

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO
I ARCHITEKTURA

Vol. 13(4) 2014

Politechnika Lubelska
Lublin, 2015

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO I ARCHITEKTURA



Vol. 14(1) 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 Szmygin, 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

Ewa Błazik-Borowa, Michał Pieńko, Aleksander Robak:

- Możliwości prawne i techniczne wykorzystania rusztowań jako pochylni dla osób niepełnosprawnych
The legal and technical possibilities of using of scaffoldings as the ramp for disabled persons 5

Małgorzata Cykowska-Błasiak, Paweł Ozga:

- Wydruk 3D jako narzędzie do planowania zabiegów ortopedycznych
3D printing, as a tool for planning orthopedic surgery 15

Artur Duchaczek:

- Ocena preferencji decydenta przy wyborze środków transportowych
Evaluation of the decision maker's preferences in the selection means of 25

Paulina Filas-Zajac

- Architektura uzdrowiskowa Krynicy Zdrój
Architecture of spas in Krynica Zdroj 33

Monika Jaworska

- Odporność siarczanowa napowietrzonych zapraw cementowych z dodatkiem popiołów lotnych
Sulphate resistance of air entrained mortars with admixture of fly ashes 43

Nataliya Lushnikova

- Optimization of selection process of constituent materials for high performance concrete and mortars
Optymalizacja procesu wyboru materiałów składowych do betonu i zapraw wysokowartościowych 53

Kamil Maciuk

- Współczynniki DOP w obserwacjach GNSS
DOP coefficients in GNSS observations 65

Karolina Matysiak

- Zespół mieszkaniowy Towarzystwa Osiedli Robotniczych na warszawskim Grochowie
Housing Estate of Workers Society in Warsaw's Grochow 73

Galina A. Osychenko

- On development of urban environment typology* 93

Kh. Sobol, T. Markiv, V. Terlyha, W. Franus

- Peculiarities of hydration processes of cements containing natural zeolite* 105

Maciej Szelaż, Andrzej Szewczak

- Zastosowanie stereologii w inżynierii materiałów budowlanych
Application of stereology in engineering of building materials 115

Agnieszka Wozuk, Lidia Bandura, Rafal Panek

Application of zeolites as fillers in mix asphalt 127

Jan Wrana

Formy terapii dzieci niepełnosprawnych i rola architektury w tym procesie

Forms of therapy of disabled children and role of architecture in this process 135

Anna Życzyńska, Tomasz Cholewa

The modifications to the requirements on energy savings and thermal

insulation of buildings in Poland in the years 1974-2021 145

Możliwości prawne i techniczne wykorzystania rusztowań jako pochylni dla osób niepełnosprawnych

Ewa Błazik-Borowa, Michał Pieńko, Aleksander Robak

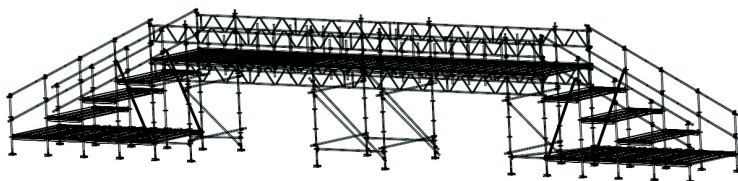
*Katedra Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: e.blazik@pollub.pl, m.pienko@pollub.pl, a.robak@pollub.pl*

Streszczenie: Referat jest poświęcony zagadnieniom prawnym i technicznym wykonywania pochylni dla osób niepełnosprawnych z rusztowań budowlanych. Elementy systemowe rusztowań pozwalają na zmontowanie konstrukcji, która będzie pełniła rolę pochylni i spełni wymagania warunków technicznych. Od strony prawnej najważniejszy jest fakt, że budowa pochylni wymaga zgłoszenia. W tym zakresie największe problemy może stwarzać pozyskanie praw do dysponowania nieruchomością na cele budowlane. Dużym wyzwaniem jest także wykonanie analiz wytrzymałościowych konstrukcji z uwzględnieniem wpływów dynamicznych, spowodowanych ruchem wózka. W tym zakresie w pracy zaprezentowano model numeryczny pochylni, analizę statyczną, analizę modalną oraz wyniki symulacji przejazdu osoby niepełnosprawnej na wózku. Otrzymane wyniki obliczeń komputerowych wykazały, że budowa pochylni wymaga dość dokładnych analiz numerycznych. Dlatego najlepszym rozwiązaniem byłoby, aby firmy które sprzedają rusztowania, przygotowały odpowiednią dokumentację techniczną produktów jakimi są pochylnie dla osób niepełnosprawnych.

Słowa kluczowe: pochylnia dla osób niepełnosprawnych, aspekty prawne, rusztowania budowlane, symulacje komputerowe.

1. Wprowadzenie

Referat jest poświęcony zagadnieniom prawnym i technicznym wykonywania pochylni dla osób niepełnosprawnych z rusztowań budowlanych. Obecnie rozwiązania, stosowane w rusztowaniach, pozwalają na dowolne kształtowanie konstrukcji, co pozwala też na rozszerzenie możliwości zastosowań samych rusztowań. W tej chwili rusztowania stanowią bardzo często konstrukcje reklam, obiektów małej architektury, estrad itp. Ciekawym przykładem, i dość nietypowym, zastosowania rusztowania budowlanego była konstrukcja tymczasowego mostu dla pieszych, który w 2011r. był symbolem połączenia pokoleń w ramach obchodów 6 rocznicy śmierci Jana Pawła II. Most był zlokalizowany na Placu J. Piłsudskiego w Warszawie. Widok aksonometryczny samego rusztowania pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Widok konstrukcji tymczasowego mostu dla pieszych

Rusztowania budowlane służą też coraz częściej do budowy pochylni dla osób niepełnosprawnych i to zarówno w kraju jak i za granicą. Rusztowania są wykorzystywane między innymi: podczas imprez masowych w obiektach, do których normalnie można wejść tylko po schodach, przy przychodniach, w zakładach pracy i oczywiście budynkach mieszkalnych. Rusztowania są wykorzystywane, gdy konstrukcja musi stanąć szybko, gdy nie ma możliwości wykonania fundamentów dla zwykłej pochylni np. w zimie lub z powodu uzbrojenia terenu, gdy użytkowanie konstrukcji jako pochylni jest planowane albo jako rozwiązanie tymczasowe lub po prostu pochylnia jest potrzebna tylko na jeden lub kilka dni. Z drugiej strony takie zastosowanie rusztowania jest nadal nietypową sytuacją, dlatego w artykule podjęto się prezentacji możliwości wykonania pochylni dla osób niepełnosprawnych z rusztowań budowlanych. Na rys. 2 pokazana jest przykładowa pochylnia, zmontowana przez firmę ALTRAD-MOSTOSTAL MONTAŻ z Siedlec na potrzeby tego artykułu.



Rys. 2. Pochylnia dla osób niepełnosprawnych wykonana z elementów modułowego rusztowania ROTAX

2. Aspekty prawne

Pochylnie dla osób niepełnosprawnych, zgodnie art. 16 ust.1 Warunków technicznych [1] powinny być doprowadzone do wejść do budynków mieszkalnych wielorodzinnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności. Montaż pochylni oczywiście jest wymagany tylko wtedy, gdy pomiędzy wejściem a dojściem do budynku jest różnica poziomu. W kolejnym ustępie art.16 Warunków technicznych [1] umieszczono listę budynków, w których nie ma obowiązku budowania pochylni a są to budynki na terenach zamkniętych, budynki w zakładach karnych, aresztach śledczych, zakładach poprawczych i schroniskach dla nieletnich oraz budynki w zakładach pracy, nie będących zakładami pracy chronionej. Jednak w przypadku tych ostatnich, jeżeli istnieje możliwość zatrudnienia osoby niepełnosprawnej i jedyną przeszkodą jest utrudniony dostęp do stanowiska pracy, to właśnie rusztowanie budowlane może być bardzo dobrym rozwiązaniem jako konstrukcja pochylni.

Gdy rusztowanie stanowi konstrukcję pochylni dla osób niepełnosprawnych, podlega przepisom Prawa budowlanego [2] takim, jak dla pochylni wykonanych z innych materiałów. Oznacza to, że zmontowanie takiej konstrukcji, zgodnie z art. 30 ust.1 p.1 Prawa budowlanego [2] wymaga zgłoszenia właściwemu organowi administracji architektoniczno-budowlanej. Organem tym w większości przypadków jest starostwo powiatowe lub w przypadku miast na prawach powiatu zgłoszenia należy dokonać w urzędzie miasta.

Kolejny ustęp art. 30 podaje co należy dołączyć do zgłoszenia budowy, a są to następujące dokumenty: opis, określający rodzaj, zakres i sposób wykonywania robót budowlanych oraz termin ich rozpoczęcia, odpowiednie szkice i rysunki, w tym lokalizację obiektu na mapie (ale nie musi być to mapa do celów projektowych) oraz oświadczenie o posiadaniu praw do dysponowania nieruchomością na cele budowlane.

Ustawa [2] nie wymaga, aby zgłoszenie budowy pochylni przygotowywała osoba z uprawnieniami budowlanymi. Jednak należy pamiętać, że materiały budowlane używane do budowy pochylni muszą posiadać odpowiednie oznakowanie CE zgodnie z dyrektywą Nr 305/2011 [3] lub znak budowlany B zgodnie z Ustawą o wyrobach budowlanych [4]. Ponieważ rusztowania nie są w rozumieniu tych rozporządzeń wyrobami budowlanymi, to takiego oznakowania nie posiadają. Dlatego, podchodząc literalnie do prawa, należałoby taki obiekt potraktować jako wyrób budowlany dopuszczony do jednostkowego zastosowania, który zgodnie z Ustawą o wyrobach budowlanych [4] wymaga projektu technicznego. W przypadku rusztowań projekt taki należy wykonać, stosując między innymi zalecenia norm [7] i [8].

Wśród dokumentów, które należy dołączyć do zgłoszenia, jest oświadczenie o posiadaniu praw do dysponowania nieruchomością na cele budowlane. Jeżeli pochylnia miałaby być zmontowana poza terenem, którego właścicielem jest inwestor, to trzeba poczynić kroki w celu nabycia prawa do danego terenu. W zależności od tego, kto jest właścicielem, może to być dzierżawa na czas określony, która w przypadku rusztowania jako konstrukcji pochylni nie powinna budzić zastrzeżeń, bo wiadomo, że taki rodzaj konstrukcji można łatwo zdemontować. Jeżeli pochylnia ma znajdować się w pasie drogowym, to trzeba od zarządcy drogi uzyskać decyzję lokalizacyjną (nie należy mylić tego z „decyzją o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego”), zezwolenie na zajęcie pasa drogowego zgodnie z ustawą o drogach publicznych [6] a podczas użytkowania pochylni należy uiścić opłatę za zajęcie pasa drogowego.

Jeżeli posiadamy wszystkie dokumenty, to zgłoszenie należy dokonać co najmniej w terminie 30 dni przed rozpoczęciem robót budowlanych i można do nich przystąpić, jeżeli zgodnie z Prawem budowlanym [2] „w terminie 30 dni od dnia doręczenia zgłoszenia właściwy organ nie wniesie, w drodze decyzji, sprzeciwu”. Organy administracji architektonicznej nie muszą zawiadamiać o braku sprzeciwu, ale w przypadkach nagłych można prosić o wydanie takiej decyzji.

Po zakończeniu montażu pochylni można przystąpić do użytkowania i zgodnie z art. 55 ustawy Prawo budowlane [2] nie musimy o tym nikogo powiadamiać, bo „pochylnia nie wymaga decyzji o pozwoleniu na użytkowanie [2]”.

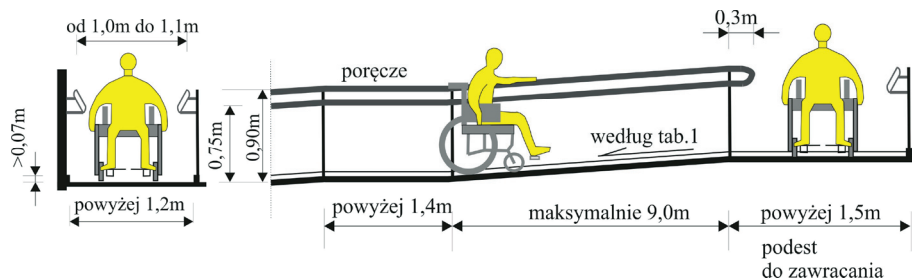
Potraktowanie pochylni z rusztowania tylko jako pochylni dla osób niepełnosprawnych powoduje, że unikamy konfliktu z Urzędem Dozoru Technicznego. Pochylnia nie jest sprzętem roboczym i nie jest urządzeniem, służącym do transportu, więc zgodnie z Rozporządzeniem w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu [6] nie podlega UDT.

3. Kształtowanie geometrii pochylni

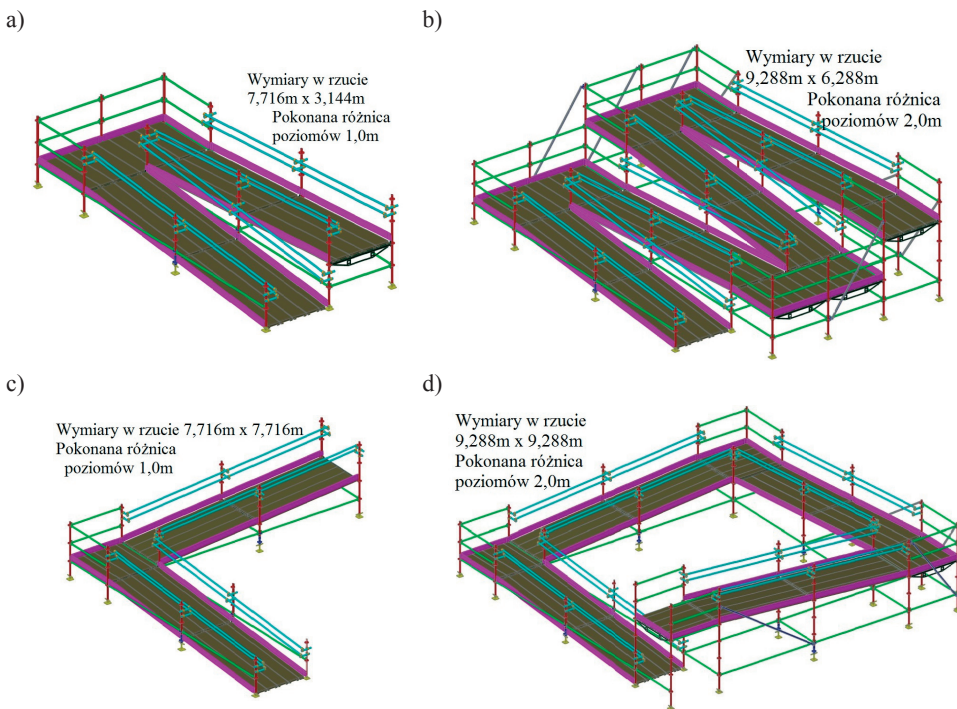
Pochylnia dla niepełnosprawnych powinna być tak ukształtowana, aby była przede wszystkim funkcjonalna. Zapewnione to jest wtedy, gdy pochylnia zaprojektowana jest zgodnie z art. 70 i art. 71 Warunków technicznych [1]. Wymiary pochylni, narzucone przez Warunki techniczne [1], pokazano na rys. 3, a w tab. 1 zestawiono wartości maksymalnych nachyleń pochylni.

Tabela 1. Nachylenie pochylni dla osób niepełnosprawnych [1]

Lp.	Różnica poziomów łączonych przez pochylnię	Pochylnia na zewnątrz bez zadaszenia	Pochylnia wewnątrz lub na zewnątrz z zadaszeniem
1	Do 0,15m	15%	15%
2	Od 0,15m do 0,5m	8%	10%
3	Powyżej 0,5m	6%	8%



Rys. 3. Wymiary pochylni dla osób niepełnosprawnych zgodnie z [1]



Rys. 4. Przykładowe układy pochylni dla osób niepełnosprawnych z rusztowań modułowych ROTAX

Wymiary pochylni wykonanej z rusztowań muszą spełniać warunki techniczne, ale oprócz tego o wymiarach będą decydowały wymiary elementów. Na rysunku 4 pokazano cztery warianty pochylni wykonanych z rusztowań modułowych ROTAX. W przypadku tych rusztowań nachylenie pochylni wynosi 8% czyli może być stosowane tylko pod zadaszeniem. Jednak nie ma przeszkód, aby dołożyć na każdym fragmencie pochylni po jednym module o długości 3,072 m i, wtedy uzyskuje się spadek równy 5,4%, który spełnia wymagania stawiane pochylniom bez zadaszeń. Pochylnie na częściach pochylonych są

zbudowane z rygli i pomostów o długości 3,072 m a na częściach płaskich z rygli i pomostów o długości 1,572 m. Krawężniki przy powierzchniach ruchu mają wysokość 15 cm. Poręczami mogą być rygle, które są elementami systemowymi, ale wtedy niezmiernie odbiega się od warunków technicznych, więc w rusztowaniu, pokazanym na rys. 2, wykonano poręcze z rur uniwersalnych i złączy. Na rysunku 2 pokazane jest rusztowanie, które było zmontowane tylko dla celów poglądowych. Jednak w rusztowaniu użytkowanym na co dzień należy wypełnić luki pomiędzy pomostami nad ryglami i zabezpieczyć pomosty przed możliwością wyskoczenia z rygla. Oczywiście należy też zadbać o wygląd estetyczny pochylni, stosując nowe elementy. Zestawienie elementów, potrzebnych do wykonania poszczególnych wariantów rusztowania, zamieszczono w tab. 2.

Z rusztowania można wykonać pochylnię pokonującą właściwie każdą różnicę poziomów, ale oczywiście wydaje się, że powyżej 2,0 m racjonalniejszym rozwiązaniem będzie winda.

Tabela 2. Zestawienie elementów w pochylniach pokazanych na rys. 4

Nr	Nazwa elementu	Rys. 4a	Rys. 4b	Rys. 4c	Rys. 4d
		Liczba [szt]	Liczba [szt]	Liczba [szt]	liczba [szt]
1	Podstawka stalowa regulowana uchylna 0.4 m	12	24	12	24
2	Element początkowy	3	5	4	8
3	Stojak 1.0 m	2	14	4	12
4	Stojak 1.5 m	8	13	6	12
5	Stojak 2.0 m	2	9	2	10
6	U-rygiel podwójny 1.572 m	7	18	6	15
7	Rygiel poziomy stalowy 1.572 m	15	55	8	36
8	Rygiel poziomy stalowy 3.072 m	6	10	8	16
9	Pomost stalowy 1.572 m	9	31	4	16
10	Pomost stalowy 1.572 m wąski	0	1	1	4
11	Pomost stalowy 3.072 m	16	32	16	32
12	Pomost stalowy 3.072 m wąski	4	8	4	8
13	Krawężnik drewniany 1.572 m	4	14	2	8
14	Krawężnik drewniany 3.072 m	8	16	8	16
15	Rura uniwersalna	56,5 mb	112,7 mb	56,8 mb	113,6 mb
16	Złącze normalne	46	90	48	96
17	Złącze tarczowe	3	5	4	8
18	Stężenie pionowe 1,572 m	0	6	0	2
19	Stężenie pionowe 3,072 m	0	1	0	2
Masa konstrukcji		1234,4 kg	2942,4 kg	1151,2 kg	2671,8 kg

4. Analiza wytrzymałościowa

Obciążenia pochylni dla osób niepełnosprawnych są inne niż platform roboczym, których konstrukcjami wsporczymi mogą być rusztowania budowlane. Przede wszystkim w trakcie prac budowlanych ciężar jednej osoby jest rozłożony na większej powierzchni, tzn. na powierzchni, jaką mają dwie podeszwy butów. W przypadku użytkowania pochylni przez osobę niepełnosprawną ciężar będzie powiększony o ciężar wózka, a obciążenie będzie przekazywane na pomost za pomocą kół wózka, których powierzchnia styku z pochylnią może być nawet czterokrotnie mniejsza niż powierzchnia podeszwy buta. Kolejny problem to obciążenie dynamiczne, jakie wywołuje poruszający się wózek wraz z użytkownikiem. Rusztowania nie są poddawane zwykle działaniu tego rodzaju obciążeń.

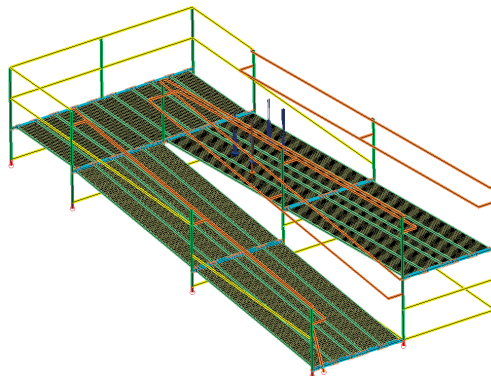
Dlatego w tym punkcie zostaną przedstawione wyniki obliczeń komputerowych, które pozwolą na symulację zachowania się pochylni pod wpływem obciążenia statycznego i dynamicznego, wywołanego ciężarem wózka, osoby siedzącej na wózku, ewentualnie opiekuna oraz ich ruchem.

4.1. Budowa modelu numerycznego

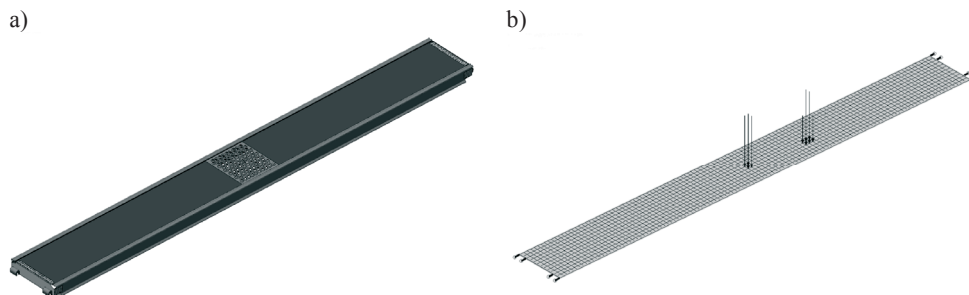
Na rys. 5 zaprezentowano model numeryczny pochylni, pokazanej na rys. 2. Model pochylni (schemat statyczny) składa się z elementów prętowych, które modelują stojaki, poręcze i rygle, oraz z powłokowo-prętowych modeli pomostów. Charakterystyki geometryczne elementów prętowych można znaleźć w pracy [9], a jeżeli chodzi o charakterystyki materiałowe, to konstrukcja została wykonana ze stali S235JRG o podwyższonej wytrzymałości i obliczeniowej granicą plastyczności, wynoszącej $f_y = 280$ MPa, module Younga $E = 2,05 \cdot 10^8$ kPa i współczynnika Poissona $\nu = 3$. Pomosty rusztowań budowlanych są wykonane z blachy perforowanej oraz profili zimno giętych, co powoduje, że geometria pomostu jest bardzo skomplikowana i może być w miarę dokładnie odwzorowana tylko wtedy, gdy analizujemy pojedynczy pomost. Gdy analizujemy konstrukcję, na której ułożonych jest kilka pomostów, to wtedy musimy skorzystać z uproszczonych modeli. Na rys. 6a pokazany jest model pomostu z fragmentem blachy z pełną perforacją oraz model uproszczony, którego sposób budowy został opisany w pracy [10]. Zastosowanie uproszczonego modelu pomostów powoduje, że otrzymujemy w miarę prawidłowe wartości przemieszczeń i sił wewnętrznych, natomiast dostajemy nieprawidłowe wartości naprężeń zredukowanych. Jednak te ostatnie są proporcjonalne do sił wewnętrznych, dlatego można w pewnym przybliżeniu założyć, że iloraz wartości naprężeń w modelu dokładniejszym do naprężeń w modelu uproszczonym będzie stały. Dlatego wykonano statyczne obliczenia porównawcze dla obu modeli przy obciążeniu pokazanym na rys. 6b i wyznaczono współczynnik skalowania naprężeń ze wzoru:

$$k = \frac{\sigma_{red1}}{\sigma_{red2}} = \frac{171,4\text{MPa}}{156,78\text{MPa}} = 1,09 \quad (1)$$

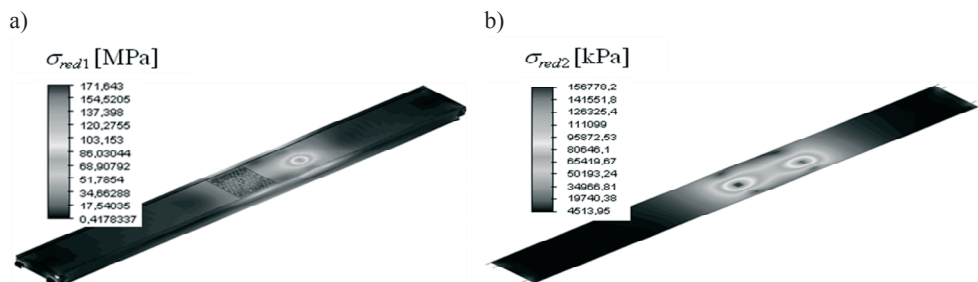
Oznacza to, że rzeczywiste naprężenia w blachach pomostu są o około 9% większe niż te otrzymane w obliczeniach komputerowych z wykorzystaniem modelu uproszczonego. Współczynnik skalowania k w dalszej części pracy zostanie wykorzystany do wyznaczania naprężeń, których należy spodziewać się w rzeczywistej konstrukcji, liczonych jako iloczyn współczynnika k i wartości z obliczeń komputerowych.



Rys. 5. Model numeryczny pochylni



Rys. 6. Modele numeryczne pomostów: a) model uwzględniający szczegółową geometrię kształtowników, b) model uproszczony

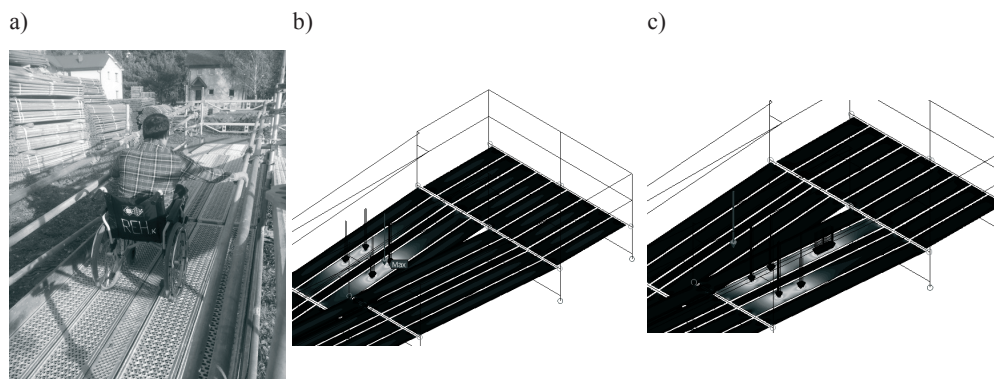


Rys. 7. Naprężenia zredukowane według hipotezy Hubera-Misesa: a) model uwzględniający szczegółową geometrię kształtowników, b) model uproszczony

4.2. Analiza statyczna konstrukcji pochylni

Obliczenia statyczne wykonano w dwóch wariantach:

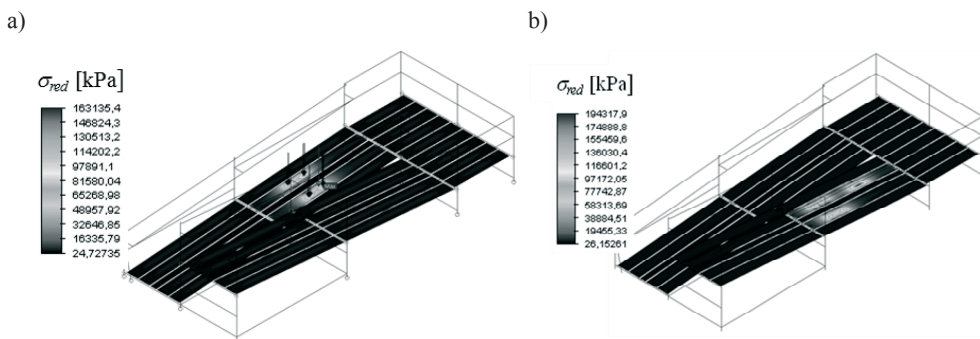
- I - konstrukcja jest obciążona ciężarem własnym, ciężarem osoby na wózku i wózka (1 kN),
- II - konstrukcja jest obciążona ciężarem własnym, ciężarem opiekuna (0,8 kN), ciężarem osoby na wózku i wózka (1 kN).



Rys. 8. Układ sił skupionych na pomoście w obliczeniach statycznych: a) widok wózka na pochylni, b) wariant I, c) wariant II

Obciążenie wózka rozłożono na cztery powierzchnie o całkowitym polu 37,5 cm². Rozłożenie ciężaru opiekuna jest najniekorzystniejsze, gdy stoi jedną stopą na powierzchni

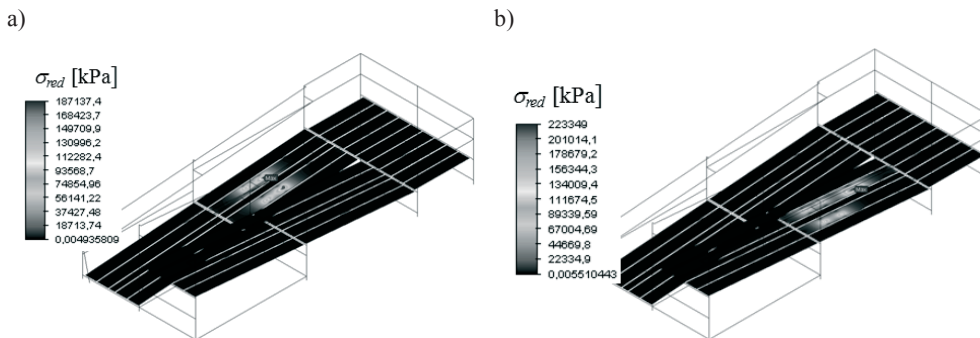
pomostu i w tym przypadku obciążenie rozłożono na powierzchnię o polu $150,0 \text{ cm}^2$. Lokalizacja obciążeń została wybrana na podstawie analiz dynamicznych, tzn. wybrano położenie, w którym uzyskano największe naprężenia zredukowane podczas symulacji przejazdu wózka. W ten sposób wyznaczony układ sił dla wariantu I pokazano na rys. 8b, a układ sił w wariantcie II pokazano na rys. 8c. W wyniku analizy statycznej otrzymano naprężenia normalne w prętach, oraz naprężenia zredukowane, które pokazano na rys. 10. Maksymalne naprężenia normalne w elementach prętowych wyniosły zaledwie $32,3 \text{ MPa}$. Jeżeli chodzi o elementy pomostu, to należy wartości, pokazane na rys. 9, zwiększyć o 9% czyli maksymalne wartości naprężeń wynoszą $194,3 \text{ MPa} \cdot 1,09 = 211,8 \text{ MPa}$ i są mniejsze od granicy plastyczności f_y .



Rys. 9. Naprężenia zredukowane w elementach powłokowych pomostów pochylni: a) wariant I, b) wariant II

4.3. Analiza dynamiczne konstrukcji pochylni

Analiza dynamiczna składała się z dwóch części, tzn. z analizy modalnej, w której wyznaczono częstości i formy drgań własnych, oraz analizy wytrzymałościowej konstrukcji, poddanej działaniu układu sił, zmieniających swoje położenie. W wyniku analizy modalnej stwierdzono, że pierwsze dwie częstości drgań wynoszą $f_1 = 2,74 \text{ Hz}$ i $f_2 = 5,27 \text{ Hz}$. Oznacza to, że można spodziewać się znaczącego wpływu obciążeń zmiennych w czasie, co zostało potwierdzone w obliczeniach.



Rys. 10. Naprężenia zredukowane w elementach powłokowych pomostów pochylni: a) wariant I w 89 kroku, b) wariant II w 250 kroku

Tak jak obliczenia statyczne tak i analizę dynamiczną wykonano w dwóch wariantach, w których symulowano odpowiednio, w wariantcie I przejazd wózka i w wariantcie II

przejazd wózka i przejście za wózkiem opiekuna. W obliczeniach przyjęto następujące założenia: prędkość przejazdu wózka $V = 0,768\text{m/s}$, krok czasowy obliczeń $\Delta t = 0,0325$, obliczenia wykonano w ramach 660 kroków obliczeniowych, pominięto tłumienie i ciężar własny.

Na rysunku 10 pokazano naprężenia zredukowane w tych krokach obliczeniowych, w których uzyskano największe wartości. Porównanie wyników analizy dynamicznej i statycznej po odjęciu wpływu ciężaru własnego pokazuje, że dynamiczny charakter obciążeń (zmiana wartości sił skupionych w czasie oraz zmiana lokalizacji przyłożenia tych sił) powoduje wzrost naprężeń w wariancie I o 18% a w wariancie II o 15%. Oznacza to, że wpływ obciążenia dynamicznego jest na tyle duży, że w praktyce inżynierskiej podczas projektowania konstrukcja pochylni powinna być poddana analizie dynamicznej. Ponadto pochylnie mogą być wykorzystywane przez niepełnosprawnych, korzystających z wózków z napędem elektrycznym a wtedy można spodziewać się jeszcze większych wpływów dynamicznych.

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono, jakie uregulowania prawne są związane z budową pochylni dla osób niepełnosprawnych oraz możliwości techniczne. Jak widać nie ma żadnych przeciwwskazań prawnych w wykonywaniu pochylni z rusztowań budowlanych. Więcej czasu zajmie przygotowanie dokumentacji i zgłoszenie budowy niż montaż rusztowania, który w najniekorzystniejszych warunkach będzie trwał jeden dzień roboczy.

W związku z wykonaniem pełnej analizy dynamicznej konstrukcji, przyjmowane wartości sił odpowiadały obciążeniom charakterystycznym i w odniesieniu do tych wartości nie uzyskano przekroczenia granicy plastyczności czyli naprężeń dopuszczalnych. Jeżeli jednak uwzględnimy współczynnik bezpieczeństwa, który w przypadku rusztowań dla ciężaru własnego i ciężaru eksploatacyjnego wynosi $\gamma_f = 1,5$ (por. norma [8]), to z uzyskanych obliczeń będzie wynikało, że stan graniczny naprężeń został przekroczony. Dlatego ze względu na obciążenie podestów kołami wózka na małej powierzchni oraz z powodu obciążenia dynamicznego, spowodowanego przejazdem wózka, należy wykonać szczegółową analizę wytrzymałościową pomostów, wykorzystywanych na pochylni dla osób niepełnosprawnych, wraz z uwzględnieniem oddziaływań dynamicznych. Ponieważ te obliczenia są dość skomplikowane i czasochłonne, to najlepszym rozwiązaniem byłoby, aby firmy produkujące rusztowania przygotowały projekty pochylni w ramach dokumentacji swojego systemu rusztowań. Wtedy analizy wytrzymałościowe, były by wykonane w ramach przygotowywania dokumentacji technicznej i nie obciążałyby każdorazowo dodatkowymi kosztami przyszłych użytkowników.

I na zakończenie należy też powiedzieć o jednej wadzie takiej pochylni. Niestety tak jak łatwo ją zmontować tak i w ten sam sposób łatwo jest taką pochylnię zdemontować, co powoduje, że konstrukcja jest narażona na działania wandalii lub po prostu kradzież.

Literatura

- 1 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.
- 2 Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690.
- 3 Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.

- 4 Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych, Dz.U. 2004 nr 92 poz. 881.
- 5 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 grudnia 2012 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu, Dz.U. 2012 poz. 1468.
- 6 Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych, Dz.U. 1985 Nr 14 poz. 60.
- 7 PN-EN 1993-1-1: Eurokod 3: *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.*
- 8 PN-EN 12811-1: *Tymczasowe konstrukcje stosowane na placu budowy – Część 1: rusztowania, Warunki wykonania i ogólne zasady projektowania.*
- 9 Błazik-Borowa E., Gontarz J. *Wpływ imperfekcji na pracę statyczno-wytrzymałościową typowego rusztowania.* Budownictwo i Architektura 13(2) (2014) 325-332.
- 10 Robak A. *Analiza nośności stalowych pomostów rusztowań.* Budownictwo i Architektura 13(2) (2014) 357-365.

The legal and technical possibilities of using of scaffoldings as the ramp for disabled persons

Ewa Błazik-Borowa, Michał Pieńko, Aleksander Robak

*Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology,
e-mail: e.blazik@pollub.pl, m.pienko@pollub.pl, a.robak@pollub.pl*

Abstract: The paper is devoted to the problems of legal and technical making the ramp for disabled persons with scaffolds. Scaffolding system components allow you to assemble a structure that serve as the ramp and fulfil the requirements of technical conditions. From a legal point the most important is the fact that the ramp construction needs a building application. In this regard, the greatest problems is obtaining the rights to use the property for construction purposes. A big challenge is to also perform stress analysis, taking into account of dynamic impacts caused by the movement of the trolley. In this regard, the paper presents a numerical model of the ramp, static analysis, modal analysis and results of prediction of a disabled person ride on the trolley. The results of computer calculations have shown that the construction of the ramp requires the exact numerical analysis. Therefore, the best option would be in order to scaffolding companies will prepare relevant technical documentation of products which are ramps for the disabled.

Keywords: the ramp for disabled persons, legal aspects, scaffolding, computer prediction.

Wydruk 3D jako narzędzie do planowania zabiegów ortopedycznych

Małgorzata Cykowska-Błasiak¹, Paweł Ozga²

¹ Katedra Technologii Laserowych, Automatykacji i Organizacji Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, e-mail: malgorzata.cykowska@pwr.wroc.pl

² Wydział Architektury Wnętrz oraz Dział Obsługi Informatycznej Akademii Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie, e-mail: pozga@asp.krakow.pl

Streszczenie: Celem przeglądu literatury jest wyznaczenie zakresu zastosowań wydruków 3D uzyskiwanych w technologii druku przyrostowego CJP oraz 3DP w obrębie nauk przyrodniczych, ze szczególnym naciskiem na wykorzystanie ich do planowania zabiegów ortopedycznych o wysokim stopniu komplikacji. Badania nad stosowaną metodą będą związane w ścisłej korelacji z aspektem finansowym. Badacze przyjmują za aksjomat fakt, iż głównym nabywcą będzie jednostka poddana leczeniu (pacjent), odbiorcą natomiast podmiot lub osoba udzielająca jej pomocy (lekarz).

Przy wykorzystaniu dostępnych otwarto-źródłowych rozwiązań programowych oraz odpowiedniej metodzie obróbki wyników badań CT, bazującej na algorytmie filtrów dla plików RAW, udało się uzyskać pierwsze relatywnie satysfakcjonujące efekty. Pozwalają one na prawie całkowite wykluczenie ludzkiej pracy z jednego z najtrudniejszych i najbardziej czasochłonnych procesów. Koszt całkowity (brutto) komercyjnego wydruku 3D, z uwzględnieniem wszystkich procesów produkcyjnych oraz poprodukcyjnych, jest średnio do 50% niższy od stawek komercyjnych dla modelu (*os coxae*) miednicy wraz z „*os femoris*” kością udową nieprzekraczającą długości 20 cm. Jest to efekt „względnie pozytywny”.

Mimo niewątpliwego sukcesu w zakresie kosztów druku 3D, będzie się dążyć do zmniejszenia kosztu wydruku o kolejne 30% (liczone od kwoty bazowej) poprzez wprowadzanie maszynowej obróbki oraz automatyzacji zadań oraz stosowanie innych metod druku. Zastosowanie wydruków 3D przy szeroko pojętym planowaniu zabiegów ortopedycznych, pozwala na znaczące zmniejszenie użycia instrumentarium oraz czasu zabiegu, w odniesieniu do przeprowadzonych podobnych działań, nieuwzględniających w swoim zakresie wydruku 3D.

Słowa kluczowe: technologie przyrostowe, druk 3D, implant, planowanie operacji, technologia addytywna.

1. Wprowadzenie

Początek druku 3D (produkcja pierwszej nie prototypowej maszyny) datuje się na rok 1983. Wynalazcą jest Charles Hull, który opatentował stereolitografię – technologię charakteryzującą się utwardzaniem nakładanych na siebie kolejno warstw żywicy przy wykorzystaniu światła ultrafioletowego. Według Windera [20] obecne zastosowanie drukowania trójwymiarowego nie ogranicza się tylko do stosowania metody stereolitograficznej i jest coraz bardziej powszechne. Począwszy od wykonywania prototypów części urządzeń, po części wykorzystywane w użyciu codziennym, zabawki, gadżety, itp. Ponadto technologie przyrostowe, które wykorzystują druk 3D są coraz popularniej wykorzystywane w chirurgii, przy wytwarzaniu implantów i protez [10].

Drukowanie przyrostowe polega na nakładaniu warstwy materiału o odpowiedniej grubości na platformie procesowej [20]. Warstwa odpowiada przekrojowi budowanego modelu. Następnie na wybudowanej warstwie nakładana jest kolejna i następna. Zatem model jest wytwarzany warstwa po warstwie, aż do wybudowania całego obiektu [9, 13]. Grubość warstw, z których jest budowany obiekt, wpływa na jego dokładność w odwzorowywaniu modelu, który został zaprojektowany w programie komputerowym typu CAD (Computer Aid Design) [19].

Chcąc wydrukować obiekt 3D można skorzystać z szerokiej gamy materiałów, które umożliwią wytworzenie skomplikowanego modelu zaprojektowanego w programie komputerowym. Do materiałów tych należą plastik, ceramika oraz metale. Pula dostępnych materiałów cały czas ulega zwiększeniu. W zależności od zastosowania wydrukowanego obiektu wykorzystuje się inny materiał. Plastik jak i ceramikę można wykorzystać do wybudowania prototypu implantu lub modelu kości w celu pokazania lekarzowi np. zwyrodnienia stawu, albo rozległego ubytku kostnego [10]. Z proszku metalu możliwe jest wytwarzanie gotowych implantów lub protez, które po niewielkiej obróbce mechanicznej, mogą być umieszczone w organizmie człowieka. Zakres zastosowania technologii przyrostowych jest nie tyle zależny od dostępnych materiałów, ale od wymagań, potrzeb oraz umiejętności jej wykorzystania przez środowisko medyczne.

Druki trójwymiarowe kości, albo części anatomicznych człowieka, są możliwe dzięki danym pozyskanym w wyniku tomografii komputerowej (CT – Computer Tomography) lub rezonansu elektromagnetycznego (MRI – Magnetic Resonance Imaging) [3]. Na podstawie zdjęć wykonanych podczas badań CT lub MRI, uzyskuje się model 3D organizmu pacjenta [4, 16]. Każdą kość lub organ można zapisać w odpowiednim formacie pliku i następnie przesłać do drukarki i wydrukować [3].

Wydruki kości są wykonywane w celu pokazania szczegółów, których nawet najlepszym specjalistom trudno jest zauważyć na zdjęciach rentgenowskich [9, 15, 18]. W ten sposób lekarze mogą lepiej przygotować się i zaplanować operacje z uwzględnieniem wszystkich szczegółów [1, 14]. Skracany jest czas operacji pacjenta, stosowanych instrumentów, jak i ryzyko przeprowadzanego zabiegu, gdyż lekarz zaznajamia się z ubytkiem, dysplazją lub innymi dysfunkcjami mechanicznymi kośćca przed zabiegiem. Jednocześnie zmniejszane jest ryzyko powikłań pooperacyjnych, gdyż na wydruku widoczne są nawet odłamki kości, które przemieściły się w inne miejsce.

W przypadku wystąpienia ubytku w kości podlegającej rekonstrukcji, możliwe jest zaprojektowanie indywidualnego implantu, dokładnie dopasowanego do pacjenta [13, 16]. Jest to możliwe zarówno z wykorzystaniem techniki komputerowej (CAD), w której zostanie zaprojektowany implant, jak również na podstawie już wydrukowanej kości odzwierciedlającej ubytek [10]. Przyspiesza się w ten sposób zabiegi operacyjne oraz zmniejsza się ich koszty.

Technologie przyrostowe mogą być wykorzystywane również przy rekonstrukcji oraz wydruku kości odwzorowujących anatomię pacjenta. Wykorzystane mogą być w przypadku, gdy jest potrzeba usunięcia zwyrodnień dysplastycznych, przeszczepu czaszki, rekonstrukcji twarzoczaszki itp.

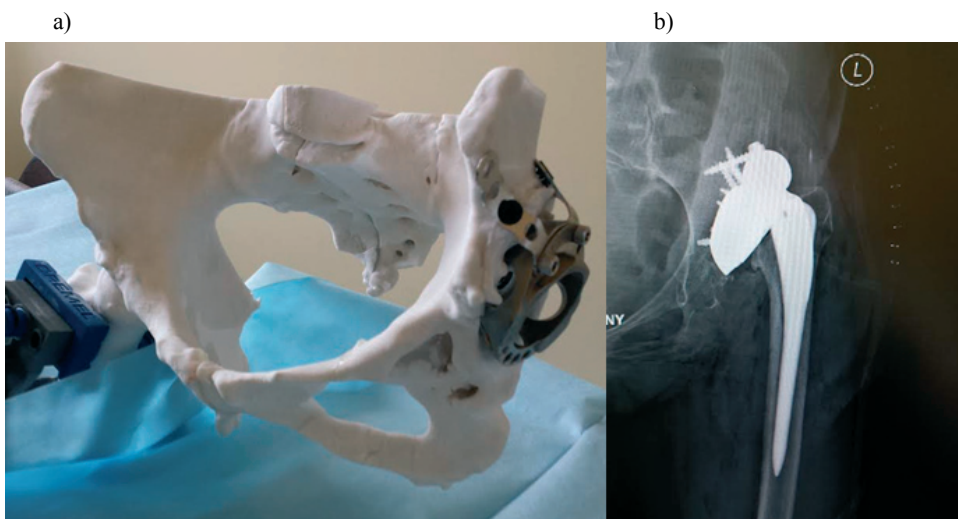
Celem artykułu jest przedstawienie wykorzystania druku 3D w technologii przyrostowej 3DP (proszkowej), na potrzeby planowania (symulacji) zabiegów ortopedycznych przed przystąpieniem do operacji. W artykule przedstawione zostaną zalety technologii addytywnych w medycynie oraz dostępności produktów wykonanych z użyciem tych technologii. Zostały przedstawione szacunkowe koszty wydruków wraz z uwzględnieniem oprogramowania koniecznego do obróbki modeli. Zaproponowano również rozwiązania, które pomogą obniżyć koszty wytwarzania modeli, aby były bardziej dostępne dla odbiorców końcowych (pacjentów, lekarzy).

2. Wykorzystanie druku 3D w medycynie

Obecnie wykorzystanie druków trójwymiarowych do celów medycznych jest niemożliwe z powodu zbyt wysokich kosztów wytwarzania modeli oraz materiału stosowanego do tego typu technologii [7]. Inną przyczyną jest brak potrzeby lub obawy wykorzystywania technologii przyrostowej przez lekarzy. Jednak lekarze, którzy mogli zapoznać się z tą technologią, potwierdzają zgodnie, iż mogą one wpłynąć na precyzyjny przebieg operacji [6, 13]. Możliwe jest dokładne zaplanowanie przebiegu operacji na podstawie wydrukowanego modelu pacjenta za pomocą zwykłych narzędzi chirurgicznych [11, 14]. W sposób samodzielny możliwe jest dobranie przez chirurga najlepszej dla pacjenta techniki operacji [13]. Zatem operacje mogą być przez lekarzy symulowane na modelach w sposób realistyczny (rys. 1).

Środowiska lekarskie w Polsce nie są winne temu, że nie są wykorzystywane technologie przyrostowe w planowaniu operacji lub w implantologii. Związane jest to z ciągłym rozwojem tej gałęzi technologii oraz poszerzającymi się jej zastosowaniami. Przyczyny nie wykorzystywania w medycynie na szerszą skalę można przedstawić za pomocą czynników zewnętrznych, jak i wewnętrznych, które wpływają negatywnie na wdrożenie druku 3D do planowania operacji:

- brak wiedzy lekarzy z zakresu wydruków trójwymiarowych oraz zastosowań ich w medycynie (implantologii, protetyce),
- brak szkoleń, portali i wsparcia warsztatowo-informacyjnego dla lekarzy,
- przerost czynności biurokratycznych oraz prawnych,
- promowanie zakresu druku 3D na potrzeby medycznych rozwiązań o szerokim zastosowaniu, wysokich kosztach i wysokiej ostatecznej cenie,
- brak środków finansowych.

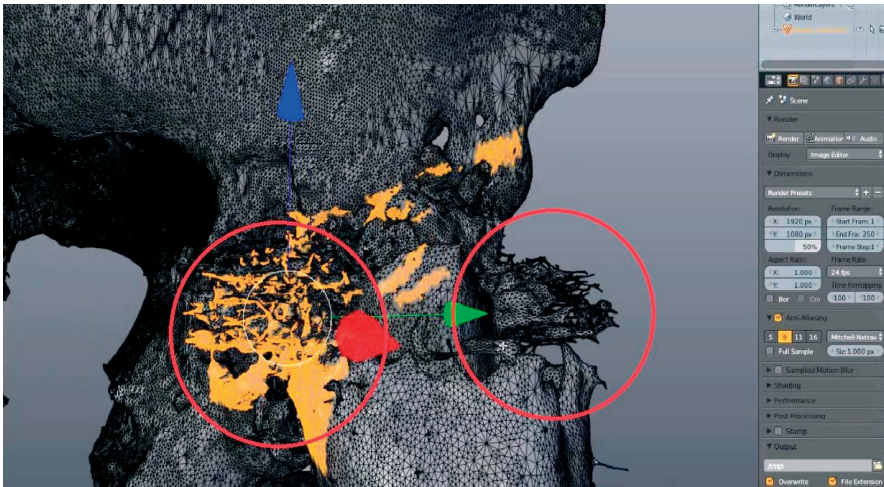


Rys. 1. Zaplanowanie przebiegu operacji oraz dopasowanie implantu do wytworzonej miednicy wykonanej za pomocą technologii przyrostowej (a) i rezultat wszczęcia implantu endoprotezy stawu biodrowego (b)

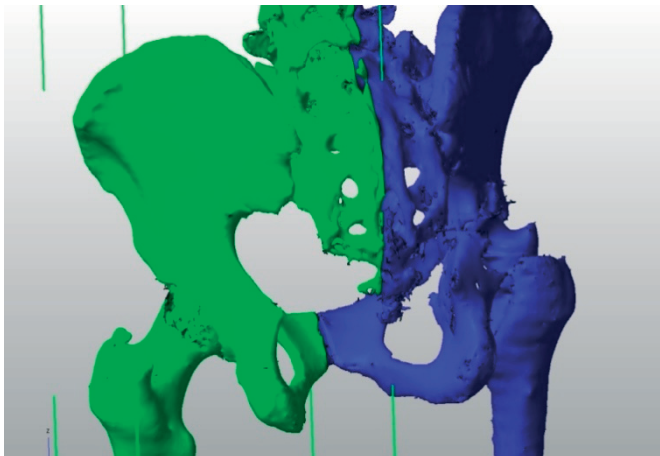
Obecnie dostępne informacje o zastosowaniu technologii przyrostowych do celów chirurgicznych są coraz powszechniejsze, przez co środowisko lekarzy jest coraz bardziej świadome postępu w planowaniu operacji i projektowaniu implantów na miarę [13, 14, 17].

Nadal głównym brakiem wykorzystania technologii addytywnych jest zbyt wysoka cena wykonania obiektu 3D. Wynika to z kosztu wykorzystania maszyny, materiału oraz obróbienia zdjęć pozyskanych z CT lub MRI, za pomocą programów komputerowych [7]. Obróbka ta polega na usunięciu artefaktów [20] oraz wygładzeniu szumów, które powstały w wyniku wykonywania badań na tomografie komputerowym lub rezonansie magnetycznym [7, 8].

W artykule zostaną uwzględnione czynniki produkcyjno-materiałowe, mające rzeczywisty wpływ na kształtowanie się ceny produktu dla odbiorcy finalnego. Proces ten został podzielony na bloki. Każdy z bloków jest to proces produkcyjny, na wejściu posiadający wymogi, a na wyjściu efekty. Na ich podstawie opracowywany jest kolejny etap. Jeżeli ma zostać wykonany wydruk 3D, przeprowadzone jest obrazowanie interesującej tkanki w jasno określonych standardach. Dzięki temu, wykonanie modelu 3D na podstawie obrazowania, powstaje w krótkim czasie i z niewielkimi odchyleniami od rzeczywistej tkanki (rys. 2 i 3). Taka sama zasada dotyczy dalszych kroków w procesie produkcji.



Rys. 2. Przykład źle wykonanego obrazowania miednicy wraz z widocznymi artefaktami w modelu 3D (czerwone okręgi)



Rys. 3. Poprawiony model miednicy, oczyszczony z artefaktów

3. Problemy artefaktów wynikających z obrazowania medycznego

Obrazowanie medyczne pacjentów jest wykonywane przy użyciu tomografii komputerowej oraz rezonansu magnetycznego. Przed zapisaniem wyniku obrazowania do formatu DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) zostaje ono poddane obróbce przez radiologa. Surowy obraz (RAW) poddawany jest odpowiednim filtrom komputerowym dostępnym bezpośrednio w oprogramowaniu do obsługi tomografu. Ma to na celu zniwelowanie szumów występujących w obrazowaniu, poprzez ich rozmazanie oraz wyostrenie krawędzi badanej struktury kostnej. Następnie zostaje wykonywane progowanie obrazu (thresholding) w celu usunięcia artefaktów na modelu medycznym wykonanym z obrazów CT lub MRI [20]. Artefakty te mają kilka przyczyn powstawiania. Mogą być: zakłóceniami powstałymi w wyniku importu danych z urządzenia medycznego do komputera, podczas pobierania danych przez CT lub MRI, błędami wykonanymi przez urządzenie w skutek poruszenia się detektorów lub badanego pacjenta. Artefakty mogą również powstać pod wpływem zakłóceń z innych urządzeń znajdujących się w szpitalu [20]. Kolejnym krokiem działania jest usuwanie owych artefaktów i wszystkich innych elementów, które nie są przewidziane do druku - służy temu thresholding. Ponadto można również edytować obraz poprzez usuwanie luznych struktur, niezwiązanych z modelem lub wygładzać powierzchnię modelu [8].

