS 647 wyposażonej w system Aramis do pomiaru odkształceń

Rysunek 3 przedstawia rozkład wartości R_c wyznaczonych dla poszczególnych próbek oraz histogram zbioru R_c . Wartość średnia wytrzymałości otrzymana w tych badaniach

wynosi: $\bar{R}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{ci} = 5,2759 \text{MPa}$, odchylenie standardowe $\sigma_c = 0,4885 \text{MPa}$, czyli

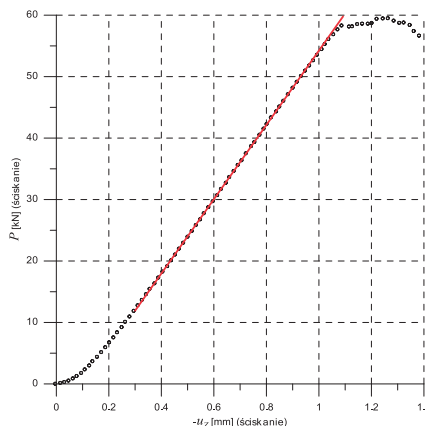
9,26% \bar{R}_c a mediana zbioru $\bar{\bar{R}}_c = 5,3639 \text{MPa}$. Obserwacja histogramu wskazuje, że rozkład wytrzymałości na ściskanie wyraźnie odbiega od rozkładu normalnego.



Rys. 3. Wartości wytrzymałości na ściskanie dla poszczególnych próbek kostkowych (a) i histogram zbioru (b).

3. Sposób wyznaczania parametrów modelu liniowo sprężystego – modułu Younga i współczynnika Poissona

Wartości siły P , przyłożono monotonicznie z prędkością $\sim 0,4\text{kN/s}$ do powierzchni górnej i dolnej próbki sześcienniej (Rys.1). Rejestrowane wartości siły oraz przemieszczenia pionowych (u_Z) z maszyny MTS zostały skorelowane z wartościami odkształceń poziomych (ε_Y) otrzymanych z systemu Aramis. Dane te posłużyły do sporządzenia wykresów przemieszczeń, z których jeden (dla próbki 67d) jest pokazany na Rys. 4. Zależność $P(u_Z)$ została w środkowym obszarze obciążenia ($0,3 \div 0,7 P_{max}$) aproksymowana liniowym równaniem: $P = \alpha + \kappa u_Z$, a współczynniki α i κ zostały dobrane metodą najmniejszych kwadratów.



Rys. 4. Wykresy zależności $P-u_Z$ (a) na podstawie pomiarów MTS, linią czerwoną zaznaczono prostą o równaniu $P = \kappa u_Z + \alpha$, aproksymującą dane doświadczalne.

Po przyjęciu założenia, że w próbce ściskanej panuje jednoosiowy i jednorodny stan naprężenia oraz jednorodny stan odkształcenia, otrzymamy:

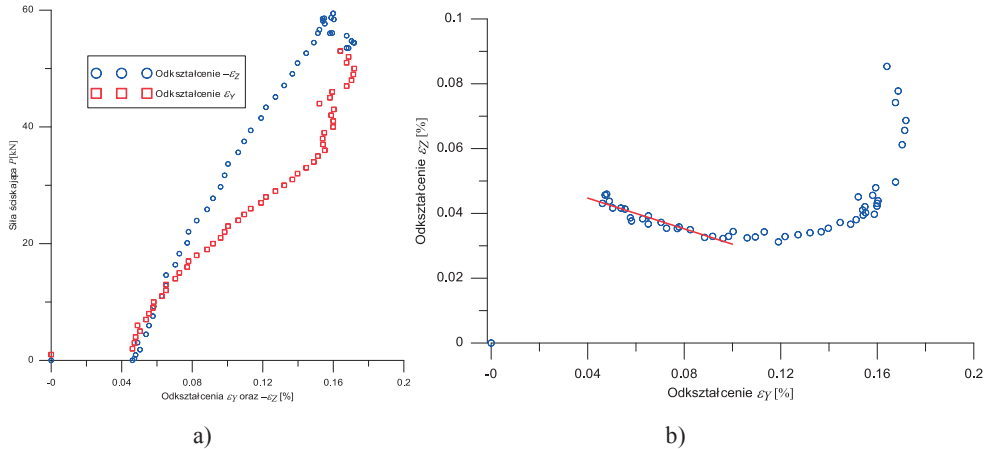
$$\sigma_Z = \frac{-P}{A}, \quad \varepsilon_Z = \frac{-u_Z}{h}, \quad \sigma_Z = E \varepsilon_Z \rightarrow E = \frac{Ph}{Au_Z} \rightarrow E = \frac{\kappa}{b}. \quad (1)$$

Wyniki obliczone wg tych równań przedstawione są w Tabeli 1. Wartość średnia modułu Younga przy ściskaniu wynosi $\overline{E}_c = 584.84\text{MPa}$, przy bardzo małym odchyleniu standardowym $\sigma = 17,57\text{MPa}$, co stanowi tylko 3% \overline{E}_c .

Na podstawie wyników otrzymanych z systemu Aramis, po ich korelacji z wynikami MTS, można sporządzić wykresy zależności $P - \varepsilon_Z$ oraz $P - \varepsilon_Y$, (por. Rys. 5a) a także wykres $\varepsilon_Z - \varepsilon_Y$ (por. Rys. 5b). Przy założeniu jednorodności materiału, jednoosiowego stanu naprężenia zależność ta przyjmuje postać liniową $\varepsilon_Y = -\nu \varepsilon_Z$, a stąd mamy współczynnik Poissona: $\nu = -\varepsilon_Y / \varepsilon_Z$. Wartości współczynników Poissona dla kilku badanych próbek pokazano w Tabeli 1.

Analiza wyników eksperymentów pokazanych na Rys. 5 wskazuje, że dla badanego materiału liniowe prawo można przyjąć w dość szerokim zakresie dla zależności $\sigma_Z = E \varepsilon_Z$, ale związek $\varepsilon_Y - \varepsilon_Z$ znacznie odbiega od opisanego przez prawo Hooke'a. Wy tłumaczyć to można innym zachowaniem materiału porowatego przy ściskaniu i rozciąganiu spowodowanym propagacją szczelin wywołaną koncentracjami naprężeń wokół porów materiału,

naprężenia ściskające nie wywołują tak szybkich zmian w strukturze porowatego gipsu gdyż docisk i tarcie wewnętrzne mają tu korzystny wpływ na zachowanie materiału. Porowatość badanych próbek wynosiła ok. 67%, więc jej wpływ na odkształcenia poprzeczne oraz zależność $P - \varepsilon_Y$ jest z pewnością znaczny.



Rys. 5. Wykresy zależności $P - \varepsilon_Z$, ε_Y (a) na podstawie pomiarów systemem Aramis, kolorem czerwonym zaznaczono punkty wykresu ε_Y a niebieskim punkty wykresu ε_Z . Wykres (b) przedstawia zależność między odkształceniami ε_Y i ε_Z , linią czerwoną zaznaczono aproksymację liniową zależności $\varepsilon_Y = -\nu \varepsilon_Z$.

4. Wyznaczanie wytrzymałości na rozciąganie przez trójpunktowe zginanie beleczek prostokątnych

Wyznaczanie wytrzymałości na rozciąganie materiałów kruchych przez test zginania beleczek jest jedną z najczęściej wykonywanych metod badania tej cechy materiału. Inne rodzaje testów stosowane do określenia wytrzymałości na rozciąganie, takie jak bezpośrednie rozciąganie próbek o kształtach walcowych są znacznie trudniejsze do wykonania a wyniki uzyskane mogą budzić większe zastrzeżenia ze względu na niejednorodny stan naprężenia w próbce. Wiele z tych metod opisane są w monografii S. Klina [7], wraz z analizą stanów naprężeń i nieliniowości materiału badanych próbek.

W badania wykonanych przez autorów wykorzystano prostokątne próbki o długości ok. 50 cm i wymiarach poprzecznych $\sim 70 \times 100$ mm. Próbki zostały umieszczone w urządzeniu do badań o podporach walcowych położonych w odległości $L=42$ cm (por. Rys. 6a) i obciążone w środku rozpiętości za pomocą maszyny wytrzymałościowej MTS 647. W trakcie badania rejestrowane były zarówno wartości siły nacisku jak też przemieszczenie punktu przyłożenia siły. Maksymalna wartość siły pomierzona w czasie badania stanowiła podstawę do wyznaczenia wytrzymałości na rozciąganie materiału próbki.

Przyjmując liniowy model konstytutywny materiału i założenie, że materiał kruchy przy rozciąganiu podlega liniowemu prawu konstytutywnemu aż do zniszczenia otrzymamy:

$$\sigma_{\max} = \frac{6M}{bh^2}, \quad M = \frac{1}{4} P_{\max} L, \quad \sigma_{\max} = \frac{3P_{\max} L}{2bh^2}, \quad R_t = \sigma_{\max}. \quad (2)$$

Tabela 2. Wymiary przekrojów poprzecznych próbek belkowych i wyniki otrzymane w próbie trójpunktowego zginania

Nr	Próbka	h [mm]	b [mm]	A [cm ²]	P [kN]	R_t [MPa]	λ [kN/mm]	E [MPa]
1	1a	71,49	100,61	71,92	1,4702	1,8015	2,0373	1026,7
2	1b	71,61	100,25	71,79	1,2585	1,5423	2,1486	1081,0
3	1c	70,86	100,19	70,99	1,4461	1,8113	2,4642	1280,6
4	1d	70,43	100,18	70,55	1,2998	1,6481	1,4290	756,4
5	2a	69,98	100,18	70,11	1,2998	1,6691	1,6449	887,4
6	2b	69,92	100,55	70,30	1,1286	1,4464	2,0266	1092,1
7	2c	70,97	100,28	71,16	1,3440	1,6767	2,5308	1308,0
8	2d	70,86	100,28	71,05	1,1024	1,3795	1,4324	743,7
9	3a	70,04	100,34	70,27	1,2749	1,6319	1,8021	968,4
10	3b	72,38	100,47	72,72	1,2586	1,5066	2,0905	1016,6
11	3c	71,22	100,20	71,36	1,1828	1,4663	2,2410	1147,0
12	3d	70,67	100,08	70,73	1,3211	1,6651	2,1689	1137,3
13	4a	70,29	100,28	70,48	1,2691	1,6139	2,3625	1256,8
14	4b	71,50	100,22	71,66	1,3586	1,6705	2,3246	1175,3
15	4c	69,93	100,27	70,11	1,2240	1,5729	2,4287	1312,2
16	4d	71,47	100,26	71,66	1,2984	1,5973	2,1756	1101,0
17	5a	70,82	100,15	70,92	1,2311	1,5443	1,2740	663,5
18	5b	69,28	100,19	69,41	1,2094	1,5845	1,5818	879,4
19	5c	71,41	100,37	71,67	1,1720	1,4426	1,9723	999,5
20	5d	70,54	100,34	70,78	1,2860	1,6227	1,7816	936,9
21	6a	70,03	100,10	70,10	1,1589	1,4872	1,7384	936,6
22	6b	71,55	100,20	71,69	1,1715	1,4388	1,6138	814,4
23	6c	69,72	100,34	69,96	1,3489	1,7423	2,4751	1348,1
24	6d	70,83	100,10	70,90	1,2460	1,5634	1,8559	966,6
25	7a	70,12	100,32	70,34	1,3294	1,6979	2,6007	1392,7
26	7b	70,17	100,29	70,37	1,3235	1,6887	1,9324	1033,2
27	7c	70,17	100,17	70,28	1,3642	1,7428	1,6100	861,8
28	7d	70,93	100,27	71,12	1,1901	1,4865	1,9562	1012,8
29	8a	70,51	100,81	71,08	1,2752	1,6030	1,9083	1000,2
30	8b	70,86	100,36	71,11	1,2242	1,5307	1,8837	977,3
31	8c	70,50	100,31	70,71	1,3099	1,6554	2,3852	1257,1
32	8d	71,91	100,37	72,17	1,2537	1,5220	2,4588	1220,5
33	9a	70,69	100,81	71,26	1,2752	1,5951	2,4000	1248,6
34	9b	72,08	100,09	72,14	1,2242	1,4831	1,5673	774,5
35	9c	71,56	100,19	71,70	1,3099	1,6085	1,0106	509,8
36	9d	71,01	100,23	71,17	1,2537	1,5630	1,7767	917,1
37	10a	72,70	100,48	73,05	1,7312	2,0537	1,2107	580,8
38	10b	70,92	100,49	71,27	1,2001	1,4959	2,3594	1219,2
39	10c	69,68	100,03	69,70	1,3437	1,7429	2,3743	1299,5
40	10d	70,54	100,43	70,84	1,2028	1,5166	1,6335	858,5
41	11a	69,45	100,33	69,68	1,3465	1,7529	1,3431	740,2
42	11b	70,09	100,26	70,27	1,3108	1,6769	2,0598	1105,4
43	11c	71,32	99,98	71,31	1,0368	1,2844	1,8396	939,4
44	11d	69,79	100,28	69,98	1,3493	1,7406	2,5023	1360,0
45	15a	70,43	100,03	70,45	1,4839	1,8844	2,3137	1226,6
46	15b	69,60	100,00	69,60	1,3306	1,7305	1,9366	1063,9
47	15c	71,65	100,72	72,17	1,1610	1,4146	2,1460	1072,9
48	15d	69,97	100,29	70,17	1,1264	1,4452	1,9441	1048,1

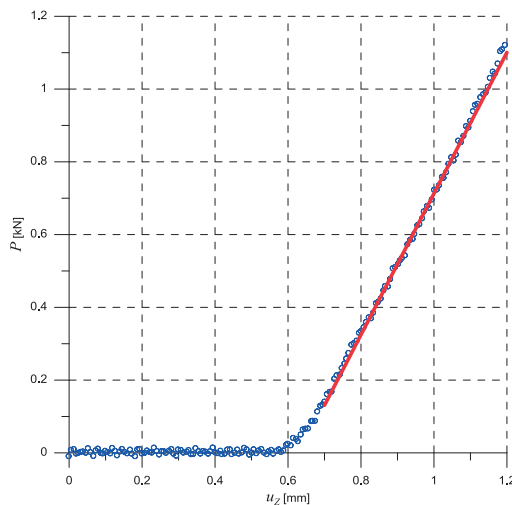


Rys. 6. Próbkę belkową w trakcie badania (a) i po zniszczeniu (b)

Wartość średnia wytrzymałości na rozciąganie wyniosła $\bar{R}_t = 1,605 \text{MPa}$, odchylenie standardowe $\sigma = 0,1604 \text{MPa}$, czyli 9,99% \bar{R}_t . Stosunek wytrzymałości $\eta = \frac{R_c}{R_t} = 3,287$.

Wyznaczono także wartość modułu Younga przy rozciąganiu zakładając liniową zależność między ugięciem belki i obciążeniem. Zastosowano równanie:

$E_t = \frac{\lambda L^3}{48J} \rightarrow E_t = \frac{\lambda L^3}{4bh^3}$, gdzie λ jest współczynnikiem występującym w równaniu $P = \lambda u_z + \beta$, które opisuje liniową aproksymację środkowej części danych eksperymentalnych (por. Rys. 7), L – odległością między podporami próbki (Rys. 6a), a J momentem bezwładności przekroju poprzecznego próbki belkowej $J = \frac{1}{12} bh^3$.



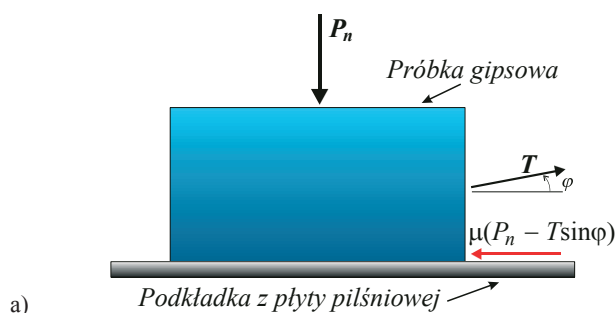
Rys. 7. Zależność między przemieszczeniem punktu obciążenia i siłą działającą na środku belki. Czerwona linia aproksymująca dane eksperymentalne opisana jest równaniem $P = \lambda u_z + \beta$, dla próbki 2b, $\lambda = 2,0266 \text{ kN/mm}$

Wartość średnia modułu Younga przy rozciąganiu (zginaniu) wyniosła $\bar{E}_t = 1032,4 \text{MPa}$, odchylenie standardowe $\sigma = 210,02 \text{MPa}$, czyli 20,34% \bar{E}_t . Warto także

zauważyć, że moduł \overline{E}_t jest prawie dwukrotnie większy od modułu \overline{E}_c , który otrzymano w próbie jednoosiowego ściskania.

5. Wyznaczanie współczynnika tarcia

W celu określenia, jaki wpływ na naprężenia w próbie brazylijskiej ma kontakt między próbką a podkładką pilśniową, wykonano badania współczynników tarcia. Podkładki tego typu stosuje się w Laboratorium Budownictwa WBiA w urządzeniach do badania walców na rozłupywanie. Sześciennie próbki, których użyto do badania wytrzymałości na ściskanie, zostały przecięte na pół, tak, aby otrzymać szorstką powierzchnię. Urządzenie umożliwiające zbadanie współczynnika tarcia składało się ze stalowej obejmy połączonej przez system bloków z uchwytem maszyny wytrzymałościowej MTS. Próbki wkładano do obejmy i obciążano stalowym elementem o ciężarze 1,4 kN (por. Rys. 7).



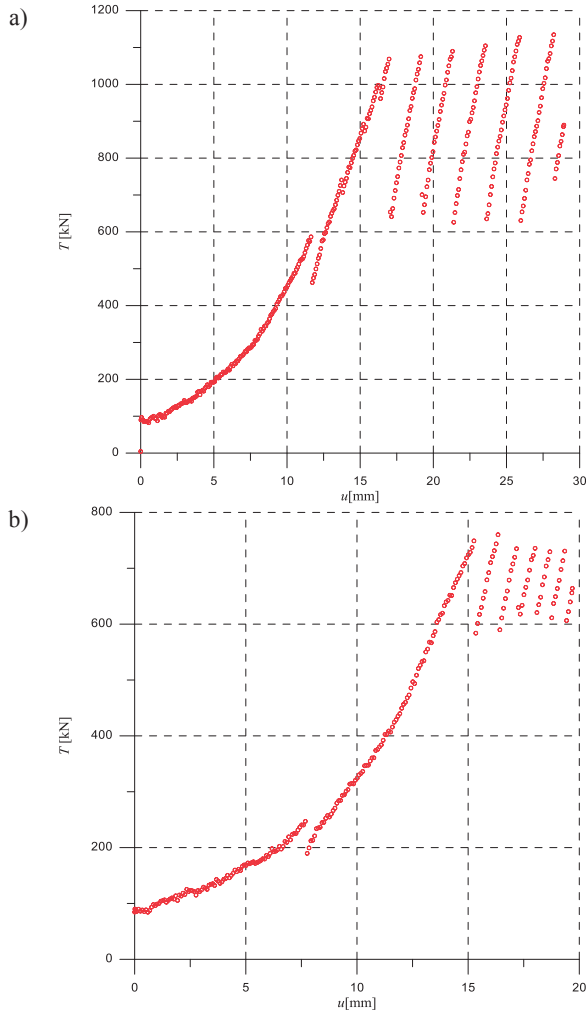
b)

c)

Rys. 7. Badanie współczynnika tarcia, a) schemat obciążeń, b) i c) widok zastosowanego urządzenia

Podczas badania maszyna MTS ciągnęła obciążoną próbkę po poziomej, płaskiej i nieruchomej powierzchni utworzonej z płytki pilśniowej. Po osiągnięciu przez siłę wymuszającą ruchu wartości krytycznej, próbka zaczynała skokowo przesuwać się po powierzchni pilśni. Po każdym przesunięciu próbki siła spadała, malało naprężenie liny. Sytuacja taka powtarzała się za każdym razem, gdy siła wymuszająca ruch osiągała wartość krytyczną, zazwyczaj nieco większą niż poprzednia. Przebieg zmian siły wymuszającej ruch próbki

przedstawiono na wykresie Rys.8. W wyniku badań otrzymano wartości krytyczne sił wymuszających ruch próbki, wartość ekstremalna tej siły, wzięta w tej fazie badania, w której skokowe ruchy próbki stawały się regularne, była podstawą do wyznaczania współczynnika tarcia.



Rys. 8. Wyniki badań współczynnika tarcia, a) próbka 02 – $T_{\max} = 1138$ kN, b) próbka 04 – $T_{\max} = 748$ N

Wykonano 14 prób badania tarcia między pilśnią a gładką powierzchnią (zewnątrzną wygładzona powierzchnia płyty Pro-Monta) kostki gipsowej, oraz 7 prób między pilśnią a powierzchnią szorstką (otrzymaną po przecięciu próbki).

Równowaga sił pokazanych na Rys. 7 prowadzi do równania:

$$\mu(P_n - T \sin \varphi) = T \cos \varphi, \quad (3)$$

gdzie: T – maksymalna siła w linii ciągnącej próbkę, rejestrowana na urządzeniu MTS, P_n – siła nacisku $P_n = 1,4$ kN, φ – oznacza kąt nachylenia linii do poziomu, nachylenie to w trakcie badań wynosiło 10 %, tzn. $\text{tg } \varphi = 0,1$.

Po przekształceniach otrzymamy formułę do wyznaczenia współczynnika tarcia:

$$\mu = \frac{1}{\frac{P_n}{T} \sqrt{1 + (\operatorname{tg} \varphi)^2} - \operatorname{tg} \varphi}. \quad (4)$$

Dla średnich sił tarcia $T = 0,7792$ kN dla powierzchni gładkiej otrzymano wartości współczynnika tarcia $\mu = 0,586$. Dla powierzchni szorstkiej i siły $T = 1,1761$ kN, otrzymano współczynnik $\mu = 0,912$.

6. Podsumowanie i wnioski

Wyznaczenie stałych materiałowych i weryfikacja modelu fizycznego i numerycznego jest niezwykle istotną częścią prawidłowo przeprowadzonej symulacji. Opisane w artykule badania stanowią przykład rozwiązania ważnego problemu określenia własności mechanicznych modelowanego materiału. Brak dostępnych danych pochodzących od producentów materiału lub rezultatów badań laboratoryjnych przeprowadzonych przez innych badaczy skłonił autorów do podjęcia tej tematyki.

Otrzymane wyniki pozwalają określić zakres możliwego zastosowania modelu liniowego oraz wskazują na ograniczenia symulacji posługujących się tym modelem. W dalszych pracach autorów podjęta będzie próba stworzenia modelu nieliniowego, który będzie charakteryzował się innymi własnościami przy ściskaniu i rozciąganiu. Konieczna także okazała się bardziej szczegółowa analiza geometrii modelu w skali „mezo”, uwzględniającej porowatość materiału, co daje nadzieję na wyjaśnienie silnie nieliniowej charakterystyki odkształcalności poprzecznej przy ściskaniu.

Autorzy wyrażają nadzieję, że rezultaty przedstawione w pracy będą przydatne dla innych badaczy pragnących podjąć tematykę materiału o zbliżonej do porowatego gipsu charakterystyce.

Literatura

1. Chen C.S., Hsu S.C. *Measurement of indirect tensile strength of anisotropic rocks by the ring test*. Rock Mech. Rock Engng. 34(4) (2001) 293-321.
2. Jianhong Y., Wu F.Q., Sun J.Z. *Estimation of the tensile elastic modulus using Brazilian disc by applying diametrically opposed concentrated loads*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 46 (2009) 568-576.
3. Aréoglu N., Girgin Z.C., Aréoglu E. *Evaluation of ratio between splitting tensile strength and compressive strength for concretes up to 120 MPa and its application in strength criterion*. ACI Materials Journal 103(1) (2006) 18-24.
4. Kourkoulis S.K., Markides Ch.F., Chatzistergos P.E. *The standardized Brazilian disc test as a contact problem*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 57 (2013) 132-141.
5. Kourkoulis S. K., Markides C.F., Pasiou E.D. *A combined analytic and experimental study of the displacement field in a circular ring*. Meccanica 50 (2015) 493-515.
6. Gontarz J., Podgórski J. *Wyznaczanie wytrzymałości na rozciąganie betonu i skał metodą "brazylijską" w konfrontacji z zastosowanym kryterium zniszczenia materiału*. Budownictwo i Architektura 13(2) (2014) 191-200.
7. Klin S. *Analiza zmienności wytrzymałości i odkształcalności gipsu w różnych stanach naprężeń i wilgotności*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, nr 510, Rozprawy CCXXVII, Wrocław 2005.

The study of the mechanical properties of the porous gypsum

Jakub Gontarz, Jerzy Podgórski

*Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: j.gontarz@pollub.pl, j.podgorski@pollub.pl*

Abstract: The paper presents the laboratory test results of the mechanical properties of porous gypsum. Material for the study was obtained from gypsum Pro-Monta plate of 100mm thick. Based on the compression test of cubic samples, following mechanical properties were determined: compressive strength, Poisson's ratio and Young's modulus. Tensile strength was determined based on three-point bending test of rectangular cross section sample. Also a friction coefficients were investigated as follows: between the smoothed surface of the sample and a fiberboard pad, between a rough surfaces (after cutting) and fiberboard pad. A porosity of the material samples was determined using standard method. The material's mechanical property values can be useful for modeling destruction and deformation of a porous gypsum undertaken by analytical and numerical methods.

Keywords: Mechanical properties of gypsum, compressive strength, tensile strength, Young's modulus, Poisson's ratio, porous gypsum.

Przyczyny realizowania niskoenergochłonnych domów na terenach wiejskich

Mirosława Górecka

*Katedra Inżynierii Budowlanej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, e-mail: mirosława_gorecka@sggw.pl*

Streszczenie. W artykule na wstępie wyjaśniono pojęcie budownictwa niskoenergochłonnego i istotę jego realizowania na terenach wiejskich. Wyszczególniono podstawowe przyczyny wznoszenia domów niskoenergochłonnych, takie jak: ochronę środowiska przyrodniczego terenów wiejskich, m.in. poprzez ekologiczne rodzinne gospodarstwa rolne, zmniejszenie kosztów ogrzewania domów wiejskich usytuowanych w otwartym krajobrazie, głównie rodzin rolniczych oraz możliwość wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii, wspomagających często zawodny, nieefektywny i drogi dla konsumentów system zasilania w konwencjonalny nośnik energii.

Słowa kluczowe: budownictwo niskoenergochłonne, tereny wiejskie, niekonwencjonalne źródła energii

1. Wprowadzenie

W obecnych czasach wyzwaniem kluczowym staje się ochrona środowiska i związane z nią oszczędzanie energii. Budownictwo jest jednym z największych konsumentów energii. Powszechnie wiadomo, że każdy budynek obciąża środowisko. Produkcja, transport materiałów budowlanych oraz proces budowania i użytkowania powodują zużycie surowców oraz samej energii, i co jest z tym związane, zanieczyszczanie środowiska. Dlatego coraz większego znaczenia nabiera obecnie optymalne realizowanie budynków niskoenergochłonnych.

Budownictwo niskoenergochłonne, często niezbyt trafnie określane mianem „energooszczędne” (a raczej niezbyt trafnie przetłumaczone na język polski), charakteryzuje się relatywnie małym zapotrzebowaniem na energię w okresie całego cyklu życia technicznego budynku – od pozyskania surowców i materiałów, poprzez transport i budowę, na eksploatacji i likwidacji kończąc [1]. To najnowszej generacji rozwija się w krajach zachodnioeuropejskich bardzo dynamicznie w nowych kierunkach, które w Polsce są niedoceniane, a nawet w ogóle nieznanne. Najnowszym trendem jest zminimalizowanie do zera ilości energii dostarczanej z zewnątrz w fazie eksploatacji budynku. Dalszy postęp w zakresie realizacji budownictwa niskoenergochłonnego wyraża się dążeniem do projektowania domów w jak największym stopniu energetycznie samowystarczalnych poprzez rozwiązania, wykorzystujące w sposób zrównoważony zasoby szeroko pojętego środowiska.

Ograniczenie energochłonności w budownictwie może być postrzegane zarówno w aspekcie zabudowy nowoprojektowanej, jak również już istniejącej. Ta ostatnia najczęściej nie spełnia obecnych zastrzonych wymogów w zakresie racjonalnego zużycia energii i wymaga odpowiedniej termomodernizacji, tzn. poprawienia istniejących cech technicznych budynku. Zabieg ten nie tylko ogranicza straty ciepła i koszty ogrzewania, ale jednocześnie poprawia warunki użytkowania pomieszczeń w budynku. Może się on odbywać jako samodzielne przedsięwzięcie modernizacyjne lub w ramach przebudowy, modernizacji albo remontu kapitalnego [2].

Zmniejszenie zużycia energii w budynkach motywuje władze państwowe do modyfikowania przepisów prawa i norm jako narzędzi polityki energetycznej państwa, które są działaniami w zakresie rozwoju budownictwa niskoenergochłonnego, nie naruszającego w sposób nieodwracalny środowiska i harmonizującego prawa przyrody i ekonomii. Społeczeństwa w swoim dążeniu do osiągnięcia rozwoju gospodarczego muszą uznać fakt, że zasoby naturalne są ograniczone i należy wziąć pod uwagę potrzeby przyszłych pokoleń, zapewniając trwałą i zrównoważoną rozwój ludzkości. Termin ten coraz częściej towarzyszy ocenie zjawisk występujących w przestrzeni. Obejmuje on wiele problemów, a energooszczędność jest jednym z ważnych elementów, będącym już wynikiem zrównoważonych działań. Równowaga ekologiczna zostaje naruszona nie tylko w miastach, ale także na terenach wiejskich, charakteryzujących się obecnie dość poważnym stopniem degradacji środowiska naturalnego, spowodowanym w dużej mierze brakiem ekologicznych technologii urządzania obszarów wiejskich i samego gospodarowania. Każda forma naprawy ekologicznej terenów wiejskich jest istotna, a budownictwo jest jednym z potencjalnych zagrożeń dla środowiska naturalnego. Z praktyki wiadomo, że większość domów na wsi jest wyposażona w mało sprawne urządzenia ogrzewcze, w których spala się paliwo stałe, często gorszej jakości.

Głównym celem budownictwa niskoenergochłonnego, a w szerszym ujęciu ekologicznego, jest utrzymanie naturalnej równowagi w tworzonym przez urbanistów ekosystemie oraz dążenie do zaspokojenia potrzeb bytowych w możliwie największym stopniu na podstawie naturalnych zasobów substancji i energii zawartej w przyrodzie. Idea domów i osiedli ekologicznych powstała w końcu ubiegłego wieku w krajach zamożnych. Zyskała ona poparcie międzynarodowe pod oficjalną nazwą "Demeter". Są to kolonie budynków zaopatrzonych w instalacje słoneczne, biogazownie oraz zamknięte systemy obiegu wody z filtrami [3]. W Polsce natomiast, na uwagę zasługuje projekt – model Ekologicznego Osiedla Wiejskiego w Barkowie, stanowiącego ekologiczny system użytkowania rolniczego oraz ekologiczną zabudowę mieszkaniowo-gospodarczą, również w tradycyjnych rodzinnych gospodarstwach rolnych. Celem przedsięwzięcia jest m.in. wdrożenie technologii budowy ekologicznych, biodegradalnych i niskoenergochłonnych domów oraz ekologicznych technologii wytwarzania elektryczności i ciepła.

Najważniejszym składnikiem zabudowy osiedla wiejskiego jest dom mieszkalny, będący elementem tożsamości miejsca i jednocześnie integralną częścią krajobrazu wiejskiego. Jest on podstawową formą zabudowy wiejskiej, a w połączeniu ze szczególną jego energochłonnością (do ogrzania budynków mieszkalnych zużywa się ponad 40% całkowitej ilości energii produkowanej w kraju), stanowi istotę problemu [2].

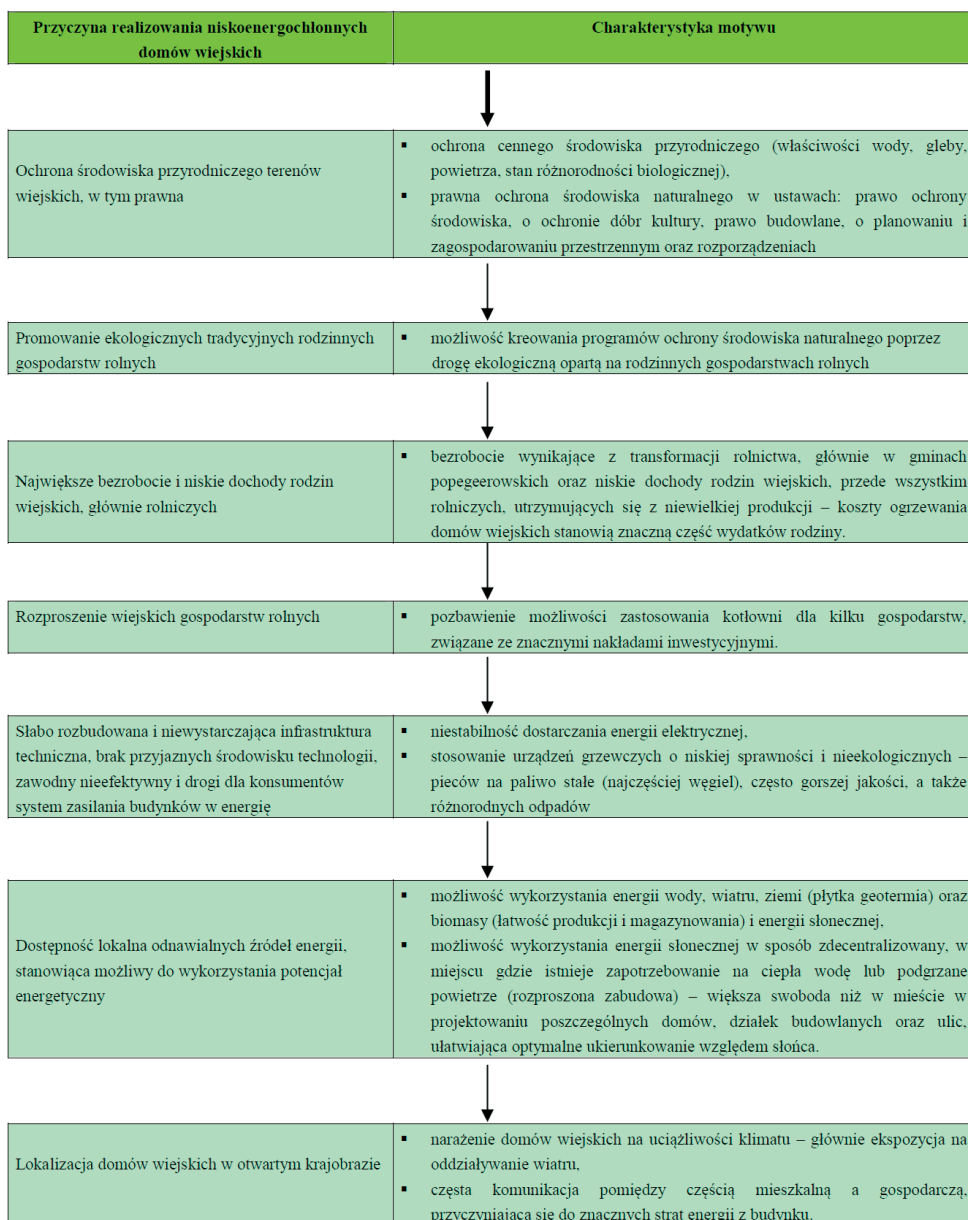
2. Metody badawcze

Ze względu na specyfikę podjętego problemu artykuł został oparty na badaniach pośrednich, stosujących kwerendę danych i polegających na:

- krytycznej analizie stanu badań, dostępnych źródeł tematycznych, na które składały się: publikacje naukowe i profesjonalne (artykuły i materiały konferencyjne), własne prace naukowe i studia oraz inne materiały (informacje techniczno-użytkowe, zapisy prawne itp.),
- syntezie badań i wniosków.

W artykule powołano się na m.in. na prace autorskie i te wykonane pod kierunkiem autorki. Warto podkreślić, że zagadnienia związane z obniżeniem energochłonności w budownictwie cieszą się dużym zainteresowaniem wśród studentów m.in. SGGW, zarówno na kierunku budownictwo, jak i inżynieria środowiska. Coraz częściej i chętniej

wybierają oni tematy prac dyplomowych związanych z tym zagadnieniem. Prace wykonane pod kierunkiem autorki mają charakter eksperymentu i wykorzystują dostępne programy komputerowe. Dotyczą one m.in. problemów związanych z przenikalnością cieplną budynków, sprawnością zastosowanych systemów ogrzewania, jak również zapotrzebowania domów na ciepło i są poparte niezbędnymi obliczeniami.



Rys. 1. Algorytm głównych przyczyn realizowania niskoenergochłonnych domów wiejskich

3. Wyniki badań

Wykorzystując kwerendę danych, sporządzono algorytm głównych przyczyn realizowania niskoenergochłonnych domów na wsi (rys. 1). Umożliwił on, w dalszej części rozdziału, wyszczególnić i scharakteryzować kolejno: ochronę środowiska przyrodniczego terenów wiejskich, promowanie ekologicznych tradycyjnych rodzinnych gospodarstw rolnych, aktywność ekonomiczną ludności i infrastrukturę techniczną terenów wiejskich oraz odnawialne źródła energii a lokalizację domów wiejskich.

3.1. Ochrona środowiska przyrodniczego terenów wiejskich

Każde, nawet kilkuprocentowe obniżenie zużycia paliwa do ogrzewania wiejskiego domu ma istotne znaczenie ponieważ wpływa na ochronę licznych gatunków roślin i zwierząt, a także życia ludzkiego.

Środowisko polskiej wsi podlega ochronie prawnej, obejmującej oprócz ochrony środowiska kulturowego również ochronę środowiska przyrodniczego. Odwołując się do polskich aktów prawnych, które określają zasady ochrony środowiska, należy przywołać: ustawę – Prawo budowlane [4], ustawę Prawo ochrony środowiska [5], ustawę o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [6] oraz „ustawę krajobrazową” – o zmianie niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu [7]. Wymienione akty prawne uwzględniają w swoich zapisach środowisko przyrodnicze w celu dokonywania i podejmowania określonych działań na tych obszarach. Należy tutaj wyszczególnić: zapis ustawy Prawa ochrony środowiska (art. 76, p. 1), który stanowi iż: *Nowo zbudowany lub przebudowany obiekt budowlany, zespół obiektów lub instalacja nie mogą być oddane do użytkowania, jeżeli nie spełniają wymagań ochrony środowiska...*, zapis ustawy – Prawo budowlane (art. 5, p. 2): *Obiekt budowlany należy użytkować w sposób zgodny z jego przeznaczeniem i wymaganiami ochrony środowiska...* oraz zapis ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, uwzględniający jednocześnie środowisko kulturowe (art. 1, p. 2): *W planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym uwzględnia się zwłaszcza: (...) walory architektoniczne i krajobrazowe; wymagania ochrony środowiska, w tym gospodarowania wodami i ochrony gruntów rolnych i leśnych; wymagania ochrony dziedzictwa kulturowego i zabytków oraz dóbr kultury współczesnej...* Istotne są akty prawne wykonawcze odnoszące się w swoich zapisach również pośrednio do ochrony środowiska określając zasady związane z energooszczędnością w budownictwie [8, 9, 10]. Niestety ochrona środowiska polskiej wsi, a szczególnie ochrona ciepłota budynku, pod względem obowiązujących norm i przepisów nie zawsze jest przestrzegana i egzekwowana.

3.2. Promowanie ekologicznych tradycyjnych rodzinnych gospodarstw rolnych

Podstawowym modułem struktury przestrzennej wsi rolniczych jest od wielu lat zagroda rolnicza (siedlisko), skupiająca budynki mieszkalne i gospodarcze, służące do hodowli zwierząt i składowania bądź przetwarzania płodów rolnych, uzyskiwanych na gruntach uprawnych, stanowiących integralną część gospodarstwa zagrodowego i możliwie dogodnie powiązanych ze sobą komunikacyjnie. Pomimo wielorakich zmian, jakie dokonywały się w ostatnich dziesięcioleciach w naszym kraju w polityce agrarnej, stosowanych technologiach chowu zwierząt i uprawy roślin, niezaprzeczalne jest przetrwanie zagrody rolniczej jako podstawowego elementu struktury funkcjonalno-przestrzennej terenów wiejskich.

Specyficznym i tradycyjnym układem zagrody, stanowiącej układ produkcyjno-rodzinny, jest rodzinne gospodarstwo rolne. Reprezentuje ono układ przestrzenny, odpo-

wiadający historycznie ukształtowanej zagrodzie. Jego funkcjonowanie jest nierozdzielnie i integralnie zjednoczone ze stylem i kulturą życia prowadzonym przez rodzinę. Zachowanie rodzinnych gospodarstw rolnych jest potrzebne nie tylko po to, by produkować żywność, ale także po to, by chronić wiejski styl życia i oblicze kulturowe wsi. W kraju jest wiele gospodarstw małych, produkujących wyłącznie lub głównie na potrzeby rodziny. W tych gospodarstwach stosuje się raczej technologie ekstensywne, widoczny jest znaczny udział pracy ręcznej, a wytwarzanie żywności odbywa się prawie ekologicznie, bez stosowania chemicznych środków ochrony roślin i nawozów sztucznych. Droga ekologiczna oparta na rodzinnych gospodarstwach rolnych pozwala na kreowanie programów ochrony środowiska naturalnego i kształtowanie krajobrazu wiejskiego m.in. przez ekologiczne rolnictwo.

Ekologiczne gospodarstwo rolne odnosi się do całości gospodarstwa, a nie tylko do ekologicznej produkcji rolnej, i obejmuje zabudowania, cały teren działki, infrastrukturę zagrody oraz powiązanie z krajobrazem. Dlatego szczególnego znaczenia nabiera samo budownictwo ekologiczne. Budynek ekologiczny (rozumiany również jako system) określany często jako szersze pojęcie budynku niskoenergochłonnego, reprezentuje kierunek rozwoju ideologii projektowania i realizacji obiektów budowlanych, dążący do stworzenia środowiska zrównoważonego przez odpowiednie kształtowanie form architektonicznych i wykorzystanie niskoenergetycznych materiałów, uwzględniając niskoenergochłonne rozwiązania materiałowe i technologiczne [11]. Istotna jest gospodarka wodno-ściekowa, na przykład: segregacja ścieków, wykorzystanie wód opadowych (recykling wód opadowych), stosowanie wodooszczędnych przyborów, dualna kanalizacja. Ograniczając energochłonność budynków, nasi zachodni sąsiedzi dużą uwagę zwracają także na lokalną specyfikę aktywności przestrzennej mieszkańców, w tym na sposoby zmniejszenia zużycia energii związane ze stylem życia. Niezależnie od tego w bilansie energetycznym uwzględniają oszczędności, wynikające z zastosowania urządzeń domowych o małym zużyciu energii. Budynek ekologiczny powinien spełniać wymagania dotyczące komfortowej jakości mikroklimatu pomieszczeń bez niszczącej ingerencji w stan środowiska przyrodniczego, a jednocześnie uwzględniać inne, równie istotne uwarunkowania pozaenergetyczne, w tym zgodność z klimatem oraz ciągłość tradycji regionalnej architektury. Ekologiczne budowanie nie powinno polegać na maksymalizacji efektów ekonomicznych i funkcjonalnych, ale ma służyć optymalizacji obiektu jako organizmu. Jego celem jest organiczne połączenie budynku z otoczeniem [12].

Z punktu widzenia racjonalnej gospodarki energetycznej ważnym problemem, rozwiązywanym w trakcie opracowywania planu urbanistycznego, są decyzje dotyczące sposobu wytwarzania, rozmieszczenia, a nawet dystrybucji energii cieplnej. W wiejskim, najczęściej rozproszonym budownictwie istnieją największe możliwości oszczędzania energii przez dostosowanie zabudowy do miejscowych warunków klimatycznych, co powinno być uwzględniane przez właściwe planowanie urbanistyczne. Zwraca się jednocześnie uwagę na potrzebę integracji i współdziałania specjalistów z różnych dziedzin w trakcie sporządzania planów zagospodarowania przestrzennego.

Powyższe uwagi odnoszą się jednak do wsi projektowanych od początku, natomiast w układach zabytkowych, z tradycyjnym układem zagrody, planowanie układów zabudowy nie jest już takie swobodne. Wydaje się, że nowe tereny budowlane powinny w maksymalnym stopniu przylegać do starych centrów wsi. W Niemczech przykładem takiego rozwiązania mogą być nowe, zurbanizowane osiedla powstałe w końcu ubiegłego wieku na obrzeżach tradycyjnych układów zastanych w terenie [13].

3.3. Aktywność ekonomiczna ludności i infrastruktura techniczna terenów wiejskich

Tereny wiejskie w Polsce cechuje obecnie najwyższe bezrobocie oraz niskie zarobki mieszkańców, słabo rozbudowana infrastruktura techniczna, a także często zawodny, nieefektywny i drogi dla konsumentów system zasilania w nośniki energii. Według danych GUS-u liczba bezrobotnych mieszkańców wsi jest największa od siedmiu lat. W końcu ubiegłego roku na wsi zarejestrowanych było 955 tys. bezrobotnych [14]. Rodziny rolnicze uzyskują z niewielkiej produkcji dochody z reguły niższe niż rodziny utrzymujące się z pracy poza rolnictwem. Dochody te są jednocześnie uzależnione od sytuacji na rynku produktów rolnych, warunków pogodowych i klimatycznych a także od poziomu kosztów niezależnych od rolników, takich jak ceny energii (w tym paliw) oraz nawozów i innych środków produkcji, a także usług niezbędnych dla prowadzenia gospodarstwa (np. weterynaryjnych). Dlatego należy zaproponować mieszkańcom wsi możliwość budowy takich domów, w których koszty ogrzewania będą stanowić jak najmniejszą część wydatków rodzin, przede wszystkim rolniczych. Istotna jest także termomodernizacja istniejących budynków. Okazuje się, że najczęstszym sposobem usprawnienia termomodernizacyjnego w budynkach jednorodzinnych na wsi jest ocieplenie ścian zewnętrznych oraz wymiana stolarki okiennej i drzwiowej. Badania przeprowadzone pod kierunkiem autorki potwierdziły, że usprawnienia te mogą przynieść znaczne korzyści inwestorowi, ponieważ straty ciepła zmniejszą się o 31% [15].

Znaczne rozproszenie gospodarstw domowych, często oddzielonych od siebie znacznymi odległościami, uniemożliwia zastosowanie wspólnej kotłowni z powodu znacznych kosztów inwestycyjnych. Dlatego każde gospodarstwo i każdy budynek mieszkalny ma własne źródło ogrzewania. Obecnie jest nim najczęściej piec na paliwo stałe – węgiel, zwykle o bardzo niskiej sprawności. Przyczynia się to do emisji gazów cieplarnianych oraz innych substancji zawartych w spalonym paliwie, szkodliwych dla zdrowia oraz środowiska. Mieszkańcy terenów wiejskich, decydując się na eliminację kotłów i pieców węglowych, mają do wyboru energię elektryczną, olej opałowy, gaz płynny oraz niekonwencjonalne źródła energii.

Wieś od dawna jest zelektryfikowana, dlatego korzystanie z energii elektrycznej jest i będzie powszechne. Mankamentem jest natomiast niestabilność jej dostarczania, wyrażająca się dużymi spadkami napięcia i zbyt częstymi przerwami w jej dopływie.

3.4. Odnawialne źródła energii a lokalizacja domów wiejskich

Szczególnego znaczenia nabiera obecnie zmiana infrastruktury energetycznej obszarów wiejskich poprzez m.in. wykorzystanie niekonwencjonalnych źródeł energii, zapewniająca bezpieczeństwo energetyczne tych obszarów poprzez stosunkowo tanią energię ekologiczną. W pozyskiwaniu energii coraz silniej zaznacza się tendencja do ograniczenia zużycia konwencjonalnych paliw kopalnych na rzecz odnawialnych źródeł energii. Przede wszystkim na terenach wiejskich mają one dużą przyszłość, ponieważ są dostępne lokalnie i stanowią możliwy do wykorzystania potencjał energetyczny.

Jednym z czynników umożliwiających poprawę przemian strukturalnych w rolnictwie oraz warunków życia na wsi jest fakt, że rozwój, użytkowanie i obsługa wykorzystania odnawialnych źródeł energii przyczyniają się do tworzenia nowych miejsc pracy. Poza tym wykorzystanie niekonwencjonalnych źródeł energii, w przeciwieństwie do wykorzystania paliw kopalnych, jest procesem samopodtrzymującym się i nie uszczuplającym zasobów energii dla przyszłych pokoleń. Wykorzystanie tych źródeł, zwłaszcza biomasy, rokuje dobre perspektywy w przypadku zaopatrywania w ciepło pojedynczych domów, gospo-

darstw, czy też niewielkich osiedli. Technologia kotłów na biomasę coraz szerzej wprowadzana jest w krajach Europy Zachodniej, ale również już i w naszym kraju. Można ją polecić przede wszystkim rolnikom, bo są oni w stanie sami wyprodukować biomasę i na ogół mają ją gdzie przechowywać, szczególnie w osiedlach popegeerowskich. Biomasa w Polsce jest obecnie głównym źródłem energii odnawialnej. Najbardziej popularne są kotły przeznaczone do spalania słomy i drewna, które stanowią ekologiczną alternatywę dla kotłów na węgiel. Sektor budownictwa jednorodzinnego wykorzystuje energię biomasy przede wszystkim w postaci peletów. Polscy inwestorzy indywidualni na terenach wiejskich coraz chętniej decydują się na instalowanie kotłów na pelety, dzięki ich automatyce sterowania, a również ich niewysokiej cenie.

Nieco większych nakładów finansowych wymaga wykorzystanie płytkiej geotermii z zastosowaniem pomp ciepła. W budownictwie niskoenergochłonnym ziemia jest wykorzystywana jako dodatkowy izolator lub dolne źródło ciepła dla wymienników urządzeń grzewczych. Nagromadzoną w gruncie energię słoneczną odzyskuje się w sezonie grzewczym za pomocą pomp ciepła, a następnie wykorzystuje na wyższym poziomie temperatury do celów grzewczych. Pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym stają się coraz powszechniej stosowanym elementem instalacji grzewczych w domach niskoenergochłonnych na terenach wiejskich.

Korzystanie z innych zasobów odnawialnych, takich jak energia wiatru czy wody geotermalne, to zazwyczaj większa skala inwestycji, która uwarunkowana jest naturalnymi lokalnymi właściwościami obszaru. Po pierwszych, niezbyt udanych próbach wykorzystania energii wiatru w latach dziewięćdziesiątych, ostatnio obserwowano znaczne ożywienie inwestorów w Polsce. Ze względu na wysokie koszty inwestycyjne budowa farm wiatrowych jest opłacalna jedynie na terenach, które odznaczają się stosunkowo dużą prędkością wiatru w ciągu całego roku. Jednocześnie wysokie koszty inwestycyjne wymuszają wykonanie dokładnej i rzetelnej oceny warunków wiatrowych w planowanej lokalizacji (rys. 2a,b).

Ważnym elementem w bilansie energetycznym budynku na wsi jest wykorzystanie energii słonecznej. Energia promieniowania słonecznego może być wykorzystywana w autonomicznych systemach grzewczych, nazywanych aktywnymi systemami słonecznymi, oraz w systemach pasywnych (rys. 2 c, d). Zainstalowanie odpowiednich urządzeń reprezentatywnych dla systemów aktywnych, wiąże się z dodatkowymi nakładami inwestycyjnymi, co zniechęca wielu wiejskich inwestorów do takiego wyposażenia technicznego. Poszukując najlepszego rozwiązania istotny jest czas zwrotu nakładów. Wartość ta jest wyznacznikiem maksymalizacji zysków przy minimalizacji kosztów. Analiza badań przeprowadzonych pod kierunkiem autorki wykazała, że możliwości energetyczne słońca na wybranym terenie gminy Stolno w województwie kujawsko-pomorskim, pozwalają dzięki zastosowaniu kolektorów słonecznych, na pokrycie zapotrzebowania na energię do ogrzewania w 30% dla typowego domu jednorodzinnego niepodpiwniczonego z poddaszem użytkowym. Koszty instalacji solarnych są jednak znaczne i często przekraczają zdolności finansowe przeciętnej polskiej rodziny, ponieważ wahają się od 8000 zł (dla instalacji z jednym panelem solarnym) do 25000 zł (dla instalacji z 6 panelami solarnymi). Przy trwałości instalacji rzędu 25 lat czas zwrotu nakładów przy wspomaganym ogrzewaniem węglowym czy gazowym (bazującym na gazie ziemnym) wynosi od 23 lat do nawet 72 lat. Zdecydowanie lepiej wygląda sytuacja przy wspomaganym ogrzewaniem olejowym i gazowym (bazującym na gazie płynnym). W tym przypadku odpowiednio czas zwrotu nakładów waha się od 14 do 23 lat dla ogrzewania olejowego oraz od 10 do 17 lat dla ogrzewania gazem płynnym.[16].

Pasywne systemy słonecznego ogrzewania związane z rozwiązaniami architektoniczno-budowlanymi są tańsze od aktywnych - zastosowanie ich powoduje wzrost kosztów budowy

tylko o 10–15%, wynikających głównie z optymalnego, uwzględniającego maksymalne wykorzystanie energii słonecznej, kształtowania struktury budynku [2]. Dodatkowo charakteryzuje je naturalne działanie, prosta konstrukcja i duża różnorodność rozwiązań, umożliwiająca odpowiedni wybór w zależności od warunków miejscowych oraz wymagań użytkownika. Mogą być również atrakcyjniejsze od systemów czynnych z punktu widzenia estetyki. W Polsce brakuje powszechnej popularyzacji na ten temat, chociaż coraz więcej mówi się o kolektorach słonecznych, pompach ciepła i innych nowoczesnych instalacjach grzewczych. W krajach wysokorozwiniętych, jak Francja, Niemcy czy Szwecja, preferowane są właśnie pasywne systemy jako najtańsze inwestycyjnie i eksploatacyjnie. Należy przypomnieć, że w krajach tych udział odnawialnych źródeł energii w całkowitym bilansie energetycznym jest znaczący. Dla przykładu, dla Szwecji wynosi on aż 35,9% w 2010 roku [17].

Zastosowanie systemów aktywnych i pasywnych słonecznego ogrzewania przyczynia się do ograniczenia energochłonności domów, nie tylko nowoprojektowanych ale również poddanych termomodernizacji. Zaproponowana pod kierunkiem autorki słoneczna termomodernizacja dla wybranego budynku jednorodzinnego, przyczyniła się do obniżenia zapotrzebowania na energię konieczną do zaspokojenia potrzeb wynikających z użytkowania budynku jednorodzinnego o 55%. W projekcie architektonicznym zastosowano zarówno aktywne jak i pasywne systemy słonecznego ogrzewania. Zaproponowano wyposażenie techniczne w postaci dwóch kolektorów płaskich oraz optymalne rozwiązania związane z kształtem domu, układem pomieszczeń i powiązań funkcjonalnych, elementami struktury budynku oraz jego usytuowaniem na działce z rozwiązaniem otoczenia [18].

Najefektywniejsze są urządzenia wykorzystujące energię słoneczną w budownictwie na wsi zastosowane lokalnie, w sposób zdecentralizowany, w miejscu gdzie istnieje zapotrzebowanie na ciepłą wodę lub podgrzane powietrze. Większa swoboda projektowania lokalizacji poszczególnych budynków ułatwia odpowiednie ukierunkowanie ich względem słońca. Mankamentem jest natomiast narażenie domów na znaczne uciążliwości klimatu, przede wszystkim wiatru oraz częsta komunikacja pomiędzy częścią mieszkalną a gospodarczą, przyczyniająca się do znacznych strat energii. Dlatego szczególnego znaczenia nabiera dokładna analiza lokalnego klimatu, rzeźby terenu, roślinności, istniejącej infrastruktury i innych elementów, mogących wpływać na bilans energetyczny zabudowy.

4. Podsumowanie

Świadomość daleko posuniętej degradacji naturalnego środowiska obszarów wiejskich oraz rosnące ceny energii powodują, że aspekty ekologiczne i związana z nimi energooszczędność stają się głównym problemem także dla budownictwa wiejskiego, a poszanowanie energii ma znaczenie priorytetowe.

W artykule przedstawiono algorytm głównych przyczyn realizowania niskoenergochłonnych domów na wsi.