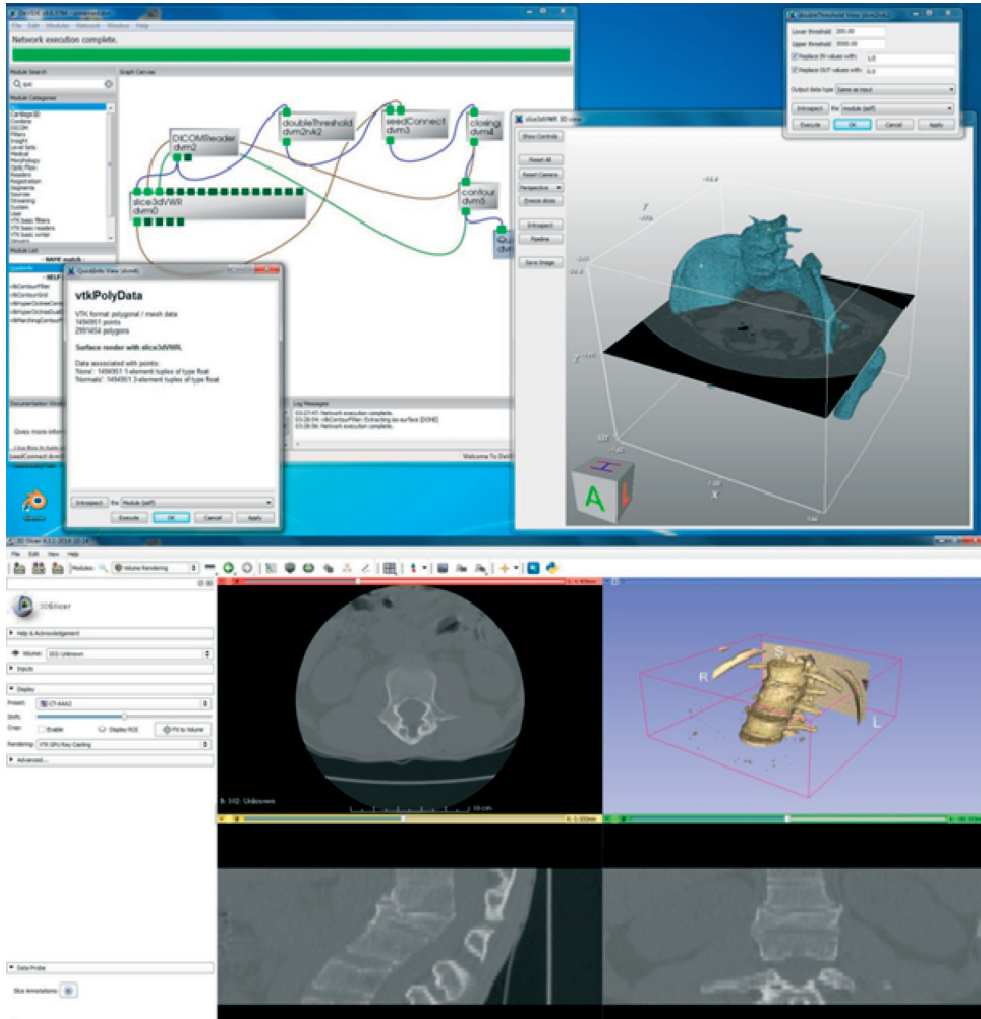
Dzięki ciągłej współpracy z Katedrą Radiologii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, zespół pod opieką prof. A. Urbanika przeprowadza „wstępną” filtrację obrazu jeszcze przed konwersją z pliku RAW (z ang. „surowy”, czyli niepoddany żadnej obróbce) do DICOM [5]. W zależności od badanej przestrzeni obraz podlega filtracji już na tym etapie pracy dzięki stosowaniu różnych algorytmów. Uzyskany w ten sposób obraz jest optymalny pod względem rozmycia szumów, jak i ostrości krawędzi. Gęstość przekroju to 1 mm. Tak przygotowane obrazowanie zostaje zapisane do formatu DICOM, a następnie przy pomocy odpowiedniego oprogramowania, następuje rekonstrukcja interesującej nas tkanki do modelu 3D (inżynierii odwrotna).

4. Używane oprogramowanie

Pozyskanie modelu trójwymiarowego z obrazów CT lub MRI jest możliwe poprzez wykorzystanie komercyjnego oprogramowania. Niestety, często cena takich programów jest bardzo wysoka, przez co nie każdą jednostkę badawczą stać jest na takie oprogramowanie. Ceny specjalistycznych programów często zaczynają się od kilkudziesięciu tysięcy złotych brutto na rok.

Zakładając, że w przyszłości wydruki modeli mają być coraz bardziej powszechniejsze, to należałoby obniżyć koszty ich produkcji oraz wykorzystywanego oprogramowania. Niestety obecnie firmy zajmujące się produkcją oraz sprzedają omawianych wydruków, muszą średnio w ciągu roku sprzedać 200 wydruków i do każdego z nich doliczyć 300 zł brutto, aby koszt oprogramowania uległ amortyzacji. Są to kwoty uniemożliwiające wprowadzenie powszechności wydruków w szpitalach. Cena końcowa produktu jest zbyt wysoka w stosunku do dostępnych środków, przez co należy znaleźć optymalne rozwiązania umożliwiające wprowadzenie wydruków 3D do użytku medycznego.

Obecnie na rynku dostępne są programy open-source, które nie wymagają licencji do uruchomienia programu oraz są darmowe dla wszystkich użytkowników. Wykorzystanie takich programów może pomóc zmniejszyć koszt obrabiania modeli 3D do minimum – nadal istnieją takie same koszty związane z obsługą tego procesu tworzenia modelu 3D, jednak cena samego oprogramowania wynosi 0 zł. Ponadto oprogramowania te mają ogromne możliwości: od tworzenia brył przestrzennych po obrabianie plików DICOM (rys. 4). Niestety często zdarza się, że takie oprogramowania nie cechują się intuicyjnym interfejsem użytkownika.



Rys. 4. Generowanie modeli 3D ze zdjęć wykonanych za pomocą tomografu komputerowego

Generowanie modeli przestrzennych w każdym z programów (komercyjnym lub open-source) opiera się na tej samej zasadzie [4, 15]:

- należy wgrać sekwencję obrazów interesującego nas wycinka pacjenta,
- oznaczyć interesujący fragment, z którego chcemy zrobić model 3D,
- użyć funkcji do konwersji z danych dwuwymiarowych w formie pikseli na trójwymiarowe piksele zwane woksalami [12],
- wykonać konwersję woksali do postaci obiektu typu mesh, składającego się z obiektów zwanych werteksami [2],
- obrobić wygenerowane model i usunąć artefakty,
- zapisać model do postaci edytowalnego modelu 3D w formacie pliku stl, obj, caład (lub innym dowolnym powszechnie stosowanym formacie do przechowywania modeli 3D) [19].

5. Wytworzenie modelu przy wykorzystaniu druku 3D

Druk 3D odbywa się za pomocą technologii przyrostowych na proszkowej drukarce 3D. Technologia ta jest jedną z najtańszych dostępnych na rynku. Opiera się ona na spajaniu kolejnych warstw proszku (pochodnego gipsu) lepiszczem, warstwa po warstwie. Dzięki niskiemu zużyciu materiałów eksploatacyjnych, prądu oraz niewielkiej awaryjności, można ją zaliczyć do jednej z najtańszych, profesjonalnych drukarek. Czas wydruku to około 7 godzin (dla połowy miednicy wraz z kością krzyżową oraz 20 cm odcinkiem kości udowej przedstawionej na rysunku 5). Tak wydrukowany model zostaje poddany oczyszczeniu, utwardzeniu (cyjanoakrylem lub żywicą epoksydową) i oddany zleceniodawcy.



Rys. 5. Wydruk połowy miednicy wraz z kością udową za pomocą drukarki proszkowej

6. Wnioski

W artykule przedstawiono zastosowanie druku trójwymiarowego w medycynie. Zalecany jest wykorzystanie tej technologii do wytworzenia modelu, jak jest widoczne w programie komputerowym. Technologie generatywne są coraz częściej wykorzystywane w medycynie do zaplanowania zabiegów operacyjnych na budowanym modelu odwzorowującym wnętrze pacjenta. W ten sposób można skrócić przebieg operacji, jak również dopasować odpowiednią technikę operacyjną.

Niestety koszt technologii, wykorzystywanych materiałów, jak i stosowanego oprogramowania jest wciąż zbyt duży do rozpowszechniania takiej metodologii badawczej na szerszą skalę. Generuje to potrzebę opracowania tańszej, ekwiwalentnej metodologii. Dlatego można zacząć wykorzystywać darmowe oprogramowanie (open-source), które spowoduje zmniejszenie kosztu wytworzenia obiektu za pomocą technologii przyrostowej. Jak udowodniliśmy, oprogramowanie to, znajduje zastosowanie do celów medycznych, zapewniając, że wykonanie modeli o bardzo wysokim stopniu odzwierciedlenia rzeczywistego stanu kośćca pacjenta, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów oprogramowania dozwolona.

Literatura

- 1 Bagaria V., Deshpandeb S., Rasalkar D.D., Kuthe A., Paunipagar B.K. *Use of rapid prototyping and three-dimensional reconstruction modeling in the management of complex fractures*. European Journal of Radiology 80 (2011) 814–820.
- 2 Botsch M., Pauly M., Kobbelt L., Alliez P., Levy B., Bischoff S., Rossli C. *Geometric modeling based on polygonal meshes*. ACM SIGGRAPH '06, New York, NY, USA 2006.
- 3 Brennan J. *Production of anatomical models from CT scan data*. Dublin Institute of Technology 2010.
- 4 Choi J.Y., Choi J.H., Kim N.K., Kim Y., Lee J.K., Kim M.K., Lee J.H., Kim M.J. *Analysis of errors in medical rapid prototyping models*. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 31 (2002) 23–32.
- 5 Chrzan R., Urbanik A., Karbowski K., Moskała M., Polak J., Pyrich M. *Cranioplasty prosthesis manufacturing based on reverse engineering technology*. Med SciMonit, 2012; 18(1): MT1-6; PMID: 22207125.
- 6 Esses S.J., Berman P., Bloom A.I., Sosna J. *Clinical applications of physical 3D models derived from MDCT data and created by rapid prototyping*. AJR. 2011; 196: W683–W688.
- 7 Frame M., Huntley J.S. *Rapid prototyping in orthopaedic surgery: A Users Guide*. Orthopaedic Department, Royal Hospital for Sick Children, Glasgow UK 2012.
- 8 Hetroy F., Rey S., Andujar C., Brunet P., Vinacua A. *Mesh repair with user-friendly topology control*. Computer-Aided Design 43(1) (2011) 101–113.
- 9 Hurson C., Tansey A., O'Donnchadha B., Nicholson P., Rice J., McElwain J. *Rapid prototyping in the assessment, classification and preoperative planning of acetabular fractures*. Injury, Int. J. Care Injured 38 (2007) 1158–1162.
- 10 Markowska O., Budzik G. *Innovative methods of manufacturing bone implants using the reverse engineering (RE) and the rapid prototyping (RP) techniques*. Artykuł Autor ski z X Forum Inżynierskiego ProCAX, Sosnowiec/Siewierz 6–9 X 2011r.
- 11 Mashiko T., Otani K., Kawano R., Konno T., Kaneko N., Ito Y., Watanabe E. *Development of three-dimensional hollow elastic model for cerebral aneurysm clipping simulation enabling rapid and low cost prototyping*. WORLD NEUROSURGERY, October 2014.
- 12 MCT, *An introduction to MICRO CT SCAN okt.*, 2008.
- 13 Petzold R., Zeilhofer H.F., Kalender W.A. *Rapid prototyping technology in medicine – basics and applications*. Computerized Medical Imaging and Graphics 23 page: 277–284, Munich, Germany, Received 23 February 1999.
- 14 Potamianos P., Amis A.A., Forester A.J., McGurk M., Bircher M. *Rapid prototyping for orthopaedic surgery*. Rapid Prototyping For Orthopaedic Surgery, Vol 2012 Part H, 1998.
- 15 Rengier F., Tengg-Kobligk H., Zechmann C., Kauczor H.U., Giesel F.L. *Beyond the eye – medical applications of 3D rapid prototyping objects*. Eur.Med.Imag.Rev. 1 (2009) 76–80.
- 16 Sailer H.F., Haers P.E., Zoilikofer C.P.E., Warnke T., Cads F.R., Stucki P. *The value of stereolithographic models for preoperative diagnosis of craniofacial deformities and planning of surgical corrections*. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 27 (1998) 327–333.
- 17 Seitz H., Tille C., Irsen S., Bermes G., Sader R., Zeilhofer H.F. *Rapid prototyping models for surgical planning with hard and soft tissue representation*. International Congress Series 1268 (2004) 567–572.
- 18 Wang C.S., Wang W.H.A., Lin M.C. *STL rapid prototyping bio-CAD model for CT medical image segmentation*. Computers in Industry 61 (2010) 187–197.
- 19 Webb P.A. *A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector*. Journal of Medical Engineering & Technology 24(4) (2000) 149–153.
- 20 Winder J., Bibb R. *Medical rapid prototyping technologies: State of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery*. American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons 63 (2005) 1006–1015.

3D printing, as a tool for planning orthopedic surgery

Małgorzata Cykowska-Blasiak¹, Paweł Ozga²

¹ *The Department of Laser Technology, Automation and Production Organisation, Mechanical Department, Wrocław University of Technology, e-mail: malgorzata.cykowska@pwr.wroc.pl*

² *Faculty of Interior Design and Service Department of Informatics Academy of Fine Arts in Kraków, e-mail: pozga@asp.krakow.pl*

Abstract: The purpose of the literature review is to determine the scope of 3D printing, also known as RP (Rapid Prototyping) applications in manufacturing medical model based on CJP (Collor Jet Printing) technology, with emphasis on the use in orthopedic surgery planning. The research of the presented method will be focused on the financial aspect. Researchers accept as axiomatic fact that the main buyer of the MRP (Medical Rapid Prototyping) structure will be the patient while the recipient will be the doctor or surgeon that provides the operation.

Using available open-source software solutions and suitable method for the treatment of CT (Computed Tomography) scans based on filtering RAW files managed we to get the best or relatively good results allowing to exclude a human work from one of the most difficult and time-consuming processes. Total cost of 3D printings including all production processes and post-productions are about 50% lower than commercial rates (on free market) for the model of: "oscoxae" including "osfemoris" (femur length not exceeding 20 cm). In our opinion it's "relatively positive" effect.

Despite the success in the field of lowering the cost of 3D prints our work is still focused on reducing it (at least up to another 30%) by using automated-machine processing and tasks automation, as well as using another printing methods. Using 3D printings as a tools to help plan complex orthopedic surgeries make possible to extremely reduce the time of using instrumentation and the treatment time (comparing to similar surgeries carried out without using 3D printings).

Keywords: Rapid Prototyping, 3D Printing, implants, surgery planning, additive manufacturing.

Ocena preferencji decyden- ta przy wyborze środków transportowych

Artur Duchaczek

Katedra Inżynierii Systemów, Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu, e-mail: a.duchaczek@wso.wroc.pl

Streszczenie: W procesie optymalizacji współczynniki ważności (tzw. wagi) poszczególnych kryteriów umożliwiają uwzględnienie indywidualnych preferencji decyden-
ta. Są zatem jednym z niewąlgicznych elementów tego procesu. Na polskim rynku funkcyj-
nie bardzo zróżnicowana gama pojazdów ciężarowych. Do obliczania współczynników waż-
ności w przypadku optymalizacji decyzji dotyczącej zakupu nowych środków transport-
owych wykorzystano metodę DEMATEL. Zastosowanie przedstawionej metody spowod-
owało ilościowe uwzględnienie rzeczywistych preferencji decyden-
ta w oparciu o dość prostą metodę naukową, a nie tylko samą intuicję decyden-
ta.

Słowa kluczowe: metoda DEMATEL, optymalizacja, logistyka, środki transportowe.

1. Wstęp

Wiele metod z obszaru optymalizacji wielokryterialnej w swoich algorytmach korzy-
sta ze współczynników określających ważność danych kryteriów (tzw. wag). Współczynni-
ki te umożliwiają uwzględnienie indywidualnych preferencji decyden-
ta w procesie optyma-
lizacji. Niektóre metody jak np. Analytical Hierarchy Process (AHP) już w swoim algoryt-
mie obliczeniowym uwzględnia sposób określania tego parametru. Są jednak metody jak
np. metoda Bellingera czy metoda Electre, w których przyjęcie wartości współczynników
ważności (wag) odbywa się w sposób bezpośredni, poprzez podanie przez decyden-
ta ich wartości liczbowych. Poszczególne kryteria uwzględniane w procesie optymalizacji nie
muszą być równorzędne (równoważne). Ich ranking nie może być również z góry ustalony
w danym algorytmie, ponieważ uwzględnia indywidualne oczekiwania (preferencje) dane-
go decyden-
ta. Zatem wartości współczynników ważności (wag) poszczególnych kryteriów
stanowią kluczowy element procesu optymalizacji. Z tego względu sposób ich określenia
powinien być w sposób przejrzysty określony i uwzględniony w procedurze optymalizacyj-
nej. Uwzględniając niniejszy fakt autor pracy zaprezentował możliwość wykorzystania do
tego celu znanej metody optymalizacyjnej DEMATEL. Sposób obliczania współczynników
ważności (wag) poszczególnych kryteriów przedstawiono w odniesieniu do procesu opty-
malizacji decyzji dotyczącej zakupu środków transportowych wykorzystywanych podczas
realizacji przedsięwzięć budowlanych.

2. Podstawowe założenia metody DEMATEL wykorzystane do ustalania współczynników ważności poszczególnych kryteriów

Metoda DEMATEL jest metodą wspomaganie decyzji, która niestety nie jest najbar-
dziej rozpowszechniona w środowisku inżynierów w codziennej praktyce zawodowej, choć
aktualnie coraz częściej sięgają po nią naukowcy na całym świecie [1,2,3,4,5]. Spośród
polskich uczonych szczególnie znaczenie w jej rozpowszechnianiu ma M. Dytczak, który

zaprezentował wiele możliwości zastosowania metod optymalizacyjnych w szeroko rozumianym obszarze budownictwa [6,7,8,9,10].

Clou metody DEMATEL stanowi teoria grafów, a w szczególności grafy o ukierunkowanej postaci umożliwiające określenie wzajemnych zależności między porównywanymi obiektami. Algorytm obliczeń w metodzie DEMATEL można podzielić na cztery etapy [7,8].

W pierwszym etapie zostaje utworzona macierz kwadratowa $n \times n$ zwana macierzą bezpośredniego wpływu obiektów (*macierz A*) [7]:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Poszczególne wiersze tej macierzy są dedykowane obiektom (kryteriom lub wariantom) występującym w porównaniach jako pierwsze, natomiast kolumny dedykowane są obiektom występującym w porównaniach jako drugie [8]. I tak na przykład wyraz macierzy a_{21} oznacza porównanie obiektu drugiego z obiektem pierwszym, zaś wyraz a_{13} oznacza wynik porównania obiektu pierwszego z obiektem trzecim. Przy czym macierz bezpośredniego wpływu obiektów A nie jest macierzą „symetryczną” tak jak macierz porównań w metodzie AHP [11].

Wpływ poszczególnych obiektów na sąsiednie obiekty realizowany jest poprzez oceny w skali od 0 do 3, przy czym 0 to brak wpływu pierwszego obiektu na drugi, 1 to niewielki, 2 to znaczny, a 3 to bardzo duży wpływ pierwszego z porównywanych obiektu na drugi [7]. Dla tożsamyh relacji wpływu obiektów dany wyraz macierzy A przyjmuje wartość zero ($a_{ii}=0$) [7], zatem na głównej przekątnej macierzy A znajdują się same zera (dla porównania w metodzie AHP zaś same jedynki).

W etapie drugim następuje normalizacja macierzy A według zależności (2), w wyniku której powstaje macierz znormalizowana B [7], [8]:

$$B = \frac{A}{\max_i \sum_{j=1}^n a_{ij}}, \quad (2)$$

gdzie i to numer wiersza, j numer kolumny.

Następnie (etap III) zostaje utworzona macierz całkowitego wpływu obiektów (macierz C) poprzez zsumowanie kolejnych potęg macierzy znormalizowanej B [7]:

$$C = B + B^2 + B^3 + \dots = B(I - B)^{-1}, \quad (3)$$

gdzie I oznacza macierz jednostkową $n \times n$.

Macierz ta umożliwia określenie relacji między analizowanymi obiektami zarówno w kontekście czynników bezpośrednich, jak i pośrednich wynikających z ich niejawnych powiązań. Jak podano w pracy [7] siłę tych niejawnych powiązań obrazuje macierz D , określana zależnością (4):

$$D = C - B = B^2(I - B)^{-1}. \quad (4)$$

W ostatnim czwartym etapie określamy wartości wskaźników pozycji p_i i relacji r_i według zależności [8]:

$$p_i = x_i + y_i, \quad (5)$$

$$r_i = x_i - y_i, \quad (6)$$

gdzie x_i i y_i oznaczają odpowiednio wartości sumy elementów wiersza i kolumny dedykowanej i -temu obiektowi obliczane z zależności [7]:

$$x_i = \sum_{j=1}^n c_{ij}, \quad (7)$$

$$y_i = \sum_{j=1}^n c_{ji}. \quad (8)$$

Wartość wskaźnika pozycji p_i wyraża tzw. aktywność danego obiektu w trakcie procesu porównania parami. Im większa jego wartość tym wyższy stopień znaczenia danego obiektu.

Przyjmuje się, że wartość wskaźnika relacji r_i określa natomiast ogólny charakter obiektu. Jeżeli jego wartość jest większa od zera wówczas dominuje on nad pozostałymi obiektami, jeżeli jest ujemna wówczas został on zdominowany przez te obiekty [8].

Niestety w takiej postaci wartości wskaźnika relacji r_i nie mogą być bezpośrednio wykorzystane jako współczynniki ważności (tzw. wagi) poszczególnych kryteriów w_i . Aby wartości te mogły być wykorzystane bezpośrednio do większości metod optymalizacyjnych powinny one być liczbami w przedziale od 0 do 1, i jednocześnie ich suma powinna być równa jedności. Z tego względu autor zaproponował sposób przeliczenia tych wielkości według zależności:

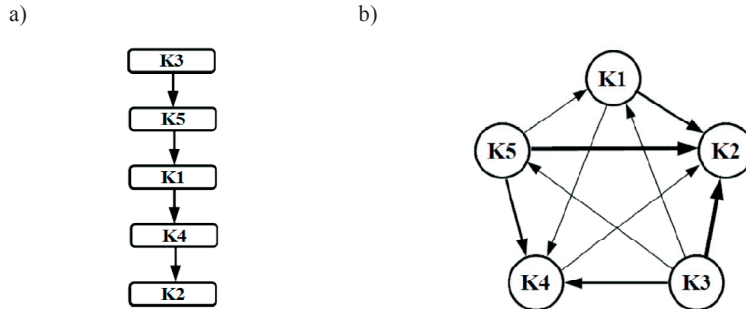
$$w_i = \frac{r_i - 2r_{\min}}{\sum_{i=1}^n (r_i - 2r_{\min})}, \quad (9)$$

gdzie r_{\min} jest najmniejszą wartością wszystkich wyliczonych współczynników relacji r_i . Zastosowany mnożnik 2 we wzorze 9 powoduje, że uzyskane wartości współczynników ważności w_i są liczbami z przedziału od 0 do 1, a ich suma jest równa jedności.

3. Przykład zastosowania metody DEMATEL

Na polskim rynku funkcjonuje zróżnicowana gama pojazdów ciężarowych, wśród nich są między innymi pojazdy firmy Star, Iveco, Jelcz, Kamaz, Mann, Volvo, Mercedes i Scania. W pracy [12] poświęconej optymalizacji wyboru pojazdów ciężarowych wykorzystywanych podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych autor swoją uwagę poświęcił pojazdom jednej z tych firm. W analizach tych [12] uwzględniono sześć dwuosiowych pojazdów charakteryzujących się dopuszczalną masą całkowitą podwozia 18000-19500 kg, rozstawem osi 3400-3700 mm, szerokością pojazdu 2400-2500 mm oraz jego wysokością 2800-3200 mm, przyjmując jednocześnie pięć kryteriów oceny przedmiotowych pojazdów, takich jak kąt najazdu (K1), rozstaw osi (K2), ładowność pojazdu (K3), minimalna średnica zawracania (K4) i moc silnika (K5). W pracy [12] nie uwzględniono jednak wpływu współczynników ważności (tzw. wag) poszczególnych kryteriów oceny na wyniki prowadzonych obliczeń optymalizacyjnych, przyjmując wartości tych współczynników równe dla wszystkich kryteriów. Z tego też względu w niniejszej pracy autor zaproponował jeden z możliwych sposobów ustalenia rankingu wykorzystywanych kryteriów, wyrażony w sposób ilościowy w oparciu o metodę DEMATEL.

Na rys. 1a zaprezentowano przyjętą hierarchię kryteriów oceny (K1-K5) przedstawiającą preferencje decydenta. Relacjom między poszczególnymi kryteriami zostały przypisane oceny zaprezentowane w macierzy bezpośredniego wpływu A (10) oraz w formie graficznej na rys. 1b. Grubość łuku na rys. 1b oznacza wartość przewyższenia jednego kryterium nad drugim, przy czym im grubszy łuk tym większa wartość tego przewyższenia.



Rys. 1. Graficzne przedstawienie przyjętej hierarchii współczynników ważności (tzw. wag) dla analizowanego przypadku obliczeniowego (a) oraz graficzne przedstawienie relacji między nimi (b).

W przypadku zadania analizowanego w niniejszej pracy ocena znaczenia (ważności) danych kryteriów oceny wariantów decyzyjnych będzie równa 0 dla porównania tożsamyh kryteriów (a_{ii}), 1 dla niewielkiego, 2 dla znacznego, a 3 dla bardzo dużego przewyższenia jednego kryterium nad drugim. Przewyższenie w tym przypadku oznacza subiektywnie większe znaczenie (ważność) danego kryterium nad sąsiednim.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Wiersz trzeci macierzy A charakteryzuje się największą, a wiersz drugi najmniejszą wartością sumy elementów. Wynika to bezpośrednio z przyjętego rankingu kryteriów zaprezentowanego na rys. 1a. Uwzględniając wartość sumy elementów trzeciego wiersza macierzy A znormalizowano ją, tworząc macierz bezpośredniego wpływu B , która przyjęła postać:

$$B = \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,2857 & 0,0000 & 0,1429 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,1429 & 0,4286 & 0,0000 & 0,2857 & 0,1429 \\ 0,0000 & 0,1429 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,1429 & 0,4286 & 0,0000 & 0,2857 & 0,0000 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

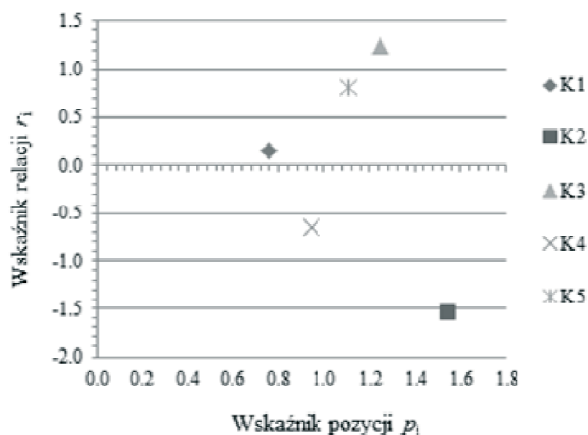
Następnie korzystając z wyrażenia (3) utworzono macierz całkowitego wpływu obiektów C (12). Macierzy tej odpowiadają określone wartości sum wierszowych x_i i kolumnowych y_i oraz wskaźniki pozycji p_i i relacji r_i przedstawione w tabeli 1. Na rys. 2 zaprezentowano również w formie graficznej wyniki niniejszych obliczeń [8].

$$C = \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,3061 & 0,0000 & 0,1429 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,1633 & 0,5864 & 0,0000 & 0,3499 & 0,1429 \\ 0,0000 & 0,1429 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,1429 & 0,5131 & 0,0000 & 0,3061 & 0,0000 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Tabela 1. Wartości sum wierszowych x_i i kolumnowych y_i oraz wskaźniki pozycji p_i i relacji r_i a także wartości współczynników ważności (wagi) w_i

Kryterium	Sumy		Wskaźniki		Współczynnik ważności w_i
	wierszowe x_i	kolumnowe y_i	pozycji p_i	relacji r_i	
K1	0,4490	0,3061	0,75510	0,14286	0,2092
K2	0,0000	1,5485	1,54852	-1,54852	0,1000
K3	1,2424	0,0000	1,24240	1,24240	0,2802
K4	0,1429	0,7988	0,94169	-0,65598	0,1576
K5	0,9621	0,1429	1,10496	0,81924	0,2529

W przypadku analizowanym w niniejszej pracy wartość wskaźnika pozycji p_i określa jedynie rolę poszczególnych kryteriów optymalizacyjnych w ustalaniu relacji (rankingu) między nimi. Wysoka wartość wskaźnika relacji r_i świadczy natomiast o wysokiej pozycji kryterium i -tego w rankingu ważności analizowanych kryteriów decyzyjnych. Wartość tego wskaźnika ustala zatem hierarchię ważności poszczególnych kryteriów. Analiza danych z tabeli 1 potwierdza przyjęty na rys. 1a ranking kryteriów oceny (K1-K5).



Rys. 2. Zależność wskaźników pozycji p_i i relacji r_i dla analizowanych kryteriów

W tabeli 1 przedstawiono wyniki przeprowadzonych obliczeń wartości współczynników ważności w_i . Również w tym przypadku analiza danych z tablicy 1 potwierdza przyjęty na rys. 1a ranking kryteriów oceny (K1-K5).

W tabeli 2 zaprezentowano porównanie wybranych różnic między wynikami wskaźników relacji r_i oraz odpowiadających im współczynników ważności w_i . Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że proporcja między wynikami dla wszystkich pięciu wybranych przypadków jest stała i wynosi 15,485. Świadczy to o fakcie, że mimo przeprowadzonych przeliczeń według wzoru (8), relacje między nimi nie uległy zmianie.

Tabela 2. Porównanie różnic między wskaźnikami relacji r_i oraz współczynnikami ważności w_i

Różnica dla kryteriów	Różnice wartości dla	
	wskaźników relacji r_i	współczynników ważności w_i
K3 - K5	0,4232	0,0273
K1 - K4	0,7988	0,0516
K3 - K1	1,0995	0,0710
K5 - K4	1,4752	0,0953
K3 - K2	2,7909	0,1802

4. Podsumowanie

Zastosowanie przedstawionej metody do określenia współczynników ważności w_i poszczególnych kryteriów powoduje, że uwzględnienie rzeczywistych preferencji decydenta odbywa się na podstawie dość prostej metody naukowej, a nie tylko samej intuicji decydenta. Metoda DEMATEL oparta jest na prostym algorytmie obliczeniowym, przez co wydaje się godna polecenia osobom, które potrzebują „przyjaznego” narzędzia wspomagającego proces decyzyjny. Zastosowanie powszechnie stosowanego arkusza kalkulacyjnego MS Excel umożliwia przeprowadzenie obliczeń w kilka minut. Oczywiście dobór wartości wag poszczególnych kryteriów wykorzystywanych w procesie decyzyjnym można zrealizować według innych znanych metod optymalizacyjnych, jak np. metoda AHP. W zaprezentowanym algorytmie metody DEMATEL nie uwzględniono niekonsekwencji eksperta określającego zależności (stopień przewyższenia) między poszczególnymi kryteriami. Wydaje się, że jest to poważnym niedociągnięciem omawianej metody i powinno zostać wyeliminowane poprzez wprowadzenie, na wzór chociażby metody AHP, współczynnika konsekwencji wyrażanych opinii.

Literatura

1. Tamura H., Akazawa K. *Stochastic DEMATEL for structural modelling of a complex problematique for realizing safe, secure and reliable society*. Journal of Telecommunications and Information Technology 4 (2005) 139-146.
2. Chang K.H., Cheng C.H. *Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method*. Journal of Intelligent Manufacturing 22(2) (2011) 113-129.
3. Lin C.L., Tzeng G.H. *A value-created system of science (technology) park by using DEMATEL*. Expert Systems with Applications 36(6) (2009) 9683-9697.
4. Chang B., Chang C.W., Wu C.H. *Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria*. Expert Systems with Applications 38(3) (2011) 1850-1858.
5. Guo W., Deng Q., Pan X.D. *Risk evaluation of highway tunnel construction based on DEMATEL method*. Applied Mechanics and Materials 368 (2013) 1472-1476.
6. Dytczak M. *Wybrane metody rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w budownictwie*. Politechnika Opolska, Opole 2010. ISBN 978-83-60691-94-6.
7. Dytczak M., Borchak-Moczydlowska M. *Ocena czynników kształtujących jakość wód zbiornika zaporowego z wykorzystaniem metody DEMATEL*. Online: 18.07.2014 r., http://ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2009/028_Dytczak_Borchak-Moczydlowska.pdf.
8. Dytczak M., Ginda G., Wojtkiewicz T. *Analiza związków przyczynowo-skutkowych w awarii konstrukcji przy użyciu metody DEMATEL*. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane 2011”, Międzyzdroje 24-27 maja 2011, s. 419-426.
9. Dytczak M., Ginda G., Gotowała B., Szklennik N. *Potencjał aplikacyjny metody DEMATEL i jej rozszerzeń w budownictwie*. Budownictwo i inżynieria środowiska 2 (2011) 235-240.

10. Dytczak M., Przybyło W. *Wielokryterialna ocena systemów transportu Krakowa z użyciem metody DEMATEL*. Budownictwo i inżynieria środowiska 2 (2011) 241-246.
11. Saaty T.L., Vargas L. *Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process*. Boston, Kluwer Academic Publishing, 2001.
12. Duchaczek A. *Optymalizacja wyboru pojazdów ciężarowych wykorzystywanych podczas realizacji przedsięwzięciach budowlanych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria Organizacja i Zarządzanie. Materiał zdany do redakcji czasopisma.

Evaluation of the decision maker's preferences in the selection means of transport

Artur Duchaczek

*Department of System Engineering, Faculty of Management, General Tadeusz Kościuszko
Military Academy of Land Forces in Wrocław, e-mail: a.duchaczek@wso.wroc.pl*

Abstract: In the process of optimizing each criterion validity coefficients allow to take into account individual preferences of the decision maker. They are therefore one of its most important elements of this process. On the Polish market works very diverse range of vehicles. For the calculation of the validity coefficients for the optimization of the choice of means of transport used DEMATEL method. The application presented method resulted in a quantitative consideration of the actual decision-maker preferences based on fairly simple scientific method, and not only the intuition of the decision maker.

Keywords: DEMATEL method, optimization, logistics, transport means.

Architektura uzdrowiskowa Krynicy Zdrój

Paulina Filas-Zajac

Wydział Architektury, Politechnika Warszawska, e-mail: paulina@filas-zajac.pl

Streszczenie: Badania nad kształtem przestrzennym zdrojowisk leżą w polu zainteresowań zarówno architektów, urbanistów jak i geografów, w pracach badawczych obserwuje się powiązanie roli uzdrowisk z procesem rozwoju gospodarczego regionu i miejscowości, głównie w dziedzinie turystyki.

Powszechnie uważa się że uzdrowiska są założeniami, w których realizowane są różne potrzeby zdrowotne człowieka, takie jak: zapewnienie warunków przywrócenia kondycji fizycznej i psychicznej po wypadkach i leczeniu szpitalnym, podtrzymanie aktualnego stanu zdrowia w chorobach przewlekłych, profilaktyka badań podnosząca odporność, zapobieganie chorobom cywilizacyjnym i łagodzeniu skutków. Uzdrowiska mają również na celu propagowanie i szerzenie edukacji pozazdrowotnej.

Uzdrowiska są założeniami urbanistycznymi, których kształt przestrzenny wynika z jego funkcji i jest efektem wielowiekowych formowań tych układów, przy czym sytuowane są w miejscach występowania naturalnych czynników leczniczych takich jak: naturalne surowce (wody mineralne, peleoidy lecznicze: abiolity- sapropele, gytie, osady morskie, osady źródlane, glinki i biolity – torfy i muły borowinowe) i w miejscu występowania takich czynników środowiskowych jak: środowisko przyrodnicze, klimat, lesistość terenu, morze, krajobraz, środowisko kulturowe regionu i miejscowości uzdrowiskowej, układ przestrzenny i formy architektoniczne.

Oprócz zasadniczej funkcji jaką pełnią są to na ogół bardzo ciekawe założenia architektoniczno-urbanistyczne, które zostały omówione na przykładzie miejscowości Krynica Zdrój.

Słowa kluczowe: architektura uzdrowiskowa, Krynica Zdrój, domy wypoczynkowe, projektowanie uzdrowisk.

1. Wprowadzenie

Naturalne surowce mineralne wykorzystywane do celów leczniczych były znane już od czasów najdawniejszych w Grecji, Egipcie czy w Rzymie jako popularne termy. Na terenach polskich już we wczesnych wiekach średnich znano i stosowano właściwości lecznicze wód mineralnych.

Moda na zdrojowiska rozwijała się dynamicznie, aż w końcu wieku XVIII zaczęto zakładać w Polsce pierwsze zdrojowiska wzorowane głównie na powszechnie znanych, renomowanych zdrojowiskach zachodnioeuropejskich z pełnym programem leczniczym i rozrywkowym.

Kompozycja przestrzenna zdrojowiska o funkcji lecznictwa balneologicznego składała się z typowych elementów przestrzennych do których zalicza się: zespół przyrodolecznicy stanowiący dominantę założenia oraz otaczające go tereny zielne, parki, i deptaki, wokół których powoli narastała i rozwijała się struktura sanatoryjno-pensjonatowa uzdrowiska.

Z dużymi terenami zieleni związane były elementy małej architektury do których zaliczyć można altany, galerie spacerowe, muszle koncertowe, kapliczki i pijalnie. Ujęcia źródeł często obudowywano tworząc rodzaj salonów zdrojowych i promenad.

Najważniejszym obiektem w miejscowości był zawsze Dom Zdrojowy, który lokalizowano w centrum założenia. Jego program funkcjonalny początkowo opierał się na kilku kabinach kąpielowych, później dodano funkcje mieszkalną i wraz z tym zaczął pojawiać się cały zakres usług rekreacyjnych w postaci sal koncertowych, balowych, kasyn, restauracji i kawiarni. Wokół głównego Domu Zdrojowego zaczęła narastać podobna zabudowa zdrojowa i tak tworzyły się centra uzdrowiskowe [11].

Obiekty o funkcji uzdrowiskowej potrzebowały także dużego zaplecza mieszkalnego w związku z czym zaczęto w II poł. XIX wieku budowę drewnianych pensjonatów w charakterystycznym stylu szwajcarsko-tyrolskim.

Początek XX wieku to okres gdzie obserwujemy zdecydowane odejście od wznoszenia obiektów drewnianych na poczet architektury murowanej. Zmienia się również styl nowo powstałych budynków jest on bardziej awangardowy, znika również detal tak charakterystyczny dla drewnianej architektury. Budynki zaczęto wykańczać w szlachetnych tynkach, a w wyposażeniu wewnątrz zauważamy stosowanie kamienia naturalnego, drewna i wielu materiałów nadających wrażenie luksusu. Pojawia się również nowy typ zabudowy są nimi sanatoria związkowe, które oprócz podstawowej funkcji zdrowotnej mieszczą kluby, sale balowe, zaciszne, kameralne i ekskluzywne pomieszczenia towarzyskie dla ówczesnych elit.

Od połowy XX wieku zaznacza się trend wznoszenia dużych w stylu modernistycznym budynków sanatoryjnych których wielka kubatura zaczyna w sposób widoczny działać agresywnie na łagodny krajobraz górski.

Na rodzaj i wygląd wznoszonych budynków dużą rolę miał sposób prowadzenia kuracji i forma spędzania wolnego czasu przez kuracjuszy. Wysoki standard wykończenia sanatoriów oraz walory klimatyczne i lecznicze zdrojowisk co roku przyciągały tą samą grupę przedstawicieli ze świata artystycznego, przez co wytworzyło to rodzaj specyficznego klimatu wokół miejscowości uzdrowiskowych

2. Rozwój architektury drewnianej Krynicy Zdrój

Krynica Zdrój nazywana jest Perłą polskich uzdrowisk, zarówno ze względu na jej piękne położenie w terenie górskim w masywie tzw. Beskidu Krynickiego oraz duże bogactwo wód mineralnych: leczniczych, kąpielowych i pitnych oraz zasobów bezwodnika kwasu węglowego.

Działalność leczniczą Krynicy rozpoczęto od badań przeprowadzonych przez Baltazara Hacqueta, który w 1796 r. wykonał ekspertyzę źródła krynickiego. Kolejnym ważnym etapem rozwoju Krynicy jako miejscowości uzdrowiskowej była powołana z inicjatywy Józefa Dietla Komisja Balneologiczna Towarzystwa Naukowego Krakowskiego. Działalność Dietla, przyczyniła się do ożywienia ruchu budowlanego w miejscowości. Wznoszono 1-2 kondygancyjne pensjonaty i wille w stylu szwajcarsko-tyrolskim tzw. Bulwary Dietla wzdłuż potoku Kryniczanki [12].

Pierwsze obiekty związane z funkcją uzdrowiskową Krynicy i rozwojem architektury drewnianej pojawiają się w od XIX wieku. W roku 1804 wzniesiono pierwszy budynek Łazienek Mineralnych, tzw. *Maty Domek*, a w 1808-1812 roku pawilon Pijalni nad Zdrojem Głównym. Kolisty pawilon projektu inż. Burggalera, powstał jako zabezpieczenie źródła – zdroju głównego z którego rozlewana jest popularna dziś woda „Kryniczanka”. Był to

parterowy budynek drewniany o konstrukcji zrębowej zbudowany w formie dwunastobocznej altany, nakryty daszkiem parasolowy „tzw. Chińskim” zwieńczonym latarnią i krytym blachą. W roku 1863 ten pierwszy uzdrowskowy obiekt przeniesiono do Parku Słotwińskiego i dziś patronuje innej popularnej wodzie „Słotwince” [12].

Na polu drewnianej architektury XIX wiekowej Krynicy zasłynął architekt Feliks Książarski, który jest autorem kilku wybitnych obiektów o funkcji uzdrowskowej. Najważniejszym w Krynicy budynkiem jego autorstwa są *Stare Łazienki Mineralne*, wybudowane w latach 1857 – 66. Niestety na przestrzeni kilkudziesięciu lat po kilku remontach ich detal uległ znacznemu zniekształceniu. Piętrowy budynek wzniesiono w konstrukcji drewnianej, składa się on z trzech dwutraktowych skrzydeł – frontowego oraz skrzydeł bocznych zakończonych ozdobnymi trójkątnymi szczytami, nad środkowym ryzalitem występuje czworoboczna wieżyczka z zegarem, a nad ryzalitami bocznymi analogicznie uproszczone wieżyczki [12].

Eklektyczna zabudowa *Łazienek Borowinowych* z 1880 r. jest także autorstwa arch. Feliksa Książarskiego. Jest to budynek murowany, piętrowy, kryty blachą z facjatami zakończonymi szczytami ze sterczynami. Dekoracja architektoniczna w formie pilastrów jońskich, ozdobnych obramień półkoliście wykrojonych otworów okiennych i drzwiowych oraz pozornego boniowania w tynku [12].

Feliks Książarski była autorem jeszcze jednego nie zachowanego jednak do naszych czasów *budynku Starej Pijalni*. Wybudowana w 1869 r. drewniana budowla składała się z dwóch części – obudowy źródła oraz krytego deptaka w formie otwartej galerii.

Do słynnych krynickich architektów zaliczyć należy także architekta Jan Zawiejskiego autora jednego z najbardziej znanych budynków – Domu Zdrojowego oraz zaprojektowanego w 1884 roku *Zakład Hydrotyczny* Dr Henryka Ebersa.



Rys. 1. Stary Dom Zdrojowy. Źródło: www.stary-dom-zdrojowy.krynica_zdroj.fotopolska.eu

W 1884 arch. Jan Zawiejski wraz z arch. Julianem Niedzielskim wygrali konkurs na projekt i realizację *Starego Domu Zdrojowego*. Pierwotnie nosił on nazwę „Dworzec Zdrojowy” i w tym czasie budynek posiadał od strony frontowej zadaszony podjazd. Budynek jest murowany trzykondygnacyjny, gmach zaprojektowano na planie wydłużonym, z ryzalitem środkowym i dwoma skrzydłami bocznymi. Wzdłuż elewacji frontowej w parterze mieszczą się otwarte werandy wsparte na ozdobnych żeliwnych słupach. Otwory

okienne i drzwiowe mają półkoliste wykroje a ściany ozdobiono pozornym boniowaniem w tynku. Część reprezentacyjną stanowi środkowy, najbardziej wysunięty i zaakcentowany ryzalit, mieszczący reprezentacyjny hall na parterze i efektowną salę balową na piętrze, w której do dziś odbywają się bale, recitale i koncerty. W północnym skrzydle *Starego Domu Zdrojowego* mieści się Pijalnia wody Mieczysław [12].

3. Architektura murowana Krynicy Zdrój

W okresie międzywojennym powstaje coraz więcej okazałych murowanych budynków uzdrowiskowych.

Ważnym dla Krynicy obiektem zrealizowanym w latach 1924-1928 były *Nowe Łazienki Mineralne* projektu architekta Władysława Klimczaka. Całość założenia stanowi dwukondygnacyjny i dwuskrzydłowy budynek o spadzistych dachach z dwoma dziedzińcami na osi, elementem charakterystycznym jest usytuowana w części frontowej podwójna kolumnada zwieńczona długim balkonem, spinającym przeciwległe skrzydła gmachu. Wnętrza Nowych Łazienek utrzymane zostały w stylu art déco – zwłaszcza hall główny oraz reprezentacyjną klatkę schodową zdobią kamienne detale oraz malowidła ścienne autorstwa krakowskiego malarza Jana Bukowskiego.



Rys. 2. Sanatorium Lwigród. Źródło: www.krynica_zdroj.fotopolska.eu

W 1929 r. wzniesiono z inicjatywy Towarzystwa Wzajemnych Ubezpieczeń Prywatnych ze Lwowa *Sanatorium Lwigród*. Konkurs na budynek wygrał wybitny architekt Eugeniusz Czerwiński. Sanatorium nosi znamiona stylu neorenesansowego i eklektycznego w przypominając nieco zamek. Elementami na które warto zwrócić uwagę są innowacyjne jak dla tamtych czasów żelbetowe balkony oraz imponujące kamienne schody, stanowiące bardzo charakterystyczny element dla całego budynku. Wnętrza wykończono marmurami i elementami forniowanymi, dekoracyjny wystrój wnętrz wzbogacony został przez cykl

obrazów „Historię tańca” autorstwa Feliksa Wygrzywalskiego zdobiący salę balową oraz dekoracyjne panele z scenami ogrodowymi autorstwa Kazimierza Sichulskiego. W tym czasie obiekt ten należał do jednych z najnowocześniejszych budynków uzdrowiskowych w Polsce i jako jedyne w Krynicy wyposażone było w salę operacyjną, pokoje zabiegowe z wannami do kąpieli oraz gabinet rentgenowski. W 1981 roku sanatorium upadło i zostało zamknięte a dopiero w 2005 roku dzięki nowemu nabywcy Lwigród odzyskał swoją świetność i został odrestaurowany.

Jednym z najokazalszych budynków Krynicy jest *Nowy Dom Zdrojowy* zaprojektowany w latach 1939 r. przez architekta Witolda Minkiewicza. Prezentuje on styl modernistyczny, oszczędny w środkach, purystyczny, bez detalu, zróżnicowana bryła obiektu poprzedzona od wejścia oszczędną w środkach kolumnadą przedstawia charakterystyczny dla lat trzydziestych styl. W części sanatoryjnej budynek ma wysokość 4 kondygnacji, z wyniesionymi do 5 kondygnacji skrzydłami bocznymi. W parterze od strony podcieni zlokalizowano usługi handlowe. Wnętrza utrzymane są w podobnej konwencji w nucie marynistycznej, marmury, mosiężne detale, fazowane okrągłe lustra i stolarka drzwiowa z okrągłymi oknami oraz chromowane poręcze przypominają wnętrza statku.



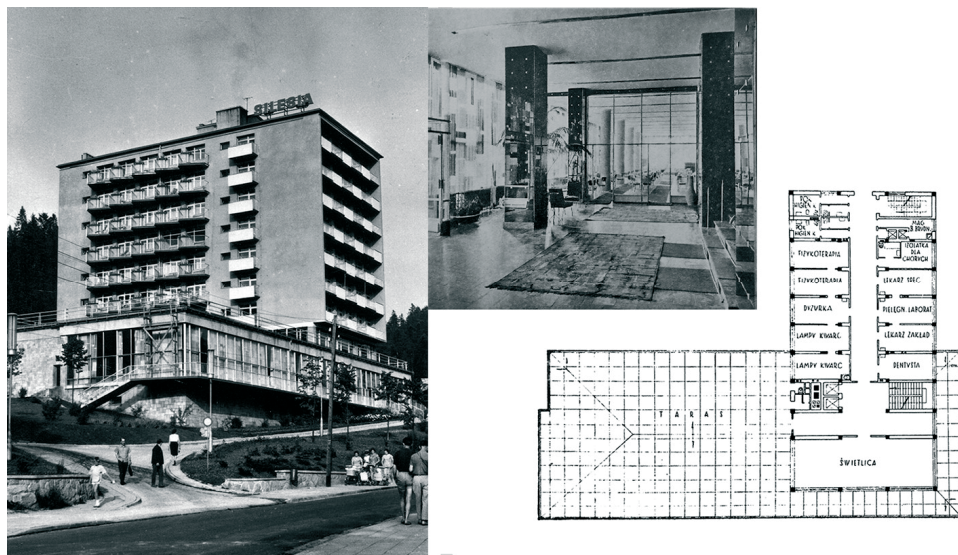
Rys. 3. Nowy Dom Zdrojowy. Źródło: archiwum

W Krynicy mieści się także dzieło znakomitego architekta prof. Adolfa Szyszko – Bohusza jest to *Oficerski Dom Wypoczynkowy* wybudowany w latach 1931-39. W ostatnim czasie obiekt został przebudowany, co pociągnęło za sobą znaczne zmiany i zniszczenie pierwotnej tkanki architektonicznej.

W okresie międzywojenny powstaje także sporo pensjonatów i prywatnych willi, do których zaliczamy hotel Patria wybudowany w 1936 przez Jana Kiepurę. Obiekt zaprojektowany został przez znanego architekta Bohdana Pniewskiego. Był to bardzo luksusowy hotel w stylu modernizmu. W budynku zachował się oryginalny wystrój wnętrz w tym marmury i alabastry, drzwi obrotowe, winda z lat 30. XX w., centralne ogrzewanie, taras wypoczynkowy na dachu. Przed wojną do hotelu należał też basen i kort tenisowy.

Po II Wojnie Światowej prywatne nieruchomości – wille, pensjonaty i hotele Krynicy i innych uzdrowisk były odbierane właścicielom i przechodziły na własność państwa przy stosunkowo niskiej liczbie kuracjuszy oznaczała to ich powolne niszczenie.

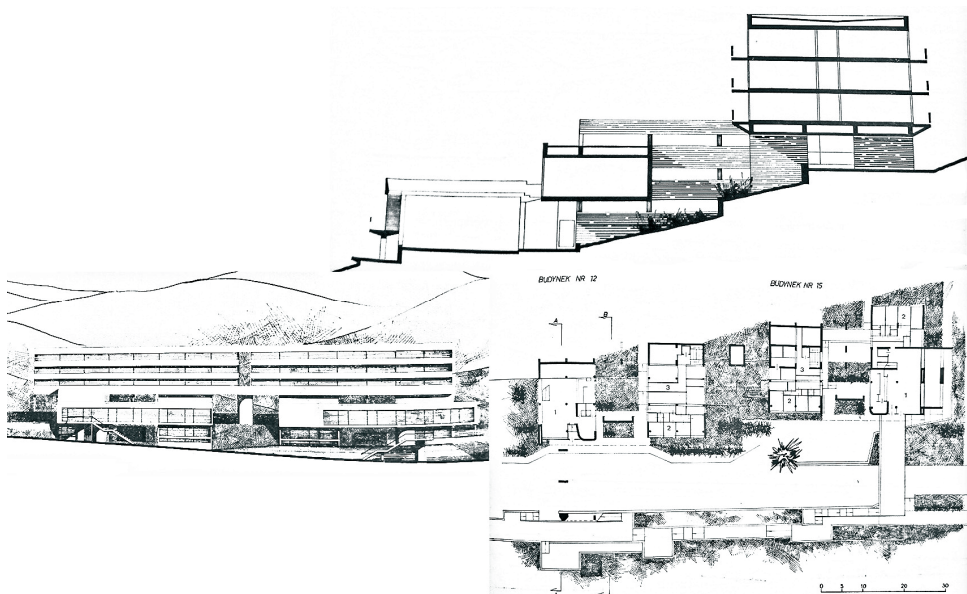
Utworzony w Polsce w 1957 r. tzw. Fundusz Wczasów Pracowniczych, wpłynął na rozwój nowego typu obiektów architektonicznych jakim były wielkokubaturowe sanatoria. Dom pracowników przemysłu metali nieżelaznych - *Sanatorium Silesia* było jedną z pierwszych tego typu realizacji w Krynicy. Wybudowany w 1963 roku budynek, autorstwa arch. Stanisława Spyta i arch. Zbigniewa Mikołajewskiego posiadał osiem kondygnacji. W parterze mieścił się hall oraz jadalnię z zapleczem. Na pierwszej kondygnacji znajdowała się świetlica oraz część lecznicza, zaś na wyższych kondygnacjach zaprojektowano strefę hotelową, przeznaczoną dla ok. 200 osób [1].



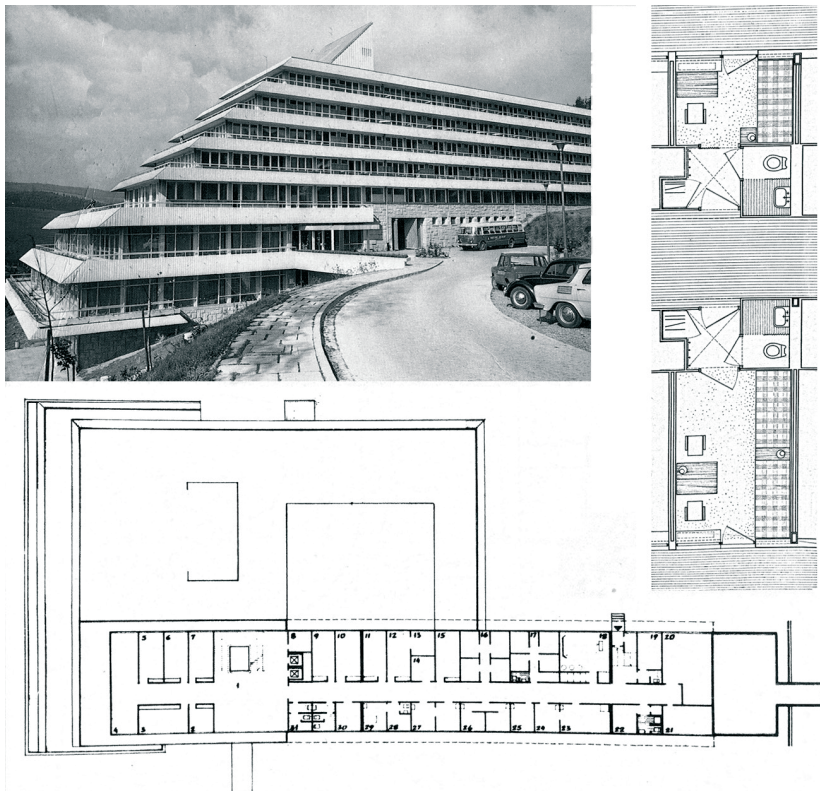
Rys. 4. Pensjonat Silesia. Źródło: Architektura 1964, nr 3

Na podobnej zasadzie został wybudowany Dom ZGZZ Pracowników Łączności w Krynicy autorstwa architekta N. Buchnera. Obiekt stanowił siedmiokondygnacyjny blok w którym na parterze znajduje się hall i zaplecze kuchenne, pierwsze piętro przeznaczono na jadalnię i świetlicę zaś pozostałe wyższe kondygnacje mieszczą pokoje hotelowe dla około 110 osób.

W 1960 r. zespół architektów Tadeusza Pieli i Stefana Kozińskiego opracowali założenia oraz projekt koncepcyjny dla nowej dzielnicy uzdrowskiej zlokalizowanej na Górze Parkowej. Dzielnica zaprojektowana została w sąsiedztwie istniejącego parku, na wysokości 570-687 m n.p.m. Pod względem klimatycznym znajduje się w rejonie największego nasłonecznienia, najmniejszej wilgotności powietrza oraz osłonięta przed wiatrami. Dzielnicę powiązano z miastem dwoma ulicami: Nowosłoneczną i Źródlaną, które obsługują dwa główne zespoły mieszkalne z zakładem przyrodoleczniczym i pawilonem handlowym z kawiarnią w centrum. W części „najgorszej” klimatycznie zaprojektowano garaże. W kompozycji zabudowy operowano dwoma typami zabudowy: budynkami niskimi o funkcji sanatoryjno-profilaktycznej, lokalizowanymi równolegle do warstwic z naswietleniem pokoi mieszkalnych od wschodu i zachodu oraz budynkami wyższymi sytuowanymi prostopadłe do warstwic, o nasłonecznieniu pokoi sanatoryjnych od południa, wschodu i zachodu. W obu przypadkach przyjęto zasadę minimalnego styku budynku z terenem, tworzenie dużej ilości prześwitów dla umożliwienia spływu wód oraz mas zimnego powietrza [8].

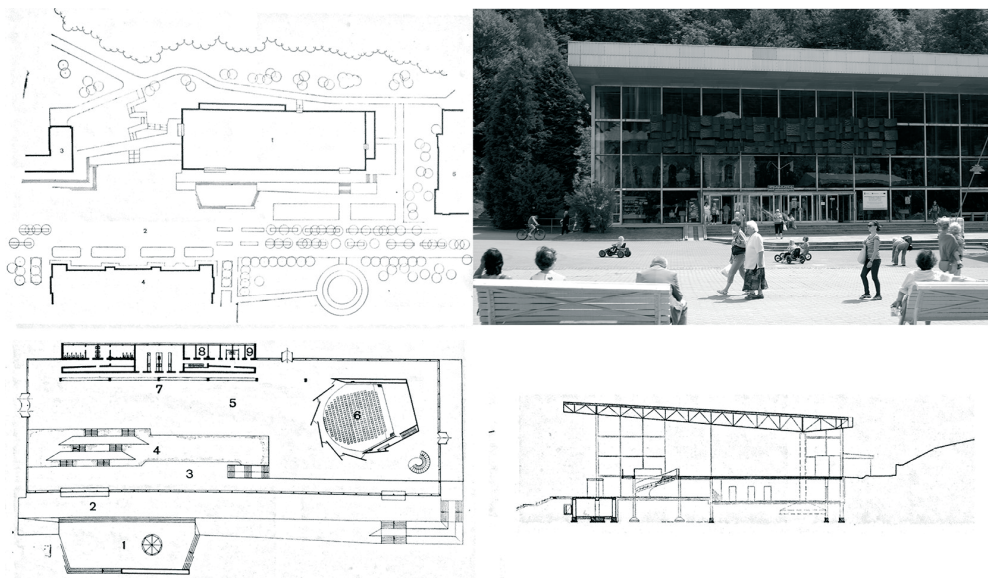


Rys. 5. Dzielnica uzdrowiskowa na Górze Parkowej. Źródło: Architektura 1967, nr 8



Rys. 6. Sanatorium Panorama. Źródło: Architektura 1970, nr 7.

Ciekawym obiektem jest Sanatorium Budowlanych – obecnie *Sanatorium Panorama*, autorstwa arch. Mieczysława Gliszczyńskiego, wybudowane w latach 1968-72. Budynek zlokalizowano na południowym stoku doliny krynickiej. Kształt budynku oraz jego rozwiązania funkcjonalne dostosowano do kształtu terenu, dzięki czemu harmonijnie wpasowuje się w krajobraz. Budynek podzielony został na 6 stref: mieszkalną z przeznaczeniem dla 220 kuracjuszy, zabiegową z basenami i zespołem elektrolecznictwa, część diagnostyczną (gabinety lekarskie, laboratoria), strefę kulturalno-rekreacyjną ze świetlicami, część żywieniową oraz techniczno-gospodarczą. Od strony południowej będącej jednocześnie najbardziej atrakcyjną widokowo zlokalizowano świetlice, basen kąpielowy i jadalnię kuracjuszy, od strony wschodniej i zachodniej mieszczą się pokoje mieszkalne i część zabiegowa a w części północnej zaprojektowano część kuchenną. W wystroju wewnątrz przeważają takie materiały jak marmur, drewno, szkło kolorowe, ceramika i tynki zwirowe [2].



Rys. 7. Nowa Pijalnia. Źródło: Architektura 1973, nr2, foto P. Filas-Zajac 2012

Ostatnim budynkiem wpisującym się w charakterystyczną zabudowę Krynicy jest budynek *Nowej Pijalni* wzniesiony w roku 1971, przez architekta Stanisława Spytę i arch. Zbigniewa Mikołajewskiego. Stanowił on prestiżową inwestycją w powojennej Krynicy oraz był on wówczas największym tego typu obiektem w Europie.

Obiekt usytuowano w centralnym punkcie zdrojowiska w sąsiedztwie Starego i Nowego Domu Zdrojowego oraz muszli koncertowej. Budynek składa się z hali spacerowej o powierzchni ok 2400 m², która mieściła ogród zimowy, część handlową i wystawienniczą z zespołem pomieszczeń do wydawania wód mineralnych do której doprowadzono większość krynickich źródeł oraz Sali koncertowej na 350 miejsc.

Budynek ma formę jednoprzestrzennej, dwupoziomowej hali jednonawowej hali o konstrukcji stalowej. Obydwa poziomy powiązane są skarpą tworzącą wewnętrzny zielony ogród oraz zespołami tarasowych schodów prowadzących do zespołu wydawania wód i na antresolę otaczającą salę koncertową. Cały układ funkcjonalny miał umożliwić kuracjom picie wody podczas spaceru. Wnętrze Pijalni urozmaicała dekoracja

ceramiczna autorstwa Krystyny Zgud – Strachockiej. Na zewnątrz budynku, wzdłuż całej ściany frontowej przebiega 5-metrowej szerokości taras osłonięty wspornikiem dachu. W rejonie głównego wejścia rozbudowany taras zewnętrzny tworzy duże plateau, na którym umieszczono kryształowa kopułę – element Zdroju Głównego – można pod nią oglądać pulsujące źródło – symbol początku uzdrowiska [6].

W 2012 r. rozpoczęto prace remontowe pijalni które spotkały się z wielkim oburzeniem środowisk architektonicznych, stan techniczny wymagał rzeczywiście remontu ale razem z nim zniszczono wszystkie unikatowe rośliny oraz wbrew zgody autorki zdemontowano mozaikę i przeniesiono ją w inne miejsce tworząc z niej inną kompozycję.

Obecna sytuacja związana z finansowaniem lecznictwa uzdrowiskowego wpłynęła pozytywnie na liczbę kuracjuszy, kształtując tym samym nowy typ zabudowy łączącej funkcję czysto leczniczą z funkcją typowo rekreacyjną i relaksacyjną w związku z czym powstają obiekty typu Spa np. Spa dr Ireny Eris. W latach 90 ubiegłego stulecia wzniesiono wiele nowych obiektów związanych z funkcją wypoczynku, wśród nich Hotel Krynica oraz Prezydent.

4. Wnioski

Na podstawie omówionych przykładów obserwujemy jak duża jest różnorodność zabudowy uzdrowiskowej, poczynając od drobnych form architektury jak altanki, pijalnie, kunsztowne i klimatyczne drewniane wille poprzez okazalsze Domy Zdrojowe, luksusowe pensjonat, nowoczesne pijalnie i wielkogabarytowe sanatoria, to wszystko składa się na wygląd tak niewielkiej miejscowości jaką jest Krynica Zdrój. Wszystkie te obiekty harmonijnie wpasowują się w klimat i układ urbanistyczny zdrojowiska.

Powstające dzisiaj obiekty często nie posiadają już takiego charakteru jak te budowane w poprzednich stuleciach. Pijalnie i stare sanatoria poddawane są licznym przebudowom i rozbudowom bez ochrony konserwatorskiej, co wiąże się z ich niszczeniem, niewłaściwa, wykonywana bez wiedzy i nadzoru przebudowa powoduje zanik cennych wartości historycznych obiektu. Poważnym problemem jest brak właściwych zapisów zarówno w Planie miejscowym jak i brak objęcia ochroną konserwatorską wielu obiektów uzdrowiskowych.

Ważna dzisiaj staje się rola planowania przestrzennego – Planów Miejscowych, które poprzez właściwie zapis, mogą wpływać na kształt architektury i przestrzeni urbanistycznej, dając tym samym skuteczną ochronę dziedzictwa kulturowego uzdrowiska jakim jest Krynica Zdrój.

Literatura

- 1 Geppert W. *Domy wypoczynkowe*. Architektura 3 (1964) 103–105.
- 2 Gliszczyński M. *Sanatorium budowlanych w Krynicy*. Architektura 2 (1973) 73–77.
- 3 Gliszczyński M. *Uzdrowiska Polskie*. Architektura 7 (1970) 223–233.
- 4 Madeyski A. *Wymagania balneotechniczne przy projektowaniu uzdrowisk*. Architektura 7 (1970) 219–220.
- 5 Piotrowska H., Gliszczyński M. *Projektowanie i realizacja obiektów uzdrowiskowych w Polsce*. Architektura 7 (1970) 220–222.
- 6 Spyt S. *Nowa Pijalnia Wód Mineralnych w Krynicy*. Architektura 2 (1973) 78–81.
- 7 Szymśiak Z. *Zespół sanatorium wojskowego w Krynicy*. Architektura 10 (1968) 391–394.
- 8 Świątkowski W. *Dzielnica uzdrowiskowa na Górze Parkowej w Krynicy*. Architektura 8 (1967) 308–313.
- 9 Chrzanowski T. *Krynica*. Wydawnictwo „Sport i Turystyka”, Warszawa 1980.

- 10 Węclawowicz-Bilska E. *Zdrojowiska w strefie wplywu duzego miasta i aglomeracji - zagadnienia programowo przestrzenne*. Politechnika Krakowska, Kraków 1998.
- 11 Węclawowicz-Bilska E. *Historyczne zalozenia zdrojowisk w ksztaltowaniu wspolczesnych ośrodków balneologicznych w Polsce*. Politechnika Krakowska, Kraków 1990.
- 12 Materiały i Sprawozdania konserwatorskie województwa krakowskiego, Zespół dokumentacji zabytków, Kraków 1974.

Architecture of spas in Krynica Zdroj

Paulina Filas-Zajac

Faculty of Architecture, Warsaw University of Technology, e-mail:paulina@filas-zajac.pl

Abstract: Research on the spatial shape of spas lies in the field of interest of architects, urban planners and geographers. The research shows a link between the role of spas and the process of economic development of the region and the town, mainly in the field of tourism.

Spa town is based on the assumption that various human health needs are supported there. For example spa provides conditions to restore physical and mental health after accidents and hospital treatment, it maintains the present state of health in chronic diseases, provides prophylactic examinations to enhance immunity and should prevent diseases of civilization or mitigate the effects of such diseases.

Spas also aim at promoting and spreading education not only related to health. The spatial shape of a spa derives from its function and is the result of a centuries long forming of these systems. They are located in places, which are richly supplied with natural healing factors such as: natural resources, and environmental factors such as: the natural environment, climate, forestation, sea, landscape, cultural environment of the region and the spa town, spatial layout and architectural forms.

In addition to the essential function they perform, they are also very interesting architectural and urban designs, which have been discussed through the example of Krynica Zdroj town.

Keywords: architecture of spas, health resorts, modern architecture, cultural heritage protection.

Odporność siarczanowa napowietrzonych zapraw cementowych z dodatkiem popiołów lotnych

Monika Jaworska

Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska, e-mail: monikajaworska@o2.pl

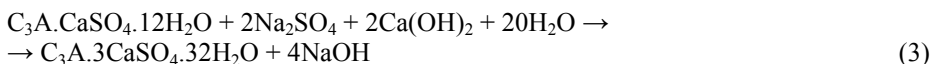
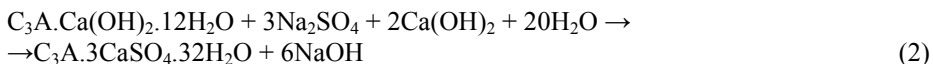
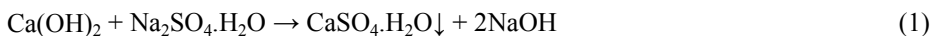
Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałości, ekspansji w roztworze Na_2SO_4 , dyfrakcji rentgenowskiej oraz mikroskopii skaningowej zapraw napowietrzonych i nienapowietrzonych z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego i wapiennego. W roztworze Na_2SO_4 napowietrzone zaprawy uległy szybszej ekspansji i rozpadowi niż zaprawy nienapowietrzone. W zaprawach napowietrzonych wykryto większą ilość ettringitu, który występował w porach powietrznych i w mikrostrukturze zaczynu oddalonego od porów. Zastąpienie 20% cementu popiołami lotnymi przyniosło znaczącą poprawę odporności zapraw na korozję siarczanową. Zaprawy z popiołem wapiennym wykazały najmniejsze odkształcenia i największą trwałość. We wszystkich zaprawach produktami korozji siarczanowej były gips i ettringit.

Słowa kluczowe: korozja siarczanowa, zaprawy napowietrzone, pory powietrzne, popioły lotne.

1. Wprowadzenie

1.1. Korozja siarczanowa

Agresja siarczanowa jest przyczyną jednego z najgroźniejszych procesów niszczących kompozyty cementowe. Korozja zachodzi w wyniku mieszanego (połączonego) sposobu niszczenia – ekspansji i rozpuszczania. Reakcje ekspansywne, polegające na zwiększaniu objętości produktu, mogą powodować pęknięcia i niszczenie betonu w wyniku powstania związków o małej rozpuszczalności gipsu i ettringitu, które wytrącając się z fazy ciekłej, wywołują ciśnienie krystalizacji. Proces rozpuszczania i wymywania, zachodzący w wyniku obniżania pH, powoduje rozluźnienie i rozpad mikrostruktury zaczynu. W stwardniałym zaczynie z cementu portlandzkiego związkami zaczynu najłatwiej ulegającymi reakcji z siarczanem sodu są: wodorotlenek wapnia, uwodniony glinian i monosiarczanoglinian wapnia. Powstawanie związków ekspansywnych (gipsu i ettringitu) może przebiegać wg reakcji (1–3):



Powstaniu gipsu towarzyszy już ekspansja, a będzie on dalej reagował z uwodnionymi glinianami, co doprowadzi do powstania ettringitu, który jest jeszcze bardziej ekspansywny. Pod wpływem ciągłego dostępu jonów siarczanowych wodorotlenek wapnia będzie dalej reagował z jonami siarczanowymi, zwiększając ilość gipsu i potęgując negatywne

skutki korozji. Najbardziej odporna na korozję jest faza C-S-H, która ulega rozpadowi dopiero po wyczerpaniu wodorotlenku [1].

1.2. Mikrostruktura napowietrzonego zaczynu cementowego

Kolejnym niebezpiecznym procesem, często występującym w naszym klimacie jest niszczenie mrozowe. Destrukcja kompozytów cementowych jest związana z powstaniem ciśnienia hydraulicznego rozsadzającego kompozyt wskutek zwiększenia objętości lodu w porach kapilarnych wraz z zamarzaniem wody oraz z powstawaniem złuszczenia się powierzchni kompozytu pod wpływem ciśnienia osmotycznego powodującego dyfuzję wody żelowej. Powszechnie uznaje się, że poza ograniczeniem stosunku w/c napowietrzenie związane z wprowadzeniem porów powietrza o właściwej objętości i strukturze skutecznie chroni beton przed niszczeniem mrozowym. Przykładowo wg zaleceń ACI 201.2R-01 [2] objętość powietrza w betonie powinna wynosić 3–7.5% w zależności od maksymalnej wielkości ziaren kruszywa i surowości ekspozycji, a wskaźnik rozmieszczenia L porów, najlepiej o średnicy mniejszej niż 0,3 mm, nie może być większy niż 0,2 (0,25) mm. W efekcie napowietrzenia kompozytu za pomocą domieszki napowietrzającej (surfaktantu) w wodzie świeżego zaczynu cementowego podczas mieszania powstają pęcherzyki powietrza pozostające w stwardniałym zaczynie kulistymi porami powietrznymi o średnicy rzędu 20–500 μm [3]. Jednak wprowadzanie porów powietrza powoduje także zmiany w mikrostrukturze zaczynu. Od pierwszych godzin hydratacji por powietrzny jest otoczany otoczką o grubości ścianek 1–2 μm (1–5 μm), która jest budowana z fazy C-S-H i nie zawiera portlandytu. W dojrzałym zaczynie cementowym stosunek wapnia do krzemu fazy C-S-H w otoczce jest równy 1,1 [3]. Na powierzchni wewnętrznej otoczki podczas hydratacji cementu wytrącają się pojedyncze, bardzo małe kryształki ettringitu. Mikrostruktura otoczki jest dużo bardziej jednorodna i ciągła, a także bardziej zagęszczona niż zaczyn cementowy, ponieważ nie występują w niej pory. W zaczynie wokół otoczki pora do ok. 15–30 μm w zależności od wielkości pora i stosunku w/c powstaje strefa przejściowa por powietrzny-zaczyn [4,5]. Tam bowiem w świeżym zaczynie gromadzi się więcej wody i mniej cementu niż w zaczynie oddalonym od pora. Dlatego stosunek w/c zaczynu otaczającego pora jest istotnie większy, w wyniku czego porowatość warstwy przejściowej wokół dużych porów jest nawet ponad 2 razy większa niż zaczynu oddalonego [4,5]. Występowanie porów powietrznych i towarzyszące im zmiany w mikrostrukturze zaczynu mają istotny wpływ na właściwości stwardniałego betonu, redukcję wytrzymałości, wzrost dyfuzji gazowej i przepuszczalności, a także zmiany w absorpcji wody [4,5]. Nawiązując do tematu korozji siarczanowej należy podkreślić, że dotąd nie publikowano bezpośrednich wyników badań ekspansji siarczanowej napowietrzonych zapraw cementowych. Olek [6] na podstawie badań fizycznych sugeruje, że zaprawy napowietrzone mają większą odporność na oddziaływanie siarczanu sodu aniżeli zaprawy nienapowietrzone.

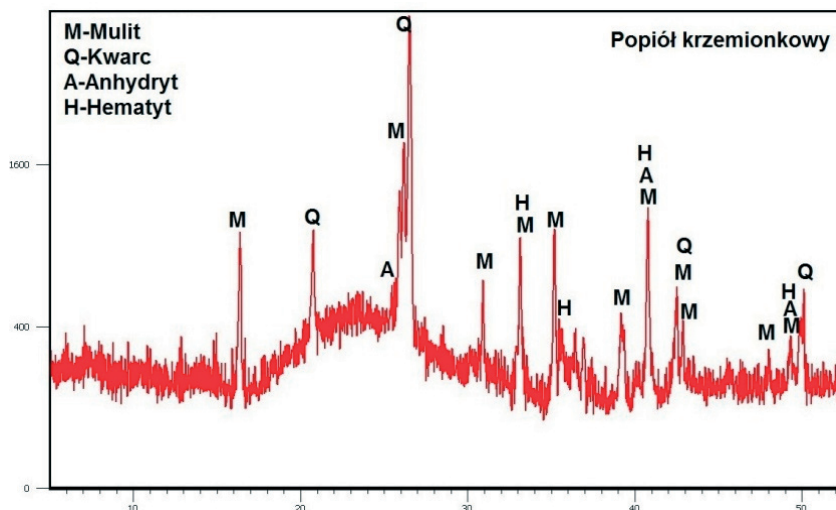
1.3. Charakterystyka popiołów lotnych

Właściwości fizyczne popiołów lotnych opisywane są przez charakterystykę ziaren popiołów: ich barwy, kształtu, składu ziarna gęstości i gęstości nasypowej. Popioły lotne mają barwę od jasnoszarej do czarnej. Barwa popiołu zależy od rodzaju spalanego węgla, zawartości niespalonych części organicznych oraz zawartości żelaza występującego zwykle w postaci magnetytu i hematytu. Popioły lotne mają zróżnicowany skład ziarnowy, który zależy przede wszystkim od stopnia zmielenia i rodzaju węgla, który jest spalany oraz od technologii jego spalania. Popioły lotne mają również zróżnicowany skład chemiczny. Zmienność składu chemicznego zależy od rodzaju spalanego paliwa (węgla brunatnego, kamiennego czy biomasy), a także od rodzaju instalacji, w której odbywa się spalanie (typ

kotła, technologiczne warunki spalania). Skład chemiczny popiołów bazuje na składzie chemicznym części mineralnych węgla, jednak nie jest on taki sam. Różnice wynikają z tego, że tylko część spośród niespalonych składników węgla tworzy popiół lotny (pozostała część to żużel paleniskowy bądź najdrobniejsze frakcje niewychwytywane przez elektrofiltry) [7].

1.4. Popiół krzemionkowy

Popiół lotny krzemionkowy otrzymywany jest ze spalania węgla kamiennego w paleniskach pyłowo-wirowych w temperaturze 1300–1450°C. Ma sferyczne ziarna o różnej średnicy, zbudowane ze szkła glino-krzemianowego ze znacznym udziałem potasu. Powierzchnia właściwa popiołów lotnych V waha się od 2500 do 4200 cm²/g wg Blaine'a. Duży udział fazy szklistej wskazuje na korzystne właściwości pucolanowe popiołu, który sam nie wykazuje właściwości wiążących, bądź są one bardzo słabe. Natomiast rozdrobniony popiół reaguje w obecności wody z wodorotlenkiem wapnia [8,9]. Popiół lotny V składa się głównie z reaktywnego dwutlenku krzemu SiO₂, którego zawartość nie powinna być mniejsza niż 25% masy [9] i tlenku glinu AL₂O₃. Pozostałymi tlenkami wchodzącymi w skład popiołu krzemionkowego są: Fe₂O₃, SO₃, MgO, Na₂O, K₂O oraz CaO. Zawartość reaktywnego tlenku wapnia nie powinna przekraczać 10% masy, a wolnego tlenku wapnia nie większa niż 1% masy [8]. Wysoka zawartość niespalonego węgla ma wpływ na wodoodporność popiołu, a także istotne zmniejszenie mrozoodporności kompozytów cementowych. Składnikiem, który w głównej mierze decyduje o właściwościach pucolanowych popiołów lotnych jest nietrwałe szkło krzemionkowo-glinowo-potasowe [8]. Podczas reakcji pucolanowej, następuje zanikanie wodorotlenku wapnia oraz powstawanie nisko wapińcowej fazy C-S-H i C-S-A-H. Na rysunku 1 przedstawiono dyfraktogram popiołu lotnego krzemionkowego, który został wykorzystany do badań. Fazami krystalicznymi występującymi w popiele krzemionkowym są: kwarc, mulit, hematyt i magnetyt.

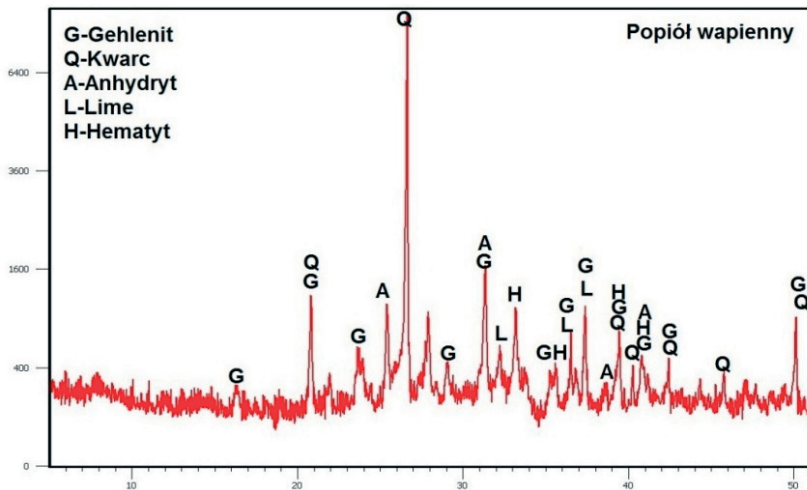


Rys. 1. Dyfraktogram popiołu lotnego krzemionkowego

1.5. Popiół wapienny.

W Polsce popiół lotny wapienny jest ubocznym produktem spalania węgla brunatnego w kotłach pyłowych. Popiół W składa się przede wszystkim z reaktywnego tlenku wapnia CaO (powyżej 10% masy), reaktywnego dwutlenku krzemu SiO₂ (zawartość ok 25%

masy), tlenku glinu Al_2O_3 i siarki. Popioły wapienne oprócz aktywności pucolanowej charakteryzują się właściwościami hydraulicznymi. Szkła o dużej zawartości wapna są zbliżone do melilitu i mają dobre właściwości wiążące. Poza fazą szklaną w popiele występują także ziarna niespalonego węgla, które koncentrują się zazwyczaj w grubszej frakcji popiołu [10]. Na rysunku 2 przedstawiono dyfraktogram popiołu wapiennego, którego użyto do badań. Fazami krystalicznymi popiołów wapiennych są: anhydryt, gehlenit, anortyt, kwarc i wolne CaO. W popiele W mogą występować także związki: C_2S , $C_{12}A_7$, C_2F , C_4A_3S . Duża zawartość faz amorficznych zapewnia aktywność krzemionki, w wyniku czego zwiększa się wydajność reakcji pucolanowej i tworzenie fazy C-S-H [7].



Rys. 2. Dyfraktogram popiołu lotnego wapiennego

Zmienność składu chemicznego i fazowego koreluje z rozmiarem ziaren. Ziarna bardzo drobne są bogatsze w związki wapnia, natomiast w ziarnach grubszych powyżej 40 μm dominuje kwarc [11]. Popioły lotne wapienne charakteryzują się odmiennym składem chemicznym i bardziej złożonym składem fazowym w porównaniu do popiołu lotnego krzemionkowego. Różnica ta dotyczy zarówno fazy szklistej jak i składników krystalicznych. Zasadniczą różnicą między popiołem wapiennym, a krzemionkowym jest zawartość związków wapnia CaO (10–40%) oraz jonów SO_3 do 7% [7,8]. W związku z aktywnością hydrauliczno-pucolanową popiołów wapiennych podczas hydratacji w reakcji pucolanowej powstają fazy C-S-H i C-S-A-H te same co w popiele krzemionkowym. Faza C-S-H powstaje również w reakcji belitu z wodą. Zawartość glinianów wapiennych i anhydrytu powoduje powstawanie ettringitu.

2. Badania własne

Zrealizowane badania miały na celu określenie wpływu napowietrzenia na odporność siarczanową zapraw z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego i wapiennego. Istnieją wątpliwości, czy wprowadzenie porów powietrza będzie miało wpływ na odporność siarczanową kompozytów cementowych. Plan badań zakładał badanie wytrzymałości oraz odkształceń liniowych próbek zapraw napowietrzonych (AE) i nienapowietrzonych (nAE) poddanych oddziaływaniu 5% roztworu siarczanu sodu. Wykonano również badania mikrostrukturalne przy użyciu mikroskopu skaningowego oraz badanie składu fazowego XRD.

2.1. Charakterystyka badanych zapraw

Do badań zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5 R, popioły krzemionkowy (*V*) i wapienny (*W*). Doświadczenie objęło 6 rodzajów zapraw wykonywanych z cementu portlandzkiego lub cementu i popiołu lotnego (krzemionkowego lub wapiennego). W tabeli 3 został podany ilościowy skład zapraw oraz zawartość popiołów w spoiwie. Stosunek wagowy składników, cement: piasek: woda wynosił 1:3:0,6, a w/s było stałe i wynosiło: 0,6. Zaprawy zostały przygotowane według ujednoczonej procedury dotyczącej dozowania, mieszania i formowania próbek. Połowa próbek została napowietrzona za pomocą domieszki napowietrzającej. Zawartość procentowa powietrza w świeżych zaprawach wynosiła: 10 ± 1 %.

Tabela 1. Skład wagowy analizowanych zapraw

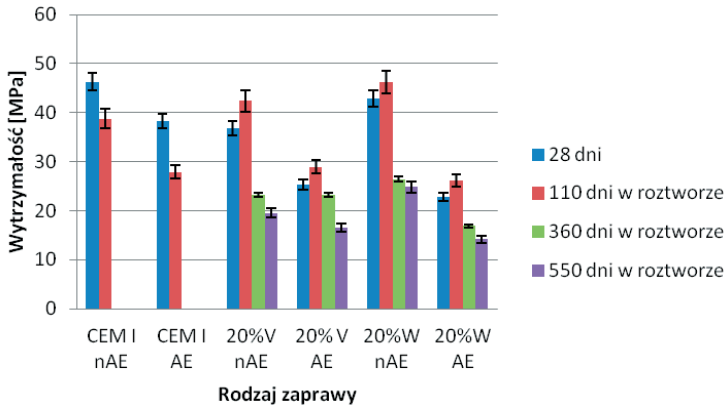
Zawartość [%]	Zawartość cementu [g]	Zawartość <i>V</i> [g]	Zawartość <i>W</i> [g]
CEM I 100%	500	0	0
CEM I 80%+V20%	400	100	0
CEM I 60%+W20%	400	0	100

2.2. Metody badań

Próbę wytrzymałości na ściskanie wykonano zgodnie z normą PN-EN 196-1:2005. Każdemu badaniu wytrzymałości na ściskanie poddano sześć próbek zapraw 40x40x160 mm po 28 dniach dojrzewania w wodzie oraz po 110, 360, 550 dniach przebywania próbek w 5% roztworze siarczanu sodu. Za pomocą aparatu Graff-Kaufmana wykonano badanie odkształceń liniowych stwardniałych zapraw cementowych zaformowanych w postaci beleczek o wymiarach 20x20x160 mm przechowywanych w 5% roztworze Na_2SO_4 . Próbkę zostały zanurzone w roztworze po 28 dniach dojrzewania w wodzie. Pomiary długości beleczek wykonywano co 4 tygodnie. Badanie to jest wykonywane zgodnie z PN-B-19707. Zostały również przeprowadzone badania mikrostruktury zapraw za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej i mikroskopu skaningowego. Zawartość powietrza w świeżych zaprawach zbadano za pomocą metody ciśnieniowej w aparacie do badania zawartości powietrza o pojemności 1 dm³.

3. Omówienie wyników badań

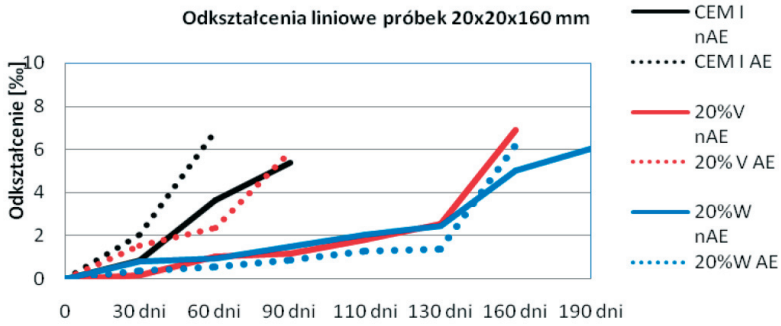
Na rysunku 3 zostały przedstawione wartości wytrzymałości zapraw po 28 dniach dojrzewania próbek w wodzie oraz po 110 i 360 dniach przebywania w Na_2SO_4 oraz na koniec badania, czyli po 550 dniach przebywania w roztworze siarczanu (podano wartości średnie z 6 próbek oraz rozrzut wyników). Wytrzymałość próbek z cementu portlandzkiego po 28 dniach była znacznie wyższa niż zapraw z popiołem lotnym. Niższą wytrzymałością charakteryzują się zaprawy z dodatkiem mineralnym, co jest związane ze stosunkowo wolnym przebiegiem reakcji w początkowym okresie hydratacji i jej wpływem na właściwości mechaniczne zapraw [12]. Po 110 dniach przebywania w roztworze siarczanu sodu zaprawy z popiołem krzemionkowym i wapiennym uzyskały wyższą wytrzymałość w stosunku do wytrzymałości 28 dniowej. Zaprawy zawierające popiół wapienny wykazały większą wytrzymałość na ściskanie niż zaprawy z popiołem krzemionkowym. Po 550 dniach przebywania próbek w roztworze, w przypadku zapraw z popiołem krzemionkowym, różnica pomiędzy wytrzymałością po 110 dniach, a w chwili zniszczenia wynosiła ok 55%, natomiast z popiołem wapiennym spadek wytrzymałości był w granicach 40%. Wytrzymałość zapraw wykonanych z cementu portlandzkiego po 110 dniach w Na_2SO_4 była znacznie niższa niż zapraw z popiołami lotnymi.



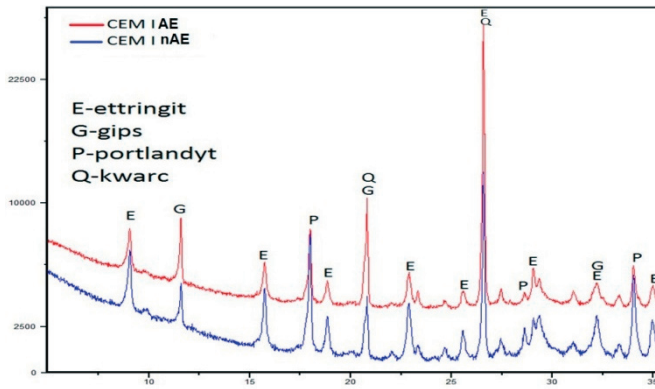
Rys. 3. Wyniki wytrzymałości próbek na ściskanie

Na rysunku 4 przedstawiono odkształcenia liniowe próbek 20x20x160 mm zanurzonych w roztworze siarczanu sodu. Wszystkie próbki zaprawy napowietrzonej z cementu CEM I uległy zniszczeniu już po 60 dniach, przy ekspansji wynoszącej 6,9%. Zaprawy napowietrzone zarówno z popiołem krzemionkowym jak i wapiennym wykazały mniejszą odporność na agresję siarczanową aniżeli nienapowietrzone. Próbki zaprawy nienapowietrzonej z cementu portlandzkiego i napowietrzone, w której zastąpiono 20% cementu popiołem krzemionkowym rozpadły się po 90 dniach, gdy osiągnęły odkształcenie równe 6%. Próbki nienapowietrzone z dodatkiem popiołu *V* oraz napowietrzone i nienapowietrzone z popiołem *W* przez cały okres badania wykazywały powolny, równomierny przyrost ekspansji. Zaprawa nienapowietrzona z popiołem krzemionkowym i zaprawa napowietrzona z popiołem wapiennym dopiero po 160 dniach wykazały przyśpieszenie odkształcenia, które osiągnęło wartość powyżej 6%. Próbki, w których 20% cementu portlandzkiego zastąpiono popiołem wapiennym, wykazały największą odporność na agresję siarczanu sodu. Najlepsza odporność na korozję siarczanową miały zaprawy nienapowietrzone, w których dodano popiół wapienny. Pozytywny wpływ dodatku popiołu *W* jest związany z jego aktywnością pucolanowo-hydrauliczną. W wyniku reakcji pucolanowej następuje zmniejszenie ilości wodorotlenku wapnia powstałego w czasie hydratacji cementu, stąd ilość powstałego gipsu w wyniku oddziaływania roztworu siarczanowego będzie mniejsza niż w przypadku cementu portlandzkiego. Faza C-S-H w reakcji pucolanowej oraz w opóźnionej hydratacji popiołu wapiennego wytrąca się głównie w pustych przestrzeniach wokół ziaren popiołu dzięki czemu zmniejsza przepuszczalność zaczynu i poprawia odporność. Zdaniem niektórych [13] autorów skład fazy szklistej w popiołach wapiennych jest zbliżony do składu fazy szklistej granulowanego żużla wielkopiecowego. W zaprawach z popiołem wapiennym występuje zwiększona ilość fazy C-S-H powstałej w wyniku reakcji pucolanowej jak i hydraulicznej co może mieć również korzystny wpływ na odporność siarczanową kompozytów zawierających w składzie popiół *W*.

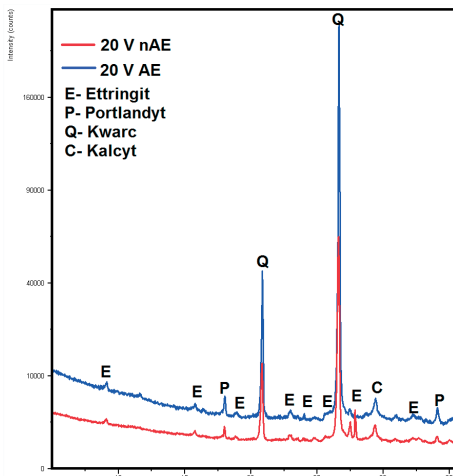
Analiza dyfraktogramów (rys. 5–7) wykazała, że podstawowym produktem powstającym w wyniku oddziaływania roztworu siarczanu sodu jest ettringit i gips. W próbce z popiołem krzemionkowym nie stwierdzono występowania gipsu i dużo mniejszą ilość ettringitu. Sugeruje to opóźnione reakcje jonów siarczanowych z fazami zaczynów zawierających popioły krzemionkowe. Można to uznać za potwierdzenie korzystnego wpływu reakcji pucolanowej – czyli popiołu lotnego, na odporność siarczanową. Oprócz tych faz w próbkach stwierdzono obecność kwarcu, znaczącą ilość portlandytu w zaprawie z cementu portlandzkiego oraz dużo mniejszą ilość w próbkach z popiołem.



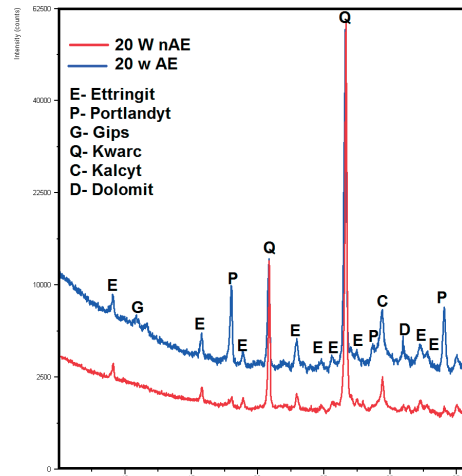
Rys. 4. Odkształcenia liniowe próbek 20x20x160 mm



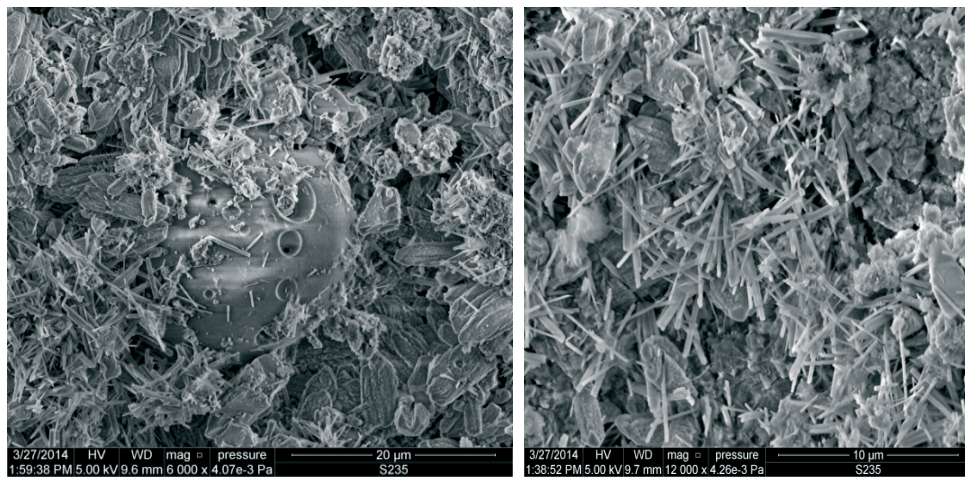
Rys. 5. Dyfraktogram zapraw wykonanych z cementu portlandzkiego po 110 dniach przebywania w 5%Na₂SO₄ (czas rozpadu zaprawy napowietrzonej)



Rys. 6. Dyfraktogram zapraw z cementu portlandzkiego i 20% zawartością popiołu krzemionkowego po 110 dniach przebywania w 5%Na₂SO₄

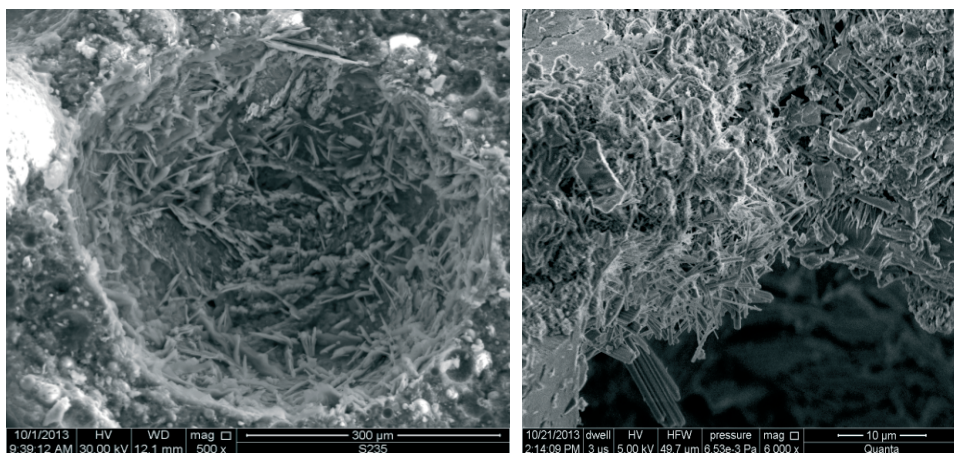


Rys. 7. Dyfraktogram zapraw z cementu portlandzkiego i 20% zawartością popiołu wapiennego po 110 dniach przebywania w 5%Na₂SO₄



Rys. 8. Mikrostruktura nienapowietrzonych zapraw z dodatkiem popiołów lotnych wapiennych przechowywanych w roztworze 5% Na_2SO_4 , obserwowana pod mikroskopem skaningowym

Wyniki badania (rys. 8) przeprowadzone przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego potwierdziły wyniki badań rentgenowskiej analizy fazowej. Stwierdzono, że główne produkty korozji to ettringit i gips. Dodatkowo można zauważyć (rys. 8), że produkty hydratacji narastają na ziarnach popiołu lotnego. Wyraźnie widać, że dominującą fazą jest ettringit, który występuje w charakterystycznej dla siebie morfologii. W nienapowietrzonych zaprawie z cementu CEM I występują kryształy ettringitu (rys. 8), które są luźno ułożone w porach kapilarnych, ale także wbudowane w fazę C-S-H.



Rys. 9. Mikrostruktura napowietrzonych zapraw z cementu portlandzkiego przechowywanych w roztworze 5% Na_2SO_4 obserwowana pod mikroskopem skaningowym

Wyniki mikroskopowych badań przełamów próbek napowietrzonych zapraw z cementu portlandzkiego poddanych agresji Na_2SO_4 przedstawiono na rysunku 9. W napowietrzonych zaprawie z cementu CEM I, która uległa zniszczeniu po niecałych trzech miesiącach, pory powietrzne są częściowo wypełnione dość gęsto ułożonymi kryształami ettringitu. Obraz sugeruje, że kryształy wchodzą także częściowo w mikrostrukturę zaczynu otaczającego por. W zaprawie napowietrzonych w wielu porach powietrznych przy ich ścian-

kach stwierdzono obecność raczej luźno ułożonych kryształów ettringitu. Mimo dużej szczelności otoczek, wskazywanej także przez Ley [3] w największej ilości ettringit obserwowano w porach powietrznych, co może wynikać z faktu, że przed rozpoczęciem korozji siarczanowej występowały tam bardzo małe kryształy tej fazy, będące źródłem nukleacji. Może to wynikać z występowania o większej przepuszczalności porowatej strefy przejściowej między zaczynem a porem powietrza, ale także z powodu połączeń z porami kapilarnymi, które powodują, że pory powietrzne są przepuszczalne. Dostęp roztworu siarczanowego do porów powietrznych może być także zwiększony w związku z występowaniem mikrorys i lokalnych nieciągłości otoczek. W wyniku oddziaływania siarczanu sodu na nienapowietrzonych zaprawach kryształy ettringitu wbudowują się w sposób nieuporządkowany w strukturę fazy C-S-H. Kryształy tworzące się w fazie C-S-H są najczęściej dużo mniejsze, niż te gromadzące się w porach powietrznych w zaprawach napowietrzonych.

4. Wnioski

W roztworze Na_2SO_4 napowietrzone zaprawy z cementu portlandzkiego i cementów zawierających popioły uległy szybszej ekspansji i rozpadowi niż zaprawy nienapowietrzone wykonane z odpowiednich cementów. W zaprawach napowietrzonych wykryto większą ilość ettringitu, który występował także w znaczącej ilości w porach powietrznych. Wytrącanie się ettringitu w znaczącej ilości w porach powietrznych jest indukowane przez jego bardzo małe kryształki występujące na powierzchni otoczki porów w zaprawie nie poddanej korozji siarczanowej. Dostęp roztworu do porów powietrznych ułatwia występowanie przepuszczalnej strefy przejściowej między zaczynem cementowym a porem powietrza. Także połączenie porów powietrza z porami kapilarnymi powoduje, że są one przepuszczalne dla roztworu siarczanowego.

Wprowadzenie popiołów lotnych do spoiwa przyniosło znaczącą poprawę odporności napowietrzonych i nienapowietrzonych zapraw na korozję siarczanową. Korzystny wpływ popiołu wapiennego na odporność siarczanową jest związany z powstaniem w wyniku reakcji pucolanowej i hydraulicznej dodatkowej fazy C-S-H i ze zmniejszeniem ilości portlandytu łatwo reagującego z jonami siarczanowymi. W konsekwencji powstania dodatkowej fazy C-S-H oprócz zaniku wodorotlenku wapnia następuje uszczelnienie mikrostruktury zaczynu, istotnie poprawiające odporność siarczanową zapraw.

Potwierdzono, że główną przyczyną zniszczenia kompozytów cementowych było powstanie ettringite i gipsu. Obserwacje mikroskopowe sugerują, że kryształy ettringitu mogły przechodzić w niektórych porach przez zwartą mikrostrukturę otoczki do zaczynu otaczającego por.

Literatura

- 1 Yu Ch., Sun W., Scrivener K. *Mechanism of expansion of mortars immersed in sodium sulfate solutions*. Cement and Concrete Research, 2012.
- 2 ACI 201.2R-01. *Guide to durable concrete*. ACI Manual of Concrete Practice, 2005.
- 3 Ley M.T, Chancey R., Juenger M., Folliard K.J. *The physical and chemical characteristics of the shell of air-entrained bubbles in cement paste*. Cement Concrete Research 39 (2009) 417-425.
- 4 Rashed A.I., Williamson R.B. *Microstructure of entrained air voids in concrete. Part I*. J. Mater. Research 6(9) (1991) 2004–2012.
- 5 Santhanam M., Cohen M. D., Olek J. *Mechanism of sulfate attack: a fresh look Part 2. Proposed mechanisms*. Cement and Concrete Research 33 (2003) 341–346.
- 6 Wong H.S., Pappas A.M., Zimmerman R.W, Buenfeld N.R. *Effect of entrained air voids on the microstructure and mass transport properties of concrete*. Cement and Concrete Research 41 (2011) 1067–1077.

- 7 Giergiczny Z. *Rola popiołów lotnych wapiennych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości spoiw budowlanych i tworzyw cementowych*. Monografia, Kraków 2006.
- 8 Giergiczny Z. *Popiół lotny w składzie cementu i betonu*. Monografia, Gliwice 2013.
- 9 PN-EN 197-1. *Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użycia*.
- 10 Baran T., Drożdż W. *Ocena właściwości krajowych popiołów lotnych wapiennych i metody ich uzdatniania*. Roads and Bridge 12(1) 2013.
- 11 Galos K, Ulisza-Bocheńczyk A. *Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi 21(1) 2005.
- 12 Szponder K. *Badania wybranych właściwości popiołów lotnych z zastosowaniem analizy obrazu*. Rozprawa doktorska, Kraków 2012.
- 13 Ramachandran V.S. *Concrete admixtures handbook. Properties, Science and Technology*, Noyes Publications, Westwood s.571, 1984.

Sulphate resistance of air entrained mortars with admixture of fly ashes

Monika Jaworska

*Department of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology
e-mail: monikajaworska@o2.pl*

Abstract: The effects of entrained air on sulphate resistance of fly ash blended cements mortars long term immersed in Na₂SO₄ solution were investigated. The expansion strains and decrease in strength of air entrained mortars were faster than those of non-air entrained ones. It was found with SEM and XRD analyses that ettringite and gypsum were the main sulfate attack products. The SEM studies of mortars microstructure showed that the highest amount of ettringite observed occurred in air voids partially filled with this phase. The sulphate resistance of AE and nAE mortars containing high or low calcium fly ash blended cements was significantly higher compared to plain OPC mortar.

Keywords: sulphate attack, air voids, air entrainment, mortars, fly ashes.

Optimization of selection process of constituent materials for high performance concrete and mortars

Nataliya Lushnikova

Department of Architecture & Environmental Design, Educational and Research Institute of Civil Engineering and Architecture, National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, Ukraine, e-mail: nataliya.lushnikova@gmail.com

Abstract: The paper gives coverage on approach to the optimization of selection process of constituents for high performance concrete (HPC) and mortars. There is shown the example selection of cement, mineral and chemical admixtures, as the most costly and influential on concrete, from the point of their maximum efficiency, measured by flowability and compressive strength increasing indexes. Method combines models for determination of activity indexes with simple stochastic equations obtained at mathematical treatment of experimental results.

Keywords: high performance concrete, mortar, chemical admixture, mineral admixture, superplasticizer, metakaolin, activity index.

1. Introduction

There exist different guidelines and methods of constituents' selection for concrete and mortars, both regulatory and advisory [1-4].

Any recommendations require preliminary laboratory batching that usually deals with selection process of constituents types and their rational proportioning. Modern production technologies of HPC and mortars include obligatory using reactive mineral and high range water reducing admixtures (HRWR) or composite admixtures based on them and require rational selection of binders as well as aggregates [5,6]. Application of such admixtures aims to reduce cement consumption and viscosity of fresh mixtures, increase strength, improve durability of hardened concrete and mortar [6,7]. Cost, energy and resources consumption of admixtures as well as cement are rather high, comparing to aggregates. Therefore, an important aspect of such cement-based systems is judicious choice of constituent materials aimed to obtain economical concrete and mortar [7].

In this connection, important aspect of simultaneous application of different admixtures in cement-based systems is their compatibility with each other and with cement. Testing thermokinetic parameters of cement hydration is an effective method for estimation of compatibility [8]. These parameters allow prediction a series of properties for cement and concrete [9]. Thus, such method along with its high accuracy requires special equipment.

There are known other parameters suggested for measuring effectiveness of mineral admixtures as well as their combinations with HRWR [10-14]. Thus the parameters, representing combined effect of cement and admixtures on flowability of fresh concrete and concrete strength, are the most adoptable to practical concrete manufacturing conditions [14,15]. Deterministic dependencies for calculation of these parameters can be incomplete as they do not take into account some uncertainties. Whereas stochastic equations consider probabilistic distribution of factors values.

Therefore, it was suggested to use these simple deterministic equations and experimental models for estimation of efficiency of HPC and mortars constituent materials.

Comparatively widespread in Ukraine constituents were under consideration: local Portland cement, one of the most common superplasticizers S-3 of naphthalene formaldehyde type and metakaolin, obtained by dehydroxylation of kaolin clays, a highly reactive aluminosilicate mineral admixture. There are massive deposits of kaolin are located in Ukraine as well as several manufacturers of metakaolin [16].