Wyszczególniono kolejno: ochronę środowiska przyrodniczego terenów wiejskich, w tym prawną, promowanie ekologicznych tradycyjnych rodzinnych gospodarstw rolnych, największe bezrobocie i niskie dochody rodzin wiejskich, głównie rolniczych oraz rozproszenie wiejskich gospodarstw rolnych. Główną uwagę zwrócono na słabo rozbudowaną i niewystarczającą infrastrukturę techniczną, brak przyjaznych środowisku technologii, zawodny nieefektywny i drogi dla konsumentów system zasilania budynków w energię z paliw kopalnych i źródeł sieciowych. Podkreślono istotę dostępności lokalnej odnawialnych źródeł energii, stanowiącej możliwy do wykorzystania potencjał energetyczny, jak również lokalizację domów wiejskich w otwartym krajobrazie. Przedstawione wyniki analiz wybranych badań przeprowadzonych pod kierunkiem autorki, wykazały wymierne korzyści zasto-

sowania rozwiązań niskoenergochłonnych zarówno w kontekście zabudowy nowo projektowanej, jak również już istniejącej. Oprócz niższych opłat za energię i innych korzyści wymienionych w artykule, ważne są również: większa wartość rynkowa budynków oraz zdrowsze mikrośrodowisko i bezpieczeństwo egzystencji obecnych i przyszłych pokoleń.

Autorka ma nadzieję, że niniejsze opracowanie przyczyni się do lepszego poznania podjętego tematu, niezmiernie ważnego dla gospodarki i aktualnego w skali całego kraju. Dlatego istotnym aspektem jest rozwijanie społecznej świadomości problemu oszczędzania energii również poprzez m.in. kampanie informacyjne, promowanie programów wspierających niskoenergochłonne inwestycje, pomoc inwestorom wiejskim w pozyskiwaniu funduszy z Unii Europejskiej oraz kredytów preferencyjnych. Szczególne znaczenia nabiera stosowanie w praktyce gotowych rozwiązań projektowych i modyfikowanie przepisów prawa wspomagających projektantów, w tym architektów w realizacji i egzekwowaniu proponowanych rozwiązań niskoenergochłonnych uwzględniających specyfikę terenów wiejskich.

a)



b)



c)



d)



Rys. 2. Przykłady wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii w domach na terenach wiejskich: a) małe elektrownie wiatrowe [19], b) duże elektrownie wiatrowe [20], c) aktywne wykorzystanie energii słonecznej [21], d) pasywne wykorzystanie energii słonecznej [22]

5. Literatura

1. Laskowski L. *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008, 141-147.
2. Mikoś J. *Budownictwo ekologiczne*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000, 71-72.
3. Górecka M. *Kształtowanie architektoniczne niskoenergochłonnego domu wiejskiego*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2011, 9, 48-57.
4. Ustawa *Prawo budowlane* z dnia 7 lipca 1994 r., Dz.U. 1994 Nr 89 poz. 414.
5. Ustawa *Prawo ochrony środowiska* z dnia 27 kwietnia 2001 r., Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 627.
6. Ustawa *o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym* z dnia 27 marca 2003 r., Dz.U. 2003 Nr 80 poz. 717.
7. Ustawa *o zmianie niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu* z dnia 24 kwietnia 2015 r., Dz. U. z 2015 r. poz. 774.
8. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 lipca 2015 r. w *sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz.U. z 2015 r. poz.1422.
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w *sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego*, Dz.U. 2009 nr 43 poz. 346.
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r. w *sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej*, Dz.U. 2014 poz. 888.
11. Ryńska E.D. *Architekt w procesie tworzenia harmonijnego środowiska*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004, s. 137-148.
12. Górecka M. *Architektura energooszczędnego domu mieszkalnego polskiej wsi w aspekcie zrównoważonego rozwoju*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004, s. 22-33.
13. Górniewicz B. *Uwagi na temat zasad kształtowania architektury wiejskiej*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1999, s 4-5.
14. Materiał na konferencję prasową w dniu 23 grudnia 2014 r. – GUS (Departament Badań Demograficznych i Rynku Pracy), Monitoring Rynku Pracy (Kwartalna informacja o aktywności ekonomicznej ludności).
15. Paździor M. *Termomodernizacja budynku mieszkalnego na podstawie rozwiązania projektowego*. Praca magisterska. SGGW, Warszawa 2009. Opiek. meryt. M. Górecka.
16. Rak D. *Charakterystyka termoenergetyczna budynku tradycyjnego i z kolektorami słonecznymi*. Praca magisterska. SGGW, Warszawa 2008. Opiek. meryt. M. Górecka.
17. *The state of renewable energies in Europe*. 11th EurObserv'ER Report.
18. Górecka M. *Słoneczna termomodernizacja na przykładzie projektu architektonicznego*. Acta Scientiarum Polonorum. Architectura, nr 14 (2), 2015, Wyd. SGGW, Warszawa, s. 63-74.
19. www.dom.pl,
20. www.platine.pl,
21. www.srodowiskowiec.salon24.pl
22. Bauer-Böckler H.P. *Häuser richtig planen, individuell bauen*. Blottner Fachverlag GmbH & Co. KG, Taunusstein 1997, s. 44-47.

Reasons of realization of low energy consuming houses on rural areas

Miroslawa Górecka

e-mail: miroslawa_gorecka@sggw.pl

Abstract: In the introduction of the paper, the term of low energy consuming building construction and the essence of its realization on rural areas are explained. The basic reasons of building of low energy consuming houses were detailed, such as: the protection of natural environment of rural areas, among others through establishing ecological family farms, reduction of heating costs of rural buildings situated in an open area (belonging mainly to farmers' families); the possibility of application of unconventional energy sources supporting systems which supply a conventional energy carrier, the systems being often unreliable, ineffective and expensive for the consumers.

Keywords: low energy consuming house, rural areas, unconventional energy sources

Konserwacja drewnianej architektury wernakularnej – wnioski i doświadczenia z przeprowadzonych prac

Piotr Kloda

ATIK Sp. z o.o., e-mil: piotr.kloda@live.com

Streszczenie: Techniczne i konserwatorskie problemy ochrony drewnianej architektury wernakularnej przedstawione są na przykładzie przeprowadzonych zintegrowanych prac konserwatorskich. Prezentowane są wnioski i doświadczenia z 30-letniej praktyki przy konserwacji zabytkowych konstrukcji drewnianych. Z pozycji praktyki konserwatorskiej przedstawione są najważniejsze zagrożenia techniczne, społeczne i formalne dla zachowania drewnianej architektury wernakularnej. Omówiono szczegółowo stan zachowania i przyczyny zniszczeń oraz zakres konserwacji najważniejszych elementów zabytkowych konstrukcji drewnianych: fundamentów, płaszczy kamiennych, podwalin, ścian, więźb dachowych, poszyc dachowych. Wskazano metody, techniki i materiały stosowane w konserwacji zabytków budownictwa drewnianego. W podsumowaniu przedstawione są wnioski określające warunki niezbędne dla podejmowaniu skutecznych działań konserwatorskich. Poruszane są zagadnienia kompetencji, odpowiedzialności i integracji działań.

Słowa kluczowe: konserwacja zabytków, architektura drewniana, konstrukcje drewniane, ciesielstwo tradycyjne

1. Wprowadzenie

Techniczne i konserwatorskie problemy ochrony drewnianej architektury wernakularnej przedstawione są na przykładzie przeprowadzonych zintegrowanych prac konserwatorskich w następujących obiektach:

Kościół parafialny pw. Św. Mikołaja w Tarnowie Pałuckim (1373)

Konserwacja i rewitalizacja konstrukcji, architektury, wystroju i wyposażenia, 1995-2001. Wieś w gm. Wągrowiec, woj. wielkopolskie, 164 mieszkańców (Fot. 1).



Fot. 1. Kościół w Tarnowie Pałuckim, stan po konserwacji

Kościół filialny pw. Maksymiliana Kolbe w Jarantowicach (XVIII w.)

Konserwacja i rewitalizacja konstrukcji i architektury, 2005. Wieś w gm. Wąbrzeźno, woj. kujawsko-pomorskie, 514 mieszkańców (Fot. 2, 3).



Fot. 2, 3. Kościół w Jarantowicach, stan przed i po konserwacji

Kościół parafialny pw. Św. Ap. Piotra i Pawła w Wylatowie (XVIII w.)

Konserwacja i rewitalizacja konstrukcji, architektury, wystroju i wyposażenia, 2009–2015. Wieś w gm. Mogilno, woj. kujawsko-pomorskie, 600 mieszkańców (Fot. 4, 5).



Fot. 4, 5. Kościół w Wylatowie, stan przed i po konserwacji

Stara Szkoła w Tursku (XIX w.)

Konserwacja i rewitalizacja konstrukcji i architektury, adaptacja, 2013–2015. Wieś w gm. Miastko, woj. pomorskie, 199 mieszkańców (Fot. 6).



Fot. 6. Stara Szkoła w Tursku, stan przed konserwacją

Prezentowane są wnioski i doświadczenia z 30-letniej praktyki przy konserwacji zabudowlanych konstrukcji drewnianych. Z pozycji praktyki konserwatorskiej przedstawione są najważniejsze zagrożenia techniczne, społeczne i formalne dla zachowania drewnianej architektury wernakularnej. W podsumowaniu przedstawione są wnioski określające warunki niezbędne dla podejmowaniu skutecznych działań konserwatorskich. Poruszane są zagadnienia kompetencji, odpowiedzialności i integracji działań.

2. Konservacja architektury drewnianej

Konservacja architektury drewnianej oznacza przywrócenie pierwotnego układu konstrukcyjnego budowli i jej architektury. Nie chodzi tutaj o to, „żeby się trzymało kupy” i było zgodne z tzw. sztuką budowlaną. Należy zrozumieć i zachować oryginalną myśl konstrukcyjną oraz przywrócić pierwotną formę architektoniczną. Musimy także zapewnić drewnu konstrukcyjnemu jak najlepsze warunki przechowywania.

2.1. Fundamenty

W Polsce centralnej i północnej budowie drewniane były wznoszone na fundamentach z kamienia polnego (granit skandynawski). W Polsce południowej do fundamentowania wykorzystywano lokalny kamień łamany. Granit skandynawski posiada niezwykle cechę, brak porowatości, co stawia go w kategorii idealnego materiału izolacyjnego. Dla porównania, granit strzegomski i strzeliński posiada mikroporowatość. Historycznie fundamenty były układane z dużych, luźno ułożonych kamieni polnych w niewielkim zagłębieniu. Spotykane są również obiekty posadowione na kamieniach fundamentowych ułożonych bezpośrednio na powierzchni gruntu. Największe kamienie układano w narożach (węglach) budowli oraz w miejscach podparć słupów. Przestrzenie pomiędzy nimi wypełniano drobniejszymi otoczakami, albo nie. Stosowane były również luźno ułożone stopy kamieni w zagłębieniach, np. w narożnikach wież konstrukcji słupowo-ramowych, gdzie naciski jednostkowe konstrukcji były większe.

Stan zachowania i przyczyny zniszczeń. Fundamenty z luźno ułożonych kamieni polnych często wykazują deformacje i ubytki. Obok niekorzystnych zjawisk wywołanych zmieniającymi się rozkładami obciążeń ścian, najczęstszą przyczyną złego stanu zachowania są liczne i niekompetentne ingerencje człowieka. Od wzmacniania zaprawą, przez wykonywanie wylewek cementowych, nadmurowywania cegłą, aż do zastępowania ławami żelbetowymi. Działania te były najczęściej wynikiem błędnej interpretacji przyczyn pochylania ścian. Przyczyną wybożenia ścian jest zanik podwalin, który jest również odpowiedzialny za powstawanie deformacji fundamentu w wyniku odcinkowego zaniku obciążeń.

Konservacja. Konservacja fundamentów powinna polegać na rekonstrukcji kamienno-fundamentowania z luźno ułożonych głazów polnych (Fot. 7).



Fot. 7. Rekonstrukcja fundamentów wieży w Wylatowie

2.2. Płaszcze kamienne

Wszystkie konserwowane przeze mnie kościoły drewniane posiadały, odsłonięte archeologicznie, płaszcze kamienne. Stanowiły one rezerwuar wód opadowych oraz ochronę przed erozją gruntu wywołaną rozbryzgiem wód spadających z dachu. Ich zasięg wyznaczał pierwotny zasięg okapu dachu. Współcześnie stosowana organizacja odpływu wód opadowych układem liniowym (rynny, rury spustowe) stanowi najwyższe zagrożenie dla konstrukcji drewnianych ścian. Pierwotnie stosowano układ kurtynowy zapewniający maksymalne rozproszenie wód opadowych z dachu i przechwytywanie ich przez rezerwuar, jakim był płaszczyz kamienny.

Stan zachowania i przyczyny zniszczeń. Płaszcze kamienne przykryte są nasypami naturalnymi i antropogenicznymi. Przyczyną narastania poziomu gruntu wokół ścian budowli są niesione przez wiatr cząsteczki pyłu i piasku. Wiatr uderzający o ścianę traci swoją energię i zrzuca tutaj niesiony ładunek.

Konserwacja. Płaszcze kamienne wyznaczają pierwotny poziom gruntu. Należy je odsłonić niwelując teren wokół budowli i zrekonstruować ubytki (Fot. 8).



Fot. 8. Zachowany płaszczyz kamienny w Tarnowie Pałuckim

2.3. Podwaliny

Niejednokrotnie pytano mnie, na czym stoi konstrukcja budowli drewnianej? Na podwalinie, najważniejszym elemencie układu nośnego konstrukcji. A jednocześnie wymiennym! Dlaczego? Bo najbardziej narażonym na degradację. W założeniach budowniczych podwalina stanowiła najbardziej niewralgiczny element budowli podlegający okreso-

wej wymianie. Położenie pierścienia podwalinowego decyduje o statyce całej konstrukcji budowali. Podwalina nie posiadała przewiązania dyblowego z wieńcem ścian. Złącza narożne z zamkiem, tzw. francuskie, umożliwiały łatwe rozpięcie pierścienia podwalinowego. Od belek ścian podwalinę odróżnia ponadto większa grubość. Podobnie jak belki ścian podwaliny były formowane toporami. Materiał na podwalinę był starannie dobierany, m.in. z drzew nieskręconych.

Stan zachowania i przyczyny zniszczeń. Większość zachowanych podwalin nie jest pierwotnych, ponieważ była wielokrotnie wymieniana. Często wymiany te były odcinkowe. Stan zachowania podwalin wykazuje duże ubytki, utratę ciągłości, a niejednokrotnie całkowity zanik w wyniku gwałtownego rozwoju procesów biologicznej degradacji drewna. Pierwotnie podwaliny były posadawiane na fundamencie z głazów polnych, co zapewniało całkowitą izolację od wód powierzchniowych i gruntowych. Wskutek procesu narastania gruntu belki podwalinowe ulegały stopniowemu zasypywaniu ziemią. Dostarczana tą drogą wilgoć stawała się przyczyną rozwoju biologicznych procesów degradacji drewna.

Konserwacja. Konserwacja podwalin polega na pełnym odtworzeniu pierścienia podwalinowego przez całkowitą wymianę podwalin. Należy zachować ciągłość podwaliny wzdłuż ścian. Stosowanie wymiany odcinkowej podwalin jest konstrukcyjnie błędne. W narożach podwaliny łączymy na złącze z zamkiem francuskim w pierścień i nie przewiązujemy ich z belkami ścian. Wymiana podwalin jest związana ze skomplikowanym procesem unoszenia ścian budowli. Unoszenie jest niezbędne, aby zwolnić obciążenie konstrukcją i zdemontować zachowane podwaliny oraz by móc skorygować wysokość posadowienia ścian. Korygując posadowienie ścian należy pamiętać o zachodzących w drewnianych elementach konstrukcyjnych zjawiskach reologicznych związanych z utratą właściwości sprężystych drewna. Prostowania ścian nie należy „przeciągać”, ponieważ może to doprowadzić do złamanie elementów konstrukcyjnych i zerwania ich złączy. Aby przedłużyć żywotność podwalin należy posłużyć się materiałem wyselekcjonowanym o wyższej odporności i uformowanym nadmiarowo. Do wykonania podwalin stosuję drewno dębowe, które pozyskuję z najbliższych lasów, z drzew przeze mnie wyselekcjonowanych (Fot. 9). Jeśli czas na to pozwala formowanie podwalin przeprowadzam przy użyciu tradycyjnych metod z użyciem toporów (Fot 10). Niestety nie zawsze są takie możliwości, dlatego po uformowaniu podwaliny na traku należy ją czterostronnie ostrugać. Wymiarowanie podwalin jest uzależnione od grubości, długości i wysokości ściany oraz stopnia deformacji i stanu zachowania złączy. W przypadku kościoła w Wylatowie zastosowałem dębowe podwaliny o długości 18 metrów i przekroju 40 x 40 cm (Fot. 11).



Fot. 9. Zrywka dębów na podwaliny w lesie, w okolicy Wylatowa



Fot. 10. Formowanie podwalin toporami w Wylatowie



Fot. 11. Montaż podwalin w Wylatowie

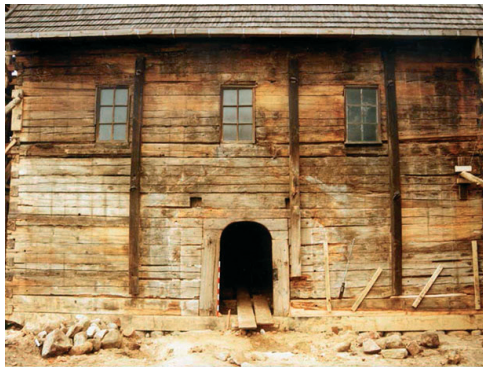
2.4. Ściany

O sztywności konstrukcji wieńcowej decyduje ciągłość belek ścian oraz ich połączenia. Ściany były wznoszone przez układanie kolejnych wieńców z belek łączonych między sobą. Przerwanie ciągłości belek ścian stanowiło zagrożenie dla statyki konstrukcji. Budowniczywie kościoła w Tarnowie Pałuckim (1373) wzniesli go bez okien, aby zachować ciągłość belek ścian. Niewielkie otwory wykonano jedynie na stykach belek bez przerywania ich ciągłości. Otwory drzwiowe uzbrajano w ościeżnice z elementów grubszych niż belki ścian. Słupy były czopowane w podwalinę a skomplikowane złącza słupów z nadprożem miały za zadanie silne usztywnienie ramy ościeżnicy. Belki ściany były łączone ze słupami ościeżnicy na wpust i pióro. W okresach późniejszych rozwiązanie ościeżnicowe zaczęto stosować do wykonywania otworów okiennych. Tradycyjnie, w węglach, belki ścian łączono złączem na jaskółczy ogon bez ostatków z krytym zamkiem. Ten typ zwęglowania utrwalił się w naszej tradycji dzięki jego niezwykłej skuteczności. Belki łączono między sobą w płaszczyźnie ściany dyblami, co dawało skuteczne spięcie w tarce.

Stan zachowania i przyczyny zniszczeń. Zabytkowe obiekty drewniane wykazują różny stopień utraty prostoliniowej geometrii ścian. Wyboczenia ścian wywołane starzeniem materiałów wywołują zakłócenia stanu równowagi statycznej budynku i powodują spadek zdolności przenoszenia obciążeń. Wszystkie znane mi zabytkowe obiekty o konstrukcji wieńcowej posiadają ściany południowe wychylone górą na zewnątrz. Przyczyną wyboczeń ścian należy upatrywać w zaniku podwalin i utracie złączy, jako efekcie procesów biologicznej degradacji drewna. Pierwotnie ściany wieńcowe były nieosłaniane, co narażało je na niekorzystne oddziaływanie czynników atmosferycznych. Poziome ułożenie belek ścian było tu czynnikiem sprzyjającym penetracji wód opadowych (Fot. 13). Zaczęto osłaniać ściany szalunkiem deskowym o układzie pionowym, sprzyjającym szybkiemu spływowi wód. Do najstarszych metod wzmacniania konstrukcyjnego starych budowli drewnianych należy spinanie ścian pionowymi lisicami (Fot. 12).

Konserwacja. Zabiegi przy ścianach polegają na wzmocnieniu belek oraz złączy. Poprawa geometrii przy odkształceniach niesprężystych jest bardzo ograniczona i związana z pracami przy wymianie podwalin. Po usunięciu szalowania i wtórnych elementów, ściany są oczyszczane. Usuwane są pozostałości zdegradowanego drewna belek. Belki ścian wzmacniane są przez impregnację, wklejanie uzupełnień i kitowanie. Powstająca wielowarstwowa struktura drewna klejonego znakomicie poprawia jego wytrzymałość. Złącza

węglowe i na stykach belek są wzmacniane przez wklejanie z zgrębieniem prętów stalowych. Wymianę szalunku ścian należy traktować w kategoriach zabiegów higienicznych. Przy jego odtworzeniu należy pamiętać o zapewnieniu skutecznej strefy przewietrzania powierzchni ścian.



Fot. 12. Stan zachowania ściany w Tarnowie Pałuckim.



Fot. 13. Stan zachowania ściany w Wylatowie.

2.5. Więźby dachowe

Niedostępne poddasza, kryjące wielką historię sztuki ciesielskiej, stanowią niejednokrotnie większą wartość zabytkową niż cały obiekt. Mamy tu do czynienia z niezwykłą różnorodnością rozwiązań konstrukcyjnych w ramach historycznych schematów więźb – więźby krokwiowe, jętkowe, storczykowe, stolcowe, wieszarowe. Warunki i wymagania obiektu narzucały na twórców konieczność poszukiwania nowych, nietypowych rozwiązań. Więźby dachowe odzwierciedlają kunszt sztuki ciesielskiej i stanowią historyczny ślad jej rozwoju.

Stan zachowania i przyczyny zniszczeń. Częste nieszczelności poszycia stają się powodem destrukcji więźb dachowych. Rozwijające się procesy biologicznej degradacji drewna powodują, że elementy więźby tracą swoje właściwości konstrukcyjne. Utrata złączy doprowadza do szybkiej destrukcji całej konstrukcji. Awaryjne uszkodzenia więźb dachowych powodowały zawsze liczne ingerencje ciesielskie – nadbitki, kleszcze, klamrowania, ściągi sprężające.

Konserwacja. Zadaniem konserwacji więźb dachowych jest odtworzenie ich pierwotnego układu statycznego. Tutaj wytrzymałość elementów konstrukcyjnych i ich połączeń ma o wiele większe znaczenie niż w przypadku belek ścian masywnych. Konserwatorska zasada zachowania historycznej materii, musi być tutaj bardziej podporządkowana priorytetowi zachowania myśli konstrukcyjnej. Kluczowe znaczenie dla takiej konserwacji ma odczytanie pierwotnego układu konstrukcyjnego i zrozumienie sposobu jego działania. Szczegółowa analiza stanu zachowania poszczególnych elementów i ich złączy pozwala na ocenę konieczności ich wymiany (Fot. 14). Zdecydowaną większość elementów daje się naprawić używając technik drewna klejonego i wklejanych prętów stalowych. Prowadząc konserwację więźb dachowych nigdy nie byłem zmuszony do ich demontażu. Całość zabiegów można przeprowadzić in situ używając do tego rusztowań ciesielskich i tymczasowych konstrukcji wsporczych.



Fot. 14. Więźba dachowa prezbiterium po konserwacji w Tarnobrzegu.

Rekonstrukcje. Niejednokrotnie destrukcje więźb dachowych prowadzą do ich usunięcia i zastąpienia innymi rozwiązaniami. Powstaje pytanie, czy warto rekonstruować? Ostatnio przeprowadziłem rekonstrukcję helmów dwóch wież kościoła w Wylatowie (Fot. 5). Celem było przywrócenie pierwotnej formy architektonicznej fasady. Sens takich działań pozostawiam pod rozważę odbiorców.

2.6. Poszycia dachowe

Największym problemem historycznych poszyc dachowych była ich nietrwałość, co powodowało częstą ich wymianę. Dzisiaj nie wiemy, jakie pierwotne poszycie miały kościoły z XIV czy XVIII wieku. Na pewno nie były to dachówki ceramiczne, czy poszycia z blachy. Do poszycia musiał być stosowany materiał lokalny. Mogły to być strzechy słomiane lub trzcinowe, jeśli w pobliżu było większe jezioro. Jednakże ciężar strzechy jest zbliżony do dachówki ceramicznej, a więc za duży na rozstaw krokwi ponad jeden metr, co jest często spotykane w historycznych więźbach. W zapiskach historycznych znajdujemy opisy mówiące o dranicach i goncie. Dzisiaj drаницe nigdzie się nie zachowały, a nieudolnie ich naśladownictwo w formie nieobrzanego materiału tartacznego budzi grozę. Można się domyślać, że pierwotnie drаницe musiały być wytwarzane przez rozłupywanie promieniowe bali, a to powodowało, że musiały mieć znaczny ciężar. Aby zminimalizować wagę poszycia musiał to być materiał o niewielkiej grubości, uzyskiwany metodą rozłupywania. To z kolei determinowało niewielki wymiar obrabianego elementu. A więc gont. Dzisiaj do produkcji gontu łupanego stosuje się bezszęczne fragmenty odziomu z drzewa świerkowego. Jest on produkowany wg tzw. wzoru niemieckiego na wpust i pióro, które rozpowszechniło się pod koniec XIX wieku. Polska centralna i północna znajduje się poza naturalnym, biologicznym zasięgiem występowania świerka. Pierwotnie obszar ten pokrywały lasy o dominacji dębu, buka i sosny. Do dzisiaj w Skandynawii produkowany jest gont z sosny i dębu. Gont sosnowy stosowany jest tam do wykonywania poszyc dachowych budynków mieszkalnych i gospodarczych, a gont dębowy, jako bardziej trwały, do wykonywania pokryć dachów kościołów. Idąc za tą analogią kruchtę kościoła w Wylatowie pokryłem gontem łupanym z drewna dębowego o wymiarach: długość 30 cm, szerokość 7–14 cm i grubość 3–6 mm (fot. 15). Brak jednorodności uzyskanego materiału stał się powodem poważnych trudności przy odbiorze konserwatorskim. W efekcie końcowym przeważała waga podejmowanego eksperymentu.



Fot. 15. Dębowy gont na kruchcie kościoła w Wylatowie.

Przy wymianie poszycia obowiązuje podstawowa zasada konserwatorska zmniejszenia obciążenia konstrukcji budowli. Obecnie jedyną alternatywą rozwiązania tego problemu jest zastosowanie gontu świerkowego wg tzw. wzoru niemieckiego. Bardziej istotne jest zapewnienie skutecznej hydroizolacji o właściwościach wysoko paroprzepuszczalnych. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie folii, która stanowi jednocześnie skuteczną barierę przed przenikaniem wody do wnętrza budowli, jak i zapewnią odprowadzenie przesyconych wilgocią par na zewnątrz obiektu. Od wielu lat z dużą skutecznością stosuje do tego celu folię dachową Tyvek. Obok najwyższych parametrów paroprzepuszczalności cechuje ją niezwykłą odporność mechaniczną na zrywanie w każdym kierunku. Ponadto nie zwiększa ona obciążenia dachu.

Odprowadzenie wód opadowych z połaci dachowych była organizowana pierwotnie w sposób powierzchniowy, kurtyną wodną wzdłuż całej długości okapu. Teren wokół obiektu był tak ukształtowany, aby zapewnić szybkie odprowadzenie wód opadowych, a jej nadmiar był w stanie retencjonować płaszcz kamienny. Wtórnie system powierzchniowy zastępowano organizacją odpływu liniowego przez rynny, rury spustowe i systemy kanalizacji burzowej. Zastosowanie takich rozwiązań stało się jednym z największych zagrożeń dla drewnianych konstrukcji. Połacie dachowe kościołów posiadają bardzo duże powierzchnie i ilość odprowadzanej w trakcie opadów deszczu wody jest zazwyczaj ogromna. Sprowadzanie wielkiej ilości wody w pojedynczą rurę spustową musi skutkować jej przelewaniem i uszkodzeniami samej rury. Rury spustowe są lokalizowane najczęściej w węglach budynku, czyli miejscu najbardziej niewralgicznym dla konstrukcji ścian. Ciągłe zalewanie złączy węglowych przez liniowy system odprowadzania wód opadowych powoduje ich szybką degradację i w konsekwencji prowadzi do naruszenia statyki budowli. We wszystkich konserwowanych przeze mnie obiektach udało się przywrócić pierwotny, powierzchniowy system odprowadzania wód opadowych.

3. Problemy społeczne zachowania drewnianej architektury wernakularnej

Zabytkowa architektura wernakularna historycznie powstawała w warunkach społecznej biedy, przywiązania do tradycji, ale również była odzwierciedleniem aspiracji społecznych. Historycznie społeczność wiejska zawsze należała do stanu ubogiego. Były to

społeczności izolowane, konserwatywne i przywiązane do swojej tradycji kształtowanej przez pokolenia. Efektem aspiracji społecznych zawsze było naśladowanie architektury miejskiej. Procesy społeczne zachodzące na wsi polskiej w XX wieku wywołane m.in. bogaceniem się ludności wiejskiej i przerostem aspiracji społecznych spowodowały w efekcie zerwanie z tradycją. Z polskiej wsi na naszych oczach znika architektura drewniana. Dzisiaj jej jedyną pozostałością, coraz mniej liczną, są zabytki architektury sakralnej. Przygotowując konserwację wiejskiego kościoła należy uwzględnić włączenie w ten proces społeczności lokalnej. Pozwala to na przekazanie praktycznej wiedzy o zasadach ochrony budownictwa drewnianego, co w przyszłości pozwoli uniknąć wielu nieodpowiednich działań. Jednocześnie taka współpraca pozwala rozbudzić społeczną świadomość posiadania bezcennego świadectwa własnej historii.

4. Bariery formalne ochrony architektury drewnianej

Ramy formalne w konserwacji zabytków budownictwa drewnianego sprzyjają niekompetencji. W dalszym ciągu historyczne fundamenty kamienne zastępowane są ławami żelbetonowymi, ściany i stropy są uszczelniane i docieplane, stare więźby dachowe zastępowane są nowymi konstrukcjami, wciąż nie upada wiara w skuteczność liniowej organizacji odprowadzania wód opadowych. Z drugiej strony, skuteczna konserwacja architektury drewnianej jest procederem przestępczym, bazującym na łamaniu przepisów i obowiązującego prawa budowlanego. Nie jestem kompetentny by rozwiązać ten problem - mówię jak jest.

5. Wnioski dla ochrony budownictwa drewnianego

Za Jackiem Kozińskim od lat głoszę pochwałę „lenistwa i ubóstwa”. Dotąd skutecznie realizowała ona jedną z podstawowych zasad konserwatorskich „lepiej nic nie zrobić niż szkodzić”. Dzięki temu zachowało się w Polsce tyle zabytkowych obiektów drewnianych. Dzisiaj nie brak nam już pieniędzy, a za tym rzeszy fachowców gotowych podjąć się każdego wyzwania, co stwarza ogromne zagrożenie dla zachowania zabytkowej substancji. Dlatego naszą zasadę trzeba dzisiaj rozwinąć: Lepiej nic nie robić niż szkodzić brakiem kompetencji.

Mam 30 letnią praktykę w konserwacji konstrukcji drewnianych i obawiam się, że jeszcze niewiele wiem na ten temat, a każdy konserwator wojewódzki jest w stanie formalnie zakwestionować moje kompetencje. Co jest wyznacznikiem kompetencji – wykształcenie, praktyka? Urzędnicy stosując zasadę dziel i rządź rozmywiają problem odpowiedzialności za zachowanie obiektu. Poza wiedzą, wyznacznikiem kompetencji jest świadomość odpowiedzialności. Kompetencja w konserwacji to doświadczenie i odpowiedzialność.

Kto ponosi odpowiedzialność? Studenci architektury wykonujący inwentaryzację? Miejscowy inżynier opracowujący projekt remontu budowlanego? Konserwator dzieł sztuki opracowujący program prac przy elementach wystroju? Lokalna firma budowlana wykonująca remont? Służby konserwatorskie? W Polsce mamy ponad 3 000 zabytkowych obiektów drewnianego budownictwa sakralnego. Kto ponosi odpowiedzialność za ich konserwację? Nikt. O odpowiedzialności decyduje integracja działań.

Conservation of wooden vernacular architecture – lessons and experience from the work carried out

Piotr Kloda

ATIK Sp. z o.o., e-mil: piotr.kloda@live.com

Abstract: Technical problems of the protection and conservation of wooden vernacular architecture are illustrated in the example of integrated conservation work carried out. Presented are the findings and experience from 30 years of practice in the restoration of historic wooden structures. From the position of conservation practice are the main threat technical, social and formal for the preservation of wooden vernacular architecture. Discussed in detail the state of preservation and causes of damage and the scope of maintenance of the most important elements of historic timber structures: foundations, coats stone foundations, walls, roof rafters, underroofs. Mentioned methods, techniques and materials used in the preservation of monuments of wooden architecture. The summary is presented proposals setting out the conditions necessary for taking effective action conservation. It touches issues of competence, accountability and integration of activities.

Keywords: conservation of monuments, wooden architecture, wooden structures, traditional carpentry

Zabezpieczanie przed ogniem drewnianych obiektów zabytkowych

**Ryszard Kozłowski¹, Kajetan Pyrzyński², Agnieszka Michalska²,
Małgorzata Muzyczek³, Krzysztof Sałaciński⁴, Jacek Rulewicz⁵**

¹ *Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Toruń, e-mail: rkscience.biuro@gmail.com*

² *Przedsiębiorstwo Innowacyjno-Wdrożeniowe Delta, Dolsk, e-mail: biuro@delta-dolsk.pl*

³ *Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich, Poznań, e-mail: muzyczekm@inf.poznan.pl*

⁴ *Ministerstwo Kultury i Dziedzictwa Narodowego, Warszawa, e-mail: ksalacinski@mkiidn.gov.pl*

⁵ *Stowarzyszenie Konserwatorów Zabytków, Warszawa, e-mail: rulewicz@o2.pl*

Streszczenie: Drewno było najczęściej używanym surowcem do konstrukcji obiektów od najdawniejszych czasów, które w czasie jego użytkowania narażone jest na biodeterioracje i całkowite spalanie w wyniku pożaru. Drewniane obiekty zabytkowe są całkowicie palne, a na dodatek często zlokalizowane poza miejskimi ośrodkami z utrudnieniami do ich dostępu przez straż pożarną. Stąd zabezpieczenie przed pożarami takich obiektów jest bardzo ważne, tym bardziej, że pomimo rozwoju techniki i technologii, pożary tych obiektów zdarzają się coraz częściej. A zatem czy aktualnie istnieje możliwość takiego przeciwożniowego zabezpieczenia drewnianych obiektów, aby „w dyskretny” sposób zabezpieczyć je przed rozprzestrzenianiem się ognia z wykorzystaniem nowoczesnych środków ogniochronnych? Obniżenie palności i szybkiego rozprzestrzeniania się płomieni w tych obiektach stwarza nadzieję na zapobiegnięcie kompletnego ich spalania. Przy doborze środków ogniochronnych i systemów zabezpieczenia należy brać pod uwagę również to, by te środki i systemy nie wywierały niekorzystnego wpływu na wygląd, higroskopijność i trwałość zabezpieczonego drewna zabytkowego. Za wielce efektywne uznaje się między innymi transparentne powłoki pęczniące w warunkach pożarowych, które to odcinają dostęp tlenu z powietrza poprzez wytworzenie izolacyjnej, niepalnej piany zapobiegającej penetracji ognia wewnątrz elementów drewnianych. Zastosowanie pasywnych systemów ochrony ogniowej, które mogą być połączone z zastosowaniem biocydów w zabytkowych budynkach drewnianych takich jak kościoły, skanseny, obniżając ilość nieszczęśliwych pożarów tych obiektów.

Słowa kluczowe: zabytkowe drewno, zabezpieczenie przed ogniem, pęczniące powłoki, straty pożarowe zabytków.

1. Wprowadzenie

Drewno – zaliczane jest do grupy naturalnych polimerów lignocelulozowych, zawierających głównie celulozę, hemicelulozę, ligninę. Wiadomo powszechnie, że jest ono wytwarzane za pomocą fotosyntezy głównie z dwutlenku węgla, soli mineralnych i wody. Jest ono stosowane jako materiał budowlany od zarania wieków towarzyszący człowiekowi. Posiada ono wiele zalet i wad, spośród których przede wszystkim należy wymienić jego brak odporności na działanie wody, korozji biologicznej oraz ognia. Również w nowożytnych czasach jest ono szeroko stosowane w budownictwie. Aktualnie niezależnie od stosowania drewna w nowożytnym budownictwie jako spuściznę poprzednich pokoleń w Europie, w tym także i w Polsce znajduje się wiele obiektów zabytkowych, głównie kościołów,

skansenów, drewnianych chat, stodół, dworów i wiatraków. Dla przykładu w Polsce istnieje kilkadziesiąt obiektów muzealnych zlokalizowanych na otwartym powietrzu, gdzie znajduje się około 1000 drewnianej architektury, w tym około 200 oczekuje na rekonstrukcję i odnowienie. Wielkie bogactwo budowli i różnorodność zastosowanych surowców i materiałów budowlanych są charakterystyczne dla wiejskiej, zabytkowej architektury w Polsce.

Pożary obok kradzieży i aktów wandalizmu sięgają największe spustoszenie w obiektach zabytkowych, prowadząc do nieodwracalnych strat w dziedzictwie kultury. Niestety pożary należą do żywiołów, które nieodwracalnie niszczą całe obiekty i ich kompleksy, a dotyczą zarówno słynnych królewskich pałaców i zamków, takich jak np. Windsor, Hofburg [1,2] szczególnie skansenów np. Muzeum w Sanoku [3,4]. Przerażające dane dotyczą pożarów drewnianych obiektów sakralnych. W ciągu kilku lat zaledwie spłonęło doszczętnie lub poważnie zostało uszkodzonych wiele zabytkowych świątyń np. w Lipince, Łęczy, Łękawicy, cerkiew w Grabarce i wiele innych [5,6]. Niepokojące wysoko są częste podpalenia, nierzadko w celu zamaskowania kradzieży. Tak jak w większości tzw. obiektów użyteczności publicznej zagadnienia bezpieczeństwa pożarowego dotyczą głównie ochrony życia ludzkiego, tak w przypadku obiektów zabytkowych ochrona bezcennej wartości dóbr kultury stanowi równorzędny priorytet. Priorytetem w ochronie przeciwpożarowej obiektów zabytkowych powinno być zachowanie w miarę możliwości oryginalnej konstrukcji obiektów oraz ograniczona i przemyślana ingerencja w substancje zabytkową elementów konstrukcyjnych oraz wyposażenia i wystroju wnętrz. Pogodzenie poglądów historyków sztuki i konserwatorów z poglądami specjalistów ochrony przeciwpożarowej i znalezienie kompromisowych rozwiązań jest zazwyczaj bardzo trudne, i wymaga ono wysokiego poziomu profesjonalizmu oraz dobrej woli wszystkich zainteresowanych stron. Jednym ze sposobów podniesienia bezpieczeństwa pożarowego obiektów zabytkowych jest zastosowanie środków i systemów ogniochronnych. Niestety stosowanie środków ogniochronnych, jako elementu biernej ochrony przeciwpożarowej jest czynnikiem niezmiernie ważnym, aczkolwiek często lekceważonym. To stosowanie środków ogniochronnych może w znacznym stopniu przyczynić się do zmniejszenia ryzyka związanego z powstaniem i rozwojem pożaru oraz ograniczenia jego rozprzestrzeniania się na inne obiekty. Poprzez zastosowanie środków ogniochronnych i nowoczesnych ich systemów w znaczny sposób można ograniczyć takie parametry pożarowe jak: wielkość i szybkość wydzielanego ciepła w trakcie pożaru, szybkość rozprzestrzeniania płomienia i spalania materiału, przy jednoczesnym obniżeniu podatności na zapalenie i wydłużeniu czasu do zapalenia. W konsekwencji prowadzi to do zahamowania rozwoju pożaru, umożliwienia ewakuacji.

2. Historyczne podstawy

Na obszarach starożytnych cywilizacji takich jak Chiny, Egipt znano i stosowano środki do ograniczenia palności drewna. Chińczycy pokrywali drewno zawiesiną gliny lub nakładali warstwę gliny, w rezultacie uzyskiwali znaczne opóźnienie palenia się konstrukcji drewnianych i ograniczenie rozpowszechniania się pożaru. W Starożytnym Egipcie, 3000 lat przed Chrystusem, trzcinę i trawę stosowaną do krycia dachów, mocząc ją w wodzie morskiej, później susząc. Wykryształowane przy suszeniu sole mineralne uodporniały w ten sposób dach przed zapaleniem. Pierwsi Egipcjanie odkryli też, że poprawę ognioodporności drewna można uzyskać stosując roztwór alunu. Ten że alun stosowano później podczas oblężenia Pireusu w roku 86 p.n.e do ochrony wież oblężniczych przed ogniem [6].

W pierwszym stuleciu AD po wielkim pożarze Rzymu cesarz Neron polecił przy odbudowie Rzymu zanurzenie drewna w słonej wodzie. W Europie w XV wieku stosowano do pokrywania łatwo zapalnych cienkich elementów drewnianych farby z dodat-

kiem mleka wapiennego, kredy malarskiej. Materiały te opóźniały zapalenie, ograniczając szybkość spalania tych elementów. Po raz pierwszy naukowe podstawy i rolę środków ogniochronnych sprecyzował francuski chemik Gay Lussak w 1821 roku po wielkim pożarze Paryża w Rocznikach Fizyki i Chemii Sorbony. W obszernym traktacie podając przy tym szereg recept, stosowania prostych soli takich jak chlorek amonu, fosforan dwuamonowy.

Znaczące podstawy rozwoju w przeciwogniowym zabezpieczeniu materiałów ligno-celulozowych w tym drewna położył angielski uczoney Wiliam Henry Perkin. Zauważalny postęp rozwoju w przeciwogniowym zabezpieczaniu palności materiałów uzyskano w czasie II Wojny Światowej. W obecnych czasach istnieje znaczna różnorodność środków i systemów ogniochronnych do zabezpieczania drewna przed działaniem ognia, przydatnych do stosowania, również w obiektach zabytkowych.

3. Mechanizmy działania środków ogniochronnych [6]

Mechanizmy działania środków ogniochronnych można sklasyfikować według poszczególnych grup przedstawionych poniżej.

- Wytwarzanie w podwyższonej temperaturze gazowych powłok ochronnych z gazów niepalnych, działanie inhibitujące palenie poprzez przerwanie wolnorodnikowej reakcji łańcuchowej w palnych gazach wydzielanych z drewna, wskutek wytwarzania wolnych rodników,
- Wbudowanie w strukturę drewna grup przekształcających drewno w postaci trudnozapalną,
- Hamowanie wzrostu temperatury palnego drewna, dzięki wysokiemu efektowi endotermicznemu związanemu z topnieniem, rozkładem oraz przechodzeniem w temperaturze płomienia w niepalne formy ciekłe odcinające dopływ tlenu,
- Katalizowanie reakcji spalania drewna w kierunku wytwarzania węglowej trudno zapalnej powłoki oraz niepalnej ceramizującej warstwy krzemianowej,
- Obniżanie współczynnika przewodzenia ciepła uniemożliwiający rozkład i penetrację wewnętrznych warstw drewna, izolowanie palnego drewna od przenikania ciepła, ekranizacja i odbijanie promieniowania cieplnego.

4. Zabezpieczanie ogniochronne drewna i obiektów drewnianych

Ze względu na sposób stosowania środki i systemy ogniochronne dzielą się na dwie grupy:

- impregnaty ogniochronne wnikaające w drewno, stosowane z reguły w postaci roztworów wodnych lub w innych rozpuszczalnikach (np. ciekły NH_3),
- powłoki działające powierzchniowo, tworzące na powierzchni drewna warstwę ochronną stosowane w postaci lakierów, farb (często pęczniejących, niepalnych), folii i włókien, cienkich barier ogniowych. Jeżeli środki wnikaające w drewno są stosowane metodami malowania lub natrysku – to charakteryzują się one zazwyczaj niższą skutecznością od środków powłokowych.

Po ich zastosowaniu nie uzyskuje się znaczącego podniesienia odporności ogniowej drewnianych elementów konstrukcyjnych, nawet jeżeli są stosowane metodami próżniowo-ciśnieniowymi, jedynie zauważalne jest ograniczenie stopnia zapalności i rozprzestrzeniania się ognia po powierzchni, co w przypadku zabytkowych konstrukcji drewnianych w niektórych przypadkach jest wystarczające. Podkreślić należy, że niektóre środki solne

nie zmieniają wyglądu impregnowanego drewna i pH ich roztworów zbliżone jest do neutralnego, co w przypadku obiektów zabytkowych jest nadzwyczaj istotne.

Ostatnio coraz większe znaczenie nabierają nowoczesne materiały powłokowe pęczniące, równocześnie stanowiące transparentne, przezroczyste powłoki o znacznej efektywności w działaniu. Powłoki te pod wpływem wysokiej temperatury pęcznią, tworząc na powierzchni zabezpieczanego drewna warstwę zwęglonej piany – często pęczniącej do wartości ok. 500 krotnie grubości pierwotnej powłoki. Nowsze rozwiązania wytwarzają na powierzchni spienionej powłoki, białą warstwę ceramizującą krzemianową podnosząc skuteczność działania.

Warstwa piany nadzwyczaj skutecznie izoluje drewniane podłoże przed nadmiernym wzrostem temperatury, dostępem tlenu, co zabezpiecza drewno przed możliwością termicznego rozkładu, odgrywającego decydującą rolę przy powstrzymaniu i rozwoju procesu palenia [7,8,9,10,11].

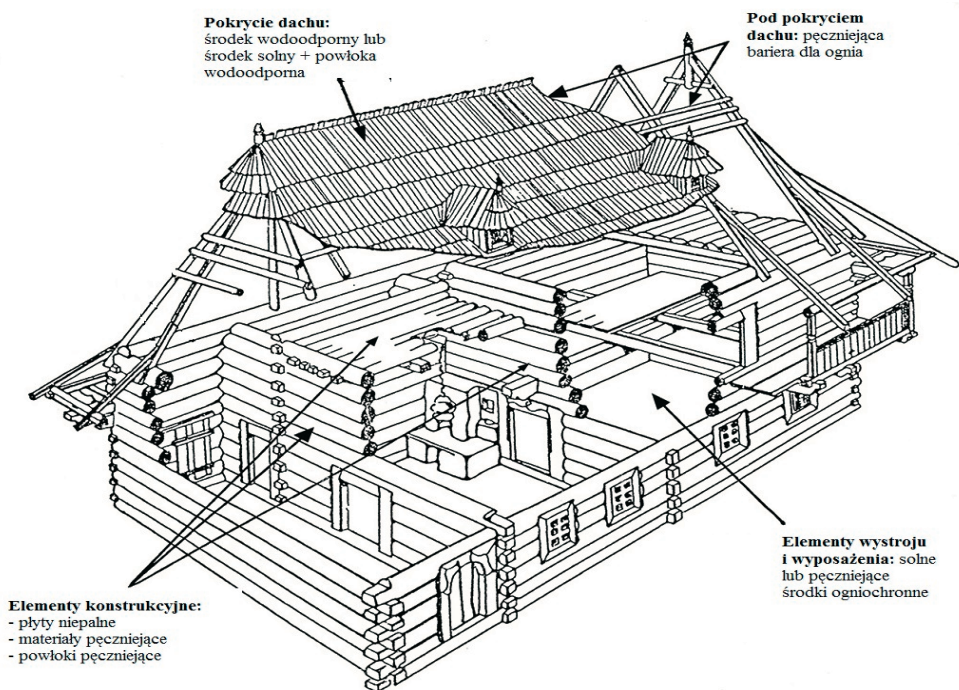
By środki i systemy ogniochronne spełniały oczekiwania zarówno konserwatorów jak i pożarników, powinny one posiadać określone cechy. Idealny środek ogniochronny winien charakteryzować się następującymi właściwościami:

- wysoką skutecznością zabezpieczenia ogniochronnego,
- znaczną chemiczną stabilnością,
- brakiem wpływu na wytrzymałość mechaniczną, procesy starzeniowe drewna i estetykę wyglądu zabezpieczonego drewna zabytkowego, które to w wyniku długiego czasu użytkowania uległo częściowym zmianom spowodowanym sinizną oksydacyjną (blue stain) i często biodeterioracją,
- brakiem emisji toksycznych i korodujących substancji w warunkach użytkowania,
- brakiem wpływu na podwyższenie emisji toksycznych produktów termicznego rozkładu i spalania drewna,
- łatwością zastosowania,
- pożądaną toksycznością w stosunku do grzybów i owadów rozkładających drewno,
- odpornością na działanie wody,
- stosunkowo niską ceną.

Spełnienie wszystkich wyżej wymienionych cech jest bardzo trudne a czasem wręcz niemożliwe. Dlatego też niekiedy stosuje się tzw. systemy ogniochronne, na które składają się dwa lub więcej zabiegów zabezpieczające. Ponadto należy podkreślić, że często wodorozpuszczalne środki uniepalniające są zazwyczaj solami nieorganicznymi, co powoduje, że mogą one działać korodująco na metale oraz sprawiać, że zabezpieczone drewno jest bardzo higroskopijne. W przypadku zabezpieczania elementów drewnianych należy unikać preparatów o wyraźnym kwaśnym charakterze ($\text{pH} < 7$), szczególnie zawierających kwas fosforowy, ze względu na jego silnie destrukcyjny charakter prowadzący do kwaśnej hydrolizy substancji lignocelulozowych drewna. Ze względu na ich naturę nie mogą być stosowane do zabezpieczenia drewna pokrytego farbami i lakierami oraz impregnowanego środkami olejnymi. Podstawową ich wadą jest to, że zazwyczaj nie wiążą się chemicznie ze składnikami drewna i mogą być wmywane na skutek działania wody.

Do zabezpieczania elementów zewnętrznych muszą być stosowane z dodatkowymi wodoodpornymi powłokami. Jest to niewątpliwie jeden z najpoważniejszych problemów przy zabezpieczaniu ogniochronnym zabytkowych obiektów drewnianych, gdzie niestety zdarzają się przypadki podpalania lub w przypadku skupisk budynków drewnianych, gdzie pożar jednego budynku może powodować na skutek wysokiego promieniowania cieplnego przeskoki iskrowe płomienia na budynki sąsiadujące (4). Szczególnie narażone są w tym przypadku poszycia dachów, gonty i strzechy. Dla przedłużenia trwałości przeciwoognio-

go zabezpieczenia drewna często zaleca się zabezpieczenia dwustopniowe: polegające na wprowadzeniu, środka ogniochronnego zabezpieczającego, a następnie na zabezpieczeniu drewna w tym drewna zabytkowego na warunki atmosferyczne. Trwałość impregnacji dwustopniowej ulega również znaczącemu wydłużeniu w przypadku, gdy wykonana ona została na elementach zewnętrznych zadaszonych. Jednak wobec wielowiekowych budowli, trwałość impregnacji ogniochronnej nawet 10 lub 15 letnia jest stosunkowo zbyt krótka. Pewne szanse na rozwiązanie problemu trwałej niewymywalnej, nie zmieniającej wyglądu i wytrzymałości zabezpieczenia ogniochronnego może przynieść chemiczna lub biochemiczna funkcjonalizacja drewna, a w szczególności głównego jej składnika celulozy, nad którą to są prowadzone intensywne prace badawcze na świecie. Funkcjonalizacja ta polega na estryfikacji i eteryfikacji celulozowych włókien znajdujących się w drewnie poprzez przyłączenie wysoko reaktywnych metafosforanów alkali i boranów metylu. Pewne ciekawe i pozytywne rozwiązania uzyskano w związku z potrzebą zabezpieczenia starego drewna: statków Mary Rose – angielskiego statku wojennego zatopionego w bitwie w 1549 roku i odkrytego w 1971 roku, a podniesionego z dna morskiego w 1982 roku, statku Vasa w Sztokholmie, wykorzystując supramolekularny network polimerowy, czterekomponentowy system na bazie sfunkcjonalizowanego chitozanu i quaru (organiczny związek chemiczny z grupy galaktomannanów, tj. polisacharydów, których łańcuch główny utworzony jest z jednostek mannozy z bocznymi odgałęzieniami monogalaktozowymi) jako makrocyclicznej goszczącej cząsteczki. Podobne zastosowanie makrocyclicznych reagentów według autorów niniejszego referatu winno przynieść korzystniejsze i trwalsze zabezpieczenie zabytkowego drewna [12]. Na Rys. 1 podano przykłady stosowania różnych systemów i środków ogniochronnych.



Rys. 1. Przykładowe systemy i środki ogniochronne.

5. Ostatnie osiągnięcia w ochronie ogniowej drewna

W Polsce aktualnie jest dostępnych wiele środków obniżających palność drewna wśród których dominują środki produkowane przez Zakłady Chemiczne in R. May w Luboniu - z rodziny Fobos M-2 i pochodne drewnosole Firestop oraz wiele innych, a także wymienione już uprzednio układy pęczniące produkowane przez innowacyjną firmę Delta – o nazwie Expander FR.

Expander FR jest szczególnie przydatny do zabezpieczeń przeciwogniowych drewnianych zabytków – ze względu na jego transparentność, dające przezroczyste powłoki, które w podwyższonej temperaturze wykazują unikalną zdolność pęcznienia [13,14]. Jego późniejsze modyfikacje w oparciu o nanomodifikatory przyczyniają się do podniesienia zdolności pęcznienia, wytwarzając na powierzchni zabezpieczanego drewna grubą, zwęgloną, porowatą, piankową warstwę z ceramizującą powłoką na powierzchni spienionej warstwy (Rys. 2). Ta spieniona warstwa doskonale chroni materiał przed nadmiernym jego nagrzewaniem i późniejszym jego spalaniem, a także w przypadku drewna konstrukcyjnego przed utratą jego mechanicznej wytrzymałości. Podstawowe właściwości lakieru ogniochronnego Expander FR podano w poniższej tabeli.



Rys. 2. Warstwa ceramizująca powstała na powierzchni spęczniałej powłoki.

Tabela 1. Podstawowe właściwości lakieru EXPANDER FR.

Właściwości	Jednostka	Wartość
Gęstość	g/cm ³	1,4–1,6
Zawartość substancji lotnych	%	38–43
Czas wysychania powłoki do uzyskania 3 stopnia wyschnięcia	h	6
Przyczepność do drewna sosnowego, określona metodą siatki nacięć, stopień	stopnie	1
Naniesienie	g/m ²	350 g/m ² materiał niezapalny w klasie B-s1, d0 reakcji na ogień
Spęcznienie	%	Pow. 300–1000

Układy pęczniące typu Expander FR, oparte na cząstkach o wysokim stopniu dyspersji – nanocząstkach stanowią najnowsze rozwiązania w skali światowej [16, 17].

Zastosowane w systemie nanomodyfikatory, takie jak nanokrzemionka i nanorurkowy krzemian glinu podwyższają skuteczność działania termoizolującego i ogniochronnego systemu. Znaczny stopień dyspersji nanomodyfikatorów wpływa na zmianę przebiegów procesu spalania i rozkładu kompozycji pęczniejącej, w konsekwencji na szybkość i strukturę tworzącej się warstwy piankowej węgla z warstwą krzemianową na powierzchni. Ta drobno-komórkowa struktura szkieletowa odpowiedzialna jest za właściwości termoizolacyjne, przewodnictwo i konwekcje ciepła spienionej warstwy [14].

Expander FR jest szczególnie przydatny do zabezpieczania przed działaniem ognia zarówno drewnianych elementów dekoracyjnych jak i konstrukcyjnych (więźby dachowe, stropy, stropodachy).

Expander (opracowany w Instytucie Włókien Naturalnych w Poznaniu) jest produkowany przez Przedsiębiorstwo Innowacyjno Wdrożeniowe „Delta” w Dolsku.

Otrzymał on srebrny medal n w 53RD World Exhibition of Innovation Reserch and New Technology Eureka 2004 w Brukseli oraz dyplom Ministra Nauki i Informatyzacji w 2009.

Zdaniem autorów niniejszego artykułu należałoby dołożyć wszelkich starań aby wykorzystać wysoką skuteczność tego systemu do uodporniania na działanie ognia drewnianych obiektów zabytkowych.

6. Wnioski

Strategia bezpieczeństwa pożarowego dla drewnianych obiektów zabytkowych wymaga uzgodnień kompromisowych pomiędzy historykami sztuki i konserwatorami a specjalistami straży pożarnej, co może być osiągnięte na wysokim poziomie profesjonalizmu stron.

Aktualny rozwój technologiczny umożliwia skuteczne zabezpieczenie palnych materiałów, w tym drewna w obiektach zabytkowych. Niezależnie od systemu wykrywania, gaszenia pożarów w obiektach zabytkowych palne materiały znajdujące się w obiektach, w tym drewno winny być skutecznie zabezpieczone przed działaniem ognia.

Zastosowanie środków i systemów ogniochronnych daje w efekcie:

- wyeliminowanie lub ograniczenie możliwości zapalenia się danego materiału lub jego podpalenia,
- znacznie większą i bardziej efektywną możliwość ugaszenia pożaru w zarodku dzięki znacznemu ograniczeniu intensywności spalania i rozprzestrzeniania się ognia oraz (HR) ilości wydzielanego ciepła,
- znaczne wydłużenie czasu dla ewakuacji ludzi i wartościowego mienia,
- możliwość prowadzenia skutecznej akcji gaśniczej.