The effect of metakaolin on high performance concrete and mortars is comparable to that of silica fume in terms of strength development rate, chloride ions permeability, drying shrinkage, frost resistance [4,17]. At the same time, metakaolin has some advantages comparing to silica fume. It does not darken concrete as silica fume does. Therefore, the architects prefer it. Due to lower specific surface than silica fume, metakaolin has lower water requirement and therefore reduced dosages of high range water reducing (HRWR) admixtures [4]. As Ukraine does not have any internal sources of silica fume, it makes metakaolin the only common local reactive mineral admixture.

Most of the researches prove that pozzolanic activity of metakaolin is slightly lower than that of silica fume [4], thus it corresponds to the activity of natural volcanogenic pozzolans and calcined natural pozzolans [18,19].

2. Aim and scope of the research

The aim of current research was the solving the problem of rational selection of main concrete components (Portland cement, mineral and chemical admixtures as components of composite dry pack modifier) for further investigation of fresh and hardened concrete properties. On a whole, binders and admixtures as reactive components are considered the most influential on concrete and mortars properties. They are also the most expensive components. Therefore, the rational selection of their type and amount is one of the key aspects of concrete and mortar technology.

The results of the research can be spread on other cement-based systems containing mineral additions and chemical admixtures (like building mortars, grouts etc.), mostly they are vital for high performance cement-based systems.

3. A method for determining the efficiency of cement and admixtures

Due to high water consumption, most of reactive mineral admixtures are effective only at presence of high dosages of HRWR admixtures – superplasticizers, even if they substitute cements partially [4]. Therefore, a meaningful efficiency factor is strength increase, obtained by increasing the SP dosage and reduced cement content.

For determination of the efficiency of constituents there has been applied a method developed by prof. V.G. Batrakov at alias and stated in specification for composite concrete additions containing HRWR and mineral admixtures [20]. The method was selected due to simplicity of its implementation and unambiguity of the interpretation of received results.

There were prepared mortars of following proportion according to the requirements of specification:

1) control – without any admixtures at weight ratio C(ement):S(and)=1:3;

2) basic – with composite modifier at weight ratio;

C(ement):A(ddition):S(and)=0.9:0.1:3

where C – cement, S – sand, A – composite addition, consisted of superplasticizer and metakaolin. There was fixed proportion between superplasticizer and metakaolin as 0.1:0.9 in the research.

Water-binder ratio of all basic mortars was equal to control one. Water binder ratio means ratio between water and cement (cement+admixture) weight.

According to this method, activity indexes of composite admixture consisted of superplasticizer and metakaolin, are following:

1) coefficient of flowability increasing for basic mixtures is determined as follows:

$$K_f = \frac{D_b - D_c}{D_c} \times 100, \quad (1)$$

where D_b – spread diameter of the basic mortar, mm; D_c – spread diameter of the control mortar, mm.

2) coefficient of strength increasing of basic mortar is determined as follows:

$$K_s = \frac{R_s^b - R_s^c}{R_s^c} \times 100, \quad (2)$$

where R_s^b – compressive strength of the basic mortar, MPa; R_s^c – compressive strength of the control mortar, MPa.

4. Materials properties

During research, following materials were used. As basic components there were used local Portland Cement CEM I 52.5 DIN 11641, EN-196 and quartz sand. As mineral component of composite admixture metakaolin was used. HRWR of naphthalene formaldehyde type S-3 was used as chemical component of composite admixture.

As it has been proven by researches [21, 22], the application of pozzolanic admixtures is more effective for pure Portland cement without mineral admixtures. The additions presented in cements of types II-V react themselves with clinker minerals, forming additional amount of hydrated compounds. Therefore, it may lead to reduction of the effect of reactive mineral additions like metakaolin.

Table 1. Chemical and mineralogical properties of the cements. % by weight

No.	Property	Formula	Value	
			PC ₁	PC ₂
1	Calcium oxide	CaO	67.15	65.58
2	Silicon oxide	SiO ₂	21.70	22.05
3	Aluminum oxide	Al ₂ O ₃	5.36	4.73
4	Ferric oxide	Fe ₂ O ₃	4.10	4.42
5	Ferrous oxide	FeO	-	0.06
6	Magnesium oxide	MgO	0.74	1.62
7	Cl – ion content	Cl-	-	0.012
8	Insoluble residue	IR	0.28	0.1
9	Loss on ignition	LOI	0.34	0.28
10	Lime saturation factor	LSF	0.94	0.91
11	Silica modulus	n	2.34	2.41
12	Aluminous modulus	p	1.31	1.07
13	Tricalcium silicate	C ₃ S	65.17	60.01
14	Dicalcium silicate	C ₂ S	13.06	18.30
15	Tricalcium aluminate	C ₃ A	7.26	5.03
16	Tetra-calcium aluminoferrite	C ₄ AF	12.46	13.43

Portland cement. Two kinds of local cement have been under research. Their chemical and mineralogical composition is given in Tab. 1, physical and mechanical properties – in Tab. 2. Portland cement lettered as PC₁, according to its mineralogical composition is medium alumina cement, which is typical for Ukrainian cement industry. Another Portland cement, lettered as PC₂, is low alumina cement.

Raised C₃A content may cause higher values of early age strength for PC₁. In addition, PC₁ has lower value of normal consistency due to its lower specific surface.

Table 2. Physical-mechanical properties of cement

No.	Property	Value	
		PC ₁	PC ₂
1	Fineness (008 sieve fraction content), %	5	1
2	Specific surface by Blain, m ² /kg	330	350
3	Normal consistency, %	24.0	27.5
4	Setting time: initial	1 h 35 min	3 h
	final	3 h 45 min	5 h
5	Uniformity of volume change	stands the test	stands the test
6	Flexural strength, MPa:		
	2 days	5.65	4.83
	28 days	8.75	9.70
7	Compressive strength, MPa:		
	2 days	23.70	19.38
	28 days	54.00	53.80
8	Additions: gypsum, %	3.5	5.5

Quartz sand. For preparation of mortars there was used quartz sand. Properties of sand are given in Tab. 3.

Table 3. Physical properties of quartz sand

Density, g/cm ³	Bulk density, kg/m ³	Voidage, %	Water demand, %	Dust and clay particles, less than %	Fineness modulus
2.645	1485	43.8	7	2	2.03

Superplasticizer. According to standard classification ASTM C494 superplasticizer S-3 of naphthalene-formaldehyde type belongs to chemical admixtures of type F water-reducing, high range admixture.

Content of "active substance" in HRWR is not less than 69%, ash content – less than 38%, pH of aqueous solution with concentration 2.5% – 7...9. There was also used superplasticizer S-3, modified by defoaming agent PTV (polyethylene vinylene) in the amount 0.01% by superplasticizer weight. Defoaming agent is added for elimination of excessive air-entraining in concrete and mortars, which caused by mineral admixture as well as by high dosages of HRWR, characteristic of high-performance concrete. Such additional compaction of the mixture leads to increasing of strength and durability parameters of concrete. Therefore, such composite admixture solves complex problem of simultaneous high water reducing or reduction of water demand at minimal air-entraining.

Superplasticizer S-3 is lettered as SP₁, another one modified with defoamer is lettered as SP₂.

Metakaolin belongs to type N – calcined natural pozzolans according to ASTM C 618 classification. There were used three metakaolin samples made on local kaolin of AKW Ukrainian Kaolin Company (Glukhovetsky kaolin plant, Glukhivtsy, Vinnitsa region, Ukraine). Three samples of metakaolin lettered as MTK₁, MTK₂, MTK₃, manufactured by

Euroresource Corp. (Kiev, Ukraine) varied in chemical composition and physical properties (see Tab. 4-6). Engelhard Corporation (Iselin, New Jersey USA) manufactured metakaolin as a trademark Metamax EF; the sample is lettered as MTK₄.

Samples of metakaolin #1-3 were ground to obtain dispersity, equivalent to sieve #0045 residues less than 0.3%.

Method of laser granulometry was used for particle-size distribution of metakaolin. Results are given in Tab. 5 and in Fig. 1.

Table 4. Chemical composition of metakaolin samples

Sample	Oxides content, %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
MTK ₁	52.5	42.20	0.34	0.70	0.30	0.25	0.01	0.10	0.90	-	0.50
MTK ₂	54.6	40.25	0.78	1.08	0.28	0.28	0.01	0.08	0.60	0.04	0.48
MTK ₃	52.5	42.20	0.34	0.70	0.30	0.25	0.01	0.10	0.90	-	0.50
MTK ₄	53.0	43.00	<1.20	<1.5	0.10	<0.1	-	<0.05	<0.4	-	<1.0

Table 5. Particle-size distribution of metakaolin samples

Sample	< 63 μm	< 30 μm	< 15 μm	< 5 μm	< 2 μm	d ₅₀ , μm	d ₉₀ , μm
MTK ₁	100	87.26	74.28	55.63	38.03	3.62	34.65
MTK ₂	100	98.49	88.20	61.60	43.10	2.83	16.30
MTK ₃	100	97.02	85.45	64.64	48.30	2.18	18.97
MTK ₄	100	100	99.36	92.20	73.00	1.04	4.30

Note. d_{50} and d_{90} – diameters of conventional cell, through which 50% and 90% (vol.) of metakaolin sample pass.

The data above show, that metakaolin under test has particle size up to 60 μm. Samples MTK₁ – MTK₃ have substantial volume of particles of 1 μm and 60 μm with medium fraction deficiency (5-10 μm). Sample MTK₄ has higher uniformity of particle size: most of the particles have diameter from 0.5 to 50 μm.

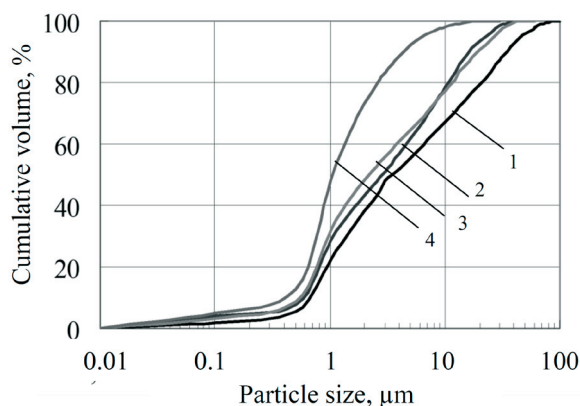


Fig. 1. Particle-size distribution of metakaolin: 1 – MTK₁; 2 – MTK₂; 3 – MTK₃; 4 – MTK₄

Specific surface was determined by calculating method on basis of the particle size distribution data. Pozzolanic activity of metakaolin was determined by CaO absorption. Physical and chemical properties of metakaolin samples are given in Tab. 6.

Table 6. Physical and chemical properties of metakaolin

Sample	Specific surfaces (by mass), m ² /kg	Density, g/cm ³	Bulk density, kg/m ³	Normal consistency, %	Pozzolanic activity, mg/g (by CaO absorption)
MTK ₁	1380	2.50	400	43	19
MTK ₂	1670	2.50	410	46	26
MTK ₃	1800	2.50	350	54	25
MTK ₄	2590	2.50	280	60	42

As it is shown in Tab. 4 and 6, samples MTK₁ and MTK₃ have the same chemical composition but differ by specific surface. Chemical composition of sample MTK₂ slightly differs from them, thus the total amount of reactive silica and alumina is almost equal (94.7% against 94.85% for MTK₁ and MTK₃). Sample MTK₄ has highest amount of SiO₂ and Al₂O₃ (96%) and highest specific surface. Due to high specific surface, this sample demonstrates highest normal consistency and pozzolanic activity.

As data reveal, increasing of specific surface of metakaolin leads to its regular increasing of normal consistency and increasing of pozzolanic activity. That is mostly the reason for opening of new active surfaces of metakaolin grains as well as possible surface amorphization during deep grinding [23].

5. Specimens preparation, storage and testing

Mixes have been prepared according to standard requirements adapted to such mortars with admixtures [24]. Error of batching by weight was less than 1%.

Electric mixer was used for mortars preparation. Cement, modifier (where required) and 1/3 of sand were mixed during 1 min. In dry mix water was added, and then mixed during 1 min. Then 2/3 of sand was added and mortar was mixed during 3 min.

Water-binder ratio in control mortar should be sufficient for flow spread diameter equal 113-114 mm.

At the 1st stage of research have been conducted series of comparative experiments on determining the influence of superplasticizer on air-content of the mortars. SP₁ and SP₂, Portland cement PC₁ and metakaolin MTK₂ were used. Composite admixture content was 10% by binder weight. Superplasticizer content was fixed at the level 5, 10 and 15% by composite admixture weight (0.5, 1.0 and 1.5% correspondingly by binder weight).

There were prepared 3 batches for SP₁ and SP₂ with dosages of superplasticizer given above. Gravitational method was applied according to ASTM C 138. For each batch 2 samples were tested.

At the 2nd stage of research there were conducted 3 sets of experiments:

1st set: Portland cement PC₁, superplasticizer SP₁;

2nd set: Portland cement PC₂, superplasticizer SP₁;

3rd set: Portland cement PC₁, superplasticizer SP₂.

Each set included 4 batches, with specific samples of metakaolin used in each one at other constant conditions. The mixing proportions were as it was described in part 3.

For each batch spread flow was determined twice and prepared 3 mortar specimens.

For each batch, three 70.7 mm edge cubes were prepared. The specimens were kept in the molds during 24 h and after that hardened during 27 days in constant climate chamber with a relative humidity about 100% and temperature of 18±20 °C. The strength characteristics were measured using a test machine FP 500/1 with a 500 kN load capacity and accuracy $\delta = \pm 1.0$ %. Compressive strength at the age of 28 days was tested according to standard requirements [25].

6. Results and discussion

6.1. Air-entraining in mortars

Rational air-content makes positive influence on durability of concrete and mortar. According to available data, air content 10-20% resulted in improved durability without causing serious reductions in compressive strength for cement-based mortars [26]. At the same time reduced air bubbles content seems to increase the workability and rheology of the mixtures [27]. For some types of concrete air entraining is mandatory. In any case attention should be paid to air entraining, since certain properties of supplementary cementing materials used in HPC greatly influence air-void system stability [28].

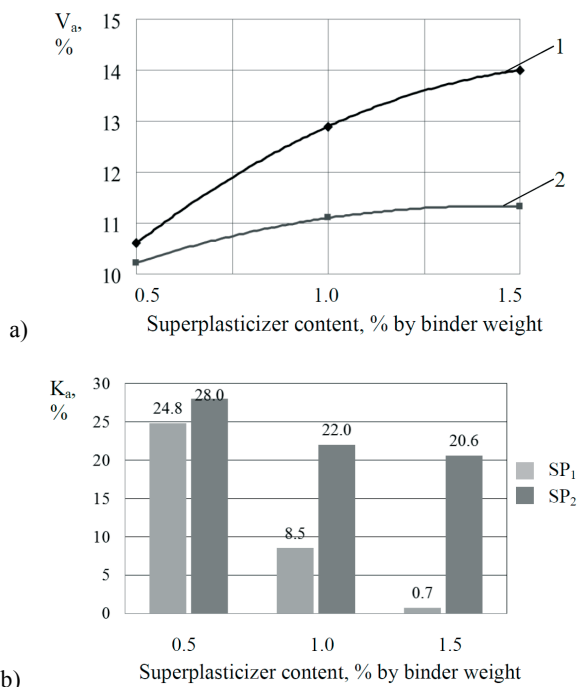


Fig. 2. Influence of superplasticizer type and content on: a) air content of mortars; b) index of air content change 1- SP₁; 2- SP₂

For control mortar air content was $V_a = 14.1\%$. Water binder ratio in all the batches was 0.41.

Dependences of air content on SP content can be approximated by parabolic equations:

$$\text{for SP}_1: \quad V_a = -2.4 \cdot \text{SP}_1^2 + 8.2 \cdot \text{SP}_1 + 7.1; \quad (3)$$

$$\text{for SP}_2: \quad V_a = -1.3 \cdot \text{SP}_2^2 + 3.7 \cdot \text{SP}_2 + 8.7. \quad (4)$$

Index of air content change can be determined as follows:

$$K_a = \frac{V_{a,c} - V_{a,b}}{V_{a,c}} \cdot 100 \quad (5)$$

where $V_{a,c}$, $V_{a,b}$ - air content, % of control and basic mortars correspondingly.

Comparative dependences of air content of mortars and indexes of air content change are shown in Fig. 2.

As it can be seen, introduction of superplasticizer leads to reduction of air content comparing to control mortar due increasing of flowability of mortars at 25% and at 28% when defoamer is used. Thus increasing of superplasticizer content dramatically reduces its effect. At increasing SP₁ dosage of from 0.5 to 1.5% the air content of the mortar is almost equal to that of control mortar regardless of high increasing of flowability. That confirms known data about intensive air-entraining of this HRWR at high dosages [21,22]. It is expected that application of defoaming agent allows obtaining slight decreasing of air content even when high dosages of SP₂ are used and provide higher plastifying effect and higher strength of mortars and concrete.

6.2. Activity indexes

Basic mortars had following parameters:

- for PC₁ applied $W/C = 0.41$; spread diameter at flow table $F_b = 114$ mm, compressive strength at the age of 28 days $R_c^c = 47.0$ MPa;
- for PC₂ applied $W/C = 0.42$; spread diameter at flow table $F_b = 114$ mm, compressive strength at the age of 28 days $R_c^c = 45.6$ MPa.

Average activity coefficients values are given in Tab. 7.

As the K_f and K_s values indicate, high water demand of metakaolin sample MTK₄ makes negative effect on flowability (Tab. 7). Two processes, contrary by its effect – growth of pozzolanic activity and simultaneous normal consistency increasing due to higher specific surface – indemnify each other, therefore under current terms of experiment negative value of flowability coefficient is observed (Tab. 7, batches No. 4, 8 and 12). At the same time, its influence on mortar strength is equal to that of MTK₃.

Table 7. Activity coefficients of composite admixture

No. of set	No. of batch	Type of PC	Type of SP	Type of MTK	F_c , mm	F_b , mm	K_f , %	R_c^c , MPa	R_s^b , MPa	K_s , %
1	1	PC ₁	SP ₁	MTK ₁	114	188	65	47.0	50.5	8
	2			MTK ₂		171	50		54.4	16
	3			MTK ₃		156	37		55.4	18
	4			MTK ₄		105	-8		56.6	17
2	5	PC ₂	SP ₁	MTK ₁	114	183	61	45.6	48.8	7
	6			MTK ₂		165	45		51.8	14
	7			MTK ₃		150	31		52.4	15
	8			MTK ₄		100	-12		54.4	19
3	9	PC ₁	SP ₂	MTK ₁	114	197	73	47.0	51.2	9
	10			MTK ₂		185	62		55.4	18
	11			MTK ₃		172	51		56.0	19
	12			MTK ₄		117	3		56.1	19

Application of metakaolin MTK₄ can be effective from the point of flowability increasing only when more effective HRWR is applied. Therefore, further selection procedure was eliminated by samples MTK₁ – MTK₃.

Dependences of activity indexes of mortars on specific surface s of metakaolin at $s \in [1380; 1800]$ m²/kg for each set of experiments can be approximated by parabolic equations. Depending on Portland cement and superplasticizer used, the equations are following:

- for experimental set #1 (PC₁, SP₁):

$$K_f = -119(s \cdot 10^{-3})^2 + 313s \cdot 10^{-3} - 140, \quad (6)$$

$$K_s = -29(s \cdot 10^{-3})^2 + 116s \cdot 10^{-3} - 97; \quad (7)$$

- for experimental set #2 (PC₂, SP₁):

$$K_f = -126(s \cdot 10^{-3})^2 + 329s \cdot 10^{-3} - 155, \quad (8)$$

$$K_s = -39(s \cdot 10^{-3})^2 + 144s \cdot 10^{-3} - 117; \quad (9)$$

- for experimental set #3 (PC₁, SP₂):

$$K_f = -108(s \cdot 10^{-3})^2 + 290s \cdot 10^{-3} - 122, \quad (10)$$

$$K_s = -56(s \cdot 10^{-3})^2 + 201s \cdot 10^{-3} - 162; \quad (11)$$

where s is specific surface of metakaolin, m²/kg.

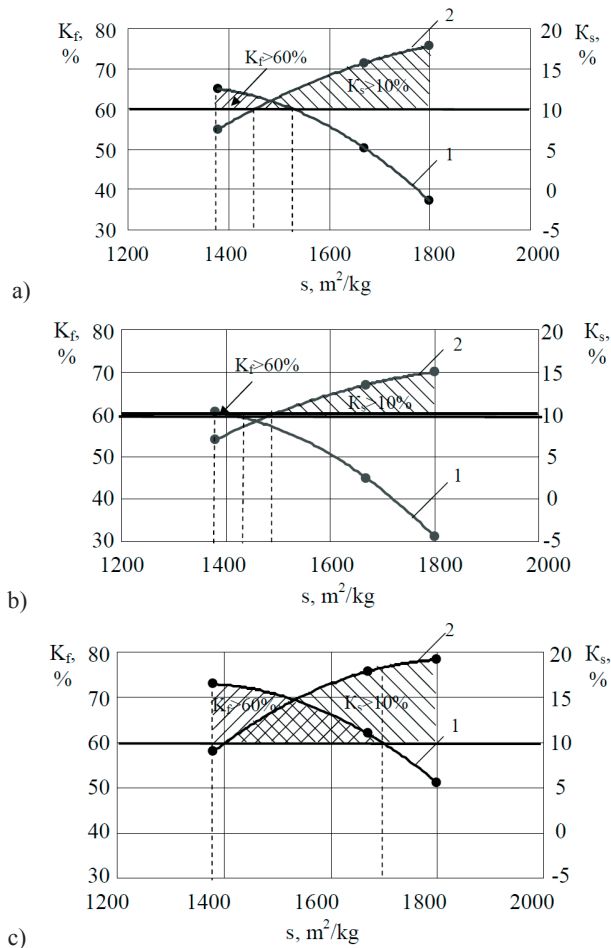


Fig. 3. Influence of specific surface of metakaolin on activity parameters of composite admixture: a) PC₁, SP₁; b) PC₂, SP₁; c) PC₁, SP₂; 1 – approximating curve of coefficient of flowability increasing, K_f , %; 2 – approximating curve of coefficient of strength increasing K_s , %

Fig. 3 demonstrates graphical dependences of activity coefficients on specific surface of metakaolin (approximating curves 1 and 2). Comparing the values of activity coefficients for mortars specimens sets #1 and 2 (Fig. 3a, 3b) it should be mentioned that flowability coefficient values are lower for PC₂ based mortars, that is caused by higher water demand of this cement. Strength of the PC₂ based specimens is also slightly lower. That effect can be explained by lower content of C₃S and C₃A minerals, which have higher hardening rate in early age. Comparing the results of the experimental sets #1 and 2 it can be seen, that Portland cement PC₁ is more effective than PC₂ as it has lower normal consistency. As it can be seen from comparing results of sets #1 and 3, among two superplasticizers SP₂ is more effective one.

Substitution of SP₁ for SP₂ leads to increasing of activity indexes of mortars under other constant conditions (Tab.7, Fig. 3a and c).

7. Selection of constituent materials

For selection of optimal constituents, there must be established specified values of activity indexes. They were set according to requirements of specifications on such composite admixtures containing HRWR and pozzolanic mineral admixture (silica fume and fly ash), that has similar specific surface range as metakaolin samples #1-3, superplasticizer and mineral admixture weight ratio is 1:9 and is the same as in current research [20]. The values are as follows: $K_f \geq 60\%$, $K_s \geq 10\%$.

K_f and K_s values in eq. (6)–(11) were substituted and 3 sets of inequalities (6)–(7), (8)–(9) and (10)–(11) have been solved.

Graphic approach is applied to demonstrate solution regions of inequalities' sets and determinations values for providing required activity indexes (Fig. 3, shaded areas). Thereby:

- for 1st set of experiments (PC₁, SP₁):
when $K_f \geq 60\%$ $s \in [1380;1530] \text{ m}^2/\text{kg}$; when $K_s \geq 10\%$ $s \in [1450;1800] \text{ m}^2/\text{kg}$;
- for 2nd set of experiments (PC₂, SP₂):
when $K_f \geq 60\%$ $s \in [1380;1400] \text{ m}^2/\text{kg}$; when $K_s \geq 10\%$ $s \in [1460;1800] \text{ m}^2/\text{kg}$;
- for 3rd set of experiments (PC₂, SP₁):
when $K_f \geq 60\%$ $s \in [1380;1680] \text{ m}^2/\text{kg}$; when $K_s \geq 10\%$ $s \in [1410;1800] \text{ m}^2/\text{kg}$.

As given results demonstrate, at the 1st set of experiments (PC₁ and SP₁) required activity indexes are achieved within range $s \in [1450;1530] \text{ m}^2/\text{kg}$, at mixing ratio of samples MTK₁ and MTK₂ 1:1 (Fig. 3a). When PC₂ and SP₁ are applied, simultaneous providing indexes values is impossible (Fig. 3b). There are observed lower activity indexes values. The obtained data meets the results of known researches, which prove that HRWR and mineral admixtures have higher activity at medium alumina cements with low normal consistency [21]. Therefore, Portland cement PC₂ is not appropriate for further research.

As it is shown in Fig. 3c, when PC₁ and SP₂ are applied, required values of activity indexes is possible with the range $s \in [1410;1680] \text{ m}^2/\text{kg}$. Superplasticizer SP₂ has higher water reducing and strength increasing effects due to additional mortar compaction. Among metakaolin samples MTK₂ meets the requirements on specific surface ($s = 1670 \text{ m}^2/\text{kg}$).

Regarding the results of tests and calculations, there were selected following constituent materials: Portland cement PC₁, superplasticizer SP₂ and metakaolin MTK₂, as they enable to obtain required activity of composite admixture.

8. Conclusions

It has been determined activity indexes of composite admixture, which consists of superplasticizer and metakaolin, estimated by increasing the parameters of flowability and

strength of mortar. Different factors like type and dosage of constituent materials, specific surface of mineral admixture and properties of cement affect significantly the activity of composite admixture.

By combined solving of simple deterministic and stochastic equations there have been obtained possible solution regions for different combinations of mortar constituents. As a result, cement, chemical and mineral components of composite admixture were selected to meet specified requirements as follows: medium alumina cement, superplasticizer with defoaming agent and metakaolin with specific surface 1670 m²/kg.

The sequence of selection procedure is following:

1) ascertainment of quality parameters required (e.g. increasing of flowability and compressive strength) and their limit values;

2) determination of factors of constituent materials (e.g. specific surface of mineral admixture, dosage etc.) and realization of experiment;

3) calculation of quality parameters and obtaining of experimental equations, describing effects of factors on them;

4) determination of optimal values of variables which meet required quality parameters (by solving the set of inequalities for K_f and K_s).

The approach can be applied for different types of concrete and mortars, but mostly for high energy and resources consuming high-performance concrete and mortars.

The method, presented in the paper, considers the only two parameters: flowability and compressive strength as the most essential ones. However, similar procedure can be applied for testing frost resistance and other properties attributable to durability of concrete and mortars. As at that rate the task of optimization is multiparametric, it might be supposed, that result will be different. Eligibility of the results obtained for cement-sand mortar should be verified for High Performance Concrete.

References

- 1 EN 206-1:2000, *Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity*.
- 2 BS EN 934-2:2009+A1:2012, *Admixtures for concrete, mortar and grout. Concrete admixtures. Definitions, requirements, conformity, marking and labeling*.
- 3 ASTM C 618, *Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*.
- 4 Caldarone M.A. *High-Strength Concrete: A Practical Guide*. CRC Press, 2008, 272p.
- 5 Fic S., Góra J., Piasta W. *The influence of coarse carbonate aggregate on elastic deformation (EC) and strength of HPC*. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Одеса 27 (2007) 318–322.
- 6 Nawy E.G. *Fundamentals of High Strength High Performance Concrete*. Longman Group Limited, Harlow, Longman Pub Group, 1996, 360p.
- 7 Bharatkumar B.H., Narayanan R., Raghuprasad B.K., Ramachandramurthy D.S. *Mix proportioning of high performance concrete*. Cement and Concrete Composites 23(1) (2001)71–80.
- 8 Usharov-Marshak A.V., Zlatkovskii O.A., Ciak M. *Assessing the efficiency of chemical and mineral admixtures in early cement hydration*. Inorganic Materials 40(8) (2004) 886–890. Translated from Neorganicheskie Materialy 40(8) (2004) 1014–1019.
- 9 Ciak M.J. *Metoda oceny efektywności domieszek i kompatybilności systemu cement – domieszka*. Badania Naukowe, Olsztyn: UWM 2 (2005) 122–123.
- 10 Батраков В.Г., Каприелов С.С., Иванов Ф.М., Шейнфельд А.В. *Оценка ультрадисперсных отходов металлургических производств как добавок в бетон*. Бетон и железобетон. 12 (1990) 15–17.
- 11 Shvarzman A., Kovler K., Shamban I., Grader G.S., Shter G.E. *Influence of chemical and phase composition of mineral admixtures on their pozzolanic activity*. Advances in Cement Research 14(1) (2002) 35–41.

- 12 Badogiannis E., Papadakis V.G., Chaniotakis E., Tsvivilis S. *Exploitation of poor Greek kaolins: strength development of metakaolin concrete and evaluation by means of k-value*. Cement and Concrete Research 34(6) (2004) 1035–1041.
- 13 Dvorkin L., Dvorkin O. and Ribakov Y. *Multi-Parametric Concrete Compositions Design*. Nova Science Pub Inc., 2013, 223p.
- 14 Сур М., Lawrence P., Ringot E. *Efficiency of Mineral Admixtures in Mortars: Quantification of the Physical and Chemical Effects of Fine Admixtures in Relation with Compressive Strength*. Cement and Concrete Research, 36(2) (2006) 264–277.
- 15 Dvorkin L., Bezusyak A., Lushnikova N., Ribakov Y. *Using mathematical modeling for design of self-compacting high strength concrete with metakaolin admixture*. Construction and Building Materials 37 (2012) 851–864.
- 16 *Каолины Украины. Справочник*. ред. Ф.В. Овчаренко, Киев, Наук. думка, 1982, 368 с.
- 17 Дворкін Л.І., Лушнікова Н.В, Рунова Р.Ф., Троян В.В. *Метакаолин в будівельних розчинах і бетонах*. К.: Вид. КНУБіА, 2007, 216р.
- 18 Wala D., Rosiek G. *Minerały ilaste jako dodatek pucolanowy do cementów hydraulicznych*. CWB 1 (2003) 27–33.
- 19 Малолепши Я., Питель З. *Влияние метакаолина на свойства цементных растворов*. Минеральные и химические добавки в бетон, под ред. А.В. Ущерова-Маршака, Харьков, Колорит, 2005, 61–77.
- 20 ТУ 5743-083-46854090-98, *Модификатор бетона МБ-С*. Технические условия. Москва, 1998.
- 21 Батраков В.Г. *Модифицированные бетоны. Теория и практика*. Москва, Технопроект, 1998, 768р.
- 22 Collepardi M. *Il nuovo calcestruzzo*, Tintoretto, 2003, 391 p.
- 23 Vizcayno C., Gutiérrez R.M., Castello R., Rodriguez E., Guerrero C.E. *Pozzolan Obtained by Mechanochemical and Thermal Treatments of Kaolin*. Applied Clay Science. 49 (2010) 405–413.
- 24 ASTM C230, *Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*.
- 25 *ASTM C109 / C109M – 13, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars* (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).
- 26 Davison J.J. *Effect of air-content on durability of cement-lime mortars*. Durability of Building Materials 1 (1982) 23–34.
- 27 Dilsa J., Boelb V., De Schuttera G. *Influence of cement type and mixing pressure on air content, rheology and mechanical properties of UHPC*. Construction and Building Materials 41 (2013) 455–463.
- 28 Kerkhoff B., *Benefits of Air Entrainment in HPC*, HPC Bridge Views 23 (2002) 3.

Оптималізація процесу вибору матеріалів складових до бетону і заправ високowартościових

Nataliya Lushnikova

Katedra Architektury i Projektowania Środowiska, Wydział Budownictwa i Architektury, Narodowy Uniwersytet Gospodarki Wodnej, Równe, Ukraina, e-mail:nataliya.lushnikova@gmail.com

Streszczenie: W artykule przedstawiono sprawozdanie na temat podejścia do optymalizacji procesu selekcji składników do betonu wysokowartościowego (BWW) oraz zapraw. Pokazany jest wybrany przykład stosunku cementu, minerałów i chemicznych domieszki, jako najbardziej kosztownych i wpływowych na beton, od punktu maksymalnej aktywności, mierzonej przez wzrostem indeksów zdolności do płynięcia i do wytrzymałości na ściskanie. Metoda łączy w sobie modele do oznaczania aktywności indeksów z prostymi równaniami stochastycznymi uzyskanymi przy obliczeniu wyników eksperymentalnych.

Słowa kluczowe: beton wysokowartościowy, zaprawa, domieszki chemiczne, domieszki mineralne, superplastyfikator, metakaolin, wskaźnik aktywności.

Współczynniki DOP w obserwacjach GNSS*

Kamil Maciuk

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, e-mail: maciuk@agh.edu.pl

Streszczenie: Zintegrowane pomiary satelitarne GNSS (GPS+GLONASS) niosą ze sobą szereg korzyści niemożliwych do osiągnięcia w obserwacjach wykorzystujących pojedynczy system nawigacji satelitarnej. Do głównych zalet należy przede wszystkim możliwość prowadzenia pomiarów w terenach, gdzie było to do tej pory niemożliwe z wykorzystaniem sygnałów GPS. W niniejszej pracy analizowano liczbę widocznych satelitów GNSS oraz wielkości współczynników DOP w warunkach sztucznych przysłonięć horyzontu. Omówiono także korzyści płynące z dołączenia dodatkowych obserwacji innych systemów satelitarnych.

Słowa kluczowe: GPS, GLONASS, pomiary satelitarne, współczynniki.

1. Wprowadzenie

Zalety zintegrowanych pomiarów satelitarnych GNSS (GPS+GLONASS+inne) zostały dostrzeżone już początku lat 90. [1]. W warunkach ograniczonej widoczności sfery niebieskiej, gdy liczba śledzonych satelitów jest mała, bardzo duże znaczenie ma ich geometryczne rozmieszczenie względem obserwatora [2]. Fakt ten musiał być brany pod uwagę przy planowaniu obserwacji satelitarnych w latach 80. i na początku 90. z wykorzystaniem sygnałów systemu GPS, gdy nie był on w pełni operacyjny. Dokładność i precyzja uzyskiwanych rozwiązań satelitarnych związana jest bezpośrednio z liczbą widocznych satelitów i ich geometrią, co w prosty sposób możliwe jest do przedstawienia za pomocą współczynników DOP (ang. *Dilution Of Precision*).

Badania w zakresie określania wpływu dołączenia obserwacji GLONASS na liczbę widocznych satelitów oraz zmiany wartości współczynników DOP były do tej pory szeroko prowadzone. W jednym z pierwszych opracowań dotyczących tej tematyki [3] stwierdzono, iż mimo niepełnej konstelacji satelitów GLONASS zintegrowane sygnały GNSS podnoszą dokładność uzyskiwanych rozwiązań, w stosunku do pojedynczego satelitarnego systemu nawigacyjnego. Z kolei w opracowaniu [4] badano jakość rozwiązań GNSS na terenie kopalni odkrywkowych. Autorzy wykazali, iż w tego typu warunkach pomiary z wykorzystaniem systemu GPS są często niemożliwe do stosowania. Dołączenie dodatkowych obserwacji rosyjskiego systemu satelitarnego umożliwiło na uzyskanie satysfakcjonujących rezultatów, co potwierdzono m.in. za pomocą współczynników HDOP. W artykule [5] autor wielkości współczynnika GDOP w zależności od położenia obserwatora na danej szerokości geograficznej. Autor wykazał, iż dodatkowe obserwacje GLONASS umożliwiają prowadzenia pomiarów na terenach o dużych wielkościach kąta przysłonięcia horyzontu, czego nie zapewnia sam GPS. Podobne wnioski ten sam autor potwierdził także w opracowaniu [6]. Z kolei w artykule [7] przeanalizowano dostępność i jakość rozwiązań z wykorzystaniem wszystkich dostępnych satelitarnych systemów nawigacyjnych (GPS, GLONASS, Galileo). Z uwagi na okres prowadzonych badań, w żadnym z omówionych powyżej przy-

* Artykuł powstał w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.006.

kładów z nie analizowano sygnałów GLONASS okresie pełnej operacyjności rosyjskiego systemu. Dopiero pod koniec 2011 roku GLONASS osiągnął pełną operacyjność [8].

2. Systemy GNSS – korzyści

Prowadzenie obserwacji z wykorzystaniem kilku dostępnych nawigacyjnych systemów satelitarnych niesie ze sobą szereg korzyści. Przede wszystkim większa liczba satelitów umożliwia prowadzenie obserwacji w sposób ciągły i bardziej niezawodny. Szczególnie jest to istotne w dziedzinach związanych z nawigacją morską lub lotniczą (np. podchodzenie samolotów do lądowania). Ponadto dodatkowe sygnały umożliwiają zwiększenie wiarygodności prowadzonych pomiarów, w związku z większą liczbą dostępnych obserwacji. Stosowanie dwóch lub więcej nawigacyjnych systemów satelitarnych umożliwia także kontrolę pomiaru, poprzez porównanie autonomicznych rozwiązań każdego z systemów z osobna. Większa liczba satelitów umożliwia także prowadzenie obserwacji na terenach, gdzie ze względu na duże przysłonięcia horyzontu techniki satelitarne GNSS nie były do tej pory stosowane, czego przykładem mogą być tereny zurbanizowane i górskie. Wykorzystanie kilku systemów GNSS jednocześnie może mieć także wpływ na czas trwania sesji pomiarowej. W przypadku pomiarów w czasie rzeczywistym skraca to czas inicjalizacji, natomiast w przypadku obserwacji statycznych - skrócenie czasu pomiaru.

3. Pomiary kodowe

Idea pomiarów kodowych opiera się na wyznaczeniu pozycji odbiornika w oparciu o pomiar pseudoodległości, która obliczana jest jako iloczyn czasu transmisji sygnału na drodze satelita-odbiornik według wzoru [9]:

$$\rho_K^S = (t_K - t^S) \cdot c \quad (1)$$

gdzie: ρ_K^S – pseudoodległość między satelitą S, a odbiornikiem K, t_K – czas rejestracji sygnału przez odbiornik K, t^S – czas emisji sygnału przez satelitę S, c – prędkość światła w próżni (299 792 458 m/s).

Powyższe równanie będzie tożsame z odległością geometryczną satelita-odbiornik po uwzględnieniu błędów pomiaru związanych m.in. z zegarami satelitów i odbiornika, wpływem atmosfery czy błędem wielotorowości [10][11][12]. Ponadto równanie to będzie prawdziwe po uwzględnieniu efektów relatywistycznych i założenia, iż prędkość światła przy przejściu przez ziemską atmosferę równa się prędkości światła w próżni [13][14]. Powyższe równanie można zatem rozpisać jako odległość geometryczną satelita-odbiornik za pomocą współrzędnych kartezjańskich według wzoru [9]:

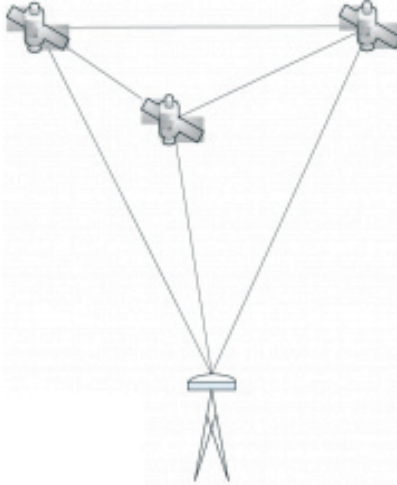
$$\rho_K^S = \sqrt{(x^S - x^K)^2 + (y^S - y^K)^2 + (z^S - z^K)^2} + cdt_K + \Delta\delta \quad (2)$$

gdzie: x^S, y^S, z^S – współrzędne satelity, x^K, y^K, z^K – współrzędne odbiornika, cdt_K – poprawka zegara odbiornika K1, $\Delta\delta$ – błędy (atmosfera, wielotorowość i inne).

Przy obliczaniu współczynników DOP pod uwagę brane są dwa pierwsze czony prawej strony powyższego równania, gdyż opisują one jedynie wpływ rozmieszczenia (geometrii) satelitów na jakość rozwiązań, bez wpływu pozostałych błędów (poza błędem zegara odbiornika).

4. Współczynniki DOP

Współczynniki DOP obliczane są jako funkcja geometrycznego rozmieszczenia satelitów względem obserwatora. W wolnym tłumaczeniu określane są one jako współczynniki „rozmycia precyzji” opisujące jakość spodziewanego rozwiązania jedynie w sposób statystyczny, nie stanowiąc jego bezpośredniej liczbowej wartości [15].

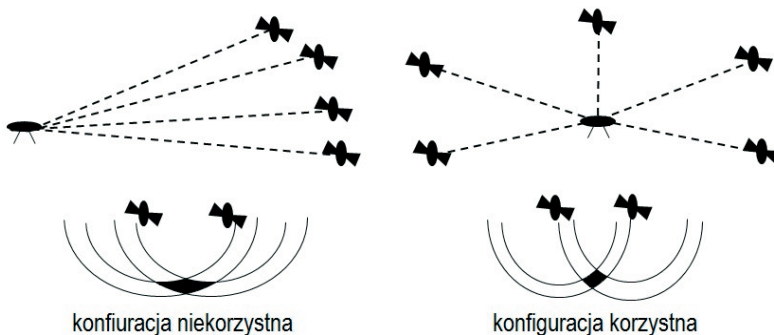


Rys. 1. Budowa tetrahedronu - układ satelity-odbiornik (Źródło: <http://www.novatel.com>)

Wielkości współczynników DOP są odwrotnie proporcjonalne do liczby satelitów i ich wzajemnego rozmieszczenia względem obserwatora. W największym uproszczeniu można to przedstawić jako odwrotność objętości bryły (tetrahedronu, rysunek 1): cztery satelity-obszawator [16]:

$$DOP \approx \frac{1}{V} \quad (3)$$

Im większa objętość bryły, tym lepsze warunki geometryczne satelitów. Informacje tego typu są bardzo ważne przy planowaniu obserwacji, szczególnie w trudnych warunkach terenowych. Pomiarami dla których geometria satelitów jest istotna są metody absolutne (pojedynczego punktu) wyznaczenia pozycji (np. technika PPP) czy rozwiązania kinematyczne, bazujące na pojedynczych następujących po sobie epokach [9].



Rys. 2. Przykłady geometrycznego układu satelity-odbiornik (Źródło: <http://nptel.iitm.ac.in>)

Na rysunku 2 zaprezentowano dwa przykłady geometrycznego rozmieszczenia satelitów względem obserwatora. Niekorzystna konfiguracja powoduje wzrost błędów związanych z pomiarem odległości w zależności od przestrzennego rozmieszczenia satelitów (zaciemniony obszar). Natomiast w przypadku równomiernego ich rozmieszczenia, błędy te są w dużym stopniu niwelowane, zapewniając w sposób teoretyczny większą dokładność.

Wielkości współczynników DOP są odwrotnie proporcjonalne do dokładności wyznaczanej pozycji, w praktyce do ich obliczenia potrzebne są co najmniej cztery zlinearyzowane równania odległości:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{-X^{S1} - X_P}{\rho_P^{S1}} & \frac{-Y^{S1} - Y_P}{\rho_P^{S1}} & \frac{-Z^{S1} - Z_P}{\rho_P^{S1}} & 1 \\ \frac{-X^{S2} - X_P}{\rho_P^{S2}} & \frac{-Y^{S2} - Y_P}{\rho_P^{S2}} & \frac{-Z^{S2} - Z_P}{\rho_P^{S2}} & 1 \\ \frac{-X^{S3} - X_P}{\rho_P^{S3}} & \frac{-Y^{S3} - Y_P}{\rho_P^{S3}} & \frac{-Z^{S3} - Z_P}{\rho_P^{S3}} & 1 \\ \frac{-X^{S4} - X_P}{\rho_P^{S4}} & \frac{-Y^{S4} - Y_P}{\rho_P^{S4}} & \frac{-Z^{S4} - Z_P}{\rho_P^{S4}} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{-X^{Sn} - X_P}{\rho_P^{Sn}} & \frac{-Y^{Sn} - Y_P}{\rho_P^{Sn}} & \frac{-Z^{Sn} - Z_P}{\rho_P^{Sn}} & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

gdzie: X^{Sn} , Y^{Sn} , Z^{Sn} – współrzędne satelitów, X_P , Y_P , Z_P – współrzędne odbiornika, ρ_P^{Sn} – odległość geometryczna satelity–odbiornik.

Macierz \mathbf{A} zawiera układ zlinearyzowanych n -równań odległości. W oparciu o macierz obserwacji \mathbf{A} , definiującej układ geometryczny satelity-odbiornik obliczana jest macierz kowariancji \mathbf{C} wyznaczanych parametrów:

$$\mathbf{C} = [\mathbf{A}^T \mathbf{A}]^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & \sigma_{XY}^2 & \sigma_{XZ}^2 & \sigma_{Xcdt}^2 \\ \sigma_{YX}^2 & \sigma_Y^2 & \sigma_{YZ}^2 & \sigma_{Ycdt}^2 \\ \sigma_{ZX}^2 & \sigma_{ZY}^2 & \sigma_Z^2 & \sigma_{Zcdt}^2 \\ \sigma_{cdtX}^2 & \sigma_{cdtY}^2 & \sigma_{cdtZ}^2 & \sigma_{cdt}^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Macierz \mathbf{C} w bezpośredni sposób opisuje jakość geometrycznego rozmieszczenia satelitów względem odbiornika w geocentrycznym układzie ECEF (ang. *Earth Centered Earth Fixed*). Po wyeliminowaniu ostatniego wiersza i kolumny w macierzy \mathbf{C} związanych z błędem zegara odbiornika, otrzymywana jest macierz \mathbf{C}_{XYZ} dotycząca błędów współrzędnych kartezjańskich. W celu określenia informacji o jakości rozwiązania w układzie topocentrycznym macierz \mathbf{C}_{XYZ} należy przekształcić do postaci:

$$\mathbf{C}_{NEU} = \mathbf{F}_T \mathbf{C}_{XYZ} \mathbf{F} = \begin{bmatrix} \sigma_E^2 & \sigma_{EN}^2 & \sigma_{EU}^2 \\ \sigma_{NE}^2 & \sigma_N^2 & \sigma_{NU}^2 \\ \sigma_{UE}^2 & \sigma_{UN}^2 & \sigma_U^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Macierz \mathbf{F} stanowi macierz transformacji między układem geocentrycznym ECEF, a układem topocentrycznym NEU:

$$\mathbf{F}^T = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (7)$$

Współczynniki DOP jako jednostki bezwymiarowe w oparciu o macierz \mathbf{C} można zapisać jako:

$$\text{Geometryczny} \quad - \quad GDOP = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2 + \sigma_U^2 + \sigma_{cdt}^2}$$

$$\text{Pozycyjny} \quad - \quad PDOP = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2 + \sigma_U^2}$$

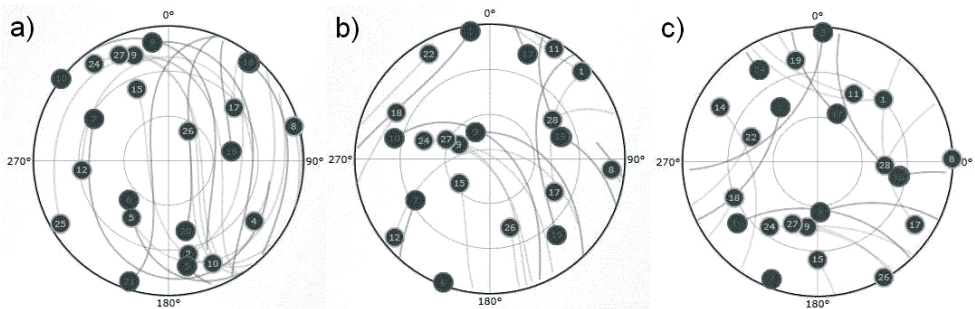
$$\text{Poziomy} \quad - \quad GDOP = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2}$$

$$\text{Pionowy} \quad - \quad GDOP = \sqrt{\sigma_U^2}$$

$$\text{Czasowy} \quad - \quad TDOP = \sqrt{\sigma_{cdt}^2}$$

5. Metodyka badań

Orbity satelitów GPS i GLONASS nachylone są do płaszczyzny równika pod kątem odpowiednio 55° i $64,8^\circ$, w połączeniu z odpowiednią dużą wysokością (20 180 km i 19 100 km ponad powierzchnią Ziemi) zapewniają one widoczność satelitów dla każdego punktu kuli ziemskiej [17]. Rysunek 3 stanowi przykład widoczności układu satelitów GNSS w dniu 01.01.2013 r. o godzinie 0:00 czasu UTC, na trzech charakterystycznych szerokościach geograficznych, są to odpowiednio: równik (a) i szerokość geograficzna 50° (b) oraz biegun północny (c).



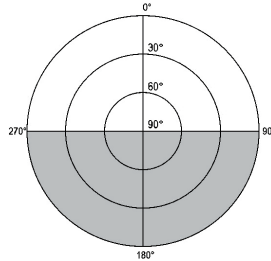
Rys. 3. Przykłady widoczności układu satelitów GPS+GLONASS
(Źródło: <http://www.trimble.com/GNSSPlanningOnline>)

W niniejszej pracy analizowano liczbę widocznych satelitów GPS i GLONASS, a także wielkości współczynników PDOP w warunkach sztucznych przysłoneń horyzontu, w kombinacji GPS i GNSS (GPS+GLONASS). Miało to na celu określenie wpływu dołączenia sygnałów GLONASS na jakość rozwiązań satelitarnych. Eksperyment podzielono na dwie części. W pierwszej badano wpływ dołączenia sygnałów GLONASS na liczbę widocznych satelitów w warunkach w pełni odkrytego horyzontu i 50% kąta przysłonięcia horyzontu od strony południowej (rysunek 4). Drugą część eksperymentu stanowiła badanie wielkości współczynnika PDOP w dla różnej wielkości minimalnego kąta przysłonięcia horyzontu. W niniejszej pracy autor analizował wielkości współczynników DOP i liczby widocznych satelitów na punkcie o współrzędnych 50° N, 20° E, 200 m.

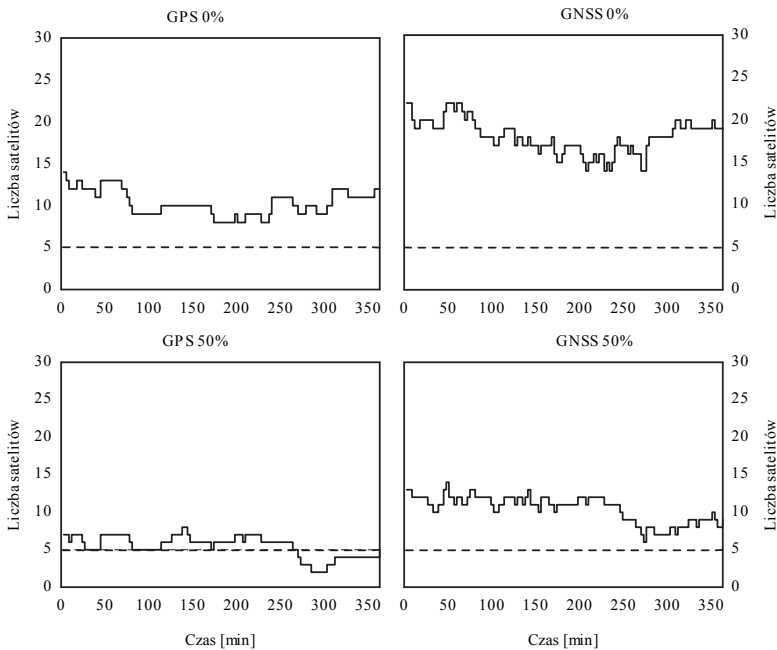
6. Wyniki

Na rysunku 4 przedstawiono schemat 50% przysłonięcia horyzontu od strony południowej na analizowanym punkcie. Z uwagi na konstrukcję segmentów kosmicznych nawigacyjnych systemów satelitarnych oraz położenie obszaru badawczego na półkuli północnej, przysłonięcie południowej części nieba w największym stopniu zmniejsza liczbę dostępnych sygnałów.

Analiza liczby widocznych satelitów obejmowała 6 godzin obserwacji z interwałem 3-minutowym dnia 01-01-2013 w godzinach 0:00-6:00 czasu UTC.



Rys. 4. Schemat wielkości przysłonięcia horyzontu w analizowanym punkcie (Źródło: Opracowanie własne)



Rys. 5. Liczba widocznych satelitów (Źródło: Opracowanie własne)

Na rysunku 5 linią ciągłą przedstawiono liczbę widocznych satelitów GPS i GNSS w warunkach odkrytego horyzontu i 50% kąta przysłonięcia od strony południowej. Natomiast linia przerywana oznacza minimalną liczbę 5 satelitów wymaganą do inicjalizacji i prowadzenia pomiarów w trybie RTK. W przypadku obserwacji GPS w warunkach odkrytego horyzontu liczba widocznych satelitów wahała się między 8, a 14 (przy średniej liczbie 10,3), dla systemów GNSS było to odpowiednio 14 i 22, przy średniej liczbie 18 sateli-

tów. W obu przypadkach możliwe było ciągle prowadzenie pomiarów w czasie rzeczywistym (min. 5 satelitów) przez cały okres pomiaru. W przypadku przysłonięcia południowej strony horyzontu liczba widocznych satelitów GPS wahała się między 2, a 8 (średnio 5,5). Zapewniało to widoczność wymaganej liczby widocznych satelitów w bardzo ograniczonym okresie. W przypadku sygnałów GNSS liczba widocznych satelitów wahała się między 6, a 14 (średnio 10,5). Obserwacje GNSS dawały więc możliwość prowadzenia pomiarów RTK przez cały analizowany okres, co nie było możliwe w przypadku wykorzystania samych tylko obserwacji GPS.

Tabela 1 zawiera rozmieszczone w przedziałach procentowych wielkości współczynnika PDOP dla obserwacji GPS i GNSS, w zależności od wielkości kąta przysłonięcia horyzontu dla sesji 24-godzinnej z interwałem 10-minutowym z dnia 01.01.2013 roku.