Zastosowanie pasywnej ochrony ogniowej, w tym zastosowanie środków ognioodparniających i systemów ogniochronnych w zabytkowych obiektach jest bardzo pilną potrzebą, szczególnie w zabytkowych obiektach drewnianych, których to liczba w ostatnich latach drastycznie spada w wyniku ich pożarów.

Literatura

- 1 Harper D.J. *Fire in Windsor Castle*, Second International Symposium on Fire Protection of Ancient Monuments, Kraków, 17-20.10.1994.
- 2 Thorneycroft J. *After match and response comparative status of the initial responses following the fires at Windsor Castle and Hampton Court Palace Fire in Winson Castle*. Second Intern. Symp. On Fire Protection of Ancient Monument, Kraków, 17-20.10.1994.

- 3 Ogrodzki P., Jaskulski W. *Czas dla ognia. Spotkania z zabytkami*. 24-26.12.1994
- 4 Czajkowski J. *Park Etnograficzny w Sanoku w ogniu*. Folder Muzeum Budownictwa Ludowego, 1994.
- 5 Sarvaranta L. *Fire Retardant Wood, Polymer and Textile Materials VTT*. Tiedotterta. Meddalanclen- Research-Notes Technical Research Centre of Finland ESPOO. 1996
- 6 Kozłowski R., Muzyczek M. *New smart environmentally friendly composite coatings for wood protection, Smart composite coatings and membranes*. Ed Woodhead Publishing 21, (2015), str. 90.
- 7 Hayward G. *Intumescent Coatings on Wood and Then Characterisation on Burning. The role of Surface Coating in Fire Protection Part III Polymer Paint*. Colour Journal 179 (1989) 450-452.
- 8 Shih Y.C.F.B., Chenng, Koo J. H. *Theoretical Modeling of Intumescent Fire Retardant Materials*. Journal of Fire Sciences, 16 (1998) 46-71.
- 9 Wesolek D., Kozłowski R. *The Influence of Some Flame Retardants on the Flammability of Wood Studied by Cone Calorimeter „Flame Retardang”*. The Tenth Annual BCC Conference on Flame Retardang, Recent Advantes in Flame Retardang of Polymer Materials Stamford, Connecticut May 24-26 (1992) 352-361.
- 10 Władyka Przybylak M., Wesolek D., Kozłowski R. *Układy pęczniące jako efektywne bariery przeciwogniowej*. Przemysł chemiczny 8-9, (2003), 977-980.
- 11 Kozłowski R., Wesolek D., Władyka Przybylak M. *„Flammability of Intumescent fire Retardant System Based on Nan Modifiers*. Proceedings of the 15th BCC Conference on Flame Retardancy, Recent Advances in flame Retardancy of Polymeric Materials, Stamford 22-25.05.2005
- 12 Arnaud C., *New Treatment for old wood*. Chemical ang Engineering News, (2014), str. 30.
- 13 Kozłowski R., Pyrzyński K., Idziak L., Majewski K., *Intumescent fire barrier coatings and behavior of this fire and napalm condition*. Smart and functional coatings, Turyn, 2013.
- 14 Kozłowski R., Pyrzyński K., Michalska A., Idziak L., Nyszko G., Majewski K., *Environmentally friendly intumescent Fire Retardant coatings and their behavior in fire and napalm conditions*. North African Coatings Congress, Casablanca, Morocco, 15-16.10.2014.

Wooden heritage buildings and preventing them against fire

**Ryszard Kozłowski¹, Kajetan Pyrzyński², Agnieszka Michalska²,
Małgorzata Muzyczek³, Krzysztof Sałaciński⁴, J. Rulewicz⁵**

¹ *Institute for Engineering of Polymer Materials and Dyes, SCORENA, Torun, e-mail: rkscience.biuro@gmail.com*

² *Delta Innovations and Implementation Company, Dolsk, e-mail: biuro@delta-dolsk.pl*

³ *Institute of Natural Fibers and Medicinal Plants, Poznan, e-mail: muzyczekm@inf.poznan.pl*

⁴ *Ministry of Culture and National Heritage, Warsaw, e-mail: ksalacinski@mkiidn.gov.pl*

⁵ *Association of Monument Conservators, Warsaw, e-mail: rulewicz@o2.pl*

Abstract: The protection of wooden heritage buildings against fire, biodeterioration, robbery and vandalism is one of the most important tasks in the field of cultural property preservation. In Poland and other European countries, the most popular wood-made objects are historical wooden churches (Catholic and Orthodox ones), rural huts, cottages, sheds, barns and wooden wind mills which are like open air museums. Wood is the most common raw material that was used for the construction of these objects since ancient times. Generally these wooden objects are wholly combustible, they are mostly located beyond towns and difficult to guard and exposed to risk of setting on fire. Not everywhere there is a suffi-

cient supply of water from water tanks and fire hydrant network. Moreover, there is a lack of good access ways for fire brigade vehicles and no fire detecting systems were installed in many of these objects. Unfortunately, fire retardant application is insufficient or totally absent in these heritage buildings. This manuscript presents general possibilities of the application of modern technology of fire retardancy systems intended for the protection the heritage objects against fire disaster. None or only minimal influence on an ancient object wood is the advantage of the above systems. The fire safety strategy for wooden buildings and historical sites requires an agreement and compromise between the point of view of art. Historians and conservators and that of fire-fighting experts.

Keywords: antique wood, fire protection, intumescent coatings, fire losses sights.

The physical and mechanical properties of magnesium oxychloride cement-based materials

Szymon Malinowski, Justyna Jaroszyńska-Wolińska

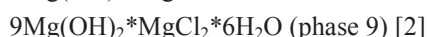
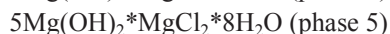
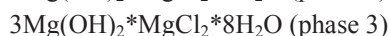
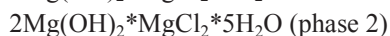
*Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: s.malinowski@pollub.pl, j.wolinska@gmail.com*

Abstract: The aim of this paper was the examination of the physical-mechanical properties of Sorel cement-based material. In the experimental part the effect of polypropylene fibers (PP) and micro-silica on properties of composite materials were studied. The results show that addition of these modifiers increases compressive strength, waterproofing and resistance against corrosion. Increase of compressive strength was observed from both addition of PP and micro-silica. PP resulted in an increase in compressive strength of 0,72 MPa, whereas addition of micro-silica caused an increase of 17,5 % compared to pure Sorel's cement. Improvement of water-tightness was observed in both additions of PP and micro-silica. Weight loss of samples with PP addition to the concrete after a 7-day bath in an aggressive solution of 5% HCl was less than about 20%.

Keywords: Magnesium oxychloride cement, Polypropylene fibers, micro-silica, mechanical properties, physical properties

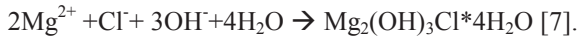
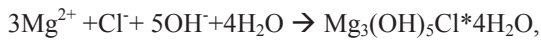
1. Introduction

One of the mineral binders is Sorel's cement (SC) also known as magnesium oxychloride cement (MOC). It is formed by a mixture of powdered magnesium oxide (MgO) and a solution of magnesium chloride (MgCl₂). The first of the cement components is obtained by decomposition of magnesium carbonate (MgCO₃) [1] or dolomite [2] at a temperature of 750°C. The quality of the oxide obtained in this process is strongly dependent on the duration of the calcination process and the size of magnesium carbonate particles used [1]. Depending on the temperature used in the product has various crystalline phases. At room temperature phases 3 and 5 are formed, while in temperatures above 100°C phases 2 and 9 appear. These phases with various amount of magnesium hydroxide and water are shown in the following formulas [2]:



Responsible for the compressive strength of SC is creation of phases 3 and 5[3]. Although the accurate phase formation mechanism is not known today, there are theories describing the formation of the hydrates. The theory proposed by Ved et al.[4] says that

formed end phases are followed by polymerization reaction ions such as $[\text{HO-Mg-O}]$, $[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_{6-x}\text{Cl}]$, $[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_{6-x}\text{OH}]^+$, OH^- , Cl^- , H^+ , or $[\text{MgOH}]^+$. A less complicated mechanism was proposed by Balinski and his coworkers [5]. This mechanism explained that simple ions such as Mg^{2+} , Cl^- and OH^- are responsible for creating SC crystalline phases. However, the theory developed by Zhang Zhenyu [6] explains that phases 3 and 5 are created by reactions between MgO or Mg^{2+} and a solution of MgCl_2 [3]. The chemical reactions which describe the formation of these phases are submitted in following equations:



MOC has many advantages compared with Portland cement. It is unaffected by oil, grease or paints, has high fire resistance, low thermal conductivity and good resistance to abrasion [1]. The hardening process of SC is faster than in the case of Portland cement. One of the most important advantages of SC is its resistance to high temperatures [8]. The physical and chemical properties of concrete are significantly affected by the molar ratios of the reactants used in the formation process such as: MgO/MgCl_2 or $\text{H}_2\text{O}/\text{MgCl}_2$. They affect mainly the compressive strength of concrete. Increasing the amount of water used in the hardening process decreases the compressive strength of the obtained material. Increasing the value of the molar ratio MgO/MgCl_2 results in more hardy concrete. Phase 3 of SC is obtained when the value of this molar ratio is greater than 11. This phenomenon results in the cement setting process time being longer. The most favorable values of molar ratios of reactants are 13 and 12 respectively for MgO/MgCl_2 and $\text{H}_2\text{O}/\text{MgCl}_2$ [1].

An important area of research into SC is the impact of modifiers on its properties. Additives can change both physical and mechanical properties of concrete such as compressive strength or water-tightness. In the last decade many advances have been made to increase the resistance to water of SC. For this purpose in the production of SC concrete is added phosphorous acid (H_3PO_4) or soluble phosphates alkali metals, ferric, aluminum or ammonium[9] e.g. NaH_2PO_4 , $\text{Mg}_2(\text{PO}_4)_3$, Na_3PO_4 or NaH_2PO_4 [7]. Studies indicated that for increased water-tightness of concrete based on SC, small amount of phosphorous must be added. The actions of these modifiers are based on increasing the stability of phase 5 in water solution. The main components responsible for better resistance to water are H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , or PO_4^{3-} , which are created in an ionization process of soluble phosphorous salts [9]. Addition of phosphorous acid may influence microstructure and the mechanical properties of concrete. FTIR analysis has shown that addition of phosphorous acid causes creation of the binder $\text{P}=\text{O}$ located in the group PO_4^{3-} . After adding this acid the surface of the concrete has needle-shaped crystals. The presence of phosphorous acid when concrete is created influences negatively on the mechanical properties and cement setting process time [10]. Water-tightness of Sorel's cement may be changed by the addition of organic emulsion, e.g. stearic acid-styrene acrylic acid copolymer. This emulsion structure has a large number of hydrophobic groups forming on the concrete structure a hydrophobic layer [8]. In order to increase the compressive strength of SC concrete is added granite waste. It is characterized by high durability and resistance to scratches, moisture, cracks, spills and both high and low temperature. Therefore concrete with the addition of granite wastes has greater plasticity and mechanical properties. Addition of granite wastes influences also corrosion processes in this material [11].

Among the polymeric fibers used as modifiers of SC, the most important are polypropylene fibers (PP). Chopped fibres of pure polypropylene are chemically inert and can generate hydrophilic effects ensuring ease of wetting contact with water in the concrete

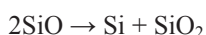
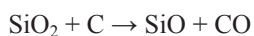
mix. The addition of polypropylene fibres to concrete mixtures causes reduction of shrinkage cracks and micro-cracks due to the settling of plasticisers, eliminates the need for steel mesh, reduces water absorption and water permeability, limits penetration of concrete by chemical substances, limits corrosion of concrete and reinforcing steel, increases frost and abrasion resistance, increases compression and flexural strengths by more than 10% to increase toughness and resistance to crushing, improves consistency and uniformity of concrete, increases workability and resistance to segregation of ingredients and increases the durability of concrete and reinforced concrete [12].

The fibres formed in the concrete mix comprise a spatial grid, which acts as a micro wire mesh preventing contraction. Elimination of shrinkage cracks in the concrete improves the tightness and reduces penetration to protect concrete structural reinforcement against corrosion. It also prevents aging of concrete and increases frost resistance.

The addition of polypropylene fibres for concrete improves the homogeneity. Concrete with fibres uniformly distributed in the mass retains the mixing water in the whole volume of the mixture by reducing the gravity fall of heavier components and excessive outflow of water which takes the form of a milky solution on the surface of the concrete element. This property of the fibres increases the strength of the surface at very high temperature. You do not need special care to prevent cracking of the concrete surface due to excessive evaporation of water but the surface region of the concrete mix stays moist for a long time until setting. Polypropylene fibres uniformly distributed throughout the mass of concrete limit segregation of the ingredients in the mix and prevent the formation of air voids. Concrete with fibre is more resistant to abrasion. Also fibre increases by 10% concrete tensile strength in bending and 14% in compressive strength. Fibre concrete has the ability to self-support and not break at cracks and, therefore, may be used in pre-fabrication with increased resistance to damage during transport and handling. The stabilizing effect of polypropylene fibres makes them useful in the repair of reinforced concrete structures, e.g. gunning.

Micro-silica is produced as waste in the steel industry and in the production of metal silicon, ferrosilicon and other alloys as a result of the reduction of high-purity quartz by carbon arc-resistance furnaces in continuous operation. The quartz evaporates as SiO and is re-oxidized to SiO₂ by contact with oxygen in the cooler parts of the furnace as the amorphous form of silica and condensed in the form of microscopic particles with grain size of approximately 0.1 mm [13].

The formation of silica dust can be summarized by the following reactions:



The amount of SiO₂ in the dusts output by these processes increases in proportion to the amount of silicon in the melt. For instance, ferrosilicon alloys containing 50% or 75% silicon have respectively 61 – 77% and 84 – 88% silica dust and the metal silicon has up to 98% silica in the dust.

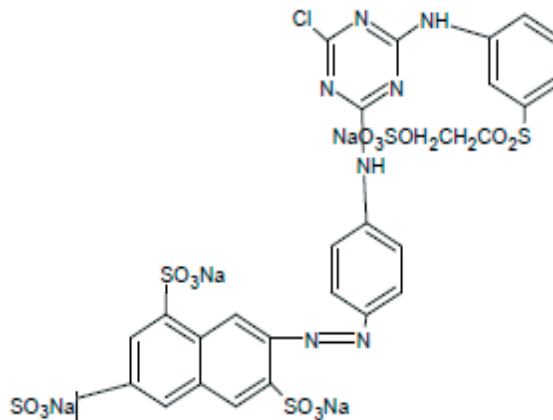
Initially, the interest in silica dust stemmed mainly from considerations of environmental protection and savings by replacing part of cement with this waste material. The usefulness of micro-silica in concrete technology found its practical reflection a quarter of a century ago. In 1971, structural concrete made in the mill Fisk in Norway used silica fume. In the same year the company "Sika Chemie" received the first patent for micro-silica and super plasticizers as cement additives. The first projects using silica fume concrete production in the United States and Canada took place in the early 1980s. Interest

in the subject of micro-silica dust is constantly increasing as an attractive material for use in concrete especially in the era of super plasticizers to allow their dosage to be increased. The result of this cooperation is concrete with high durability and strength.

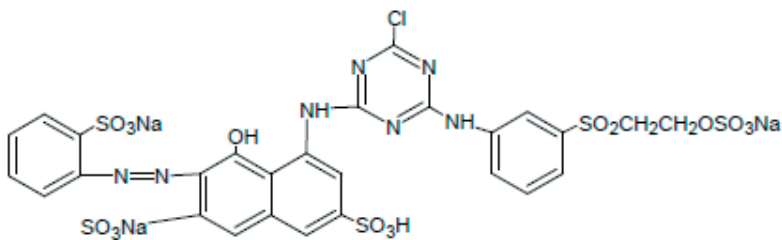
In Poland micro-silica is available as a dry particulate or as colloidal silica being an aqueous suspension of air and silica with or without additives. To complete the picture it should be added that there are other forms of micro-silica but they are not widely used in construction, for example silica granules, silica slurry and clumped silica dust [13].

MOC in view of its properties may be used in many areas of industry and science. It is widely used in architecture for door frames, beams [11] or marble floors [1], for production of grinding wheels, fireproof materials and thermal insulation materials [11]. SC may be used in environmental protection for water treatment with methyl orange, bromophenol blue[15] and other synthetic dyes designated as RY-145, RR-194, RB-B of molecular structure presented in figure 1 [16]. In view of its good adsorption properties, SC may be used for preconcentration of ions U(VI) [17].

a)



b)



c)

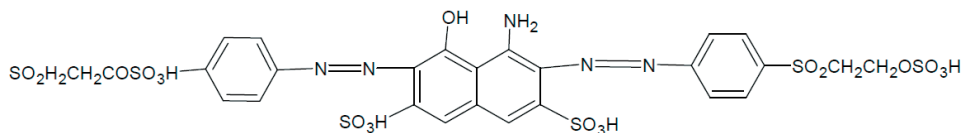


Fig. 1. Structure of a) RY-145, b) RR-194, c) RB-B

2. Materials and methods

This research was carried out on samples of cubic dimensions 150x150x150 mm³. The preparation of concrete samples for testing was based on PN-EN12390-2 [18]. The research used three kinds of samples: samples containing pure Sorel's cement (PSC), samples containing Sorel's cement with addition of polypropylene fibers (PPFSC) and samples containing Sorel's cement with addition of micro-silica (MSSC). The chemical composition of the samples examined in this paper is presented in table 1. The physical properties of the PP used are presented in table 2. Fibres can be added to concrete before or during mixing but the best effect is obtained by adding polypropylene fibres during the mixing of the gravel, sand and water to form an aggregate but prior to adding the cement. Mixing concrete with fibre for 5 minutes at 12 rotations/minute guarantees their uniform distribution. Polypropylene fibres can also be added to ready mix concrete in the mixer. The concrete should be mixed for at least 5 minutes. The recommended amount of fibre per 1 m³ of concrete is 0.6-0.9 kg. Changing the proportions of the other ingredients is not necessary. Concrete with polypropylene fibres does not require any special handling or treatment other than the routine required by the Polish Standard, and the surfaces of fibre concrete elements can be aligned and trowelled using conventional tools designed for this purpose.

Table 1. Chemical composition of samples.

1		2		3	
Chemical	Quantity	Chemical	Quantity	Chemical	Quantity
Magnesium oxide	6720 g	Magnesium oxide	4320 g	Magnesium oxide	4320 g
Magnesium chloride	3033 g	Magnesium chloride	1950 g	Magnesium chloride	1950 g
Water	2660 ml	Water	2750 ml	Water	1500 ml
Sand (0-2 mm)	9492 g	Sand (0-2 mm)	7120 g	Sand (0-2 mm)	7120 g
Gravel (2-8 mm)	14240 g	Gravel (2-8 mm)	10680 g	Gravel (2-8 mm)	10680 g
Zinc fluorosilicate	8,6 ml	Polypropylene fibers	66,8 g	Micro-silica	62,7 g
		Zinc fluorosilicate	8,6 ml	Zinc fluorosilicate	8,6 ml

Table 2. Physical properties of PP.

Length [mm]	Diameter [micron]	Density [g/cm ³]	Tensile strength [kN/mm ²]	Melting point [°C]
19	30,5	0,91	0,32-0,42	168

2.1. Examination of compressive strength

Examination of the compressive strength of concrete was carried in machine "Controls". Compressive strength testing was performed after 28 days of setting. The moist samples were dried and placed in a testing machine on a platen. Cubic samples were adjusted so that the load was applied perpendicularly to the direction of moulding. The increase in tension was between 0.2 to 1.0 MPa/s. The stress continued until destruction of the samples. The highest load to destruction was noted. The compressive strength was calculated from the formula:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

where: F – maximum destructive force [kN], A_c – cross-sectional area of the sample experiencing the compressive force [m²].

2.2. Examination of water tightness

Water resistance was tested on samples of the same dimensions as previously. The water at the surface of the sample had a diameter of 100 mm and the time to exhaust the water reservoir through penetration of the concrete was measured.

2.3. Examination of acceleration corrosion

The research into acceleration corrosion of concrete with both SC and various modifiers with SC was investigated using a 5% solution of hydrochloric acid and 15 % solution of road salt. The degree of corrosion was calculated on the basis of the difference in sample mass before and after immersion of the sample in a bath of the aggressive environment. Before re-weighing, samples were dried. Measurements were taken after 24 hours and 7 days. Solution road salt, used for research, included sodium chloride, sulphates, potassium ferrocyanide (K₄FeCn₆) (acting as an anti-agglomeration substance).

3. Results and discussion

3.1. Examination of compressive strength

Compressive strength values of the Sorel cement-based materials can be determined according to DIN EN 206-1 (PN-EN 206-1:2003 [19]) as shown in table 3 and figure 2:

Table 3. Results of Compressive strength tests (PSC-Pure Sorel's Cement, PPFSC-Sorel's Cement with addition of PP fibers, MSSC-Sorel's with addition of micro-silica).

Material	Sample Number	Destructive Force [kN]	Compressive strenght [MPa]
PSC	1	226,1	10,05
	2	215,50	9,58
	3	222,40	9,88
PPFSC	1	61,00	2,71
	2	57,70	2,56
	3	47,70	2,12
MSSC	1	232,56	10,8
	2	213,18	9,99
	3	234,71	10,9

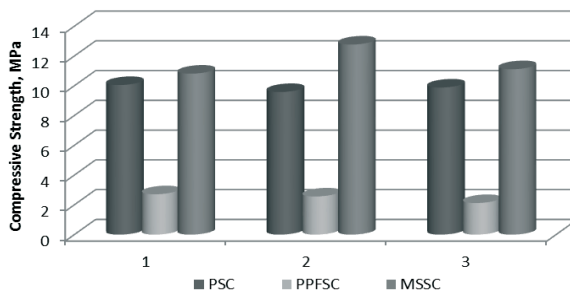


Fig. 2. Chart of compressive strengths vs. material composition (PSC-Pure Sorel's Cement, PPFSC-Sorel's Cement with addition of PP fibers, MSSC-Sorel's with addition of micro-silica).

The data shows that both addition of PP and micro-silica causes an increase in the compressive strength of the tested materials. The compressive strength of PSC, PPFSC and MSSC are respectively about 9 MPa, 10 MPa and 11 MPa. Modification of concrete by micro-silica causes an increase in compressive strength about 2 MPa. Particles of micro-silica may place themselves in the interstices of the concrete and react with particles of cement resulting in increased stability due to a formed crystalline skeleton [18].

3.2. Examination of water-tightness

The influence of modifiers on the water-tightness of Sorel cement-based materials is shown in table 4.

Table 4. Water penetration of Sorel cement based materials (PSC-Pure Sorel's Cement, PPFSC-Sorel's Cement with addition of PP fibers, MSSC-Sorel's with addition of micro-silica).

Material	Water Penetration [mm]
PSC	completely drained *
PPFSC	completely drained **
MSSC	completely drained **

(*sample after 1 day, **sample after 2 days)

The addition of PP and micro-silica to SC enhances the water-tightness of these concretes. Modification of the composition of SC causes prolongation of the time for penetration by water of all samples. The decrease in wettability of PPFSC is likely to be caused by the hydrophobic nature of the PP fibers. On the other hand, both the PP fibers and micro-silica may place themselves inside the pores of the concrete and, thus, decrease simple penetration of water.

3.3. Examination of acceleration corrosion

3.3.1. Corrosion in 5% solution of hydrochloric acid

Table 5 and figure 3 presents the result of accelerated corrosion tests of samples exposed to a solution of 5% HCl.

Table 5. Result of acid corrosion tests (5% HCl) (PSC-Pure Sorel's Cement, PPFSC-Sorel's Cement with addition of PP fibers, MSSC-Sorel's with addition of micro-silica).

Material	Sample number	Initial weight [g]	Weight after 24 h [g]	Weight Loss after 24 h [%]	Weight after 7 days [g]	Weight Loss after 7 days [%]
PSC	1	808,28	696,64	-13,81	695,57	-13,94
	2	792,43	702,48	-11,35	701,38	-11,49
	3	877,23	791,43	-9,78	790,30	-9,91
PPFSC	1	930,69	852,07	-8,45	851,50	-8,51
	2	770,74	700,61	-9,01	698,93	-9,32
	3	775,51	689,48	-11,09	687,62	-11,33
MSSC	1	762,30	656,41	-13,89	656,04	-13,96
	2	735,36	664,07	-9,69	643,93	-12,43
	3	746,27	661,84	-11,31	662,48	-11,23

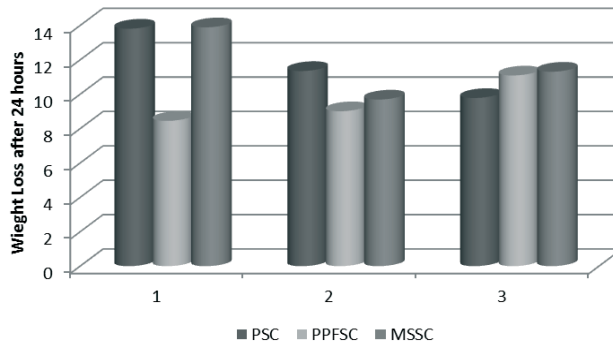


Fig. 3. Chart of changes in weight after exposure to solution of 5% HCl (PSC-Pure Sorel's Cement, PPFSC-Sorel's Cement with addition of PP fibers, MSSC-Sorel's with addition of micro-silica).

Addition of PP and micro-silica decrease the corrosion process in a 5% solution of HCl. In all cases addition of a modifier caused decrease weight loss in the sample mass after immersion in the corrosive solution. Addition of PP caused a decrease of approximately 6%, whereas the presence of micro-silica in the sample composition resulted in only a slight decrease in weight sample. It was observed that significant weight loss was seen within the first 24 hours of immersion while the following 6 days demonstrated small difference in weight of the sample. This phenomenon is caused by a decrease in the concentration of the 5% solution HCl with time.

3.3.2. Corrosion in 15% solution of road salt

Figure 4 and table 6 present data on samples of Sorel cement based materials in an environment of road salt and the resulting corrosion.

Table 6. Results of corrosion tests in a 15% solution of road salt (PSC-Pure Sorel's Cement, PPFSC-Sorel's Cement with addition of PP fibers, MSSC-Sorel's with addition of micro-silica).

Material	Sample number	Initial weight [g]	Weight after 24 h [g]	Weight loss after 24 h [%]	Weight after 7 days [g]	Weight loss after 7 days [%]
PSC	1	823,73	825,74	0,24	825,28	0,19
	2	822,05	822,88	0,10	823,08	0,12
	3	854,48	856,17	0,20	856,23	0,20
PPFSC	1	911,49	911,78	0,03	912,48	0,11
	2	846,18	847,64	0,17	848,50	0,27
	3	829,62	830,66	0,13	831,18	0,19
MSSC	1	715,69	719,34	0,51	723,04	1,03
	2	730,45	733,46	0,41	736,31	0,80
	3	760,46	762,83	0,31	766,00	0,73

Sodium chloride induced corrosion causes a decrease in durability and strength of concrete through loss of material due to chemical leaching. It also causes weight gain due to the penetration and build up of chloride salt crystals on the surface of the binder and in the pores of the material. In essence, in terms of mass, we have two competing mechanisms – mass loss through erosion of cement materials vs. mass gain from formation of interstitial crystals of NaCl

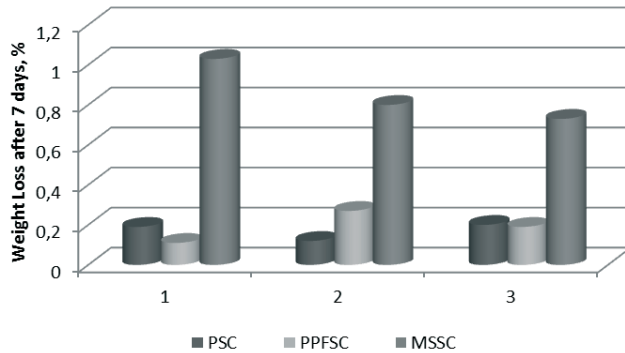


Fig. 4. Chart of mass change in samples exposed to 15% solution of road salt (PSC-Pure Sorel's Cement, PPFSC-Sorel's Cement with addition of PP fibers, MSSC-Sorel's with addition of micro-silica).

4. Conclusions

- The use of additives in the form of micro-silica and polypropylene fibers significantly alters the properties of magnesium oxychloride cement-based materials.
- Micro-silica added to Sorel cement confers new properties to the material strength and beneficially affects performance parameters of the material. The addition increases the compressive strength by 1.7 MPa being 17.5% of the 'pure' (no additive) material and reduces water absorption. The fine particles of micro-silica applied to the matrix target material fill the voids between the aggregates. They reduce the mixing water content in the binder and increase the density.
- The addition of PP significantly reduces shrinkage cracks and micro cracks.
- Studies of water-tightness confirmed that Sorel cement has poor water resistance. Both micro-silica and polypropylene fibers were shown to reduce water absorption and permeability of the material, the reduced penetration being likely to significantly limit corrosion. It is not recommended, however, to use more fiber than the determined optimum as use of large amounts of polypropylene fibers in order to make better use of waste did not yield positive results.
- The addition of PP causes decrease of acid corrosion.

Acknowledgements

We acknowledge support from Polish Ministry of Science and Higher Education within the statutory research number S/12/2015.

References

- 1 Li. Z., Chau C.K., *Influence of molar ratios on properties of magnesium oxychloride cement*. Cement and concrete research 37 (2007) 866-870.
- 2 Liu Z., Wang S, Huang J., Wei Z., Guan B., Fang J. *Experimental investigation on properties and microstructure of magnesium oxychloride cement prepared with caustic magnesite and dolomite*. Construction and Building Material 85(2015) 247-255.
- 3 Dehua D., Chanmei Z., *The formation mechanism of the hydrate phases in magnesium oxychloride cement*. Cement and Concrete research 29 (1999) 1365-1371.

- 4 Ved E.I., Zharow E.F., Van P. H. *Mechanism of magnesium oxychloride formations during the hardening of magnesium oxychloride cements.* (Russ) Zhurnal Prikladnoi Khimii 1976 (49) 2154.
- 5 Bilinski H., Matkovic B., Mazuravic C., Zunic T.A. *The formation of magnesium oxychloride phases in the system MgO-MgCl₂-H₂O and NaOH-MgCl₂-H₂O.* Journal of American Ceramic Society 1984 (67) 266.
- 6 Z. Zhenyu, D Changlu, Z. Quanchang, L. Bozhi, L. Weilin, *A study on the formation mechanism of 5 phase and 3 phase.* (Chinese) China Science (B) 1991 (1) 82.
- 7 Zhou Z., Chen H., Li Z., Li H. *Simulation of the properties of MgO-MgCl₂-H₂O system by thermodynamic method.* Cement and concrete research 68 (2015)105-111.
- 8 Li J., Li G., Yu Y. *The influence of compound additive on magnesium oxychloride cement/urban refuse floor tile.* Construction and building materials 22 (2008)521-525.
- 9 Deng D. *The mechanism for soluble phosphates to improve the water resistance of magnesium oxychloride cement.* Cement and concrete research 33 (2003) 1311-1317.
- 10 Tan Y., Liu Y., Grover L. *Effect of phosphoric acid on the properties of magnesium oxychloride cement as a biomaterial.* Cement and concrete research 56 (2014) 69-74.
- 11 Li Y., Yu H., Zheng L., Wen J., Wu Ch., Tan Y. *Compressive strength of fly ash magnesium oxychloride cement containing granite wastes.* Construction and building materials 38 (2013) 1-7.
- 12 Cifuentes H., Garcia F., Maeso O., Medlina F. *Influence of the properties fibres on the fracture behavior of low-, normal-, and high-strength FRC.* Construction and Building Materials 45 (2013) 130-137.
- 13 Jasiczak J., Mikołajczak P. *Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami.* politechnika Poznańska (2003).
- 14 Mąkosa J. *Nowa tendencja wykonywania betonów na bazie krzemionki.* Materiały budowlane 8 (1992).
- 15 El-Gamal S.M.A., Amin M.S., Ahmed M.A. *Removal of methyl orange and bromophenol blue dyes from aqueous solution using Sorel's cement nanoparticles.* Journal of Environmental Chemical Engineering 3 (2015) 1702-1712.
- 16 Hassan S.S.M, Awwad N.S., Aboterica A.H.A. *Removal of synthetic reactive dyes from textile wastewater by Sorel's cement.* Journal of Hazardous Materials 162 (2009) 994-999.
- 17 Awwad N.S., Daifullah A. A. M. *Preconcentration of U(VI) from aqueous solution after sorption using Sorel's Cement in dynamic mode.* Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 264, No. 3 (2005) 623-628.
- 18 PN-EN 12390-2, *Badania betonu - Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.*
- 19 PN-EN 206-1:2003, *Beton Cz. I Wymagania. Właściwości. Produkcja. Zgodność.*

Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa zabytków architektury drewnianej w procesie konserwatorskim – problemy i propozycja standaryzacji

Maciej Prarat, Ulrich Schaaf

*Zakład Konserwatorstwa Instytutu Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, e-mail: mprarat@umk.pl, u.schaaf@uni.torun.pl*

Streszczenie: W obecnych czasach inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa zabytków architektury wykonywana jest na bardzo zróżnicowanym poziomie. Dlatego też w artykule tym podjęta zostaje próba analizy przyczyn takiego stanu. W dalszej kolejności przedstawiona zostanie charakterystyka różnych metod pomiarowych, od ręcznego poprzez wykorzystanie tachimetrii i fotoplanu na skaningu laserowym kończąc. Omówione zostaną również podstawowe cele jakim ma służyć dokumentacja. Na tej podstawie w zakończeniu autorzy przedstawiają trójstopniową propozycję standaryzacji inwentaryzacji, w odniesieniu do skali, stopni dokładności oraz zawartości rysunkowej.

Słowa kluczowe: inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa, zabytki architektury drewnianej, architektura wiejska, standaryzacja dokumentacji konserwatorskiej, tachimetria, fotoplan, skanowanie laserowe

1. Wstęp

Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa jest podstawą służącą rozpoznaniu historii budowlanej zabytku architektury. W szerszym kontekście również całej historii architektury. Z praktycznego punktu widzenia jest ona podstawą opracowania projektu budowlanego i wykonawczego a w dalszej zaś części także kalkulacji, realizacji i rozliczenia prac budowlano-konserwatorskich [1, 2, 3].

Praktyka zawodowa autorów niniejszego tekstu pokazuje jednak, że jakość opracowywanej dokumentacji jest bardzo zróżnicowana. W dużej mierze zależy od wykształcenia i umiejętności zespołu wykonawczego. Często zdarzają się w nich niedociągnięcia i błędy. Z tego też względu przydatność niektórych inwentaryzacji dla celów badawczych i konserwatorskich jest w związku z tym bardzo ograniczona.

Okoliczności te skłoniły autorów do podjęcia tematu związanego z poziomem jakości inwentaryzacji pomiarowo-rysunkowej architektury drewnianej. Głównym celem tekstu jest analiza obecnej sytuacji, próba sformułowania głównych celów jakim powinny odpowiadać inwentaryzacje oraz propozycja jej standaryzacji.

Zalecenia wynikające z zaproponowanych trzech stopni inwentaryzacji powinny być niezależne od zróżnicowania samych zabytków, przyjętych metod pomiarowych, a także wykształcenia wykonawców.

Punkt ciężkości w propozycji standaryzacji spoczywa na zawartości rysunków inwentaryzacyjnych oraz na stopniu dokładności w zależności od skali. Kwestia metod pomiarowych, które zostaną przedstawione szkicowo w tekście, nie jest brana pod uwagę. Zależy ona bowiem od preferencji samych wykonawców (lub zlecniodawców). Nie poruszono także kwestii oznaczeń graficznych na rysunkach, ponieważ są one regulowane odpowied-

nimi normami [4]. Pominięto także zasady odwzorowania konstrukcji drewnianych, gdyż wynikają one częściowo z ogólnych zasad przedstawienia rysunkowego, częściowo ze szczegółowo opracowanych zaleceń, jakie np. dla konstrukcji dachowych opracował Jan Tajchman [5].

2. Najczęściej spotykane niedociągnięcia i błędy w inwentaryzacjach pomiarowo-rysunkowych architektury drewnianej i ich przyczyny

Najczęściej spotykane niedociągnięcia i błędy w dokumentacjach zostaną scharakteryzowane na kilku przykładach, lecz bez odesłania do konkretnych zabytków. Głównym celem niniejszego artykułu nie jest bowiem piętnowanie konkretnych wykonawców, lecz zwrócenie uwagi na sam problem oraz próba sformułowania głównych celów i propozycji standaryzacji. Niedociągnięcia i błędy wynikają w dużej mierze z nieprawidłowego rozpoznania obiektu, niewłaściwej metody pomiaru oraz nieodpowiedniego przedstawiania rysunkowego inwentaryzowanego zabytku.

Jako typowe przykłady nieprawidłowego rozpoznania obiektu można wymienić między innymi pewne inwentaryzacje architektury szkieletowej lub więźb dachowych, w których są przedstawione elementy konstrukcyjne, w rzeczywistości niewystępujące w danym obiekcie (np. w inwentaryzacji XIX-wiecznego kościoła o konstrukcji szkieletowej częściowo zapomniano o zastrzałach usztywniających ściany zewnętrzne). Czasem brakuje elementów, które realnie istnieją w obiekcie (np. w inwentaryzacji XVIII-wiecznego kościoła z dachem mansardowym brakuje w wiązarach słupów i zastrzałów). Nierzadko zdarza się także, że lokalizacja elementów konstrukcyjnych jest niewłaściwa (np. w inwentaryzacji XVII-wiecznego kościoła słupy główne, sięgające od podwaliny przez trzy kondygnacje do oczepu, są na poszczególnych rzutach różnie zlokalizowane). Niektóre inwentaryzacje opracowane na podstawie skaningu laserowego charakteryzują się kompletnym brakiem rozpoznania konstrukcji (np. chmura punktów z przekrojem XVIII-wiecznego kościoła szkieletowego oddany jako końcowa dokumentacja), co bardzo ogranicza, czy wręcz eliminuje ich przydatności w procesie konserwatorskim.

Jednym z głównych problemów pomiaru ręcznego jest sam proces mierzenia, przy którym nie uwzględnia się poligonów, przekątnych oraz poziomów porównawczych. Zbierane wymiary nie odzwierciedlają wtedy rzeczywistej struktury. Skutkiem takiego podejścia jest schematyczne przedstawienie rysunków, bez uwzględnienia zniekształceń i nierówności. Źle wykreślony rzut skutkować będzie błędami w całej dokumentacji, tj. kolejnych rzutach i przekrojach. Ostatecznie otrzymujemy też przekłamane wymiary.

Powszechnym błędem w przedstawieniu rysunkowym inwentaryzowanego zabytku jest niedostosowanie się do norm, dotyczących między innymi oznaczenia graficznego na rysunkach architektoniczno-budowlanych, jak w przypadku już wyżej wymienionej chmury punktów XVIII-wiecznego kościoła szkieletowego. Typowym niedociągnięciem w przedstawieniu rysunkowym jest także brak podstawowych wymiarów i kot wysokościowych.

Przeważnie zapomina się również, że integralną częścią dokumentacji pomiarowo-rysunkowej powinna być część tekstowa (m.in. z charakterystyką samego obiektu oraz opisem metod pomiarowych) oraz część fotograficzna z opisem zdjęć.

Przyczyny tych niedociągnięć i błędów w inwentaryzacjach pomiarowo-rysunkowych w dużym stopniu wynikają z obecnego ustawodawstwa. Prawo nakłada bowiem obowiązek przeprowadzenia między innymi badań architektonicznych i konserwatorskich, prac konserwatorsko-restauratorskich, nadzorów konserwatorskich oraz wykształcenia osób je wykonujących [6]. Mówi także o zakresie i formie dokumentacji projektowej [7]. Brak natomiast takich regulacji dla wykonania samej dokumentacji pomiarowo-rysunkowej.

Kolejną przyczyną jest brak odpowiedniego kształcenia w zakresie inwentaryzacji. Na kierunkach studiów wyższych zajmujących się ochroną zabytków ilość godzin poświęcona tym zagadnieniom jest na ogół niewielka.

Wśród przyczyn niedociągnięć i błędów należy także wymienić brak kontroli jakościowej inwentaryzacji pomiarowo-rysunkowej, ponieważ w praktyce dokumentacje są na ogół bezpośrednio przekazane zleceniodawcom, bez ich sprawdzania przez merytoryczny nadzór.

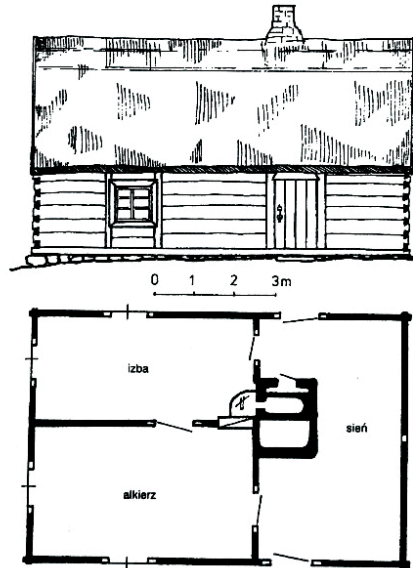
3. Główne cele i metody inwentaryzacji pomiarowo-rysunkowej architektury drewnianej

Prawidłowo dobrany stopień dokładności dokumentacji oraz jej zakres w głównej mierze zależy od celu, jakiemu służyć ma inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa. Do najważniejszych dla drewnianej architektury wiejskiej należy ewidencja zabytków, tj. podstawowe rozpoznanie terenowe zasobu. W wielu wypadkach stanowi ona jedyny trwały ślad po zabytkach, które bardzo szybko ulegają zniszczeniu. Inwentaryzacje architektury wiejskiej podejmowane były na szeroką skalę już w latach 30. XX w. przez studentów Politechniki Warszawskiej. W okresie powojennym działania te kontynuowano również poprzez zaangażowanie nowo tworzonych muzeów na wolnym powietrzu [8]. Podstawowe rozpoznanie zasobu terenowego wykonywano i wykonuje się również na polecenie Urzędów Ochrony Zabytków. Na terenie województwa kujawsko-pomorskiego tzw. zielone karty sporządzane były dla zabytków architektury wiejskiej już od końca lat 50 XX w. Należą do nich m.in. karty XVIII w. stodół, w których szkicowo zawarto również rzut przyziemia z wymiarowaniem, krótkim opisem i zdjęciem [9]. Nowsza dokumentacja, tzw. biała karta, musi już bezwzględnie zawierać rzut przyziemia. Instrukcja opracowywania pozostawia tu jednak wiele niejasności. Skala musi się mieścić pomiędzy 1–20 a 1–800, rysunek zaś ma być *wierny, nie odręczny*. W uzasadnionych wypadkach przewiduje się też przekroje, ukazujące rozwiązania konstrukcyjne [10]. W rzeczywistości, rysunki jako załączniki do kart, wykonywane są na bardzo różnym poziomie, głównie w skali 1–100, uwzględniając jedynie podstawowe wymiary.

Nieco bardziej szczegółowe dane muszą być zawarte przy wykorzystaniu inwentaryzacji w celach badawczych i konserwatorskich. W przypadku badań typologicznych, już najstarsza monografia poświęcona budownictwu wiejskiemu w głównej mierze bazowała na uproszczonych planach sytuacyjnych, rzutach przyziemia, przekrojach oraz elewacjach [11]. Schemat ten powielają również książki powojenne, zajmując się głównie problemami typologii [12]. Dopiero w ostatnich czasach zaczęto wykorzystywać bardziej szczegółowe rysunki z próbą rekonstrukcji faz budowlanych czy dokładnym rozwarstwieniem chronologicznym. Dotyczy to również analizy detalu architektonicznego czy osobno robionych widoków izometrycznych dla ukazania np. układów paleniskodymnych (il. 1) [13,14,15].

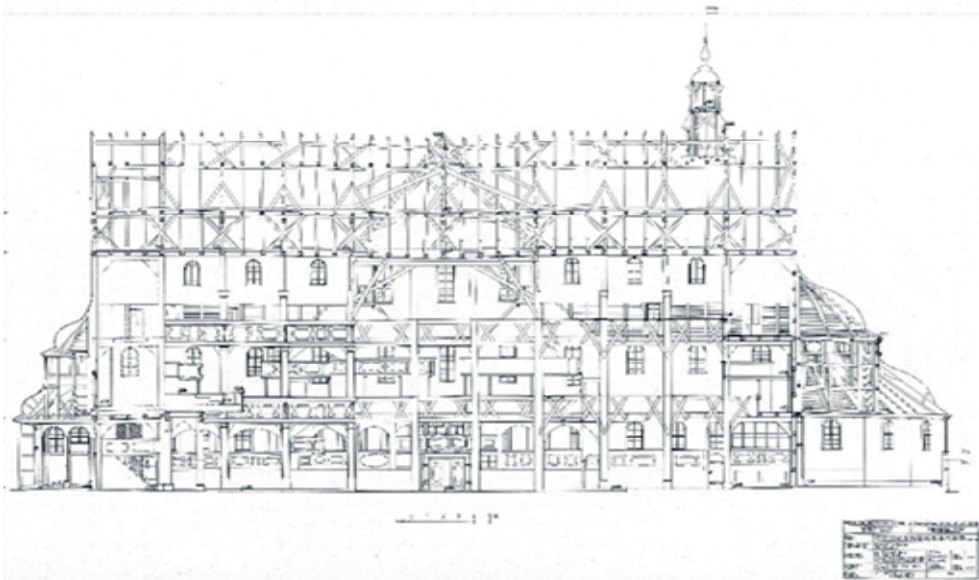
Bardziej rozbudowany cel badawczy wymaga więc już dokładniejszych rysunków, z rozrysowaną konstrukcją i podstawowymi odkształceniami. Ten stopień dokładności jest też przydatny podczas prac konserwatorskich, nieingerujących w układ nośny budynku. Na podstawie rysunków można już np. dokładnie obliczyć powierzchnię do prac budowlano-konserwatorskich.

Przykładem bardziej szczegółowej dokumentacji jest inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa szkieletowego kościoła w Świdnicy wykonana w skali 1–50 [16].



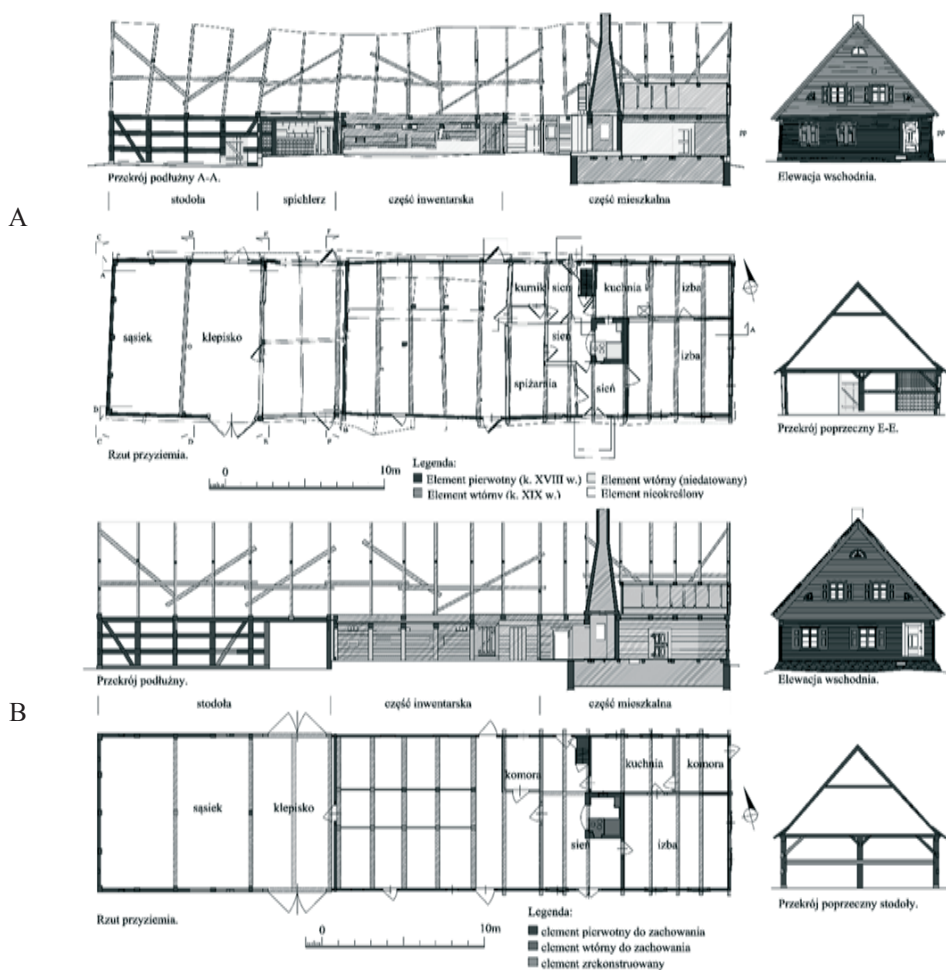
Il. 1. Przykłady uproszczonej inwentaryzacji wykorzystywanych w badaniach typologicznych architektury chłopskiej [13].

Posłużyła ona jako podstawa do badań historyczno-architektonicznych oraz zakrojonych prac konserwatorskich: analizy stanu zachowania, badań mykologicznych, obliczeń statycznych, projektu koncepcyjnego, budowlanego i wykonawczego (il. 2) [17].



Il. 2. Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa kościoła Pokoju w Świdnicy w skali 1–50, stanowiąca podstawę szczegółowych badań oraz prac konserwatorskich [16].

Rysunki w skali 1-50 lub 1-20 łączą się już z pogłębionymi badaniami i pracami konserwatorskimi. Mowa tu o kompleksowym remoncie budynku, jego translacji, kopii lub rekonstrukcji. Za przykład może tu posłużyć inwentaryzacja zagrody z Niedźwiedzia wykonana w skali 1-20 w ramach praktyk ze studentami kierunku Ochrona dóbr kultury, specjalność konserwatorstwo [18]. Budynek ten planowano przenieść na teren Ołędzkiego Parku Etnograficznego w Wielkiej Nieszawce. Pomiar został zebrany metodami tradycyjnymi, zaś rysunki powstały już bezpośrednio w oprogramowaniu CAD. Dokumentacja ta zawiera liczne przekroje poprzeczne, przekrój podłużny, wszystkie rzuty, elewacje oraz każdy występujący w budynku typ stolarki. Duży stopień dokładności wymagał już podstawowej analizy struktury budowlanej. Rozrysowane są już bowiem połączenia konstrukcyjne. Jako podkład została ona wykorzystana do wykonania szczegółowych badań architektonicznych, a dalej projektu koncepcyjnego i budowlanego (il. 3) [19]. Na podstawie tej dokumentacji zagroda została przeniesiona w 2014 r. (il. 4) Wnioski konserwatorskie założyły zachowanie formy z początku XX w., z przywróceniem pierwotnego układu przestrzennego z końca XVIII w.

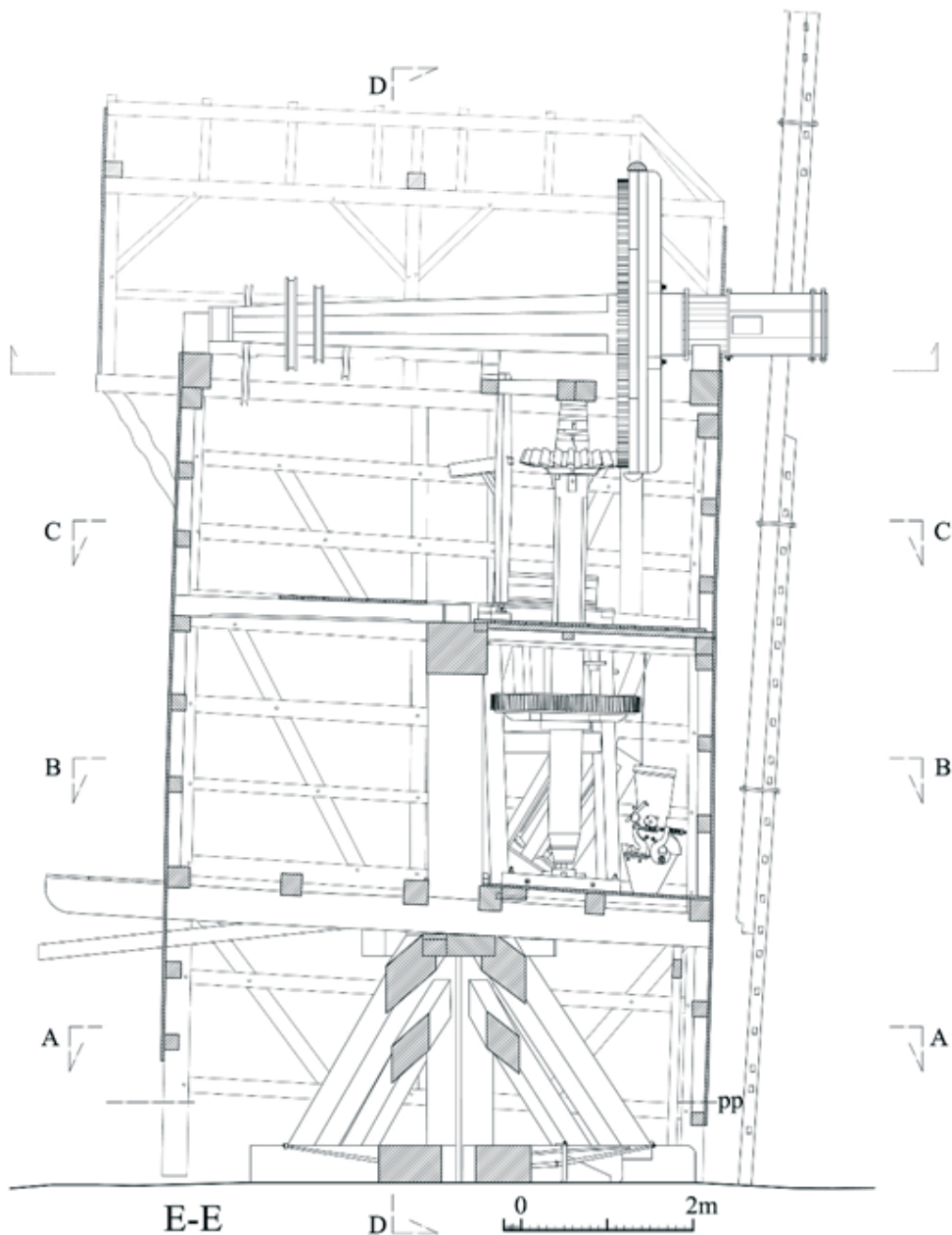


Il. 3. Badania architektoniczne zagrody z Niedźwiedzia. A – rozwarstwienie chronologiczne, B – konserwatorski projekt koncepcyjny [19].



Il. 4. Zagroda z Niedźwiedzia przed i po przeniesieniu na teren Olęderskiego Parku Etnograficznego w Wielkiej Nieszawce (fot. M. Prarat 2009 i 2015).

Innym przykładem szczegółowej dokumentacji w skali 1-20 jest inwentaryzacja wiatraka koźlaka z 2 połowy XIX w. [20]. Opracowanie to uwzględnia rzuty, przekroje i widoki w takiej ilości, aby pokazać wszystkie elementy, które muszą być oznaczone do przeniesienia. Dodatkowo, szkieletowe ściany były rozrysowane bez odeskowania ze złączami ciesielskimi. W przypadku tego specyficznego zabytku techniki, niezwykle ważne okazało się dokładne uwzględnienie odkształceń, potwierdzające przechyl całej kubatury w kierunku obciążonej strony z kołem palecznym. Podstawa zaś – sztember (główny słupek) pozostała nieruszona (il. 5). Dokumentacja ta była również punktem wyjścia do wykonania badań architektonicznych i prac wykonawczych [21].



Il. 5. Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa wiatrak koźłaka z Bierzgłowa. Przekrój poprzeczny (oprac. M. Prarat, 2009).

Kilka słów należy również poświęcić metodom, jakie stosowane są dziś na rynku usług. Do głównych należą: tradycyjny pomiar ręczny oraz pomiar mechaniczny z wykorzystaniem tachimetrii, fotogrametrii i skanera laserowego. Każda z nich ma wady i zalety.

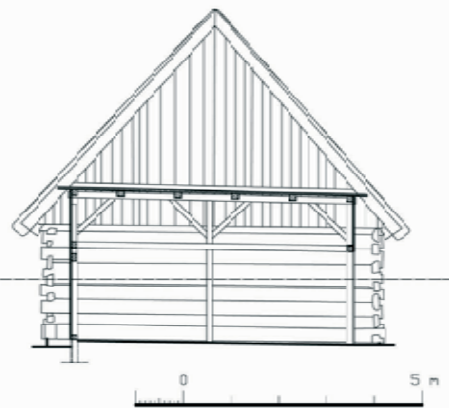
Przed przystąpieniem do wykonania pomiaru ręcznego niezbędne jest założenie poziomu porównawczego. Dzisiejsze laserowe, samopoziomujące urządzenia znaczenie

ułatwiają to zadanie. W dalszej kolejności wykorzystując poligon, lub przekątne zbierany jest pomiar do rzutu przyziemia. Po jego wykonaniu, powstają rzuty kolejnych kondygnacji, przekroje, na końcu zaś elewacje [22]. Do pomiaru wykorzystuje się dziś poza tradycyjnymi taśmami i miarkami, również bardzo przydatne dalmierze laserowe. Największym plusem tradycyjnego pomiaru jest możliwość szczegółowej i dokładnej analizy struktury budowlanej (il. 6).

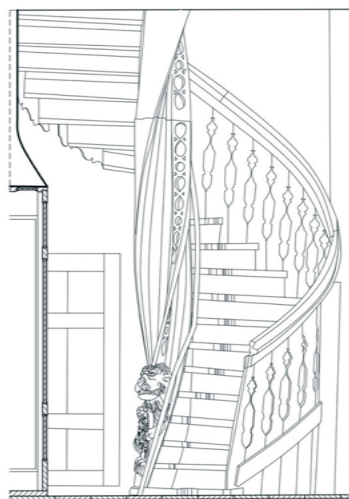
Kolejną metodą pomiaru jest tachimetria i fotogrametria [23]. Zastosowanie tachimetra wraz z odpowiednim oprogramowaniem znacznie przyspiesza pracę, zapewniając bardzo dużą dokładność mierzenia. Co ważne, jeszcze przed przystąpieniem do pracy określone muszą być dokładne cięcia, jakie mają być wykonane. Rysunki powstają bezpośrednio w CAD w tradycyjnej formie rzutów i przekrojów. Wykonywane są one na miejscu, co pozwala na natychmiastowe uzupełnienie fragmentów miejsc niedostępnych dla lasera i rozpoznanie struktury budowlanej. Możliwość zaś rektyfikacji zdjęć, pozwala na bardzo dokładny przerys widoków ścian, zależny od skali i dokładności samej dokumentacji.

Ostatnią metodą pomiarową, bardzo popularną w ostatnich czasach, jest skanowanie laserowe [23, 24]. Niewątpliwym plusem wykorzystania skanera jest szybkość zbierania pomiaru z bardzo dużą dokładnością a także możliwość późniejszego opracowania na podstawie chmury punktów wielu rzutów i przekrojów oraz wizualizacji zabytków. Należy jednak pamiętać, że wiązka lasera nie zawsze sięga w każde miejsce, czasem odbijając się od przypadkowych elementów. Pomiar mechaniczny nie pozwala również na dokładną analizę konstrukcji (np. szczegółów złączy ciesielskich lub obróbki elementów konstrukcyjnych).

Przedstawione powyżej przykłady pozwalają stwierdzić, że błędnie wykonana dokumentacja w dużej mierze nie wynika ze źle obranej metody, ale błędów popełnianych przez samych wykonawców (co związane jest z brakiem wiedzy). Jednocześnie należy wyraźnie zaznaczyć, że możliwość dłuższego przebywania na obiekcie, pozwala na dokładniejsze rozpoznanie i przedstawienie struktury budowlanej. Odnosi się to zwłaszcza do architektury drewnianej, będącej nierzadko przykładem bardzo skomplikowanych i nawarstwionych ustrojów konstrukcyjnych.



Il. 6. Ręczny pomiar zabytków podczas praktyk studentów Ochrony dóbr kultury, specjalność konserwatorstwo z inwentaryzacji pomiarowo-rysunkowej w skansenie toruńskim. A – podczas zbierania pomiaru (fot. M. Prarat, 2009), B – przekrój poprzeczny spichlerza.



Il. 7. Inwentaryzacja kręconych drewnianych schodów z końca XVII w. w kamienicy na ul. Mostowej 6 w Toruniu za pomocą tachimetrii i fotogrametrii (oprac. M. Prarat, M. Kumoworicz, M. Grabowska).

4. Propozycja standaryzacji

Mając na uwadze przedstawione powyżej czynniki, autorzy proponują, w zależności od celu, któremu ma służyć inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa, 3 stopnie dokładności. Skala dokładności, cel i zakres każdego stopnia są przedstawione w tabelkach. Mogą one służyć jako orientacja przy zleceniu i odbiorze inwentaryzacji pomiarowo-rysunkowej.

Należy wspomnieć, że oprócz rysunków, do których odnosi się propozycja standaryzacji, każda dokumentacja pomiarowo-rysunkowa powinna zawierać część tekstową i fotograficzną.

I stopień	
Skala: 1:100	Dokładność: +/- 10 cm
Cel:	Zakres:
<ul style="list-style-type: none"> ● ewidencja zabytków, ● badania typologiczne, ● planowanie i realizacja prostych prac (konserwatorskich) związanych ze stałym utrzymaniem zabytku (na przykład wymiana pokrycia dachowego, pomalowania elewacji). 	<ul style="list-style-type: none"> ● rzut przyziemia, przekrój podłużny, przekrój poprzeczny, elewacje, ● uproszczone przedstawienie bez uwzględnienia deformacji i uszkodzeń, ● uproszczone przedstawienie fundamentów, ścian, stropów i dachów, ● uproszczone przedstawienie lokalizacji i wielkości otworów (drzwiowych, okiennych itd.), ● uproszczone przedstawienie schodów, ● podanie wymiarów całego obiektu lub jego części, ● podanie wymiarów poszczególnych części (np. pomieszczeń i grubości ścian), ● podanie wymiarów szczegółowych (np. położenie otworów drzwiowych i okiennych), ● oznaczenie podstawowych wysokości poszczególnych kondygnacji i więźb.

II stopień	
Skala: 1:100 względnie 1:50	Dokładność: +/- 5 cm względnie +/- 2,5
Cel:	Zakres:
<ul style="list-style-type: none"> ● badania (m.in. architektoniczne, historyczne, konserwatorskie), ● opracowanie projektu budowlanego (konserwatorskiego, architektonicznego, konstrukcyjnego, instalacyjnego), ● realizacja prac konserwatorskich, restauratorskich, adaptacyjnych. 	<ul style="list-style-type: none"> ● rzuty wszystkich kondygnacji łącznie z widokiem więźby, istotne przekroje podłużne i poprzeczne, wszystkie elewacje (z rozróżnieniem elementów krojonych, widocznych i niewidocznych we wszystkich rysunkach), detale/szczegóły (skala 1:10), ● przedstawienie konstrukcji ścian, stropów i więźby w rzutach, przekrojach i elewacjach, ● przedstawienie widocznych deformacji (np. ugięcie stropów, wychylenie ścian), ● uproszczone przedstawienie elementów wykończeniowych (drzwi, okien, schodów, podłóg, boazerii itd.), ● podanie wymiarów całego obiektu lub jego części, ● podanie wymiarów poszczególnych części (np. pomieszczeń i grubości ścian), ● podanie wymiarów przekątnych pomieszczeń, ● podanie wymiarów szczegółowych (np. położenie otworów drzwiowych i okiennych, schodów), ● oznaczenie wysokości poszczególnych kondygnacji i więźb z uwzględnieniem odkształceń/deformacji, ● podanie przekrojów elementów konstrukcyjnych, ● numeracja kondygnacji i pomieszczeń.

III stopień	
Skala: 1:50 względnie 1:25 lub większa	Dokładność: +/- 2,5 cm względnie +/- 1 cm lub większa
Cel:	Zakres:
<ul style="list-style-type: none"> ● badania (m.in. architektoniczne, historyczne, konserwatorskie), ● opracowanie projektu budowlanego (konserwatorskiego, architektonicznego, konstrukcyjnego, instalacyjnego), ● realizacja prac konserwatorskich, restauratorskich, adaptacyjnych, translokacyjnych i rekonstrukcyjnych. 	<ul style="list-style-type: none"> ● rzuty wszystkich kondygnacji włącznie z widokiem więźby, istotne przekroje podłużne i poprzeczne, wszystkie elewacje (z rozróżnieniem elementów krojonych, widocznych i niewidocznych we wszystkich rysunkach), detale/szczegóły (skala 1:10 do 1:1), ● przedstawienie konstrukcji ścian, stropów i więźby w wszystkich rzutach, przekrojach i elewacjach, ● przedstawienie widocznych deformacji (np. ugięcie stropów, wychylenie ścian) ● przedstawienie konstrukcji elementów wykończeniowych (drzwi, okien, schodów, podłóg, boazerii itd.), ● przedstawienie widocznych szczegółów dotyczących charakterystyki materiałów oraz świadczących o zmianach budowlanych (np. faktura elementów budowlanych, zamurowane otwory, znaki ciesielskie, połączenia konstrukcyjne, wtórnie użyte elementy), ● przedstawienie widocznych uszkodzeń, ● podanie wymiarów całego obiektu lub jego części, ● podanie wymiarów poszczególnych części (np. pomieszczeń i grubości ścian), ● podanie wymiarów przekątnych pomieszczeń, ● podanie wymiarów szczegółowych (np. położenie otworów drzwiowych i okiennych, schodów), ● oznaczenie wysokości poszczególnych kondygnacji i więźb z uwzględnieniem odkształceń/deformacji, ● podanie przekrojów elementów konstrukcyjnych, ● numeracja kondygnacji i pomieszczeń.

5. Podsumowanie

Zaprezentowana w tym tekście propozycja standaryzacji dokumentacji pomiarowo-rysunkowej ma na celu próbę jej ujednoczenia, a przez to podniesienia jakości wykonywanych na rynku usług. Wynika to z potrzeby określenia zasad jej wykonania w zależności od celu, jakiemu ma służyć. Standaryzacja z jednej strony może być pomocna dla samych wykonawców, z drugiej dla zleceńodawców, stanowiąc podstawę odbioru dzieła.

Dlaczego więc inwentaryzacja to tak ważny element całego procesu konserwatorskiego, na jakość którego trzeba zwracać szczególną uwagę? Dokumentacja pomiarowo-rysunkowa stanowi bowiem podstawę: badań historyczno-architektonicznych zawierających rysunki analityczne, rysunkowe rozwarstwienie i rysunkową rekonstrukcję; badań mykologicznych; badań statycznych; badań stratygraficznych; projektu koncepcyjnego; projektu budowlanego; projektu wykonawczego a także projektu powykonawczego.

Literatura

- 1 Brykowska M., *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa 2003.
- 2 Cramer H., *Handbuch der Bauaufnahme. Aufmaß und Befund*, Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart, 1984.
- 3 Eckstein G., Gromer, J., *Empfehlungen für die Bauaufnahmen*. Landesamt Baden Württemberg, 1990.
- 4 *Rysunek budowlany. Oznaczenia graficzne na rysunkach architektoniczno-budowlanych*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2004.
- 5 Tajchman J., *Zasady odwzorowania konstrukcji dachowych w dokumentacjach konserwatorskich*, mps w zbiorach Zakładu Konserwatorstwa UMK.
- 6 Rozporządzenie Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego z dnia 27 lipca 2011 w sprawie prowadzenia prac konserwatorskich, prac restauratorskich, robót budowlanych, badań konserwatorskich, badań architektonicznych i innych działań przy zabytku wpisanych do rejestru zabytków oraz badań archeologicznych, Dz. U. nr 165, poz. 987.
- 7 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 2 września 2004 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznej wykonania i odbioru robót budowlanych oraz programu funkcjonalno-użytkowego, Dz. U. nr 202, poz. 2072.
- 8 Smoczkiewicz L., *Inwentaryzacje skrócone budownictwa ludowego. Zasady wykonywania i kontroli oraz ich znaczenie dla celów naukowych (na podstawie doświadczeń Muzeum Budownictwa Ludowego w Sanoku)*, Materiały Muzeum Budownictwa Ludowego w Sanoku, 1966, nr 3, s.30-42.
- 9 Frycz J., *Stodoła z Wielkiego Węlcza*, tzw. zielona karta, mps w zbiorach WUOZ Toruń, 1959 r.
- 10 Instrukcja opracowania kart ewidencyjnych zabytków nieruchomych wpisanych do rejestru zabytków, Warszawa 2011,
http://www.nid.pl/pl/Dla_specjalistow/Badania_i_dokumentacja/zabytki-nieruchome/instrukcje-wytyczne-zalecenia/14.07.2015.
- 11 Ciołek G., *Regionalizm w budownictwie wiejskim w Polsce*, Kraków 1984.
- 12 Tłoczek I., *Polskie budownictwo drewniane*, Warszawa 1980.
- 13 Święch J., *Architektura chłopska ziemi dobrzyńskiej od połowy XVIII do lat 40. XX w.*, Toruń 2002.
- 14 Święch J., *Chłopskie budownictwo zagrodowe Kujaw w XIX i pierwszej połowie XX w.*, Kraków 2012.
- 15 Prarat M., *Architektura chłopska Doliny Dolnej Wisły w latach 1772-1945 i jej problematyka konserwatorska*, Toruń 2012.
- 16 *Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa szkieletowego kościoła Pokoju w Świdnicy*, oprac. B. Zimnowoda-Krajewska, E. Okoń, M. Turzyniecka, Toruń 1991, mps w zbiorach Zakładu Konserwatorstwa UMK.

- 17 U. Schaaf, *Handwerkliche Sanierung einer Fachwerkkonstruktion – die Restaurierung der Friedenskirche in Schweidnitz*, [w:] *Reparaturen und statische Sicherungen an historischen Holzkonstruktionen* (Arbeitshefte des Landesamtes für Denkmalpflege Hessen, 3), Wiesbaden 2003, s. 69-80.
- 18 *Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa zagrody z Niedźwiedzia, koniec XVIII w.*, oprac. A. Fedak, T. Kalinowski, K. Lapczyk, J. Nowak pod kier. mgr H. Ratajczaka, Toruń 2008, mps w zbiorach Zakładu Konserwatorstwa UMK Toruń.
- 19 Schaaf U., Prarat M., *Wyniki badań historyczno – architektonicznych zagrody nr 4 w Niedźwiedziu, pow. Świecie – przyczynek do dyskusji nad metodyką badań drewnianej architektury wiejskiej dla celów konserwatorskich*. [w:] *Wobec zabytku... tradycje i perspektywy postaw. Studia dedykowane pamięci prof. Jerzego Remera*, red. E. Pilecka, J. Raczkowski, Toruń 2010, s. 277-295
- 20 *Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa wiatraka koźlaka z Bierzysłowa*, oprac. M. Prarat, 2009, mps w zbiorach parafii Bierzysłowo.
- 21 Prarat M., *O potrzebie badań ciesielskich konstrukcji młynów wietrznych na przykładzie prac konserwatorskich koźlaka z Bierzysłowa na ziemi chełmińskiej*. *Wiadomości Konserwatorskie* 29 (2011) 94-105
- 22 Ratajczak H., Kania, W. *Inwentaryzacja (dokumentacja) pomiarowo-rysunkowa dla obiektu zabytkowego*. Instrukcja wewnętrzna ZK IZK UMK, w zbiorach Zakładu Konserwatorstwa UMK, 2008.
- 23 Boroń A., Rzonca A., Wróbel A., *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*, *Rocznik Geomatyki*, t. V (8) (2007) 129-140.
- 24 Gołębniak A., *Rola nowych technik dokumentacyjno-pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo-konserwatorskich*, *Wiadomości konserwatorskie* 40 (2014) 83-93.

Measurement and drawing inventory of wooden architecture monuments in the renovation process – problems and proposal of standardization

Maciej Prarat, Ulrich Schaaf

*Zakład Konserwatorstwa Instytutu Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, e-mail: mprarat@umk.pl, u.schaaf@uni.torun.pl*

Abstract: Nowadays, measurement and drawing inventory of architecture monuments is prepared according to very different standards. Thus, in this paper the question about the reasons of such condition will be raised. Subsequently, different measurement methods will be presented, from the manual ones, then tachymetry and photoplan, up till laser scanning technique. There will also be discussed basic purposes at which the documentation should serve. Finally, in the conclusion, the authors will propose three-step standardization of the inventory due to the accuracy degrees, scale and drawing content.

Keywords: measurement and drawing inventory, wooden architecture monuments, rural architecture, standardization of renovation records, tachymetry, photoplan, laser scanner

Dostosowywanie obiektów mieszkalnych do potrzeb osób z dysfunkcją ruchu

Olga Skoczylas

*Samodzielną Pracownia Architektoniczna, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: o.skoczylas@pollub.pl*

Streszczenie: Według narodowego spisu powszechnego przeprowadzonego w 2002 roku, liczba osób niepełnosprawnych w Polsce to 5.456,7 tys., czyli 14,3 procent ludności kraju. Oznacza to, że co siódmy mieszkaniec jest osobą niepełnosprawną lub za taką się uważa. Polskie społeczeństwo dodatkowo, podobnie jak inne społeczeństwa w Europie, podlega nieodwracalnemu zjawisku, jakim jest starzenie się populacji. Wiąże się to ze znacznym wzrostem osób o ograniczonych możliwościach ruchowych. Badania nad ergonomią oraz rozwój techniki i materiałów w ostatnich latach posunęły się tak dalece, że w zasadzie zrewolucjonizowały wiele dziedzin życia. Czy podobnie jest w zakresie dostosowywania obiektów mieszkalnych do potrzeb osób niepełnosprawnych ruchowo, czy może nadal takie osoby spotykają się z przeszkodami w pomieszczeniach, w których codziennie przebywają? W artykule autorka przedstawia rozwiązania pomagające dostosować budynki mieszkalne do potrzeb osób z dysfunkcją ruchu, w szczególności osób poruszających się na wózkach inwalidzkich i osób starszych.

Słowa kluczowe: niepełnosprawni, osoby starsze, dostępność obiektu, ergonomia, bariery architektoniczne

1. Wprowadzenie

W Polsce w budynkach wielorodzinnych zlokalizowanych jest ponad 6 mln mieszkań. W budynkach wykonanych w technologii przemysłowej jest ich około 4 mln [1]. Dużą część z nich nie jest dostosowana do potrzeb osób niepełnosprawnych, a według narodowego spisu powszechnego [2] przeprowadzonego w 2002 roku, liczba osób niepełnosprawnych w Polsce to 5456700, czyli 14,3 procent ludności kraju. Oznacza to, że co siódmy mieszkaniec jest osobą niepełnosprawną lub za taką się uważa. Polskie społeczeństwo dodatkowo, podobnie jak inne społeczeństwa w Europie, podlega nieodwracalnemu zjawisku, jakim jest starzenie się populacji. Wiąże się to ze znacznym wzrostem osób o ograniczonych możliwościach ruchowych w przyszłych latach i konieczności dostosowania mieszkań do ich potrzeb.

2. Przepisy

Szczegółowe przepisy regulujące dostosowanie budynków do potrzeb osób niepełnosprawnych znajdują się w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690 z 2002 r. z późn. zm.) [3]. Część z nich odnosi się także do budynków zamieszkania wielorodzinnego i mieszkań w tych budynkach. Nie ma przepisów, które nakazywałyby lub regulowały dostosowywanie budynków jednorodzinnych. Niżej zostały przytoczone niektóre z przepisów.

W rozdziale 2 działu II – dojścia i dojazdy w paragrafie 16 ustawodawca przykazuje, by do wejść do budynku mieszkalnego wielorodzinnego były doprowadzone dojścia i dojazdy, utwardzone dojścia o szerokości minimalnej 1,5 m, przy czym co najmniej jedno z tych dojść powinno zapewniać osobom niepełnosprawnym dostęp do całego budynku lub tych jego części, z których osoby te mogą korzystać.

Dział III, rozdział 3 dotyczy wejść do budynków i mieszkań. Paragraf 61 i 62 odnoszą się do wymiarów i kształtu drzwi wejściowych do budynku i do mieszkań. Położenie drzwi wejściowych do budynku oraz kształt i wymiary pomieszczeń wejściowych powinny umożliwiać dogodny warunki ruchu, w tym również osobom niepełno-sprawnym. Drzwi wejściowe do budynku i ogólnodostępnych pomieszczeń użytkowych oraz do mieszkań powinny mieć w świetle ościeżnicy co najmniej: szerokość 0,9 m i wysokość 2 m. W przypadku zastosowania drzwi zewnętrznych dwuskrzydłowych szerokość skrzydła głównego nie może być mniejsza niż 0,9 m. W wejściach do budynku i ogólnodostępnych pomieszczeń użytkowych mogą być zastosowane drzwi obrotowe lub wahadłowe, pod warunkiem usytuowania przy nich drzwi rozwieranych lub rozsuwanych, przystosowanych do ruchu osób niepełnosprawnych. Maksymalna wysokość progu przy drzwiach nie może przekraczać 2 cm.

Rozdział 7 działu III dookreśla szczególne wymagania dotyczące mieszkań w budynkach wielorodzinnych. W paragrafie 95 uchwalono, że kształt i wymiary przedpokoju powinny umożliwiać przeniesienie chorego na noszach oraz wykonanie manewru wózkiem inwalidzkim w miejscach zmiany kierunku ruchu. Oznacza to, że powinna być zostawiona pusta przestrzeń o minimalnym wymiarze 1,5 m x 1,5 m.

Zgodnie z przepisami zawartymi w rozdziale 9 działu IV do każdego mieszkania w budynkach wyposażonych w dźwigi (nie tylko w części dostępnej dla osób niepełnosprawnych, jak to jest określone w § 16) powinno dać się dojechać windą dostosowaną do osób niepełnosprawnych (§ 193. 2. Co najmniej jeden z dźwigów służących komunikacji ogólnej w budynku z pomieszczeniami przeznaczonymi na pobyt ludzi, a także w każdej wydzielonej w pionie, odrębnej części (segmentie) takiego budynku, powinien być przystosowany do przewozu mebli, chorych na noszach i osób niepełnosprawnych.). Minister Infrastruktury w kolejnym podpunkcie (§ 193. 2a.) definiuje wymiary kabiny dźwigu osobowego dostępnej dla osób niepełnosprawnych. Jej szerokość powinna mieć co najmniej 1,1 m i długość 1,4 m, poręcz na wysokości 0,9 m oraz tablicę przyzywową na wysokości od 0,8 m do 1,2 m w odległości nie mniejszej niż 0,5 m od naroża kabiny z dodatkowym oznakowaniem dla osób niewidomych i informacją głosową.

3. Dostęp do budynku

Duża część istniejących budynków wielorodzinnych jest nieprzystosowana do użytku przez osoby niepełnosprawne, zwłaszcza poruszające się na wózkach inwalidzkich. Dotyczy to w szczególności budynków wybudowanych w technologii przemysłowej.

Budynki do 5 kondygnacji według obowiązującego prawa nie muszą być wyposażone w windy. W takim wypadku najczęściej żadne z mieszkań nie jest dostępne dla osób z dysfunkcją ruchu.

Wyższe budynki wyposażone w dźwig nie zawsze dają rozwiązanie tego problemu. Spotkać można windy dostępne dopiero od półpiętra lub piętra, gdzie, by dotrzeć do niej, należy pokonać kilka lub kilkanaście schodów. Jest to duże utrudnienie dla osób poruszających się o kulach, starszych czy matek z małymi dziećmi, a dla osób na wózkach to bariera nie dająca się samodzielnie pokonać. Kolejnym rodzajem wind, które nie rozwiązują problemu są windy jeżdżące na tzw. „półpiętra”. Choć zwykle są już one dostępne

od poziomu wejścia do budynku, to później pokonanie połowy kondygnacji po schodach może być prawdziwą udręką. Trochę lepiej sytuacja wygląda, gdy windy zatrzymują się co drugą kondygnację (pod warunkiem, że są dostępne od parteru budynku). W takim wypadku osoby poruszające się na wózkach inwalidzkich mogą mieć dostęp do połowy mieszkań w budynku. Jest to o tyle dobre, że pozwala im to na bardziej swobodny wybór mieszkania, a nie ograniczenie się tylko do kupna tego na parterze.

Nawet, gdy w budynku jest winda dostępna od parteru i zatrzymująca się na każdej kondygnacji, to na osoby poruszające się na wózkach może czekać jeszcze jedna pułapka. Winda może być zwyczajnie zbyt mała, by taka osoba mogła do niej wjechać.

Czasem możliwym rozwiązaniem jest wymiana wind w istniejącym szybie na takie, które będą się zatrzymywać na każdej kondygnacji i będą dostępne od parteru. Jednak gdy nie ma takiej sposobności, można dostawić dźwig na zewnątrz budynku, a miejsce po istniejących windach zagospodarować jako zsyp. Można także wstawić windy w miejscu biegu, a do budynku dostawić nową klatkę schodową [1]. Te rozwiązania są kosztowne i wymagają znacznej ingerencji w wygląd budynku. W przypadku, gdy winda dojeżdża na każdą kondygnację, ale nie jest dostępna bezpośrednio z poziomu wejścia do budynku, można zainstalować platformę schodową, która pomoże dostać się na poziom wejścia do windy. Pomocą w dostaniu się do mieszkań położonych na niższych kondygnacjach są podnośniki zewnętrzne dostawiane np. do balkonów.

Kolejnym, a w zasadzie pierwszym problemem jest samo dojście (a w zasadzie dojazd) do budynku. Nierzadko ze względu na ukształtowanie terenu budynki usytuowane są na wzniesieniu w stosunku do chodnika i, by dotrzeć do klatki, należy pokonać kilkadziesiąt centymetrów a nawet kilka metrów. Jeżeli jest to różnica kilku schodów, to najczęściej obok znajduje się podjazd niwelujący tę wysokość. Gdy jest ona większa długość pochylni wydłużyłaby się znacząco i często zarządcy nieruchomości nie wykonują jej, w „zamian” wyznaczając okrężną, dużo dłuższą drogę, która umożliwi osobom niepełnosprawnym dojazd do klatki.



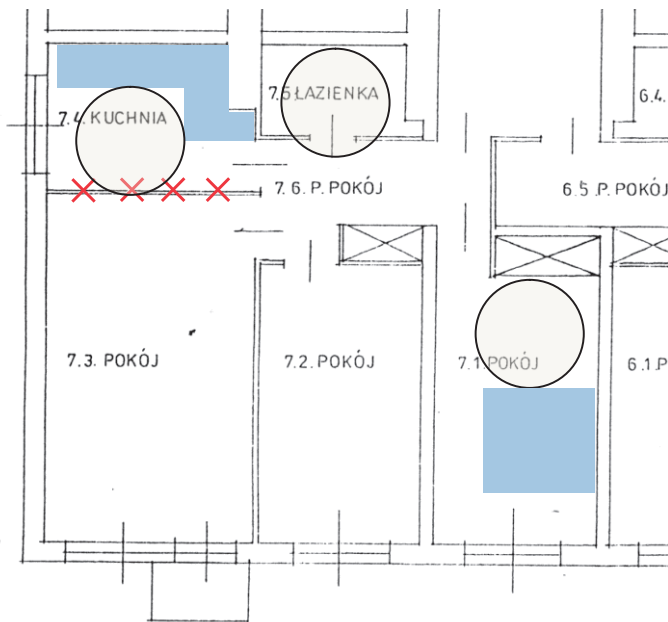
Rys. 1. Podnośnik zewnętrzny pozwalający mieszkańcowi dostać się do własnego mieszkania Luck, Ukraina (fotografia własna, 2014r.)

4. Dostęp do mieszkań

Po dostaniu się do mieszkania osoba poruszająca się na wózku inwalidzkim napotyka na kolejne problemy. Przedpokoje w mieszkaniach są małe i nie można w nich manewrować wózkiem, nawet by tylko otworzyć drzwi.

Także pomieszczenia są małe. W blokach wybudowanych w technologii uprzemysłowanej najczęściej są bardzo małe kuchnie i łazienki. Dla przykładu autorka posługuje się mieszkaniem zlokalizowanym w bloku wykonanym w technologii wielkoblokowej w Lipsku (województwo mazowieckie). Na rysunku 2 przedstawiono rozkład trzypokojowego mieszkania i możliwości wpisania (lub ich brak) w wolną przestrzeń koła o średnicy 1,5 m, który pozwoli na swobodne manewrowanie wózkiem.

Pokoje są na tyle duże, że nawet po wstawieniu szafy i łóżka dwuosobowego (na przykładzie 7.1 POKÓJ), zostaje odpowiednia ilość miejsca, która pozwoli na korzystanie zarówno z łóżka jak i z szafy. Kuchnia po ustawieniu mebli w jednym ciągu jest minimalnie zbyt wąska. Tu problemem są także za wąskie drzwi, w których nie zmieści się wózek. Rozwiązaniem w tym przypadku jest wyburzenie ścianki działowej i połączenie kuchni z pokojem. Jak widać na rysunku łazienka jest zbyt mała, nawet bez wstawiania sprzętów, by mogła z niej korzystać osoba poruszająca się na wózku.



Rys. 2. Próba dostosowania mieszkania w bloku wykonanym w technologii wielkoblokowej (opracowanie własne)

Gdy w mieszkaniu żyją osoba na wózku i osoba bez ograniczeń ruchowych należy każdej z nich zapewnić możliwie największy komfort korzystania ze sprzętów domowych. Jest to ważne zwłaszcza w kuchniach i łazienkach.

Drzwi do łazienki powinny otwierać się szerzej niż 90°, a najlepiej wykładać się na ścianę. Miska ustępowa dla osoby niepełnosprawnej powinna być zawieszona wyżej niż dla sprawnego mieszkańca. Na rynku dostępne są nakładki, które pozwalają zniwelować ten problem.

Prawie tak samo łatwo jest rozwiązać kwestię prysznica. Jeżeli brodzik jest wpuszczony w posadzkę wystarczy zamontować do ściany składane siedzisko. Gdy w łazience jest wanna lub brodzik jest wyższy można je wymienić i w zamian ukształtować spadki podłogi w kierunku odpływu. Oczywiście łazienkę należy wyposażyć w pochwytty w odpowiednich miejscach i na określonych wysokościach.

Konieczna może być wymiana umywalki na szerszą niż standardowa, podobnie lustro, które powinno być pochylone. Ważna w łazience jest antypoślizgowa podłoga zapewniająca bezpieczeństwo ruchu. Gdy niemożliwa (np. ze względów finansowych) jest wymiana posadzki można zastosować maty antypoślizgowe.

W kuchni główną kwestią jest ustawienie wysokości szafek i blatu roboczego. Osobie o pełnej sprawności najwygodniej pracuje się na wysokości 80–90 cm, a osobie siedzącej na wózku 70–80 cm, dlatego wysokość blatu najlepiej jest ustawić na 80 cm. Należy pamiętać o zostawieniu pustego miejsca do wjechania wózkami pod blat roboczy. Można zastosować też wysuwany blat, dzięki czemu w kuchni będzie więcej miejsca do przechowywania. Ze względu na zakres ruchu osoby na wózku w pionie (maksymalnie do 150 cm), szafki wiszące nie powinny być umieszczone zbyt wysoko. Dolna półka tej szafki może być na wysokości 105 cm. Dla osoby stojącej jest to niewygodne, dlatego w mieszkaniu można zamontować szafki opuszczane. Gdy z kuchni korzysta osoba sprawna znajdują się one na standardowej wysokości, a gdy niepełnosprawna wystarczy opuścić szafki, by bez ograniczeń mogła z nich skorzystać.

Zakres ruchu ograniczony jest też od dołu. Osoba na wózku wychylając się, może sięgnąć do 30 cm nad podłogą, a komfort ruchu to nie mniej niż 40 cm. Dlatego też sprzęty takie jak lodówka, zmywarka czy piekarnik nie powinny być stawiane na poziomie podłogi, tylko wyniesione na wysokość min. 30 cm. To samo zalecenie dotyczy szuflad.

5. Podsumowanie

Stosunkowo łatwo można dostosować odpowiednio duże mieszkanie, by komfortowo korzystały z niego osoba pełnosprawna, poruszająca się na wózku i starsza. Jednak gdy mieszkanie jest zbyt małe wymaga to bardzo dużych nakładów finansowych lub wręcz jest to niewykonalne. Dotyczy to zwłaszcza wąskich przedpokoi, ciasnych kuchni i małych łazienek.

Trudniejsze i bardziej kosztowne jest dostosowanie całego budynku i zapewnienie osobie na wózku możliwości dotarcia na każdą kondygnację. Może się to wiązać z dużą ingerencją w budynek i dostawieniem windy zewnętrznej.

W związku ze starzeniem się społeczeństwa powinno się już na etapie projektowania budynków myśleć o potrzebach osób z ograniczeniami ruchowymi, by w przyszłości szybko móc dostosować mieszkanie i by każdy miał nieograniczony barierami architektonicznymi dostęp do budynku.

Literatura

- 1 Ostańska A. *Podstawy metodologii tworzenia programów rewitalizacji dużych osiedli mieszkaniowych wzniesionych w technologii uprzemysłowionej na przykładzie osiedla im. St. Moniuszki w Lublinie*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009.
- 2 GUS, Departament Badań Demograficznych i Rynku Pracy. *Prognoza ludności na lata 2014-2050*. Publikacja dostępna na <http://www.stat.gov.pl/>.
- 3 Dz. U. Nr 75, poz. 690 z 2002 r. z późn. zm., Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

- 4 Budny J. *Jak dostosować budynek*. publikacja dostępna na <http://www.niepelnosprawni.pl/>.
- 5 Nowak E. *Mieszkanie dostępne dla osób z dysfunkcją narządu ruchu*. Stowarzyszenie Przyjaciół Integracji www.integracja.org.
- 6 Kowalski K. *Projektowanie bez barier – wytyczne*. Stowarzyszenie Przyjaciół Integracji www.integracja.org.

Customizing residential buildings for people with dysfunction of motion

Olga Skoczylas

*Independent Architectural Design Studio, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: o.skoczylas@pollub.pl*

Abstract: According to the national census conducted in 2002, the number of people with disabilities in Poland is 5456.7 thous., PONAD 14 percent of the population of the country. This means that every seventh citizen is a person with a disability or for such a thought. Polish society, in addition, like other societies in Europe, subject to irreversible phenomenon of an aging population. This is related to a significant increase in people with reduced mobility. Research on ergonomics and the development of techniques and materials in recent years has gone so far that basically revolutionized many areas of life. Is it the same in adapt to the needs of residential buildings to people with reduced mobility? Does such persons may still face impediments in areas where every day they live? In the article the author presents solutions that help adapt to the needs of residential buildings by persons with reduced traffic, especially for wheelchair access and the elderly.

Keywords: the disabled, the elderly, the availability of the object, ergonomics, architectural barriers.

Analiza rozwoju spękań klastrowych w zaczynie cementowym modyfikowanym mikrokrzemionką

Maciej Szelaż, Stanisław Fic

*Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: maciej.szelaż@pollub.pl, s.fic@pollub.pl*

Streszczenie: W artykule opisano przebieg badań nad możliwością zastosowania komputerowych technik analizy obrazu do oceny struktury spękań klastrowych na powierzchni modyfikowanych zaczynów cementowych. Wykonano 4 serie próbek, na dwóch cementach portlandzkich (CEM I 42,5R oraz CEM I 52,5R). Dodatkowo dwie serie zawierały mikrokrzemionkę jako substytut 10% zawartości cementu. Spękania próbek zostały uzyskane na drodze nagłego ich obciążenia temperaturą wynoszącą 250°C. Obraz spękanej powierzchni został uzyskany na drodze skanowania w rozdzielczości 2400 DPI, a do obróbki cyfrowej i pomiarów zastosowano program ImageJ v. 1.46r. Do opisu struktury spękań zaproponowano dwa parametry: średnia powierzchnia klastra (\bar{A}) i średni obwód klastra (\bar{L}). Celem pracy jest odniesienie uzyskanych z analizy obrazu parametrów stereologicznych do wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie badanych próbek. Dodatkowo rozpatrując strukturę zaczynu cementowego jako system dyspersyjny opisano proces tworzenia się struktur klastrowych, które transformując pod wpływem obciążeń zewnętrznych wpływają na ostateczne właściwości materiału kompozytowego.

Słowa kluczowe: analiza obrazu, zaczyn cementowy, spękania klastrowe, mikrokrzemionka, podwyższona temperatura

1. Wprowadzenie

Oddziaływanie podwyższonej temperatury wpływa niekorzystnie na pracę konstrukcji budowlanych poprzez zmianę parametrów fizyko-mechanicznych nagrzanego materiału. Skutkuje to wystąpieniem w materiale naprężeń i odkształceń objętościowych. Zachodzące transformacje i reakcje wewnątrz wielofazowej struktury kompozytu cementowego powodują jego postępującą degradację wraz ze wzrostem oddziaływującej temperatury. W pracy analizie poddano zaczyn cementowy, który jest dwufazową mieszaniną cementu z wodą wraz z ewentualnymi dodatkami. Woda powoduje wiązanie spoiwa cementowego, w funkcji czasu twardniejąc tworzy trwałą strukturę zdolną do przenoszenia obciążeń eksploatacyjnych [1].

Reakcja matrycy cementowej na podwyższone temperatury jest złożona co wynika ze zróżnicowania chemicznego matrycy oraz występowania wielu poziomów niejednorodności strukturalnej [2]. Zmiany w składzie chemicznym i mikrostrukturze stwardniałego zaczynu cementowego pojawiają się stopniowo i w sposób ciągły od temperatury pokojowej aż do 1000°C [3, 4, 5]. Początkowo wraz ze wzrostem temperatury następuje stopniowe odparowanie wilgoci (woda wolna). Całkowite usunięcie wody niezwiązanej następuje w 105°C pod warunkiem wystarczająco długiej ekspozycji materiału na podwyższoną temperaturę. Od 105°C woda silnie związana chemicznie i fizycznie (w tym woda zawarta w produktach

hydratacji) zaczyna być usuwana z matrycy cementowej na skutek rozpadu i dehydratacji poszczególnych faz. Początkowo w temperaturze pomiędzy 150 – 180°C stabilność termiczną traci żel tobermorytowy [5]. W zakresie temperatur pomiędzy 200 – 400°C rozpoczyna się powolne, a potem szybko wzrastające oddawanie wody półzwiązanej (kapilarna, żelowa). Dekompozycja portlandytu ($\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$) zaczyna występować najsilniej w temperaturze pomiędzy 450 – 550°C [6, 7]. W temperaturze 600 – 700°C następuje rozpad fazy CSH i formacja β -C2S i β -CS [8, 9]. Jednocześnie rozpoczyna się proces dekarbonizacji spoiwa cementowego ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Postępujący rozkład kryształów cementowych pociąga za sobą spadek spójności materiału co skutkuje rozpadem zaczynu cementowego [10].

W makro- i mikroskali efektem przedstawionych wyżej procesów jest powstawanie rys na powierzchni i wewnątrz materiału [11, 12]. Degradacja materiału cementowego nie zależy tylko od wartości temperatury na jaką ekspozycyjny jest element, ale też od kinetyki nagrzewu. Prawdopodobieństwo wystąpienia powierzchniowych defektów struktury jest dużo większe w przypadku nagłego obciążenia próbki wysoką temperaturą (szok termiczny), niż w momencie gdy temperatura narasta w sposób stopniowy aż do określonej wartości [1, 13]. W przypadku betonu spękania w głównej mierze są spowodowane różną odkształcalnością termiczną kruszywa i matrycy cementowej oraz naprężeniami powstałymi w wyniku gradientu temperatur pomiędzy powierzchnią zewnętrzną a wewnętrzną materiału [14, 15]. Dodatkowo wzrastające w porach ciśnienie pary wodnej powoduje w nano- i mikrostrukturze przekroczenie lokalnej wytrzymałości na rozciąganie zaczynu cementowego co skutkuje jego postępującą degradacją.

W poniższym artykule przeanalizowano stopień spękań klastrowych powierzchni modyfikowanych zaczynów cementowych (bez i z dodatkiem mikrokrzemionki) powstałych w wyniku nagłej ekspozycji próbek na temperaturę wynoszącą 250°C. Ocenę degradacji struktury powierzchniowej wykonano z wykorzystaniem metod stereologicznej analizy obrazu, wspomaganą oprogramowaniem komputerowym. Celem artykułu jest odniesienie zmierzonych parametrów ilościowego opisu spękań do parametrów mechanicznych badanych kompozytów oraz podjęcie próby wyjaśnienia procesu organizacji powierzchniowej struktury spękań w zależności od miąższości i składu chemicznego cementu.

Dodatek mikrokrzemionki powoduje poprawę właściwości mechanicznych kompozytów na bazie cementu w przypadku narażenia na oddziaływanie podwyższonych temperatur [16, 17]. Szczegółowy opis dotychczas występującego zastosowania analizy obrazu w inżynierii materiałów budowlanych można znaleźć w pracy [18]. Stereologiczne badania ilościowej charakterystyki struktury cementowych materiałów wiążących na różnych poziomach strukturalnych w dotychczas przeprowadzanych pracach badawczych dotyczą pomiarów porowatości oraz rozkładu kruszywa w matrycy cementowej [15, 19, 20, 21]. Podejmowano również próby analizy spękań struktury kompozytów cementowych [22, 23, 24, 25, 26, 27, 28].

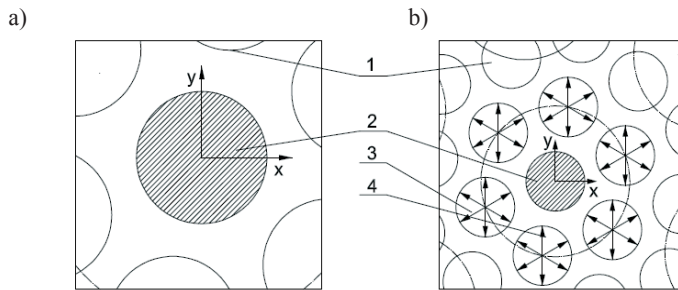
2. Definicja klastra i model rozwoju struktur klastrowych

Przez klastery należy rozumieć związek cząsteczek, które tworzą wspólną sieć powiązań. Indywidualne właściwości każdej cząsteczki są transformowane w integralne właściwości związku. Klastry charakteryzują się kształtem, wymiarami i właściwościami fizyko-mechanicznymi [2]. W makroskali klastery rozpatrzono jako obszar na powierzchni próbki ograniczony rysami, bądź rysami i krawędzią próbki. Przykładowy obraz badanej próbki wraz z podziałem na klastry został pokazany na Rys. 3b.

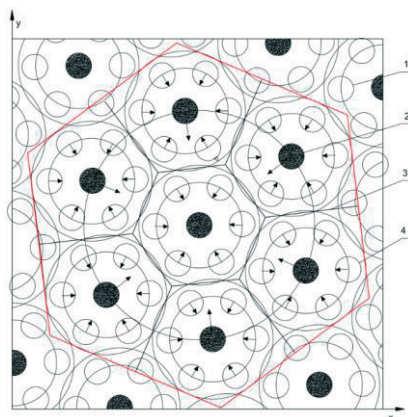
W artykule zaczyn cementowy traktowano jako system dyspersyjny, gdzie fazą dyspergującą jest woda a fazą rozproszoną jest cement. Oddziaływanie sił powierzchniowych w systemach dyspersyjnych jest związane ze zjawiskami fizycznymi nieskompensowanych sił molekularnych na granicach rozdziału pomiędzy fazami. W przypadku obecności wody wokół cząsteczek jako fazy stałej pomiędzy nimi pojawiają się siły kapilarne. Następnie tworzą się „nanoblony” na cząsteczkach z otaczającego płynu, które charakteryzują się parametrem zwilżenia (l), krzywizną powierzchni (r) oraz napięciem powierzchniowym (σ) na granicy rozdziału faz. W wyniku zmiany ciśnienia środowiska i płynu (ΔP – ciśnienie Laplace’a) i pojawienia się siły kapilarnej (F_k) można ją ilościowo obliczyć za pomocą równania (1). W systemach dyspersyjnych siły kapilarne powstałe na skutek zjawisk fizycznych (głównie gradientu ciśnienia), w znacznym stopniu decydują o ich właściwościach fizycznych i mechanicznych. Model systemu dyspersyjnego i tworzenia struktury klastrowej został przedstawiony na Rys. 1. Przedstawione zjawisko zostało szerzej omówione w pracy [2].

$$F_k = \Delta P S_o \sigma l \quad (1)$$

gdzie: S_o – powierzchnia zwilżenia



Rys. 1. Dwuwymiarowy model systemu dyspersyjnego z jedną (a) i wieloma cząsteczkami tworzącymi strukturę klastrową (b) [2], gdzie: 1 – cząsteczki otaczające; 2 – cząsteczki, które tworzą strukturę; 3 – siły oddziaływania międzycząsteczkowego otaczających centrum; 4 – siły oddziaływania pomiędzy cząsteczkami tworzącymi strukturę i otaczających.



Rys. 2. Mechanizm tworzenia się klastrow na różnych poziomach niejednorodności strukturalnej materiału [2], gdzie: 1 – zwykłe cząsteczki obwodowe; 2 – cząsteczki strukturotwórcze; 3 – granice rozdziału między klastrami na niższym poziomie niejednorodności strukturalnej; 4 – granice rozdziału między klastrami na wyższym poziomie niejednorodności strukturalnej.

Siły kapilarne powodują wzajemne przyciąganie się cząsteczek, które mają tendencję do tworzenia agregatów wiążących (zbiór n -cząsteczek tworzących klastery, gdzie n – liczba cząsteczek) o różnej wielkości, gdzie agregat wiążący można rozpatrywać jako klastery w nano- i mikroskali. Wraz ze zwiększaniem poziomu skali klastery na wyższym poziomie tworzą i kształtują klastry z niższego poziomu, co zostało pokazane na Rys. 2. Na styku klastrow na możliwie niskim poziomie niejednorodności struktury powstają międzyklastrowe powierzchnie rozdziału, które występują w postaci rys technologicznych utworzonych w początkowym okresie organizacji struktury zaczynu cementowego. W wyniku przyłożonego obciążenia w postaci podwyższonej temperatury następują odkształcenia objętościowe zaczynu cementowego jako całości i jego poszczególnych faz na różnych poziomach niejednorodności strukturalnej. Odkształcenia objętościowe powodują transformację rys technologicznych na drodze ich propagacji w mikrorysy, a następnie w makrorysy widoczne na powierzchni elementu.

3. Użyte materiały i metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone na 4 seriach próbek zaczynu cementowego. W ramach każdej serii zostały wykonane próbki o trzech wskaźnikach w/s – 0,4; 0,5; 0,6 (woda/spoiwo – gdzie jako spoiwo należy rozumieć łączną zawartość cementu i mikrokrzemionki w próbce). Zastosowanie wskaźnika w/s wynika z faktu zastosowania mikrokrzemionki jako zamiennika cementu, a nie jako dodatku. W ramach przeprowadzonych badań wykonano następujące receptury zaczynów cementowych:

- C42 – 100% CEM I 42,5R + woda,
- C42MK – 90% CEM I 42,5R + 10% mikrokrzemionka + woda,
- C52 – 100% CEM I 52,5R + woda,
- C52MK – 90% CEM I 52,5R + 10% mikrokrzemionka + woda.

Tabela 1. Charakterystyka chemiczna oraz miąższość zastosowanych cementów portlandzkich.

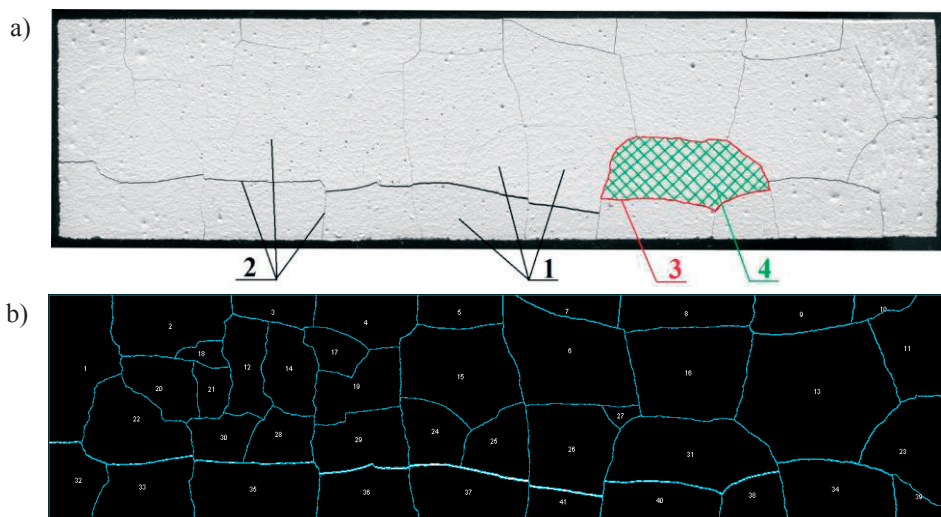
	Analiza chemiczna [%]									Powierzchnia właściwa Blaine'a [cm ² /g]
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	Na ₂ O	K ₂ O	
CEM I 42,5R	20,18	3,39	4,38	64,79	1,17	2,91	0,083	0,26	0,49	4010
CEM I 52,5R	20,19	3,30	4,33	64,76	1,17	3,16	0,078	0,26	0,48	4596

Do badań użyto dwóch cementów portlandzkich o charakterystyce przedstawionej w Tabelicy 1. Wszystkie próbki wykonano jako beleczki właściwe do badań zaczynów i zapraw, o wymiarach 40x40x160 mm. Zaczyn w formach układany był w dwóch warstwach, kolejno po sobie zagęszczanych przy użyciu znormalizowanej wstrząsarki, zgodnie z PN-EN 196-1 [29]. Następnie próbki były przechowywane przez 28 dni w warunkach powietrzno – suchych. Badania stereologiczne struktury spękań zostały wykonane w oparciu o cyfrowe skany powierzchni próbek w rozdzielczości 2400 DPI (94,488 pikseli/mm) przy użyciu skanera Epson V37. Przed skanowaniem, w celu wyeliminowania ewentualnych różnic w barwie powierzchni (niepożądane na dalszym etapie obróbki), na skanowanej powierzchni próbki wykonano cienko-warstwową powłokę akrylową w białym kolorze.

Spękania zostały spowodowane nagłym obciążeniem próbek temperaturą. Piec został nagrany do temperatury 250°C, następnie próbki zostały do niego włożone na okres 4 godzin. Zastosowanie w/w sposobu obciążenia próbki temperaturą jest warunkowane

wymuszeniem powstania rys i spękań na drodze odkształceń objętościowych próbki – pęcznienia w fazie ogrzewania i skurczu w fazie studzenia. W zakresie temperatur do 250°C następuje tylko odparowanie wolnej wody i dekompozycja żelu tobermorytowego. Produkty hydratacji cementu wykazują się jeszcze dużą stabilnością chemiczną, co powoduje tylko niewielki spadek wytrzymałości na ściskanie w analizowanym zakresie temperatur. Powstające w porach i kapilarach zaczynu ciśnienie pary wodnej powoduje propagację i przekształcanie rys technologicznych, obecnych w strukturze materiału jeszcze przed przyłożeniem obciążeń eksploatacyjnych, w makrorysy widoczne na powierzchni próbki. W ten sposób nastąpiła ekstrakcja defektów struktury zaczynu cementowego, bez nadmiernego pogarszania właściwości mechanicznych badanego materiału.

Obróbkę i analizę obrazów wykonano w programie ImageJ v. 1.46r. Pierwotny obraz spękaną próbkę został poddany obróbce graficznej w celu „wyeksponowania” rys do dalszej analizy. Powierzchnia ograniczająca pomiar nie obejmowała całej próbki, a zawierała się obszarze 157x38,5 mm. Wynikało to z konieczności ustalenia stałego pola powierzchni dla każdej próbki ponieważ w wyniku nagłego obciążenia podwyższoną temperaturą zaczyn cementowy wykazywał tendencję do deformacji objętościowych. Na analizowanym obszarze zastosowano filtry kontrastu i ostrości, a następnie w celu wykonania pomiarów transformowano go na obraz binarny w 8-bitowej skali szarości. Następnie za pomocą modułu „analyze particles” zmierzono następujące parametry na powierzchni próbek: średnia powierzchnia klastra (\bar{A}) oraz średni obwód klastra (\bar{L}). Przykładowy obraz próbki przed i po obróbce pokazano na Rys. 3.

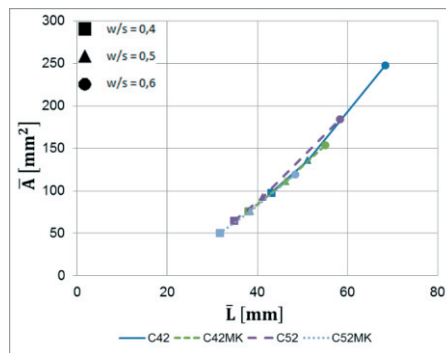


Rys. 3. Obraz zeskanowanej powierzchni próbki serii C42 o $w/s=0,5$: a) obraz pierwotny po skanowaniu; b) obraz po obróbce graficznej z podziałem na klastry; 1 – powstałe klastry, 2 – rysy tworzące międzyklastrową powierzchnię rozdziału, 3 – obwód klastra, 4 – powierzchnia klastra

Po przeprowadzeniu analizy obrazu próbki poddano badaniom wytrzymałościowym. Wykonano badanie wytrzymałości na ściskanie (f_c) – zgodnie z PN-EN 12390-3 [30], oraz wytrzymałości na rozciąganie (f_{ct}) w schemacie trójpunktowego zginania – zgodnie z PN-EN 12390-5 [31]. Przedstawione w pracy wyniki pomiarów parametrów sterologicznych są średnią z 4 próbek, wyniki wytrzymałości na rozciąganie – średnia z 6 próbek, wyniki wytrzymałości na ściskanie – średnia z 12 próbek.

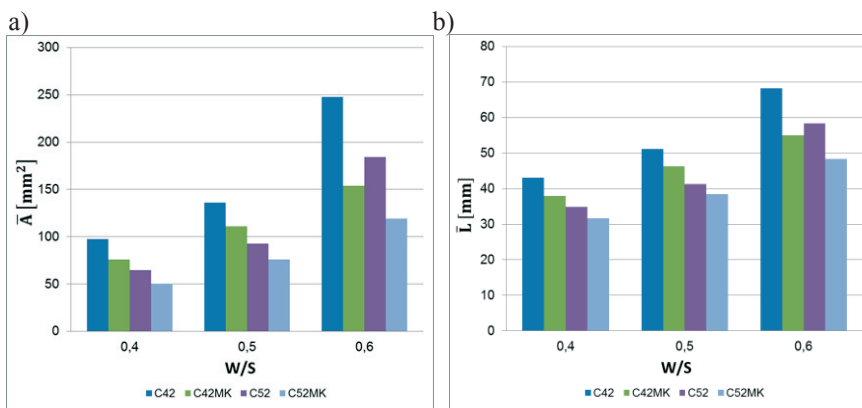
4. Otrzymane wyniki i ich analiza

Analizując otrzymane wyniki (Rys. 4) można zauważyć wysoką korelację pomiędzy \bar{A} i \bar{L} , co świadczy o przybliżonej geometrii klastrow ograniczonych pęknięciami w każdej rozpatrywanej próbce niezależnie od serii. Wszystkie próbki wykonane przy użyciu cementu CEM I 52,5R (C52, C52MK) charakteryzują się mniejszym \bar{A} i \bar{L} niż próbki wykonane na cemencie CEM I 42,5R (C42, C42MK), co zostało pokazane na Rys. 5. Tym samym powierzchnia próbek serii C52 i C52MK jest bardziej spękana niż powierzchnia próbek serii C42 i C42MK. Zastosowanie mikrokrzemionki (C42MK, C52MK) spowodowało spadek zarówno \bar{A} , jak i \bar{L} w odniesieniu do odpowiednich próbek wzorcowych (C42, C52) średnio o 19,9% dla próbek z cementem CEM I 42,5R i o 18,2% dla próbek z cementem CEM I 52,5R. Dodatkowo zauważono, że wraz ze wzrostem wskaźnika w/s rośnie również wartość \bar{A} i \bar{L} w poszczególnych seriach.