Tabela 1. Przedziały procentowe wielkości współczynników PDOP w zależności od wielkości kąta przysłonięcia horyzontu (Źródło: Opracowanie własne)

Maska elewacji	0°		10°		20°		30°		40°	
Widoczność horyzontu	100,00%		79,01%		60,49%		44,44%		30,86%	
System	GPS	GNSS	GPS	GNSS	GPS	GNSS	GPS	GNSS	GPS	GNSS
Średnia liczba satelitów	11,3	19,6	8,4	15,0	6,4	11,3	4,8	8,6	3,7	6,4
PDOP<2	95,2	100,0	50,3	100,0	2,1	40,7	0,0	1,4	-	-
2<PDOP<=3	3,4	-	37,2	-	40,7	45,5	4,1	24,1	-	-
3<PDOP<=4	1,4	-	8,3	-	32,4	5,5	13,8	25,5	0,7	6,9
4<PDOP<=5	-	-	2,1	-	6,9	2,8	10,3	15,2	3,4	11,7
5<PDOP<=6	-	-	1,4	-	3,4	2,1	10,3	8,3	5,5	9,7
6<PDOP<=8	-	-	0,0	-	2,1	0,7	9,0	7,6	6,9	14,5
8<PDOP<=20	-	-	0,7	-	3,4	2,1	19,3	12,4	20,0	27,6
PDOP>20	-	-	-	-	9,0	0,7	33,1	5,5	63,4	29,7

Przyjmuje się, że wartości współczynnika PDOP mniejsze niż 3 zapewniają bardzo dobre warunki geometryczne prowadzenia obserwacji [18]. Dla każdego z analizowanych przypadków maski przysłonięcia pomiary GNSS zapewniały lepsze wartości współczynnika PDOP, poprzez niemal dwukrotnie większą liczbę widocznych satelitów w stosunku do sygnałów GPS. Dla wartości 0° i 10° maski przysłonięcia horyzontu 100% obserwacji GNSS posiadało PDOP mniejszy niż 2. Przy masce 20° średnia liczba widocznych satelitów GNSS wynosiła powyżej 11 (wobec jedynie ponad 6 dla GPS) i zapewniała PDOP < 3 dla ponad 85% obserwacji (GPS jedynie 43%). Należy zwrócić uwagę, iż już 20° maska odcięcia horyzontu ograniczała 40% widoczności sfery niebieskiej ponad obserwatorium, co często spotykane jest na terenach zurbanizowanych. Podobnie dla pozostałych masek, zintegrowane sygnały GNSS w każdym z przypadków wypadały znacznie korzystniej w porównaniu do samych sygnałów GPS.

7. Podsumowanie

Obecnie działające i w pełni operacyjne są dwa systemy nawigacji satelitarnej, możliwa jest także rejestracja sygnałów innych, będących obecnie w fazie budowy systemów. Dołączenie obserwacji GLONASS do istniejących sygnałów GPS zapewnia korzystniejsze i bardziej równomierne rozmieszczenie satelitów nad obserwatorium oraz umożliwi gromadzenie większej liczby obserwacji, w stosunku do pomiarów GPS. Największą korzyścią płynącą z dołączenia obserwacji GLONASS czy innych systemów nawigacji satelitarnej jest możliwość prowadzenia ciągłych obserwacji w trudnych warunkach terenowych (znacznego przysłonięcia części horyzontu), gdzie nie było to do tej chwili możliwe dla pojedynczego systemu satelitarnego.

Literatura

1. Kleusberg A. *Comparing GPS and GLONASS*. GPS World 1(6) (1990) 52–54.
2. Lemmens M. *Geo-information*. Dordrecht, Springer Netherlands 2011 55–83.
3. Roßbach U., Hein G., Eissfeller B. *Experiences in DGPS/DGLONASS Combination*. GPS Trends in Precise Terrestrial, Airborne, and Spaceborne Applications (2011) 197–201.
4. Johnson L., Diggelen F. Van. *Advantages of a combined GPS+ GLONASS precision sensor for machine control applications in open pit mining*. Position Location and Navigation Symposium IEEE 1998 (2011) 549–554.
5. Januszewski J. *Geometry of GPS and GLONASS for Different Number*. Annual Of Navigation 2 (2000) 47–56.
6. Maciuk K, Borowski Ł, Lewińska P. *Analiza wyników wyznaczenia przemieszczeń pionowych z wykorzystaniem sygnałów GLONASS na przykładzie symulowanej niecki obniżeniowej*. Wiadomości Górnicze 7–8 (2013) 413–421.
7. Tian S., Li G., Chang J., Li Y., Tian X. *Performance analysis of GPS, GLONASS, GALILEO and integrated GPS-GALILEO in China and its neighboring area*. ICAIC 2011 (2011) 287–293.
8. Cai C., Gao Y. *Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning*. GPS Solutions 17(2) (2012) 223–236.
9. Lamparski J., *NAVSTAR GPS: od teorii do praktyki*. Olsztyn, UWM, 2001.
10. Parkinson B. W., Spilker J.J. *Global Positioning System: Theory and Applications*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.
11. Qiu W. *An analysis of some critical error sources in static GPS*. Surveying University of Calgary, 1993.
12. Yongjun Z., Zemin W. *Analyses and solutions of errors on GPS/GLONASS positioning*. Geospatial Information Science 5(2) (2002) 6–12.
13. Blewitt G. *Basics of the GPS Technique: Observation Equations*. Geodetic Applications of GPS, 1997.
14. Julien O., Zheng B., Dong L., Lachapelle G. *A complete software-based IF GNSS signal generator for software receiver development*. ION GNSS 2004.
15. MacNicol J., *Study of satellite navigation, dilution of precision and positioning techniques for use on and around the moon*. Air Force Institute of Technology, 2002.
16. Dutt V., Rao G., Rani S., Babu S., Goswami R., Kumari C. *Investigation of GDOP for precise user position computation with all satellites in view and optimum four satellite configurations*. The Journal of Indian Geophysical Union 13(3) (2009) 139–148.
17. Seeber G., *Satellite Geodesy*. Berlin, New York, Walter de Gruyter, 2007.
18. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more*. Strauss GmbH, Mörlenbach, Germany: Springer Wien New York, 2008.

DOP coefficients in GNSS observations

Kamil Maciuk

AGH University of Science and Technology, e-mail: maciuk@agh.edu.pl

Abstract: Integrated GNSS (GPS+GLONASS) satellite measurements carry a number of benefits. The main advantages are especially possibilities of conducting measurements in areas where use of a single satellite system was not impossible so far. In this paper number of visible satellites and DOP coefficients values in terms artificial horizon obstacles were analysed. Paper also discusses benefits of including additional observations from other navigation satellite systems.

Keywords: GPS, GLONASS, satellite measurements, DOP coefficients.

Zespół mieszkaniowy Towarzystwa Osiedli Robotniczych na warszawskim Grochowie

Karolina Matysiak

Wydział Architektury, Politechnika Warszawska, e-mail: a210822@arch.pw.edu.pl

Streszczenie: Osiedle Towarzystwa Osiedli Robotniczych na warszawskim Grochowie to jeden z charakterystycznych dla dwudziestolecia międzywojennego przykładów funkcjonalistycznego osiedla budynków z tanimi mieszkaniami dla ubogich rodzin robotniczych. Małe, tanie mieszkania dla robotników, mające zapewnić odpowiednie warunki zdrowotne swoim mieszkańcom, wpisywały się w ogólnościatowy ruch i stanowiły kontynuację działań zapoczątkowanych już w latach dwudziestych przez Warszawską Spółdzielnię Mieszkaniową. Osiedle na Warszawskim Grochowie mimo wyróżniającej się formy to temat słabo rozpoznany. W tekście na podstawie przeprowadzonych badań archiwalnych odtworzony zostanie całkowity kształt osiedla wraz z obiektami tworzącymi infrastrukturę społeczną, w którym zrealizowane obiekty stanowić miały jedynie połowę wszystkich budynków. Pozwoli to na jednoznaczne określenie funkcji poszczególnych przestrzeni w części zrealizowanej. Analiza, wprowadzanych wraz z budową zespołu, nowych przepisów w sprawie ochrony przeciwlotniczej, skomplikowanego statusu własnościowego działek sąsiadujących, a także trudnych warunków terenowych w porównaniu z innymi realizacjami tego typu osiedli, pozwoli wskazać dokładne pochodzenie wyjątkowych dla zespołu form architektonicznych w postaci łączników i pionów. Porównanie projektów niezrealizowanych obiektów z obiektami zbudowanymi wraz z przeprowadzonymi badaniami archiwalnymi stanie się podstawą do zakwestionowania autorstwa pojawiających się we wszystkich źródłach architektów, umożliwiając także wskazanie przyczyn, które spowodowały im tego autorstwa przypisanie.

Słowa kluczowe: osiedle mieszkaniowe, robotnicy, tanie mieszkania, Grochów, budownictwo społeczne.

1. Wprowadzenie

Usytuowany między ulicami: Podskarbińską, Stanisławowską i Kobielską, złożony z 10 budynków mieszkalnych zespół to jedno z dwóch osiedli wzniesionych we własnym zakresie przez Towarzystwo Osiedli Robotniczych w Warszawie. Osiedle to zgodnie z realizowanymi przez TOR zadaniami jest przykładem rozwijającego się dwudziestolecia międzywojennym budownictwa socjalnego, którego podstawowym celem było zapewnienie odpowiednich warunków bytowych najbiedniejszym warstwom społeczeństwa. Tematyka osiedli społecznych w międzywojennej Polsce w tym działalności Towarzystwa Osiedli Robotniczych i powstających w jej wyniku budynków znalazła się w polu zainteresowania badaczy już wiele lat temu i jest dziś tematem dobrze rozpoznany. Jednak, co dziwi osiedle na Grochowie pozostaje jednym z zespołów, o których wiadomo niewiele. Informacje na jego temat pojawiają się przede wszystkim na stronach internetowych prowadzonych przez miłośników Warszawy, bądź przewodników. Ani jednej wzmianki dotyczącej zespołu nie znajdujemy w poświęconym problemowi poprawy sytuacji

mieszkańciew czasopiśmie „Dom, Osiedle, Mieszkanie”, które na bieżąco informowało o realizowanych przez TOR obiektach. Z powodu braku zachowanych planów budynków, wszelkie informacje bazują na pamięci obecnych mieszkańców. Powtarzające się krótkie notatki na temat osiedla zawierają informację o autorstwie Natalii Hiszpańskiej i Mirosława Szabuniewiczza, datowanie sytuowane w zależności od źródła między 1935 a 1938 rokiem¹, oraz towarzyszącą im krótką charakterystykę nie odnoszącą się bezpośrednio do faktów dotyczących założenia na Grochowie, ale odpowiednią dla większości zrealizowanych w dwudziestolecium międzywojennym osiedli o charakterze społecznym². Warszawski zespół mieszkaniowy TOR na Grochowie wyróżnia się ciekawą, niespotykaną formą i rozwiązaniami funkcjonalnymi nie występującymi w pozostałych realizacjach warszawskich osiedli. Każdy z budynków posiada wyodrębniony w bryle ryzalit, w którym umieszczone zostały pomieszczenia nie pełniące funkcji mieszkalnej. Budynki, usytuowane przy skrzyżowaniu ulic Podskarbińskiej i Kobielskiej, od strony północnej połączone zostały ceglanyimi dwukondygnacyjnymi łącznikami. Niestety nigdzie nie pojawia się geneza tego charakterystycznego dla grochowskiego osiedla rozwiązania.

1.1. Sytuacja mieszkaniowa w Polsce i okoliczności powstania Towarzystwa Osiedli Robotniczych

Sytuacja mieszkaniowa w okresie międzywojennym w Polsce nie odbiegała szczególnie od tego jak wyglądały problemy mieszkaniowe w pozostałych krajach, można powiedzieć, że wyglądała ona nawet gorzej. Wiązało się to ze szczytem, trwającego już od pewnego czasu, pogłębionego przez skutki I wojny światowej, kryzysu mieszkaniowego. Świadomość złego stanu rzeczy pojawiła się już pierwszej ćwierci XX-wieku. Przedmiotem krytyki były nieodpowiednie warunki mieszkaniowe panujące w zamieszkiwanych przez najbiedniejszą warstwę robotniczą suterrenach i oficynach, które wynikały przede wszystkim z architektonicznych rozwiązań niezapewniających dostatecznej ilości światła i powietrza. Drugi element stanowiło znaczne przeludnienie tych mieszkań. Podobnie działo się w Warszawie, w której sytuacja była znacznie gorsza niż w innych miastach. Około 1915 roku na jeden dom mieszkalny przypadało 95 osób, podczas gdy w miastach takich jak Paryż, Poznań, Praga, Berlin czy Wiedeń, na podobnej wielkości budynek, co najmniej o połowę mniej³. W 1915 roku wydano *Potrzeby estetyczne Warszawy* autorstwa historyka sztuki - Alfreda Lauterbacha. Przedmiotem jego analizy stały się pochodzące z XIX wieku obszary Warszawy, nazywane w publikacji „nowymi dzielnicami”. Ich charakter poddawany jest krytyce w zestawieniu z zabudową wcześniejszą. W 1917 roku zostało przez magistrat powołane Biuro do Spraw Regulacji i Zabudowania Miasta, zajmujące się zbieraniem danych potrzebnych do sporządzenia projektów regulacyjnych⁴. Całość zadań w dziedzinie mieszkalnictwa, do tej pory leżącego w rękach prywatnych inwestorów –

¹ Według publikacji Leśniakowskiej a także Gminnej Ewidencji Zabytków osiedle zrealizowano w latach 1935-1937, M. Leśniakowska, *Architektura w Warszawie 1919-1939*, Warszawa 2000 [1], Gminna Ewidencja..., na licznych stronach internetowych można spotkać datowanie na lata 1937-1938.

² M. Leśniakowska, op.cit., Gminna Ewidencja Zabytków załącznik do zarządzenia Nr 2998/2012 Prezydenta m. st. Warszawy z dnia 24. 07. 2012 r., poz. 00006766, 00006767. 00006765, 00006868, 00006869, 00006911, 00006912, 00006913, 00006914, 00006325, www.torgrochow.cba.pl (dostęp 9 II 2014), www.twoja-praga.pl (dostęp 9 II 2014).

³ A. Lauterbach, *Potrzeby estetyczne Warszawy*, Warszawa 1915, s.8 [2].

⁴ S. Różański, *Planowanie przestrzenne Warszawy (1916-1939) w: Warszawa II Rzeczypospolitej (1918-1939)*, Warszawa 1968, s. 324 [3].

właściciele kamienic czynszowych, została przekazana gminom na mocy dekretu o samorządzie miejskim z 4 II 1919 r., który jako jeden z pierwszych poruszał problem zdrowia mieszkańców⁵. Prowadzone w tym okresie statystyki pokazują że kanalizację posiadało zaledwie 15 % mieszkań robotniczych, z kolei kontrola na Woli wykazała że zaledwie 25% posiadało klozety⁶. W przypadku kamienic często był to jeden ustęp na cały pion mieszkalny. W drewnianych barakach korzystano z wychodków lub dołów kloacnych na zewnątrz. Ówczesne mieszkania robotnicze zlokalizowane były zazwyczaj poza centrum. Śródmiejskie małe lokale były to raczej mieszkania kawalerskie dla klas średnich. Pojawiające się w prasie międzywojennej artykuły świadczą o dużej świadomości negatywnego wpływu takich mieszkań na zdrowie. Jako główne problemy diagnozowano wilgoć spowodowaną brakiem odpowiedniego nasłonecznienia i przewietrzania mieszkań, oraz trudności w ogrzewaniu powodujące duże różnice temperatur, a także dym powstający w wyniku ogrzewania niecentralnego. Takie warunki mieszkaniowe powodowały rozwój reumatyzmu, krzywicy u dzieci, robactwa, gruźlicy, a także choroby wzorku, powstające szczególnie u wykonujących prace domowe przy nieodpowiednim oświetleniu. Widziano także związek złych warunków mieszkalnych z chorobami nerwowymi⁷.

Dla rozwoju myśli architektonicznej w stolicy w dwudziestoleciu międzywojennym duże znaczenie miał fakt, że w Warszawie skupiona była większość znaczących architektów. Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej opuściło pierwsze powojenne pokolenie, które rozwiązanie kwestii mieszkaniowej uznawało za sprawę kluczową. Należący do ich grona Syrkusowie czy Brukalscy, dzięki powiązaniom z CIAM przeszczepiali na grunt polski awangardowe rozwiązania. W 1921 roku została założona Warszawska Spółdzielnia Mieszkaniowa, która już w 1925 roku zaczęła realizować pierwszą kolonię na Żoliborzu. Mimo, że celem powstania Spółdzielni była poprawa warunków życia najbiedniejszych warstw społecznych, w statucie nie było mowy o mieszkaniach robotniczych, członkiem spółdzielni mógł zostać każdy. Mieszkania te mimo że znacznie tańsze od dostępnych na wolnym rynku, dla wielu rodzin robotniczych były wciąż zbyt drogie, w takiej sytuacji mieszkańcami pierwszych kolonii WSM tylko w niewielkiej części byli robotnicy, reszta były to rodziny inteligentkie⁸.

W celu dalszego poszukiwania rozwiązań mających zapewnić mieszkania dla robotników 26 kwietnia 1929 roku miała miejsce inauguracja Polskiego Towarzystwa Reformy Mieszkaniowej o działalności naukowo-badawczej. 2 marca 1930 roku Towarzystwo zwołało konferencję poświęconą sprawie mieszkaniowej, która miała posłużyć do opracowania ustawy mieszkaniowo-budowlanej⁹. Jako kwestie mieszkaniową rozumiano sposób w jaki zamieszkuje warstwa robotnicza. Dwoma podstawowymi problemami były zbyt wysokie czynsze i przeludnienie lokali. Teodor Toeplitz postulował, że czynsz nie powinien wynosić więcej niż 1/6, maksymalnie 1/5 zarobków, tymczasem koszt komornego oparty na kapitale uwzględniającym ulgi wynosił ok. 43 % zarobków, bez ulg jeszcze więcej. PTRM postanowiło interweniować i przedstawić projekt organizacji budowy osiedli robotniczych władzom państwowym. W celu realizacji tych postulatów Rada Ministrów powzięła 1 lutego 1934 decyzję o utworzeniu Towarzystwa Osiedli Robotniczych¹⁰.

⁵ J. Cegielski, *Budownictwo mieszkaniowe w Warszawie w okresie międzywojennym w: Warszawa II...*, s. 119 [4].

⁶ *Z Polskiego Towarzystwa Reformy Mieszkaniowej*, „Dom Osiedle Mieszkanie” 1934, nr 1, s. 20 [5].

⁷ A. Skwarczyńska, *Złe mieszkanie a zdrowie*, „Dom Osiedle Mieszkanie” 1934, nr 12, s. 12,13,14 [6].

⁸ E. Mazur, *Warszawska Spółdzielnia Mieszkaniowa, 1921-1939: materialne warunki bytu robotników i inteligencji*, Warszawa 1993, s. 41- 42, 44. [7]

⁹ H. Syrkusowa, *Ku idei osiedla społecznego*, Warszawa 1976, s. 97 [8].

¹⁰ H. Syrkusowa, *op. cit.*, s. 163 [8].

Uznano, że sfery robotnicze nie mogą korzystać z normalnej akcji kredytowej. Dlatego państwo przekazało 5 mln zł na finansowanie tej akcji tworząc TOR o kapitale zakładowym 500 tys. zł. Do zadań Towarzystwa należeć miało inicjowanie budowy, a także eksploatacja i sprzedaż mieszkań budowanych w postaci domów zbiorowych bądź indywidualnych¹¹. Uchwała powołując organizację określiła wysokość czynszu na 20-25 zł dla rodzin o maksymalnych zarobkach 250 zł¹², co stanowiło nieporównanie mniej niż wcześniej. Ostatecznie TOR powstał 29 marca 1934 roku jak spółka z ograniczoną odpowiedzialnością, a jego zarządcą został Jan Strzelecki¹³. Spółka miała stosować normalizację i standaryzację w celu zmniejszenia kosztów budowy mieszkań o pow. 36-42 m².

W latach 1934-1939 ze środków TOR zrealizowano szereg budynków mieszkalnych przeznaczonych dla robotników na terenie całej Polski. Budowano zarówno domy wielorodzinne jak i jednorodzinne w formie zabudowy wolnostojącej lub bliźniaczej. Obiekty wznoszono w dużych miastach tj. Warszawa, Katowice, Łódź, Poznań, Kraków, jak i mniejszych osadach jak Mościce, Janowa Dolina czy Zagnańsk. Podstawowym kryterium była budowa domów w formie osiedli, ponieważ pozwalało to na standaryzację i potaniecie kosztów¹⁴. Towarzystwo Osiedli Robotniczych udzielało wsparcia finansowego na budowy obiektów spełniających jego założenia programowe gminom, spółdzielniom i instytucjom. Pełniło niejako rolę pośrednika między Bankiem Gospodarstwa Krajowego a inwestującym. Oceniało zrealizowane budowlane i ich celowość, a także inicjowało budowę i sporządzało roczny plan akcji budowy małych i tanich mieszkań. Dyspozycja środkami BGK przeznaczanymi na realizację obiektów następowała na wniosek TOR-u¹⁵. W taki sposób w wyniku współpracy z Warszawską Spółdzielnią Mieszkaniową zrealizowane zostało m. in. osiedle WSM na Rakowcu¹⁶. Budowano także osiedla własne, których administratorem pozostawał TOR. Przykładem takiej realizacji jest omawiany w artykule zespół mieszkaniowy.

2. Projekt I serii

2.1. Wybór lokalizacji i zrealizowane w jej obrębie obiekty

Towarzystwo Osiedli Robotniczych określiło wytyczne dla wyboru terenów, na których miałyby być lokalizowane osiedla. Przede wszystkim istotne były koszty terenu i jego uzbrojenia. Ponieważ mieszkania przeznaczone były dla warstw najbiedniejszych, których przedstawiciele często nie było stać na korzystanie ze środków komunikacji, aby zredukować czas dojazdu ustalono, że miejsce zamieszkania nie może być oddalone od zakładu pracy więcej niż 1,5 -2 km¹⁷. Grochów był drugim po Woli dużym i stale rozwijającym się skupiskiem zakładów przemysłowych. Nie dziwi więc wybór tej lokalizacji na kolejne po wybudowanym na Kole osiedle. Teren położony w pobliżu Państwowych Zakładów Inżynierii był jedynym spośród zaproponowanych, który uznano za odpowiedni. Jednak

¹¹ Zob. *Wiadomości z akcji drobnego budownictwa. Budownictwo robotnicze.*, „Przegląd budowlany” rubr. *Ruch budowlany*, 1934, z. 2, s. 49 [9].

¹² H. Syrkusowa, *op. cit.* s. 163 [8].

¹³ *T.O.R.*, „Dom. Osiedle. Mieszkanie” 1934, nr 3-4, s. 40 [10].

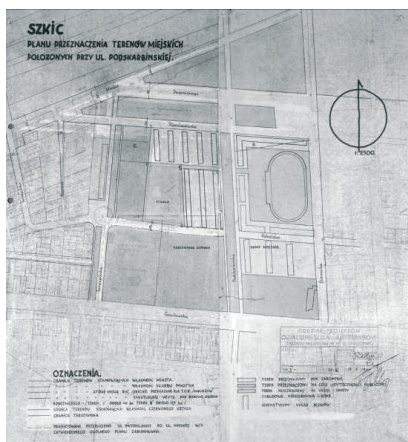
¹⁴ J. Strzelecki, *Organizacja i działalność Towarzystwa Osiedli Robotniczych*, „Dom Osiedle Mieszkanie” 1934, nr 2, s. 13. [11]

¹⁵ *Ibidem*, s. 10-11.

¹⁶ *Ibidem*, s. 16

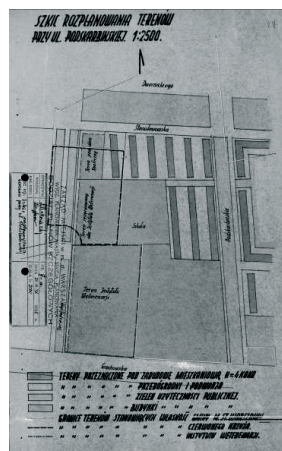
¹⁷ *Wytyczne obowiązujące przy wyborze terenu pod budowę osiedla T. O. R.*, „Dom Osiedle Mieszkanie” 1937, n 4-6, s. 64 [12].

Rada Nadzorcza zdecydowała, że jego zakup uniemożliwia zbyt wysoko cena¹⁸. Aby rozwiązać ten problem zawarta została umowa z Zarządem Miejskim w Warszawie. Gmina miała dostarczyć teren o powierzchni 2,6 ha z pełnym uzbrojeniem oddalony 5 minut drogi pieszej od przystanku tramwajowego. W zamian mogła mieć wpływ na dobór lokatorów przedstawiając konkretnych kandydatów, odpowiadających wymogom TOR¹⁹. Kryteriami przydziału były: wysokość zarobków, sytuacja mieszkaniowa, stan rodziny, wartość moralna i społeczna kandydata²⁰. W ramach umowy miasto zyskało prawo własności do 1/12 całkowitej części²¹. Przekazało więc pod zabudowę dwa bloki terenów, na których obecnie znajdują się budynki. Ich wybór podyktowany był własnością przewidzianych pod osiedle gruntów. Przekazane 2 bloki o łącznej powierzchni 26 779 m² należały do gminy i mogły od razu zostać wydzierżawione TOR-owi²². W związku z planowaną inwestycją został sporządzony Plan Przeznaczenia Terenów Miejskich położonych przy ul. Podskarbińskiej.



Rys. 1. Szkic Planu Zagospodarowania Terenów Miejskich położonych przy ulicy Podskarbińskiej, *Żr. APW, AN, sygn. 11938, k. 33*

Fig. 1. Sketch of Urban Development Plan in Podskarbińska Street



Rys. 2. Szkic Zagospodarowania Terenów przy ul. Podskarbińskiej z wyznaczonym terenem pod dom społeczny oraz granicami własności. *Żr. APW, AN, sygn. 11938, k. 27*

Fig. 2. Sketch of the Land Development in Podskarbińska Street with the area under the Social House and property boundaries

Przeznaczenie obu bloków pod obiekty TOR-u nie tylko pozwalało na zlokalizowanie mieszkań w pobliżu miejsc pracy ale także na zapewnienie odpowiednich warunków do życia, zgodnie z rozwijającą się ideą osiedla społecznego. Na przekazanym terenie wybudowano dziesięć czterokondygnacyjnych budynków mieszkalnych. Cztery ustawiono szczytowo wzdłuż ulicy Stanisławowskiej oddzielając je parterowymi pawilonami usługowymi, sześć kolejnych usytuowano w bloku określonym ulicami Podskarbińską i Kobielską i połączono wspartymi na słupach ceglanych łącznikami. Na terenach

¹⁸ T. O. R. *Sprawozdanie z działalności Towarzystwa Osiedli Robotniczych spółki z ograniczoną odpowiedzialnością za rok 1937*, Warszawa 1938, s. 10 [13].

¹⁹ *Ibidem*.

²⁰ T. O. R. *Sprawozdanie z działalności Towarzystwa Osiedli Robotniczych spółki z ograniczoną odpowiedzialnością w Warszawie za rok 1938*, Warszawa 1939, s. 52 [14].

²¹ *Ibidem*, s. 50.

²² APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k. 2, 3 [15].

bezpośrednio sąsiadujących z blokiem zabudowy przy ul. Podskarbińskiej zaplanowana została szkoła. Z kolei po drugiej stronie tej ulicy znajdowały się tereny sportu i rekreacji. Podobne przeznaczenie przypisano działce zlokalizowanej po drugiej stronie ulicy Stanisławowskiej²³. Na terenie tym w 1938 roku zaprojektowano budynek Ośrodka Wychowania Fizycznego²⁴.

2.2. Charakterystyka lokali mieszkalnych

Według wytycznych TOR realizowane lokale mieszkalne nie powinny przekraczać powierzchni 36 m²²⁵. Standardem dla mieszkań robotniczych o takiej powierzchni było wyposażenie ich w ustępy i umywalki, jednak funkcję kąpeli i prania wyprowadzano poza nie, do pomieszczeń wspólnych. W zrealizowanych na Grochowie budynkach można wyróżnić 3 typy mieszkań: jednoizbowe o pow. 19,5 m², półtoraizbowe o pow. 31 m², oraz półtoraizbowe o powierzchni 36,5 – 37 m²²⁶. Przeważały mieszkania półtoraizbowe. W budynkach usytuowanych przy ulicy Stanisławowskiej najczęściej było mieszkań trzeciego typu. Obiekty składały się z powtarzalnych sekcji, w każdej po cztery identyczne mieszkania. Wyjątek stanowiła sekcja końcowa z blokiem sanitarnym²⁷. Mniejsze półtoraizbówki były więc zlokalizowane w budynkach z łącznikami.

Towarzystwo powstało w 1934 roku kiedy budowano mieszkania o najbardziej ograniczonej powierzchni. Budowa osiedli mieszkaniowych, mających poprawić warunki bytowania rodzin robotniczych w Polsce, rozpoczęła się już w latach dwudziestych. Wtedy, w ramach działalności Warszawskiej Spółdzielni Mieszkaniowej, Stanisław Tołwiński jako minimalną jednostkę uznał dwa pokoje z kuchnią i WC²⁸. Od 1930 roku sytuacja robotników pogarszała się, wzrosły czynsze przy jednoczesnym spadku pensji. Aby zapewnić im mieszkania odpowiednie dla ich funduszy zaczęto budować coraz mniejsze lokale. W 1934 roku za podstawową jednostkę mieszkalną dla 4-6 osobowej rodziny uznano mieszkanie półtoraizbowe²⁹. Za kulminacyjny punkt poszukiwań minimalnego mieszkania na terenie Warszawy można uznać, finansowane z kredytów TOR, osiedle WSM na Rakowcu z mieszkaniami o powierzchni niespełna 33 m². Stało się ono wzorem dla zrealizowanej później I serii osiedla TOR na Kole³⁰. W budynkach tych powierzchnia mieszkań została jeszcze bardziej ograniczona i nie przekraczała 30 m²³¹. Jednak metraż ten był zbyt mały. W oparciu o doświadczenia mieszkańców w II serii osiedla na Kole powierzchnia mieszkalna została zwiększona do 32,6 m² oraz 35,8 m²³². Mieszkania na Grochowie mają jeszcze większy metraż, przekraczający ustalone w wytycznych 36 m². Jednak założenie to było jednym z najpóźniej budowanych osiedli robotniczych przed wojną. Założono już wówczas kryzys ekonomiczny pierwszej połowy lat 30-tych, co umożliwiło na realizację większych i bardziej komfortowych lokali.

²³ *Ibidem*, k. 28.

²⁴ APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11942 [16].

²⁵ J. Strzelecki, *op. cit.*, s. 14 [11].

²⁶ Sprawozdanie z działalności ... za rok 1938, s. 46 [14].

²⁷ Wysłanie tego wniosku możliwe jest dzięki zachowanym planom obiektów II serii, z których część to budynki analogiczne dla zbudowanych przy ulicy Stanisławowskiej.

²⁸ Ł. Heyman, *Nowy Żoliborz 1918-1939. Architektura-Urbanistyka*, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk 1976, s. 87 [17].

²⁹ *Życie W.S.M.*, 1934, s. 1-2.

³⁰ *Osiedle T. O. R. na Kole*, „Dom Osiedle Mieszkanie” 1935, nr 11 s. 33 [18].

³¹ *Ibidem*.

³² Sprawozdanie z działalności ... za rok 1937, s. 42 [13].

2.3. Czynniki warunkujące formę budynków

Mimo, że obszar miasta na którym postanowiono wznieść osiedle był stosunkowo niezabudowany, a większość ulic istniała jedynie na planach, przekazane przez miasto dwa bloki terenów miały ściśle określone granice, które uwarunkowały układ oraz bryły budynków. Podskarbińska, Stanisławowska i Kobielska ograniczały przekazane bloki zabudowy od wschodu, południa i północy. Przebieg Podskarbińskiej i Kobielskiej nie mógł ulec przesunięciu ponieważ wzdłuż nich już w drugiej połowie lat 20-tych zostały wzniesione domy komunalne przeznaczone dla bezdomnych, w których mogliby oni wynajmować mieszkania na prawach lokatorów³³. Kompleks hoteli dla bezdomnych złożony był z trzech murowanych gmachów hoteli wzniesionych w formach historycznych na narożniku ulic Podskarbińskiej i Kobielskiej według projektu A. Matuszewskiego, a także trzech pomniejszych budynków drewnianych i murowanych usytuowanych po drugiej stronie ulicy Kobielskiej³⁴. Tereny bezpośrednio sąsiadujące od zachodu z działkami przekazanymi TOR-owi należały do Polskiego Czerwonego Krzyża.

Typowa dla „mieszkań społecznie najpotrzebniejszych” minimalna powierzchnia, nie mogła pomieścić łazienek, które lokowano w specjalnie wygospodarowanej ogólnodostępnej przestrzeni. W I serii pierwszego własnego warszawskiego osiedla TOR na Kole został zastosowany układ korytarzowy. Dzięki temu wydzielone na każdej kondygnacji dwa pomieszczenia wspólnie były dostępne dla wszystkich mieszkańców³⁵. Zastosowany w II serii osiedla układ segmentowy wymagał już innego rozwiązania. Z tego powodu łazienki i pralnie zostały umieszczone w piwnicach. Wysokie odpowiednio wentylowane strychy użytkowe pozwalały mieszkańcom suszyć pranie na poddaszu³⁶. Żadne z tych rozwiązań nie mogło zostać zastosowane na Grochowie. Blokowy układ budynków sugerował rozwiązanie podobne jak w drugiej serii budynków na Kole, jednak nie było to możliwe z dwóch powodów. Pierwszym z nich była wzmoczona ochrona na wypadek wojny. W styczniu 1937 roku Rada Ministrów wydała Rozporządzenie dotyczące konieczności przygotowania obrony przeciwlotniczej i przeciwgazowej. Ochronę osiedli i obiektów budowlanych miał zapewniać Minister Spraw Wewnętrznych³⁷. Mimo, że szczegółowe wytyczne i zalecenia w dziedzinie budowy obiektów zgodnie z przepisami ochrony przeciwlotniczej i przeciwgazowej zostały określone w Rozporządzeniu Rady Ministrów obowiązującym od 29 kwietnia 1938 roku³⁸, działania wynikające z konieczności tego typu ochrony zastosowano już w 1937 roku min. w budynkach TOR-u na Grochowie. Poza żelbetową konstrukcją dachu, zastępującą dotychczas stosowaną drewnianą, w piwnicach umieszczone zostały schrony. Z tego powodu ulokowanie tam łazienek i pralni, jak miało to miejsce w przypadku II serii budynków na Kole nie było możliwe³⁹. Niskie położenie terenu w stosunku do kanałów uniemożliwiało większe zagłębienie piwnic⁴⁰, dlatego naturalnym rozwiązaniem byłoby w tym przypadku przeniesienie ich na poddasze razem z suszarniami. Niestety ściśle wyznaczone granice działki wykluczyły ten zabieg. Dotychczas realizowane budynki wielorodzinne były to z reguły obiekty trzykondygnacyjne. Jednak miasto zmieniło wytyczne dla zagospodarowania tej części terenu, wymagając zabudowy czterokondygnacyjnej.

³³ *Budownictwo mieszkaniowe magistratu m. st. Warszawy 1924-1928*, s. 5 i 6 [19].

³⁴ *Ibidem*, s. 7, 10, 20, 21, 24.

³⁵ *Osiedle T. O. R. na Kole*, „Dom, Osiedle, Mieszkanie” 1935, nr 11, s. 35 [18].

³⁶ *T. O. R. Sprawozdanie (...) za rok 1937*, Warszawa 1938, s. 46 [13].

³⁷ Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 I 1937, Dz. U. nr 120. poz. 73 [19].

³⁸ Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 IV 1938, Dz. U. nr 32, poz. 278 [20].

³⁹ *T. O. R. Sprawozdanie (...) za rok 1937*, Warszawa 1938, s. 46 [14].

⁴⁰ *Ibidem*.

cyjnej⁴¹. Ograniczone działki nie pozwalały na zwiększenie rozstawu budynków, a podwyższenie ich o jedną kondygnację powodowało, że nie spełniały jednego z podstawowych założeń - odpowiedniego nasłonecznienia. Projektanci musieli dążyć do osiągnięcia minimalnej wysokości budynków, co mogło odbyć się jedynie kosztem obniżenia poddasza⁴². Z tego powodu każdy budynek posiada przy jednym ze szczytów wyodrębniony pion w którym zlokalizowane zostały łazienki i pralnie. W przypadku budynków w bloku przy skrzyżowaniu ulic Podskarbińskiej i Kobielskiej strychy musiano obniżyć tak bardzo, że nie mogły pełnić swoich funkcji, dlatego także suszarnie przeniesiono w tej części osiedla do specjalnie zaprojektowanych przybudówek łączących budynki i dostępnych bezpośrednio z bloków z łazienkami i pralniami. Bloki i łączniki zostały usytuowane od strony północnej, co było wynikiem chęci uniknięcia zacienienia podwórek⁴³. Rozwiązanie pomieszczeń wspólnych na Grochowie nadaje budynkom wyjątkowy charakter. Takie rozplanowanie zwiększające niewątpliwie koszty budowy nie było realizowane w przypadku nie wymagających tego obiektów. Zmieniające się przepisy, a także szczególne uwarunkowania lokalizacji, zmusiły architektów do poszukiwania rozwiązania innego od typowych, co zaowocowało osiedlem wyróżniającym się zarówno pod względem rozwiązań funkcjonalnych jak i estetycznych.



Rys.3. Widok na bloki przy ul. Stanisławowskiej od strony pionów mieszczących pralnie i suszarnie. [15]

Fig. 3. View of the blocks in Stanisławowska Street showing laundry and drying rooms



Rys.4. Widok na bloki mieszczące pralnie i łazienki połączone suszarniami w budynkach przy ul. Kobielskiej. [15]

Fig. 4. View of the blocks containing laundry rooms and bathrooms connected with the drying rooms in the buildings in Kobielska Street

2.4. Funkcje towarzyszące i Dom Społeczny

Osiedle TOR na Grochowie zostało zaprojektowane zgodnie z wszelkimi postulatami jakie powinno spełniać przed wojną osiedle społeczne. Do odpowiednich warunków jakie należało zapewnić mieszkańcom należały nie tylko zdrowe, odpowiednio nasłonecznione mieszkania z niskim czynszem, ale także cała infrastruktura towarzysząca, pozwalająca mieszkańcom realizować swoje potrzeby życiowe i kulturalne. Z tego powodu Rada Nadzorcza T. O. R. powzięła uchwałę zezwalającą na przeznaczenie środków pochodzących z kredytów także na budowę obiektów o charakterze użyteczności publicznej⁴⁴.

⁴¹ T. O. R. *Sprawozdanie (...) za rok 1937*, Warszawa 1938, s. 46 [14], APW, Akta nieruchomości, sygn. 11938, k. 27 i 34 [15], sygn. 11939, k.19 i 25 [21].

⁴² T. O. R. *Sprawozdanie (...) za rok 1937*, Warszawa 1938, s. 46 [13].

⁴³ *Ibidem*.

⁴⁴ *Ibidem*, s. 37.

Ważnym elementem było zapewnienie mieszkańcom w bliskiej odległości sklepów, aby mogli oni oszczędzić czas, szczególnie jeśli pracująca pani domu nie mogła z powodów finansowych pozwolić sobie na pomoc domową. Jednocześnie lokale te powinny oferować towary odpowiednie dla zasobów finansowych przeciętnego robotnika. Na osiedlu grochowskim usługi zostały zrealizowane w parterowych pawilonach, ulokowanych między szczytami budynków mieszkalnych wzdłuż ulicy Stanisławowskiej. Mieściły się tam: jatką, pasztecziarnia i sklep spożywczy.



Rys. 5. Wnętrze jednego z pawilonów – jatką [15].
Fig. 5. The Interior of one of the pavilions – a shambles



Rys. 6. Wnętrze jednego z pawilonów – pasztecziarnia [15]
Fig. 6. The Interior of one of the pavilions – Patisserie



Rys. 7. Wnętrze jednego z pawilonów – sklep spożywczy [15]
Fig. 7. The Interior of one of the pavilions-grocery store



Rys. 8. Parterowe pawilony usługowe między budynkami przy ul. Stanisławowskiej [15]
Fig. 8. Ground-floor service pavilions between buildings in Stanislawowska Street

Towarzystwo Osiedli Robotniczych podobnie jak Warszawska Spółdzielnia Mieszkaniowa prowadziło działalność społeczno-wychowawczą, która realizowana była przez odciążenie mieszkań dzięki możliwości przebywania w pomieszczeniach ogólnych, jednocześnie wpływających na rozwój kulturalny mieszkańców. W osiedlu na Kole w tym celu w 1937 roku oddano do użytku dom społeczny w którym znalazły się: przedszkole, sala zebrań, biblioteka, czytelnia, 3 przychodnie lekarskie, Kropla Mleka i lokale przeznaczone na działalność stowarzyszeń lokatorskich⁴⁵. W zrealizowanym zespole brak domu społecznego., jednak w niektórych źródłach pojawiają się informacje o mieszczących

⁴⁵ *Ibidem*, s. 32.

się łącznikach świetlicach⁴⁶. Istniejące budynki mieszkalne na Grochowie zostały w okresie powojennym przebudowane. Z powodu trwającej wiele lat fatalnej sytuacji mieszkaniowej, przestrzenie w łącznikach i blokach sanitarnych zostały zaadaptowane na mieszkania.



Rys. 9. Wtórnie wybite otwory okienne w trakcie adaptacji łączników na mieszkania, fot. K. Matysiak
Fig. 9. Secondary window holes stamped in the course of adapting the connectors for housing

Brak zachowanych planów obiektów, oraz znajomości przedstawionej w poprzednim rozdziale genezy ich form, powoduje przypuszczenia, według których poza pralniami i suszarniami łączniki miały pełnić także częściowo funkcje domu społecznego. Wyjaśnienie pochodzenia łączników i pionów sanitarnych, a także zachowana w Archiwum Państwowym w Warszawie dokumentacja pozwalają odrzucić tego typu przypuszczenia. Dom Społeczny na Grochowie nigdy nie powstał, jednak od samego początku był on planowany. Przygotowany przez miasto Szkic Rozplanowania Terenów przy ul. Podskarbińskiej przewidywał przeznaczenie na dom społeczny terenu przy skrzyżowaniu ulicy Stanisławowskiej z Terespolską⁴⁷. Jednak tereny te nie były w całości własnością miasta i mogły zostać przekazane TOR-owi dopiero w przyszłości. Z tego powodu już na samym początku w trakcie planowania osiedla na dom społeczny przeznaczona została działka narożna przy skrzyżowaniu ulic: Podskarbińskiej i Stanisławowskiej⁴⁸. Budynek ten został zaprojektowany z dwóch odrębnych brył w części parterowej, łączących się na poziomie pierwszego piętra, tworząc wsparty na kolumnach nawiązujących do łączników z suszarniami podcień⁴⁹. Mimo, że działka ta w szkicowym planie zagospodarowania terenów przewidziana była pod zabudowę mieszkaniową, umieszczenie tam domu społecznego było możliwe ponieważ ogólny plan zabudowania miasta st. Warszawy przeznaczał ją pod budynki użyteczności publicznej⁵⁰. Na początku września 1938 roku projekt domu społecznego był już gotowy⁵¹. Miał być to kolejny zrealizowany po wybudowaniu 8 bloków mieszkalnych ze sklepami obiekt. Niestety szczegółowe rysunki nie zachowały się, nie można więc określić jak rozmieszczono w nim funkcje. Na ostateczny brak realizacji obiektu miały wpływ okoliczności formalno-prawne niezależne od inwestującego. Mimo

⁴⁶ *Funkcjonalistyczne osiedle TOR, Grochów*, <http://fotoforum.gazeta.pl/72.2.746.46342674.46599026.html> (Dostęp 13.03.2014) [22].

⁴⁷ APW, Akta nieruchomości, sygn. 11938, k. 27 [15].

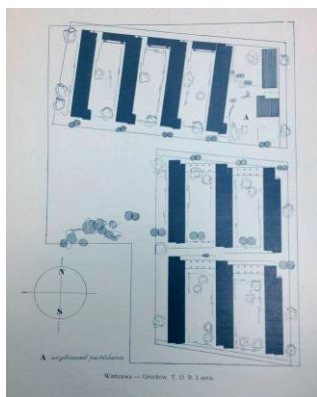
⁴⁸ APW, Akta nieruchomości, sygn. 11938, k. 43 [15].

⁴⁹ APW, Akta nieruchomości, sygn. 11938, k. 8 i 9 [15].

⁵⁰ APW, Akta nieruchomości, sygn., 11938, k. 6 [15].

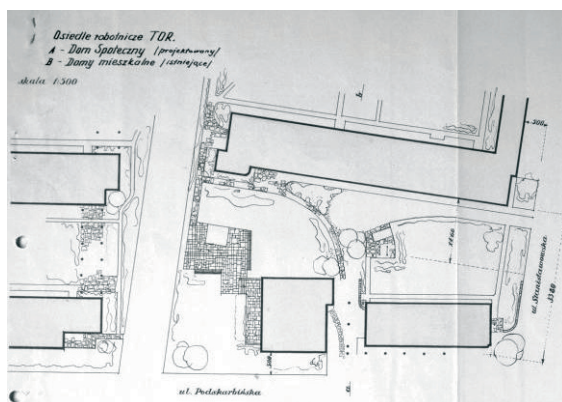
⁵¹ APW, Akta nieruchomości, sygn. 11938, k. 5 [15].

przychylniej opinii miasta wystąpiły przeszkody ze strony udzielającego Kredyty Banku Gospodarstwa Krajowego. Decyzja Rady Nadzorczej TOR zezwalająca na budowę obiektów użyteczności ogólnej, został podważona. BGK zakwestionowało możliwość budowy tego typu budynków ze środków przeznaczonych na realizację osiedli. Po rozpatrzeniu sprawy przez Komitet Ekonomiczny Ministrów protest BGK został oddalony. Jednak potrzebny na to czas spowodował, że rozpoczęcie budowy przesunięto na wiosnę 1939 roku⁵². W efekcie obiekt nigdy nie powstał. Najbliższe urządzenia społeczne: biblioteka i przedszkole a także tereny sportowe z boiskiem znajdowały się zatem po drugiej stronie ulicy Podskarbińskiej w zbudowanych w latach 1927-1928 budynkach mieszczących lokale dla bezdomnych⁵³.



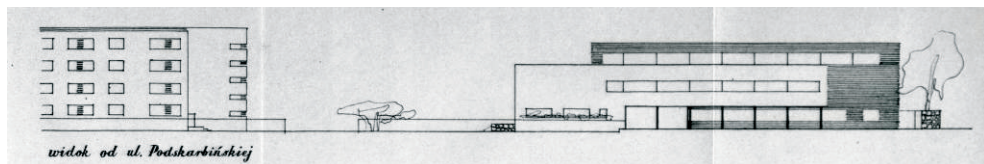
Rys. 10. Plan I serii osiedla [15]

Fig. 10. Plan of I series of settlements



Rys. 11. Projekt szkicowy domu społecznego

Fig. 11. The draft sketch of social house



Rys. 12. Projekt szkicowy domu społecznego

Fig. 12. The draft sketch of social house

3. Niezrealizowany projekt budowy II serii osiedla

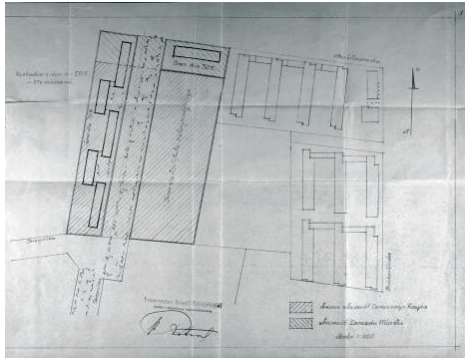
Od samego początku planowano osiedle jako większe. Zrealizowany zespół budynków to jedynie pierwsza seria. W szkicowych planach przeznaczenia terenów w 1937 roku, poza zabudowanymi pierwszą serią dwoma blokami, uznano za odpowiednie tereny przy wschodnim narożniku skrzyżowania ulic: Podskarbińskiej i Stanisławowskiej. Tereny te należały częściowo do miasta, a częściowo do Skarbu Państwa. Użytkownikiem były z kolei Państwowe Zakłady Inżynierii⁵⁴. Budynki stanowiłyby uzupełnienie zabudowy w pobliżu istniejącego boiska sportowego, otoczonego od zachodu i południa przez komunalne domy

⁵² T. O. R. *Sprawozdanie (...) za rok 1938*, Warszawa 1939, s. 11 [14].

⁵³ *Budownictwo mieszkaniowe magistratu...*, s. 7 i 8 [23].

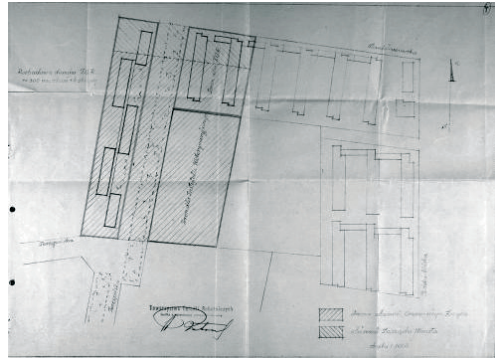
⁵⁴ APW, Akta nieruchomości, sygn. 11939, k. 17 i 22 [21].

przeznaczone dla bezdomnych⁵⁵. Drugim obszarem były tereny stanowiące bezpośrednią kontynuację przekazanych pod pierwszą serią przy ulicy Stanisławowskiej, należące w wąskim pasie przyulicznym do miasta, a w dalszej części do Polskiego Czerwonego Krzyża⁵⁶. Od 1937 roku Towarzystwo Osiedli Robotniczych prowadziło z użytkownikami określonych terenów oraz z miastem pertraktacje, mające na celu ich zakup pod dalszą budowę osiedla. Rozbudowa osiedla na terenach należących do Czerwonego Krzyża wymagała zmiany przebiegu części ulicy Terespolskiej. Bez przesunięcia jej biegu na zachód, wąski pas przekazanych pod rozbudowę osiedla terenów pozostałby odcięty od całości arterią komunikacyjną. Byłoby to wyjątkowo niekorzystnie i niefunkcjonalne⁵⁷.



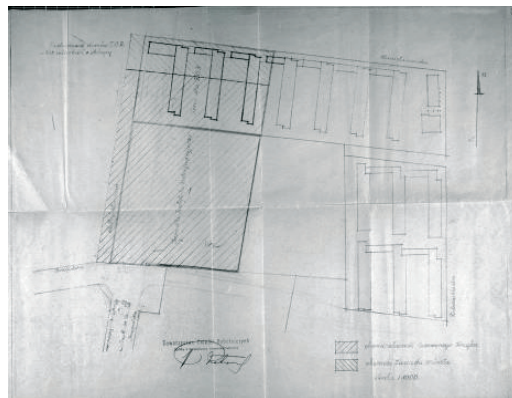
Rys. 13. Możliwe rozplanowanie budynków, na terenach należących do miasta. Źr. APW, AN, sygn. 11939, k. 1

Fig. 13. Possible layout of buildings, in areas belonging to the city



Rys. 14. Możliwe rozplanowanie budynków, na terenach należących do miasta po przyłączeniu części terenów Czerwonego Krzyża

Fig. 14. The possible layout of buildings, in areas belonging to the city after the annexation of parts belonging to the Red Cross



Rys. 15. Możliwe rozplanowanie budynków po przyłączeniu części terenów należących do Czerwonego Krzyża oraz przesunięciu ulicy Terespolskiej

Fig. 15. Possible layout of buildings after the annexation of part of the land belonging to the Red Cross, and moving the Terespolska Street

⁵⁵ Tereny oznaczone na rysunkach literą B, APW, Akta nieruchomości, sygn. 11938, k. 28 i 33 [15].

⁵⁶ Tereny oznaczone na rysunku literą C, APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k. 28 [15].

⁵⁷ APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11939, k. 1, 2, 4,5, 6, 7, 9, 10, 12 [21].

W 1939 roku powstały plany budowy II serii osiedla⁵⁸. Nowe budynki miały powstać na terenach należących do miasta, rozszerzonych o te, które planowano zakupić od Czerwonego Krzyża. Można zatem stwierdzić, że starania przyniosły oczekiwane rezultaty. Siedem bloków zlokalizowano na obszarze ograniczonym ul. Terespolską i Stanisławowską bezpośrednio przyległym do zrealizowanej I serii osiedla. Dzięki nieznacznemu przesunięciu ulicy Terespolskiej w kierunku wschodnim, udało się zmieścić cztery budynki ustawione szczytowo wzdłuż ulicy Stanisławowskiej, stanowiące kontynuację budynków I serii. Trzy z nich są analogiczne do zrealizowanych już w I serii obiektów wzdłuż ulicy Stanisławowskiej⁵⁹. Za nimi zlokalizowano trzy krótsze, które prawdopodobnie w nawiązaniu do budynków II serii planowano początkowo połączyć wyniesionymi ponad parter łącznikami. Są one widoczne na zachowanym planie sytuacyjnym osiedla z maja 1939 roku, nie towarzyszyły mu jednak ich plany architektoniczne⁶⁰. Z zachowanych późniejszych, pochodzących z lipca 1939 wynika, że nie planowano wówczas już żadnych łączzeń, zaprojektowano za to poddasze użytkowe na którym zlokalizowano łazienki i pralnie⁶¹, zastąpione łącznikami i pionami sanitarnymi we wcześniejszych obiektach. Można zatem sądzić, że z koncepcji połączenia budynków zrezygnowano na etapie ich szczegółowego projektowania. Ostatni z budynków usytuowany wzdłuż ulicy Terespolskiej odpowiada długością dwóm rzędom budynków II serii, a na jego parterze umieszczony został przejazd bramny odpowiadający szerokością odległości między rzędami⁶². Projekt drugiej serii nie przewidywał budowy na początkowo wskazywanych terenach po drugiej stronie ulicy Podskarbińskiej, użytkowanych przez Państwowe Zakłady Inżynierii. Tereny te zresztą oddzielone arterią komunikacyjną nie były atrakcyjne, ponieważ nie tworzyłyby spójnej całości z osiedlem. Nowoprojektowane budynki były to obiekty czterokondygnacyjne nawiązujące ceglanym detałem do budynków powstałych w pierwszej serii, bądź stanowiące ich powtórzenia⁶³. Lokale mieszkalne zgodnie z tendencją wzrostową w ostatnich latach przed wybuchem wojny, otrzymać miały powierzchnie jeszcze większe niż w I serii. Część mieszkań miała mieć metraż powyżej 40 m². W projektowanym wzdłuż obecnej ulicy Terespolskiej budynku pojawiły się nawet lokale dwupokojowe ze służbówką i łazienką⁶⁴. Projekty budynków zostały przesłane w celu zatwierdzenia do Działu Regulacji i Pomiarów Zarządu Miejskiego pod koniec lipca 1939 roku⁶⁵, wybuch II wojny światowej uniemożliwił ich realizację.