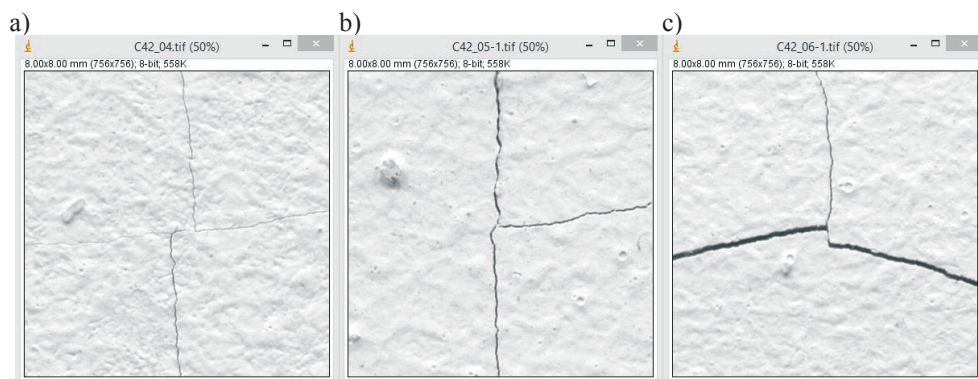
Rys. 4. Średnia powierzchnia klastra (\bar{A}) w funkcji średniego obwodu klastra (\bar{L})

Rozpatrując charakter spękań należy również wziąć pod uwagę szerokość rozwarcia powstałych rys. Zauważono, że im mniejsza wartość \bar{A} i jednocześnie mniejszy stosunek w/s tym mniejsza szerokość rozwarcia rys tworzących klastry, niezależnie od serii. Powyższa zależność została zobrazowana na Rys. 6.



Rys. 5. Wyniki pomiarów stereologicznych: a) średnia powierzchnia klastra (\bar{A}), b) średni obwód klastra (\bar{L})

Skład chemiczny obu zastosowanych spoiw cementowych (Tablica 1) jest praktycznie jednakowy co przekłada się na jednakowy skład fazowy. Zatem ilościowa zawartość głównych faz cementowych (C3S, C2S, C3A, C4AF), a dalej hydratów będących produktem reakcji hydratacji cementu w obrębie jednego wskaźnika w/s nie wpływa na proces organizacji i stopień spękania powierzchni. Czynnikiem warunkującym powstanie gęstszej sieci spękań, w poszczególnych grupach wskaźnika w/s , w przypadku zaczynu serii C52 i C52MK w porównaniu do serii C42 i C42MK jest stopień zmielenia cementu wyrażony za pomocą powierzchni właściwej Blaine'a (powierzchnia właściwa CEM I 52,5R jest o 14,6% wyższa od powierzchni właściwej CEM I 42,5R). Ze wzoru (1) wynika, że wartość sił kapilarnych jest proporcjonalna do wielkości cząstek tworzących agregat wiążący, ponieważ powierzchnia zwilżenia wzrasta wraz z rozmiarem cząstki. W związku z tym zasięg „przyciągania” cząsteczki strukturotwórczej okalających cząsteczek cementu w początkowym etapie organizacji struktury jest większy w przypadku cementu o grubszym uziarnieniu (C42, C42MK) niż dla próbek z cementem o większej miאלkości (C52, C52MK). Wraz z powiększeniem rozmiaru kształtującego się klastra w makroskali (wyrażonego w artykule wartościami \bar{A} i \bar{L}) zmniejsza się kohezja pomiędzy sąsiadującymi klastrami, co powoduje przerwanie ciągłości struktury próbki. Na styku klastrów powstają rysy o rozwarości zwiększającej się wraz z rozmiarem klastra, co ma miejsce w przypadku próbek gdzie zastosowano cement o mniejszej powierzchni właściwej (C42, C42MK).



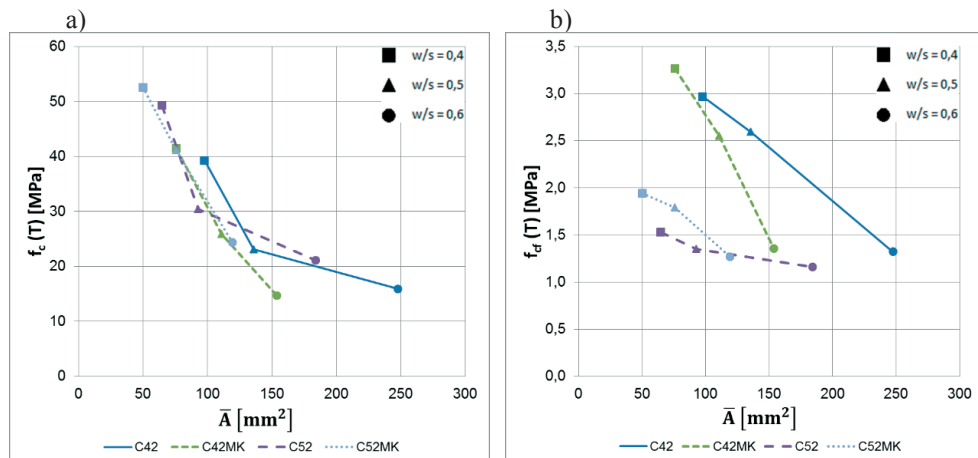
Rys. 6. Szerokość rozwarcia rys klastrowych w zależności od w/s na przykładzie serii C42: a) $w/s = 0,4$; b) $w/s = 0,5$; c) $w/s = 0,6$

Wzrost \bar{A} i \bar{L} oraz szerokości rozwarcia rys wraz ze wzrostem wskaźnika w/s niezależnie od serii należy wyjaśnić tym, że w momencie zmniejszania ilości cementu w objętości próbki zmniejsza się gęstość zaczynu cementowego. Towarzyszy temu wzrost stopnia rozproszenia cementu co skutkuje bardziej równomiernym rozłożeniem wartości sił kapilarnych i oddziaływań międzycząsteczkowych w rozpatrywanej przestrzeni. Niska całkowita, właściwa energia wewnętrzna układu powoduje spadek kohezji. Wcześniej wykazano, że spadek kohezji wiąże się ze wzrostem rozmiaru klastra, a dodatkowo w tym wypadku powstająca makrorysa potrzebuje dostarczenia mniejszej energii z zewnątrz w celu dalszej propagacji i zwiększenia swojej rozwarości.

Zastosowanie mikrokrzemionki powoduje znaczne zmniejszenie porowatości zaczynu cementowego i modyfikuje korzystnie jego właściwości poprzez wiązanie wodorotlenku wapniowego w wyniku czego powstają uwodnione krzemiany wapnia cechujące się dużą wytrzymałością i trwałością. Powstanie nadliczbowej fazy CSH dodatkowo spaja strukturę

(zasklepiane są rysy technologiczne) materiału co bezpośrednio przekłada się na wzrost energii jaką trzeba dostarczyć do próbki aby lokalna wytrzymałość na rozciąganie zaczynu cementowego została przekroczona. Wynikający z tego wzrost kohezji materiału i energii wewnętrznej układu nie pozwala na tworzenie się struktur klastrowych o dużych rozmiarach i o znacznych odległościach pomiędzy międzyklastrowymi powierzchniami rozdziału (makrorysy o dużej rozwarości).

Celem uzupełnienia powyższych rozważań na Rys. 7 przedstawiono wyniki z badań wytrzymałościowych po obciążeniu próbki temperaturą w funkcji \bar{A} . W każdej grupie w/s najwyższą wytrzymałość na ściskanie uzyskały próbki serii C52MK, a najniższą C42. Przykładowo dla $w/s = 0,4$ wytrzymałość na ściskanie próbek serii C42 stanowi 74,7% wytrzymałości próbek serii C52MK. Stwierdzono, że charakter spękań powierzchni próbek nie wpływa zasadniczo na otrzymane wyniki ponieważ wytrzymałość na ściskanie głównie zależy od porowatości materiału, która jest mniejsza dla próbek z mikrokrzemionką. Natomiast najwyższą wytrzymałość na rozciąganie uzyskały próbki serii C42MK, a najniższą próbki serii C52. W tym wypadku wytrzymałość na rozciąganie próbek serii C52 stanowi 61,8% wytrzymałości próbek serii C42MK. Stwierdzono, że gęsta struktura spękań próbek serii C52 i C52MK pomimo niewielkiej szerokości rozwarcia rys wpływa niekorzystnie na wartość wytrzymałości na rozciąganie w porównaniu do próbek serii C42 i C42MK. Siły spójności pomiędzy sąsiadującymi klastrami są odwrotnie proporcjonalne do szerokości rozwarcia rys, jednakże duże ich zagęszczenie na powierzchni próbki zmniejsza wypadkową spójność materiału w aspekcie rozciągania matrycy cementowej. Dodatkowo zauważono, że linia przełomu przechodzi przez międzyklastrowe powierzchnie rozdziału.



Rys. 7. Parametry wytrzymałościowe po obciążeniu temperaturą w funkcji \bar{A} : a) wytrzymałość na ściskanie - f_c ; b) wytrzymałość na rozciąganie - f_t

5. Podsumowanie

Zastosowana w pracy metoda badawcza pozwoliła na ilościowy opis defektów struktury powierzchni modyfikowanych zaczynów cementowych. Na podstawie otrzymanych wyników badań stereologicznych stwierdzono, że charakter spękań powierzchni, otrzymanych na drodze obciążenia próbki temperaturą wynoszącą 250°C w głównej mierze zależy

od powierzchni właściwej Blaine'a cementu oraz od oddziaływań międzycząsteczkowych w środowisku dyspersyjnym. W przypadku obecności dwóch faz (woda – cement) występujące siły kapilarne powodują wzajemne przyciąganie się cząsteczek cementu, które mają tendencję do tworzenia agregatów wiążących ograniczonych międzyklastrowymi powierzchniami rozdziału na każdym poziomie niejednorodności strukturalnej. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem rozmiaru klastra (wyrażonego wartościami \bar{A} i \bar{L}) ograniczonego rysami zwiększa się również ich szerokość rozwarcia. Określono, że wraz ze spadkiem wskaźnika w/s następuje zagęszczenie struktury spękań co nie wpływa negatywnie na wytrzymałość na ściskanie, ale obniża natomiast wytrzymałość na rozciąganie matrycy cementowej. Zastosowanie mikrokrzemionki powoduje obniżenie wartości \bar{A} i \bar{L} w porównaniu do próbek wzorcowych przy jednoczesnej poprawie parametrów wytrzymałościowych. Natomiast w wyniku porównania wartości \bar{A} i \bar{L} stwierdzono, że geometria klastrow nie zależy od obecności mikrokrzemionki, rodzaju cementu oraz wskaźnika w/s jest bardzo zbliżona dla każdej próbki.

Należy jednak podkreślić, że charakter przeprowadzonych badań wymaga bardzo dużej dokładności na każdym etapie w przeprowadzonym procesie technologicznym, począwszy od mieszania zaczynu cementowego, przez zagęszczanie, pielęgnację, a skończywszy na procesie obciążania temperaturą. Wszelkie niedokładności w wykonaniu bądź odstępstwa od pierwotnych założeń na którymkolwiek z powyższych etapów mogą wpływać negatywnie na dokładność i poprawność wyników.

Opracowanie pomiarów mogących w ilościowy sposób opisać charakter spękań klastrowych powierzchni kompozytowego materiału budowlanego może przyczynić się do rozwoju nie inwazyjnych metod oceny trwałości i wytrzymałości wyrobów budowlanych pod wpływem obciążeń eksploatacyjnych.

Literatura

- 1 Neville A.M. *Właściwości Betonu*. Polski Cement, 2000.
- 2 Fic S.B., Vyrovoy V.N., Dorofeev V.S. *Procesy samoorganizacji struktury kompozytowych materiałów budowlanych*. Politechnika Lubelska, 2013.
- 3 Naus D.J. *The effect of elevated temperature on concrete materials and structures – a literature review* (No. ORNL/TM-2005/553). Oak Ridge National Laboratory, 2006
- 4 Schneider U. *Concrete at high temperatures - a general review*. Fire Safety Journal 13(1) (1988) 55-68.
- 5 Harmathy T.Z. *Thermal properties of concrete at elevated temperatures*. Journal of Materials 5 (1970) 47-74.
- 6 Handoo S.K., Agarwal S., Agarwal S.K. *Physico – chemical, mineralogical, and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperatures*. Cement and Concrete Research 32 (2002) 1009-1018.
- 7 Georgali B., Tsakiridis P.E. *Microstructure of fire – damaged concrete, a case study*. Cement and Concrete Composites 27 (2005) 255-259.
- 8 Peng G.F., Huang Z.S. *Change in microstructure of hardened cement paste subjected to elevated temperatures*. Construction and Building Materials 22 (2008) 593-599.
- 9 Alonso C., Fernandez L. *Dehydration and rehydration process of cement paste exposed to high temperature environments*. Journal of Material Science 39 (2004) 3015-3024.
- 10 Mendes A., Sanjayan J.G., Gates W.P., Collins F. *The influence of water absorption and porosity on the deterioration of cement paste and concrete exposed to elevated temperatures, as in a fire event*. Cement and Concrete Composites 34 (2012) 1067-1074.

- 11 Fu Y.F., Wong Y.L., Poon C.S., Tang C.A., Lin P. *Experimental study of micro/macro crack development and stress-strain relations of cement-based composite materials at elevated temperatures*. Cement and Concrete Research 34 (2004) 789-797.
- 12 Fu Y.F., Wong Y.L., Poon C.S., Tang C.A. *Numerical tests of thermal cracking induced by temperature gradient in cement-based composites under thermal loads*. Cement and Concrete Composites 29 (2007) 103-116.
- 13 Kurdowski W. *Chemia cementu i betonu*. Wydawnictwo Polski Cement, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010
- 14 Dias W.P.S., Khoury G.A., Sullivan P.J.E. *Shrinkage of hardened cement paste at temperatures up to 670°C (1238°F)*. ACI Materials Journal 87 (1990) 204-209.
- 15 Lim S., Mondal P. *Micro- and nano-scale characterization to study the thermal degradation of cement-based materials*. Materials Characterization 92 (2014) 15-25.
- 16 Ibrahim R.K., Hamid R., Taha M.R. *Strength and microstructure of mortar containing nanosilica at high temperature*. ACI Materials Journal 111 (2014) 163-170.
- 17 Morsy M.S., Alsayed S.H., Aqel M. *Effect of elevated temperature on mechanical properties and microstructure of silica flour concrete*. International Journal of Civil & Environmental Engineering 10 (2010) 1-6.
- 18 Szelaż M., Szewczak A. *Zastosowanie stereologii w inżynierii materiałów budowlanych*. Budownictwo i Architektura 14(1) (2015) 115-125.
- 19 Konkol J., Kulpiński J., Prokopski G. *Zastosowanie analizy obrazu do określania porowatości betonu na próbkach utwardzonych*. Inżynieria Materiałowa 6 (2002) 737-742.
- 20 Inyang H.I., Hourani M.S., Menezes G.B., Young D.T., Ogunro V.O., Bin S., Work D. *Stereological analysis of aggregate distribution in contaminant barrier concrete*. Soil & Sediment Contamination 17 (2008) 425-436.
- 21 Sumanasooriya M.S., Neithalath N. *Stereology- and morphology-based pore structure descriptors of enhanced porosity (pervious) concretes*. ACI Materials Journal 106(5) (2009) 429-438.
- 22 Nemati K.M., Monteiro P.J., Scrivener K.L. *Analysis of compressive stress-induced cracks in concrete*. ACI Materials Journal 95(5) (1998) 617-630.
- 23 Ringot E., Bascoul A. *About the analysis of microcracking in concrete*. Cement and Concrete Composites 23(2-3) (2001) 261-266.
- 24 Ringot E. *Automatic quantification of microcracks network by stereological method of total projections in mortars and concretes*. Cement and Concrete Research 18(1) (1988) 35-43.
- 25 Sinha S.K., Fieguth P.W. *Automated detection of cracks in buried concrete pipe images*. Automation in Construction 15(1) (2006) 58-72.
- 26 Sinha S.K., Fieguth P.W. *Segmentation of buried concrete pipe images*. Automation in Construction 15 (2005) 47-57.
- 27 Fujita Y., Mitani Y., Hamamoto Y. *A method for crack detection on a concrete structure*. Pattern Recognition 3 (2006) 901-904.
- 28 Fic S., Szelaż M. *Analysis of the development of cluster cracks caused by elevated temperatures in cement paste*. Construction and Building Materials 83 (2015) 223-229. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.03.044
- 29 PN-EN 196-1:2006 *Metody badania cementu – Część 1: Oznaczanie wytrzymałości*.
- 30 PN-EN 12390-3:2011 *Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań*.
- 31 PN-EN 12390-5:2011 *Badania betonu – Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badań*.

Analysis of the development of cluster cracks in the cement paste modified by microsilica

Maciej Szelaĝ, Stanisław Fic

Department of General Construction, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: maciej.szelaĝ@pollub.pl, s.fic@pollub.pl

Abstract: Article describes the course of research on the possibility of the application of the computer-based image analysis techniques to evaluate the structure of cluster cracks on the surface of modified cement paste. Four sets of specimens were performed, based on two Portland cements (CEM I 42,5R and CEM I 52,5R). In addition, the two series include microsilica as a substitute for 10% of cement. Cracks of samples were obtained by the sudden temperature load at the value of 250°C. Image of the cracked surface was obtained by scanning at a resolution of 2400DPI, and to digital processing and measurements ImageJ v. 1.46r software was used. To describe the structure of the cracks two stereological parameters were proposed: average cluster area (\bar{A}) and average cluster perimeter (\bar{L}). The aim of the work is to reference obtained results from the image analysis to the compressive and tensile strength of tested specimens. In addition, considering the structure of cement paste as a dispersion system the process of the cluster structures formation was described, which under external loads transform and affect the final properties of the composite material.

Keywords: image analysis, cement paste, cluster cracks, microsilica, elevated temperature

Analiza nośności drewnianych więźb dachowych ekspozycyjnych obiektów architektury wernakularnej

Bartosz Szostak, Tomasz Nicer

*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: b.szostak@pollub.pl, t.nicer@pollub.pl*

Streszczenie: Drewniane, zabytkowe obiekty ekspozycyjne znajdują się w muzeach etnograficznych oraz na przestrzeniach ogólnie dostępnych dla zwiedzających. Dokonano sprawdzenia stanów granicznych konstrukcji w tych obiektach. Autorzy dokonali analizy statycznej oraz wymiarowania więźb dachowych wernakularnych obiektów lubelskiego skansenu, jako reprezentacyjnych obiektów drewnianej architektury wernakularnej. Określono nośność elementów konstrukcyjnych oraz zestawiono wyniki analiz. Wyniki przeprowadzonych obliczeń porównano oraz wysnuto wnioski.

Słowa kluczowe: nośność więźb dachowych, obiekty ekspozycyjne, analiza nośności

1. Wprowadzenie

Obiekty architektury wernakularnej znajdujące się w muzeach są ogólnie dostępne dla wszystkich zwiedzających. Obiekty te zostały przeniesione na podstawie inwentaryzacji wykonanej przed ich rozbiórką. Podczas przenoszenia tych obiektów skupiono się głównie na jak najlepszym odwzorowaniu stanu pierwotnego. Nie ingerowano w rozwiązania konstrukcyjno-budowlane oraz nie przeprowadzono analiz statycznych elementów konstrukcyjnych. Obiekty architektury wernakularnej powstawały w systemie gospodarczym na podstawie wiedzy oraz doświadczeń budowniczych tamtych czasów. W tamtym okresie nie prowadzono szczegółowych wyliczeń oraz nie wymiarowano poszczególnych elementów obiektów budowlanych. Zatem czy eksploatowane obecnie obiekty muzealne spełniają wymagania normowe gwarantujące bezpieczeństwo pracy konstrukcji? Czy nie stanowią one zagrożenia dla osób w nich przebywających?

Zgodnie z § 204 ust. 4. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie: „Warunki bezpieczeństwa konstrukcji”, o których mowa w ust. 1, „uznaje się za spełnione, jeżeli konstrukcja ta odpowiada Polskim Normom dotyczącym projektowania i obliczania konstrukcji. Zgodnie z ust. 1. konstrukcja budynku powinna spełniać warunki zapewniające nieprzekroczenie stanów granicznych nośności oraz stanów granicznych przydatności do użytkowania w żadnym z jego elementów i w całej konstrukcji.”[1]

W celu sprawdzenia powyższego zagadnienia wybrano 6 obiektów z lubelskiego skansenu z więźbami dachowymi o konstrukcji drewnianej. Zdecydowano się na analizie więźb dachowych z uwagi na ich znaczący wpływ w statykę całego obiektu oraz największe wyťaženie ze wszystkich elementów konstrukcyjnych. Wszystkie wybrane obiekty są w zbliżonym stanie technicznym oraz o zbliżonej konstrukcji. Dokonano analizy statycznej tych więźb oraz przeprowadzono wymiarowanie zgodnie z obowiązującymi dziś zestawami norm. Na podstawie tabelarycznego zestawienia dokonano porównania wyników analiz, co w szerszym świetle pozwoli nam określić skalę problemu zagadnienia.

2. Charakterystyka wybranych obiektów

Wszystkie analizowane obiekty to obiekty drewniane o bardzo podobnej konstrukcji oraz o podobnym wykończeniu. Obiekty posadowione na kamiennej podmurówce lub drewnianych podwalinach. Ściany w konstrukcji drewnianej. Stropy poddaszy wykonane jako stropy na belkach drewnianych w większości przypadków nie użytkowe. Więźby dachowe w tych obiektach o konstrukcji krokwiowo-jętkowej oparte na drewnianych belkach wieńczących ściany oraz na płatwi pośredniej. Na podstawie oceny makroskopowej, stan techniczny analizowanych obiektów określono jako dobry. W wybranych obiektach nie stwierdzono znaczącego osłabienia przekrojów spowodowanych korozją biologiczną, szkodnikami technicznymi drewna lub nie odpowiednim sposobem eksploatacji.

Tabelarycznie zestawiono wszystkie najistotniejsze dane o obiektach z punktu widzenia powyższej problematyki.

Tabela 1. Zestawienie obiektów poddanych analizie

Nazwa obiektu	Okres powstania	Rozpiętość więźby [m]	Wymiary krokwi (b x h) [cm]	Maksymalny rozstaw krokwi
Chałupa z Błonia	1914-1918	5,00	13x15	190cm
Chałupa z Brzezin	1789	5,75	14x15	180cm
Stodoła z Rogowa	XIX wiek	5,50	9x13	190cm
Chałupa z Żabna	1895	4,80	14x14	160cm
Okólnik z Żabna	1895	5,45	10x13	220cm
Chałupa z Niemiec	1890	5,05	12x13	125cm

Poniżej znajdują się zdjęcia ogólne każdego z obiektów oraz zdjęcia konstrukcji drewnianych więźb dachowych.



Fot. 1. Chałupa z Błonia



Fot. 2. Konstrukcja dachu chałupy z Błonia



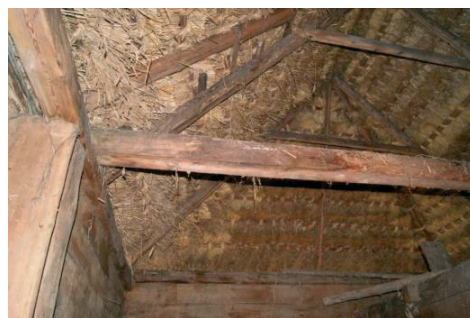
Fot. 3. Chałupa z Brzezin



Fot. 4. Konstrukcja dachu chałupy z Brzezin



Fot. 5. Stodoła z Rogowa



Fot. 6. Konstrukcja dachu stodoły z Rogowa



Fot. 7. Chałupa z Rogowa



Fot. 8. Konstrukcja dachu chałupy z Rogowa



Fot. 9. Okólnik z Żabna



Fot. 10. Konstrukcja dachu Okólnika z Żabna



Fot. 11. Chałupa z Niemiec



Fot. 12. Konstrukcja dachu chałupy z Niemiec

3. Analiza statyczna oraz wymiarowanie

Analiz statycznych więźb dachowych dokonano w modelu dwuwymiarowym dla najbardziej niekorzystnego schematu statycznego dla każdego z dachów. Wszystkie analizowane więźby dachowe mają bardzo zbliżone materiałowo i technologicznie poszycie oraz pokrycie – strzecha słomiana na łąkach drewnianych. Z uwagi na ten fakt przyjęto jednakową wartość obciążenia od warstw wykończenia dachu dla wszystkich konstrukcji. Obciążenie charakterystyczne przyjęto o wartości $0,80 \text{ kN/m}^2$. Z uwagi na zbliżoną lokalizację obiektów (Lubelszczyzna) przyjęto również identyczne wartości charakterystyczne obciążeń środowiskowych wynikające z podziału na strefy normowe [5][6][7][8].

- Strefa śniegowa: 3.
- Strefa wiatrowa: I.
- Wys. n.p.m.: poniżej 300 m n.p.m.
- Klasa drewna: C18 – z uwagi na brak możliwości określenia przyjęto najbardziej niekorzystną klasę jak dla krajowego drewna sosnowego i świerkowego litego o wilgotności 12%

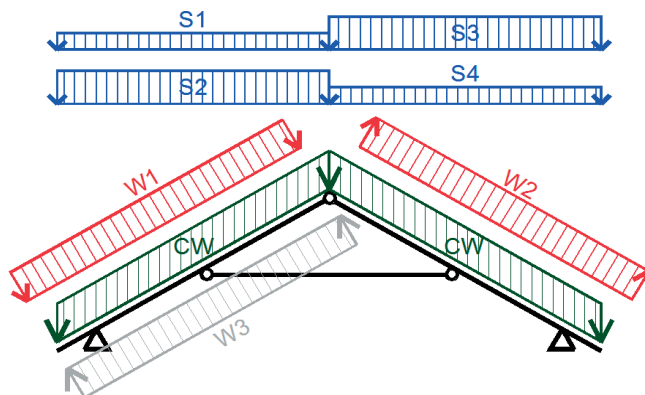
Zgodnie z normą [9] do analizy konstrukcji drewnianej, we wszystkich analizowanych modelach przyjęto następujące założenia:

- Klasa trwania obciążenia: obciążenia średiotrwale,
- Klasa użytkowania konstrukcji: 2.

3.1. Analiza statyczna konstrukcji

Wszystkie konstrukcje wykonane jako krokwiowo-jętkowe. Z uwagi na jednakowy charakter wszystkich analizowanych konstrukcji (zwieńczenie ścian belkami stropowymi poddasza) mocowanie zamodelowano jako podpory przegubowe nieprzesuwne. Z uwagi na wykonane połączenie ciesielski jętki oraz połączenie krokwi w kalenicy zamodelowano w schemacie przegubowym.

Schemat statyczny obciążono podstawowymi obciążeniami od warstw poszycia, pokrycia oraz obciążeń środowiskowych. Ciężary warstw oraz współczynniki obciążenia dobrano zgodnie z Polską Normą [2][3][4]. Obciążenia środowiskowe oraz ich schematy obciążenia zamodelowano zgodnie z zaleceniami zawartymi w Polskich Normach [5][6][7][8] do obciążania śniegiem oraz wiatrem konstrukcji. Ponadto dobrano odpowiednią kombinację obciążeń oraz przeprowadzono analizę zgodnie z założoną kombinatoryką.



Rys. 1. Schemat obciążenia więźby dachowej

Tabela 2. Zestawienie grup obciążeniowych

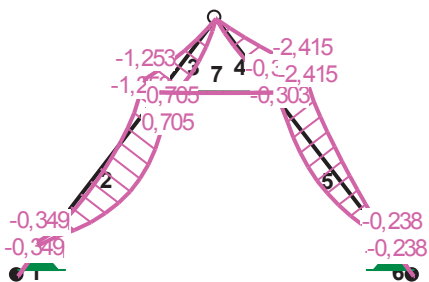
Grupa obciążenia	Rodzaj obciążenia	Współczynnik obciążenia
CW	CIEŻAR WARSTW WYKOŃCZENIOWYCH	1,2
S1	ŚNIEG C1 - NAWIETRZNA	1,5
S2	ŚNIEG C2 - NAWIETRZNA	1,5
S3	ŚNIEG C1 - ZAWIETRZNA	1,5
S4	ŚNIEG C2 - ZAWIETRZNA	1,5
W1	WIATR – PARCIE - NAWIETRZNA	1,5
W2	WIATR – SSANIE - NAWIETRZNA	1,5
W3	WIATR – SSANIE - ZAWIETRZNA	1,5

W celu uzyskania obwiedni sił wewnętrznych, dla analizowanych więźb dachowych wybrano odpowiednią kombinację oraz kombinatorykę obciążeń.

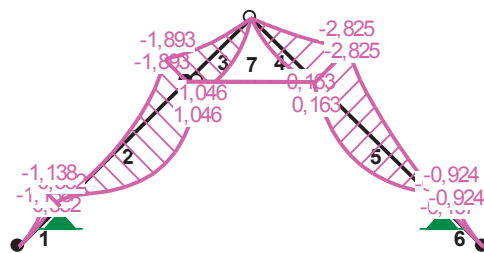
Poniżej przedstawiono zastosowaną kombinatorykę obciążenia:

- Obciążenie stałe (działające zawsze): CW.
- Obciążenie zmienne (działające ewentualnie): S1/S2+S3/S4+W1/W3+W2.
 - Gdzie „/” oznacza wykluczające się grupy obciążeń, a „+” oznacza kombinatorykę grup obciążeń.

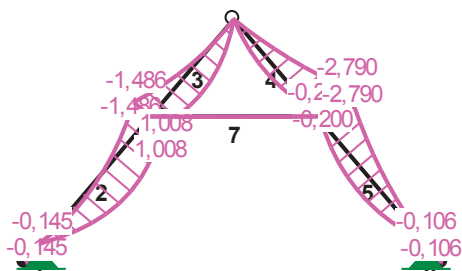
Schematy statyczne odpowiednio obciążono a następnie dokonano analizy statycznej. Poniżej przedstawiono wyniki analizy statycznej w postaci obwiedni momentów zginających – wartości obliczeniowych momentów zginających podano w kNm.



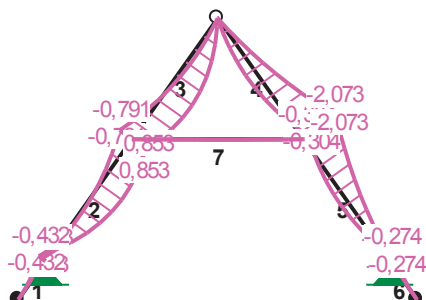
Rys. 2. Chałupa z Błonia



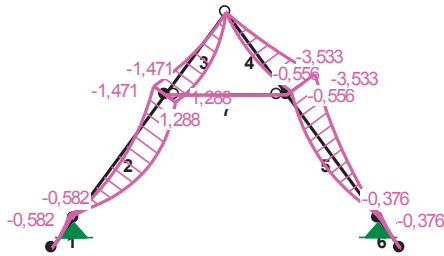
Rys. 3. Chałupa z Brzezina



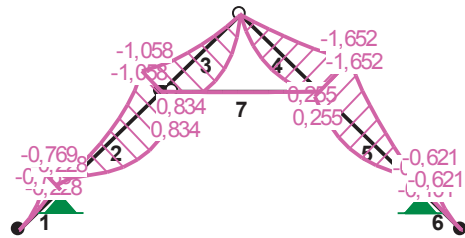
Rys. 4. Stodoła z Rogowa



Rys. 5. Chałupa z Żabna



Rys. 6. Okólnik z Żabna



Rys. 7. Chałupa z Niemiec

3.2. Wymiarowanie elementów konstrukcyjnych

W celu sprawdzenia bezpieczeństwa konstrukcji dokonano wymiarowania zgodnie z obowiązującym zestawem Polskich Norm [9]. Na podstawie przeprowadzonej analizy statycznej oraz wyznaczonych sił wewnętrznych przeprowadzono wymiarowanie elementów konstrukcyjnych w celu sprawdzenia stopnia wykorzystania przekrojów w stanach granicznych konstrukcji (Stan Graniczny Nośności oraz Stan Graniczny Użytkowości). Elementy wymiarowano dla rzeczywistych wymiarów elementów konstrukcyjnych zmierzonych w naturze podczas inwentaryzowania obiektu.

Dla najbardziej wyęźonego przekroju każdej z więźb sprawdzono SGN (kolejno ściskanie/rozciąganie, zginanie, ścinanie, skręcanie) oraz SGU. Wyęźenie elementów konstrukcyjnych sprawdzono zgodnie z normą PB-B-03150:2000 [9]. Obliczeń dokonano zgodnie z następującą metodologią:

Dla elementów rozciąganych:

$$\sigma_{t,0,d} = N/A_n$$

$\sigma_{t,0,d}$ – obliczeniowe naprężenia rozciągające wzdłuż włókien, N – siła normalna w elemencie, A_n – pole przekroju elementu netto.

Dla elementów ściskanych:

$$k_{c,y} = 1 / \left(k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} \right)$$

$k_{c,y}$ – współczynnik wyboyceniowy, k_y – obliczane wg. pkt 4.2.1.e normy [9], $\lambda_{rel,y}$ – smukłość sprawdzona przy ścisaniu.

Ściskanie ze zginaniem jako większa wartość z:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \quad \text{lub} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}$$

Nośność na zginanie ze ścisaniem jako większa wartość z:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \quad \text{lub} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$$

$\sigma_{c,0,d}$ – naprężenie obliczeniowe ściskające w kierunku równoległym do włókien, $\sigma_{m,z,d}$; $\sigma_{m,y,d}$ – naprężenie obliczeniowe od zginania, $f_{c,0,d}$ – wytrzymałość obliczeniowa na ściskanie wzdłuż włókien, $f_{m,z,d}$; $f_{m,y,d}$ – wytrzymałość obliczeniowa na zginanie wzdłuż osi głównych y i z. k_m – współczynnik zależny od przekroju.

Nośność na ścinanie:

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2}$$

τ_d ; $\tau_{z,d}$; $\tau_{y,d}$ – naprężenia obliczeniowe ścinające.

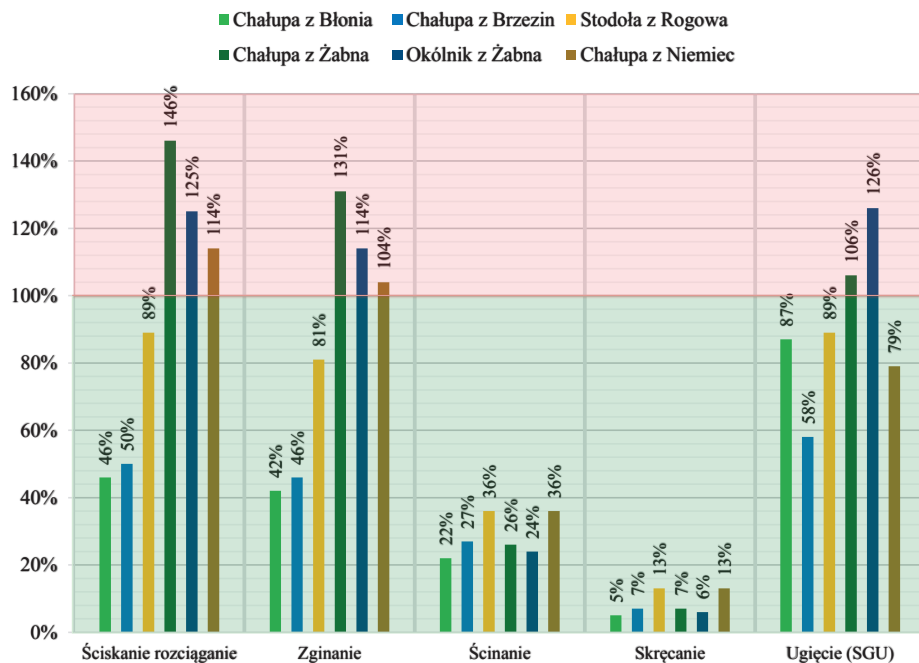
Ugięcie elementów konstrukcyjnych sprawdzono zgodnie z Polską Normą [10]:

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}), \quad u_{net,fin} < l / 250$$

$u_{y,fin}$ – przemieszczenie, ugięcie końcowe, $u_{y,inst}$ – przemieszczenie, ugięcie chwilowe (doraźne), k_{def} – współczynnik uwzględniający przyrost przemieszczenia w czasie na skutek pełzania i zmian wilgotności, $u_{net,fin}$ – ugięcie wynikowe.

4. Zestawienie wyników

Zgodnie z powyższymi założeniami przeprowadzono wymiarowanie elementów konstrukcyjnych więźb dachowych. W celu jak najlepszego zobrazowania przeprowadzonych analiz zestawiono wyniki wymiarowania najbardziej wyťažonych elementów konstrukcyjnych dla Stanu Granicznego Nośności oraz Stanu Granicznego Użytkowania. Poniżej graficzne oraz tabelaryczne zestawienie efektów wymiarowania.



Rys. 8. Wykresy stanów granicznych nośności oraz użytkowania

Tabela 3. Zestawienie wyników wymiarowania

Obiekt	Ściskanie rozciąganie	Zginanie	Ścinanie	Skręcanie	Ugięcie (SGU)
Chałupa z Błonia	46%	42%	22%	5%	87%
Chałupa z Brzezin	50%	46%	27%	7%	58%
Stodoła z Rogowa	89%	81%	36%	13%	89%
Chałupa z Żabna	146%	131%	26%	7%	106%
Okólnik z Żabna	125%	114%	24%	6%	126%
Chałupa z Niemiec	114%	104%	36%	13%	79%

Kolorem czerwonym w tabeli oznaczono przekroczenia normowe.

Na podstawie dokonanych analiz stwierdzono przekroczenia stanów granicznych nośności oraz stanów granicznych użyteczności w trzech obiektach na sześć analizowanych. Miejscami te przekroczenia są znaczące – o ponad 40% stan graniczny nośności. Graniczne ugięcia również są przekroczone, jednak jak powszechnie wiadomo przekroczenie stanu granicznego użyteczności nie skutkuje bezpośrednio katastrofą budowlaną.

5. Podsumowanie oraz wnioski

Przeprowadzono analizę statyczną oraz wymiarowanie dla więźb dachowych charakterystycznych obiektów dla lubelskiego skansenu. Wybrano dachy 6 obiektów o podobnym charakterze. W analizach przyjęto schemat statyczny, który według autorów jest najbardziej zbliżony do rzeczywistej pracy konstrukcji. Konstrukcję obciążono ciężarem warstw poszycia, pokrycia oraz obciążeniami środowiskowymi zgodnie z obowiązującym zestawem norm. Wymiarowania elementów konstrukcyjnych dokonano dla wyznaczonych obwiedni sił wewnętrznych. Elementy zwymiarowano zgodnie z obowiązującymi na podstawie Rozporządzenia [1] Polskimi Normami. Wyniki zestawiono w postaci procentowej wartości stanów granicznych.

W trzech z sześciu analizowanych obiektów analiza wykazała przekroczenie stanów granicznych. Przeprowadzone analizy potwierdzają, iż elementy konstrukcje obiektów XIX wiecznej drewnianej architektury wernakularnej w bardzo zróżnicowanym stopniu odpowiadają dzisiejszym wymogom normowym. Z uwagi na dużą różnorodność wyników na podstawie powyższych analiz nie można wysnuć jednoznacznego wniosku o nośności więźb dachowych pozostałych obiektów skansenu. W przypadku tego typu obiektów każdorazowo należy przeprowadzić oddzielną analizę konstrukcji dachu. Konkluzja prawdopodobnie będzie taka sama dla wszystkich tego typu muzeów etnograficznych na terenie naszego kraju.

Zgodnie z Rozporządzeniem [1] obiekty, w których przekroczone są stany graniczne nośności i użytkowania nie spełniają warunków bezpieczeństwa budowli. Brak jest jakichkolwiek prawnych wytycznych dla tego typu obiektów dlatego z uwagi na przekroczenie stanów granicznych należało by zalecić wzmoczoną kontrolę stanu technicznego tych obiektów oraz kontrolowanie ugięć elementów konstrukcyjnych.

Wszystkie powstałe zmiany oraz anomalie w tych budowlach powinny zostać skonsultowane z osobami posiadającymi odpowiednią wiedzę techniczną w tym zakresie.

Literatura

- 1 Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- 2 PN-B-02000:1982 *Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości.*
- 3 PN-B-02001:1982 *Obciążenia budowli. Obciążenia stałe.*
- 4 PN-B-02003:1982 *Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe.*
- 5 PN-B-02010:1980 *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem.*
- 6 PN-B-02010:1980/Az1 *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem.*
- 7 PN-B-02011:1977 *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem.*
- 8 PN-B-02011:1977/Az1 Lipiec 2009 *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem.*
- 9 PN-B-03150:2000. *Konstrukcje drewniane – Obliczenia statyczne i projektowanie.*
- 10 Kotwica J. *Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym.* Arkady, Warszawa 2009.

- 11 Tajchman J. *Propozycja systematyki i uporządkowania terminologii ciesielskich konstrukcji dachowych występujących na terenie Polski od XIV do XX w.* Monument t. II, Wydawnictwo Krajowy Ośrodek Badań Dokumentacji i Zabytków, 2005, s. 8-35.
- 12 Prace dyplomowe studentów Wydziału Budownictwa i Architektury znajdujące się w archiwum Katedry Konserwacji Zabytków.

Analysis of bearing capacity of wooden rafter frames in wooden vernacular building

Bartosz Szostak, Tomasz Nicer

e-mail: b.szostak@pollub.pl, t.nicer@pollub.pl

Abstract: Wooden, heritage building are located in Muzeum Wsi Lubelskiej. Objects are available for visitors. Authors checked the bearing capacity of wooden rafter frames in this objects. Authors compared the results of analysis and defined bearing capacity of structural elements.

Keywords: bearing capacity of wooden rafter frames, vernacular objects.

***Milk runs* model with overtime: application to cluster supply chain**

Michał Tomczak, Robert Bucoń

*Department of Construction Project Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: m.tomczak@pollub.pl, r.bucon@pollub.pl*

Abstract: Paper identifies obstacles limiting functioning and development of small and medium construction enterprises. It also includes a description of cluster supply chain (CSC) idea as a suggested solution to some of the problems resulting from the small scale of company activities. One of more important issues of every distribution centre, i.e. portions of deliveries smaller than truck capacity for particular consumers, is also discussed. This problem was formulated for the first time in dairy industry, therefore, it was called *milk runs*. Moreover, the authors of this paper presented the outcome analysis of survey carried out among construction engineers and managers. This study aimed at determining organizational principles for logistic centre working with CSC framework. The mathematical model depicting *milk runs* deliveries with overtime consideration, done for many construction sites within a distribution centre is presented hereunder. This model may be potentially used to optimize distribution centres working within cluster supply chain framework.

Keywords: cluster supply chain, mathematical programming, multi-objective optimization, small and medium enterprises

1. Introduction

The task of logistics – understood as the process of supply chain management – is the optimization of physical flows of resources and information, with regard to the source of materials and suppliers, the policy of purchase and raw material collection, material flow within the organization, storage of finished products, distribution channels, ways to store and modes of transport [1, 2]. It affects the efficiency of every sphere of construction enterprise operations, its policy as a whole, therefore, it is frequently a key component of organization functioning, which determines its competitiveness on the increasingly demanding market [3].

The purpose of the article is to identify and depict the barriers limiting the operation and development of small and medium construction enterprises. Moreover, the concept of cluster supply chain is also presented as a suggested solution to the part of the problems resulting from the small scale of operating activity. In addition, the survey results were analyzed, which was conducted among engineers and managers related to the construction sector in order to determine the operating principles of distribution center functioning as part of cluster supply chain.

2. Barriers in the implementation of the integrated supply chain in the case of small and medium construction enterprises

Total integration of supply chain consists in internal and external consolidation. Enterprises from every link of a chain cooperate closely to satisfy the customers' needs in the best way [4 – 7]. The cooperation covers both financial, physical and information flows. Nevertheless, the implementation of integrated supply chain is particularly difficult in the case of small and medium construction companies [3, 5, 6]. The following barriers are mentioned in the literature while implementing the integrated supply chain [2, 3, 6 – 11]:

- strategy short-sightedness,
- lack of confidence between enterprises,
- attachment to standard quality management tools,
- insufficient or lack of knowledge of the rules in force in the supply chain management,
- high costs of implementation,
- lack of time,
- the need for outside support.

However, the key problem of small and medium construction enterprises is not the occurrence of one particular limitation, but the accumulation of multiple separate barriers [3, 6, 12].

3. The concept of cluster supply chain

The answer to the problem of small and medium enterprises in implementing modern logistics solution can be the implementation of a cluster supply chain idea (*CSC*). *CSC* is a new concept of logistics management which was created as a result of combination of two ideas: industry cluster and supply chain management [3, 6, 13].

The cluster supply chain is a network composed of horizontal and vertical links between companies [3, 6, 13]. As a result of horizontal links (with different companies dealing with the same link of supply chain), enterprises can together achieve the operating scale exceeding their individual possibilities e.g. collective purchase at lower unit price, the achievement of optimal scale of equipment operation, enabling the realization of large orders, and even competing with huge construction companies [3, 6, 13]. Meanwhile, by the vertical links (with companies dealing with different links in a supply chain) they can reduce level of stocks, improve the timeliness of deliveries and adjust their number to the current needs, or reduce the uncertainty of the made decisions. The combination of industry cluster and supply chain management, operating as a regional, effective and economic cooperation platform, allows small and medium companies to survive, develop and improve their competitiveness [3, 6, 13].

The key benefits of cluster supply chain implementation are [3, 6, 14]:

- improvement of competitiveness,
- achievement of cost-effective scale of operations,
- better bargaining and competitive position,
- improvement of economic environment, e.g. by creating the groups of highly qualified workers,
- benefits from the exchange of knowledge, experience, information.

4. Determining criteria weights

Due to its simplicity, easy implementation and intuitiveness in modeling the preferences of decision-maker, one of the most widely used, optimal multi-criteria methods in engineering applications is Weighted Global Criterion Method (WGCM) [4]. In the case of this method, all the criteria are reduced to the only one function of usability, and the weights vector is additive.

The most problematic task while using WGCM is the precise determination of criteria weights [15]. In order to solve this problem, the fuzzy approach is applied e.g. proposed by Tzeng and Huang in Fuzzy Simple Additive Weighting Method (FSAW) [16]. This method makes use of triangular fuzzy numbers to model decision-maker's preferences. The original procedure FSAW refers to the support while making a decision, and hence it takes into account the imprecision in experts' evaluations, yet in the further part of the article, a modified approach to determine criteria weights, based on the procedure FSAW, will be presented and used.

The algorithm of the method is as follows [15]:

Step 1. For $u = 1, 2, \dots, s$ criteria, the fuzzy weights v_u are determined in the form of triangular fuzzy numbers (a_u, m_u, c_u) by the dialogue with a decision-maker:

- by the answer to the question "What is the minimal value of weight?", the a_u , parameter is obtained,
- by the answer to the question "What is the most appropriate value of weight?", the m_u , parameter is obtained,
- by the answer to the question "What is the maximal value of weight?", the c_u , parameter is obtained.

It was assumed that:

$$\sum_{u=1}^s m_u = 1. \quad (1)$$

Step 2. Standardized evaluations of variant K_u in reference to u criterion (assuming that the usability function is maximized) are determined:

- for the profitable criteria (the more the better):

$$K_u(\mathbf{x}) = \frac{R_u(\mathbf{x}) - R_u^{\min}}{R_u^{\max} - R_u^{\min}}, \quad \forall u = 1, 2, \dots, s, \quad (2)$$

where: \mathbf{x} – vector of decision variables, $R_u(\mathbf{x})$ – the obtained evaluation of variant in reference to u criterion, R_u^{\min} – the minimal possible to achieve evaluation of variant in reference to u criterion, R_u^{\max} – the maximal possible to achieve evaluation of variant in reference to u criterion,

- for the cost criteria (the less the better):

$$K_u(\mathbf{x}) = \frac{R_u^{\min} - R_u(\mathbf{x})}{R_u^{\min} - R_u^{\max}}, \quad \forall u = 1, 2, \dots, s. \quad (3)$$

Step 3. Defuzzified value of weight v_u is calculated (by Center of Gravity Method):

$$v_u = \frac{a_u + m_u + c_u}{3}, \quad \forall u = 1, 2, \dots, s. \quad (4)$$

Step 4. The assessments are calculated:

$$K_u = \sum_{u=1}^s v_u K_u(\mathbf{x}). \quad (5)$$

The maximization of evaluation value provides the selection of optimal solution.

5. The mathematical model of *milk runs* problem with regard to optional constructions

One of the most significant problems of every distribution center is the material delivery by instalments – for particular customers – lower than the car capacity. This issue has been formulated for the first time in order to plan the transport in milk industry – for this reason such a problem is frequently known as *milk runs* [17]. In reference to construction, the issue of *milk runs* most frequently occur in distributing expensive finishing materials which are used in relatively small quantities. The mathematical model, depicting supplies with the ‘milk run’ principle implemented as part of distribution center serving many building sites [3], is shown below. For some of construction sites, deliveries must be effected on the day in question (mandatory constructions), however, supplies to other building sites have extra time and can be carried out on the day in question, or during subsequent days (optional constructions). In order to determine the profitability of the performed delivery during the considered day, two contradictory criteria were examined: timeliness of supply and the labour costs of drivers (taking into account a higher rate for overtime work). The function of the purpose of a model considers fuzzy weights criteria obtained by the Fuzzy Simple Additive Weighting Method. The constraints are: working time of drivers, demand of customers and car capacity.

The following parameters were introduced to the mathematical description of a model:

M – a single-piece set representing distribution center, $M = \{0\}$,

W – the set of mandatory constructions, $W = \{1, 2, \dots, w\}$,

O – the set of optional constructions, $O = \{w+1, w+2, \dots, n\}$,

P – the set of all points, $P = M \cup W \cup O$, $P = \{0, 1, 2, \dots, n\}$,

D – the set of vehicles, $D = \{1, 2, \dots, m\}$,

b_j – the demand of point j [j. m.], $b_0 = 0$,

L_k – load capacity of a car k ,

T_k – standard fund of operating time of a car driver k ,

T_k – maximal working time of a car driver k ,

t_{ij} – the travel time between points i and j ,

C – a driver’s hourly rate working within the framework of operating time fund,

c – a driver’s overtime bonus,

K_l – standardized costs of drivers’ labour,

K_2 – standardized value of timeliness of supplies,

v_1 – fuzzy weight of drivers' labour costs,

v_2 – fuzzy weight of timeliness of supplies,

R_1 – drivers' labour costs,

R_1^{\min} – minimal, possible to achieve value of labour costs of drivers,

R_1^{\max} – maximal, possible to achieve value of labour costs of drivers,

R_2 – timeliness of supplies,

and the variables:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{when vehicle } k \text{ travels from point } i \text{ to point } j, \\ 0, & \text{in the opposite case,} \end{cases}$$

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{when vehicle } k \text{ travels from point } i \text{ to point } j \text{ within the framework} \\ & \text{of labour fund,} \\ 0, & \text{in the opposite case.} \end{cases}$$

The following conditions must be fulfilled for the problem to have the final solution:

$$\max_{j \in W \cup O} b_j \leq \max_{k \in D} L_k, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n b_j \leq \sum_{k=1}^m L_k. \quad (7)$$

The function of the objective (maximization of the variants utility):

$$\max z : z = v_1 K_1 + v_2 K_2, \quad (8)$$

Under restrictive conditions:

$$R_1 = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m y_{ijk} \cdot t_{ij} \cdot C + \sum_{k=1}^m \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n x_{ijk} \cdot t_{ij} - \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n y_{ijk} \cdot t_{ij} \right) \cdot c, \quad (9)$$

$$K_1 = \frac{R_1^{\min} - R_1}{R_1^{\min} - R_1^{\max}}, \quad (10)$$

$$R_2 = \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk}, \quad \forall j = w+1, w+2, \dots, n, \quad (11)$$

$$K_2 = \frac{R_2 - (w+1)}{n - (w+1)}, \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, w, \quad (13)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad \forall i = 1, 2, \dots, w, \quad (14)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} \leq 1, \quad \forall j = w+1, w+2, \dots, n, \quad (15)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i = w+1, w+2, \dots, n, \quad (16)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{jik}, \quad \forall j = w+1, w+2, \dots, n, \quad (17)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{i0k} = \sum_{j=0}^n x_{0jk} = 1, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m, \quad (18)$$

$$x_{ijk} + x_{jik} \leq 1, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m, \quad (19)$$

$$x_{ijk} \geq y_{ijk} \quad \forall i = 0, 1, 2, \dots, n, \quad \forall j = 0, 1, 2, \dots, n, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m, \quad (20)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n x_{ijk} t_{ij} \leq t_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m, \quad (21)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n y_{ijk} t_{ij} \leq T_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m, \quad (22)$$

$$\sum_{k=1}^m x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i = 0, 1, 2, \dots, n, \quad \forall j = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (23)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n x_{ijk} b_j \leq L_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m, \quad (24)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = \sum_{i=0}^n x_{jik}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m, \quad (25)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m, \quad (26)$$

$$y_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m. \quad (27)$$

Equation (9) defines the labour cost of drivers with regard to higher rates for overtime hours worked. The condition (10) describes standardized labour costs of drivers. The equation (11) defines the timeliness of supplies, and (12) standardized value of this

parameter. The condition (13) ensures that only one single car will arrive in every mandatory city. The equation (14) ensures that only one single car will leave every mandatory city. The restriction (15) ensures that no more than one car will arrive in every optional city. The restriction (16) ensures that no more than one car will leave every optional city (it is optional restriction arising out of the others). The restriction (17) ensures that the number of cars which arrives in the optional city will be equal to the number of cars which leaves the city. The requirement (18) ensures that the number of cars which leaves the distribution center is equal to the number of cars which arrives in the center, namely, the number of cars. The equation (19) prevents the creation of several separate routes (loops) for one car. The restriction (20) ensures that the supplies carried out within the framework of the fund of drivers' operating time will be included in the deliveries made throughout the day in question. The inequality (21) ensures that drivers' operating time will not be exceeded, which in turn defines the condition (22). The condition (23) ensures the carriage of materials on one route by no more than one car. The restriction (24) ensures that the car capacity will not be exceeded. The restriction (25) ensures that the same car will arrive in and leave a given city. The restrictions (26) and (27) guarantee binary variables x_{ijk} and y_{ijk} .

6. Example

The distribution center has two light commercial vehicles: a car A with the capacity P , and a car B which has the capacity of 20% bigger than the first vehicle – 120% P . The maximum driver's operating time of a car A is 12 hours daily, and the driver of a car B – 10 hours daily, whereas for every overtime hour worked, the driver collects a rate higher by 20% than the one within the framework of labour fund which is 10 hours daily for the driver of a car A and 8 hours for the driver of a car B. The demand of construction sites for the material is shown in Table 1, whereas the constructions I, II and III must be supplied on the day in question, however, the constructions IV and V have the possibility of accumulating material supply and can be served on the day in question or on the next day. Travel time between particular construction sites and a distribution center (marked as 0) is presented in Table 2.

The best route should be selected due to the criteria of costs and supply timeliness with regard to the results of a survey conducted among construction managers and engineers in accordance with the rules demonstrated in the algorithm of FSAW Method (shown in Table 3).

Table 1. The demand of construction sites expressed as a percentage of car A capacity

Construction	I	II	III	IV	V
Demand	60%	30%	40%	50%	20%

Table 2. Travel times (in hours) between particular construction sites and a distribution center (marked as 0).

	0	I	II	III	IV	V
0	∞	2	4	3	5	4
I	2	∞	2	6	4	4
II	4	2	∞	4	5	1
III	3	6	4	∞	5	2
IV	5	4	5	5	∞	6
V	4	4	1	2	6	∞

Table 3. Results of survey conducted among civil engineers and managers

Pearson	Cost			Delivery date		
	a_1	m_1	c_1	a_2	m_2	c_2
1	4	6	7	4	6	8
2	5	8	10	6	7	8
3	5	9	10	5	9	10
4	3	5	7	3	5	7
5	6	8	9	4	6	7
6	7	8	9	2	4	5
7	7	10	10	3	4	5
8	5	6	9	4	7	8
9	5	7	8	5	8	9
10	8	9	10	1	3	6
11	4	5	8	6	8	9
Standardized weights	0,398649	0,547297	0,655405	0,290541	0,452703	0,554054
Defuzzified weights	$v_1 = 0,533784$			$v_2 = 0,432432$		

The example was solved in the Microsoft Excel 2007 Program with the use of Solver add-in.

The following solution was received:

- a car route A covers the following points: 0-III-I-0 (or 0-I-III-0),
- a car route B covers the following points: 0-II-V-0 (or 0-V-II-0).

For the achieved solution, the degree of operating time of a car A driver is 11 hours (including one hour at the increased wage rate) when the car is used up to 100%, whereas the operating time of a car B driver is 9 hours (including one hour at the increased wage rate) when the car is used up to 42%. The timeliness coefficient of supplies is 50% – construction V was served on the day in question, whereas the material to the construction IV will be delivered on the next day.

7. Conclusion

Small and medium construction enterprises have the barriers, characteristic for their sector, limiting their development which enforce application of strategies adapted to the needs of MSP [3, 6]. One of the concepts allowing the acceptance of advantages and possibilities of small and medium enterprises is the cluster supply chain. Such a concept allows overcoming some of the problems characteristic of MSP. Owing to the application of cluster supply chain, small and medium construction businesses can eliminate the problem of economies of scale and successfully compete with large construction companies operating on the market [3, 6].

A multi-criteria mathematical model of *milk runs* problem, presented in this work, with regard to the criteria of costs and timeliness, can be implemented in the case of distribution centers functioning as part of cluster supply chain. The application of a

developed model can increase the degree of capacity use, as well as the driver's operating time, simultaneously decreasing unit costs of material distribution.

Acknowledgments

This work was financially supported by Ministry of Science and Higher Education within the statutory research number S/63/2015.

References

- 1 Gołomska E. *Kompedium wiedzy o logistyce*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
- 2 Sobotka A. *Logistka przedsiębiorstw i przedsięwzięć budowlanych*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
- 3 Tomczak M. *Model decyzyjny dostaw realizowanych przez centrum dystrybucyjne dla potrzeb małych i średnich przedsiębiorstw budowlanych*. *Logistyka* (2014) 6358–6366.
- 4 Marler R.T., Arora J.S. *Survey of multi-objective optimization methods for engineering*. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 26 (2004) 369–395.
- 5 Biruk S., Jaśkowski P., Sobotka A. *Zarządzanie w budownictwie, Organizacje, procesy, metody*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2003.
- 6 Tomczak M. *Problemy w logistyce małych i średnich przedsiębiorstw budowlanych*. TTS – Technika Transportu Szybnego 10 (2013) 637–645.
- 7 Saad M., Jones M., James P. *A review of the progress towards the adoption of supply chain management (SCM) relationships in construction*. *European Journal of Purchasing & Supply Management* 8 (2002) 173–183.
- 8 Meehan J., Muir L. *SCM in Merseyside SMEs: benefits and barriers*. *The TQM Journal* 20 (2008) 223–232.
- 9 Porter M.E. *Porter o konkurencji*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
- 10 Quayle M. *A study of supply chain management practice in UK industrial SMEs*. *Supply Chain Management: An International Journal* 8 (2003) 79–86.
- 11 Robbins S.P. *Zachowania w organizacji*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2004.
- 12 Chen H., Themistocleous M., Chiu K.H. *Approaches to supply chain integration followed by SMEs: An exploratory case study*. The 10th Americas conference on information systems, New York 2004.
- 13 Xue X., Wei Z., Zeng Z. *The design of service system for SMEs collaborative alliance: Cluster Supply Chain*. *Journal of Software* 6 (2011) 2146–2153.
- 14 Xue X., Wei Z., Zeng Z. *Framework of analysis service-centric cluster supply chain: a case study of collaborative procurement*. *Journal of Software* 7 (2012) 733–740.
- 15 Trzaskalik T. *Wielokryterialne wspomaganie decyzji, Metody i zastosowania*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2014.
- 16 Tzeng G. H., Huang J. J. *Multiple attribute decision making, methods and applications*. CRC Press, London 2011.
- 17 Yan S., Lai W. *An optimal scheduling model for ready mixed concrete supply with overtime considerations*. *Automation in Construction* 6 (2007) 734–744.

Wpływ temperatury, wilgotności i kierunku badań na wartość współczynnika przewodności cieplnej λ w różnych gatunkach drewna

Maciej Trochonowicz, Nina Kołodziejczuk

Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, m.trochonowicz@pollub.pl

Streszczenie: Głównym celem artykułu jest przybliżenie problematyki związanej z wpływem temperatury badania oraz wilgotności na zmianę wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ dla różnych gatunków drewna stosowanego w obiektach budowlanych. W opracowaniu przedstawiono również wyniki badań wpływu gęstości drewna i kierunku badania na wartość współczynnika przewodności cieplnej.

Słowa kluczowe: drewno, współczynnik przewodności cieplnej λ dla drewna, izolacyjność cieplna drewna

1. Wprowadzenie

Opracowanie ma na celu przybliżenie zagadnienia jakim jest przewodność ciepła w drewnie. W ramach prowadzonych badań wyznaczono wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla różnych gatunków drewna wykorzystywanych w budownictwie. Badania objęły gatunki wykorzystywane jako materiał konstrukcyjny oraz stosowany w pracach wykończeniowych. W pierwszej części opisano stanowisko badawcze i sposób przygotowania próbek. Drugą główną część artykułu to prezentacja uzyskanych wyników.

Głównym celem prowadzonych badań było wyznaczenie współczynnika przewodzenia ciepła λ w zależności od temperatury badania oraz wilgotności próbek. Badanie wpływu temperatury zostało wykonane na pięciu gatunkach drewna. Każdy gatunek przebadany został w trzech powtórzeniach. Kolejnym etapem było określenie zmiany współczynnika przewodzenia ciepła λ w zależności od wilgotności badanej próbki. Oznaczenia wykonano dla stanu powietrzno-suchego oraz dla próbek, które swoją wilgotność uzyskały w warunkach laboratoryjnych. Badania zostały wykonane dla trzynastu gatunków drewna. Na podstawie otrzymanych wyników i po obliczeniu gęstości próbek wyznaczono wykres zależności współczynnika λ od gęstości drewna. Ostatnia część badań miała na celu wykazanie zależności współczynnika przewodzenia ciepła od kierunku badania danej próbki. Badanie wykonano wzdłuż i w poprzek włókien tej samej próbki. Wszystkie wyniki przedstawiono w formie tabel i wykresów.

Podczas analizy literatury stwierdzono, że ilość informacji odnośnie wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ dla drewna jest stosunkowo niewielka. Informacje dotyczą najczęściej drewna z podziałem na gęstości (bez uwzględnienia gatunku czy też podziału na drewno liściaste i iglaste). W części analizowanych materiałów brak jest temperatury lub też przy jakiej wilgotności w jakiej uzyskano wyniki. 2 3458

2. Stanowisko do badań

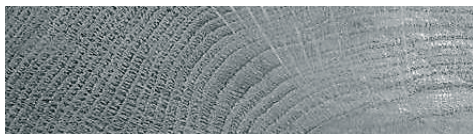
Badanie współczynnika przewodzenia ciepła λ opiera się na metodzie ustalonego strumienia ciepłego, w której strumień ciepła przechodzący przez próbkę materiału powinien mieć stałą wartość, a temperatura próbki w każdym punkcie powinna być ustalona. Współczynnik przewodzenia ciepła badanego materiału określa się mierząc gęstość strumienia ciepłego i różnicę temperatury po obu stronach próbki.

Do wyznaczenia współczynnika λ został użyty instrument firmy LaserComp. Został on zaprojektowany i wykonany zgodnie z normą ASTM C518-91 „Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus”. Instrument firmy LaserComp FOX 314 składa się z komory pomiarowej i podstawy w której znajduje się wyświetlacz i klawiatura. Po otwarciu drzwi komory pomiarowej, między płytami umieszcza się próbkę. Górna płyta jest zamontowana na stałe, a dolna ma możliwość ruchu w pionie. Na każdym z narożników dolnej płyty zamontowano cyfrowy system pomiaru ułożenia płyty. Po każdym zamknięciu płyt na próbce dokonywany jest odczyt średniej wartości z czterech czujników. Dokładność odczytu jest w granicach $\pm 0,025$ mm. Obie płyty wyposażono w system chłodząco-grzewczy. Składa się on z grup elementów termoelektrycznych (elementy Peltiera), kontrolowanych niezależnie dla środkowej i zewnętrznej części każdej z płyt. Przy temperaturze cieczy chłodzącej wynoszącej ~ 18 °C lub mniej, temperatury płyt mogą być niezależnie utrzymywane na dowolnej wartości zakresu od -20 do 95 °C z dokładnością do $0,02$ °C.

Przed rozpoczęciem badań przeprowadzono kalibrację instrumentu w celu sprawdzenia dokładności pomiarów. Kalibrację przeprowadzono przy użyciu próbki referencyjnej o identyfikatorze S117. Próbka jest wykonana z wełny mineralnej o gęstości $76,7$ kg/m³. Wymiary próbki to (długość x szerokość x grubość): $301 \times 301 \times 34,2$ mm. Kalibrację rozpoczęto od umieszczenia próbki w komorze pomiarowej, następnie wprowadzono ręcznie jej grubość z uwagi na możliwość zgniecenia próbki przy automatycznym pomiarze grubości, co mogłoby niekorzystnie wpłynąć na rezultat kalibracji. Zakres temperatur, jaki wybrano do pomiaru to 10 - 30 °C, zgodny z zakresami załączonymi w instrukcji urządzenia. Błąd pomiaru kalibracyjnego wyniósł $0,22\%$, przy maksymalnym dopuszczalnym błędzie wynoszącym 2% , co oznacza, iż kalibracja urządzenia została przeprowadzona poprawnie.

3. Badania próbek

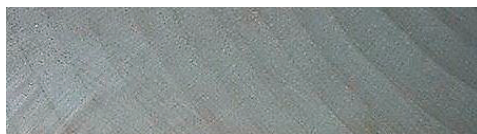
Zgromadzone materiały do badań sezonowano przez 60 dni w warunkach laboratoryjnych. Następnie próbki zostały docięte na odpowiedni wymiar i zheblowane tak aby uzyskać płaską powierzchnię. Oznaczenie współczynnika przewodzenia ciepła wykonano przy temp. $12,5$ °C (dolna płyta $L=0$ °C i górna płyta $U=25$ °C). Po wykonaniu badań próbki przeniesiono do suszarki gdzie były przechowywane do osiągnięcia stałej masy w temperaturze 60 °C. Proces ten niekorzystnie wpłynął na kształt próbek, doszło do wypaczenia i badane powierzchnie przestały być równoległe. Wymusiło to konieczność ponownego poddania procesowi heblowania. Po uzyskaniu prostokątowości określono gęstość każdej próbki. Badania wartości współczynnika przewodności dla drewna w stanie powietrzno-suchym wykonano przy identycznym zakresie jak w przypadku próbek sezonowanych w laboratorium. Wyniki zamieszczono w Tab. 1.



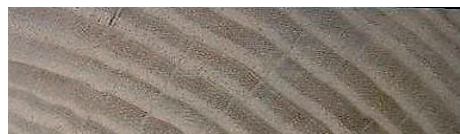
Rys. 1. Przekrój w poprzek włókien próbki - Dąb



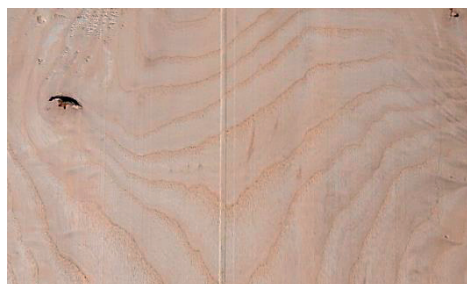
Rys. 2. Przekrój w poprzek włókien próbki - Buk



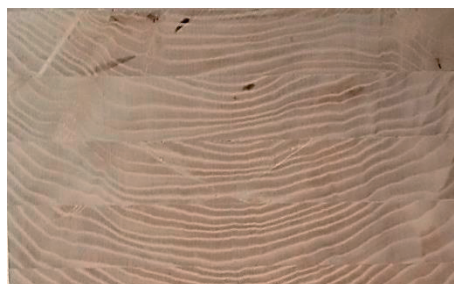
Rys. 3. Przekrój w poprzek włókien próbki - Jawor



Rys. 4. Przekrój w poprzek włókien próbki - Jesion



Rys. 5. Jesion – próbka przygotowana do badania w poprzek włókien



Rys. 6. Jesion – próbka przygotowana do badania wzdłuż włókien

Tabela 1. Wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ w zależności od wilgotności drewna

Gatunek drewna	λ^{**} [W/mK]	λ^{***} [W/mK]	Wilgotność masowa [%]	Gęstość objętościowa [kg/m ³]
Bambus	0,133	0,133	0,6	1063
Brzoza	0,106	0,111	3,7	580
Buk*	0,141	0,143	3,2	715-732
Dąb*	0,133	0,138	2,7	640-664
Jawor*	0,141	0,143	3,2	614-625
Jesion*	0,119	0,124	2,7	698-720
Klon	0,125	0,132	6,0	568
Olcha	0,094	0,101	5,0	475
Orzech	0,117	0,124	2,3	582
Osika	0,103	0,107	3,8	416
Sosna*	0,105	0,117	3,5	512-616
Świerk	0,101	0,104	3,5	417
Topola	0,079	0,081	3,7	255

* wartość λ obliczona jako średnia z minimum 3 próbek** wartość λ dla próbek drewna przy 0% wilgotności masowej*** wartość λ dla próbek drewna sezonowanego w temperaturze 25°C i wilgotności powietrza 60%

Kolejnym etapem było wyznaczenie wpływu temperatury badania na wartość współczynnika λ . Badaniom poddano 5 gatunków drewna (dąb, jawor, buk, jesion, sosna), każdorazowo wykonując oznaczenie dla trzech próbek. Badania wykonano dla 4 temperatur od 12,5°C do 42,5°C. Badania były wykonywane w następujących zakresach temperatur:

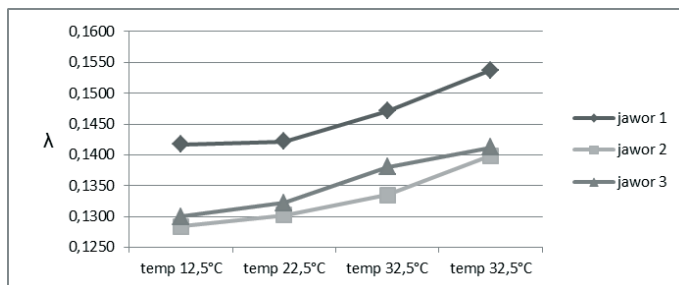
U1=0°C	L1=25°C	temp 12,5°C
U2=10°C	L2=35°C	temp 22,5°C
U1=20°C	L1=45°C	temp 32,5°C
U2=30°C	L2=55°C	temp 42,5°C

Ze względu na możliwość utraty wilgotności podczas badania (wysoka temperatura i długi czas oznaczania) zdecydowano, że pomiary wykonane zostaną jedynie dla próbek w stanie powietrzno-suchym. Po zakończeniu każdego pojedynczego badania badaniu próbki trafiały do suszarki tak aby przy kolejnym badaniu ich wilgotność oscylowała w granicach 0%. Każdorazowo kontrolowano masę próbek oraz sprawdzano równoległość płaszczyzn pomiarowych. Poniżej zamieszczono tabelę z wynikami badań (Tab. 2), przykładowy wykres wpływu temperatury badania na wartość współczynnika przewodzenia ciepła dla jednego z gatunków (Rys. 7), zbiorczy wykres dla wartości średnich z badań wszystkich 5 gatunków (Rys. 8).

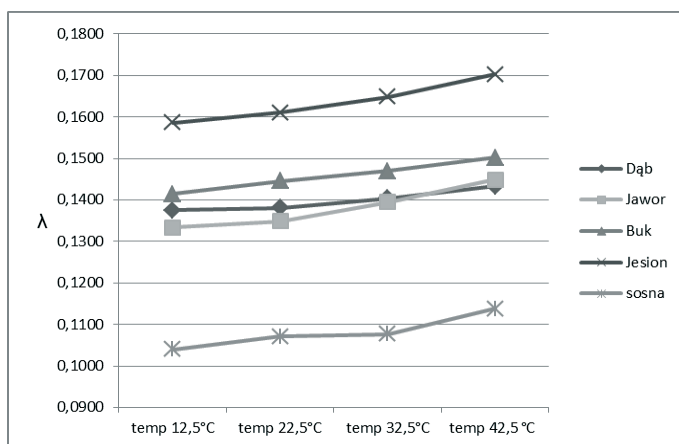
Tabela 2. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ_w zależności od temperatury badania

Gatunek	λ w temp 12,5°C	λ w temp 22,5°C	λ w temp 32,5°C	λ w temp 32,5°C
dąb 1	0,1558	0,1565	0,1582	0,1637
dąb 2	0,1287	0,1289	0,1313	0,1326
dąb 3	0,1282	0,1289	0,1319	0,1336
DĄB*	0,1376	0,1381	0,1405	0,1433
jawor 1	0,1417	0,1422	0,1471	0,1537
jawor 2	0,1284	0,1302	0,1335	0,1399
jawor 3	0,1300	0,1322	0,1380	0,1412
JAWOR*	0,1334	0,1349	0,1395	0,1449
buk 1	0,1433	0,1464	0,1503	0,1503
buk 2	0,1394	0,1437	0,1443	0,1507
buk 3	0,1415	0,1435	0,1465	0,1495
BUK*	0,1414	0,1445	0,1470	0,1502
jesion 1	0,1646	0,1672	0,1724	0,1766
jesion 2	0,1572	0,1568	0,1613	0,1646
jesion 3	0,1539	0,1592	0,1619	0,1696
JESION*	0,1586	0,1611	0,1652	0,1703
sosna 1	0,0990	0,1030	0,1052	0,1079
sosna 2	0,0917	0,0947	0,0946	0,0967
sosna 3	0,1213	0,1235	0,1234	0,1368
SOSNA*	0,1040	0,1071	0,1077	0,1138

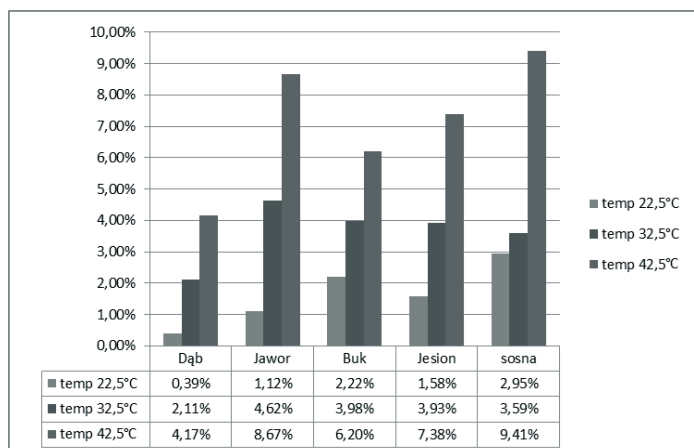
*Wartość średnia z trzech próbek



Rys. 7. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła λ od temperatury badania – drewno jawor



Rys. 8. Zbiorczy wykres zależność współczynnika przewodzenia ciepła λ od temperatury. Wykres opracowany dla wartości średniej z trzech próbek – dąb, jawor, buk, jesion i sosna.



Rys. 9. Procentowy wzrost współczynnika przewodzenia ciepła λ w zależności od zakresu temperatury. Poziom odniesienia wartość współczynnika λ przy temperaturze 12,5°C.

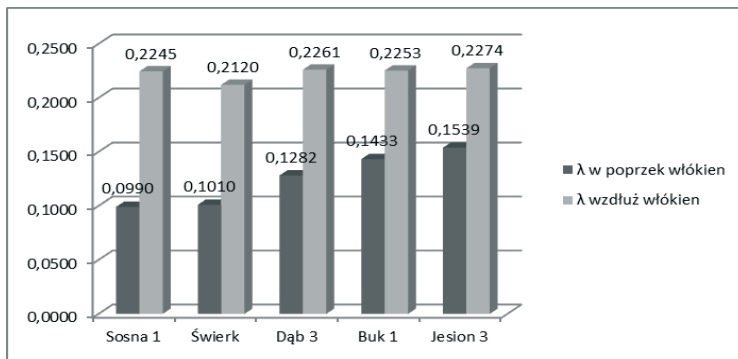
Stwierdzono, że wzrost temperatury badania wpływa w sposób niemalże liniowy na wzrost współczynnika λ we wszystkich badanych gatunkach drewna. Aby móc porównać wielkość wpływu temperatury na przewodność cieplną każdego z badanych pięciu gatun-

ków drewna obliczono procentowy wzrost współczynnika λ przy założeniu że wartością bazową jest współczynnik przewodzenia ciepła λ w temperaturze 12,5°C. Jako temperaturę odniesienia przyjęto temperaturę 22,5°C, 32,5°C i 42,5°C. Otrzymane wyniki obliczeń wykazują znaczne różnice między danymi gatunkami drewna. Najmniejszy wzrost zaobserwowano w przypadku dębu – 4,17%, Największy wzrost zaobserwowano w przypadku sosny – 9,41% (Rys. 9).

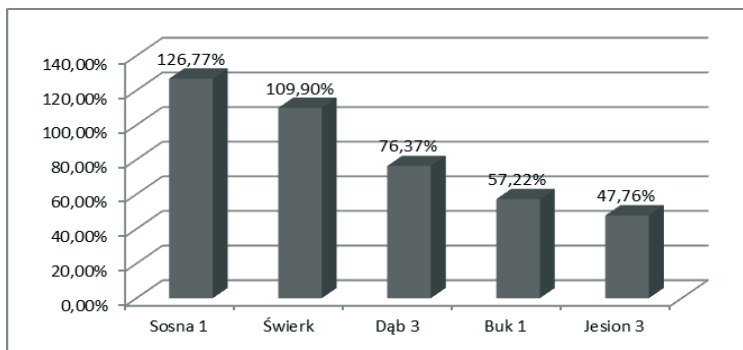
Celem kolejnego badania było wyznaczenie wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla drewna przy przepływie strumienia ciepła wzdłuż włókien. Do badań wybrano 5 próbek różnych gatunków drewna. Wybrano próbki, dla których wcześniej prowadzono oznaczenia w poprzek włókien, a ich grubość umożliwiała wykonanie nowych próbek. Wybór wcześniej badanych próbek wynikał z faktu, że porównanie wyników jest możliwe tylko dla tego samego fragmentu drewna (materiał niejednorodny). Wybrane próbki pocięte zostały na kawałki o szerokości 25 mm, obrócone o 90°, a następnie w takiej samej kolejności sklezione. Uzyskano próbki o wymiarach 300*300*25mm. Próbki wysuszono do stałej masy. Temperaturę urządzenia ustalono na 12,5°C (dolnej płyty L = 0°C i górnej płyty U = 25°C). Wyniki badań zamieszczono w Tab. 3 i na Rys. 10.

Tabela 3. Zestawienie wyników badania współczynnika przewodzenia ciepła λ wzdłuż i w poprzek włókien

Kierunek przepływu ciepła	Sosna 1	Świerk	Dąb 3	Buk 1	Jesion 3
W poprzek włókien	0,0990	0,1010	0,1282	0,1433	0,1539
Wzdłuż włókien	0,2245	0,2120	0,2261	0,2253	0,2274



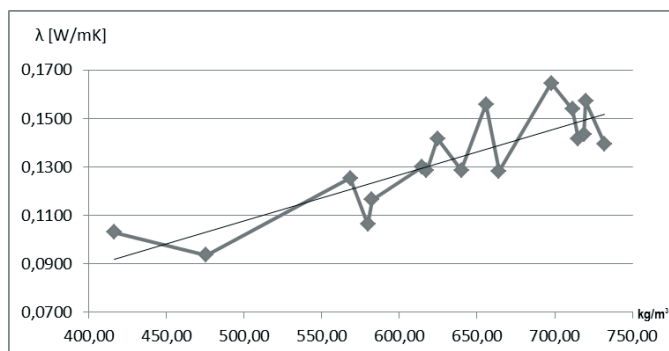
Rys. 10. Zestawienie badań wzdłuż i w poprzek włókien



Rys. 11. Procentowy wzrost współczynnika przewodzenia ciepła λ badanego wzdłuż włókien w stosunku do badanego w poprzek włókien

Stwierdzono, że różnice między wynikiem uzyskanym w poprzek a wzdłuż włókien są znaczne i sięgają od prawie 48% do 127% (Rys. 11). Zauważono również, że pomimo dużych różnic między współczynnikami przewodzenia ciepła badanymi w poprzek włókien już w trakcie badania wzdłuż nie były one tak zauważalne.

Po wykonaniu zestawienia wykonano wykres (Rys. 12) wpływu gęstości drewna na wartość współczynnika przewodzenia ciepła dla gatunków liściastych (10 gatunków 17 próbek). Wykonanie wykresu dla gatunków iglastych było niemożliwe z powodu zbyt małej ilości gatunków objętych badaniami.



Rys. 12. Wykres zależności współczynnika λ od gęstości próbki – drewno liściaste 10

W celu porównania informacji zawartych w literaturze z własnymi badaniami wszystkie wyniki zestawiono w tabeli. W zestawieniu wzięto pod uwagę zarówno współczynnik przenikania ciepła λ jak i gęstość badanego drewna. Zestawienie objęło wyniki badań własnych oraz trzy pozycje literaturowe (Tab. 4).

Tabela 4. Porównanie wyników własnych z współczynnikami przewodzenia publikowanymi w innych źródłach

Gatunek	Badania własne*		K. Krzysik 2**		K. Raznijićevic 8***		Norma 3****	
	Gęstość [kg/m ³]	λ [W/mK]	Gęstość [kg/m ³]	λ [W/mK]	Gęstość [kg/m ³]	λ [W/mK]	Gęstość [kg/m ³]	λ [W/mK]
Bambus	1063	0,1329	-	-	-	-	-	-
Brzoza	580	0,1105	510-830	0,12	680	0,115	-	-
Buk	715-732	0,1388-0,1422	540-910	0,13	700-900	0,18-0,23	-	-
Dąb	640-664	0,1301-0,1513	430-960	0,11-0,17	650	0,209	800	0,22
Jawor	614-625	0,1331-0,1452	530-790	0,137-0,156	710	0,136	-	-
Jesion	698-720	0,1562-0,1639	480-940	0,15	740	0,14	-	-
Klon	568	0,1324	560-810	0,121	-	-	-	-
Olcha	475	0,1014	420-640	0,104	-	-	-	-
Orzech	582	0,1237	680	0,091	700	0,23	-	-
Osika	416	0,1072	440	0,94	-	-	-	-
Sosna	512-616	0,0939-0,1338	330-890	0,12	400-600	0,11-0,16	550	0,16
Świerk	417	0,1037	330-680	0,076-0,09	400-600	0,11-0,16	550	0,16
Topola	255	0,0799	410-560	0,117	-	-	-	-

* Temperatura 12,5°C, wilgotność drewna laboratoryjna (do 6,25%)

** Wilgotność drewna (10-15%)

*** Temperatura 0-30°C

**** Warunki średniowilgotne

Porównując wyniki otrzymane podczas badań w laboratorium z wynikami w publikacji z 1974 r. 2 zauważyć można, że wyniki w większości pokrywają się ze sobą. Nie potwierdza się to jedynie w przypadku orzecha, świerku, topoli oraz osiki. Najprawdopodobniej spowodowane jest to różnicami w gęstości próbek. Dla osiki wartość współczynnika λ podana w 2 jest tak duża, iż można przypuszczać, że jest to po prostu błąd edycyjny. Wyniki zawarte w „Tablice cieplne z wykresami” 8 różnią się od otrzymanych przez autorów w sposób bardziej wyraźny. Zbieżność stwierdzono jedynie w wynikach jaworu i sosny. W przypadku normy wybrano jej wersję wycofaną i zastąpioną, ze względu większą ilość informacji w stosunku do obecnie obowiązującej. W normie 3 podane były współczynniki przewodzenia ciepła dla trzech gatunków drewna: sosna, świerk i dąb dla badania wzdłuż i w poprzek włókien. Niestety podane gęstości wyraźnie różniły się od gęstości próbek objętych badaniami własnymi, co uniemożliwiło ich porównanie.

Literatura

- 1 *Instrukcja obsługi instrumentu Laser Comp FOX 314.*
- 2 Krzysik F., *Nauka o drewnie*, Warszawa 1974, PWN.
- 3 PN-91 B-02020 *Ochrona cieplna budynków – Wymagania i obliczenia.*
- 4 PN-EN 12524:2000 *Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Tabelaryczne wartości obliczeniowe.*
- 5 PN-EN ISO 10456:2009 *Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Tabelaryczne wartości obliczeniowe.*
- 6 Praca zbiorowa pod kierunkiem P. Klemma: *Budownictwo ogólne. Tom 1. Materiały i wyroby budowlane.* Arkady, Warszawa 2005.
- 7 Praca zbiorowa pod kierunkiem P. Klemma: *Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli.* Arkady, Warszawa 2005.
- 8 Raznijevic K., *Tablice cieplne z wykresami*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.

The impact of temperature, humidity and the direction of analysis on thermal conductivity λ in different types of wood

Maciej Trochonowicz, Nina Kołodziejczuk

*Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture
Chair of Historic Buildings Preservation*

Summary: The main aim of the article is to present the issues related to the impact of temperature and humidity on thermal conductivity λ in different types of wood used in building structure. In this elaboration authors present the results of laboratory test. Authors checked the impact of the direction of analysis and density of wood on thermal conductivity λ in wooden elements.

Key words: wood, wood thermal conductivity λ , wood insulation

Konserwacja zachowawcza a trwałość budowli drewnianych

Piotr Witomski

*Zakład Ochrony Drewna, Wydział Technologii Drewna,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, e-mail: piotr_witomski@sggw.pl*

Streszczenie: W pracy zaprezentowano główne problemy związane z trwałością budowli drewnianych w kontekście biokorozji. Wymieniono czynniki biokorozji występujące w architekturze drewnianej oraz ich zależność od warunków klimatycznych. Wskazano główne czynniki wpływające na wielowiekową trwałość budowli historycznych, w tym dobór materiałów. Dokonano przeglądu rozwiązań konstrukcyjnych przyczyniających się do zwiększenia trwałości obiektów, zarówno tych wyrosłych z tradycji ciesielskiej, jak i współcześnie stosowanych zabiegów konserwatorskich.

Słowa kluczowe: zagrzybienie, owady ksylofagiczne, biokorozja drewna, zabytki drewniane, konserwacja drewna, ochrona przed zawilgoceniem

1. Wprowadzenie

Konserwacja zachowawcza, w przypadku obiektów architektury drewnianej, jest niczym innym jak wykorzystaniem naturalnych właściwości materiału, oraz zastosowaniem rozwiązań konstrukcyjnych wypracowanych w wyniku doświadczeń zebranych na przestrzeni wieków, a zapewniających długą trwałość budowli. Nie jest to, wbrew oczekiwaniom, nowe podejście do problemu degradacji materii organicznej, stosowanie nowych materiałów technicznych czy środków chemicznych, ale umiejętne poparte wiedzą sterowanie klimatem obiektów oraz minimalizacja narażania ich na zawilgocenie. Z pokorą należy stwierdzić, że zaprezentowane rozwiązania nie są niczym nowym i odkrywczym. Doświadczenia wypracowywane przez wieki, płynące z obserwacji, powszechnie znane choć czasem bez zrozumienia przyczynowego, niestety w ostatnich czasach uległy zapomnieniu lub wręcz dezawuacji jako przestarzałe w dobie wiary we wszechmoc współczesnej chemii, nowoczesnych materiałów i technologii.

Duża trwałość dawnych konstrukcji budowlanych była efektem stosowania surowca pochodzącego z drzew starych, w dużej części ociosanych z mniej odpornej strefy bielastej, co pozwalało utrzymać elementy drewniane w niższej wilgotności i zmniejszyło ryzyko rozwoju biokorozji. Dodatkowym czynnikiem często było przesztynwienie konstrukcji oraz przewymiarowanie elementów, co dawało zapas wytrzymałości na ewentualne zniszczenie części przekroju lub całego elementu. Pomimo dość szybkiego obniżenia wytrzymałości drewna na zginanie o 50% przypadającego na zniszczenie drewna o 7% (mierzone jako ubytek masy drewna zdrowego) i 50% obniżenia wytrzymałości na ściskanie w wyniku rozkładu drewna o 20% [1], nawet konstrukcje które na przestrzeni wieków ulegały zawilgoceniu i rozwojowi biokorozji były w stanie przetrwać do naszych czasów.

2. Czynniki degradacji

Degradacja drewna jest spowodowana rozwojem czynników biologicznych takich jak grzyby domowe i owady ksylofagiczne. Wśród najgroźniejszych grzybów można, za Grzywaczem [2] przytoczyć gatunki o bardzo dużej sile niszczenia, najczęściej występujące w budynkach, powodujące bardzo szybki i rozległy rozkład drewna jak: stroczek łzawy – grzyb domowy właściwy (*Serpula lacrymans*), gnilica mózgowata – grzyb piwniczny (*Coniophora puteana*), jamkówka pogięta – grzyb domowy biały (*Antrodia sinuosa*); grzyby mniej szkodliwe, o dość wysokiej sile niszczenia występujące gniazdowo: krowiak boczo-trzonowy – grzyb kopalniany (*Paxillus panuoides*), jamkówka rzędowa (*Antrodia serialis*), twardziak łuskowaty – grzyb podkładowy (*Lentinus lepideus*), niszczyca płotowa – grzyb słupowy (*Gloeophyllum sepiarium*); grzyby powodujące powolny i powierzchniowy rozkład drewna: korownica olbrzymia (*Phanerochaete gigantea*), powłoczniczek gładki (*Cylindrobasidium laeve*), niszczyca belkowa (*Gloeophyllum trabeum*), czuprynka kulista (*Chaetomium globosum*). Natomiast spośród owadów największe zniszczenia w obiektach architektury są, według Krajewskiego [3], spowodowane występowaniem takich gatunków jak owady niszczące drewno powietrzno suche: spuszczel pospolity (*Hylotrupes bajulus*), kołatek domowy (*Anobium punctatum*), wyschlik grzebykorożny (*Ptilinus pectinicornis*) i owady niszczące drewno zawilgocone i zagrzybione: tykotek pstry (*Xestobium rufovillosum*), kołatek uparty (*Anobium pertinax*), krokwiowiec piłkorożny (*Priobium carpini*).



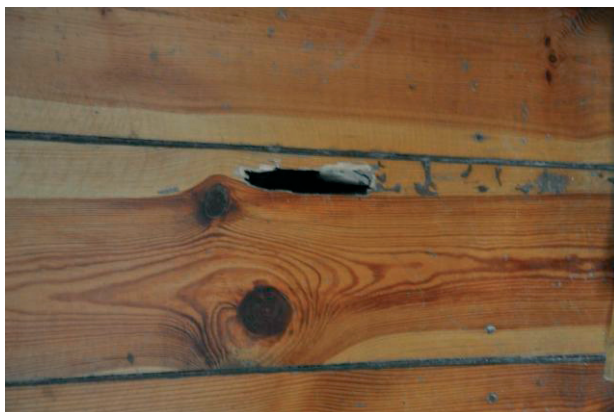
Fot. 1. Wilgotność tego samego, zalewanego wodą elementu. Strefa bielasta – wilgotność 60% – optymalne warunki dla rozwoju grzybów. Strefa twardej – wilgotność 18% - suchy stan ochronny.

Występowanie wszystkich wspomnianych czynników uzależnione jest od warunków środowiskowych takich jak: gatunek drewna i jego strefa, wilgotność drewna i powietrza oraz temperatura. Dopiero spełnienie wszystkich wymogów umożliwia rozwój danego gatunku grzyba lub owada. Utrzymanie niskiej wilgotności drewna w tak zwanym „suchym stanie ochronnym” czyli poniżej 20% wilgotności bezwzględnej drewna zapobiega rozwojowi zagrzybienia. W przypadku owadów granica jest znacznie niższa i wynosi dla poszczególnych gatunków: miazgowców 5,5%, spuszczela pospolitego 8–10%, natomiast kołatka domowego 12%.

3. Dobór surowca drzewnego

Użycie do budowy odpowiedniego surowca gwarantowało dużo większą trwałość budowli o ile w ogóle nie eliminowało szkodników. Należy tu wyliczyć kilka uwarunkowań.

Gatunek drewna determinuje wysycenie substancjami gumo-żywicznymi o właściwościach antyseptycznych czyli utrudniających rozwój zarówno grzybów jak owadów. Kolejnym elementem jest budowa anatomiczna danego gatunku drewna, a dokładniej „zamknięcie” w trakcie procesu twardzielowania otworów anatomicznych ułatwiających rozwój i rozprzestrzenianie się mikroorganizmów wewnątrz tkanki drzewnej. Jednocześnie utrudnia to dyfuzję gazów oraz nasiąkliwość – czyli zdolność do podwyższania wilgotności drewna. Strefa bielasta odpornych gatunków twardzielowych jest wyraźnie mniej trwała od sąsiadującej z nią strefy twardzielowej wysyconej substancjami antyseptycznymi i o zamkniętych „porach”. Ponadto strefa bielasta biorąca, w żywym drzewie, udział w przewodzeniu wody oraz przewodzeniu i magazynowaniu substancji odżywczych jest bogata w skrobie, cukry proste, białka i inne substancje niezbędne do rozwoju zarówno grzybów jak owadów. Zatem dobór gatunku drewna i eliminacja z niego strefy bielastej uniemożliwiała występowanie jednych i ograniczało rozwój innych gatunków szkodników. Stosowanie twardzieli pozwalało utrzymać drewno na dużo niższym poziomie wilgotności (fot. 1) ograniczając rozwój zagrzybienia, natomiast w przypadku owadów twardziel była zbyt uboga aby zapewnić warunki rozwoju najgroźniejszemu obecnie gatunkowi owada jakim jest spuszczel pospolity (fot. 2).



Fot. 2. Żerowiska spuszczela pospolitego w drewnie sosny. Silnie zniszczona strefa bielasta i nienaruszona strefa twardzielowa.

W warunkach Polski najczęściej wykorzystywanym gatunkiem drewna była i jest sosna, ale pochodząca ze starych przestojowych drzew i pozbawiona strefy bielastej z powodzeniem zapewniała budowlom wielowiekową trwałość. Najtrwalszym surowcem dostępnym na naszych ziemiach było drewno dębu stosowane jednak, poza nielicznymi wyjątkami i rejonami, głównie na narażone na zagrzybienie podwaliny.

4. Obszary zagrożeń i ich specyfika wilgotnościowo-termiczna

Pod względem warunków wilgotnościowo-termicznych budowle drewniane można podzielić na kilka obszarów determinujących rozwój poszczególnych gatunków szkodników. Stąd znaczenie jakie należy przywiązywać do doboru surowca pod względem jego gatunku i strefy, oraz rozwiązań konstrukcyjnych obniżających możliwość zawilgocenia drewna [4].



Fot. 3. Tradycyjne metody zabezpieczania podwaliny. Wysokie wyniesienie podwaliny ponad poziom gruntu zabezpiecza przed działaniem wód rozbryzgowych, śniegiem, oraz zmniejsza ryzyko podciągania kapilarnego. Podwalina wykonana z odpornej dębiny. Wentylacja podpodłogowa pod stropem przyziemia zapobiega zagrzybieniu stropu

4.1. Podwalina

Obszarem najbardziej narażonym na zawilgocenie jest podwalina wystawiona na działanie śniegu, wód opadowych i rozbryzgowych, podciąganie kapilarne z fundamentów. W bezpośrednim sąsiedztwie podwaliny strop przyziemia narażony jest na kondensację pary. Z uwagi na niską temperaturę najczęściej pojawić tam się może stoczek łzawy i gnilica muzgowata, z owadów kołatek domowy, a w drewnie zagrzybionym tykotek pstry. Tradycyjnym rozwiązaniem stosowanym w tym obszarze, wypracowanym na przestrzeni wieków jest wykonanie podwaliny z drewna odpornego np. dębiny, zapobieganie jej zawilgoceniu przez jej wyniesienie ponad poziom gruntu i stosowanie wentylacji podpodłogowej (fot. 3). Podczas obecnie prowadzonych prac konserwatorskich dodatkowo wprowadza się izolacje drewna od muru w postaci przekładki z papy, a często również różnej formy okapników osłaniających podwalinę przed wodami opadowymi (fot. 4).



Fot. 4. Osłonięcie podwaliny przed wodami opadowymi przy jednoczesnym swobodnym przepływie powietrza wokół podwaliny.



Fot. 5. Szalunek z desek jako forma ochrony zrębu budowli, a szczególnie połączeń ciesielskich. Kilkostopniowe okapy odprowadzające wody opadowe od elewacji zastępujące rolę rur spustowych

4.2. Trzon budowli

Wyżej usytuowany trzon budowli narażony jest najbardziej od zewnątrz na zawilgocenie przez wody opadowe zacinające na drewniane elementy oraz wody spływające z dachu. W tym obszarze najintensywniej rozwijać się będzie szary rozkład drewna niszczący powierzchnię elewacji. Wrażliwym obszarem są również poziomo usytuowane złącza i zamki ciesielskie, szczególnie te z ostatkami gdzie dochodzi do gromadzenia się wody, która z łatwością wnika w złącza ciesielskie zawilgacając je na długi czas. Tradycyjnym sposobem osłaniania tego obszaru jest szalowanie zrębu budowli deskami lub gontem (fot. 5). Osłony takie, pomimo że musiały być wymienione co kilkadziesiąt lat, zapobiegały zawilgoceniu głównego trzonu budowli i jego zagrzybieniu. W czasach, w których nie stosowano rynien i rur spustowych, rozwiązaniami wypracowanymi przez wieki było odprowadzanie wód opadowych jak najdalej zrębu budowli. Zapewniały to szerokie okapy dachu (fot. 5), daszki na rysiach w połowie wysokości budowli, lub wtórnie dodawane soboty (fot. 6).



Fot. 6. Soboty osłaniające podwalinę i dół zrębu, odprowadzające wody opadowe od fundamentów, jednocześnie zapewniające cyrkulację powietrza wokół budowli



Fot. 7. Kondensacja pary wodnej w zamkniętym obiekcie skansenowskim

Niestety pomimo dbałości o niską wilgotność drewna uniemożliwiająca rozwój zagrzybienia obszar ten bywa narażony na rozwój owadów ksylofagicznych. W nagrzanym ścianach południowych może występować ciepłolubny spuszczel pospolity, choć w przeszłości nie stanowił on tak dużego problemu jak obecnie z uwagi na pozabawianie (ociosywanie) elementów części bielastej. Kolejnym owadem występującym w tym obszarze, a szczególnie we wnętrzach jest kołatek domowy żerujący w drewnie o wilgotności od 12% wwyż. Nie jest on zatem obserwowany we wnętrzach opalanych i wietrzonych, natomiast z powodzeniem bytuje w drewnianych kościołach i obiektach skansenowskich. Wyłączenie budynków z eksploatacji jak to ma miejsce w skansenach, nieczynnych cerkwiach oraz starych drewnianych kościołach stojących w sąsiedztwie „nowocześniejszych” współczesnych świątyń ogranicza wentylację tych obiektów, powoduje wzrost zawilgocenia (fot. 7) i przyspiesza biokorozję.

4.3. Dach i więźba dachowa

Obszar dachu charakteryzuje się jeszcze innymi warunkami klimatycznymi. Wysokie temperatury powstające w wyniku insolacji zapewniają niską wilgotność drewna, a w sytuacjach nieszczelności dachu i zalewania więźby dachowej umożliwiają jej szybkie wysychanie. Efektem tego jest dość sporadyczne występowanie grzybów, a w sytuacjach nieszczelności poszycia zwykle ograniczony, gniazdowy rozwój zagrzybienia. Dobra wentylacja tradycyjnych strychów zapewniana otworami wentylacyjnymi a także przez samo poszycie dachu między dachówkami lub gontem przyspiesza wysychanie drewna po ewentualnych zalaniach. Natomiast praktykowane obecnie uszczelnienie strychów pianką, krycie blachą lub papą prowadzi w okresach chłódów do kondensacji pary wodnej i rozwoju zagrzybienia (fot. 8).

Kolejnym problemem występującym na więźbach dachowych jest żerowanie spuszczela pospolitego. Owad ten dość tolerancyjny na niską wilgotność drewna (8-10%) i wymagający wyższych temperatur ma na więźbach dachowych idealne warunki do swojego rozwoju. Jak wyżej wspomniano, dawniej drewno pozbawione zasobnego w białko i inne składniki odżywcze bielu uniemożliwiało rozwój tego owada. Niestety obecne stosowanie surowca z drzew młodych, o dużym udziale bielu stwarza idealne warunki dla rozwoju spuszczela (fot. 9).

W sytuacjach zalewania więźby dachowej, zniszczenia spowodowane zagrzybieniem potęguje rozwój krokwiowca piłkorożnego żerującego w drewnie zawilgoconym i zagrzybionym. Owad ten, podobnie jak spuszczel, preferuje stanowiska nagrzane i występuje w więźbach dachowych. W obiektach murowanych można go również spotkać na więźbach o szczelnym poszyciu dachu. Murlaty i krokwie opierające się na ścianach kolankowych

ulegają zawilgoceniu w wyniku podciągania kapilarnego wody z muru i ulegają powolnemu rozwojowi zagrzybienia. Pomimo pozornie „zdrowego” wyglądu krokwi na całej długości, w obszarach styku drewna z murem mogą występować niedostrzegalne ogniska zagrzybienia i żerowiska krokwiowca piłkorożnego (fot. 10).



Fot. 8. Szczelne poszycie dachu blachą prowadzące do kondensacji pary i rozwoju zagrzybienia



Fot. 9. Fragment gotyckiej więźby dachowej z elementem wymienionym podczas konserwacji w latach 70. XX w. Prawie całkowite zniszczenie elementu przez spuszczała pospolitego



Fot. 10. Żerowisko krokwiowca piłkorożnego w zagrzybionym miejscu styku krokwi z murem. Pozostała większość krokwi bez objawów biokorozji

5. Podsumowanie

W ubiegłych wiekach jedynymi dostępnymi środkami zapewniającymi wielowiekową trwałość budowli drewnianych były wyłącznie rozwiązania techniczne zapobiegające zawilgoceniu drewna, oraz sprawna wentylacja wewnątrz i wokół obiektu umożliwiająca jego szybkie przesychnanie. Kolejnym elementem było stosowanie drewna twardzielowego odpornego na biokorozję oraz łatwe zawilgocenie. Alternatywą do używanych obecnie biobójczych środków chemicznych, chemicznych i fizycznych metod zwalczania szkodników drewna jest wiedza na temat warunków środowiskowych eliminujących najgroźniejsze grzyby i owady. Stąd znaczenie jakie obecnie należy przywiązywać do doboru surowca pod względem jego gatunku i strefy, oraz rozwiązań konstrukcyjnych zapobiegających możliwości zawilgocenia drewna.

Literatura

- 1 Witomski P. *Zmiany wybranych właściwości fizycznych i chemicznych drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pod wpływem rozkładu białego i brunatnego*. Monografia. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2008, s. 116.
- 2 Grzywacz A. *Gatunkowa różnorodność biologiczna grzybów rozkładających drewno*. IV Sympozjum PSMB "Ochrona obiektów budowlanych przed korozją biologiczną i ogniem". Szklarska Poręba. 1997, 69-77.
- 3 Krajewski A. *Zagrożenie drewnianych obiektów przez owady*. [w]: *100-lecie polskiego muzealnictwa etnograficznego na wolnym powietrzu*. Biuletyn nr 9/2006, Wdzydze 2006, 107-116.
- 4 Krajewski A., Witomski P. *Korozja biologiczna drewna materialnych dóbr kultury*. Poradnik konserwatorski. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2012, s.183.

Preventive conservation of historical wooden architecture

Piotr Witomski

*Department of Wood Science and Wood Preservation, Faculty of Wood Technology,
Warsaw University of Life Sciences – SGGW, e-mail: piotr_witomski@sggw.pl*

Abstract: The paper outlines the main problems associated with the durability of wooden buildings in the context of biodegradation. Wood destroying organisms were listed and their climatic requirements were pointed. It was indicated that the main factor affecting the durability of the old historical buildings, was the selection of wood. Traditional carpentry solutions ensuring the durability of timber structures were presented.

Keywords: wood decaying fungi, woodworm insects, wood decomposition, historical wooden architecture, wood preservation, wood protection.

Pomiar, inwentaryzacja i diagnostyka drewnianej architektury wernakularnej - wybrane zagadnienia zastosowania technologii skanowania naziemnego

Rafał Zapłata

*Zakład Konserwacji Zabytków i Ochrony Krajobrazu,
Instytut Historii Sztuki, Wydział Nauk Historycznych i Społecznych,
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, e-mail: rafalzaplata@poczta.onet.pl*

Streszczenie: Ochrona, konserwacja i utrzymanie zabytkowej architektury drewnianej wymaga szeregu działań, spośród których znaczącą rolę odgrywają zagadnienia pomiaru i diagnostyki obiektów. Współczesne technologie, w tym pojawiające się narzędzia fotogrametryczne - skanujące, oferują nowe rozwiązania w tym zakresie, stanowiąc zarazem potencjał, który warto wykorzystać w działaniach na rzecz drewnianej architektury wernakularnej. Celem artykułu jest omówienie podstawowych zagadnień związanych z zastosowaniem technologii skanowania, zwłaszcza skanowania laserowego, w pomiarze, inwentaryzacji i diagnostyce drewnianej architektury wernakularnej. Problematyka jest prezentowana na wybranych przykładach obiektów zabytkowych, celem zilustrowania i przedyskutowania zagadnień metodycznych, z ukierunkowaniem na wskazanie potencjalnych rozwiązań inwentaryzacyjno-analitycznych. Artykuł skupia się wokół następujących zagadnień: (1) skanowanie zabytkowej architektury drewnianej jako element procesów digitalizacyjnych (mikroskopia 3D, ramiona skanujące, skanowanie strukturalne, skanowanie geodezyjne); (2) wyzwania i problemy; (3) zalecenia i wskazania w zakresie działań inwentaryzacyjnych z zastosowaniem nowoczesnych technologii pomiarowych. W końcowej części artykułu prezentowane są wnioski oraz postulaty badawcze na przyszłość w zakresie stosowania technik skanowania w odniesieniu do zabytkowej architektury drewnianej.

Słowa kluczowe: drewniana architektura wernakularna, metody nieinwazyjne, skanowanie, inwentaryzacja, analiza.

1. Wprowadzenie – skanowanie i zabytki

Celem artykułu jest przekrojowe zaprezentowanie technologii skanowania, z ukierunkowaniem na zagadnienia związane z drewnianą architekturą wernakularną. Pośrednim celem tekstu jest zwrócenie uwagi na potencjał omawianej technologii, ze szczególnym podkreśleniem nowych możliwości diagnostyczno-analitycznych zabytków. Artykuł jest również próbą przedstawienia zarysów koncepcji zintegrowanego wsparcia procesu diagnostyczno-pomiarowego drewnianej architektury wernakularnej, którego elementem przewodnim jest technologia skanowania, taktowana jako proces pozyskiwania danych cyfrowych o obiektach, wraz z procedurami przetwarzania wygenerowanego zasobu. W tekście problematyka skanowania jest omawiana, poprzez położenie nacisku przede wszystkim na naziemne skanowanie laserowe – akronim NSL (ang. *Terrestrial Laser*

Scanning – akronim TLS), a więc pomiar oparty na tzw. skanerach geodezyjnych, który w dokumentacji i pomiarze całych obiektów, staje się jedną z powszechniejszych obecnie metod inwentaryzacyjno-badawczych. Artykuł stanowi kolejną publikację, która wpisuje się w nurt propagowania idei inwentaryzacji zabytków architektury za pośrednictwem NSL. Zamieszczony w tekście materiał ilustracyjny, stanowi uzupełnienie części opisowej, z jednoczesnym ukazaniem złożoności powierzchni i konstrukcji drewnianej architektury wernakularnej, której dokładna, trójwymiarowa dokumentacja inwentaryzacyjno-pomiarowa możliwa jest przy zastosowaniu nowoczesnych technologii pomiarowych (fotogrametrycznych), do jakich zaliczamy skanowanie naziemne.

Pod pojęciem technologii skanowania naziemnego, na potrzeby poniższego tekstu, należy rozumieć przede wszystkim techniki umożliwiające wykonanie bezdotykowej, nieinwazyjnej rejestracji przestrzennej geometrii obiektów drewnianych. W związku z powyższym zaproponowana charakterystyka obejmować będzie narzędzia, które umożliwiają: (1) pomiar i inwentaryzację obiektów, wraz z ich kontekstem (naziemne skanowanie laserowe - NSL); (2) wsparcie w procesach diagnostyczno-analitycznych stanu zachowania obiektów zabytkowych (NSL, a także rejestracja przestrzenna i obrazowa w skali mikro, czyli skanowanie bliskiego zasięgu (np. światłem strukturalnym), skanowanie ramionami skanującymi, a także rejestracja w oparciu o mikroskopię 3D).

Tak dobrany zestaw omawianych technik, jest efektem zestawienia najnowszych urządzeń w zakresie rejestracji geometrii obiektów zabytkowych, którą można wykonać podczas prac terenowych *in situ*, co stanowiło zasadnicze kryterium doboru opisywanych technologii i proponowanej koncepcji zintegrowanego procesu wsparcia prac dokumentacyjno-diagnostycznych.¹

2. Technologia skanowania a architektura wernakularna

Architektura wernakularna, zwłaszcza zabytkowa jest przedmiotem licznych działań (np. [1-10]), u podstaw których (1) z jednej strony stoją pytania badawcze (dotyczące historii budynków, technik konstrukcyjnych, funkcji obiektów itd.), a także potrzeby natury ochronnej i konserwatorskiej, a (2) z drugiej strony nowe technologie, stające się asumptem do określania nowych kierunków badań, do których należy zaliczyć nieustannie rozbudowywane narzędzia skanowania. Idea pomiaru bryły czy powierzchni zabytków architektury drewnianej nie jest niczym nowym, a wręcz od zawsze pożądanym i oczekiwanym. Niestety wiele z dotychczasowych metod nie umożliwiało w tak szybki, bezdotykowy i dokładny sposób pomiarów zabytków, do tego z dokładnością rzędu mikrometrów, a nawet i większą. Ta technologiczna zmiana w odniesieniu do urządzeń pomiarowych, nie pozostaje bez znaczenia we współczesnym sposobie planowania i prowadzenia prac dokumentacyjno-analitycznych zabytków architektury drewnianej *in situ*. Zastosowanie

¹ Dobór omawianych technologii do potrzeb prac inwentaryzacyjno-analitycznych, a tym samym tworzenie koncepcji zintegrowanego wsparcia procesu diagnostyczno-pomiarowego są efektem dotychczas wykonanych pomiarów i analiz sprzętu. Zaproponowane zestawienie urządzeń i działań na nich opartych przy obiektach architektury drewnianej *in situ*, nie stanowi zbioru zamkniętego (i tym samym nie wyczerpuje dostępnego na rynku potencjału technologicznego), a jedynie pewną koncepcyjną, torującą drogę do dalszych działań na rzecz rozbudowy warsztatu inwentaryzacyjno-diagnostycznego, opartego na współczesnych narzędziach fotogrametrii naziemnej. Celem tak określonego działania jest z jednej strony zwrócenie uwagi środowisk badawczo-konserwatorskich na rodzący się potencjał technologiczny, z drugiej strony uwrażliwienie środowisk fotogrametrów i producentów sprzętu na szanse aplikowania omawianych technologii w kolejnych sektorach i dyscyplinach.

NSL w odniesieniu do obiektów drewnianej architektury wernakularnej, charakteryzuje wiele podobieństw z obiektami murowanymi, jednak specyfika obiektów należących do tytułowej grupy, skłania do oddzielnego potraktowania tego zagadnienia.



Ryc. 1. Przykład drewnianej architektury wernakularnej. Chałupa z Kłonówka, gm. Gózd, pow. radomski – 1825 r.. Muzeum Wsi Radomskiej [Fot. R. Zapłata]



Ryc. 2. Przykład złożonych geometrycznie elementów konstrukcyjnych (po lewej) i zróżnicowanych powierzchni budynków drewnianych – elementy o dużym stopniu trudności dla tradycyjnej inwentaryzacji pomiarowo-rysunkowej. Muzeum Wsi Kieleckiej (po lewej) oraz Muzeum Wsi Radomskiej (po prawej). [Fot. R. Zapłata]



Ryc. 3. Przykład pokrycia dachowego (olejarnia z poł XX w.) – dach dwupołaciowy pokryty gontem. Przykład powierzchni ‘trudnej’ w dokumentacji tradycyjnej - zróżnicowana forma, zanieczyszczona, o niejednorodnej fakturze. Muzeum Wsi Radomskiej. [Fot. R. Zapłata]

Drewniana architektura wernakularna – czyli architektura bez architekta [11], zazwyczaj pozbawiona dokumentacji projektowej, jakkolwiek by ją rozumieć, obciążona była licznymi działaniami, które znalazły jedyny swój zapis i ślad w tym, co stanowi efekt końcowy prac ciesielskich, stolarskich itp.. To co różni zasadniczo omawianą grupę obiektów od innych, zaliczanych do dziedzictwa kulturowego, to m.in. sam (1) surowiec, jak i (2) charakterystyczne konstrukcje oraz (3) techniki przygotowania, wykańczania czy obróbki drewna, a także (4) charakterystyczne procesy destrukcyjne [12]. Te cechy nie pozostają bez znaczenia w wyróżnieniu tej grupy obiektów spośród wszystkich, które można analizować i inwentaryzować na podstawie skanowania. Technologia skanowania laserowego pozwala przede wszystkim pozyskiwać dane przestrzenne dotyczące geometrii obiektu, jak również rejestrować parametry, które mogą mieć przynajmniej uzupełniające znaczenie w procesach diagnostycznych zabytków, zwłaszcza drewnianych. Wspomniana specyfika zabytków drewnianych, która skłania do włączenia w proces badawczo-konserwatorski technologii skanowania, a odnosząca się do zagadnień obróbki i przygotowania surowca, ma szansę na dodatkową analizę, z ukierunkowaniem w stronę nowoczesnej traseologii [szerzej dalej]. W pracach inwentaryzacyjnych, poza procesem dokumentacyjno-pomiarowym pozostaje wiele danych m.in. z uwagi na wymaganą skalę w procesie inwentaryzacyjnym, specyfikę tradycyjnych przyrządów pomiarowych oraz przyjęty sposób zapisu dokumentacyjnego. Do tych danych można zaliczyć wszelkiego rodzaju ślady pozostawione na powierzchni obrabianych elementów konstrukcji drewnianych przez narzędzia ciesielskie [13].