⁵⁸ Projekty poszczególnych budynków II serii znajdują się w Archiwum Państwowym w Warszawie, Akta Nieruchomości, sygn. 11938 [15].

⁵⁹ Zob. APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k. 11, 13, 14, 15 [15].

⁶⁰ APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k. 24 [15].

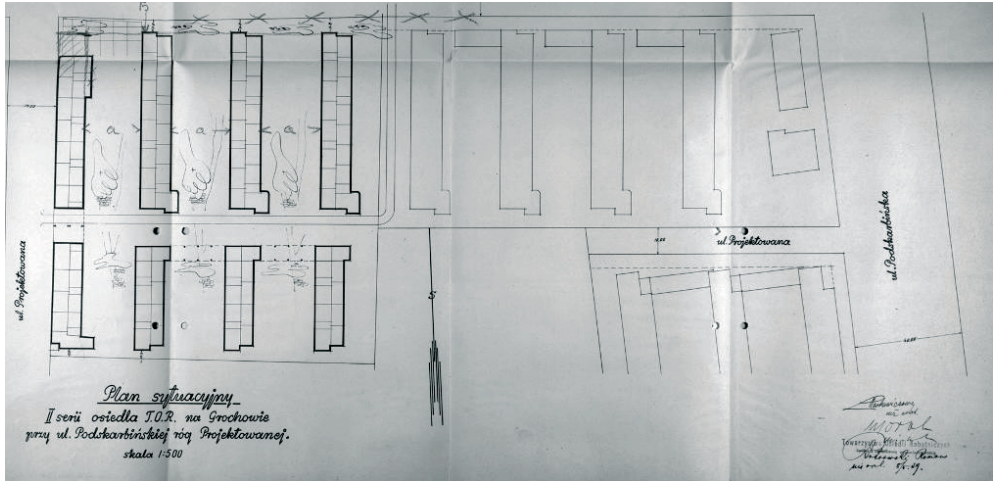
⁶¹ APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k. 18, 19, 20 [15].

⁶² APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k. 24 [15].

⁶³ Zob. Elewacje projektowanych budynków, APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k. 13, 14, 15, 18, 19, 20, 24 [15].

⁶⁴ APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k. 24 [15].

⁶⁵ APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k. 11, 12, 16 [15].



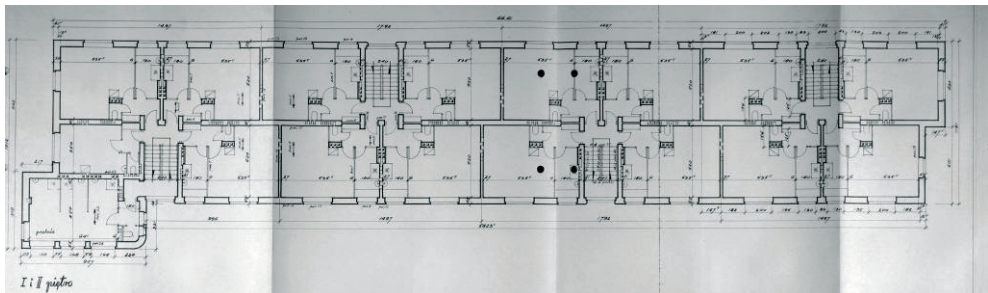
Rys. 16. Plan osiedla TOR Grochów II i fragment I serii, Żr. APW, AN, sygn. 11938, k. 44

Fig. 16. Plan of Housing Estate of Workers Society in Warsaw's Grochów II and part of series I



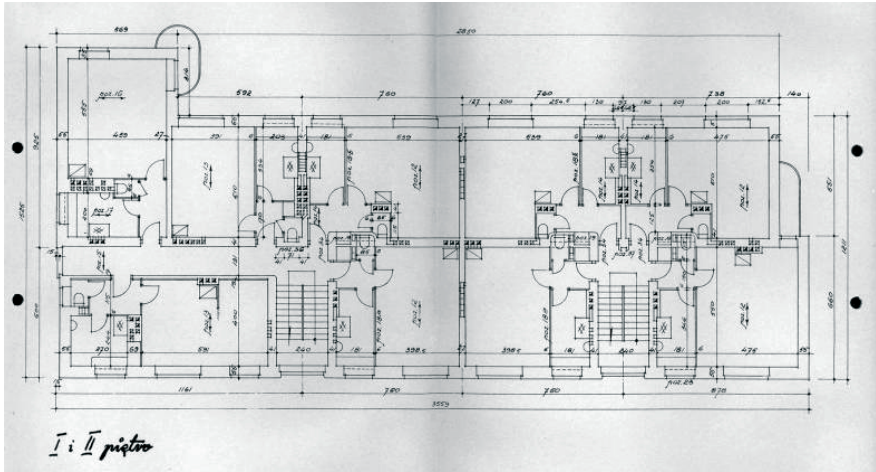
Rys. 17. Elewacja wschodnia budynku II serii przy ul Stanisławowskiej, Żr. APW, AN, sygn. 11938, k. 13

Fig. 17. Eastern Façade of the building of series II in Stanislawowska Street

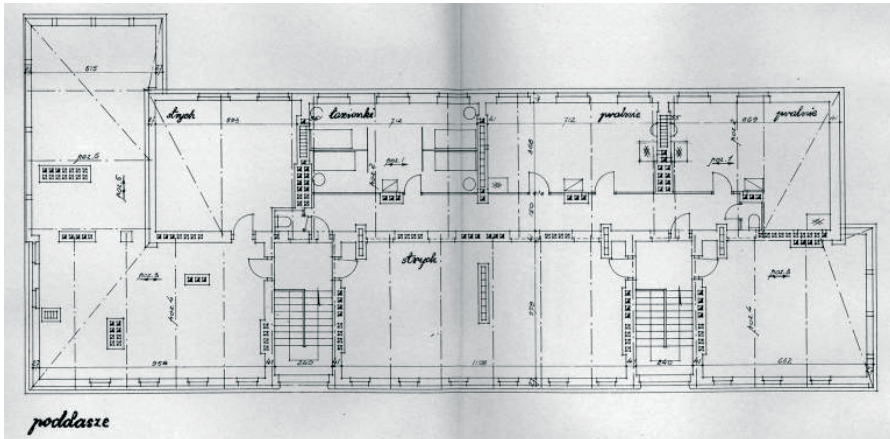


Rys. 18. Rzut kondygnacji powtarzalnej budynku II serii przy ul Stanisławowskiej, Żr. APW, AN, sygn. 11938, k. 13

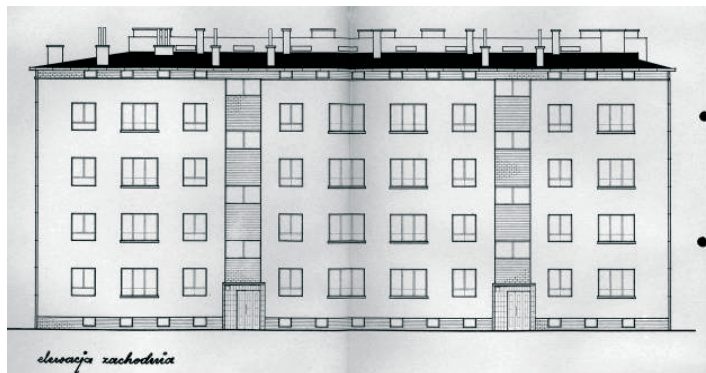
Fig. 18. The plan of repetitive floor of series II building in Stanislawowska Street



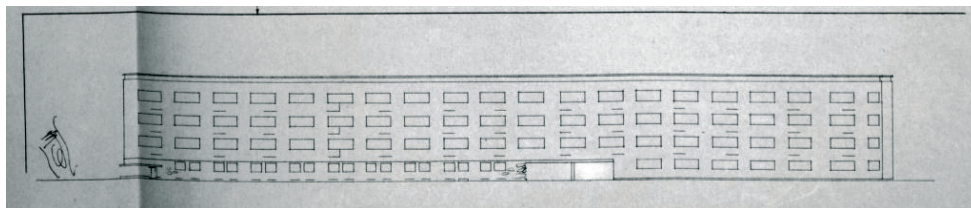
Rys. 19. Rzut kondygnacji powtarzalnej budynku dwusegmentowego II serii Żr. APW, AN, sygn. 11938, k. 18
 Fig. 19. A repetitive floor plan of series II double-unit building



Rys. 20. Rzut poddasza budynku dwu segmentowego II serii Żr. APW, AN, sygn. 11938, k. 18
 Fig. 20. The plan of the loft of series II double-unit building



Rys. 21. Elewacja zachodnia budynku dwu segmentowego II serii Żr. APW, AN, sygn. 11938, k. 18
 Fig. 21. Western Façade of series II double-unit building



Rys. 22. Schemat elewacji budynku przy ul. Terespolskiej, Żr. APW, AN, sygn. 11938, k. 44

Fig. 22. The façade of the building in Terespolska Street

4. Kwestie autorstwa i datowanie

Za autorów osiedla TOR na Grochowie uznawani są Natalia Hiszpańska i Mirosław Szabuniewicz⁶⁶. Jednak atrybucję ową należy uznać za częściowo błędną lub co najmniej niepełną. Natalia Hiszpańska była córką architekta Franciszka Eychhorna. W 1924 roku rozpoczęła studia na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej, jednak jej nazwiska nie znajdziemy w wykazie dyplomantów, być może jest to wynikiem przeoczenia, można także przypuszczać, że dyplomu nigdy nie zdobyła⁶⁷. Niestety Dział Ewidencji Studentów Politechniki Warszawskiej nie posiada dokumentacji Natalii Hiszpańskiej, która mogłaby pomóc rozwiązać ową kwestię. Nie są powszechnie znane żadne inne jej realizacje, a po wyjściu za mąż w 1932 roku poświęciła się działalności w harcerstwie. Zmarła w obozie koncentracyjnym Auschwitz-Birkenau. Mirosław Szabuniewicz ukończył Wydział Architektury w 1928 roku⁶⁸. Informacje o jego udziale przy budowie osiedla TOR na Grochowie można znaleźć w notatce sporządzonej z okazji 50-lecia jego pracy. Jednak nie jest tam określony jako projektant, a osoba kierująca budową osiedla TOR na Grochowie⁶⁹. Weryfikacja informacji u „źródła” była rzeczą utrudnioną, ponieważ zaraz po wojnie wyjechał on za granicę i pozostał tam aż do śmierci. W latach 30-tych wydawane pozwolenia na budowę publikowane były przez pewien okres w „Przeglądzie Budowlanym”. Wśród nich można znaleźć zatwierdzoną budowę dziesięciu bloków trzypiętrowych realizowanych przez Towarzystwo Osiedli Robotniczych⁷⁰. 1937 rok wskazuje na osiedle na Grochowie. Mirosław Szabuniewicz podobnie jak w artykule Olszewskiego występuje w tej notatce jako osoba sprawującej nadzór nad budową. Natomiast jako projektant nie widnieje Natalia Hiszpańska, a Lucyna Nowak-Markowiczowa. Podpis tej samej architektki znajdujemy na projektach sześciu z siedmiu planowanych w II serii budynków, z których trzy, co warto przypomnieć w tym miejscu stanowią powtórzenie zrealizowanych budynków przy ul. Stanisławowskiej. Lucyna Nowak-Markowiczowa (wcześniej Nowak-Białostocka),

⁶⁶ M. Leśniakowska, *Architektura w Warszawie 1919-1939*, Warszawa 2000 [1], Gminna Ewidencja Zabytków załącznik do zarządzenia Nr 2998/2012 Prezydenta m. st. Warszawy z dnia 24. 07. 2012 r., poz. 00006766, 00006767, 00006765, 00006868, 00006869, 00006911, 00006912, 00006913, 00006914, 00006325, www.torgrochow.cba.pl (dostęp 9 II 2014), www.twoja-praga.pl (dostęp 9 II 2014).

⁶⁷ W wydanej z okazji 50-lecia Wydziału architektury publikacji, zawierającej wykaz wszystkich dyplomantów z poszczególnych lat nie odnajdujemy Natalii (Eychhorn) Hiszpańskiej, zob. *Warszawska Szkoła Architektury 1915-1965: 50 –lecie Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej*, alfabetyczny wykaz absolwentów poz. 2329 oraz 1664, Warszawa 1967 [24].

⁶⁸ Zob. *Warszawska Szkoła Architektury 1915-1965: 50 –lecie Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej*, alfabetyczny wykaz absolwentów poz. 2329 oraz, Warszawa 1967 [24].

⁶⁹ A. K. Olszewski, *50 –lat pracy architektonicznej Mirosława Szabuniewicza*, „Architektura”, 1979, nr 381-382 [25].

⁷⁰ *Wykaz zatwierdzonych budowli*, poz. 650, w: *Przegląd Budowlany*, 1937, s. 541.

posiadała już pewne doświadczenie w projektowaniu mieszkań robotniczych. W 1935 roku wraz z Anatolią Hryniewicką-Piotrowską zaprojektowała kompleks mieszkań robotniczych między ulicami Grochowską, a Kamionkowską. Dwa lata wcześniej architektki wspólnie z Romanem Piotrowskim zaprojektowały wzorowe typy dla drobnego budownictwa mieszkaniowego BGK⁷¹. Bliska współpraca z żoną Romana Piotrowskiego obejmującego główne stanowisko techniczne w Towarzystwie Osiedli Robotniczych, dała jej w późniejszym czasie możliwość pracy nad osiedlem na Grochowie. Pojawia się zatem pytanie czemu za autorkę uznano Natalię Hiszpańską. Informacja taka została zaczerpnięta zapewne z niepublikowanego leksykonu autorstwa Nitscha⁷². W tej samej pozycji osiedle to widnieje przy nazwisku Mirosława Szabuniewicza. Warto zaznaczyć, że przyjęta w Leksykonie konwencja opracowywania haseł nie przewiduje zaznaczenia roli danego architekta w realizacji. W rezultacie wymieniane są kolejne obiekty przy których pracował, bez względu na pełnioną funkcję. Informacja na temat udziału Natalii Hiszpańskiej pojawia się w sporządzonej w 1979 roku *Liście strat polskich architektów w wojnie światowej*. Jej działalność została określona jako „współdziałał w opracowywaniu projektu osiedla w Warszawie przy ul. Podskarbińskiej”⁷³. Brak precyzji Nitscha w podawaniu pozyskanych z innych źródeł informacji spowodował, że zespół przypisano Mirosławowi Szabuniewiczowi we współpracy z Natalią Hiszpańską, pomijając projektantkę Lucynę Nowak-Markowiczową. W świetle przedstawionych informacji należy jednak uznać Szabuniewicza za osobę pełniącą nadzór nad budową. Natalia Hiszpańska, która wcześniej jedynie współdziałała przy nielicznych projektach autorstwa swojego ojca⁷⁴, mogła pełnić rolę współpracownika lub asystenta głównej projektantki Lucyny Nowak-Markowiczowej. Na projektach szkicowych domu społecznego widnieje jedynie podpis architekta Romana Piotrowskiego⁷⁵, pełniącego jedną z ważniejszych ról w TOR-ze. Projekty końcowe wszystkich budynków także były przez niego zatwierdzane i podpisywane. Jego rolę można zatem przyrównać do generalnego projektanta⁷⁶.

Ostatnią kwestią wymagającą uporządkowania jest datowanie zespołu. Popularne źródła z reguły podają, że osiedle zostało wybudowane w 1938 roku⁷⁷. Można także spotkać się z datowaniem na lata 1935-1937⁷⁸. Jednak informacja o zatwierdzeniu budowy osiedla zamieszczona w „Przeglądzie Budowlanym” z 1937 roku wyklucza taką możliwość. Według Nitscha realizacja miała miejsce w 1937 i 1938 roku. Poprawność tych lat można potwierdzić dzięki zachowanym sprawozdaniom działalności Towarzystwa Osiedli Robotniczych z okresu powstawania zespołu. Początek budowy nastąpił we wrześniu 1937⁷⁹, a budynki oddano do użytku w grudniu 1938 roku⁸⁰.

⁷¹ A. L. Nitsch, *Leksykon Architektów i budowniczych Polaków oraz cudzoziemców w Polsce działających (maszynopis SARP)* [26].

⁷² *Ibidem*.

⁷³ *Lista strat polskich architektów w wojnie światowej*, maszynopis przechowywany w ZG SARP [27].

⁷⁴ A. L. Nitsch, *op. cit.* [26]

⁷⁵ APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938, k 8 [15].

⁷⁶ Rolę ową rozumiem w tym przypadku w taki sposób, że osoba pełniąca ustalała główne założenia projektu, charakter budynków a następnie zatwierdzała powstałe obiekty, sama nie wykonywała dokładnego projektu żadnego z nich.

⁷⁷ Zob. www.twoja-praga.pl (dostęp 12.03.2014), www.torgrochow.cba.pl (dostęp 12.03.2014).

⁷⁸ M. Leśniakowska, *op. cit.* [1], Gminna Ewidencja Zabytków załącznik do zarządzenia Nr 2998/2012 Prezydenta m. st. Warszawy z dnia 24. 07. 2012 r.

⁷⁹ Sprawozdanie z działalności ... za rok 1937, s. 10.

⁸⁰ Sprawozdanie z działalności ... za rok 1938, s. 48.

5. Zakończenie

Zespół mieszkaniowy Towarzystwa Osiedli Mieszkaniowych na Grochowie to jeden z ważniejszych przykładów rozwijającego się przed wojną budownictwa socjalnego, mającego na celu poprawę warunków bytowych najbiedniejszych warstw społeczeństwa przy jednoczesnej realizacji celów społeczno-wychowawczych. Mimo, że osiedle w zrealizowanej formie nie posiada wszelkich niezbędnych do tego elementów, analiza niezrealizowanych projektów pokazuje, że był to pełnowartościowy projekt spójnego założenia. Trudne warunki terenowe, a także ograniczenia narzucone przez miasto nie pozwoliły na zastosowanie standardowych rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych, zmuszając tym samym architektów do poszukiwań. W rezultacie budynki otrzymały atrakcyjną, wyróżniającą je na tle innych bryłę, której walory estetyczne podkreślono przez skontrastowanie szarego tynku z wykończeniem ceglanym. Jednocześnie rozwiązanie lokali mieszkalnych wskazuje przerwany wybuchem wojny kierunek w jakim zmierzało budownictwo osiedli robotniczych pod koniec lat 30-tych XX-wieku.

Brak zainteresowania osiedlem i szczątkowa wiedza na jego temat nie sprzyjają z pewnością utrzymaniu go w odpowiednim stanie. Zarządzany przez wspólnoty mieszkaniowe zespół jest obecnie w zaniedbany. Nie przeprowadzono żadnego większego remontu. Mieszkańcy poszczególnych lokali wymieniają nie mogące już dalej pełnić funkcji okna na własną rękę, niestety bez zachowania pierwotnych podziałów. Brak jakiegokolwiek ingerencji doprowadził budynki do fatalnego stanu technicznego, jednak dzięki temu możemy oglądać je dziś w praktycznie niezmienionej formie. Wyjątek stanowią poszczególne wymienione okna, a także wtórne wybite, w trakcie adaptacji łączników na mieszkania otwory okienne. Niestety wspólnoty mieszkaniowe nie posiadają odpowiednich środków finansowych ani wiedzy do zastosowania odpowiednich metod remontowych, co może wkrótce doprowadzić do zatarcia charakterystycznych cech osiedla.

Literatura

- 1 Leśniakowska M. *Architektura w Warszawie 1919-1939*. Arkada Pracownia Historii Sztuki, Warszawa 2000.
- 2 Lauterbach A. *Potrzeby estetyczne Warszawy*. Warszawa 1915.
- 3 Różański S. *Planowanie przestrzenne Warszawy (1916-1939)*. w: *Warszawa II Rzeczypospolitej (1918-1939)*. T 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1968 (321-346).
- 4 Cegielski J. *Budownictwo mieszkaniowe w Warszawie w okresie międzywojennym*. w: *Warszawa II Rzeczypospolitej (1918-1939)*. T 1., Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1968 (117-140).
- 5 *Z Polskiego Towarzystwa Reformy Mieszkaniowej*. „Dom Osiedle Mieszkanie” 1934, nr 1(19-22).
- 6 Skwarczyńska A. *Złe mieszkanie a zdrowie*. Dom Osiedle Mieszkanie 12 (1934) 12-15.
- 7 Mazur E. *Warszawska Spółdzielnia Mieszkaniowa, 1921-1939: materialne warunki bytu robotników i inteligencji*. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa 1993.
- 8 Syrkus H. *Ku idei osiedla społecznego*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976.
- 9 *Wiadomości z akcji drobnego budownictwa. Budownictwo robotnicze*. Przegląd budowlany 1934, z.2.
- 10 T.O.R. Dom. Osiedle. Mieszkanie 3-4 (1934) 40-45.
- 11 Strzelecki J. *Organizacja i działalność Towarzystwa Osiedli Robotniczych*. Dom Osiedle Mieszkanie 2 (1934) 2-22.
- 12 *Wytyczne obowiązujące przy wyborze terenu pod budowę osiedla T. O. R.*. Dom Osiedle Mieszkanie 4-6 (1937) 64-65.
- 13 T. O. R. *Sprawozdanie z działalności Towarzystwa Osiedli Robotniczych spółki z ograniczoną odpowiedzialnością za rok 1937*. Warszawa 1938.

- 14 T. O. R. *Sprawozdanie z działalności Towarzystwa Osiedli Robotniczych spółki z ograniczoną odpowiedzialnością za rok 1938*. Warszawa 1939.
- 15 APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11938.
- 16 APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11942.
- 17 Heyman Ł. *Nowy Żoliborz 1918-1939. Architektura-Urbanistyka*. Zakład Narodowy im. Osslińskich, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk 1976.
- 18 *Osiedle T. O. R. na Kole*. Dom Osiedle Mieszkanie 11 (1935) 33-35.
- 19 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 I 1937, Dz. U. nr 120. poz. 73.
- 20 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 IV 1938, Dz. U. nr 32, poz. 278.
- 21 APW, Akta Nieruchomości, sygn. 11939;
- 22 *Funkcjonalistyczne osiedle TOR, Grochów*,
<http://fotoforum.gazeta.pl/72,2,746,46342674,46599026.html>
- 23 *Budownictwo mieszkaniowe magistratu m. st. Warszawy 1924-1928*.
- 24 *Warszawska Szkoła Architektury 1915-1965: 50 –lecie Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa 1967.
- 25 Olszewski A.K. *50 –lat pracy architektonicznej Mirosława Szabuniewicza*. Architektura 381-382 (1979).
- 26 Nitsch A.L. *Leksykon Architektów i budowniczych Polaków oraz cudzoziemców w Polsce działających (maszynopis SARP)*.
- 27 *Lista strat polskich architektów w wojnie światowe*. Maszynopis przechowywany w ZG SARP.

Housing Estate of Workers Society in Warsaw's Grochow

Karolina Matysiak

Faculty Of Architecture, Warsaw University of Technology, e-mail: a210822@arch.pw.edu.pl (

Abstract: Housing Estate of Workers Society in Warsaw's Grochow is one of the characteristic examples of functional low-cost housing for the poor blue-collar families in the period between the Great War and World War II. Small cheap housing for workers was to provide proper health conditions for its residents and was a part of a global movement and formed the continuation of activities already initiated in the 1920s by the Warsaw Housing Cooperative. Despite its distinguish form the Grochow Housing Estate is considered as poorly researched subject. The main goal of this text is: on the basis of archival studies to recreate the entire shape of the housing estate along with social infrastructure objects, where only half of the buildings were carried through. We want to indicate the exact origins of exceptional architectural forms of the unit such as connectors and verticals analyzing not only anti-aircraft protection rules which were applied during the unit's building but also a complex proprietary status of the adjacent allotments and difficult ground conditions in comparison with other implementations of this type of housing. Comparison of unrealised projects objects with the objects implemented together with Forsa old becomes the basis for the challenge by appearing in all sources of architects, allowing also an indication of the reasons which led them to this by assigning.

Keywords: (Housing Estate, workers, low-cost housing, Grochow, social building.

On development of urban environment typology

Galina A. Osychenko

Department of Architectural Environment Design, Faculty of Architecture, Poltava National Technical University of Jury Kondratyuk, Ukraine, e-mail: galao-08@rambler.ru

Abstract: Human nature, social values and structure of needs constitute the basis of the aesthetics therefore the integrated understanding of the individual and his vital activity is reflected in modern design. Relevance of this research lies in the development of an urban environment typology from the subjectivity point of view. This theme is considered in systemic integrity (human – society – humanity - biological species), which allows to identify the nature of the aesthetic measures. Subsequently, the following generalized types of environment are distinguished: naturecentric, anthropocentric, sociocentric and integrated. As a result, the research identifies the main tasks and key issues of reconstruction and humanization of the environment.

Keywords: typology, urban environment, Aesthetics, aesthetic measure.

1. Introduction

The Aesthetics is development of the world according to a human measuring. Alexandrov [1] identify the aesthetic value of an object through correlation of the object measure to the Human one. New towns are losing the Human measure as the latter is no longer able both to visually embrace a city as a whole and psychologically develop a sense of ownership towards its wide-scale territory. Moreover, in order to meet requirements of the large number of population the urban development is still being evaluated through the prism of its technical and economic potential, modern construction technology, return of investment and sparing use of land resources. These considerations encroach on the human uniqueness, and urban environment becomes hostile to the individual. The problem of humanization of the urban environment becomes one of the key issues in the contemporary urban planning. Arrangements and principles of the urban humanization are determined by specifics of the urban environment and its falling into a certain typological category. This emphasizes the importance and topicality of the research into the development of the urban environment typology.

1.1. Analysis of existing publications and theoretical sources

The architectural researches contain the wide range of the urban environment typologies. The most accepted among them is the typology by the character of functional utilization of environment (Shimko [2]; Rannev [3] and others). There are also classifications of environment based on its visual characteristics (Lynch [4]; Venturi [5]; Glazychev[6]), on patterns of human activities (Alexander et al.[7]) or behaviours (Krampen [7]; Lawson [9]; Titov [10]), morphological properties (Krier [11]; Jencks [12]; Arapov [13]; Sharlay [14]). Also, Iovlev [15] suggests commencing systemization of architectural space from the prism of ecology and identifies the types of spaces by composition of their material basis, environmental balance, interaction with external environment, structure and in terms of energy-informational influence on a human being.

N. Shebek [16] suggests to lay principles of multi-levelness, social orientation, awareness and integration into the foundation of his architectural environment typology. Multi-levelness lays out the rules for dissection of the environment into separate elements. Social orientation establishes dependencies and relationships between the approaches to systemization of socio-psychological characteristics of artificial environment residents and characteristics of forming and development of their habitat. Awareness *“indicates the necessity of systemic study of the morphological, phenomenological, semantic and praxeological properties of the artificial environment. The principle of integration defines rules for arranging essential features of the architectural environment aiming to present the latter as an integral whole”* (Shebek [17]). N. Shebek proposed an approach to creating a typology of the architectural environment which is the most substantial, complete and has a great potential.

These classifications retain their importance in our days being extensively applied to managing scientific and design tasks. But it should be noted that the relevance, effectiveness, sphere of application of any environment typology depends on the necessity to manage a specific urban development issue, which determines the purpose and character of classification.

Our research is aimed to extend the urban environment typology from the point of view of the Aesthetic measures in an object, and to identify the key tasks of certain types of the urban environment humanization.

1.2. Methodological foundations and methods of research

The philosophic basis of the research lies in a dualistic model of the Aesthetics, where the Aesthetics emerges due to unity of the reality properties and human spirit, and a human is considered as a measure of the Aesthetics (Alexandrov [1]; Wilber [18,19]; and others). Here the aesthetic perception is interpreted as unity and harmony of a human and the environment. The scientific basis of the research lies in the systemic approach, aesthetics (Alexandrov [1]), the theory of urban planning composition (Jargina [20]), integral philosophy after Kenneth Earl Wilber II [18, 19], bodily approach (Aljushin and Knjazeva [21]) and others. Principal provisions of the bodily approach (endophysics) are critical in this study as they identify the human perception process as a cognitive subject and prove the dependence of object image upon the physical nature of a subject [21]. Methods of systematization, comparative analysis and synthesis have been used to address the research tasks.

2. Philosophic foundations of the urban environment typologies development

The theory of urban planning considers the category of the Aesthetics mainly as the Beautiful, the Beauty. The concept of the Aesthetics is extended in this research to its respective content in the contemporary aesthetics. This is a synthetic category covering the whole range of positive feelings and human emotions during interaction with the urban environment. Secondly, coming back to the definition of the Aesthetics as a human measure in a measure of object we'd like to note that the human measure has three scaling levels and, accordingly, three measures of the Aesthetics: panhuman measure, historically specific measures of a society, and an individual measure. The latter corresponds to personal aesthetic taste, a society measure is formulated as an aesthetic canon of epoch, and a panhuman measure accumulates universal values and human knowledge (Alexandrov [1]). The scaling levels of the subject of the Aesthetics also correlate with the hierarchical

levels of urban facilities. Both humankind and an individual are the constants of history; they do not undergo principal changes in our days. The contemporary time, however, belongs to the society; its measure is the most dynamic, varied and historically justified. At the societal level the Aesthetics is inseparable from human values, and the aesthetics is combined with ethics in its reference to the universal human values – Beauty, Welfare, Truth and Benefit (Alexandrov [1]).

AQAL (“all quadrants, all levels”), the integrated model of the Kosmos by K. Wilber II [18, 19], allows us to determine place of a person in the system of the whole Kosmos, structure of its Worlds and substantiate the Human measure. Four worlds of a person are interrelated and interdependent: the individual internal world (I, personal, consciousness, mind), the individual external world (It, objectiveness, body and organism), and the collective inner world (We, interpersonal, culture, collective consciousness), the collective external world (They, inter-objectiveness, social systems and external manifestations of their activities). The perpetual opposition I - OTHER includes integrity and harmony of personality achieved by unity of the four worlds: I - WE-THEY-IT. According to K. Wilber, the variety of truth-sets corresponds to each of personal worlds (harmony in its broadest sense), which allows to see the harmony of human relationships and reality, and the outside world. On the individual level it is truthfulness, on the level of relationship between an individual and society it is equitableness, on the level of material external forms it is the truth (natural objective laws) and functional consistency (Wilber [18, 19]).

The Kosmos model helps us to identify the basic conditions and measures of unity of a Person and the environment: *biological measure (the body)*, *psychological measure*, *cultural measure* and *socio-systemic measure*.

The biological measure covers correspondence of the urban forms to biophysical nature of a human being: anatomical characteristics, natural bodily ability, anthropometric data, characteristics of vision, hearing, etc., motion in space as well as relevant spatial behaviour. Psychological measure covers correspondence of urban forms to cognitive abilities, mental nature of a human being, and comprehensibility of behavioural aims. Cultural measure is determined by possibility of the individual cultural identification in the urban environment, cultural connection and correlation with the social system of values. Socio-systemic measure includes potential for social identification of an individual, functional correlation between urban forms and social systems and their activities, and identification of a social content of an urban object. The last two measures of a human being are determined by the historical and social context. The cultural level of an individual belongs to all internal contents, values and beliefs which he shares within the community being part of a certain social system. The measure of a Human being therefore involves - to a certain extent - all scaling levels of the Aesthetics.

The city visualises the gist of the spatial organization of human activities. Artificial urban environment is set up in a natural environment reflecting forms of both human culture evolution and correlations between society and nature. According to the identified measure of the Aesthetics, the three essential scales and measures of urban environment development are considered aiming to humanise a city, the Human, the Society and the Nature. The environment is considered humane if it is balanced against the given scales and measures.

3. Urban environment typology

We suggest basing the environment typology on the following principles: 1) principle of subjectivity which determines dependence of urban environment types upon the subject's

nature; 2) principle of conformity that mandates compliance of urban environment with the Aesthetic measures.

Domination of either Aesthetic measure identifies the following urban environment types: *naturecentric, anthropocentric, sociocentric, and integrated types*.


The measure of Nature prevails in the *naturecentric* environment when the natural environment exists as a joint ecosystem, whether it is natural or man-made by origin. The environment is characterised by the ecological cycles, and the natural system can exist without human interference or requires it occasionally. The integrated environment combines all or some aesthetic measures. *Ecocentric* and *organic* environments belong to the *integrated type* combining both human and nature measures. Therefore the *organic environment* appears when artificial and natural measures are harmoniously combined through conscious effort of the architect. Its examples can be found in the works of such representatives of the organic approach as F.L. Wright, A. Aalto, F. Hundertwasser, E. Ambasz and others.

The *ecocentric* artificial environment requires balance between artificial and natural environment where the principle of nature prevails. However, the natural environment requires a regular or periodic maintenance without which the natural system will diverge and occasionally degrade. The ethnic and recreational environments are types of the *ecocentric* one. Paraphrasing Tuan [22], it is worth noting that the ethnic environment is an "ethnic - ecological suit," shaped up by biological or ecological requirement (bio - ecosystem), but at the same time developed in line with concepts of social expediency, lifestyle, morale, rules and traditions of a particular ethnic group. Like suits can reveal the bodily beauty and individual taste, the landscapes of the ethnic environment show the harmony of relations between the ethnic group and its natural surroundings. The ethnic environment is characterised by correspondence of the architecture to the natural basis, the anthropometric scale, consistency of architectural forms and methods of their spatial arrangement transmitted by a certain ethnic group through times. The recreational environment is a result of interaction between the recreational resources, structures and activities. Arranging of the recreational environment is a complex task of linking the of "man - nature - architecture" system of relationships based on integration of natural and artificial components, ecological zoning and bipolarity of environment.

In the *ecocentric* environment the main task of architect is maintaining the balance between the nature and artificial environment while increasing the degree of its comfort for humans. Table 1 shows possible means and methods of creating such an environment.

The bodily measure of the Human dominates the *anthropocentric environment*, where the individual is of a fundamental value. This is completely artificial environment characterised with human space dimensions, individual and archetypical character of architecture, and is in line with the laws of human visual perception. Architectural forms have several levels of detail, expressive texture and surface finish, expressed vertical tiers in a maximum 5-storeyed buildings. The anthropocentric environment has the following types: *tactile, bodily, decorative and ornamental environment* with increased building levels and scale spaces respectively. The archetypes are used in the tactile environment in their original form, and surface texture of obstructions is distinctive because of use of natural materials; micro space with personal communication distances (up to 7.5 m) prevails, senses dominate in the perceived image. The scale of bodily environment is bigger than that of the tactile one (distance up to 35-50 m), it has more complicated processing of the urban wall surfaces (obstacles), which are thoroughly worked in the decorative ornamental environment transferring into the decoration. The information saturation of the decorative ornamental environment is linked with levels and detailing of facade surfaces.

Table 1. Types of environment and means of its humanization. Ecocentric environment


Forms of environment	Environment characteristics	Main task, essential means and tools
1	2	3
Ecocentric environment		
Balance of nature and artificial environment	Ecocyclicity, ecological integrity, scale of human space	Preservation of ecological balance and ethnic landscape. Regulation of recreational load; supporting means and protection of natural components; use of ecotechnologies in the constructions; use of methods of the "earth" and "green" architecture enabling integration of architecture and nature
 <p>Green power station Punibach, Alps. (http://doyoulovewhereyoulive.com/archives/striking-yet-noninvasive-hydroelectric-power-plant-design-in-italy)</p>		



The resort Nuova Concordia, Italy (Arch. E. Ambasz) – example of “green architecture”
 (<http://ambasz.com/ /portfolio/specialized/Nuova-Concordia>)

The anthropocentric environment sometimes has features of the integrated one, including social aesthetic measures. First, the social status of an object, its extent and respectively social status of their owners is expressed through detailing and ornamentation of surfaces, through the high level of their development. Second, the environment has spaces for social communication, interaction between a person and society. The anthropocentric environment demonstrates the variety of historical styles and regional features. The main task of the anthropocentric environment is to preserve the historically valuable environment and adapt it to the new social requirements, modern ideas of the urban environment comfort, and reproduction of the measure of Society and the measure of Nature. Possible means, tools, and examples of adaptation are given in Table 2, together with examples of its reconstruction.

Table 2. Types of environment and means of its humanization. Anthropocentric environment

Forms of environment	Environment characteristics	Main task, essential means and tools
1	2	3
The anthropocentric environment		
Predominance of the artificial landscape	Anthropometric scale of environment, rich texture of surfaces, three-level detailing of obstruction spaces	Restoration, reproduction and preservation of traditional historic environment and the characteristics of urban landscapes with a high environmental values (1); change the existing compositional structure environment (2); enrichment of composition and expression of the unique "place"; introduction of natural elements into the environment, landscape improvement, creation of new spaces of social communication
 <p>Complex reconstruction of Gdansk (1) (http://utau.com.ua/tourists/tours/tour/84)</p>		



Metropol Parasol at Plaza de la Encarnación (2). Seville, Spain. Arch. J. Meyer-Hermann. 2011
<http://lol54.ru/other/104633-metropol-parasol-samyij-bolshojj-v-mire-zont-i.html>

The society measure dominates in the *sociocentric environment*. It depends on human activity, subject to social values, where the priority is given to the needs of society and social groups and the individual needs are sent to the back and sometimes ignored. Mezo-, macro- and mega-spaces with distances of social control and pedestrian connectivity dominate, with large-scale constructions varying from simple forms to the complex nonlinear ones. Buildings can be of different heights, styles, degrees of complexity and

information richness, however, all of them are specified with absence of certain structural levels of surfaces details, breach of the anthropometric scale. The sociocentric environment includes the following types: *functional and rational environment*, *modelling*, *hyper environment*, *cyber environment* and *technical environment*. Forming of the functional and rational environment is dictated by functions, construction technologies, type design practice and large-scale redevelopment resulting in uniformity. Functional zoning becomes the principal method of its layout with majority of compositional means being ignored. The functional-rational environment still contains development of buildings up to 5 storeys which are scale-proportional to human and nature, which disappears in the modelling environment. The array of tools for compositional development is increased in the *modelling environment*, which start using original architectural forms, but the nature of human perception, the anthropometric scale are not considered, so buildings are viewed as a coherent composition only from the upper points of perception. *Hyper environment* may stand out with its distinct complex architectural forms, diversity of buildings, sophisticated silhouettes, but the height and size of buildings and spaces significantly exceed the anthropometric scale. *Cyber environment* is the super-modernized artificial environment, where the personal and social needs are met by use of informational, intellectual and technical means. It is characterized by the large-scale buildings and spaces, information oversaturation, active use of the underground space and presence of several vertical tiers in urban spaces. The situation in the cyber environment is characterised by constant circulation of people, vehicles, images and data. Distances are compressed, time is compacted and feeling of a "place" disappears (Boyer [23]; Soja [24]). The main shortcoming of the environment is ignoring the bodily measure of a Human, his isolation from nature which brings up the principal task of the environment humanization (Table 3), i.e. the reproduction of the measures of Human and Nature.

The technocentric environment is dominated by the technosphere, spaces are occupied with equipment, pipelines and cablings, industrial facilities, the scale of spaces and buildings ignores the human measure, organization of space depends on technological and functional processes. Since the human values in this environment fade into the background, the main task of its reconstruction is its humanization and ecologization. Examples of reconstruction of such environments are given in Table 4.


4. Conclusions

According to the defined aesthetic measures we suggest the following typology of the urban environment: the naturecentric, anthropocentric, sociocentric and integrated types of environment. This typology does not conflict with the existing ones and sets priorities concerning primary means for reconstruction of urban environment. Our study identifies the principal problems, the key tasks of reconstruction and humanization for each of environment types.

Summing up the research it we would like to mention that the modern urban problems have their root in the mismatch between the identified measures and levels of the Aesthetics. The urban planning activity is aimed at finding means to balance the above named aesthetic measures.

Ultimately our research allows identifying the following project-related scientific approaches to humanisation of the urban environment:

Table 3. Types of environment and means of its humanization. Sociocentric environment

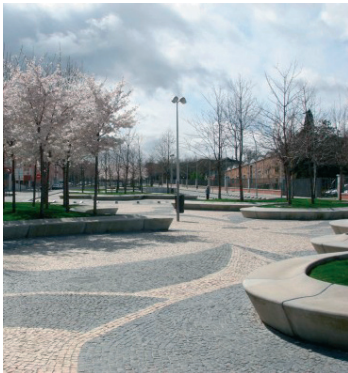
Forms of environment	Environment characteristics	Main task, essential means and tools
1	2	3
Sociocentric environment		
Predominance of artificial landscape	Macro-and mega-spaces dominate, lacking degrees of the surface details of obstructions.	The main task is a reproduction a of Human and Nature measures. Introduction of natural elements, breakdown of large spaces into the micro-spaces with the required level of detailing, landscape improvement, geoplastic of terrain, outline and colour of the earth surface; invreased variety of environment; formation of vertical tiers; division of pedestrian and transport traffic; generating of pedestrian zones
 <p>Triumphal Square Reconstruction Project. Moscow. Russia. 2013. (http://archi.ru/news/51597/byuro-megabudka-razrabotalo-alternativnyi-proekt-rekonstrukcii-triumfalnoi-ploschadi)</p>		



Reconstruction of the riverine areas in Madrid



View prior to reconstruction



Rio Park instead of highways. Spain. 2012. «*The Madrid Rio project adds more than 1,200,000 m² of green spaces, 68,000 m² of facilities for citizens, sport facilities, information centres and artistic installations, cultural platforms, an urban beach, ornamental fountains, 17 areas of playgrounds, kiosks, cafes, with more than 33,500 trees planted.*» (<http://www.eoi.es/blogs/antoniocalixtomoreno/page/2/>)

Continued Table 3

1	2	3
---	---	---

Sociocentric environment



Transforming of Times Square into a pedestrian area. New York
 (http://www.bustler.net/index.php/article/snhetta_to_redesign_times_square_in_new_york_city/)

The introduction of eco-technologies, reducing visual load, use of visual information to help identify the spatial orientation, putting natural constituent parts, use of "earth" and "green" architecture, change of the compositional environment structure, increased diversity of buildings



West 57th Residential Building, New York. Arch. BIG – Bjarke Ingels Group.
 Project. (<http://www.mymodernmet.com/profiles/blogs/list/tag/modern-architecture>)




Reconstruction project Novy Arbat. Moscow. Projec. Arch. D. Onohova
 (<http://macos.livejournal.com/875183.html>)

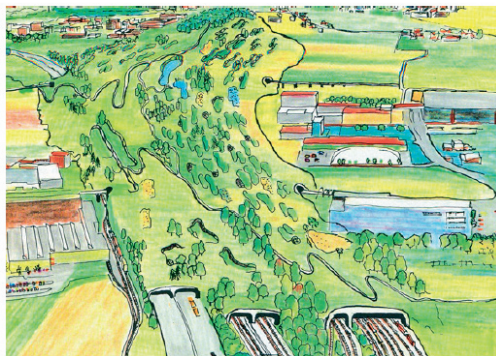


The High Line, in collaboration with field operations, it is a new 1.5-mile long public park built on the abandoned elevated railroad stretching. New York
 (<http://www.dezeen.com/2011/06/13/the-high-line-section-2-by-diller-scofidio-renfro-and-james-corner-field-operations/>)

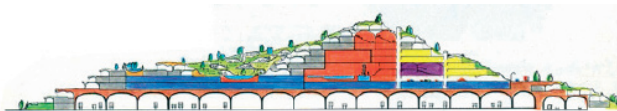
The High Line, in collaboration with field operations, it is a new 1.5-mile long public park built on the abandoned elevated railroad stretching. New York

Table 4. Types of environment and means of its humanization. Technocentric environment

Forms of environment	Environment characteristics	Main task, essential means and tools
1	2	3
Technocentric environment		
Technosphere dominates	Macro- and mega-spaces, industrial constructions, engineering and transport communications dominate, natural landscapes degrade	<p>Landscapes reclamation, development regeneration, removal of industrial facilities and changes in the functional purpose of territories, use of eco-technologies, "earth" and "green" architecture, introduction of natural elements; combination of archetypes such as "perspective" and "shelter"; more complex composition</p>
 <p>Andre-Citroen Park. Paris. Moving of the industrial facilities out of town and change of environment http://www.guide2paris.com/information/8950/Andre-Citroen-Park-Paris</p>		



Existing condition



Railway rehabilitation project in Spreitenbach, Switzerland. Arch. P.Vetsh
<http://www.erdhaus.ch/main.php?lang=de&fla=y&cont=start>

1) **Landscape-ecological approaches:** the measure of Nature is reproduced in the environment. The natural components are considered as compositional and aesthetic means. The range of directions under this approach is quite wide; it varies from aestheticization of environment by means of landscape architecture up to the deep-laid ecology and concept of the sustainable urban development.

2) **Anthropo-relevant approaches:** the measure of the Human is reproduced, an individual, a personality is of key value, and the primary task is to provide conditions for comprehensive physical and spiritual development of the individual. Features of human visual perception, its motion and spatial behaviour, parameters of the human ecological niche, body anthropometric characteristics become the compositional tools for design. The variety of directions is determined by the complexity of the Human as the Microcosm. Mastering of knowledge about the human in architectural theory is a permanent process which leads to emerging new means of humanization: architectural ergonomics, proxemics, physiology, video ecology, etc.

3) **Socio-relevant approaches:** they manage problems of a Society. These approaches are characterised by priority of social values. Their principal tasks include providing for everyday activities of a society and ethical character of the urban development.

4) **Combined approaches** use all the tools developed by the urban planning science and practice.

Certainly, the proposed typology of environment does not exhaust the issue of its classification but suggests approaches to its development taking into account the biological, psychological and socio-cultural nature of a human. Clarification and extension of the typology including all measures of the Aesthetics leave space for further researches.

References

- 1 Александров Н. *Эстетика: Курс лекций*. ИАТ, Москва, 2011.
- 2 Шимко В. *Архитектурно-дизайнерское проектирование городской среды*. Архитектура-С, Москва, 2006.
- 3 Раннев В. *Интерьер. Высшая школа*. Москва, 1987.
- 4 Lynch K. *The Image of the City*. MIT Press, Cambridge, MA, 1960.
- 5 Venturi R. *Complexity and contradiction in architecture, published by the Museum of Modern Art*. New York, 1966.
- 6 Глазычев В. *Урбанистика*. Европа, Москва, 2008.
- 7 Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M., Jacobson M., Fiksdahl-King I., Angel S. *A Pattern Language: Town, Building, Construction*. Oxford University Press, New York, 1977.
- 8 Крампен М. *Проксемика – секрет человеческой архитектуры*. В: *Семиотика пространства*, ред. Барабанов А., Архитектон, Екатеринбург (1999) 285–299.
- 9 Lawson V. *The language of space*. Architectural Press, 2004.
- 10 Титов А. *Организация архитектурной среды и поведение человека: дис. на соиск. канд. арх.*, Екатеринбург, 2004.
- 11 Krier R. *Stadtraum in Theorie und Praxis*. Stuttgart, 1975.
- 12 Jencks Ch. *The architecture of the jumping universe. A polemic: how complexity science is changing architecture and culture*. Academy edition, London, Revised edition, 1997.
- 13 Арапов С. *Методика описания морфологии городских открытых пространств*. Отечественный опыт: Архитектура и градостроительство, № 2-3 (1991) 46–54.
- 14 Шарлай О. *Морфологічні типи архітектурного середовища історичного міста на прикладі Харкова: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. арх.*, ХДТУБА, Харків, 1998.
- 15 Иовлев В. *Экологические основы формирования архитектурного пространства (на примере Урала): автореферат дис. на соиск. доктора арх.*, МАРХИ, Москва, 2008, 17.

- 16 Shebek N. *Architectural sociotics: possibilities and prospects of development*. Innovative development trends in modern technical sciences: problems and prospects. Science editor A. Burkov. Sun Francisco, California, USA: B@M Publishing. (2013)182–183.
- 17 Шебек Н. *Теоретичні основи гармонізації архітектурного середовища: автореферат дис. на здобуття доктора арх.*, КНУБА, Київ, 2013, 9.
- 18 Уилбер К. *Око Духа. Интегральное видение для слегка свихнувшегося мира*. АСТ, Москва, 2002.
- 19 Уилбер К. *Краткая история всего*. АСТ- Астрель, Москва, 2006.
- 20 Яргина З. *Эстетика города*. Стройиздат, Москва, 1991.
- 21 Алюшин А., Князева Е. *Эндофизический поворот в эпистемологии, или Попытка увидеть мир изнутри*. Философия и культура, №5 (2009) 80–91.
- 22 Tuan Y. (1983). *Moral ambiguity in architecture*. Landscapes 27(3) (1983) 11–17.
- 23 Boyer M.C. *Cyber Cities*. Princeton Architectural Press, New York; 2nd edition, March 1, 1996.
- 24 Soja Ed. *Postmetropolis: Critical Studies of Cities and Regions*. Basil Blackwell, Oxford, 2000.

Peculiarities of hydration processes of cements containing natural zeolite

Kh. Sobol¹, T. Markiv², V. Terlyha³, W. Franus⁴

^{1,2,3} *Department of Building Production, Institute of Building and Environmental Engineering, National University Lviv Polytechnic, Lviv, Ukraine, e-mail: khrystyna.s.sobol@lpnu.ua, taras.y.markiv@lpnu.ua, volodymyr.s.terlyha@lpnu.ua*

⁴ *Department of Geotechnics, Lublin University of Technology, Lublin, Poland, e-mail: w.franus@pollub.pl*

Abstract: In this study, properties and peculiarities of hydration processes as well as paste microstructure of blended cements containing 10% by weight of natural zeolite were investigated. Free calcium hydroxide content, crystalline hydration products and microstructural architecture of hydrated cement pastes were examined by physical and chemical methods. It was found that the addition of natural zeolite provides formation of an extra amount of fine crystalline ettringite and tobermorite-like calcium hydrosilicates of CSH (B) type in the mineral non-clinker part of Portland cement resulting in strength synthesis of cement stone with high performance properties.

Keywords: blended cement, natural zeolite, hydration, microstructure, pozzolanic activity, plasticizer.

1. Introduction

The analysis of modern world progress of cement industry trends evidences the increase of producing of less power-consuming Portland cement, that contains mineral additives. One of the most widespread methods of obtaining this kind of cement is mixing of ordinary Portland cement with the additives characterized by different types of activity (hydraulic and pozzolanic). The use of such additives helps increase the durability of cements, particularly in aggressive environment, and decrease probability of alkaline corrosion [1–4].

Among well-known mineral additives with pozzolanic properties the industrial wastes (fuel slags, ashes) and natural pozzolana (pumice, diatomite, and zeolite) can be distinguished. Zeolites are of great interest due to their accessibility in large amount beds and, despite their crystalline structure, wonderful pozzolanic activity [5, 6].

Chemical composition of zeolite-containing rocks is not stable which can be explained by both the presence of impurities and hydrochemical conditions of their formation. According to Franus [7], zeolites are a group of aluminosilicates of crystalline skeleton which includes the cavities, united by open channels - windows, that are of great importance for the processes related to adsorption and mass transfer. That is why zeolites are often called “porous crystals” or “molecular sieves” [8]. The research [9–11] shows that some natural zeolites, depending on the size of pores and channels, can be used for internal curing of hydraulic binder. Sobol et al. [12] believe that one of zeolite features is that it, in addition to the active binding of lime, it absorbs SO₃ even more actively due to alumina (contained in the zeolite) - its activity (easy release from aluminosilicate structure), based on dispersion and crystallinity.

Wagner [13] supposes that ions of alkaline metals in zeolites can be replaced by calcium, followed by zeolites destruction. Released silica and alumina bind calcium hydroxide by forming hydrosilicates and possibly calcium hydroaluminat. According to Sanytsky et al. [14], modification of cement systems by chemical admixtures leads to direct impact on physical and mechanical properties of the cement stone. At the same time, the processes of structure formation of modified by chemical admixtures Portland cement mixed with the addition of zeolite were not sufficiently examined.

Therefore the aim of this work is to study the phase composition and microstructure of modified Portland cement containing natural zeolite.

2. Materials and methods of research

Zeolitic tuff from the Sokyrnytsia deposits, the Transcarpathian region of Ukraine, characterized by a high clinoptilolite content, and Portland cement PC I-500 were used in this study. The chemical composition of Portland cement and zeolite is shown in Table 1.

Table 1. Chemical composition and mineralogical compounds of Portland cement and natural zeolite

Components	Oxides content, wt. %								Mineralogical composition, wt. %				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	insoluble residue	C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A	C ₄ AF
Cement	22.04	4.85	3.59	65.10	1.44	0.49	-	-	1.24	19.0	59.0	6.8	10.9
Zeolite	73.48	13.24	2.02	4.45	1.38	0.13	2.97	2.33	-	-	-	-	-

The physical and mechanical properties of Portland cement are presented in Table 2.

Table 2. Physical and mechanical properties of Portland cement

Specific surface, m ² /kg	Residue on sieve 008, %	Water demand, %	Setting time, min		Compressive strength, MPa	
			initial	final	2 days	28 days
431	0.2	29.5	160	210	25.4	52.1

The commercially available plasticizer on the basis of the water salt solution of aliphatic amines and detergents with a specific gravity of 1.16 was used in this study.

The mineral composition of zeolitic tuff was determined by means of a powder X-ray diffraction method, using a Panalytical X'pert APD diffractometer (with a PW 3020 goniometer), a Cu lamp and a graphite monochromator. The analysis was performed in the angle range of 5–65 2θ. The Philips X'Pert Highscore software was used to process the diffraction data. The identification of mineral phases was based on the PDF-2 release 2010 database formalized by the ICDD.

Thermal analysis of samples was carried out using a derivatograph Q-1500D (system F.Paulic, J.Paulic, L.Erdey). Registration of analytical signal of mass loss and thermal effects was carried out using a computer.

The sample was analyzed in a dynamic mode of heating rate of 10⁰C/min in air. The weight of the sample was 200 mg. Aluminum oxide was used as the reference substance. The samples were heated up to 1000 ⁰C.

The morphology of clinoptilolite and chemical composition as regards main mineral components of the investigated materials was examined by scanning electron microscope SEM FEI Quanta 250 FEG, equipped with EDS.

3. Results and discussion

Research of hydration processes of cement which contains zeolite and chemical modifiers, and the studies of genesis of its microstructure are very important, as they open a way to scientific forecasting of product properties, in particular their durability.

Investigations of Portland cement (paste 1:0, samples-cubes 2x2x2 cm) compositions the results of which are given in Table. 3 showed that the replacement of 10 wt.% of Portland cement by zeolite leads to an increase by 6% of water demand (Fig. 1). This is attributed to the microstructure of zeolite, which is represented by a large number of pores connected by a huge grid of channels. The addition of water reducing plasticizers can diminish water demand of Portland cement by 10%.

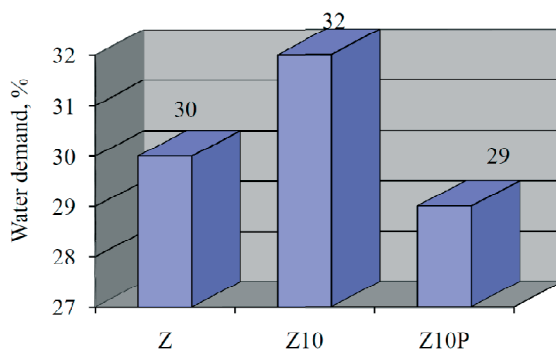


Fig. 1. Water demand for cement pastes

The initial and final setting time of the cements containing natural zeolite was shorter than that of reference Portland cement without zeolite. Although replacing some quantity of Portland cement by mineral additives usually results in a delay in setting time of cementitious system due to a lower amount of clinker in the binder. The opposite phenomenon is observed when zeolite is added due to a rapid decrease in consistency of the blended cement pastes, which is caused by rapid absorption of water by zeolitic tuff particles just after preparation of cement pastes of normal consistency. This is evidenced shorter initial setting time in comparison with the final setting time shortening and makes 15 and 30 min respectively, as the process of water absorption by zeolite grains gets slower over time because the zeolite particles become almost saturated.

It is stated [14] that the use of plasticizers is one of the most versatile, available and flexible methods of cements property regulation. Plasticizing action mechanism consists primarily in the formation of hydrophilic adsorption film on the entire surface of the cement grains and erasing new formations. This adsorption cover firmly holds on the surface a thick layer of water bound with the surface by molecular forces as well as part of water held in the adsorbed gel-like layer of surface active substances. Such stabilizing layers (adsorption hydration shell on a solid surface) perform two functions: firstly, they eliminate traction between the particles, providing hydrodynamic lubrication, namely reduce the friction between them, which is the main cause of increased fluidity of paste; secondly, the hydrophilic adsorption layers inhibit heterogeneous processes of cement hydration and hydrolysis in the initial period because of the appearance of a significant diffusion resistance in the transition layers. The addition of zeolite together with the plasticizer results in initial and final setting time delaying by 15 and 35 min respectively compared to Portland cement without additives (Fig. 2).

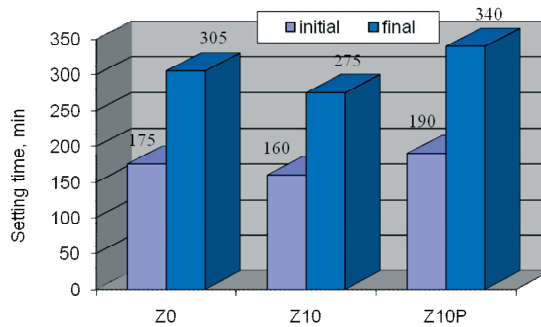


Fig. 2. Setting time of cement pastes

The active structure formation role of zeolite and chemical admixtures is confirmed by the cement stone strength determination results (Table 3). Thus, the compressive strength of Portland cement incorporating zeolite and both zeolite and plasticizer at an early age, has been reduced by 10-20%. However, kinetics of strength development of Portland cement containing zeolite increases with time of hardening and after 28 days of curing the strength of such Portland cements has not yield that of Portland cement without additives.

Table 3. Compressive strength of the zeolite containing cement

Mixture identification	Cement composition, wt. %			Compressive strength (MPa)		
	Portlandcement	Zeolite	Plasticizer	3 days	7 days	28 days
Z0	100	0	0	54.8	56.0	75.7
Z10	90	10	0	50.9	56.4	75.0
Z10P	90	10	0.42	48.8	54.8	75.5

The peculiarities of hydration processes of cement incorporating mineral additives and chemical admixtures were studied by the method of physical and chemical analysis.

The diffractogram analysis has shown the evidence of active processes of hardening and formation of basic hydrated phases (Fig. 3). On the diffractograms of the cement hydrated without additives alongside with alite and belite phase lines ($d/n = 0.277; 0.273$ nm) the lines of calcium hydroxide ($d/n = 0.263; 0.493$ nm), and those of ettringite of small intensity are observed after 28 days of hardening. Partial replacement of cement by zeolite leads to a reduction of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ lines and growth of calcium hydrosulfoaluminate lines. Interaction of active Al_2O_3 with calcium hydroxide in the presence of gypsum promotes the formation of additional quantities of ettringite ($d/n = 0.973; 0.561$ nm). It should be noted that the phase composition of hydration products virtually does not change after the extra addition of plasticizing chemical admixtures.

The effectiveness of zeolite action in the hydration processes of cement compositions is confirmed by the research carried out using thermal analysis (Fig. 4). On the DTA curves of the Portland cement hydrated for 28 days endothermic peaks has been fixed at 100, 500 and 720°C . The first peak evidences water release from calcium hydrosilicates and hydrosulfoaluminate, the second one - decomposition of calcium hydroxide and the third peak corresponds to decomposition of calcium hydrocarboaluminate. Reduction of endothermic peak at 500°C of the zeolite containing sample shows the decrease of the amount of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ from 15.3 (for Portland cement without additives) to 12.5% due to its reaction with the pozzolanic mineral additive that is confirmed by X-ray diffraction analysis. According to the thermogravimetry data, the total weight loss for pure cement (without additives) is 27.6 wt.% and with the addition of zeolite 10 wt.% - 24.1%.

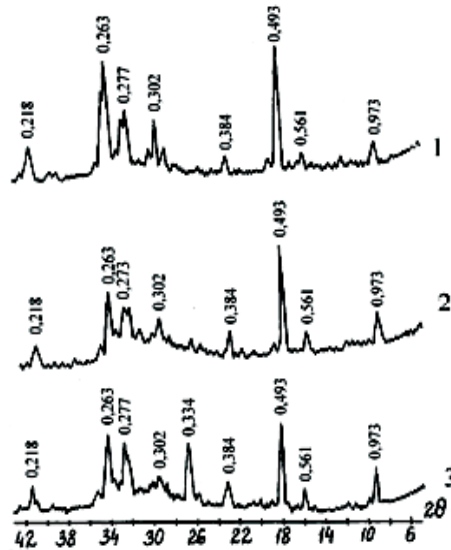


Fig. 3. XRD patterns of hardened cement stone after 28 days: 1) without additives; 2) with 10 wt.% of zeolite; 3) with 10wt.% of zeolite and 0.42 wt.% of plasticizer

The electron microscopy method complements the data on the structure formation of cement stone. Microstructure analysis of the cement stone without additives after 28 days of hardening (Fig. 5) shows the intensive progress of the hydration processes. In the bulk microstructure is presented by a large number of hydrated formations. Some crystals have a shape of fine needle-like or plate-like formations, and thus contribute to the stepped growth of some layers of hydrated formations. In some places, tight hexagonal plates composed of calcium hydroxide have been changed (Fig. 5a), which is confirmed by the microprobe analysis (Fig. 5b).

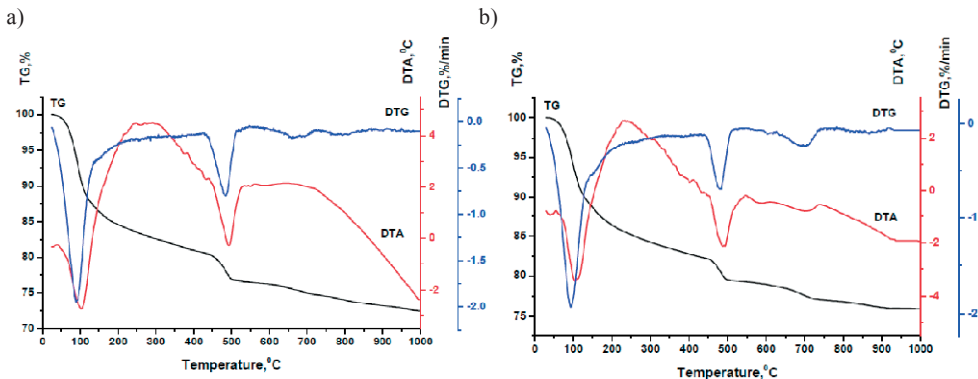


Fig. 4. DTA diagrams of hardened cement pastes after 28 days: a) without zeolite, b) with 10 wt.% of zeolite

Microstructure of Portland cement with the zeolite additive after 28 days of hardening is characterized by increasing homogeneity and formation of dense submicroscopic clusters of hydrosilicates and calcium hydrosulfoaluminates (Fig. 6). In some places crystalline blocks of lamellar crystals of Portlandite are observed.

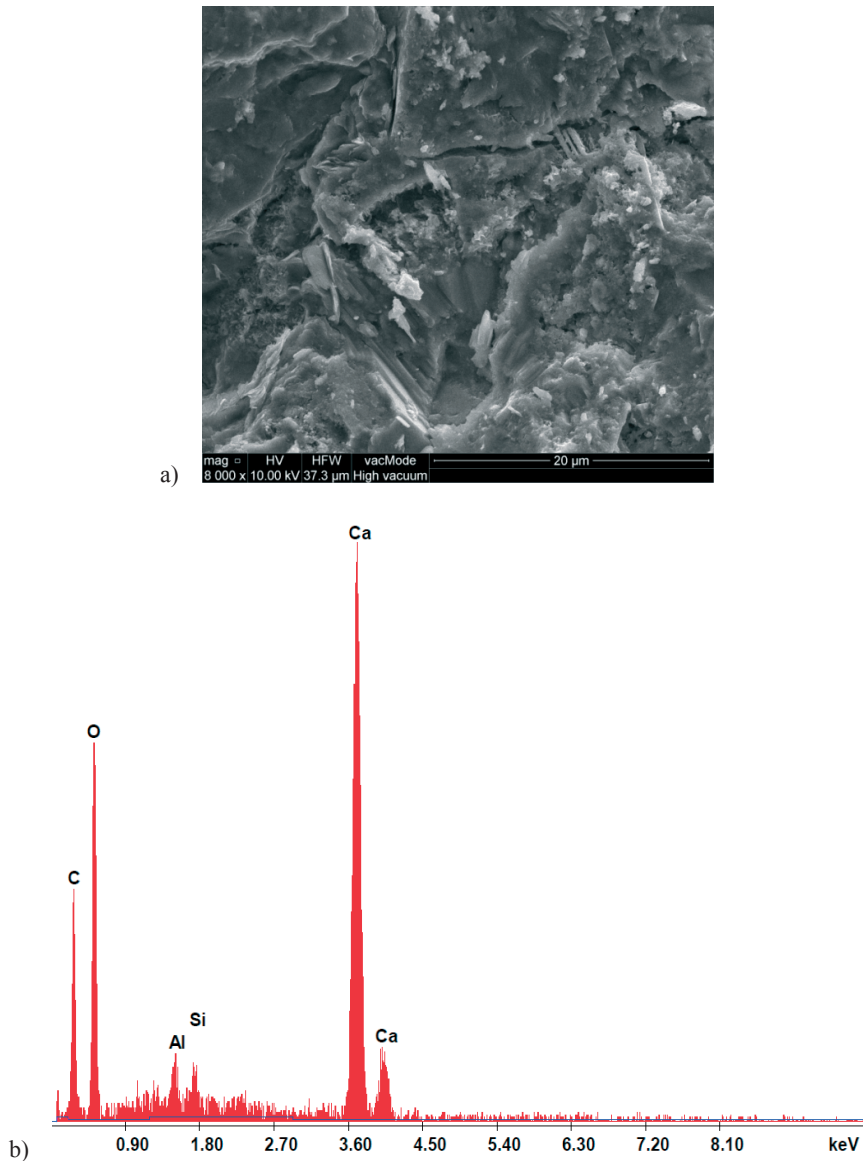
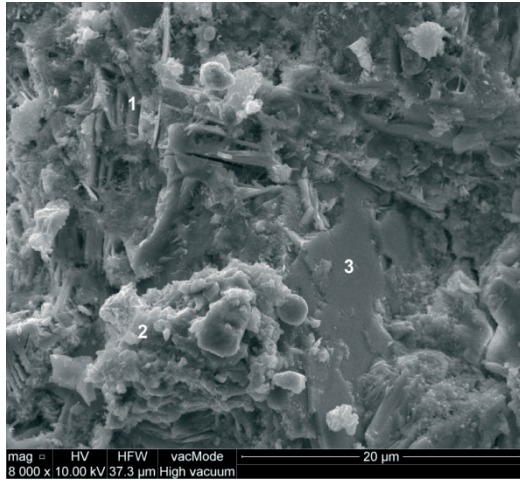


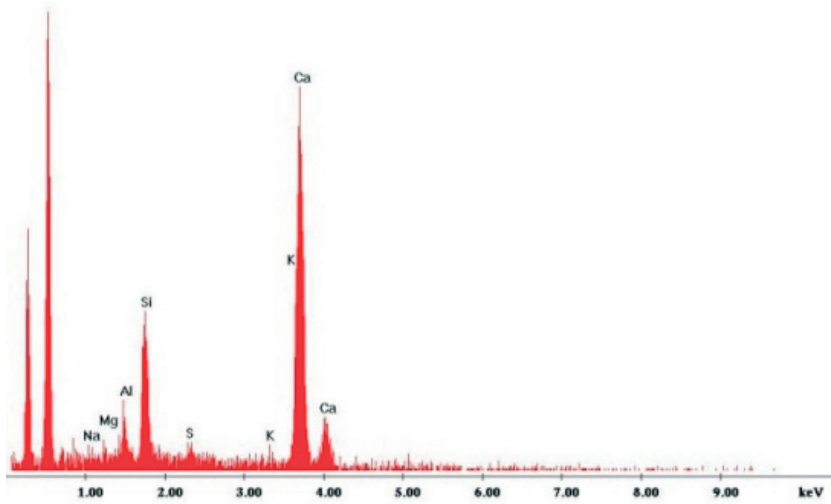
Fig. 5. SEM image (a) and EDX point (b) analysis of ordinary Portland cement stone after 28 days of hardening

It should be noted that fine crystalline ettringite, which is formed by hydration of Portland cement containing zeolite and chemical admixtures compared to hydrosulfoaluminate of conventional Portland cement, does not cause dangerous internal stresses. One of the characteristic peculiarities of the microstructure of Portland cement incorporating zeolite is a significant increase of metamict component, confirming the effectiveness of the adsorption modification of binding system by admixtures of plasticizing action (Fig. 7).

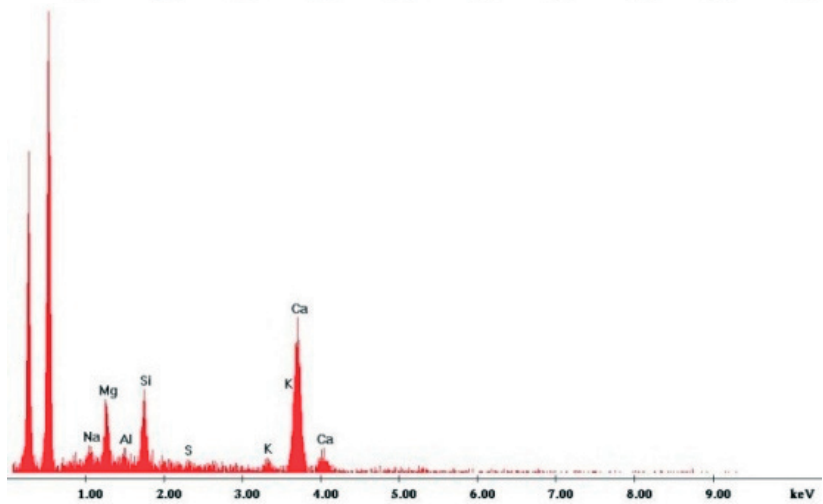
Thus, the use of additives, such as zeolite and plasticizer makes it possible to create better hydration conditions, taking into consideration potential possibilities of the clinker and mineralogical components, compared with the Portland cement without additives.



Spectrum 1



Spectrum 2



Spectrum 3

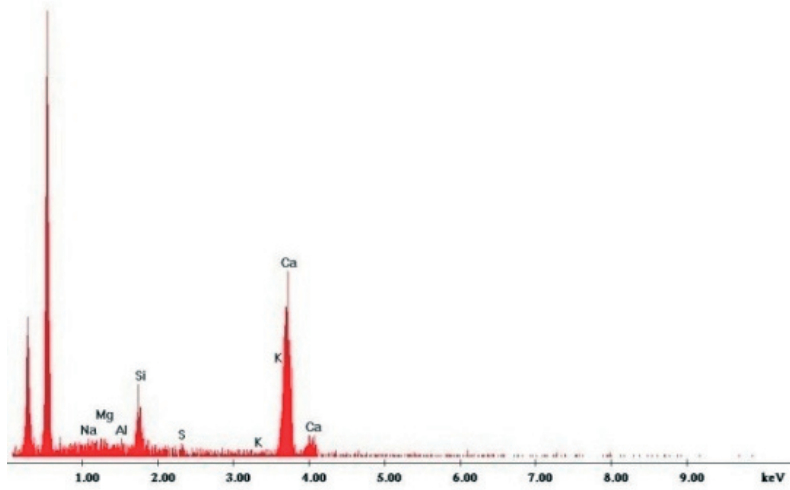


Fig. 6. SEM image and EDX point analysis of Portland cement paste containing 10 wt.% of zeolite after 28 days of hardening

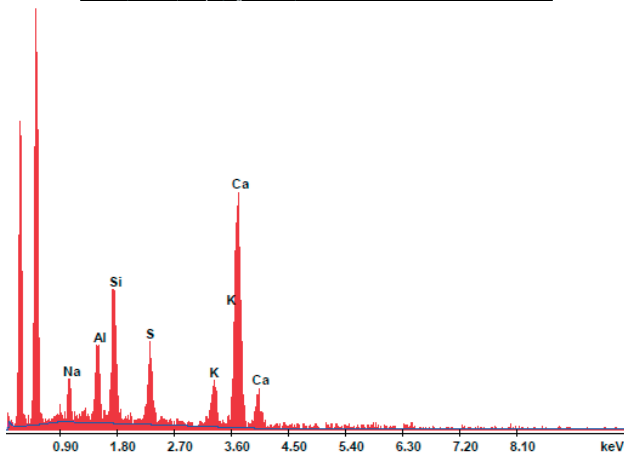
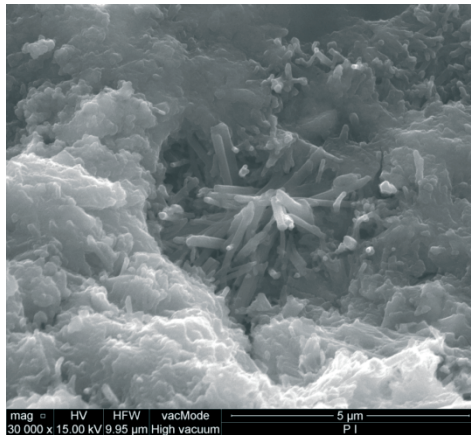


Fig. 7. SEM image and EDX point analysis of Portland cement paste containing 10 wt.% of zeolite and plasticizer after 28 days of hardening

4. Conclusion

Regularities determining formulation of phase composition and microstructure of zeolite-containing cement compositions have been confirmed. This allows to adjust the parameters of cement system, creating the possibility of formation of hydrated phases which reveal binding properties in the mineral non-clinker part of Portland cement. The additional amount of hydrosilicate of the CSH type (B) provides strength synthesis of cement stone with high performance properties.

Acknowledgement

This research was financed by the Project No IPBU.01.01.00-06-570/11-00.

References

- 1 Snellings R., Mertens G., Cizer Ö., Elsen J. *Early age hydration and pozzolanic reaction in natural zeolite blended cements: Reaction kinetics and products by in situ synchrotron X-ray powder diffraction*. Cem. Concr. Res. 40 (2010) 1704–1713.
- 2 Kocak Y., Tasci E., Kaya U. *The effect of using natural zeolite on the properties and hydration characteristics of blended cements*. Constr Build Mater 47 (2013) 720–727.
- 3 Najimi M., Sobhani J., Ahmadi B., Shekarchi M. *An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan*. Constr Build Mater 35 (2012) 1023–1033.
- 4 *Composite cements for energy-saving concrete technologies*. w: M. Sanytsky, Kh. Sobol, T. Markiv, W. Bialczak // Praca zbiorowa *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*. Czestochowa, Polska, 2004, 373–377.
- 5 Sobol Kh., Blikharskyy Z., Petrovska N., Terlyha V. *Analysis of structure formation peculiarities during hydration of oil-well cement with zeolitic tuff and metakaolin additives*. Chemistry and chemical technology 8(4) 2014 461–465.
- 6 Markiv T., Huniak O., Sobol Kh. *Optimization of concrete composition with addition of zeolitic tuff*. Journal of Lviv Polytechnic National University. Theory and practice of building 781 (2014) 116–121.
- 7 Franus W. *Characterization of X-type zeolite prepared from coal fly ash*. Polish Journal of Environmental Studies 21 (2012) 337–343.
- 8 Bandura L., Panek R., Franus W. *The use of clinoptilolite and synthetic zeolites for removal of petroleum substances*. Journal of Lviv Polytechnic National University. Theory and practice of building 781 (2014) 9–17.
- 9 Bilek V., KerÅ¡ner Z., Schmid P., Mosler T. *The possibility of self-curing concrete*. In: Dhir, Hewlett, Csetenyi, editors. *Innovations and developments in concrete materials and construction*. Proc. International Conference, Dundee, Scotland, UK. 9–11 September 2002, vol. 1. Thomas Telford, 2002. p. 51.
- 10 Zaichenko N.M. *Internal curing and autogenous shrinkage of high-strength concrete*. Build Mater Constr J Ukrainian State Academy of Railway Transport 122 (2011) 236–244 [in Russian].
- 11 Bier T.A., Stolte B., Tokushige H., Kawakami M. *Early shrinkage as influenced by water movement in mortars containing zeolites*. Proc 9th International Symposium on High Performance Concrete – Design, Verification & Utilization. Energy Events Centre, Rotorua, New Zealand, 2011.
- 12 Sanytsky M., Sobol Kh., Markiv T. *Modified composite cements*. Lviv Polytechnic National University Publishing House, 2010, 132p [in Ukrainian].
- 13 Wagner G. *Structures formation in silicate dispersions*. K.: Naukova Dumka, 1989. 182p. [in Russian].
- 14 Sanytsky M., Markiv T., Kropyvnytska T., Krutic T. *Modified composite cements and energetic aspects of waste utilization*. 3rd International Symposium Non-Tradition Cement and Concrete. Brno, 2008, 697–702.

Zastosowanie stereologii w inżynierii materiałów budowlanych

Maciej Szelaǳ, Andrzej Szewczak

*Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: maciej.szelaǳ@pollub.pl, a.szewczak@pollub.pl*

Streszczenie: Artykuł przedstawia dane literaturowe dotyczące zastosowania stereologii oraz analizy obrazu do ilościowej oceny struktury materiałów budowlanych. Na wstępie opisano rozwój metod stereologicznych i technik komputerowej analizy obrazu w badaniach materiałów budowlanych. Następnie zdefiniowano ilościowe parametry struktury oraz przedstawiono sposób ich określania. W artykule zrelacjonowano dotychczasowe zastosowanie analizy obrazu do określania właściwości kompozytów cementowych, w tym: ocena porowatości stwardniałego betonu, określenie rozkładu kruszywa w matrycy cementowej, analiza spękań. Stwierdzono, że wiodącym problemem analizy obrazu jest proces przygotowania próbki w celu prawidłowej ekstrakcji badanej fazy oraz metodologia automatyzacji pomiarów.

Słowa kluczowe: analiza obrazu, stereologia, ilościowe parametry struktury, materiały budowlane.

1. Wprowadzenie

Jakościowe oraz ilościowe zależności pomiędzy strukturą i właściwościami materiałów, podobnie modyfikacje warunkują ich racjonalne i uzasadnione wykorzystanie. Obecne możliwości i uwarunkowania techniczne pozwalają na skuteczną kontrolę procesów technologicznych podczas wytwarzania materiałów, co gwarantuje uzyskanie produktów o oczekiwanych właściwościach (strukturze). Sytuacja ta pozwala na projektowanie zupełnie nowych produktów spełniających obecne potrzeby i coraz bardziej zaostrzone wymagania w zakresie jakości i trwałości. W momencie gdy wyniki badań strukturalnych można ściśle przedstawić za pomocą liczb i jednostek miary, powstaje możliwość skutecznego ich wykorzystania w praktyce, a w rezultacie mogą być wykorzystane do określania zależności pomiędzy strukturą materiału, a parametrami procesu technologicznego [1].

Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat zaobserwowano silny rozwój badań dotyczących analizy struktury. Do lat 90-tych ubiegłego wieku powszechnie stosowano metody opisowe, które nie są miarodajne ze względu na subiektywny charakter pomiarów [2, 3]. Polegają one na wyodrębnieniu określonego zjawiska lub parametru z dotychczas znanej całości, jego opisaniu, porównaniu z podobnymi zjawiskami lub parametrami, i wyróżnieniu czynników wspólnych i różnicujących. W związku z tym dokładność i złożoność oceny warunkowana jest czynnikiem ludzkim. Wraz z rozwojem technik komputerowych nastąpiło przejście do w pełni ilościowych obiektywnych metod [3], polegających na określeniu parametrów liczbowych (w odpowiednich jednostkach), charakteryzujących badane zjawisko lub obiekt badań.

Do w pełni ilościowych metod oceny struktury materiałów należy zaliczyć metody stereometryczne, odnoszące się do badań w przestrzeni [1, 4]. Dawniej (pod koniec XX

wieku) metody te cechowała duĝa pracochłonnoŝć pomiarów. Wraz z rozwojem stereologicznych, komputerowych analizatorów obrazu trudnoŝci te zaczęły być stopniowo pokonywane, a obecnie problem został wyeliminowany poprzez zastosowanie odpowiedniego oprogramowania komputerowego.

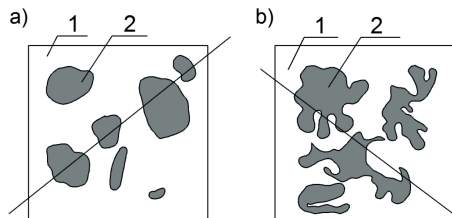
2. Iloŝciowy opis struktury materialów budowlanych

W przypadku obszaru badawczego związanego z budownictwem pierwsze próby oceny iloŝciowej struktury dotyczyły metali [1, 4, 5]. Metody te rozwijały siê jednoczeŝnie z rozwojem mikroskopowej analizy metalograficznej. Były to metody porównawcze, w których badaną strukturę porównywano ze skalą wczeŝniej zdefiniowanych wzorców. Badania te mimo iĝ sà proste do przeprowadzenia majà szereĝ wad, głównie wynikajàcych z trudnoŝci w procesie konstruowania wzorców oraz z samej zasady oceny polegajàcej na porównaniu. Dokładnoŝć takiej oceny zaleĝała od badacza i jego zdolnoŝci do obiektywnej interpretacji danych. Mimo wszystko wynik badañ były subiektywne i mógł siê zmieniać wraz z osobà dokonujàcà porównania. Skalę wzorców w przypadku stali stanowiła seria fotografii mikroskopowych, ułożonych i ponumerowanych w porzàdku stopniowego wzrostu zawartoŝci rozpatrywanego skłàdnika strukturalnego (np. wydzieleñ węĝlowych czy niemetalicznych w stalach). Analizowanie przestrzennych struktur na podstawie płaskiego obrazu obserwowanego pod mikroskopem jest zasadniczà wadà oceny struktury skalami wzorców [5, 6]. Metody te jednak odchodzà juĝ do przeszłoŝci na rzecz nowoczesnych i ciàĝle rozwijajàcych siê technik komputerowych.

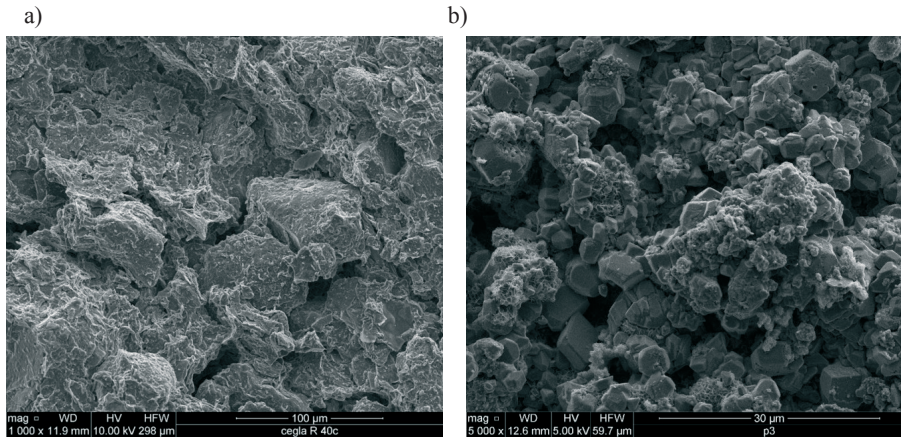
Iloŝciowy opis trójwymiarowej budowy materialów konstrukcyjnych jest kłopotliwy ze wzglêdu na ich nieprzezroczystoŝć. Jedynym obecnie rozwiązaniem jest prowadzenie badañ na płaskich przekrojach, na których widoczne sà dwuwymiarowe przekroje trójwymiarowych brył. Nauka, która zajmuje siê iloŝciowym opisem trójwymiarowych zbiorów brył za pomocà pomiarów lub zliczeñ wykonanych na dwuwymiarowych przekrojach tych zbiorów, nazywana jest stereologià lub stereometrycznà mikroskopià iloŝciowà [1, 4, 5, 7, 8].

Struktura budowlanych kompozytów konstrukcyjnych składa siê z ziaren i otaczajàcej je osnowy [1, 4], co zostało pokazane na Rys. 1. Ze wzglêdu na przewaĝnie złoĝonà geometrię ziaren, moĝna je podzielić na bryły geometrycznie wypukłe (takie, w których wszystkie odcinki łączàce dwa dowolne punkty bryły leĝà w całoŝci wewnàtrz jej objętoŝci) i na bryły geometrycznie niewypukłe, niespełniajàce w/w warunku.

Przykładem struktury płaszczyznowej (w przestrzeni $R^{(2)}$) moĝe być mikrostruktura powierzchniowo hydrofobizowanej cegły ceramicznej (Rys. 2a) lub kompozytu na bazie spienionej zaprawy cementowo-wapiennej (Rys. 2b), gdzie widoczne sà, odpowiednio, elementy mikrostruktury czynnika hydrofobizujàcego oraz zaczynu cementowego z dodatkiem wapna.



Rys. 1. Kompozycja strukturalna materialów wraz z klasyfikacjà figur płaskich: a) wypukłe; b) niewypukłe; 1 – osnowa; 2 – ziarna



Rys. 2. Zdjęcia SEM mikrostruktury materiałów budowlanych: a) powierzchniowo hydrofobizowana cegła ceramiczna (powiększenie 1000x) [9]; b) kompozyt wiążący na bazie cementu i wapna (powiększenie 5000x) [10]

3. Parametry stereologiczne struktury

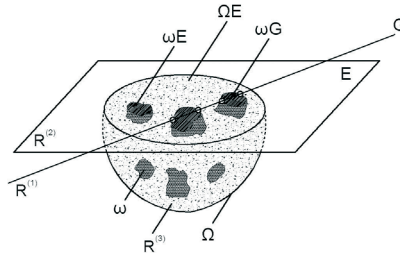
Ilościowe parametry struktury, takie jak rozmiar i kształt ziaren czy pustek powietrznych, ich liczba i zawartość w kompozycie oraz stopień rozdrobnienia struktury (stopień dyspersji) nazywane są parametrami stereologicznymi. Opisują one przestrzenną budowę zbiorów brył, których estymatory są proste do wyznaczenia na płaskich przekrojach lub rzutach budowy materiałów, przy czym estymacja ta może zakładać jedynie ich wypukłość, a nie wymaga założeń związanych z kształtem brył.

Parametry stereologiczne mogą być określone poprzez pomiar lub zliczanie. Te określone przez pomiar mają charakter metryczny (np.: wielkość porów, średnica ziaren, długość pęknięć), natomiast parametry określone przez zliczanie (np.: liczba porów lub ziaren na jednostce powierzchni) mają charakter topologiczny [4, 8]. Zadaniem stereologii jest zbadanie związków parametrów o charakterze topologicznym uzyskanych z analizy przestrzeni n -wymiarowej ($R^{(n)}$, dla $n=0,1,2$) z parametrami metrycznymi w przestrzeni $n+1$ lub $n+2$ zmiarowej.

Atrybuty przestrzennej struktury materiałów można określić na dwa sposoby [1, 11]:

- Poprzez stworzenie modelu, kopii struktury materiału z określeniem ilościowym właściwości tego modelu. Model taki można wykonać na drodze analizy i interpretacji serii równoległych, następujących po sobie płaskich przekrojów prowadzonych przez rzeczywistą strukturę. Aby model wiarygodnie odzwierciedlał rzeczywistą strukturę przekroje te muszą być położone blisko siebie. Wadą tego rozwiązania jest bardzo duża złożoność i czasochłonność wykonania modelu, ale uzyskana dokładność wykonania modelu pozwala na przeprowadzenie bardziej precyzyjnych pomiarów.
- Poprzez analizę polegającą na zliczaniu i mierzeniu płaskich przekrojów badanej struktury pobranych w sposób losowy. Następnie można dokonać estymacji przestrzennych parametrów struktury na podstawie wykonanej wcześniej analizy. Model ten jest tworzony z zachowaniem zasad statystycznego rozkładu i wymaga dużo mniejszego czasu realizacji niż model opisany wyżej. Ciągły rozwój i duże możliwości technik komputerowych służących analizie obrazu pozwalają na wykonanie modelu o stosunkowo dobrym odzwierciedleniu z ciałem rzeczywistym.

Aby określić przestrzenne wskaźniki struktury na podstawie analizy jej płaskich przekrojów, należy skorzystać z istniejących zależności stereologicznych [1, 4, 8, 11]. Rozważając wypukłą cząstkę Ω , przedstawioną na Rys. 3, o regularnej powierzchni, przeciętej płaszczyzną testową E oraz prostą testową G zawierającą się w płaszczyźnie testowej można zdefiniować parametry stereologiczne struktury.



Rys. 3. Wypukła cząstka Ω ze schematem badawczym tworzonym przez płaszczyznę testową E i prostą testową G

Na dowolnym płaskim przekroju poprowadzonym przez badaną strukturę można określić [1, 8]:

- pole powierzchni przekrojów cząstek – A ,
- długość linii tworzącej obwód przekroju cząstki (fazy składające się na strukturę, np.: linie tworzące granicę występujących ziaren) – L ,
- cięciwy ziaren otrzymane na drodze ich przecięcia przez proste testowe (sieczne zawierające się w płaszczyźnie testowej) – I ,
- całkowitą krzywiznę linii obwodów – K ,

natomiast samą analizę strukturalną na płaszczyźnie można przeprowadzić w trzech przestrzeniach [1, 8]:

- $R^{(2)}$ – dwuwymiarowej (płaszczyzna), gdzie analizie poddawane są płaskie przekroje trójwymiarowych brył,
- $R^{(1)}$ – jednowymiarowej (prosta rzeczywista), gdzie analizie poddawane są płaskie cięciwy przekrojów cząstek,
- $R^{(0)}$ – przestrzeń punktowa (punkt rzeczywisty), gdzie analizie poddawane są: punkty styku na granicach ziaren płaskich – punkty węzłowe; punkty przecięcia granic ziaren płaskich z prostą testową G ; punkty testowe, które nanoszone na badaną strukturę mogą służyć w celach estymacji parametrów stereologicznych.

Jak wspomniano wcześniej, metodą pomiarów lub zliczeń na płaskich przekrojach struktury można ustalić parametry geometryczne przestrzeni $R^{(2)}$, $R^{(1)}$, $R^{(0)}$. Parametrów przestrzeni $R^{(3)}$ (trójwymiarowej) nie można ustalić doświadczalnie ze względu na nieprzezroczystość materiału. Stereologia pozwala na ustalenie związków i zależności pomiędzy parametrami tej przestrzeni, a parametrami przestrzeni $R^{(2)}$, $R^{(1)}$, $R^{(0)}$.

Zgodnie z [1, 7, 12], uznaje się następujący podział parametrów stereologicznych na:

- lokalne (statystyczne), czyli takie, które podają uśrednioną charakterystykę jednego ziarna w rozpatrywanej przestrzeni, np.: średnia objętość ziarna V_{sr} , średni obwód przekroju cząstki L_{sr} , średnia cięciwa przekroju ziarna I_{sr} , średnia powierzchnia przekroju cząstki A_{sr} ,
- integralne (globalne), czyli takie, które charakteryzują liczbowo zbiór cząstek danego rodzaju fazy w materiale, w odniesieniu do jednostki miary rozpatrywanej przestrzeni (np.: dla $R^{(3)}$ – cm^3 , $R^{(2)}$ – cm^2 , $R^{(1)}$ – cm), np.: objętość ziaren w jedno-

stce objętości wieloskładnikowego kompozytu V_V , powierzchnia cząstek znajdujących się w jednostce objętości materiału S_V , długość obwodów ziaren na jednostce powierzchni przekroju kompozytu L_A , liczba cięciw przekroju ziarna na jednostkowej długości prostej testowej (cięciwy) N_L .

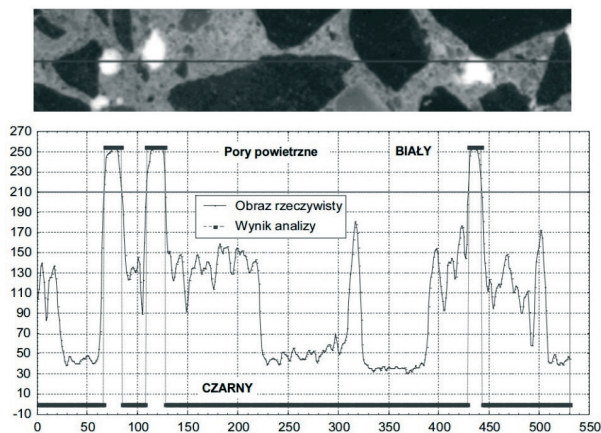
4. Zastosowanie analizy obrazu do oceny właściwości kompozytów cementowych

Stereologiczne badania ilościowej charakterystyki struktury cementowych materiałów wiążących na różnych poziomach strukturalnych, w dotychczas przeprowadzanych pracach badawczych, ograniczają się głównie do pomiarów porowatości oraz rozkładu kruszywa w matrycy cementowej. Podejmowano również próby opisu i analizy spękań wykorzystując techniki analizy obrazu. Poniżej przedstawiono wybrane prace z dotychczas przeprowadzonych badań krajowych i zagranicznych w zakresie zastosowania pomiarów stereologicznych do oceny struktury kompozytów cementowych.

4.1. Ocena porowatości stwardniałych betonów

Metody badania zawartości powietrza w stwardniałym betonie są znormalizowane i w tym zakresie obowiązuje norma PN-EN 480-11 [13]. Istnieją również inne normowe wytyczne pozwalające określić zawartość powietrza w świeżej mieszance betonowej (metoda ciśnieniowa [14]). Znajomość ilości powietrza w mieszance betonowej stanowi jednak tylko część informacji dotyczącej całkowitej porowatości betonu, a jej wartość służy do określania wytrzymałości projektowanego materiału. Bardziej efektywną metodą, od tych przedstawionych powyżej, jest ocena porowatości betonu z zastosowaniem narzędzi i metod stereologii oraz cyfrowej analizy obrazu.

W pracach [15, 16, 17] przedstawiono metodę stereologicznej oceny porowatości betonów przy zastosowaniu programu do analizy obrazu FRAKTAL_Stereolog (Rys. 4) autorstwa J. Konkola. Analizie został poddany sposób zliczania liczby i powierzchni pustek (porów powietrznych powstających w trakcie mieszania i formowania betonu) w betonie, o wielkościach powyżej 0,2 mm. Metoda ta może być z powodzeniem wykorzystana do określenia zawartości dowolnej fazy w betonie po uprzednim opanowaniu preparatyki do prowadzenia obserwacji.



Rys. 4. Graficzna interpretacja miejsc uznawanych za pory powietrzne z wykorzystaniem programu FRAKTAL_Stereolog [15]

Konkol oraz Białek w pracy [18] zaprezentowali wyniki badań stereologicznych dotyczących betonów napowietrzanych. Na płaskich przekrojach, odpowiednio przygotowanych próbek betonowych, określono parametry stereologiczne, a w szczególności współczynnik rozmieszczenia porów. Wartość tego współczynnika posłużyła do określenia odporności betonu na działanie cyklicznego zamrażania/odmrażania. Pomiary zostały uzupełnione o badania wytrzymałości na ściskanie.

Kolejnym przykładem zastosowania stereologii do oceny porowatości betonu są prace Sumanasooriya i Neithalatha [19, 20, 21]. Autorzy mierzyli wielkość porów, ich rozkład, powierzchnię właściwą oraz inne właściwości betonów o zwiększonej zawartości powietrza. Do analizy użyto matematycznych metod analizy morfologii struktury oraz technik stereologicznych, bazujących na pomiarach powierzchni, przy zastosowaniu siecznych testowych. Stwierdzono dobrą korelację pomiędzy odwrotnością powierzchni właściwej porów, a ich efektywną średnicą. Przeanalizowano trójwymiarowy profil dystrybucji porów w stwardniałym betonie, który wskazuje na istnienie współczynnika hydraulicznego pozwalającego na wstępne oszacowanie przepuszczalności badanego betonu.

Hu and Stroeven [22, 23, 24, 25] w swoich badaniach wykorzystali i zmodyfikowali teorię lokalnej porowatości opracowaną przez Hilfera [26], która dotychczas była wykorzystywana do geometrycznej analizy porów w piaskowcach. Opracowano metodologię preparatyki i analizy stereologicznej struktury porów na płaskich przekrojach próbek zaczynu cementowego. Badane zaczyny cementowe cechowały się zróżnicowanym wskaźnikiem wody do cementu (w/c) oraz różnym stopniem hydratacji. Wykorzystano także system SPACE, który został opracowany na Uniwersytecie Technologicznym w Delft, w Holandii. Program pozwala na analizę podstawowych zjawisk związanych z aglomeracją cząstek i ziaren w matrycy, w tym przypadku porów i kruszywa w matrycy cementowej. Opracowano charakterystykę stwardniałych faz w betonie oraz sieci strukturalnej porów w przestrzeni, w aspekcie zjawisk związanych z przepuszczalnością.

Autorzy pracy [27, 28] wykorzystali zdjęcia z elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) do oceny struktury i dystrybucji porów kapilarnych w betonach wysokich wytrzymałości we wczesnych fazach dojrzewania. W celu interpretacji wyników zastosowano model hydratacji cementu opracowany przez Powersa [29]. Zauważono że w betonach zawierających pyły krzemionkowe znajduje się dużo więcej porów kapilarnych o małych średnicach niż w betonach bez dodatku pyłów krzemionkowych. Na tej podstawie wywnioskowano, że obecność gęstej siatki mało-średnicowych porów kapilarnych może być odpowiedzialna za większy skurcz autogeniczny we wczesnej fazie dojrzewania betonów z dodatkiem pyłów krzemionkowych.

4.2. Analiza rozkładu kruszywa w matrycy cementowej

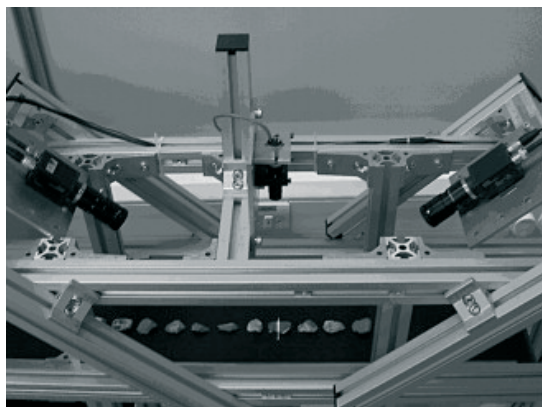
Zgodnie z obecnie obowiązującą normą PN-EN 933-1 [30] oznaczenie składu ziarnowego kruszyw mineralnych wykonuje się metodą przesiewania na sucho lub na mokro. Zasada obu metod polega na rozdzieleniu kruszywa na frakcje przez przesianie na zestawie sit kontrolnych o znormalizowanych wymiarach oczek kwadratowych, zgodnie z PN-EN 933-2 [31], a następnie ustaleniu procentowego udziału (masowego) poszczególnych frakcji w badanej próbce. Alternatywę od powyższego przedstawia Konkol [32, 33]. Wykazał przydatność i skuteczność stereologicznych metod analizy obrazu do opisu morfologii ziaren kruszywa grubego w betonie. Opisowi został poddany proces przygotowania obrazu płaskiego przekroju próbki do analizy oraz przedstawiono sposób uzyskania krzywej uziarnienia kruszywa grubego w betonie na kruszywie bazaltowym.

W pracy [34] przedstawiono propozycję oceny kształtu ziaren kruszywa, zarówno dla kruszywa otoczkowego oraz łamanego. Analiza stereologiczna dostarczyła informacji na

temat trójwymiarowego kształtu ziaren kruszywa grubego na podstawie dwuwymiarowych rzutów ziaren kruszywa na powierzchnię. Dodatkowo w pracy zastosowano analizę Fouriera do opisu ilościowej i jakościowej charakterystyki powierzchni kruszywa, w tym oceniono m.in. chropowatość ziaren.

Mora, Kwan i Chan w swoich badaniach [35, 36, 37] opracowali metodę cyfrowego przetwarzania obrazu w celu pomiarów kulistości, współczynnika kształtu oraz wypukłości kruszywa grubego stosowanego do betonów. Opracowaną metodą przeanalizowano 46 próbek kruszywa z pięciu różnych źródeł i otrzymane wyniki porównano z pomiarami przeprowadzonymi w standardowy sposób, w celu zidentyfikowania parametrów stereologicznych, które mogą posłużyć jako wskaźnik kształtu ziaren kruszywa. Stwierdzono, że dwa parametry zdefiniowane jako wskaźnik wypełnienia i stosunek wypukłości cechują się wysoką wartością wskaźnika korelacji z wynikami otrzymanymi na drodze tradycyjnych pomiarów. Podjęto się również próby określenia krzywej uziarnienia kruszywa grubego.

W pracy [38] opisano metodę zbierania i analizy danych 3D z powierzchni cząstek gruboziarnistych kruszyw. Technika ta wykorzystuje triangulację laserową w celu uzyskania danych z górnej powierzchni próbki kruszywa przechodzącej wzdłuż taśmy przenośnika. Prototypowe stanowisko badawcze zostało pokazane na Rys. 5. Opisano nowe podejście badawcze w celu określenia ilościowej wielkości ziaren kruszywa i kształtu we wszystkich trzech wymiarach. Zastosowany algorytm wykorzystuje matematyczną morfologię do zapewnienia geometrycznie znaczącej interpretacji kształtu cząstek. Zaprezentowano względne zalety dwu- i trójwymiarowej analizy ziaren kruszywa, a otrzymane wyniki wykazują słuszość zastosowanego podejścia.

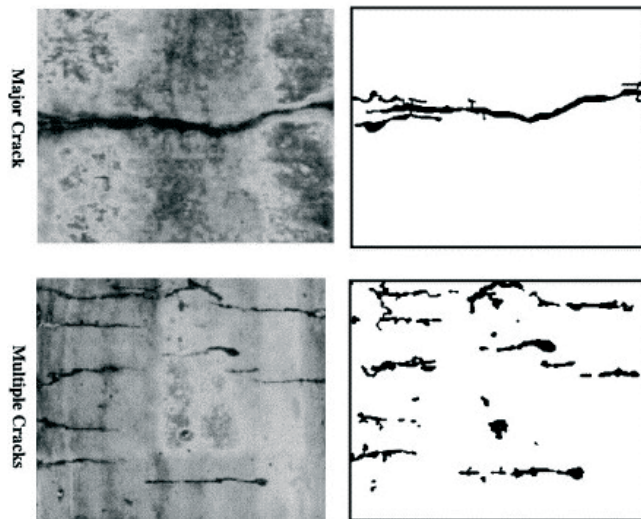


Rys. 5. Prototypowy system triangulacji laserowej do oceny właściwości geometrycznych kruszywa [38]

4.3. Analiza spękań struktury kompozytów cementowych

Analiza stereologiczna mikrorys w betonie, powstałych pod wpływem naprężeń ściskających była przedmiotem badań w pracy [39]. Badania zostały przeprowadzone na zdjęciach uzyskanych z SEM, które przedstawiały płaski przekrój próbek cylindrycznych z betonów wysokich wytrzymałości. Analiza stereologiczna, która interpretuje trójwymiarowe struktury na drodze badań dwuwymiarowych rzutów lub przekrojów tych struktur, posłużyła do określenia gęstości, orientacji oraz stopnia rozgałęzienia mikrorys zidentyfikowanych na badanej powierzchni. Pod wpływem dalszego wzrostu obciążenia zaobserwowano gwałtowny rozwój mikropęknięć w fazie stykowej pomiędzy kruszywem a zaczynem cementowym.

Ringot i Bascoul [40, 41] omówili możliwe do zastosowania techniki stereologiczne w analizie zarysowań i mikrozarzysowań w betonach i zaprawach. Zdefiniowano podstawowe dwuwymiarowe parametry opisujące spękania (szerokość rysy, orientacja rysy, długość właściwa rysy, powierzchnia właściwa rysy, średni odstęp pomiędzy rysami, łączność rys, chropowatość rysy, wymiar fraktalny rysy). Udowodniono, że analiza obrazu jest bardzo użytecznym narzędziem do opisu parametrów stereologicznych spękań na różnych poziomach powiększenia obrazu.



Rys. 6. Powierzchnia spękanego kręgu betonowego [42]: a) obraz oryginalny; b) obraz po obróbce graficznej

Problem automatyzacji pomiarów zarysowań powierzchniowych elementów żelbetowych był przedmiotem prac [42, 43]. Autorzy podjęli się próby identyfikacji spękań powierzchniowych na zakopanych kręgach betonowych. W celu identyfikacji spękań zastosowano dwuetapowy proces z wykorzystaniem filtrów statystycznych. Pierwszy etap pozwala na ekstrakcję w ujęciu globalnym obrazu binarnego zawierającego pixele, które mogą stanowić rysy. Drugi etap opiera się na algorytmie matematycznym, które identyfikuje spękania jako swoiste continuum i łączy lokalne struktury w jednolite pęknięcia w ujęciu globalnym. Przykładowy obraz spękanego próbki przed i po obróbce wyżej opisaną metodą został przedstawiony na Rys. 6.

W pracy [44] został poruszony temat prawidłowej obróbki graficznej obrazów. Obraz zawierający płaski rzut spękanego próbki betonowej zawiera dużo nieregularności w postaci występujących plam o różnym stopniu zabarwienia. Występujące graficzne defekty dodatkowo utrudniają proces prawidłowej, automatycznej identyfikacji spękań na badanym elemencie. Zaproponowano dwustopniową technikę oczyszczania obrazu z niepożądanych szumów. Pierwszy krok polegał na użyciu filtru wygładzania co pozwoliło na rozmycie defektów występujących lokalnie. W kroku drugim użyto macierzy Hessego do wyodrębnienia struktur liniowych interpretowanych graficznie jako rysy. Natomiast filtrem progowania oddzielono rysy od tła. Analizę przeprowadzono na 50 zdjęciach różnych betonów. Przeprowadzone eksperymenty dowiodły, że zaproponowana metoda jest efektywna w identyfikowaniu spękań na obrazach powierzchni betonów z występującą dużą ilością szumów.

5. Podsumowanie

Z przeprowadzonej analizy literatury wynika, że w największym stopniu stereologia, w tym skomputeryzowane techniki analizy obrazu mają zastosowanie do oceny porowatości stwardniałych kompozytów cementowych. Próby analizy geometrycznej struktury spękań powstałej na powierzchni elementów betonowych w głównej mierze skupiają się na problematyce prawidłowej ekstrakcji fragmentów obrazu, które mogą być interpretowane jako rysy. Przeważnie określane są tylko lokalne parametry opisujące rozpatrywaną rysę, takie jak długość czy szerokość rysy.

W większości dotychczas przeprowadzonych badań analizowana powierzchnia jest poddawana odpowiedniej obróbce w celu wyodrębnienia analizowanej fazy, jeszcze przed wykonaniem zdjęcia czy zeskanowaniem powierzchni do dalszej analizy. Autorzy niniejszej pracy są zgodni co do faktu, że wartościowym byłoby opracowanie sposobu analizy powierzchni, bez przeprowadzania jej wstępnej preparatyki lub należy ograniczyć ją do minimum przy zastosowaniu powszechnie dostępnych środków co będzie skutkowało analizą rzeczywistej powierzchni. Takie podejście może pozwolić na analizę powierzchni elementu wykonanego nie tylko w warunkach laboratoryjnych, ale także elementu wbudowanego w rzeczywistą konstrukcję, pracującą w warunkach obciążeń eksploatacyjnych.