Podczas prac inwentaryzacyjno-analitycznych przy obiektach architektury drewnianej *in situ*, obecnie można wyróżnić działania sięgające po urządzenia rejestrujące geometrię obiektów², które na potrzeby niniejszego tekstu podzielimy na 4 grupy, wyróżniane wg czterech następujących rodzajów urządzeń naziemnych: (1) mikroskopów 3D; (2) ramion skanujących; (3) skanerów optycznych oraz (4) naziemnych skanerów laserowych (geode-

² Rejestracji i odtwarzania geometrii obiektów umożliwia również technika fotogrametrii, bazująca na obrazach nieciągłych i ciągłych, która z uwagi na charakter i zakres artykułu, pozostaje poza omówieniem w ramach poniższego tekstu.

zynych)³. Połączenie ww. technik stwarza szansę na zintegrowane pozyskiwanie danych podczas prac *in situ* (od skali mikro od makro obiektu). Ich zastosowanie umożliwia prace dokumentacyjno-analityczne, o zróżnicowanym charakterze, odpowiednim dla wielkości danego rodzaju elementów konstrukcyjnych, a także adekwatnym do powstałych śladów minionych działań czy postępujących zniszczeń.

I tak współczesne mikroskopy 3D umożliwia rejestrację obrazową, a następnie przestrzenną w takiej skali, w której obserwujemy powierzchnię zabytków, a także powstające w nim zmiany (np. spękania) z kilkutyśięcznym powiększeniem. Efekt destrukcji nie tylko jest uchwytany obrazowo, ale i pomiarowo (ryc. 11) (szerzej materiały – www.hirox-europe.com).

Kolejne z urządzeń wpisujących się w współczesny zestaw narzędziowy to skanery optyczne, a zwłaszcza skanery pracujące na bazie światła strukturalnego, które umożliwiają pracę bezpośrednią przy obiektach w terenie, rejestrując geometrie obiektu z dokładnościami rzędu mikrometrów. Podobnie jak mikroskopy 3D, ta grupa urządzeń stwarza możliwość pomiaru powierzchni i analizowania śladów oraz zmian zachodzących na powierzchni zabytków *in situ* [14, 15, 16].



Ryc. 4. Fotografie poglądowe z pomiarów wykonanych przy drewnianej architekturze wernakularnej – pomiary skanerem Zoller + Fröhlich IMAGER 5010C. W tle „dom pogrzebowy” kryty gontem oraz połac dachowa dawnej karczmy z 1830 r. (gont). Skansen w Dobczycach. [Fot. R. Zapłata]

Ramiona pomiarowe - skanujące zaliczamy również do grupy urządzeń, dzięki którym możliwa jest rejestracja powierzchni z dużą dokładnością, rzędu $\pm 25\mu\text{m}$. Zasadnicza różnica (poza samą technologią generowania danych przestrzennych) w stosunku do pierwszej kategorii urządzeń (mikroskopów) polega na braku rejestracji obrazu [17].

Ostatnia grupa to urządzenia określane jako naziemne skanery laserowe, dzięki którym otrzymujemy: (1) pomiar przestrzenny punktów (XYZ), (2) wartość RGB, (3) rejestrację odbić promienia lasera oraz (4) parametr intensywności (wartość radiometryczną – podawaną w skali szarości w jednostkach niemianowanych) [15, 18, 19, 20]. NSL to najogólniej wyznaczanie położenia przestrzennego elementów wektorowych, rejestrują-

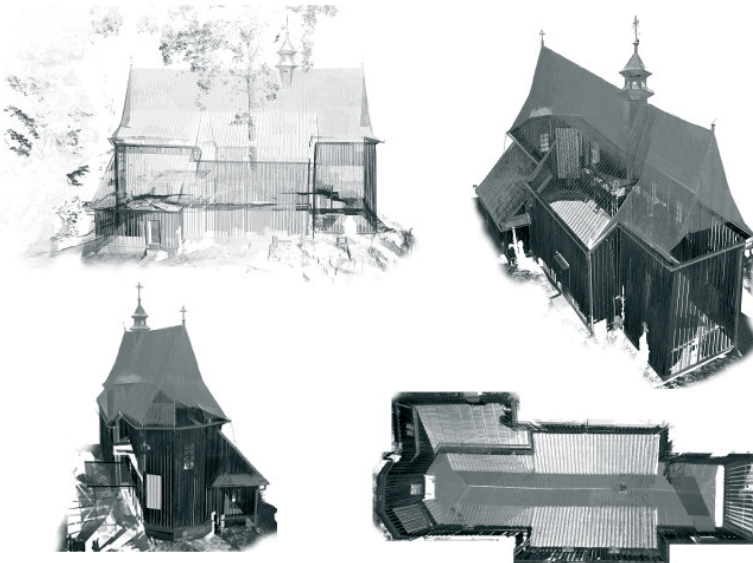
³ W literaturze przedmiotu przyjmuje się podział technik skanowania wg technologii, na jakiej oparte jest działanie poszczególnych urządzeń. To kryterium nie jest jednak zasadnicze dla poniższego tekstu, a obszerna literatura przedmiotu zwalnia autora z szczegółowego omawiania tych zagadnień – patrz np.: [13].

cych geometrię mierzonego obiektu, z przypisaniem im wartości radiometrycznych. Mierzone i zapisywane wartości to „punkty o współrzędnych przestrzennych XYZ tworzące tzw. chmurę punktów lub wygenerowane trójkąty w postaci sieci nieregularnej (ang. TIN – triangular irregular net) opisujące kształt mierzonej powierzchni. (...) Oprócz pomiaru położenia punktu, skanery posiadają możliwość rejestracji odcienia szarości lub koloru i przypisywania go właściwemu punktowi chmury” [15].

Tak dobrane urządzenia stwarzają obecnie możliwość zintegrowanego pomiaru i analizowania zabytkowych obiektów drewnianych, począwszy od najmniejszej skali – mikro (μm) do skali makro (rozróżnienie przyjęte dla potrzeb poniższego tekstu), odpowiadającej dokumentacji bryły obiektów, wraz z otoczeniem, z dokładnością centymetrową czy milimetrową.

2.1. Inwentaryzacja, dokumentacja i pomiar

Nieinwazyjność, bezdotykowość i dokładność, to cechy często przywoływane przy charakteryzowaniu skanowania zabytkowej architektury. Naziemne skanowanie laserowe, połączone z rejestracją fotograficzną, pomiarem termograficznym itp., stanowią obecnie rozbudowany system działań na rzecz inwentaryzacji i analizy obiektów zabytkowych. W Polsce przykładem tego typu prac jest wiele wykonanych dokumentacji inwentaryzacyjno-pomiarowych, które objęły również swym zasięgiem drewnianą architekturę wernakularną. Odsyłając czytelnika do przywoływanej w tekście literatury przedmiotu na temat procedury i metodyki skanowania laserowego, w poniższym artykule jedynie zasygnalizujemy kilka zagadnień związanych z inwentaryzacją, NSL i zabytkami. NSL w procesie inwentaryzacyjnym przede wszystkim służy rejestracji geometrii obiektów, a następnie przetwarzaniu pozyskanych danych do postaci modeli bryłowych, wektorowych, a dalej tworzenia planów, rzutów aksonometrycznych czy przekrojów obiektów (ryc. 5).



Ryc. 5. Wizualizacje modeli cyfrowych (chmura punktów) Kościoła Nawiedzenia Najświętszej Marii Panny w Iwkowej z XV w. jednonawowy, konstrukcji zrębowej - pow. brzeski, woj. małopolskie. Widok od NE (u góry / po lewej), widok z SE (u góry / po prawej), widok od NW (u dołu / po lewej), widok od wew. – konstrukcja dachowa). [Pomiar: Leica Geosystems / oprac R. Zapłata]

NSL wprowadza dodatkowy element w pracach inwentaryzacyjnych, mianowicie quasi-ciągłą rejestrację trójwymiarową złożonych elementów konstrukcji, trudnych do przedstawienia i zadokumentowania w tradycyjnej formie (np. konstrukcje o zakrzywionej powierzchni – sklepienia). Skanowanie oraz współczesne techniki fotogrametryczne umożliwiają także uchwycenie licznych detali i szczegółów konstrukcyjnych, w tym rejestrację (1) odchyłeń (np. kilkustopniowych, na niewielkich długościach poszczególnych elementów konstrukcyjnych – ryc. 2), (2) zachowanych, naturalnych form ukształtowania surowca (np. naturalne nierówności – ryc. 9) itp., a także (3) elementów stanowiących zachowane i wyeksponowane wady drewna [szerzej dalej].

Oddzielnym (aczkolwiek bezpośrednio związanym z nowoczesną dokumentacją) zagadnieniem jest badanie obiektów wernakularnych podczas badań archeologicznych czy archeologiczno-architektonicznych. Specyfika zachowania elementów zabudowy wernakularnej, zwłaszcza tych elementów, które odsłaniane są podczas badań archeologicznych, zmusza zazwyczaj do badania *in situ* i ich destrukcyjnego eksplorowania – szczątkowo zachowanych, często w stanie rozkładu elementów. I tutaj również z dużym powodzeniem technologia skanowania - rejestracji trójwymiarowej, znajduje swoje zastosowanie. Zniszczone, drewniane fragmenty rzadko mogą być w całości (zgodnie z pierwotnym kształtem i umiejscowieniem) pozyskane z obszaru badań – miejsca zalegania. Stan zachowania zmusza do ich stopniowego i częściowego wydobycia, a dokumentacja rysunkowo-fotograficzna, jedynie w pewnym stopniu umożliwia rejestrację przestrzenną badanych obiektów. Rozwiązaniem dla tego typu sytuacji jest naziemne skanowanie. Dokładność jaką oferują współczesne technologie, pozwala na rejestrację zalegających elementów, a wygenerowane dane cyfrowe, mogą być podstawą w dalszym (wirtualnym) procesie rekonstrukcyjno-konserwatorskim.



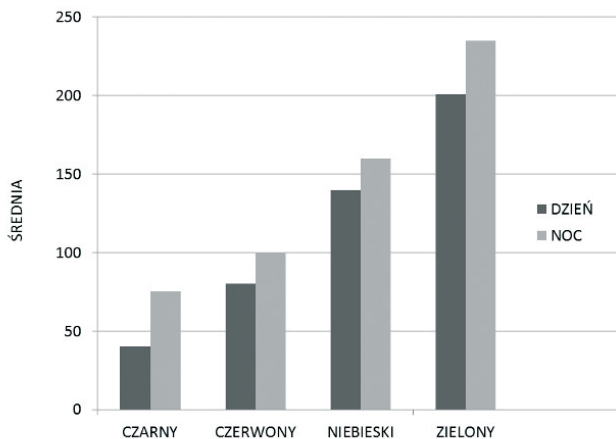
Ryc. 6. Przykładowe pozostałości zniszczonej (i spalonej) konstrukcji pochodzącej z zabudowy drewnianej z okresu średniowiecza. Radom, stan. 1. [Fot. R. Zapłata].

2.2. Diagnostyka drewnianej architektury wernakularnej

Potencjał diagnostyczno-analityczny omawianych technologii, a więc kolejny aspekt tytułowego zagadnienia, należy rozpatrywać dwutorowo. Po pierwsze – dane cyfrowe (przestrzenne) są podstawą wykonywania dalszych przetworzeń, które służą generowaniu np. modeli wektorowych, bryłowych, a następnie analizowaniu stanu zachowania obiektów, w tym m.in. statyki, destrukcji itp. Po drugie – zasób cyfrowy to również zbiór danych nieprzestrzennych, które umożliwiają analizę obiektów pod kątem zróżnicowania np. powierzchniowego, będącego pochodną procesów zachodzących na zewnątrz (mikroorganizmy itp.), jak i wewnątrz substancji zabytkowej (np. wilgoć).

Analiza konstrukcji w oparciu o dane przestrzenne pozyskane w wyniku pomiarów NSL, jest jedną z powszechniejszych form wykorzystywania omawianych narzędzi w budownictwie, przemyśle czy badaniach zabytkowej architektury murowanej [21]. Odchylenia, zmiany statyki, odkształcenia bryły obiektu itp. z równie wielkim powodzeniem mogą być i są dokumentowane, monitorowane i analizowane w odniesieniu do drewnianej architektury poprzez zastosowanie np. NSL. Literatura przedmiotu (patrz literatura) pokazuje szeroki wachlarz zastosowania technik skanowania, które umożliwiają przestrzenną analizę deformacji obiektów lub ich fragmentów. Do zasadniczych analiz na podstawie danych przestrzennych, które z powodzeniem można stosować w odniesieniu do wernakularnej architektury drewnianej, należy zaliczyć np.: (1) analizę odkształceń i wyboczeń; (2) analizę spękań, szczeliny; (3) analizę destabilizacji konstrukcji; (4) analizę ubytków; (5) analizę odchyłeń; (6) analizę przemieszczeń; (7) analizę sztywności konstrukcji. Techniki umożliwiające dokładniejszą rejestrację geometrii obiektów (w skali mikro) to m.in. mikroskopia 3D, skanowanie optyczne czy skanowanie ramionami skanującymi, które poza ww. analizami, mogą również wspierać proces diagnostyczny poprzez analizę np. głębokości odkształceń, zmian wewnątrz powstających ubytków i spękań [ryc. 11]. Zastosowanie mikroskopii 3D – urządzeń w skali mikro – może na przykład być użytecznym narzędziem w procesie monitorowania, a dalej analizowania postępujących zmian w strukturze drewna, poprzez analizę wielkości i ilości spękań, wykonywaną na bazie pomiarów punktowych, w określonych odstępach czasowych.

Kolejne wspomniane zagadnienie, to diagnostyka obiektów drewnianych w oparciu o dane przestrzenne i przede wszystkim nieprzestrzenne. Naziemne skanery laserowe poza pomiarem przestrzennym, mają również możliwość rejestracji intensywności odbicia powracającej wiązki lasera (odbicia od powierzchni mierzonej). Rejestracja tego parametru umożliwia np. wstępną analizę zróżnicowania powierzchniowego obiektu zabytkowego. Intensywność odbicia wiązki lasera – tzw. czwarty wymiar skanowania laserowego, to najogólniej „moc sygnału powracającego do obiektywu lasera” [22]. Natężenie promieniowania powracającego do instrumentu (skanera) zależy od wielu warunków i czynników, w tym przede wszystkim od: odległości skanera od powierzchni mierzonej, kąta padania wiązki lasera, a także koloru (ryc. 7), wilgotności, temperatury oraz powierzchni (faktury) obiektu mierzonego. Promieniowanie elektromagnetyczne (wartość radiometryczna podawana w jednostkach niemianowanych i w formie zwizualizowanej w skali barwnej lub w skali szarości), które jest odbijane od powierzchni, może być zatem w pewnym zakresie rejestrowane i mierzone przez naziemne skanery laserowe (szerzej: [21, 23, 24, 25, 26, 27]). Zatem zróżnicowana wilgotność na (pozornie) jednolitej powierzchni może wpłynąć na zróżnicowanie wartości intensywności odbicia lasera, wskazując potencjalne miejsca zachodzących zmian w/na substancji zabytkowej.

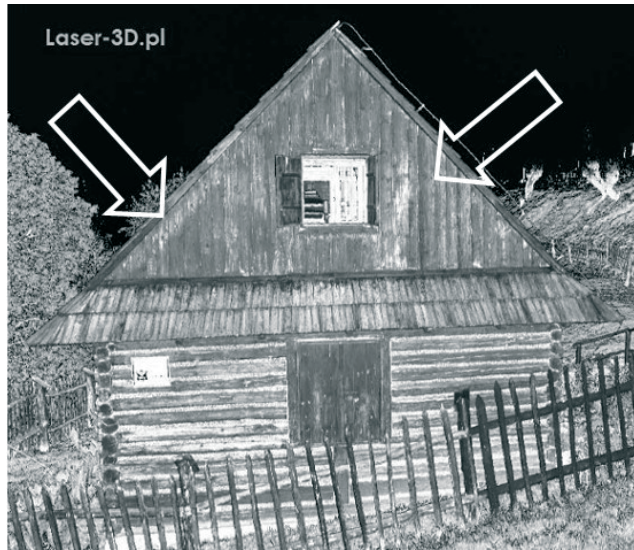


Ryc. 7. Histogram zróżnicowania średniej wartości intensywności odbicia wiązki lasera dla czterech kolorów (od lewej: czarny, czerwony, niebieski, zielony) – porównanie wartości dla pomiaru w wykonanego przy (żółty) świetle dziennym oraz (niebieski) w nocy (Za Zapłata 2013 [21] na podstawie Voegtle, Schwab, Landes 2008 [28])

Tego typu sytuację ilustrują ryc. 7a i 7b, na których ukazano zdjęcie ściany szczytowej budynku drewnianego (ryc. 7a) oraz ten sam obiekt w postaci wizualizacji danych pochodzących z rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera (ryc. 7b). Na ryc. 7b dostrzegamy w dwóch miejscach ściany szczytowej wyraźne zróżnicowanie (jaśniejsze odcienie szarości), co nie jest tak jednoznacznie uchwytne w oparciu o dokumentację fotograficzną oraz wizję lokalną. Anomalia powierzchniowe powstały w związku z różnicą na powierzchni ściany budynku, której przyczyną może być np. zwiększona wilgotność w tych miejscach (weryfikacja przyczyny ww. różnic wymaga dalszych i szerszych badań substancji zabytkowej). Tak określona różnica powierzchniowa może stanowić punkt wyjścia w pracach diagnostycznych przy obiektach drewnianej architektury wernakularnej.



Ryc. 7a. Ściana szczytowa budynku drewnianego (dom pogrzebowy). Skansen w Dobczycach. [Fot. R. Zapłata]



Ryc. 7b. Ściana szczytowa budynku drewnianego (dom pogrzebowy) – wizualizacja zarejestrowanej intensywności odbicia wiązki lasera. Skansen w Dobczycach. Widoczne w porównaniu z ryc. 7a (zdjęciem) zróżnicowanie powierzchni (jaśniejszy odcienie szarości) ściany szczytowej.[Pomiar i oprac. Laser-3d Jacek Krawiec]

2.3. Dokumentacja powykonawcza – konserwacja i translokacja

Postulat włączenia narzędzi skanowania, zwłaszcza NSL, w odniesieniu do dokumentacji powykonawczej, a także analizy i oceny pewnych prac konserwatorskich, został (w pewnym zakresie) zgłoszony podczas konferencji pt. „Heritage wood: research and conservation in the 21st century” (Warszawa 28-30.10.2013 r.) [29]. Zasadniczo koncepcja dokumentacji powykonawczej, wykorzystującej nowoczesne technologie rejestracji geometrii obiektów i/lub rejestrację intensywności odbicia wiązki lasera może odnosić się do: (1) dokumentacji i analizy powierzchni zabytkowych poddanych zabiegom konserwującym (np. analiza stopnia nasycenia konstrukcji po impregnacji z wykorzystaniem intensywności odbicia wiązki lasera (potencjalne urządzenie – NSL)); (2) dokumentacji i analizy powierzchni zabytkowych poddanych zabiegom konserwującym (np. analiza stopnia wypełniania ubytków czy szczelin (potencjalne urządzenie – mikroskop 3D), a także (3) dokumentacji i analizy prac wykonanych w związku z translokacją zabytkowych obiektów drewnianych (np. pomiar poprzedzający demontaż i po demontażu, a następnie kontrola zgodności i jakości wykonanych prac (potencjalne urządzenie - NSL, skanowanie optyczne)).

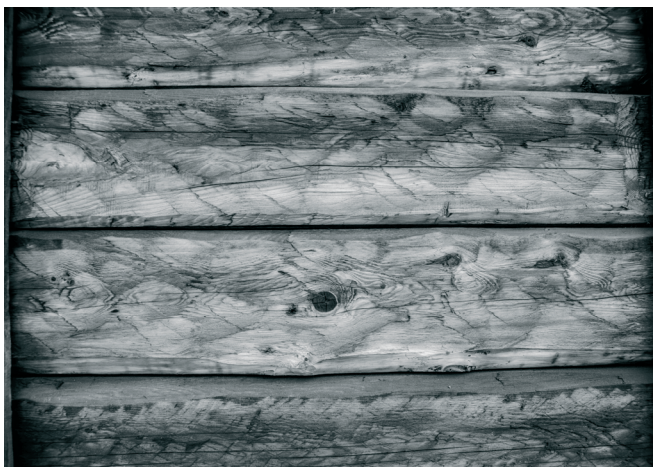
Ostatni z punktów odsyła do koncepcji przygotowania i analizy obiektów zabytkowych (na podstawie danych pochodzących ze skanowania), które są poddawane translokacji⁴. Dokładny pomiar przestrzenny obiektów drewnianych, a tym samym zapis geometrii poszczególnych elementów konstrukcyjnych, stwarza możliwość dodatkowej (innej) inwentaryzacji poszczególnych elementów konstrukcyjnych obiektów drewnianych, które ulegają procesowi demontaż, przeniesienia i ponownego montażu poszczególnych elemen-

⁴ W poniższym tekście prezentowana jest jedynie wstępna koncepcja analizy, będąca przedmiotem szerszych (prowadzonych) badań, których wyniki są w opracowaniu.

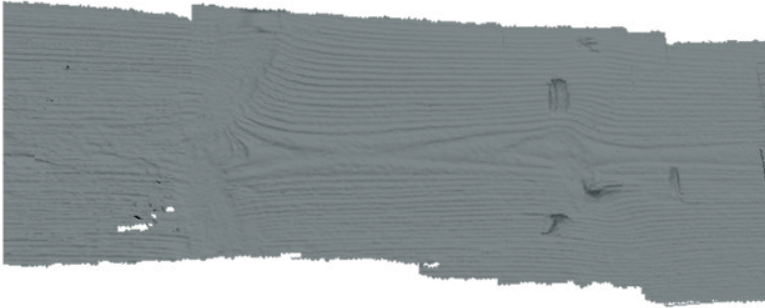
tów. Zły stan techniczny wielu z tych elementów powoduje (mimo np. powierzchniowemu zachowaniu oryginalnego kształtu związanego z procesem obróbki), że zostają one wyeliminowane z procesu montażu obiektu, i zastępowane nowymi elementami - kopiami. Elementy wykonywane w miejsce oryginalnych muszą przede wszystkim zachować zgodność pod względem materiału (surowca), kształtu i wymiarów, aby wypełnić element wyeliminowany po demontażu. Proces przygotowania elementów zastępujących oryginały, opiera się na tradycyjnej technice obróbki drewna (lub przy zastosowaniu tradycyjnych i/lub współczesnych narzędzi), doprowadzając jednak do powstania elementów o przybliżonej np. powierzchni. Dokładny zapis geometrii elementów konstrukcyjnych na bazie skanowania, umożliwi odtworzenie całego elementu w całkowitym lub znacznie większym stopniu podobieństwa. Takie podejście umożliwia utrwalenie w kopii, nie tylko wymiarów i kształtu (w znaczeniu ogólnym), ale i szczegółów wykończenia, a co z tym związane również 'śladów' dawnej obróbki. Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa zyskuje w związku z powyższym nowe narzędzie w postaci skanowania, gdzie modyfikacji ulega sposób przygotowywania projektu związanego z translokacją, jak i samo jej przeprowadzanie [30].

2.4. Analiza dawnej obróbki drewna

Tym, co może świadczyć o wyjątkowości technologii skanowania, zwłaszcza skanowania światłem strukturalnym, jest możliwość dokładnego pomiaru powierzchni zabytkowych, celem dokumentowania i analizowania zróżnicowania drewnianych powierzchni zabytkowych, które jest pochodną stosowania określonych technik i zabiegów z przeszłości. Taki sposób postrzegania omawianych narzędzi kieruje w stronę rozbudowy analizowania dawnej obróbki drewna, a więc traseologii, zajmującej się śladami pozostawionymi na powierzchniach obrabianych elementów konstrukcji drewnianych przez narzędzia ciesielskie [13]. Omawiana sytuacja ilustrują ryc. 8a, 8b, a zwłaszcza ryc. 10, gdzie obserwujemy przykład śladów obróbki drewna oraz zeskanowany fragment ściany budynku drewnianego z dokładnym zapisem powierzchniowej geometrii poszczególnych elementów konstrukcyjnych.



Ryc. 8a. Przykładowa powierzchnia zewnętrznej ściany budynku drewnianego, z zachowanymi i widocznymi śladami po ręcznej obróbce surowca. Przykład powierzchni o dużym potencjale dla badań traseologicznych. Spichlerz dworski ze Złotej z 1719 r. - Muzeum Wsi Kieleckiej. [Fot. R. Zapłata]



Ryc. 8b. Przykładowa wizualizacja modelu cyfrowego fragmentu ściany zewnętrznej budynku drewnianego, wygenerowana na podstawie pomiarów skanerem optycznym. [Oprac. R. Zapłata].

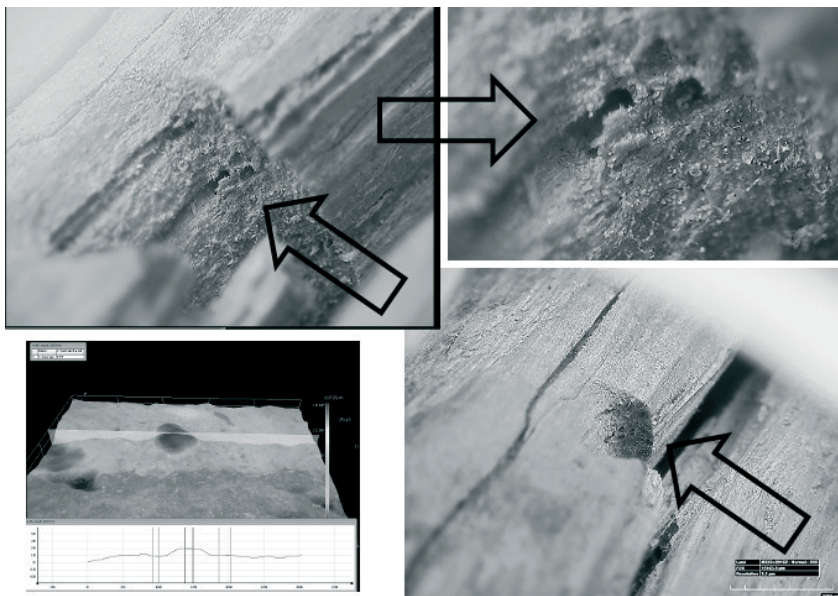


Ryc. 9. Przykładowa ściana zewnętrzna budynku drewnianego, z zachowaną plastyką belek oraz śladami obróbki. Muzeum Wsi Kieleckiej. [Fot. r. Zapłata]

Takie podejście w analizie i badaniu zabytków drewnianych z powodzeniem rozbudowują kolejne z wcześniej przywołanych technik – mikroskopia 3D czy ramiona skanujące, które pozwalają na rejestrację śladów, mikrośladów i pozostałości po dawnych procesach obróbki drewna. Rycina 11 ukazuje potencjał omawianej techniki (mikroskopia laserowa) - fragment przedmiotu drewnianego, poddany procedurze pomiaru mikroskopem, został zadokumentowany w taki sposób, że istnieje możliwość dokumentacji i analizy mikrośladów powstałych w drewnie.



Ryc. 10. Fragment przykładowej ściany zewnętrznej budynku drewnianego z zachowaną plastiką oraz śladami obróbki (po lewej) oraz wizualizacja modelu 3D (model cieniowy) powstałego na bazie pomiarów skanerem optycznym (po prawej) – widoczna rejestracja geometrii, z zachowaniem szczegółów powierzchni mierzonej. Muzeum Wsi Radomskiej. [Fot. i oprac. R. Zapłata]



Ryc. 11. Przykładowa rejestracja obrazowo-przestrzenna powierzchni drewnianej mikroskopem Hirox (zdjęcia górne oraz dolne, po prawej) oraz wizualizacja modelu 3D powierzchni mierzonej, wraz z przekrojem. Na zdjęciach – kolejne powiększenia (zgodnie z kierunkiem strzałek) fragmentu powierzchni drewnianej. [Źródło: Hirox / oprac. R. Zapłata].

3. Zagadnienia problemowe – wnioski, postulaty i zalecenia

Technologia skanowania poza ogromnym potencjałem, wprowadza do praktyki badawczo-konserwatorskiej nowe wyzwania, które z jednej strony skłaniają do przeformułowania dotychczasowej metodyki badawczej, z drugiej strony do wyeliminowania elementów niepożądanych, a związanych z omawianymi narzędziami. Rodzące się na podstawie analizy przywoływanej literatury przedmiotu, a także powyższych rozważań wnioski, kierują w stronę sformułowania pewnych postulatów, do których można zaliczyć konieczność:

1. Określenia zasad wykonywania terenowych pomiarów laserowych (i ogólnie fotogrametrycznych) do celów inwentaryzacyjno-badawczych.
2. Wpisania skanowania naziemnego w poczet standardowych technik dokumentacyjno-inwentaryzacyjnych przy zabytkach.
3. Prowadzenia dalszych prac testowych nad stosowaniem skanowania, fotogrametrii (w tym *intensity*) przy drewnianej architekturze wernakularnej.
4. Określenia nowych - zmodyfikowanych procedur metodycznych, uwzględniających metody fotogrametrii w pracach terenowych *in situ*.

Omawiając technologie skanowania, należy również zwrócić uwagę na ich słabe strony i zarysować kilka kwestii problemowych, związanych przede wszystkim z samym pomiarem terenowym, a przede wszystkim z obróbką pozyskanych danych. Warunki terenowe nie zawsze sprzyjają pomiarom omawianymi urządzeniami, zwłaszcza NSL. Dostępność obiektów, jak i poszczególnych elementów konstrukcyjnych, z przyczyn oczywistych (np. niemożliwość umieszczenia w odpowiednich miejscach urządzeń) zmuszają do pomiarów uzupełniających lub innych rozwiązań inwentaryzacyjnych. Równie istotne są warunki panujące przy obiektach poddanych skanowaniu. Zbyt wysoka wilgotność stanowi jeden z elementów utrudniających i zakłócających pomiar. Obok ww. problemów, istnieje wiele, które dotyczą strony technicznej i błędów pomiarowych związanych z samymi urządzeniami (patrz szerzej [31]). Bez wątplenia najbardziej czasochłonnym elementem procesu przygotowania produktów fotogrametrycznych jest obróbka danych źródłowych. W procesie tym dokonuje się m.in.: klasyfikacji i łączenia chmury punktów. Niestety procedura ta oparta jest zazwyczaj na automatycznym przygotowaniu danych, co niejednokrotnie jest przyczyną błędów. W związku z powyższym zalecane jest wykonywanie równoległej dokumentacji obrazowej, a zarazem przygotowywanie modeli cyfrowych na podstawie pracy manualnej. Innym zagadnieniem, które należy uznać za mankament omawianych metod, zwłaszcza NSL, jest pomiar krawędzi obiektów, czy elementów 'niestabilnych' itp., do których np. można zaliczyć pokrycia dachów – strzechę.

Zestawiając dotychczasowe wnioski oraz analizując funkcjonujące w literaturze przedmiotu (m.in. [32]) wskazówki, wytyczne i zalecenia w zakresie digitalizacji dziedzictwa kulturowego, w tym miejscu warto wyartykułować kilka wybranych zaleceń w zakresie skanowania naziemnego (i pomiarów fotogrametrycznych) drewnianych obiektów zabytkowych *in situ* należy zaliczyć:

- konieczność prowadzenie pomiarów w optymalnych warunkach terenowych i czasowych (pora roku, dnia);
- dobór odpowiednich urządzeń do skali, potrzeb i oczekiwanych efektów w odniesieniu do planowanego przedsięwzięcia (np. skanowanie całych obiektów oparcia o NSL, a nie na bazie skanerów światła strukturalnego lub skanowanie fragmentów ulegających destrukcji ramionami skanującymi lub pomiar mikroskopem 3D, zamiast NSL);

- wykonanie takiej ilości pomiarów, aby pokrywały one w sposób jednolity lub zbliżony całą powierzchnię zabytkową;
- konieczność weryfikacyjnych prac w zakresie identyfikowania różnic powierzchniowych odnotowanych na bazie rejestracji intensywności odbicia wiązki lasera;
- wykonywanie równoległej (równoczesowej) dokumentacji fotograficznej elementów skanowanych;
- wykonywanie pomiarów uzupełniających w sytuacjach utrudnionego dostępu do powierzchni mierzonych dla NSL;
- bieżącą kontrolę (podczas prac terenowych) jakości pomiarów (np. celem uniknięcia powstawiania tzw. martwych pól i ponownych pomiarów w odmiennych warunkach terenowych);
- określanie jakości pomiarów i ich dokładności w zależności od potrzeb inwentaryzacyjno-badawczych;
- stosowanie szczegółowego opisu (nie tylko w formie ogólnych metadanych) wykonywanych procedur, ich kolejności, zarówno w odniesieniu do pomiarów przy obiektach, jak i w odniesieniu do prac gabinetowych;
- wykonywanie pomiarów w tym samym czasie dla całych obiektów, założeń, co pozwoli uniknąć np. zmiany warunków terenowych (np. wykonanie pomiarów wczesną wiosną a latem może przyczynić się do zasadniczych zmian na powierzchni mierzonej – rozwój (wzrost) mikroorganizmów na powierzchniach drewnianych)
- przetwarzanie danych pomiarowych, uwzględniające manualną formę ich klasyfikacji, łączenia itp.;
- przygotowywanie raportów szczegółowych z wykonanych pomiarów i przetworzeń, zwłaszcza jeśli pomiary wykonywane są przez podmioty i jednostki spoza środowiska naukowo-konserwatorskiego;
- utrwalanie i przekazywanie odbiorcy pomiarów danych pierwotnych (źródłowych), wraz z przygotowanymi produktami fotogrametrycznymi.

Powyższe postulaty oraz zalecenia należy traktować jako zbiór otwarty, mający na celu generowanie dalszej dyskusji nad: (1) rozwojem i aplikowaniem technologii skanowania w procesie inwentaryzacyjno-analitycznym drewnianej architektury wernakularnej, (2) poprawą stanu obecnego prac z zastosowaniem omawianych technologii, a także (3) rozwojem dalszych badań nad modernizacją i poszerzeniem obszaru zastosowań dostępnych narzędzi.

4. Podsumowanie

Odnosząc się do zaprezentowanych zalet, ale i pewnych mankamentów technologii skanowania w kontekście działań przy zabytkowej architekturze wernakularnej, warto podkreślić, że jednym z koniecznych elementów poprawy sytuacji i wykorzystania potencjału omawianych narzędzi jest potrzeba podwyższania świadomości oraz kwalifikacji środowisk badawczo-konserwatorskich, a także włączania do procesu dydaktycznego w coraz większym stopniu tytułowych zagadnień.



NARODOWY PROGRAM
ROZWOJU HUMANISTYKI

Praca naukowa finansowana w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Narodowy Program Rozwoju Humanistyki” w latach 2012-15. Autor dziękuje za wykonanie pomiarów i współpracę zespołowi Leica Geosystems Polska oraz zespołowi Laser-3D Jacek Krawiec.

Literatura

- 1 Brykowska M. *Metody pomiarów i badań zabytków architektury*, Warszawa, 2003.
- 2 Cielątkowska R., Jankowska-Wojtowicz D. (red.) *Architektura drewniana – tradycja, dziedzictwo, współczesność, przyszłość*, Gdańsk, 2014.
- 3 Krajewski A., Witomski P. *Ochrona drewna*. Warszawa 2003.
- 4 Tajchman J. *Konserwacja Zabytków Architektury - uwagi o metodzie*. *Ochrona Zabytków* 2 (1995) 150–159.
- 5 Maczynski D., Makowska B., Luczak T. *Dokumentacja remontowa zabytkowych drewnianych więźb dachowych*. 2008 - <http://www.icomos-poland.org/index.php/pl/materiay-komisji/4-komisja-architektury-drewnianej/229-dominik-mczyski-dokumentacja-remontowa-zabytkowych-wib-dachowych-2008> [dostęp 2015.06.30]
- 6 Okoń E. (red.) *Zabytkowe budowle drewniane i stolarka architektoniczna wobec współczesnych zagrożeń*. Toruń 2005.
- 7 Parat M. *Koncepcja Ołederskiego Parku Etnograficznego w Wielkiej Nieszawce. Głos w dyskusji o roli skansenów w ochronie zabytków architektury drewnianej*. *Ochrona Zabytków* 1-4/2013 (2013) 235-264.
- 8 Stępień P. *Zasady postępowania w ochronie zabytkowych budowli drewnianych*. *Renowacje* 2 (1998).
- 9 Szałygin J., *Dziedzictwo drewnianej architektury w Polsce*. *Ochrona Zabytków*. 1-4/2013 (2013) 281-298.
- 10 Wiater W. *Roboty ciesielskie, stolarskie i dekarские. Poradnik cieśli wiejskiego*. Warszawa 1960.
- 11 Szewczyk J. *Regionalizm w teorii i praktyce architektonicznej*. Teka Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych (2006) 96-109.
- 12 Ważny J., Kryś J. (red.) *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*. Arkady, Warszawa, 2001.
- 13 Mączyński D. *Znaki, inskrypcje i ślady na powierzchni drewna w zabytkowych konstrukcjach dachowych*. *Wiadomości Konserwatorskie* 25/2009 (2009) 28-36.
- 14 Bunsch E., Sitnik R. *Proces digitalizacji 3D. Od założeń do dokumentacji cyfrowej*. *Muzealnictwo* 52 (2011) 48-53.
- 15 Boroń A., Rzońca A., Wróbel A. *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*. *Rocznik Geomatyki*, t. V, z. 8 (2007) 129-140.
- 16 Sitnik R. *Odwzorowanie kształtu obiektów trójwymiarowych z wykorzystaniem oświetlenia strukturalnego*, Warszawa 2010.
- 17 Żrodowski C., Kłos M. *Metodyka pracy ramieniem 3D*, Gdańsk 2012 – http://www.cmm.pl/upload/Files/cke/Metodyka_pracy_ramieniem_3D-raport.pdf [dostęp 2015.06.30]
- 18 Toś C., Wolski B., Zielina L. *Tachimetry skanujące. Aplikacje technologii skanowania w budowie szczegółowych modeli obiektów inżynierskich*. Kraków 2010.
- 19 Kościuk J. *Modern 3D scanning in modeling, documentation and conservation of architectural heritage / Współczesne skanowanie laserowe 3D w modelowaniu, dokumentacji i konserwacji zabytków architektury*. *Wiadomości Konserwatorskie* 32 (2013) 82-88.
- 20 Jones D. M. (red.) *3D Laser Scanning for Heritage* (second edition). Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture. Swindon, 2011.
- 21 Zapłata R. *Nieinwazyjne metody w badaniu i dokumentacji dziedzictwa kulturowego – aspekty skanowania laserowego w badaniach archeologicznych i architektonicznych*, Warszawa 2013.
- 22 Pyka K., Rzonca A. *Badanie jakości radiometrycznej ortofotogramów sporządzonych na drodze integracji fotogrametrii bliskiego zasięgu i skaningu laserowego*. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. vol. 16 (2006) 515-526.
- 23 Franceschi M. *Application of terrestrial laser scanner to cyclostratigraphy*. Padova, 2009 [praca doktorska – Università degli Studi di Padova] – <http://paduaresearch.cab.unipd.it/1659/1/FRANCESCHI.pdf>, s. viii-xii [dostęp 2015.06.30]
- 24 Pesci A., Giordano T. *Effects of surface irregularities on intensity data from laser scanning: an experimental approach*. *Annals of Geophysics*. vol. 51, N. 5/6 (October/December 2008) 839-848.
- 25 Zaczek-Peplinska J., Osińska-Skotak K., Gergont K. *Możliwość wykorzystania zmian intensywności odbicia promienia laserowego do oceny stanu konstrukcji betonowej*, w: *Inżynierskie zastosowania geodezji*. (red. Plichta A., Wyczałek I.), Warszawa 2012, s. 41-54.

- 26 Kędzierski M., Zapłata R., Fryśkowska A., Wilińska M., Deliś P. *Dokumentacja i modelowanie 3D ruin zamku w Ilży*, w: *Zamki w ruinie – zasady postępowania konserwatorskiego*. (red. Szmygin B., Molski P.) Warszawa-Lublin 2012, s. 147-158.
- 27 Markiewicz J., Dorota Z., Kowalczyk M., Zapłata R. *Utilisation of laser scanning for inventory of an architectural object using the example of ruins of the Krakow Bishops' Castle in Ilża, Poland*, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing Conference Proceedings V. III, Photogrammetry and Remote Sensing, Cartography and GIS, International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM, vol. III (2014) 391-396.
- 28 Voegtle T., Schwab I., Landes T. *Influences of different materials on the measurements of a terrestrial laser scanner (TLS)*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. vol. XXXVII. Part B5 (2008) 1061-1066 - http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/5_pdf/182.pdf [dostęp 2015.06.30]
- 29 Zapłata R. *Analiza i dokumentacja drewna zabytkowego z użyciem technologii skanowania - Laser scanning in the analysis and documentation of historic wood*, w: *Drewno zabytkowe: badania i konserwacja w XXI wieku. Heritage wood: research and conservation in the 21st century*. (red. Pasieczny R.), Warszawa 2013, s. 77-78 / 184 [materiał konferencyjny] - <http://www.nimoz.pl/pobierz/718.html> [dostęp 2015.06.30]
- 30 Tajchman J. *Metoda konserwacji i restauracji dziedzictwa architektonicznego w zakresie zabytkowych budowli*. w: *Problemy konserwacji i badań zabytków architektury*. (red. Kociałkowska A.) Stuzdzienka 2007, s. 48-68.
- 31 Letellier R. *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places. Guiding Principles*. Los Angeles 2007 - http://philipmarshall.net/Teaching/rwuhp175/Letellier_2008_Guiding_Principles_Getty_Guidance.pdf [dostęp 2015.06.30]
- 32 Bunsch E., Ceraficki P., Pyzik W., Sitnik R., Staszkiwicz W., Szala M., Kuśmidrowicz-Król A. *Cyfrowe odwzorowania muzealiów, parametry techniczne, modelowe rozwiązania – raport z prac Grupy Ekspertów ds. Digitalizacji powołanej w ramach NIMOZ*, Warszawa, 2012 - <http://www.nimoz.pl/pobierz/474.html> [dostęp 2015.06.30]

Measurement, inventory and diagnostics of wooden vernacular architecture - selected issues the use of terrestrial scanning technology

Rafał Zapłata

*Art History Institute, Faculty of History and Social Sciences,
Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw, e-mail: rafalzaplata@poczta.onet.pl*

Abstract: The article aims is to discuss basic issues related to the use of scanning technology, especially laser scanning in the measurement, inventory and diagnostics of wooden vernacular architecture. The article focuses on the following issues: (1) scan of the historic wooden architecture as part of the process of digitization (3D microscopy, scanning arms, structural scan, terrestrial laser scanning); (2) the challenges and problems; (3) recommendations and guidance in inventory operations using modern measurement technologies.

Keywords: wooden vernacular architecture, non-invasive methods, scanning, inventory, analysis.

Jak dostosowywać budynki drewniane do przepisów pożarowych?

Tomasz Żmijewski

*Katedra Projektowania Środowiskowego, Wydział Architektury i Urbanistyki,
Politechnika Gdańska, e-mail: zmijewskitom@gmail.com*

Streszczenie: W artykule zaprezentowano możliwości dostosowania budynków do przepisów przeciwpożarowych ze względu na odporność ogniową. Przedstawione możliwości są przykładowymi rozwiązaniami wpływającymi na zwiększenie wytrzymałości pożarowej drewnianych elementów obiektów. Są to elementy czynnej i biernej ochrony pożarowej, które w różny sposób ingerują w strukturę budynku.

Słowa kluczowe: drewno, budownictwo, architektura, wernakularna, przeciwpożarowe

1. Wprowadzenie

Budownictwo drewniane ma bogatą historię. Obiekty wykonane z drewna mają szczególną urodę i charakter co można zaobserwować w związku z wracającymi trendami na budowanie z drewna. W Polsce istnieją obiekty drewniane z których część figuruje jako zabytkowe oraz te które mogą przetrwać dzięki osobom czy instytucją zabiegającym o architekturę drewnianą. Dostosowane tych budynków do obecnych przepisów czy nowych funkcji może nastęrczyć nie lada problemów. Przykładem takim mogą być przepisy ochrony przeciwpożarowej.

Są one jednymi z najważniejszych przepisów w budownictwie. Występują w Prawie budowlanym czy Warunkach technicznych oraz w normach jak Eurokody[1,2]. Przepisy są zbiorem minimalnych wymagań, które muszą spełniać budynki i ich elementy. W normach znajdziemy instrukcje do projektowania konstrukcji budowlanych. Wiele z informacji w nich zawartych może być pomocnych również przy dostosowywaniu budynków do przepisów przeciwpożarowych.

2. Wymagania przepisów przeciwpożarowych

Budynek przed dopuszczeniem do użytkowania musi zostać odebrany przez przedstawicieli Państwowej Straż Pożarnej. Również projekt budowlany zgodnie z rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji musi zostać uzgodniony w zakresie ochrony przeciwpożarowej, aby rozwiązania w nim zawarte zostały uznane za zgodne z wymaganiami[3].

Najważniejsze w bezpieczeństwie pożarowym jest, aby nośność elementów konstrukcyjnych dawała odpowiedni czas do ewakuacji użytkowników obiektu. Czas jaki wytrzymać muszą poszczególne elementy zawarty jest w warunkach technicznych (Tabela 1). Kolejnym istotnym elementem jest ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu w budynku. W tym celu dla precyzyjnego określenia wymagań budynku podzielono na trzy

grupy. Dla czasowego i stałego pobytu ludzi określane jako ZL, obiekty o przeznaczeniu magazynowym i produkcyjnym PM oraz inwentarskie oznaczone symbolem IN. Podział ten ma zapewnić aby drogi ewakuacyjne oraz jej elementy były odpowiednio dostosowane i nie utrudniały ucieczki.

W celu maksymalizowania bezpieczeństwa wprowadzono odporność pożarową budynków. Została ona podzielona na pięć klas, które oznaczono jako A, B, C, D i E, gdzie A jest najwyższą a E najniższą z klas w stosunku do stawianych wymogów odporności przegród. Klasy te są przydzielane ze względu na wysokość czy gęstość obciążenia pożarowego zgodnie z tabelami zawartymi w warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Tabela 1. Minimalne wymagania przegród budynku.[2]

Class of fire resistance ratings	fire resistance of elements 5) *)					
	Main construction	Roof construction	Slope ¹⁾	External walls ^{1),2)}	Internal walls ¹⁾	Roof covering ³⁾
"A"	R 240	R 30	REI 120	EI 120(o↔i)	EI 60	RE 30
"B"	R 120	R 30	REI 60	EI 60 (o↔i)	EI 30 ⁴⁾	RE 30
"C"	R 60	R 15	REI 60	EI 30 (o↔i)	EI 15 ⁴⁾	RE 15
"D"	R 30	(-)	REI 30	EI 30 (o↔i)	(-)	(-)
"E"	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

Oznaczenia w tabeli:

R – nośność ogniowa (w minutach), określona zgodnie z Polską Normą dotyczącą zasad ustalania klas odporności ogniowej elementów budynku,

E – szczelność ogniowa (w minutach), określona jw.,

I – izolacyjność ogniowa (w minutach), określona jw.,

(-) – nie stawia się wymagań.

*) Z zastrzeżeniem § 219 ust. 1

¹⁾ Jeżeli przegroda jest częścią głównej konstrukcji nośnej, powinna spełniać także kryteria nośności ogniowej (R) odpowiednio do wymagań zawartych w kol. 2 i 3 dla danej klasy odporności pożarowej budynku.

²⁾ Klasa odporności ogniowej dotyczy pasa międzykondygnacyjnego wraz z połączeniem ze stropem.

³⁾ Wymagania nie dotyczą naswietli dachowych, świetlików, lukarn i okien połaciowych (z zastrzeżeniem § 218), jeśli otwory w połaci dachowej nie zajmują więcej niż 20% jej powierzchni, nie dotyczą także budynku, w którym nad najwyższą kondygnacją znajduje się strop albo inna przegroda, spełniająca kryteria określone w kol. 4.

⁴⁾ Dla ścian komór zsypu wymaga się EI 60, a dla drzwi komór zsypu - EI 30.

⁵⁾ Klasa odporności ogniowej dotyczy elementów wraz z uszczelnieniami złączy i dylatacjami.

Elementy obiektu przyporządkowane do danej klasy muszą następnie spełniać odpowiednio wymagania czasowe, przedstawione w minutach, ze względu na trzy podstawowe aspekty: nośność, szczelność i izolacyjność ogniową. Nośność ogniowa oznaczana jest symbolem „R” oraz liczbę. Liczba ta określa jaki czas, w minutach, wytrzymać musi element zanim dozna zniszczenia mechanicznego i straci swoje właściwości nośne lub statyczne, bądź przekroczy dopuszczalne wartości przemieszczenia lub odkształcenia. Warunek ten musi spełniać większość części budynku bez ścian działowych czy ścian zewnętrznych nienośnych. Szczelność ogniowa („E”) opisuje odporność elementu na przenikanie przez niego płomieni lub gazów. Powierzchnia przez dany czas musi nie dopuszczać do przenikania ognia na nienagrzewaną stronę przegrody. Warunek ten musi spełniać również znaczna większość konstrukcji bez słupów i belek oraz dachów czy ścian w niektórych przypadkach. Izolacyjność ogniowa („I”) opisuje czas, w którym przegroda

nie może dopuścić do przeniknięcia temperatury na stronę, po której nie występuje pożar. Co do izolacyjności najmniejsza ilość elementów będzie spełniała to kryterium.[4] W tabeli 1, pochodzącej z rozporządzenia w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie[2], przedstawiono wymagane odporności elementów oddzielenia pożarowego w zależności od klasy odporności ogniowej.

Informacje dotyczące palności materiałów są bardzo ważne w przypadku budowy z drewna oraz przy dostosowywaniu ich do przepisów ochrony pożarowej. Palność materiałów podzielona jest na Euroklasy odporności materiałów na ogień, klasyfikacja ze względu na ilość dymu powstającego w trakcie pożaru i występowanie płonących kropli i cząstek. Najbardziej istotna jest tu odporność materiałów na ogień, ponieważ drewno w zależności od twardości czy impregnacji może znajdować się w różnych kategoriach.[1,5,7] W przypadku pozostałych klas drewno jest klasyfikowane jako średnio dymiące oraz wydzielające niewielką ilość kropli. Drewno o dużej gęstości, powyżej 800 kg/m³ jak grab czy cis klasyfikuje się jako trudno zapalne. Do łatwo zapalnych należą na przykład świerk i sosna. Jak może kształtować się pozycja drewna prezentuje tabela 2.

Tabela 2. Reakcja materiałów na ogień.[1,5,7]

Euroklasa	Właściwości	Przykład materiału
A1	niepalne	beton, stal, wełna kamienna, wełna skalna
A2	niepalne	Płyta gipsowo-kartonowa, wełna mineralna,
B	Niezapalne (bardzo ograniczony udział w pożarze)	PCW, twarde drewno zaimpregnowane środkami ogniochronnymi
C	trudno zapalne (ograniczony, lecz zauważalny udział w pożarze)	drewno – np. grab, cis
D	łatwo zapalne (istotny udział w pożarze)	drewno – np. świerk i sosna
E	łatwo zapalne (bardzo duży udział w pożarze – zagrożenie pożarowe)	styropian
F	nie badane lub negatywne wyniki badań ogniowych	spienione tworzywa sztuczne

3. Możliwości dostosowania budynków

3.1. Odporność konstrukcji

Oporność ogniową konstrukcji można zapewnić na kilka sposobów. Podstawową metodą w budowlach z drewna jest projektowanie odpowiedniego przekroju elementów. Drewno będąc materiałem o słabych właściwościach przewodnictwa cieplnego, dopuszcza ciepło do warstw wewnętrznych w stosunkowo niewielkim tempie. W początkowym etapie pożaru drewno pokrywa się warstwą węgla, który staje się izolatorem. Element konstrukcyjny pełnił swoją funkcję do momentu, kiedy pozostały przekrój nie będzie wystarczający i zostanie przekroczona wytrzymałość i ulegnie zniszczeniu. W przeciwieństwie do konstrukcji stalowych drewno nie wydłuża się lecz, ze względu na parowanie wody, kurczy się. Dzięki temu w elementach konstrukcji nie występują ugięcia ze względu na temperaturę, co czyni ją znacznie bezpieczniejszą.

Proces zwęglania odbywa się w sposób przewidywalny i stosunkowo stały w związku z czym przyjmuje się konkretne wielkości w czasie w jakim on zachodzi. Wartości te mogą wynosić od 1mm/min dla sklejk do 0,5 mm/min dla drewna dębowego. Drewno z warstwą zwęgliny ma w sobie zarazem dużą wilgotność jak i izolacyjność termiczną.[1]

3.2. Systemy alarmowe

Kolejną z metod przystosowywania do przepisów ochrony przeciwpożarowej jest korzystanie z instalacji wczesnego ostrzegania o niebezpieczeństwie pożarowym. Jest to tak zwany system alarmu pożarowego (SAP). To jedyna z opisanych tu metod, która nie wpływa bezpośrednio na wytrzymałość budynku. Dzięki systemom tym zagrożenie można zlokalizować bardzo precyzyjnie i nawet przed pojawieniem się płomieni. W skład systemu mogą wchodzić również stałe urządzenia gaśnicze. Jest to instalacja składająca się z przewodów służących do transportu cieczy lub gazów gaszących oraz dysz rozprzodających odpowiedni środek gaśniczy. W obiektach o dużej wartości jako środki gaszące stosuje się gazy, ponieważ nie powodują one zniszczeń przedmiotów czy budynku, jakie mogłaby wyrządzić woda czy piana. W tym rozwiązaniu niezbędne jest przygotowanie miejsca pod pojemniki na gaz oraz rozprzodzenie instalacji pod sufitami pomieszczeń, co z pewnością może stanowić problem z miejscem pod lokalizację zbiornika oraz instalacjami będącymi nienaturalnymi elementami biegnącym w pomieszczeniach.

Z takim rozwiązaniem można się spotkać między innymi w niemieckim budownictwie drewnianym. Występuje ono jako jeden z elementów dbania o bezpieczeństwo pożarowe wpisanych do przepisów. System ostrzegania, czujniki połączone są z centralą automatycznie informującą straż pożarną, która dociera na miejsce w ciągu kilku minut.

Metoda ta ma charakter bardziej prewencyjny, niż doraźny i może być stosowana jako uzupełnienie pozostałych rozwiązań. Zaletą tego rozwiązania jest niewielka ingerencja, a elementy instalacji przy rozsądnym montażu nie muszą być mocno wyeksponowane.

3.3. Środki ogniochronne

Jedną z możliwości przystosowywania budynków do przepisów pożarowych mogą być preparaty chemiczne i nanotechnologie. Środki ogniochronne mogą być stosowane do różnego rodzaju drewna, a ich głównym zadaniem jest opóźnienie zapłonu i rozprzestrzeniania się ognia. Mają również właściwości grzybobójcze i impregnacyjne. Nie mają negatywnego wpływu na środowisko oraz na ludzi, również w przypadku pożaru.[7]

Środki ogniochronne mają zastosowanie powierzchniowe lub penetrujące. Stosowane na powierzchni mogą pęcznieć lub pochłaniać energię. Są to lakiery i farby o działaniu podobnym do farb stosowanych do stali. Preparaty te na ogół zmieniają wygląd drewna. Są też dostępne nanotechnologiczne farby pęczniące, które po wyschnięciu są całkowicie przezroczyste. Malowanie może się odbywać za pomocą pędzla lub natryskowo.

Substancjami penetrującymi są środki solne, będące roztworami wodnymi. Mogą być aplikowane na kilka sposobów w zależności od rodzaju preparatu próżniowo lub ciśnieniowo.

Pożar można podzielić na zasadnicze cztery etapy ze względu na wzrost temperatury i są to ogrzewanie, rozkład, zapłon i rozprzestrzenianie się ognia. Środki stosowane do zabezpieczania drewna są tym skuteczniejsze im na więcej etapów oddziałują. Preparaty te mogą oddziaływać według czterech teorii – powłokowo, termicznie, gazowo i chemicznie. [7:za 9]

Zgodnie z pierwszą teorią powłoka ma nie dopuszczać temperatury do drewna opóźniając rozkład termiczny. Druga z nich, termiczna, mówi o opóźnieniu docierania ciepła w głąb materiału poprzez warstwę węgla powstającą ze spalonych wierzchnich warstw. Trzecia część substancji opiera się na gazach wydzielanych podczas spalania. Mogą być to gazy niepalne czy inhibitory utrudniające rozprzestrzenianie się ognia. W procesie ostatnim, chemicznym, zwiększa się ilość węgla na powłoce oraz wody.[1]

Dużym atutem stosowania impregnatów ogniochronnych jest brak widocznej ingerencji w strukturę i konstrukcję. Dzięki temu jest to bardzo skuteczny sposób na zabezpie-

czenie obiektów o wysokim znaczeniu historycznym. Ważne przy tym rodzaju zabezpieczeń jest by powierzchnia nie była wcześniej malowana lub impregnowana innymi środkami gdyż zmniejsza to lub kompletnie niweluje działanie środka ochronnego.

3.4. Okładziny

Najbardziej bezpośrednim ze sposobów i w znaczący sposób ingerujący w strukturę budynku jest stosowanie okładzin. Mogą to być materiały drewnopochodne czy wełna mineralna, ale największą popularnością cieszą się płyty gipsowo-kartonowe. Dzięki nim zwiększa się czas w jakim ogień dociera i bezpośrednio zaczyna oddziaływać na drewniane elementy konstrukcji i rozpoczyna się zwęglenie. Okładziny są rozwiązaniem ostatecznym, ponieważ pozbawia drewna jego naturalnych walorów i chroniony obiekt traci swój urok i wartość

Sytuację, w której niezbędne było by użycie okładzin trzeba uznać za ostateczną, a może wręcz niedopuszczalną, jednak w przypadku, gdy przekrój elementów konstrukcji jest niewielki może być to jedyna możliwość. Dzięki zastosowaniu tego rozwiązania moment zwęglania elementów właściwych odsuwa się w czasie do momentu kiedy to okładzina ulegnie zniszczeniu.

W zależności od rodzaju obudowy różny będzie czas jej degradacji. W normie PN-EN 1995-1-2 inaczej nazywaną Eurokod 5, która zawiera reguły projektowania konstrukcji drewnianych, odnosi się również do metod projektowania konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe. Zawarte są tam wzory do obliczeń wytrzymałości okładzin w celu zwiększania odporności ogniowej. W przypadku wykorzystania podwójnej warstwy płyt gipsowo-kartonowych do momentu, gdy zwęglaniu zacznie ulegać drewno konstrukcyjne upłyne 49 minut. Jeżeli jako obudowę zastosowana zostanie wełna mineralna o gęstości 80 kg/m^3 czas ten wyniesie 15,5 minuty. Natomiast w tej samej sytuacji użycie płyty drewnopochodnej, na przykład OSB, grubości 2,5 centymetra spowoduje opóźnienie 28 minut.[4]

Stosowanie okładzin w połączeniu z dużym przekrojem elementów pozwala na osiągnięcie wysokich wartości odporności ogniowej ale pozbawiając obiekt wartości historycznej.

4. Podsumowanie

Budynki drewniane bywają niejednokrotnie bardzo ciekawymi obiektami o dużej wartości, a w szczególności te będące zabytkami lub przykładami architektury wernakularnej. Obiekty te w wielu przypadkach ze względu na swoją wielkość czy wpis w rejestrze zabytków uzyskać mogą odstępstwa od przepisów. Jednakże sposób w jaki dostosowujemy je do warunków pożarowych jest istotną kwestią, która może się przyczynić do zmniejszenia strat w razie wypadku. Stosowanie radykalnych środków jak okładziny jest zbudne i prowadziłyby do zniszczenia wartości zabytkowych. Pozostają jednakże mniej inwazyjne rozwiązania, zresztą niejednokrotnie stosowane, jak systemy wczesnego ostrzegania czy preparaty ogniochronne, dzięki którym w razie pożaru skutki mogą być znacznie mniejsze. Łączenie ze sobą większej ilości zabezpieczeń z pewnością znacząco podnosi bezpieczeństwo. Są to przykłady możliwości dostosowania budynków do przepisów pożarowych, które wraz z energicznym rozwojem technologii również szybko ewaluują.

Literatura

- 1 PN-EN 1995-1-2 Eurokod 5: *Projektowanie konstrukcji drewnianych*. Część 1-2: *Postanowienia ogólne. Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe*.

- 2 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690)
- 3 Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 czerwca 2003 r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej. (Dz.U. 2003 nr 121 poz. 1137)
- 4 Woźniak G., Roszkowski P., *Projektowanie konstrukcji drewnianych z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 5*. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2014.
- 5 PN-EN 13501-1:2008 *Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków -- Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień*.
- 6 Kuklik P., *Fire resistance of Timber Structures. Handbook 1 – Timber Structures*. Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures – TEMTIS, 2008, s. 233-239.
- 7 Małozieć D., Nagrodzka M., *Impregnacja drewna środkami ogniochronnymi*. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza 3 (2011), s. 68-76.
- 8 Kram D., *Projektowanie obiektów drewnianych z uwzględnieniem wymagań w zakresie odporności ogniowej*, Czasopismo Techniczne 4 (2007), Wyd. Politechniki Krakowskiej, 295-300.
- 9 Chodorowski J., *Badanie szybkości zwęglania drewna sosny i dębu impregnowanych przeciwogniowo w warunkach cieplnych symulujących I fazie pożaru*, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, 2000;

How to adapt wooden buildings to fire regulations?

Tomasz Żmijewski

*Department of Sustainable Design , Faculty of Architecture,
Gdansk University of Technology, e-mail: zmijewskitom@gmail.com*

Abstract: The article presents the possibility of adapting the buildings to fire regulations due to fire resistance. The possibilities are examples of solutions that affect increase the strength of the fire wood elements objects. These are the elements of active and passive fire protection in various ways interfere with the structure of the building.

Keywords: wood, construction, architecture, vernacular, fire resistance

Badania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)

Bohdan Dołżycki

*Katedra Inżynierii Drogowej, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska,
e-mail: bohdan.dolzycski@wilis.pg.gda.pl*

Streszczenie: Referat zawiera opis badań związanych z mieszanekami mineralno-cementowo-emulsyjnymi (MCE). Zostały opisane dotychczasowe doświadczenia związane z oceną odcinków dróg wykonanych z wykorzystaniem tej technologii, ich stan techniczny oraz występujące uszkodzenia po kilku latach eksploatacji nawierzchni. Przedstawione zostaną wyniki badań mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych prowadzone w celu optymalizacji składu tych mieszanek. W końcowej części publikacji zostanie przedstawiona nowa instrukcja do projektowania mieszanek MCE, jaka powstała w wyniku prowadzonych prac.

Słowa kluczowe: Mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne, badania terenowe, instrukcja projektowania MCE.

1. Wprowadzenie

Wykorzystanie do przebudów dróg mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych, jako jednego ze sposobów ponownego wykorzystania materiałów z rozbiórek istniejących nawierzchni, rozpoczęło się w Polsce w latach 90-tych ubiegłego wieku i ze zmienną intensywnością trwa do dnia dzisiejszego. Dotychczas wykorzystuje się wymagania opracowane w latach 90-tych ubiegłego wieku. Po kilkunastoletnim okresie wykorzystywania tej technologii nadszedł czas na ocenę odcinków dróg wykonanych w tej technologii oraz weryfikację dotychczas stosowanych wymagań dla mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych. W tym celu przeprowadzono obszernie badania terenowe oceniające dotychczas wykonane odcinki oraz badania laboratoryjne mające na celu weryfikację dotychczas stosowanych zasad projektowania mieszanek cementowo-emulsyjnych. Na podstawie dotychczasowych prac zdecydowano się na wprowadzenie korekt wynikających z dotychczasowych doświadczeń w stosowaniu tego typu podbudów, ponadto uwzględniono zmiany związane z wprowadzeniem norm serii PN-EN. Wszystkie zmiany przyczyniły się do opracowania nowej instrukcji do projektowania oraz wbudowywania warstw z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych.

2. Mieszanki MCE stosowane w Polsce

Historia wykonywania pierwszych warstw w technologii głębokiego recyklingu w Polsce z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych sięga lat 80-tych i 90-tych ubiegłego wieku. Pierwsze wytyczne do wykonywania warstw konstrukcyjnych z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych pojawiły się w 1997 roku. Były to „Warunki techniczne wykonania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo emulsyjnej metodą recyklingu na miejscu” autorstwa J. Zawadzkiego i J. Matras wydane przez IBDiM, (zeszyt 53/1997) [1]. W 1999 roku pojawiła się aktualizacja tego opracowania w postaci „Warunków technicznych wykonania warstw podbudowy z z mieszanki mineralno-

cementowo emulsyjnej (MCE) autorstwa J. Zawadzkiego, J. Matras, T. Mechowskiego, D. Sybilskiego wydane przez IBDiM (zeszyt 61/1999) [2]. Wymagania te, zredagowane w formie specyfikacji technicznych są stosowane do dnia dzisiejszego w Polsce. W polskich wymaganiach wyspecyfikowano wymagania dotyczące materiałów składowych stosowanych w mieszankach MCE. Określono wymagania dla następujących materiałów:

- Destruktu, czyli materiału mineralno-bitumicznego lub mineralno-cementowego, powstałego w wyniku frezowania warstw nawierzchni drogowej lub w wyniku kruszenia w kruszarce brył pochodzących z rozbiórki starej nawierzchni.
- Kruszywa doziarniającego czyli materiału mineralnego, którego zadaniem była korekta uziarnienia destruktu.
- Emulsji kationowej wolnorozpadowej K3 lub nadstabilnej K4 wg [3].
- Cementu portlandzkiego CEM I klasy 32,5 wg [4]. Wymagania nie dopuszczały stosowania cementu z dodatkami lub innych rodzajów cementu.
- Wody do betonów i zapraw wg [5].

Projektowanie polegało na dobraniu materiałów tak aby uziarnienie wynikowe mieściło się w polu dobrego uziarnienia wyznaczonego przez krzywe graniczne oraz aby osiągnąć wymagane dla gotowej mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej parametry. Wymagania polskie [2] oparto o następujące parametry:

- Zawartości wolnych przestrzeni w próbkach zagęszczonych w warunkach laboratoryjnych,
- Stabilność wg Marshalla,
- Odształcenie wg Marshalla.

Praktyka stosowania polskich wymagań była różna, często odbiegała od założeń zawartych w wymaganiach [2]. Aby przekonać się jak wygląda stosowanie mieszanek mineralno-asfaltowych w praktyce przeprowadzono badania ankietowe na temat stosowania podbudów z mieszankami MCE oraz oceniono wybrane odcinki dróg pod kątem oceny stanu nawierzchni. W badaniach ankietowych zebrano informacje o 91 odcinkach dróg wykonanych z podbudowami z MCE. Wśród nadesłanych ankiet 65 zawierało dane na temat składu mieszanek MCE.

Analizując ankiety skupiono się na składzie stosowanych mieszanek MCE. Oceniając skład mieszanki MCE pod względem cementu stwierdzono, że:

- Mieszanki zawierają bardzo mało emulsji. Na 16 odcinkach wykonano mieszankę MCE z mniejszą niż 3% zawartością emulsji, na 41 odcinkach wykonano z zawartością emulsji równą 3%, czyli z minimalną zawartością wg [2], na 9 odcinkach wykonano z zawartością emulsji większą niż 3%.
- Mieszanki zawierają dużo cementu. Na 29 odcinkach zastosowano mieszankę MCE z dodatkiem do 4% cementu, na 24 odcinkach zastosowano 4% cementu, czyli największą zalecaną ilość według warunków technicznych [2], na 13 odcinkach użyto więcej niż 4% cementu.
- Mieszanki zawierają dość dużo kruszywa doziarniającego. Na 9 odcinkach była ona mniejsza od 25%, na 43 odcinkach kruszywo doziarniające stanowiło od 25 do 50% mieszanki mineralnej, a na 12 odcinkach od 50 do 75%. W dwóch przypadkach było to ponad 75% mieszanki mineralnej.

Aby ocenić jaki jest stan nawierzchni dróg z podbudową z mieszanki MCE oceniono stan nawierzchni na 16 wybranych odcinkach dróg krajowych. Były to odcinki o długości 2 km. Ocena polegała na inwentaryzacji uszkodzeń oraz ocenie ich szkodliwości. Inwentaryzowano spękania poprzeczne, spękania o charakterze zmęczeniowym, spękania podłużne, uszkodzenia szwu podłużnego oraz ewentualne ubytki. W oparciu o przeprowadzoną ocenę stwierdzono, że:

- Nawierzchnie z podbudową z mieszanki MCE są równe, nie wykazują zapadnięć ani kolein.
- Nawierzchnie z podbudową z mieszanki MCE wykazują spękania poprzeczne, jest to najczęściej spotykane uszkodzenie. Liczba spękań rośnie wraz z wiekiem nawierzchni, im starsza nawierzchnia tym więcej spękań. Spękania poprzeczne na części odcinków nie były uszczelniane, co wskazuje na brak należytego bieżącego utrzymania nawierzchni.
- Pozostałe uszkodzenia występują sporadycznie i są typowe dla tego typów remontowanych odcinków dróg.

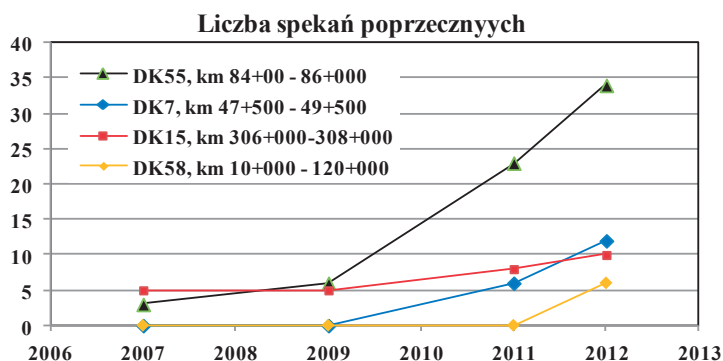
Typowy wygląd spękań na drogach z podbudową z mieszanki MCE przedstawiono na fotografiach 1 i 2. Rysunek nr 1 przedstawia propagację spękań na wybranych drogach krajowych. Propagacja spękań na różnych drogach postępuje, przy czym postęp jest dość zmienny.



Fot. 1. Nieregularne spękanie poprzeczne wywołane podbudową z mieszanki MCE



Fot. 2. Spękanie poprzeczne wywołane podbudową z mieszanki MCE



Rys. 1. Wzrost liczby spękań poprzecznych na wybranych drogach z podbudową z mieszanki MCE

Podsumowując informacje zebrane w ankietach jak i biorąc pod uwagę dane zebrane podczas oględzin odcinków dróg z podbudowami z mieszanki MCE można stwierdzić, że:

- Dotychczas stosowane w Polsce wymagania gwarantują powstanie nośnej, trwałej podbudowy która zapewnia nawierzchni dobrą nośność ale równocześnie naraża warstwy wyżej leżące na powstawianie spękań odbitych.
- W trakcie projektowania mieszanek MCE powszechnie stosowano dużą zawartość cementu, małą zawartość emulsji asfaltowej oraz stosunkowo dużą ilość kruszywa doziarniającego. Powstawał materiał mało efektywny ekonomicznie, podatny na spękania.
- Zasadniczo nie wykorzystywano emulsji jako podstawowego środka wiążącego a jej dodatek miał jedynie za zadanie pozwolić na nazywanie powstałego materiału mieszanką cementowo-emulsyjną. W rzeczywistości powstawał materiał związany cementem z dodatkiem emulsji.

Obserwacje terenowe oraz zebrane doświadczenia przyczyniły się do rozpoczęcia studiów oraz badań mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych. Celem dalszych prac było dążenie do optymalizacji wymagań aby z jednej strony mieszanki MCE stały się bardziej podatne a z drugiej strony bardziej atrakcyjne pod względem ekonomicznym.

3. Stosowanie mieszanek MCE na świecie

Wykorzystywanie materiałów pochodzących z rozbiórki istniejących nawierzchni do wytworzenia nowych warstw w konstrukcji nawierzchni jest dość powszechną praktyką. W zakresie podbudów wytwarzanych w recyklingu na zimno z wykorzystaniem cementu lub emulsji nie ma jednej powszechnie akceptowanej metody projektowania tego typu materiałów, każdy z krajów wypracował własną metodologię bazującą na lokalnych doświadczeniach oraz potrzebach [6, 7, 8, 9, 10]. Podsumowując te doświadczenia można stwierdzić, że:

- Projektowanie mieszanek wytwarzanych w technologii recyklingu na zimno przeprowadza się na wiele sposobów. Różnice występują na każdym z etapów projektowania i badania mieszanek.
- W trakcie projektowania mieszanek wytwarzanych w recyklingu na zimno dąży się do maksymalnego wykorzystania przetworzonych materiałów przy niewielkim dodatku kruszywa doziarniającego oraz materiałów wiążących.
- Większość wymagań wytrzymałościowych bazuje na wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, bada się oddziaływanie wody na badany materiał, niekiedy określa się moduł sztywności. Badania stabilności wg Marshalla stosuje się sporadycznie, poza tym zmienia się warunki jego wykonania.

Porównując wymagania stosowane w innych krajach z dotychczas stosowanymi w Polsce można zaobserwować bardziej racjonalne podejście do materiałów powtórnie przetworzonych oraz dążenie do badania cech istotnych dla danego charakteru materiału.

4. Badania mieszanek MCE

Badania mieszanek MCE na etapie poszukiwań modyfikacji dotychczas stosowanych rozwiązań miały pokazać między innymi jak zmieniają się parametry w potencjalnych metodach oceny mieszanek MCE. W tym celu przeprowadzono badania w których:

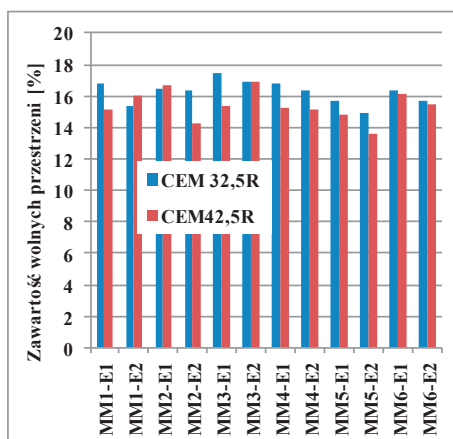
- Zaprojektowano sześć różniących się składem mieszanek mineralnych (MM). W projekcie składów mieszanek mineralnych uwzględniono dwie zawartości cementu.

- Dla każdej z mieszanek zastosowano dwa różne cementy, różniące się między sobą wytrzymałością (CEM 32,5R ORAZ CEM 42,5R).
- Dla każdej z mieszanek zastosowano dodatkowo dwie różniące się między sobą rodzajem asfaltu emulsje asfaltowe (emulsja z asfaltem 50/70 oraz 100/150).

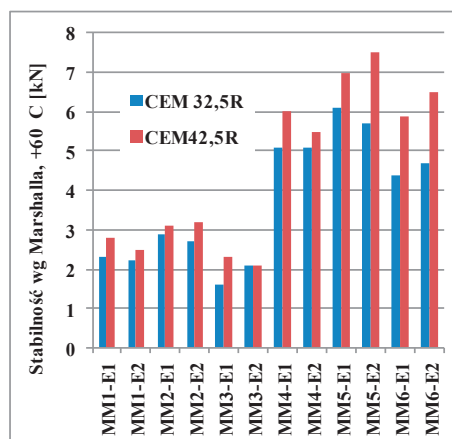
Łącznie przebadano 24 kombinacje mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej. Skład mineralny poszczególnych mieszanek podano w tabelicy 1. Wyniki wybranych badań przedstawiono na rysunkach 2, 3, 4 i 5.

Tabela 1. Skład mineralny badanych mieszanek MCE

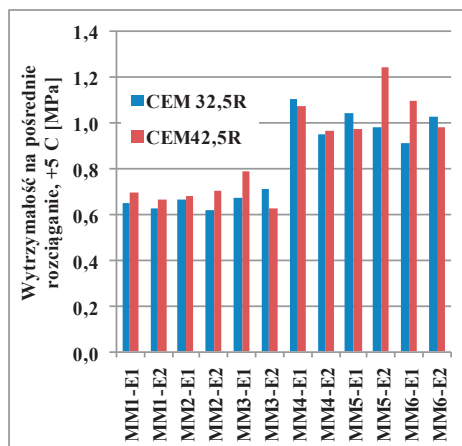
Składnik:	MM 1	MM 2	MM 3	MM 4	MM 5	MM 6
Destrukt	65	55	75	63,7	53,9	73,5
Kruszywo o uziarnieniu 0/31,5 (C _{90/3})	15	23	0	14,7	22,5	22,5
Kruszywo drobne, niełamane 0/2	18	20	23	17,6	19,6	0
Cement	2	2	2	4	4	4



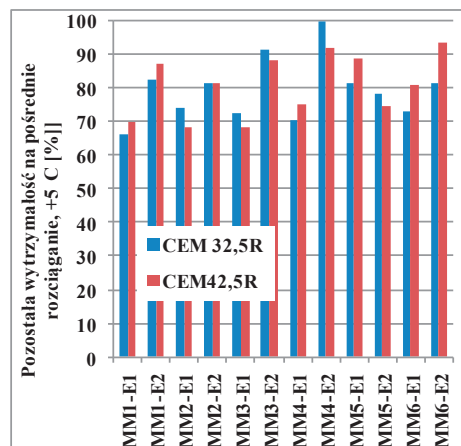
Rys. 2. Zawartość wolnych przestrzeni



Rys. 3. Stabilność wg Marshalla, T = +60°C



Rys. 4. Wytrzymałość na pośrodknie rozciąganie T = +5°C.



Rys. 5. Pozostała wytrzymałość na pośrodknie rozciąganie po działaniu wody.

Z przedstawionych wyników badań, można wywnioskować między innymi że:

- Najbardziej wrażliwym badaniem na zmiany składu badanych mieszanek MCE, szczególnie zawartości cementu jest badanie Marshalla. W pozostałych badaniach te różnice nie były tak widoczne. Jest to jedna z przyczyn dodawania dużej ilości cementu do dotychczas wykonywanych mieszanek MCE – dążenie do uzyskania wysokiej stabilności wg Marshalla.
- Klasa wytrzymałości cementu ma niewielki wpływ na uzyskane wyniki. Stosując cement o wytrzymałości 32,5 oraz 42,5 uzyskano zasadniczo podobne wartości badanych cech. Potwierdza to powszechne przekonanie o drugorzędnej roli cementu w prawidłowo zaprojektowanych mieszankach MCE.
- Badania odporności na działanie wody pokazało, że zaprojektowane mieszanki MCE zasadniczo powinny być odporne na działanie wody. Lepszą odporność na działanie wody wykazały mieszanki z emulsją zawierającą asfalt o penetracji 100/150. Wyraźnego wpływu rodzaju zastosowanego cementu lub jego zawartości nie zaobserwowano.

Przedstawione badania były jednymi z wielu jakie prowadzono podczas prac związanych z poszukiwaniem metod optymalizacji składu mieszanek MCE oraz metod służących do oceny zaprojektowanych mieszanek MCE.

5. Instrukcja projektowania i wbudowania mieszanek MCE

Badania terenowe, przeprowadzone studia literatury oraz liczne badania laboratoryjne pozwoliły na opracowanie „Instrukcji do projektowania i wbudowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)” [11]. Instrukcja została tak pomyślana aby w maksymalnym stopniu wykorzystać materiał rozbiórkowy, przy jak najmniejszym dodatku środków wiążących oraz nowego kruszywa, przy jednoczesnym zbliżeniu się cechami materiału do dotychczas stosowanych mieszanek MCE. W opracowanej instrukcji ujęto następujące elementy:

- Określono zakres stosowania poprzez opisanie przeznaczenie mieszanki MCE oraz ograniczeń jakie wynikają z jej charakteru. Ze względu na dość dużą niejednorodność materiału ograniczono stosowanie mieszanki MCE do dróg obciążonych ruchem KR1 – KR4.
- Opisano materiały stosowane do mieszanek MCE oraz sprecyzowano wymagania dla nich. Wymagania, w miarę możliwości oparto na normach serii PN-EN.
- Określono wymagania dla sprzętu wykorzystywanego do wytwarzania i wbudowania podbudowy z mieszanki MCE. Opisano też ogólne zasady transportu niezbędnych materiałów składowych oraz samej mieszanki MCE w przypadku wytwarzania jej w wytwórni stacjonarnej.
- Szczegółowo określono procedurę projektowania mieszanki MCE, tak aby jednoznacznie określić wszystkie kluczowe etapy projektowania. W procedurze zapisano jednoznacznie co należy wykonać, jak przechowywać próbki oraz jak badać mieszankę MCE. W maksymalnym stopniu wykorzystano procedury opisane w normach serii PN-EN. Określono wymagania bazujące na dotychczasowych doświadczeniach oraz przeprowadzonych badaniach weryfikujących. Wymagania określone w Instrukcji [11] przedstawiono w tabelicy 2.

Tabela 2. Skład mineralny badanych mieszanek MCE

Cecha:	Wymagane wartości:	
	Ruch KR1÷KR2	Ruch KR3÷KR4
Zawartość wolnych przestrzeni [%]	od 8 do 18 maksymalnie 14*	od 8 do 15 maksymalnie 12*
Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie, T = +5°C, po 7 dniach, [MPa]	od 0,40 do 0,80	od 0,50 do 1,00
Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie, T = +5°C po 28 dniach, [MPa]	od 0,60 do 1,40	od 0,70 do 1,60
Moduł sztywności IT-CY, T = +5°C po 28 dniach, [MPa]	od 1500 do 5000	od 2000 do 7000
Odporność na działanie wody (pozostała wytrzymałość na pośrednie rozciąganie po przechowywaniu próbek w wodzie), T = +5°C po 28 dniach, [%]	nie mniej niż 70	nie mniej niż 80

*- Materiały rozbiórkowe zawierające smołę.

- Określono wymagania jakie powinny być przestrzegane podczas wbudowywania mieszanki MCE oraz podano jakie wymagania ma osiągnąć prawidłowo wbudowana warstwa. Określono jak postępować, kiedy konieczne jest wcześniejsze dopuszczenie ruchu pojazdów po wykonanej warstwie.
- W punkcie poświęconym kontroli robót określono zakres badań przed przystąpieniem do robót, podczas wykonywania warstwy oraz zakres badań wymaganych dla wykonanej warstwy. Biorąc pod uwagę dużą, naturalną, niejednorodność materiałów stosowanych do wytworzenia mieszanki MCE podano procedurę postępowania w przypadku niewielkich przekroczeń wymagań określonych w instrukcji przez wytworzony materiał. Pozwoli to na racjonalne wykonywanie podbudów z mieszanek MCE.

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia oraz wiedzę zdobyta podczas prac związanych z opracowaniem instrukcji należy zwrócić uwagę na następujące aspekty:

- Wykonując podbudowę z mieszanki MCE należy dążyć do wykonania jak najbardziej podatnej podbudowy, aby zminimalizować ryzyko powstania spękań odbitych, które mogą pojawić się na takiej nawierzchni.
- Mieszanka mineralno-cementowo-emulsyjna jest mieszanką dość wrażliwą ze względu na wykonywanie jej w technologii mieszania na miejscu oraz zastosowanie materiałów z recyklingu. W trakcie jej wykonywania należy bezwzględnie przestrzegać reżimów technologicznych i zasad dobrej praktyki inżynierskiej.
- Nawierzchnie z podbudowami z mieszanki MCE są narażone na powstawanie spękań poprzecznych. O trwałości takiej nawierzchni w dużym stopniu decyduje odpowiednie utrzymanie bieżące. W przypadku pojawienia się spękań należy je jak najszybciej uszczelnić.

Nowa instrukcja jest zwięźleniem kilkuletnich prac mających na celu optymalizację projektowania i wbudowania mieszanek MCE co powinno przyczynić się do ich szerszego stosowania. Jest to technologia szczególnie predysponowana do przebudów lokalnych dróg, których degradacja jest już dość mocno zaawansowana i ich wzmocnienia nie przyniesie wymiernych korzyści.

Literatura

- 1 Zawadzki J., Matras J. *Warunki techniczne wykonania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo emulsyjnej metodą recyklingu na miejscu*. IBDiM, Zeszyt 53, Warszawa 1997.
- 2 Zawadzki J., Matras J., Mechowski T., Sybilski D. *Warunków technicznych wykonania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo emulsyjnej (MCE)*. IBDiM, Zeszyt 61, Warszawa 1999.
- 3 Szczepaniak Z. Majewski J. *Warunki techniczne. Drogowe kationowe emulsje asfaltowe EmA-99*. IBDiM, Zeszyt 60, Warszawa 1999.
- 4 PN-B-19701:1997 *Cement. Cement powszechnego użytku*.
- 5 PN-B-32250:19898 *Materiały budowlane. Woda do betonów i zapraw*.
- 6 *FGSV, Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau*, Köln, 2005.
- 7 *Road Pavement Rehabilitation Techniques Using Enhanced Asphalt Mixtures*. Final Technical Report PARAMIX. 2004.
- 8 Westergren P., *Handbok för återvinning av asfalt*. 2004.
- 9 Marti M., Mielke A. *Synthesis of Asphalt Recycling in Minnesota*. Minnesota Local Road Research Board. 2002.
- 10 Merrill D., Nunn M.E., Carswell I., *A guide to the use and specification of cold recycled materials for the maintenance of road pavements*. TRL Report 611, Transport Research Laboratory, Crowthorne, 2004.
- 11 *Instrukcje do projektowania i wbudowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)*. Politechnika Gdańska, GDDKiA 2013.

Researches of mineral-cement-emulsion mixes (MCE)

Bohdan Dołżycki

Gdańsk University of Technology,
e-mail: bohdan.dolzycki@wilis.pg.gda.pl

Abstract: The paper describes the researches related to mineral-cement-emulsion mixes (MCE). Previous experiences related to the assessment of road sections made using this technology are described, their technical condition and damage occurring after a few years of exploitation are discussed. In the paper will be presented the results of researches of mineral-cement-emulsion carried out in order to optimize the composition of these mixtures. In the final part of the publication will be presented the new standard method to design mineral-cement-emulsion mixes (MCE), which is the result of work carried out.

Keywords: mineral-cement-emulsion mixes (MCE), in-situ measurements, design method.

Wzmocnienie stropu Kleina w świetle aktualnych norm

Marcin Górecki, Dominika Franczak-Balmas

*Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: m.gorecki@pollub.pl, d.franczak@pollub.pl*

Streszczenie: Przedstawiono możliwość zastosowania stropów stalowo-betonowych w istniejących budynkach. Zespolecie to polega na wykorzystaniu istniejących belek stalowych, które są głównymi elementami konstrukcyjnymi stropu i nowej płyty żelbetowej. Belki i płyty żelbetowe zespala się za pomocą łączników. W pracy przedstawiono przykład obliczenia stropu zespolonego stalowo-betonowego z wykorzystaniem aktualnych norm.

Słowa kluczowe: wzmocnienie, strop na belkach stalowych, strop Kleina.

1. Wprowadzenie

Na etapie projektu budowlanego, obowiązkiem projektanta jest ustalenie wartości obciążeń oddziaływujących na poszczególne elementy konstrukcyjne zgodnie z przeznaczeniem obiektu. Dla założonych obciążeń, projektant dokonuje obliczeń umożliwiających określenie najbardziej optymalnych przekrojów elementów konstrukcyjnych. Konstruktor, w porozumieniu z architektem i inwestorem, dobiera materiały i typ konstrukcji właściwy dla danego obiektu. Układ konstrukcyjny obiektu, wprowadzone obciążenia, względy ekonomiczne itd. wymuszają konkretne rozwiązania. Obecny rynek dostępnych materiałów i technologii ułatwia nieco projektantowi zadanie przy wyborze właściwego kierunku działania. Wybór ten, nie rzadko, uzależniony jest również od dostępnych środków wspomagających projektowanie.

Poza nowo projektowanymi obiektami, istnieją również obiekty, które wymagają już remontów czy też adaptacji. Znajdujące się budynki w centrach miast zmieniają swoje dotychczasowe przeznaczenie ze względu na migrację mieszkańców tych dzielnic na nowo powstałe osiedla i tereny podmiejskie. Użytkownikami tych obiektów stają się instytucje, których kierunek działania jest zróżnicowany, a obiekty zaczynają funkcjonować jako biurowe, handlowe, usługowe, czy służące kulturze. Dotychczasowy sposób użytkowania uniemożliwia jednak zagospodarowanie na nowo tych obiektów bez wcześniejszej analizy konstrukcyjnej. Jest to głównie związane z różnicą obciążeń użytkowych, jakie tam panowały dotychczas, i obciążeń zgodnych z planowanym przeznaczeniem. Obciążenia te wpływają bezpośrednio na strop i jego wyteżenia. Różnica w wartości obciążenia użytkowych w pomieszczeniach, które służyły zamieszkanu i obciążeń w pomieszczeniach przeznaczonych na działalność handlową czy biurową wynosi kilkaset kilogramów na metr kwadratowy zgodnie z normą PN-EN 1991-1-1 [3].

Poza obciążeniami użytkowymi, bezpośredni wpływ mają również obciążenia stałe uzależnione od sposobu wykończenia podłóg. Zmiana warstw wykończeniowych nie zawsze jednak wpływa niekorzystnie na wielkość obciążeń przekazywanych na strop.

W istniejących budynkach znajdujących się w części śródmiejskiej, w zależności od okresu z jakiego pochodzi budowla, można spotkać stropy drewniane, stropy na belkach stalowych, sklepienia i inne. Podczas prac prowadzonych w celu zwiększenia nośności

stropów i dostosowania do obecnych przepisów, stropy drewniane, w większości przypadków są demontowane i wymieniane na ogniotrwałe. W przypadku sklepień, częstym rozwiązaniem jest wykonanie stropu odciążającego, który przeniesie w całości przyszłe obciążenia. Inaczej jest w przypadku stropów na belkach stalowych z płytami Kleina. Są to stropy, które projektanci starają się pozostawić. Na etapie oceny stanu technicznego stropu podejmowana jest decyzja o dopuszczeniu do ewentualnego dalszego użytkowania po wykonaniu odpowiednich wzmocnień.

Najpopularniejszym sposobem jest wzmocnienie belek stalowych poprzez dospawanie płaskowników lub dospawanie kształtowników stalowych np. teowników do pasów belek, co zwiększa wysokość belki a co za tym idzie jej nośność. Przed przystąpieniem do jakichkolwiek metod wzmacniających, należy określić gatunek stali istniejących belek, co najmniej poprzez ustalenie roku budowy obiektu i wymiarów przekroju poprzecznego belek stopowych, które to dane porównane być powinny z danymi historycznymi.

Metoda wykorzystująca spawanie płaskowników stalowych sprawdza się w stropach gdzie obserwujemy niewielkie przekroczenie nośności belek stropowych. W przypadku, gdy warunek stanu granicznego nośności czy użytkowości jest znacznie przekroczony, stosowane jest drugie rozwiązanie z wykorzystaniem kształtowników stalowych. Przestrzeń pomiędzy belkami wypełnia się lekkimi materiałami izolacyjnymi a nad belkami warstwę konstruuje się płytę żelbetową i wykonuje się warstwy posadzkowe. Niestety, następuje znaczne zwiększenie grubości stropu, co niezbyt korzystnie wpływa na użytkowanie pomieszczeń, a zdarza się, że wysokość pomieszczeń nie spełnia wymogów określających możliwość przebywania ludzi w pomieszczeniu. Znaczne podniesienie poziomu posadzki może spowodować zmniejszenie wysokości ścianki występującej pod istniejącym oknem.

W celu zwiększenia nośności stropu na belkach stalowych, racjonalnym rozwiązaniem jest wykonanie stropu zespolonego stalowo-betonowego. Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe tworzy się przez takie wzajemne połączenie części stalowych i betonowych, aby mogły być traktowane jako jeden ustrój nośny [1].

Norma PN-EN 1994-1-1 [6] zawiera informacje umożliwiające wykonania obliczeń stropów zespolonych stalowo-betonowych. W dokumencie tym poświęcono najwięcej uwagi sworzniom jako elementom, które zapewniają zespolenie stali konstrukcyjnej z betonem. Przypawanie dużej ilości trzpieni na istniejącym obiekcie jest bardzo pracochłonne i uciążliwe. W wytwórniach konstrukcji stalowych, mocowanie bolców do belek odbywa się, przy użyciu automatów co znacznie skraca czas realizacji przedsięwzięcia. Tego typu łączniki nie są jedynym rozwiązaniem umożliwiającym uzyskanie zespolenia. Norma [6] dopuszcza stosowanie innego rodzaju łączników przy spełnieniu wymagań zawartych w PN-EN 1993-1-8.

2. Wzmocnienie stropu na belkach stalowych

Wzmocnienie stropu ceramicznego na belkach stalowych zaprezentowano na przykładzie wzmocnienia przez wykonanie zespolenia nowej płyty żelbetowej z istniejącymi belkami stalowymi dzięki przyspawaniu łączników w formie żeberk stalowych [2] o wymiarach $70 \times 45 \times 12$ mm ($b \times h \times g$) w rozstawie co 17 cm. W połowie odstępów, pomiędzy żeberkami, przyspawano dodatkowe łączniki wykonane z prętów o średnicy $\phi 10$ mm. Wzdłuż belek stalowych z dwuteowników 200 zaprojektowano zbrojenie z prętów 4 # 10 mm, ze stali AIII.

Wymogiem normowym [6] jest aby płyta żelbetowa była wykonana z betonu o wytrzymałości nie niższej niż C20/25. Tej klasy beton przewidziano w opisywanym wzmocnieniu.

Płyta żelbetowa grubości 6 cm, zespolona z belkami stalowymi zaprojektowana została w formie płyty ciągłej, wykonanej na warstwie keramzytu ułożonego na płycie ceramicznej tuż nad belkami stalowymi. Zastosowano zbrojenie podłużne z prętów o średnicy 8 mm ze stali AIII, w rozstawie co 10 cm. Zbrojenie rozdzielcze stanowią pręty ϕ 6 w rozstawie co 25 cm. Jako materiał wypełniający przestrzeń pomiędzy belkami nad płytą Kleina przewidziano keramzyt.

W rozpatrywanym stropie Kleina, rozstaw belek stalowych nie przekraczał 1,50 m a rozpiętość obliczeniowa belki wynosiła $l_0 = 5,88$ m.

2.1. Obciążenia w stadium realizacji

Obciążenia oddziałujące na konstrukcję, zgodnie z wytycznymi normowymi, podzielono na dwie grupy. Pierwsza grupa obciążeń przewiduje pracę stropu w stadium realizacji, której wartość całkowitego obciążenia charakterystycznego wynosi

$$q_{c,m} = (6,385 + 0,900) = 7,285 \text{ kN/m} \quad (1)$$

i odpowiadająca wartość obliczeniowa

$$q_{o,m} = (8,620 + 1,350) = 9,970 \text{ kN/m}. \quad (2)$$

Maksymalny moment zginający od obliczeniowej wartości obciążenia

$$M_{Ed,m} = 0,125 \cdot q_{o,m} \cdot l_o^2 = 43,088 \text{ kNm}, \quad (3)$$

a siła poprzeczna na podporze

$$V_{Ed,m} = 0,5 \cdot q_{o,m} \cdot l_o = 29,312 \text{ kN}. \quad (4)$$

Na tym etapie obciążenie w całości przenoszone jest jedynie przez istniejącą belkę stalową, a wcześniejsze obetonowanie belki zabezpiecza ją tylko przed zwichrzeniem. Według PN-EN 1993-1-1 [5], przy założeniu granicy plastyczności 215 MPa, nośność na zginanie wynosi $M_{b,Rd} = 53,75$ kNm, a nośność na ścinanie $V_{c,Rd} = 198,186$ kN.

2.2. Nośność w stadium realizacji

Stan graniczny nośności na zginanie nie został przekroczony, gdyż

$$\frac{M_{Ed,m}}{M_{b,Rd}} = 0,80 < 1,0 \quad (5)$$

Stan graniczny nośności na ścinanie również nie został przekroczony

$$\frac{V_{Ed,m}}{V_{c,Rd}} = 0,15 < 1,0 \quad (6)$$

Wpływ siły poprzecznej przy zginaniu można pominąć ponieważ siła ścinająca jest ponad dwukrotnie mniejsza niż nośność przekroju na ścinanie.

2.3. Obciążenia w stadium eksploatacji

Ze względu na przewidywany sposób użytkowania, strop po wzmocnieniu powinien przenosić obciążenie użytkowe o wartości charakterystycznej $3,00$ kN/m². Obciążenie zmienne zwiększono o wartość $0,75$ kN/m², jako obciążenie zastępcze przewidujące wyko-

nywanie lekkich ścinek działowych. W tej fazie użytkowania stropu, wartość charakterystyczna obciążeń oddziaływujących na belkę wynosiła

$$q_c = (8,735 + 6,375) = 15,110 \text{ kN/m} \quad (7)$$

i odpowiadająca wartość obliczeniowa

$$q_o = (11,792 + 9,563) = 21,355 \text{ kN/m.} \quad (8)$$

Maksymalny moment zginający od obliczeniowej wartości obciążenia

$$M_{Ed,m} = 0,125 \cdot q_o \cdot l_o^2 = 92,292 \text{ kNm}, \quad (9)$$

a siła poprzeczna na podporze

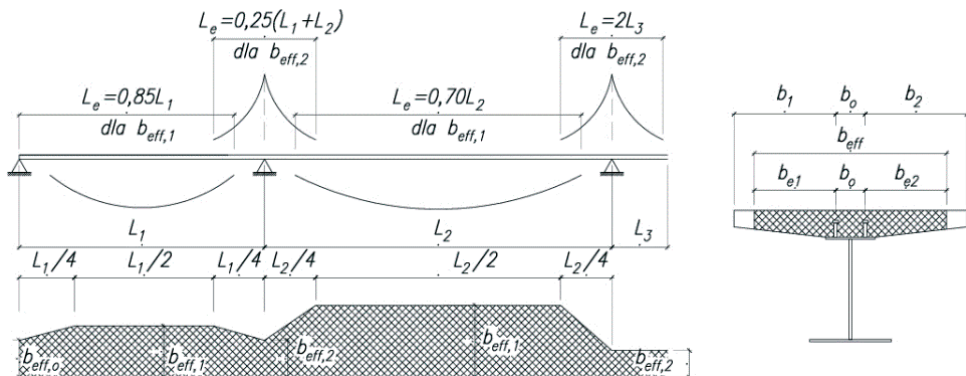
$$V_{Ed} = 0,5 \cdot q_{o,m} \cdot l_o = 62,784 \text{ kN.} \quad (10)$$

2.4. Geometria przekroju zespolonego

Część współpracującą z belką stalową stanowi projektowana płyta żelbetowa o grubości $h_c = 6$ cm z betonu C20/25, którego wytrzymałość obliczeniowa na ściskanie f_{cd} wynosi 13,3 MPa i moduł sieciowy sprężystości betonu $E_{cm} = 30$ MPa. Rzeczywistą szerokość płyty b należy zastąpić szerokością efektywną b_{eff} . Szerokość ta jest uzależniona od schematu statycznego dźwigu, rozkładu obciążeń i położenia przekroju (rys. 1). W przypadku belki jednoprzęsłowej

$$b_{eff} = b_o + \sum b_{ei}, \quad (11)$$

gdzie: b_o – szerokość łącznika lub rozstaw sworzni, b_{ei} – jednostronny wysięg półki równy $0,125L_e$ nie większy niż połowa rozstawu belek lub wysięg wspornika, L_e – równoważna rozpiętość belki (przybliżona odległość między zerowymi wartościami momentów zginających w belce).



Rys. 1. Efektywna szerokość półki betonowej według PN-EN 1994-1-1

Długość belki wolnopodpornej $L_e = 5,6$ m wyznacza szerokość efektywną jednostronnej półki betonowej

$$b_{ei} = \frac{L_e}{8} = 0,7 \text{ m.} \quad (12)$$

Zaprojektowano łącznik o szerokości $b_0 = 70$ mm, więc ostateczna szerokość efektywna części współpracującej wynosi

$$b_{eff} = 0,07 + 2 \cdot 0,7 = 1,47 \text{ m.} \quad (13)$$

Efektywna część współpracująca nie przekracza rozstawu belek stropowych $a = 1,5$ m.

2.5. Obliczeniowa nośność na zginanie przekroju zespolonego

W ocenie nośności na zginanie zespolonego przekroju porzecznego $M_{pl,Rd}$ zgodnie z normą [6] nie należy uwzględniać wytrzymałości betonu na rozciąganie i stalowej siatki betonowej płyty. Jednak przyjmuje się następujące założenia:

- istnieje pełna współpraca pomiędzy stalą konstrukcyjną oraz betonem,
- naprężenia w efektywnym przekroju elementu stalowego mieszczą się zakresie obliczeniowej granicy plastyczności f_{yd} na rozciąganie lub ściskanie,
- zbrojenie w strefie ściskanej płyty betonowej można pominąć,
- naprężenia w przekrojach zbrojenia rozciąganego i ściskanego zawiera się w zakresie jego granicy plastyczności stali f_{sd} na rozciąganie lub ściskanie,
- ściskany efektywny przekrój betonu przenosi naprężenia $0,85f_{cd}$, stałe na całej swej grubości między plastyczną osią obojętną i skrajnymi włóknami betonu, gdzie f_{cd} jest obliczeniową, walcową wytrzymałością betonu.

W omawianym przypadku oś obojętna mieści się w płycie betonowej ponieważ

$$0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_c = 997,10 \cdot \text{kN} > f_{yd} \cdot A_a = 720,25 \cdot \text{kN}, \quad (14)$$

gdzie: h_c – grubość płyty betonowej, A_a – pole przekroju kształtownika.

Rozkład naprężeń plastycznych w zginanym przekroju zespolonym przedstawia rysunek 2.

Wysokość strefy ściskanej x_c wynosi więc

$$x_c = A_a \cdot \frac{f_{yd}}{0,85} \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} = 4,33 \text{ cm} \quad (15)$$

a obliczeniowa nośność przekroju zespolonego $M_{pl,Rd}$

$$M_{pl,Rd} = f_{yd} \cdot A_a \cdot (d_c - 0,5 \cdot x_c) = 99,63 \text{ kNm}, \quad (16)$$

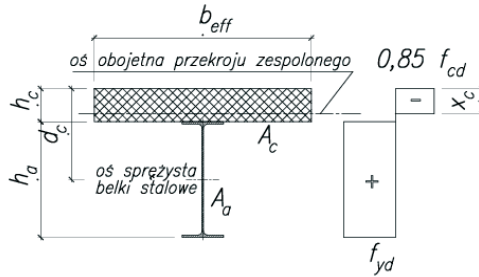
gdzie: $d_c = 0,5h + h_c = 16$ cm.

Ostatecznie warunek stanu granicznego nośności na zginanie i na ścinanie zostały spełnione

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = 0,93 < 1,0 \quad (17)$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = 0,32 < 1,0 \quad (18)$$

Norma przewiduje sprawdzenie wpływu siły poprzecznej na nośność przy zginaniu ale ze względu na spełnienie warunku mniejszej siły ścinającej od połowy nośności na ścinanie przekroju, tak jak w fazie montażowej nie ma potrzeby sprawdzania tego stanu granicznego nośności.



Rys. 2. Plastyczny rozkład naprężeń w przekroju zginanym momentem dodatnim, z osią obojętną stanu plastycznego znajdującą się w płycie

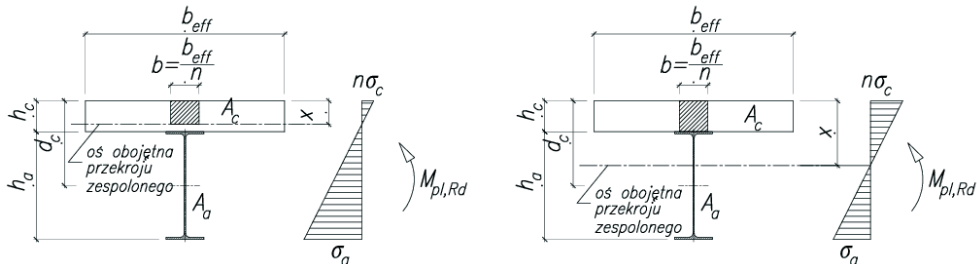
2.6. Ugięcie dźwigara zespolonego

Ugięcie dźwigara zespolonego wyznacza się w sposób polegający na zastąpieniu przekroju rzeczywistego, przekrojem zastępczym, o parametrach wytrzymałościowych jednego z zastosowanych materiałów. Na ugięcie ma wpływ skurcz i pęcznienie betonu oraz zmiana temperatury. Norma [6] ugięcie traktuje w sposób uproszczony. Wyznacza się efektywny moduł sprężystości betonu

$$E_{c,eff} = 0,5 \cdot E_{cm} = 15 \text{ GPa}, \quad (19)$$

a następnie należy określić stosunek modułów sprężystości n rozpatrywanych materiałów

$$n = \frac{E_a}{E_{c,eff}} = \frac{205}{15} = 13,67. \quad (20)$$



Rys. 3. Zastępczy przekrój belki zespolonej w zależności od lokalizacji osi obojętnej

Znając wartość stosunku modułów sprężystości należy wyznaczyć zastępczą szerokość płyty betonowej (rys. 3).

$$b = \frac{b_{eff}}{n} = 10,76 \text{ cm}. \quad (21)$$

Moment bezwładności przekroju zespolonego I_I uzależniony jest od lokalizacji osi obojętnej przekroju zespolonego

- gdy $x < h_c$, to

$$I_I = \frac{b \cdot h_c^3}{3} + I_a + A_a \cdot (d_c - x)^2 \quad (22)$$

- gdy $x \geq h_c$, to

$$I_1 = \frac{b \cdot h_c^3}{12} + b \cdot h_c \cdot \left(x - \frac{h_c}{2}\right)^2 + I_a + A_a \cdot (d_c - x)^2. \quad (23)$$

Ustalono, że oś obojętna umieszczona jest poza płytą betonową

$$A_a \cdot (d_c - h_c) = 335 \cdot \text{cm}^2 > \frac{b \cdot h_c^3}{2} = 193,61 \cdot \text{cm}^2 \quad (24)$$

na wysokości

$$x = \frac{A_a \cdot d_c + \frac{b \cdot h_c^3}{2}}{b \cdot h_c + A_a} = 7,44 \cdot \text{cm} > h_c = 6 \cdot \text{cm} \quad (25)$$

Wobec powyższego moment bezwładności przekroju zastępczego wynosi $I_1 = 6060 \text{ cm}^4$.

Ostatecznie wartość ugięcia w fazie użytkowania od obciążeń całkowitych

$$w = \frac{5}{384} \frac{q_c \cdot l_c^4}{E_a \cdot I_1} = 1,9 \cdot \text{cm} \quad (26)$$

jest wartością mniejszą od dopuszczalnego ugięcia

$$w_{gr} = \frac{l_o}{250} = 2,4 \cdot \text{cm}. \quad (27)$$

Dokonano weryfikacji naprężeń w przekroju od obciążeń charakterystycznych w stanie sprężystym

- w kształtowniku stalowym

$$\frac{M_k \cdot (h + h_c - x)}{I_1} = 200 \cdot \text{MPa} < f_u = 235 \cdot \text{MPa} \quad (28)$$

- w płycie żelbetowej

$$\frac{M_k \cdot x}{n \cdot I_1} = 5,87 \cdot \text{MPa} < f_{ck} = 20 \cdot \text{MPa} \quad (29)$$

2.7. Nośność połączeń ścinanych

W belkach zespolonych stalowo-betonowych występują siły rozwarstwiające. Stosowanie odpowiednich łączników zapewnia zespolenie płyty z belką stalową natomiast wprowadzenie zbrojenia poprzecznego zabezpiecza beton przed ścieniem w pobliżu łączników.

Zaprojektowano łączniki w postaci stalowych żeber o wymiarach $b \times h \times g = 70 \times 45 \times 12 \text{ mm}$.

Pole powierzchni docisku i pole powierzchni rozdziału

$$A_{c0} = 7,0 \cdot 4,5 = 31,5 \cdot \text{cm}^2 \quad (30)$$

$$A_{c1} = 4,5 \cdot (2 \cdot 4,5 + 7,0) = 72,0 \cdot \text{cm}^2 \quad (31)$$

Sprawdzenie zespolenia płyty z belką stalową polega na porównaniu siły rozwarstwiającej i obliczeniowej nośności na docisk.

Zgodnie z normą [4] obliczeniową nośność na docisk przy sile skupionej można wyznaczyć poprzez wytrzymałość obliczeniową betonu na ściskanie f_{cd} .

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} = 63,339 \cdot \text{kN} < 3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} = 125,685 \cdot \text{kN} \quad (32)$$

Siła rozwarstwiająca uzależniona jest od położenia osi obojętnej

$$N_{c,f} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_c = 997,10 \cdot \text{kN} \quad (33)$$

Określono liczbę łączników na odcinku od podpory do najbardziej wyężonego przekroju zginanego

$$n = N_{c,f} / F_{Rdu} \approx 16 \quad (34)$$

Rozpiętość belki $L_e = 5,6$ m determinuje rozstaw łączników co 17 cm.

$$s = 0,5 \cdot L_e / n = 17,50 \cdot \text{cm} \quad (35)$$

W połowie rozstawu żeber przewidziano przyspawanie dodatkowych łączników wykonanych z prętów ϕ 10 mm ze stali A-0, co poprawia współpracę żelbetową płytę z belką stalową. Płyta ciągła wykonana na warstwie keramzytu ułożonego na płycie ceramicznej ze zbrojeniem podłużnym z prętów o średnicy 8 mm ze stali A-III, rozmieszczonych co 10 cm.

2.8. Nośność płyty na podłużne ścinanie

Zmiażdżenie ściskanych krzyżulców według normy [4] nie nastąpi jeżeli naprężenia styczne nie przekroczą dopuszczalnych wartości

$$v_{Ed} < v \cdot f_{cd} \cdot \sin \Theta_f \cdot \cos \Theta_f \quad (36)$$

gdzie:

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,55 \quad (37)$$

$$\Theta_f = 45^\circ \quad (38)$$

Naprężenia styczne od siły rozwarstwiającej mają wartość

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x} = 2,968 \cdot \text{MPa} \quad (39)$$

$$\Delta F_d = N_{c,f} / 2 = 498,550 \cdot \text{kN} \quad (40)$$

$$h_f = h_c \quad (41)$$

$$\Delta x = L_e / 2 \quad (42)$$

Warunek nie przekroczenia naprężeń został spełniony więc nośność płyty na podłużne ścinanie również została spełniona.

$$v_{Ed} = 2,968 \cdot \text{MPa} < v \cdot f_{cd} \cdot \sin \Theta_f \cdot \cos \Theta_f = 3,670 \cdot \text{MPa} \quad (43)$$

3. Wnioski końcowe

Przedstawione w pracy obliczenia uzasadniają stosowanie stropów zespolonych nie tylko w nowo projektowanych obiektach ale również w obiektach już istniejących. Podczas dostosowania starych obiektów do obecnych warunków główny problem stanowi przekroczenie stanów granicznych nośności i użyteczności stropów.

Dzięki współpracy płyty żelbetowej i stali profilowej, w adoptowanych budynkach, bez rozbierania istniejących stropów można zwiększyć ich nośność i sztywność a jednocześnie zmniejszyć ugięcia. Zaletą tej metody jest możliwość zachowania pierwotnych rzędnych wykończonych podłóg.

Literatura

- 1 Biegus A., Lorenc W. *Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych według PN-EN 1994*. X Konferencja Naukowa Konstrukcje Zespolone, Zielona Góra, 26-27 czerwca 2014.
- 2 Tribińo R., Krentowski J., Bielawiec S. *Wzmocnienie stropów stalowo-ceramicznych w wyniku zespolenia belek z płytą żelbetową*. Inżynieria i Budownictwo, nr 4/2001.
- 3 PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1: *Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach*.
- 4 PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: *Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- 5 PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- 6 PN-EN 1994-1-1 Eurokod 4: *Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.

Strengthening Klein's floor slabs with the use of current norms

Marcin Górecki, Dominika Franczak

*Department of Building Structures, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: m.gorecki@pollub.pl, d.franczak@pollub.pl*

Abstract: The paper presents the effectivity of using the steel-concrete floor slabs in existing buildings. Steel-concrete slabs described in this paper consist of old steel beams which are main structural members of the floor slabs and reinforced concrete slabs which are new elements of the floor slabs. Beams and reinforced concrete slabs are connected with connectors. The computational example which shows the efficiency of utilizing the steel-concrete floor slabs with the use of current norms has been presented in the paper.

Keywords: strengthening, steel-beam floor, Klein's floor.