Literatura

- 1 Ryś J. *Stereologia materiałów*. Fotobit Design, Kraków, 1995.
- 2 Howe K., Eisenhart M. *Standards for qualitative (and quantitative) research: A prolegomenon*. Educational Researcher 19(4) (1990) 2-9.
- 3 Newman I. *Qualitative-quantitative research methodology: Exploring the interactive continuum*. SIU Press, Carbondale, 1988.
- 4 Prokopski G., *Mechanika pękania betonów cementowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2007.
- 5 Chernyavskii K.S. *Stereology in metal science*. Metallurgiya, Moscow, 1977.
- 6 Underwood E.E., Starke Jr E.A. *Quantitative stereological methods for analyzing important microstructural features in fatigue of metals and alloys*. Georgia Inst of Tech Atlanta School of Chemical Engineering and Metallurgy, Atlanta, 1978.
- 7 Carpenter A.M. *Stereology. Definition and historic background*. Journal of Histochemistry & Cytochemistry 27(11) (1979) 1535–1535.
- 8 Russ J.C. *Practical stereology*. Springer, 1986.
- 9 Fic S., Barnat-Hunek D. *The effectiveness of hydrophobisation of porous building materials by using the polymers and nanoparticles solutions*. International Journal of Materials Science and Engineering 2(2) (2014) 93–98.
- 10 Fic S., Brzyski P., Szeląg M. *Composite based on foam lime mortar with flax fibers for use in the building industry*. Ecological Chemistry and Engineering A 20(7–8) (2013) 899–907.
- 11 Underwood E.E. *Practical solutions to stereological problems*. Practical Applications of Quantitative Metallography (1984) 160–179.
- 12 Weibel E.R., Weibel E.R. *Estimation of basic stereological parameters*. Stereological methods 2 (1980) 55–139.
- 13 PN-EN 480-11: *Domieszki do betonu, zapraw i zaczynu. Metody badań. Oznaczenie charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie*.
- 14 PN-88/B-06250: *Beton zwykły*.
- 15 Konkol J., Kulpiński J., Prokopski G. *Zastosowanie analizy obrazu do określania porowatości betonu na próbkach utwardzonych*. Inżynieria Materiałowa 23 (2002) 737–742.
- 16 Konkol J., Prokopski G. *Zastosowanie metody analizy obrazu do oceny struktury porów w materiałach budowlanych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2006, s. 271–276.

- 17 Konkol J., Prokopski G. *Zastosowanie stereologii do oceny porowatości betonu*. *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* 2 (2007) 137–140.
- 18 Konkol J., Białek J. *Zastosowanie metod stereologicznych do oceny mrozoodporności betonów napowietrzanych*. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 57(4) (2010) 285–292.
- 19 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.
- 20 Neithalath N., Sumanasooriya M.S., Deo O. *Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction*. *Materials characterization* 61(8) (2010) 802–813.
- 21 Sumanasooriya M.S., Neithalath N. *Pore structure features of pervious concretes proportioned for desired porosities and their performance prediction*. *Cement and Concrete Composites* 33(8) (2011) 778–787.
- 22 Hu J., Stroeven P. *Local porosity analysis of pore structure in cement paste*. *Cement and Concrete Research* 35(2) (2005) 233–242.
- 23 Hu J., Stroeven P. *Depercolation threshold of porosity in model cement: approach by morphological evolution during hydration*. *Cement and Concrete Composites* 27(1) (2005) 19–25.
- 24 Hu J., Stroeven P. *Application of image analysis to assessing critical pore size for permeability prediction on cement paste*. *Image Analysis & Stereology* 22(2) (2003) 97–103.
- 25 Hu J., Stroeven P. *Size effect in structural analysis of cementitious materials*. *Proceedings of 9th European Congress on Stereology and Image Analysis, Polish Society for Stereology, Kraków 2005*, s. 23–30.
- 26 Hilfer R. *Geometric and dielectric characterization of porous media*. *Physical Review B* 44(1) (1991) 60–75.
- 27 Igarashi S., Watanabe A., Kawamura M. *Evaluation of capillary pore size characteristics in high-strength concrete at early ages*. *Cement and Concrete Research* 35(3) (2005) 513–519.
- 28 Igarashi S., Kawamura M., Watanabe A. *Analysis of cement pastes and mortars by a combination of backscatter-based SEM image analysis and calculations based on the Powers model*. *Cement and Concrete Composites* 26(8) (2004) 977–985.
- 29 Powers T.C. *Physical properties of cement paste* *Proceedings of the 4th International Symposium on the Chemistry of Cement, Washington 1960*, s. 577–613.
- 30 PN-EN 933-1:2000 *Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewu*.
- 31 PN-EN 933-2:1999 *Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenie składu ziarnowego. Nominalne wymiary otworów sit badawczych*.
- 32 Konkol J. *Analiza stereologiczna kruszywa w betonie - sposób uzyskania krzywej uziarnienia*. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 47 (2008) 185–192.
- 33 Konkol J. *Oznaczenie składu ziarnowego kruszywa w betonie metodami analizy obrazu*. *Inżynieria Materiałowa* 31(6) (2010) 1409–1414.
- 34 Hu J., Stroeven P. *Shape characterization of concrete aggregate*. *Image Analysis & Stereology* 25 (2006) 43–53.
- 35 Mora C.F., Kwan A.K.H. *Sphericity, shape factor, and convexity measurement of coarse aggregate for concrete using digital image processing*. *Cement and Concrete Research* 30(3) (2000) 351–358.
- 36 Kwan A.K.H., Mora C.F., Chan H.C. *Particle shape analysis of coarse aggregate using digital image processing*. *Cement and Concrete Research* 29(9) (1999) 1403–1410.
- 37 Mora C.F., Kwan A.K.H., Chan H.C. *Particle size distribution analysis of coarse aggregate using digital image processing*. *Cement and Concrete Research* 28(6) (1998) 921–932.
- 38 Lee J.R.J., Smith M.L., Smith L.N. *A new approach to the three-dimensional quantification of angularity using image analysis of the size and form of coarse aggregates*. *Engineering Geology* 91(2–4) (2007) 254–264.

- 39 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.
- 40 Ringot E., Bascoul A. *About the analysis of microcracking in concrete*. Cement and Concrete Composites 23(2–3) (2001) 261–266.
- 41 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.
- 42 Sinha S.K., Fieguth P.W. *Automated detection of cracks in buried concrete pipe images*. Automation in Construction 15(1) (2006) 58–72.
- 43 Sinha S.K., Fieguth P.W. *Segmentation of buried concrete pipe images*. Automation in Construction 15 (2005) 47–57.
- 44 Fujita Y., Mitani Y., Hamamoto Y. *A method for crack detection on a concrete structure*. Pattern Recognition 3 (2006) 901–904.

Application of stereology in engineering of building materials

Maciej Szelaĝ, Andrzej Szewczak

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

Abstract: The article presents the literature review about the application of stereology and image analysis for quantitative evaluation of the building materials structure. At the outset, the development of stereological methods and computer image analysis techniques in the study of building materials was provided. Then quantitative structure parameters were defined and their methods of determining were showed. In the paper, the application of image analysis for the determination of properties of the cement composites was reported, including: an assessment of the porosity of the hardened concrete, determination of the aggregate distribution in the cementitious matrix, the crack analysis. It was found that the leading problem of image analysis is the process of sample preparation in order to obtain the correct extraction of examined phase, and measurement automation process.

Keywords: image analysis, stereology, quantitative structure parameters, building materials.

Application of zeolites as fillers in mix asphalt

Agnieszka Wozuk¹, Lidia Bandura², Rafał Panek³

¹ *Chair of Roads and Bridges,* ² *Chair of Geotechnology,* ³ *Faculty of Building Engineering and Architecture, Lublin University of Technology,*
email: a.wozduk@pollub.pl, l.bandura@pollub.pl, r.panek@pollub.pl

Abstract: The aim of this paper is estimation of the effect of zeolites addition on properties of asphalt and examination of possible application of zeolites in mix asphalt as a filler. The addition of zeolites to the mix asphalt is one of the ways used for reduction of technological temperatures by asphalt foaming. At the same time the zeolite material replaces the filler. The paper presents the results of studies on the synthetic zeolite NaP1, natural zeolite- clinoptilolite and mineral filled.

Keywords: zeolite, warm mixed asphalt, mineral filler, mineral filled asphalt.

1. Introduction

Zeolites are aluminosilicates of skeleton structure in which void spaces formed as chambers and channels occur. Their characteristic feature is ability to accumulate in the void spaces the crystalline structure so called zeolite water which can be removed by heating and then again absorbed or replaced by other substances. Such specific internal structure imparts many physical and chemical features to zeolites which are of significant importance in a large variety of industrial applications [1,2,3].

One of the latest possibilities in applications of zeolites for production of mineral and asphalt mix for asphalt foaming and technological temperature reduction. The hitherto investigations of mix asphalt with the addition of zeolites dealt mainly with synthetic zeolites in the patented technologies Aspha-Min and Advera. According to the producers recommendations of the agent reducing temperature of production and compaction– the zeolite Aspha-min® replaces the filler in the warm mix asphalt (WMA) procedure and it should be evidenced as a filler in the investigations [4,5]. In this technology zeolite is mass batched in the amount of 0,3% in relation to the WMA mass [6,7]. Also in the case of alternative materials mass batching is used for lime fillers [8,9,10]. The investigations on possibility of applying other kinds of zeolite and on the effect of the amount of batched additive on properties of asphalt and mix asphalt are carried out [11,12]. Even though zeolite partially replaces a filler, no studies of zeolites properties with respect to their applicability as fillers are carried out.

Besides binding agents and aggregates the mineral filler is an important component of the mix asphalt. Asphalt binding agents combined with the slurry (mastic) that is a asphalt binder of changed properties dependent on both the kind of filler aggregate and asphalt. Composition and structure of mastic can be compared to natural asphalt characterized by a large content of fine mineral dust. In order to improve properties of petroleum asphalt to mix asphalt a filler aggregate is added. The filler in the mix asphalt performs numerous important functions [13,14]:

- fills the void spaces between mineral mixture grains,
- stiffens asphalt forming mineral filled asphalt together with the binder which binds aggregate mix grains,

- improves water tightness and frost proof of mix asphalt.

Performing the above functions depends on properties of the filler aggregate which are mineral composition, graining, surface area and grain shape. In the production of mix asphalt, mineral filler obtained from lime rock milling (so called lime flour) most frequently plays a role of a filler. There can be also used other materials e.g. line, mineral dust obtained from the installation of dust extraction during production of mix asphalt, fly-ashes from hand coal, cement dust [15,16,17,18,19].

The lack of literature data about replacement of line filling material by zeolite group minerals motivated the authors to make laboratory tests which proved applicability of this type of minerals in the production of mix asphalt.

2. Materials

Synthetic zeolite of NaP1 structure type natural zeolite-clinoptilolite and a typical filler applied in the production of mix asphalt i.e lime filler were used in the studies. Synthetic zeolite was prepared by the reaction of fly-ash conversion under hydrothermal conditions in the semi-technical scale. The fly-ash used in syntheses came from conventional burning of hard coal in the Kozienice Electric Power Station. Natural zeolite (clinoptilolite) was a zeolite tuff originating from the deposit Sokyrnytsya –Transcarpathia District (Ukraine). Lime flour from Lhoist Bukowa LTD was the reference material.

The binders used in the studies were asphalt 35/50 and asphalt 70/100 produced by LOTOS Asfalt LTD.

3. Methods of research

Mineral composition of zeolite materials and lime flour was determined by powder diffractometry XRD using the X-ray diffractometer PanalyticalX'pert APD with the goniometer PW 3020 and Cu lamp as well as a graphite monochrome. The analysis was made at the angle 5–65(2 θ). The HighScore software was used for interpretation of diffraction data.

Filling material graining was measured using the laser diffraction method on the apparatus Malvern Mastersizer 2000 measuring particles in the range 0.02–2000 μm . Measurements were made in the liquid dispersion using distilled water of the refractive index 1.33. Before measurement the samples were twice acted upon by ultrasounds of maximal power (total 4 minutes). Ultrasounds came from the ultrasonic depth finder of the maximal power 300W. The Mie theory was used for particle size calculation.

Textural properties i.e. , specific surface area of micropores, pore size and distribution were determined from the adsorption/desorption isotherms of nitrogen vapour at the temperature of liquid nitrogen (-194.85°C) after the sample degassing under the conditions of strictly controlled temperature (250°C for 24h) and reduced pressure (10^{-3} hPa). The specific surface area was determined based on the Braunauer, Emmett and Teller multilayer adsorption theory (BET) at the ratio of equilibrium pressure and nitrogen saturated vapour pressure $p/p_0 = 0.06\text{--}0.3$. The pore volume V_p was determined from the volume of nitrogen adsorbed under the pressure $p/p_0 = 0.98$. Pore diameters were calculated from the formula $D_p = 4V_p/S_{BET}$.

Basic physical features of fillers were determined from the norms:

- Specific density according to the norm PN-EN 1097-7 [20],
- Humidity according to the norm PN-EN 1097-5 [21],
- Specific surface area according to PN-EN196-6 [22] (according to Blaine).

The effect of zeolite addition on thermal sensitivity of asphalt was determined by penetration at 25°C according to the norm PN-EN 1426: 2009 [23] and softening point

according to the norm PN-EN 1427: 2009 [24]. Due to gradual release of zeolite water, the conditioning time at 160°C from the time of mixing asphalt with zeolite to preparing samples was constant and it was about 30 minutes.

The penetration index was calculated from the formula:

$$PI = \frac{20T_{PIK} + 500 \lg P - 1952}{T_{PIK} - 50 \lg P + 120}, \quad (1)$$

where: T_{PIK} – softening point at °C, P – penetration grade at 25°C, 0,1 mm.

Dynamic viscosity was studied using the apparatus Brookfield according to the norm ASTM D4402[25] at four temperatures corresponding to those asphalt was subjected to: 60°C – during exploitation of the pavement, 90°C – during compaction of the mixture, 135°C – during placement and 160°C – during production. Each examination of viscosity of asphalt with zeolite was made on separate samples based on the principle that the time from mixing asphalt with zeolite to examination is constant and it was about 30 minutes. Given the lowest viscosity of asphalt the optimal content of both synthetic and natural zeolite was 5% in relation to the binder mass [26]. To compare the effect of various types of zeolite on properties of asphalt, there was taken 5% addition of zeolite on proportion to the binder mass.

In order to determine stiffening properties of zeolite and lime fillers, the studies were carried out on the samples of asphalt slurry. The measure of slurry stiffening was the Delta ring and ball softening point, in relation to softening point of road asphalt determined according to the norm PN-EN 13179-1 [27].

4. Results of research

4.1. Characteristics of materials

Mineral composition of some types of zeolite fillers and lime filler was determined by means of X-ray diffractometer (XRD). The diffractograms of mineral composition of natural zeolite (clinoptilolite), synthetic zeolite (Na-P1) and lime filler are presented in Fig. 1. The presence of zeolite phases was determined based on their characteristic interplanar distance d_{hkl} , for clinoptilolite the reflexes were: 8.95; 7.94; 3.36; 3.90Å and for Na – P1 (d_{hkl} = 7.10; 5.01; 4.10; 3.18Å).

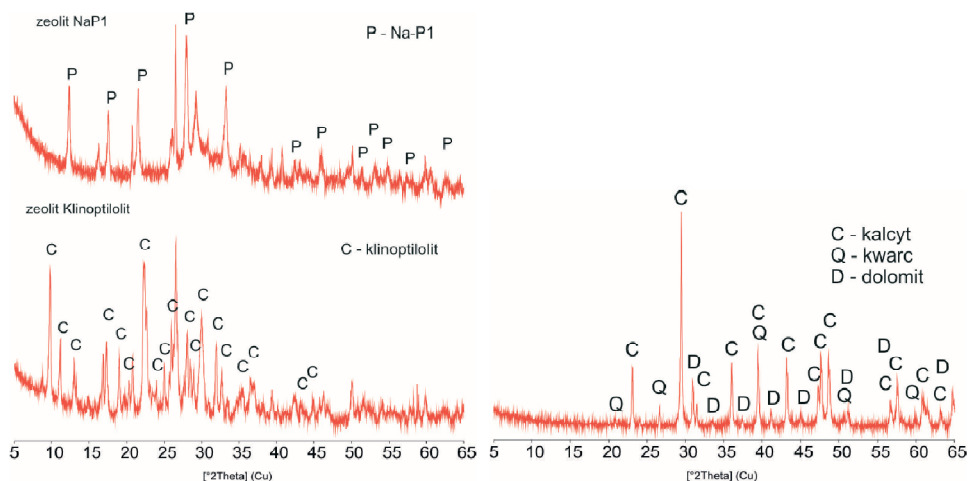


Fig. 1. Diffractograms of mineral composition a) zeolite materials b) lime filler

The quantitative content of zeolite minerals in the filler was about 80% by volume the mineral composition of zeolite filler was completed with small amounts of opal CT, quartz and potassium feldspar for clinoptilolite [28]. Whereas in the case of synthetic materials these were mullite, quartz and unreacted fragments of aluminosilicate glaze.

The predominant component in the mineral filler composition is calcite reorganized from the main d-spacing ($d_{hkl} = 3.03; 5.01; 4.10; 3.18\text{\AA}$) accompanied trace amounts of dolomite and quartz.

Particle size distribution of the studied materials is presented in Fig. 2. The curve of zeolite Na – P1 graining represents the modal distribution of zeolite particles with the maximum about 25 μm . The bimodal distribution of particle sizes is represented by clinoptilolite filler and mineral filler. In the former particles of the diameter about 300 μm and 25 μm are volumetrically predominant but in the latter most particles have a 25 μm diameter and they are accompanied by the particles of a diameter 200 μm .

Studies of textural properties of zeolites showed significant differences among the fillers. The zeolite material of Na – P1 type possesses fivefold larger specific surface area – 94.48 m^2/g than that of clinoptilolite which is 18.3 m^2/g . Synthetic zeolite has also larger contribution of mesopores compared to the natural one. Practically all textural parameters are definitely higher for Na–P1 compared to clinoptilolite. Lime flour is a non-porous material of a very small specific surface area 1.91 m^2/g . Table 1 presents the textural parameters.

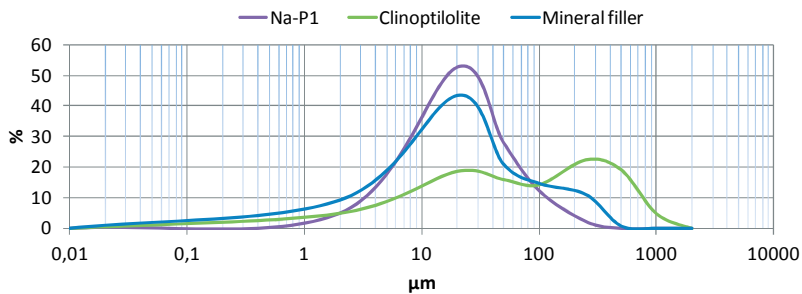


Fig. 2. Distribution of zeolite particle sizes

Table 1. Textural parameters of clinoptilolite, zeolite NaP1 and mineral filler

Materials	S_{2}^{BET} m ² /g	V_{mic} cm ³ /g	S_{2}^{mic} m ² /g	V_{mes} cm ³ /g	S_{2}^{mes} m ² /g	D_p nm
Clinoptilolite	18.3	0.0051	10.65	0.046	7.68	10.0
Na-P1	94.48	0.0048	10.62	0.233	85.86	8.9
Mineral filled	1.91	0.000019	1.95	0.0075	1.65	18.3

gdzie: S_{BET} – specific surface area, V_{mic}/V_{mes} – volume of micropores/volume of mesopores, S_{mic}/S_{mes} – surface of micropores/ surface of mesopores, D_p – average radius of pores.

The other physical properties are presented in Table 2. As follows from the studies absorbability of clinoptilolite is 50% but that of the synthetic zeolite Na–P1 is three times as high. Such large absorbability is due to large porosity of zeolite materials. Moisture content of both zeolite materials is larger than 1% and does not satisfy the requirements for fillers in mix asphalt [29]. The mineral filler is characterized by the lowest moisture content and absorbability. Both zeolite of Na–P1 type and clinoptilolite have lower density than the lime filler. According to Blaine the specific surface area of lime flour is 4703 cm^2/g and that of clinoptilolite is 5288 cm^2/g . No reliable results of specific surface area were obtained for the synthetic zeolite NaP1 using the Blaine method.

Table 2. Basic physical properties of mineral filler, zeolite Na-P1, clinoptilolite

Materials	Density [g/cm ³]	Absorbability [%]	Moisture content [%]	Specific surface area according to Blaine [cm ² /g]
Mineral filler	2.618	22	0.36	4703
Clinoptilolite	2.135	50	4.4	5288
zeolit Na-P1	2.319	165	7.82	Lack of results

4.2. Effect of zeolite addition on asphalt properties

The effects of zeolite addition on thermal sensitivity of asphalt are presented in Table 3. Penetration grade of asphalt 35/50 with the zeolite material at 25°C is slightly lower than that for the reference sample whereas the softening point is insignificantly higher. Both penetration grade and softening point of asphalt with the addition of zeolite are comparable with the results obtained for asphalt 35/50 and the difference is within the norm scatter of the results. Thermal sensitivity measured by means of the penetration index changes. However it is in the range of optimal values for asphalt (from – 1.0 to 1.0) in each penetration index variant.

Table 3. Properties of asphalt 35/50 and asphalt 35/50 with the addition of zeolite.

Asphalt properties	Penetration grade [mm]	Softening point [°C]	Penetration index PI [-]
35/50	36.5	55.80	-0.56
35/50+5% Na-P1	34.5	57.20	-0.39
35/50+5% Clinoptilolite	36	56.60	-0.42

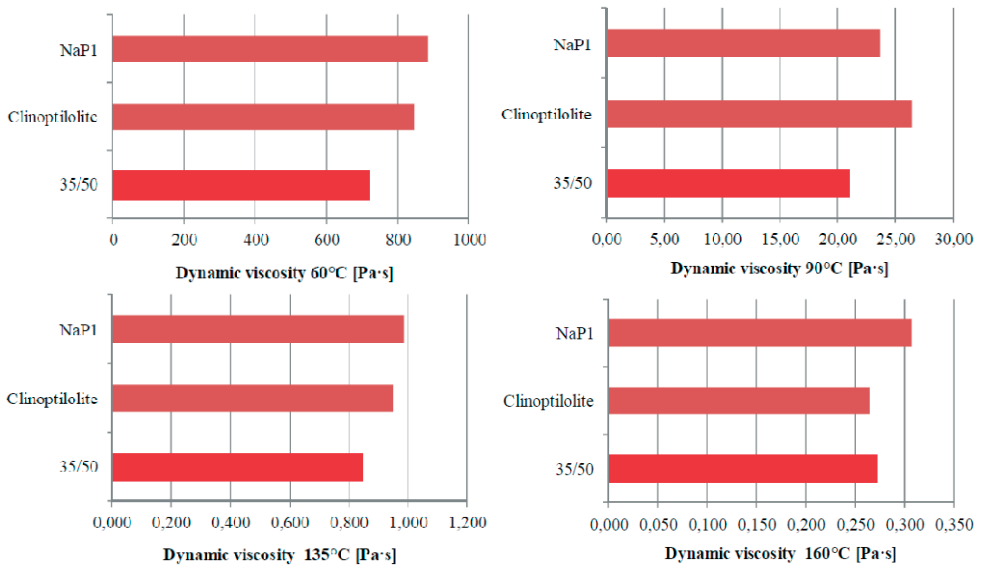


Fig. 3. Dynamic viscosity of asphalt 35/50 with the addition of zeolite a) 60°C b) 90°C c) 135°C d) 160°C

Figure 3 presents the results of dynamic viscosity studies using the Brookfield viscometer which indicate that zeolite causes asphalt viscosity increase independent of temperature. Clinoptilolite increases viscosity to a smaller extent than the synthetic zeolite

Na-P1. At 160°C viscosity of asphalt with the addition of natural zeolite is lower than that of the reference sample.

Figure 4 presents the results of studies on zeolite stiffening properties. Clinoptilolite is characterized by larger stiffening action (15°C) than the mineral filler (9°C). Replacement of the part of mineral filler with zeolite results in the stiffening range 10.4 – 10.6°C. The study with the results synthetic zeolite NaP1 was not carried out. The zeolite material “absorbed” asphalt due to large porosity of the zeolite material NaP1.

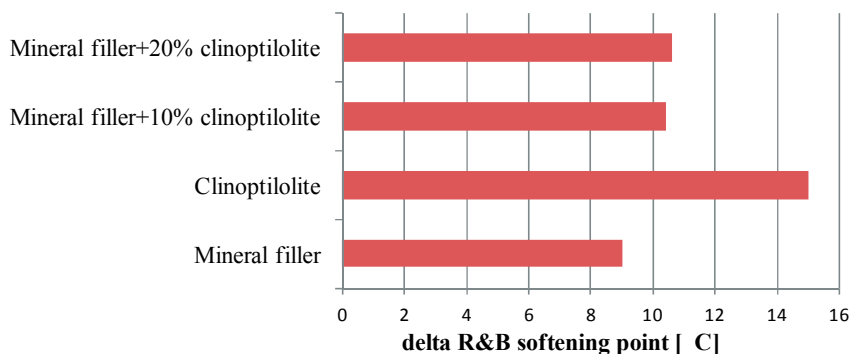


Fig. 4. Delta ring and ball softening point [°C]

5. Conclusions

Zeolite material differs significantly from lime flour as regards graining, chemical composition and textural parameters. Zeolites possess large surface area and are porous materials. Based on the studies of penetration grade and softening point in can be stated that 5% addition of zeolite in relation to the asphalt mass does not have a negative effect on the thermal sensitivity of asphalt. Similar results are obtained for the natural zeolite-clinoptilolite and the synthetic one – Na-P1.

Zeolite occurs in the form of dust and after mixing with asphalt it behaves like a filler which may increase asphalt viscosity. With 5% addition of zeolite, too small amount of water can be needed for bitumen foaming.

Studies of Delta ring and ball softening point indicate that clinoptilolite causes larger stiffening of asphalt than mineral filler. Due to large porosity and specific surface area, the synthetic zeolite of Na-P1 type can not be used as an independent mineral filler.

6. Acknowledgement

The authors take part in the project: “*Research grants for doctoral course students working in research teams*” financed by the Marshal’s Office, Lublin Voivodeship.

References

- 1 Franus W. *Characterization of X-type zeolite prepared from coal fly ash*. Polish Journal of Environmental Studies 21(2) (2012) 337–343.
- 2 Wdowin M., Franus W., Panek R. *Preliminary results of usage possibilities of carbonate and zeolitic sorbents in CO₂ capture*. Fresenius Environmental Bulletin 21(12) (2012) 3726–3734.
- 3 Chałupnik S., Franus W., Wysocka M., Gzyl G. *Application of zeolites for radium removal from mine water*. Environmental Science and Pollution Research 20 (2013) 7900–7906, DOI 10.1007/s11356-013-1877-5.

- 4 Materiały informacyjne firmy Aspha-min, dostępne na stronie <http://www.aspha-min.com/98.html>.
- 5 Deutscher Asphaltverband. V.; *Mieszanki mineralno asfaltowe o obniżonej temperaturze. Porady z praktyki do praktyki*, 2009.
- 6 Hurley G., Prowell B. *Evaluation of potential processes for use in warm asphalt mixes*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists 75 (2006) 41–85.
- 7 Barthel W., Marchand J., Von Devivere M. *Warm mix asphalt by adding a synthetic zeolite*. Proceedings of the 3rd Eurasphalt and Eurobitume Conference, Book 1, Foundation Eurasphalt, Breukelen, The Netherlands, 2004, 1241–1249.
- 8 Kavussi A., Hicks R.G. *Properties of bituminous mixtures containing different fillers*. Proc Assoc Asphalt Paving Technol 66 (1997) 153–186.
- 9 Chen M., Lin J., Wu S., Liu C. *Utilization of recycled brick powder as alternative filler in asphalt mixture*. Constr Build Mater 25(4) 2011 1532–1536.
- 10 Faheem A.F., Hintz C., Bahia H., Al-Qadi I.L. *Influence of filler fractional voids on mastic and mixture performance*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 4264, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, 74–80.
- 11 Sengoz B., Ali Topal A., Gorkem C. *Evaluation of natural zeolite as warm mix asphalt additive and its comparison with other warm mix additives*. Construction and Building Materials 43 (2013) 242–252.
- 12 Kukielfka J., Wozzuk A., Franus W. *Mieszanki mineralno-asfaltowe o obniżonej temperaturze produkcji z dodatkiem zeolitów*. Budownictwo i Architektura, 13(4) (2014) 161–168.
- 13 Piłat J., Radziszewski P. *Nawierzchnie asfaltowe*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004.
- 14 Piłat J. *Wpływ właściwości mączek mineralnych na kształtowanie cech technicznych kompozytów mineralno-asfaltowych*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.
- 15 Little D.N., Petersen J.C. *Unique effects of hydrated lime filler on the performance-related properties of asphalt cements: physical and chemical interactions revisited*. J Mater Civ Eng 17(2) (2005) 207–218.
- 16 Grabowski W., Wilanowicz J., Andrzejczak M., Bilski M. *Warunki zastosowania popiołu lotnego jako wypełniacza do mieszanek mineralno – asfaltowych*. Budownictwo i Architektura 13(1) (2014) 181–190.
- 17 Grabowski W., Słowik M., Wilanowicz J., Soból T. *Właściwości strukturalne i funkcjonalne wypełniaczy z instalacji odpylania gazów wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Budownictwo Lądowe 60 (2006) 161–168.
- 18 Serkan T. *Mechanical evaluation of asphalt-aggregate mixtures prepared with fly ash as filler replacement*. Can J Civ Eng 35(1) (2008) 27–40.
- 19 Chen M., Lin J., Wu S., Liu C. *Utilization of recycled brick powder as alternative filler in asphalt mixture*. Constr Build Mater 25(4) (2011) 1532–1536.
- 20 PN-EN 1097-7. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 7: Oznaczanie gęstości wypełniacza – Metoda piknometryczna*.
- 21 PN-EN 1097-5. *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 5: Oznaczanie zawartości wody przez suszenie w suszarce z wentylacją*.
- 22 PN-EN 196-6. *Metody badania cementu – 6: Oznaczanie stopnia zmielenia*.
- 23 PN-EN 1426:2009. *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie penetracji igłą*.
- 24 PN-EN 1427:2009. *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie temperatury mięknięcia - Metoda Pierścieni i Kula*.
- 25 ASTM D 4402. *Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer*.
- 26 Sengoz B., Ali Topal A., Gorkem C. *Evaluation of natural zeolite as warm mix asphalt additive and its comparison with other warm mix additives*. Construction and Building Materials 43 (2013) 242–252.
- 27 PN-EN 13179-1. *Badania kruszyw wypełniających stosowanych do mieszanek bitumicznych – Część 1: Badanie metodą pierścienia delta i kuli*.

- 28 Franus W., Dudek K. *Clay minerals and clinoptilolite of Variegated Shales Formation of the Skole Unit*. Polish Flysch Carpathians. *Geologica Carpathica* 50 (1999) 23–24.
- 29 *Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych*. Wymagania techniczne WT1 2010.

Formy terapii dzieci niepełnosprawnych i rola architektury w tym procesie

Jan Wrana

Samodzielną Pracownia Architektoniczna, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: j.wrana@pollub.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia na przykładach różne formy edukacji w okresie budowania społeczeństwa obywatelskiego, oraz świadomego tworzenia równych szans rozwojowych dziecka, sprzyjających konstruowaniu programów nauczania systemowego: „*By lepiej rozwinięte umiejętności wspomagały dążenia dziecka w usprawnianiu funkcji upośledzonych*”. Powstają *integracyjne centra dydaktyczno-sportowe*, gimnazja i licea z pełnym zapleczem w których kształcą się wspólnie dzieci w pełni sprawne oraz po zdiagnozowaniu stanu niesprawności, (o nieznacznym upośledzeniu ruchowym), wspierana jest działalność *ośrodków szkolno-wychowawczych* przygotowujących młodzież z lekkim upośledzeniem umysłowym – do praktycznego zawodu umożliwiając ich aktywny udział w życiu społecznym. Powstał również ośrodek specjalistyczny –specjalnej troski dla dzieci uzdolnionych muzycznie o różnym stopniu niepełnosprawności (nie słyszące, niedowidzące, z porażeniem mózgowym, autyzmem) które występują na scenie jak równy z równym obok laureatów konkursów.

Słowa kluczowe: integracyjne centrum dydaktyczno-sportowe, ośrodek szkolno-wychowawczy, szkoła muzyczna dla dzieci niepełnosprawnych.

1. Wstęp

Niniejszy artykuł przedstawia na przykładach różne formy edukacji w okresie budowania społeczeństwa obywatelskiego oraz świadomego tworzenia równych szans rozwojowych dziecka, sprzyjających konstruowaniu programów nauczania systemowego: „*By lepiej rozwinięte umiejętności wspomagały dążenia dziecka w usprawnianiu funkcji upośledzonych*”.

W drugiej połowie XX i na początku XXI wieku pojawiają się różnorodne formy terapii dzieci niepełnosprawnych.

Powstają *Integracyjne Centra Dydaktyczno-Sportowe*, Gimnazja i Licea z pełnym zapleczem, w których kształcą się wspólnie dzieci w pełni sprawne oraz po zdiagnozowaniu stanu niesprawności (o nieznacznym upośledzeniu ruchowym).

Wspierana jest działalność *Ośrodków Szkolno-Wychowawczych* przygotowujących młodzież z lekkim upośledzeniem umysłowym do praktycznego zawodu, umożliwiając ich aktywny udział w życiu społecznym.

Powstał również ośrodek specjalistyczny – specjalnej troski dla dzieci uzdolnionych muzycznie o różnym stopniu niepełnosprawności (nie słyszące, niedowidzące, z porażeniem mózgowym, autyzmem), które występują na scenie jak równy z równym obok laureatów konkursów.

2. Integracyjne centra dydaktyczno-sportowe

Wprowadzona przez rząd Premiera Jerzego Buzka reforma o samorządzie lokalnym oraz dokonane wówczas zmiany w reformie oświaty zmieniły formułę kształcenia poprzez pośredni stopień kształcenia młodzieży po szkole podstawowej – w gimnazjum, oraz nałożyła na samorzady konieczność tworzenia współczesnych zespołów integrujących młodzież w zajęciach pozalekcyjnych.

Powstają wówczas pierwsze integracyjne centra kształcenia, w których uczą się wspólnie dzieci zdrowe i niepełnosprawne. Obiekty te wymagają konkretnych udogodnień pod kątem niepełnosprawnych, które umożliwiają komfortowe użytkowanie osobom poruszającym się na wózkach inwalidzkich i o kulach, a także osobom niedowidzącym. Są to m.in. pochylnie i windy umożliwiające pokonywanie różnicy poziomów, szersze drzwi i korytarze (pozwalające na swobodne manewry wózkiem), specjalne oznakowania dla słabowidzących, udogodnienia w toaletach (m.in. poręcze i uchwyty) i na basenie (instalacje umożliwiające przeniesienie osoby z niedowładem nóg do niecki basenu i na odwrót).

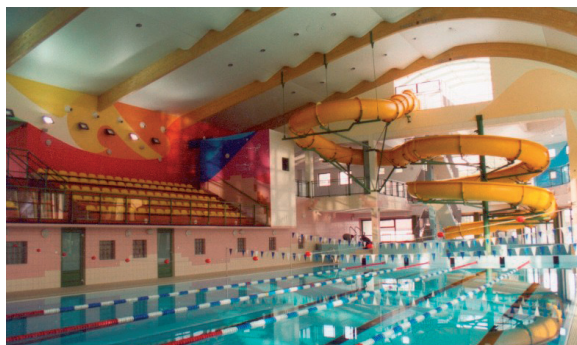
Dzięki wspólnej nauce dzieci zdrowe uczą się tolerancji, wrażliwości i chęci niesienia pomocy, dzieci niepełnosprawne zaś nie czują się odizolowane od rówieśników. Wiedzione ambicją i chęcią dorównania zdrowym kolegom często uczą się i rozwijają lepiej niż w przypadku uczniów specjalistycznych ośrodków o podobnym stopniu niepełnosprawności.

Wśród powstałych obiektów tego typu wymienić można centra w Józefowie (rys. 1, 2), Brzesku (rys. 3) i Łomiankach (rys. 4); ich głównym projektantem był autor artykułu. Obiekty połączone przewiązkami które ułatwiały poruszanie się dzieci pomiędzy poszczególnymi obiektami.

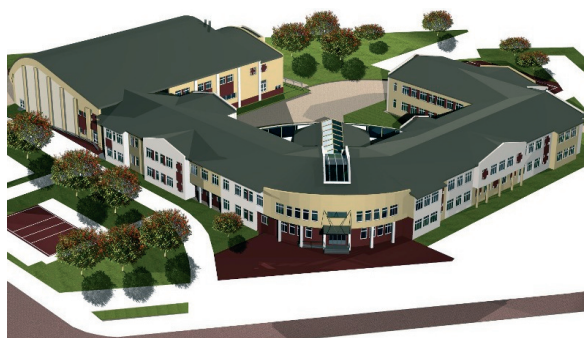
W roku 1999, pokonując konkurencyjne zespoły, autor z zespołem pozyskał zlecenie od jednego z pierwszych inwestorów, którzy podjęli się realizacji wizji kształcenia w zespołach integracyjnych. Był nim Urząd Miasta Józefowa koło Warszawy. Oryginalność architektury tej sypialni Warszawy, nazywanej „architekturą nad Świdrem”, której prekursorem był w XIX wieku architekt włoskiego pochodzenia, osiadły na tym terenie, Michał Elwiro Andreotti, była odczytanym przez autora „kodem” architektury dla przetworzenia we współczesnej formie przekazu.



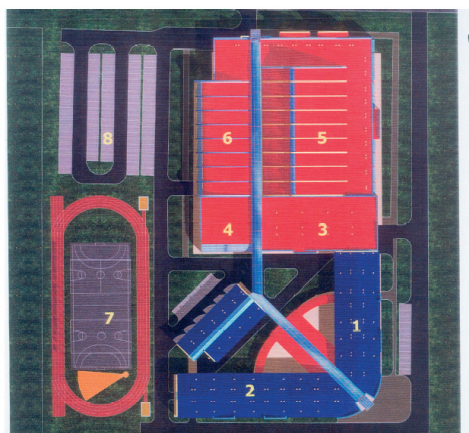
Rys. 1. Integracyjne Centrum Dydaktyczno-Sportowe w Józefowie, widok kompleksu z lotu ptaka



Rys. 2. Wnętrze krytego basenu



Rys. 3. Integracyjne Centrum Dydaktyczno-Sportowe w Brzesku – zagospodarowanie terenu (model komputerowy przed realizacją w roku 2002 r.)



Rys. 4. Integracyjne Centrum Dydaktyczno-Sportowe w Łomiankach – zagospodarowanie terenu (1. Gimnazjum, 2. Liceum, 3. Węzeł technologiczny ze stołówką, 4. Hotel młodzieżowy, 5. Aula, 6. Hala Sportowo-widowiskowa, 7. Basen z brodzikiem i zjeżdżalnią, 8. Szkolny stadion sportowy, 9. Parkingi ogólnodostępne)

Zespół obiektów zlokalizowany jest pomiędzy ulicami: Wawerską, Długą i Leśną. Kompleks obiektów dydaktyczno-sportowych zamyka trzema budynkami (Gimnazjum, Basen, Hala Sportowa) wnętrze działki z przeznaczeniem na funkcje rekreacyjno-sportowe z założeniem kompozycyjnym wzdłuż osi wejściowej (narożnik ul. Leśnej) do Gimnazjum.

Korytarz dwukondygnacyjny przecina cięciwą wewnątrz zespołu, estakadą przeszkloną nad otwartym patio, które łączy bezpośrednio Gimnazjum z Halą Sportową. Główne wejście zaakcentowane dużym przeszkleniem oraz podcięciem bryły – jest osią symetrii narożnika ulic. Kompleks zachowując jednoprzestrzenną dwukondygnacyjną formę architektoniczną z zachowaniem skali człowieka, wpisuje się w klimat miasta Józefowa. Duże przeszklenia: głównego korytarza, auli, obiektów sportowych – powodują przenikanie się otoczenia w skomponowaną przestrzeń centrum, nawiązując z nim dialog szanując przekaz lokalnej tradycji.

3. Specjalne ośrodki szkolno-wychowawcze

Inną formą wsparcia rozwoju dzieci niepełnosprawnych (ruchowo i umysłowo) są specjalne ośrodki szkolno-wychowawcze, znajdujące się w wielu miastach Polski. Zapewniają kształcenie na każdym poziomie (szkoła podstawowa, gimnazjum, szkoła średnia); wśród nich znajdują się jednostki uczące osoby z konkretną niepełnosprawnością (np. ośrodki dla niewidomych), jak również kształcące niezależnie od rodzaju niepełnosprawności (najczęściej zespoły szkół z klasami o różnym profilu).

Uczące się w nich dzieci i młodzież nie tylko przygotowywane są do konkretnego zawodu, lecz także - a może przede wszystkim - przyuczane są do funkcjonowania w społeczeństwie i samodzielności w dorosłym życiu. Dzięki wytrwałości rodziców, opiekunów i pedagogów potrafią one zadbać o siebie, komunikować się, obsługiwać domowe sprzęty itd. – co pozwala im w miarę możliwości funkcjonować bez opieki.

Jednym z tego typu ośrodków jest Specjalny Ośrodek Szkolno-Wychowawczy nr 1 w Krakowie, noszący imię Jana Matejki. Mieści się on przy ulicy Szujskiego 2 (rys. 5,6).

W Ośrodku działa Zasadnicza Szkoła Zawodowa nr 30, zajmująca się nauczaniem i wychowaniem młodzieży z lekką niepełnosprawnością intelektualną. Przygotowuje ona do wielu zawodów, w tym kulinarnych – cukiernika, kucharza, piekarza, oraz rzemieślniczych – krawca, kaletnika, stolarza, ślusarza, mechanika samochodowego.

Mieści się tu także Szkoła Przystosobniająca do Pracy nr 2, w której kształcą się uczniowie o umiarkowanym lub znacznym stopniu niepełnosprawności intelektualnej oraz dzieci ze sprzężonymi niepełnosprawnościami (m.in. ADHD, epilepsja, elementy autyzmu). Przygotowuje ona uczniów do samodzielności w życiu dorosłym (w tym podnoszenie sprawności motorycznej, samoobsługa, komunikacja, funkcjonowanie w społeczeństwie), uczy także podstaw kucharstwa, krawiectwa i kaletnictwa.



Rys. 5. Specjalny Ośrodek Szkolno-Wychowawczy nr 1 w Krakowie – budynek szkoły przy ul. Szujskiego



Rys. 6. Specjalny Ośrodek Szkolno-Wychowawczy nr 1 w Krakowie - Dzień Życzliwości

Innym przykładem specjalistycznego ośrodka szkolnego jest Ośrodek Szkolno-Wychowawczy dla Dzieci Niewidomych im. Róży Czackiej w Laskach koło Warszawy, prowadzony przez Towarzystwo Opieki nad Ociemniałymi. Mieści się w nim Szkoła Podstawowa, Gimnazjum i Szkoły Ponadgimnazjalne: Liceum Ogólnokształcące, Technikum Masażu, Technikum dla Niewidomych, Zasadnicza Szkoła Zawodowa, Szkoła Przesposobienia do Pracy i Szkoła Policealna. Obecnie w Laskach uczy się ponad 250 osób, przygotowują się m.in. do zawodu ceramika, ogrodnika i tkacza.

Wśród szkół specjalnych można także wymienić Specjalny Ośrodek Szkolno-Wychowawczy nr 1 w Szczecinie i Zespół Szkół Specjalnych nr 9 w tym samym mieście.

4. Szkoła Muzyczna im. Paula Harrisa dla Dzieci Niepełnosprawnych

Interesującym przedsięwzięciem powiązaniem z kształceniem osób niepełnosprawnych jest działalność Towarzystwa Muzycznego im. Henryka Wieniawskiego w Lublinie i związanej z nim Szkoły Muzycznej im. Paula Harrisa dla Dzieci Niepełnosprawnych.

Lubelskie Towarzystwo Muzyczne to instytucja z wieloletnią tradycją, powstała w okresie międzywojennym, której filarem jest nauczanie dzieci i młodzieży. Patronuje mu wybitny lubelski kompozytor i skrzypek, Henryk Wieniawski. Pierwsza szkoła muzyczna, założona przez Towarzystwo, rozpoczęła działalność w październiku 1916 roku.

Szkoła Muzyczna im. Paula Harrisa dla Dzieci Niepełnosprawnych – pod auspicjami Towarzystwa Muzycznego i Rotary International (międzynarodowej organizacji wspierającej kształcenie młodzieży, o ponad stuletniej tradycji) - rozpoczęła swoją działalność 21 września 2003 roku (rys. 7). Uroczystego otwarcia dokonał Prezydent Miasta Lublina, towarzyszył mu Jerzy Karasiński, Gubernator Dystryktu 2230 (obejmującego Polskę, Ukrainę i Białoruś). Patronem szkoły został Paul Harris (1868-1947), założyciel Rotary, amerykański prawnik i filantrop.

Szkoła jest kontynuatorką Ogniska Muzycznego dla dzieci specjalnej troski, które powstało we współpracy Towarzystwa Muzycznego im. H. Wieniawskiego i Klubu Rotary Lublin Centrum w 1996 roku.

W szkole tej kształcą się dzieci niepełnosprawne ruchowo (niesłyszące, niewidome i niedowidzące) i umysłowo (autystyczne, z porażeniem mózgowym). Uczą się one gry na rozmaitych instrumentach (m.in. na akordeonie, fortepianie, skrzypcach), szkoła prowadzi także zajęcia stymulujące mechanizmy psychoruchowe. Obecnie naukę pobiera około 20 dzieci o różnym stopniu niepełnosprawności; dzięki organizatorom i fundatorom nauka jest nieodpłatna.



Rys. 7. Otwarcie Szkoły 21.IX. 2003 roku



Rys. 8. Kolędowanie - grudzień 2012

Szkoła jest kontynuatką Ogniska Muzycznego dla dzieci specjalnej troski, które powstało we współpracy Towarzystwa Muzycznego im. H. Wieniawskiego i Klubu Rotary Lublin Centrum w 1996 roku.

W szkole tej kształcą się dzieci niepełnosprawne ruchowo (niestyszące, niewidome i niedowidzące) i umysłowo (autystyczne, z porażeniem mózgowym). Uczą się one gry na rozmaitych instrumentach (m.in. na akordeonie, fortepianie, skrzypcach), szkoła prowadzi także zajęcia stymulujące mechanizmy psychoruchowe. Obecnie naukę pobiera około 20 dzieci o różnym stopniu niepełnosprawności; dzięki organizatorom i fundatorom nauka jest nieodpłatna.

Wychowankowie szkoły reprezentują niezwykle wysoki poziom artystyczny – niepełnosprawność nie jest dla nich żadną przeszkodą w realizowaniu pasji. Są laureatami licznych lokalnych i ogólnopolskich konkursów muzycznych, a na koncertach nierzadko stają obok pełno-sprawnych osób i mogą z nimi konkurować jak równy z równym – co zasługuje na szczególnie podziw ze względu na fakt, iż doskonalenie umiejętności wymaga od nich nieporównywalnie większej pracy. Szkoła uczy swoich wychowanków nie tylko gry na instrumentach – daje im wgląd w nowy, dotychczas nieznan świat muzyki, występów i koncertów, a nierzadko także pełnej widowni, światła reflektorów i aplauzu. To wszystko przekłada się na wzbogacenie życia intelektualnego, społeczną akceptację, dowartościowanie i pewność siebie – wartości bezcenne również w codziennym, nie muzycznym życiu

5. Konkurs Muzyczny dla Osób Niewidomych im. Ignacego Paderewskiego

W Lublinie od ponad dekady odbywa się Międzynarodowy Konkurs Muzyczny dla Osób Niewidomych im. Ignacego Paderewskiego, organizowany przez lubelskie Towarzystwo Muzyczne – jedyny na świecie konkurs muzyczny dedykowany osobom niepełnosprawnym.

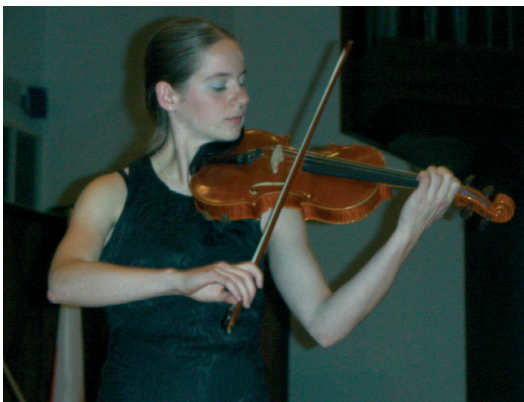
Według organizatorów, idea konkursu zrodziła się z potrzeby zaprezentowania umiejętności muzycznych osób niepełnosprawnych, które w niczym nie ustępują osobom w pełni sprawnym.

Zwycięstwo w konkursie nie tylko nobilituje, ale i umożliwia rozpoczęcie kariery muzycznej – laureaci konkursu koncertują, nagrywają płyty, zdobywają rzesze słuchaczy. Wśród laureatów konkursu jest m.in. lublinianka Natalia Kaczor, a także Ewa Lewandowska, znana z programu X-Factor.

Nie do przecenienia jest wpływ udziału w konkursie – nie wspominając już o wygranej – na samoocenę niepełnosprawnych muzyków. Powszechny podziw i akceptacja przekładają się na pewność siebie i świadomość własnej wartości w życiu codziennym. Wygrana, oprócz prestiżu, przynosi również wymierne profity – nagrodę finansową, a także możliwość rozpoczęcia kariery muzycznej.



Rys. 9. Konkurs Muzyczny dla Osób Niewidomych im. I. Paderewskiego - IX. 2004, wręczenie nagrody przez Jacka Ossowskiego, inicjatora powstania Szkoły Muzycznej im. P. Harrisa



Rys. 10. Koncert laureatów – wrzesień 2004

6. Wnioski

Wymienione przykłady pokazują trzy różne drogi terapii dzieci niepełnosprawnych – mające na celu zarówno przystosowanie ich do dorosłego życia i umożliwienie funkcjonowania w społeczeństwie, jak i ich rozwój artystyczny i duchowy.

Wspólna edukacja dzieci zdrowych i niepełnosprawnych u tych pierwszych kształtuje tolerancję i wrażliwość, u tych drugich buduje poczucie własnej wartości i minimalizuje uczucie odosobnienia, izolacji i odrzucenia (które nierzadko ma miejsce, gdy niepełnosprawne dziecko uczęszcza do specjalnej szkoły). Często dzieci niepełnosprawne ze szkół integracyjnych uczą się szybciej i lepiej niż te ze specjalnych ośrodków – motywowane postęпами zdrowych kolegów.

W przypadkach cięższej niepełnosprawności konieczne jest jednak kształcenie w specjalistycznych szkołach – dają one możliwość zdobycia wykształcenia dostosowanego do umiejętności, a co za tym idzie – szanse na samodzielne utrzymywanie się i odciążenie rodziców.

Odpowiednio dobrana terapia pozwala na samodzielność mimo niepełnosprawności, zaś kształcenie w kierunku muzycznym – na rywalizację z osobami w pełni sprawnymi. W efekcie osoby niepełnosprawne – zarówno fizycznie, jak i umysłowo - mogą być cenną jednostką społeczeństwa – jako znakomici muzycy i fachowcy w nierzadko zanikających dziś zawodach (kaletnik, ślusarz, krawiec itd.).

Kształcenie artystyczne – np. w kierunku muzycznym - przekłada się na również na życie codzienne, m.in. poprzez podnoszenie samooceny i pewności siebie. Jest to swoista terapia – muzykoterapia, równie ważna jak rehabilitacja i ćwiczenia fizyczne.

Literatura

- 1 Łotocki Ł., *Integracja i dyskryminacja – krajobraz 2009*, Instytut Spraw Publicznych, Warszawa 2009
- 2 Nowakowski P., Charytonowicz J., *Wybrane problemy jakości środowiska życia osób niepełnosprawnych*, Politechnika Wrocławska, Wrocław
- 3 Oficjalna witryna internetowa Towarzystwa Muzycznego w Lublinie – <http://www.wieniawski.lublin.pl>
- 4 Oficjalna witryna internetowa Rotary International – www.rotary.org
- 5 Oficjalna witryna internetowa Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego nr 1 w Krakowie – www.soswnr1krakow.pl
- 6 Wrana J., *Rola i znaczenie architektury w procesie scalania struktury przestrzennej miasta - na przykładzie Lublina*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2014
- 7 Wrana J., *Tożsamość miejsca. Kryterium w projektowaniu architektonicznym*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2011

Forms of therapy of disabled children and role of architecture in this process

Jan Wrana

*Lublin University of Technology, Faculty of Building and Architecture,
Independent Architectural Lab, e-mail: j.wrana@pollub.pl*

Abstract The article presents the examples of the different forms of education in the period of building a civil society, and the deliberate creation of equal opportunities and development of the child, foster the construction of curriculum system: "To better developed skills supported the efforts in improving the function of a child with disabilities." Formed integration education and sports centres, primary and secondary s with all facilities where children are educated together in full working order and state disability after diagnosis (with no significant motor impairment), assisted activity of school and educational centres which preparing young people with mild mental retardation - to practical profession, allowing them to actively participate in social life. There has also been a specialist center - Special care for musically gifted children with varying degrees of disability (deaf, visually impaired, cerebral palsy, autism) which appear on stage as an equal alongside the winners of the competitions.

Key words: integration education and sports centre, school and educational center, music school for disabled children.

The modifications to the requirements on energy savings and thermal insulation of buildings in Poland in the years 1974-2021

Anna Życzyńska¹, Tomasz Cholewa²

¹ *Department of Historic Building Preservation, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: a.zyczynska@pollub.pl*

² *Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology,
e-mail: t.cholewa@wis.pol.lublin.pl*

Abstract: Residential and public buildings use for heating more than 40% of the total energy consumption in the European Union. Therefore, this paper discusses the modifications to the building energy standard, which is currently in force. It is based on the requirements included in the Polish technical building regulations and standards. The proper energy-saving police have been implemented to this kind of consumers to diminish the energy consumption.

The analysis pertains to the values of heat transfer coefficients of building partitions as well as the indexes of the energy demand for various types of buildings. The analysis was conducted between 1974 and 2013. Moreover; the changes within this range, which will come into force in 2014 and will continue to 2021, which act in accordance with the technical requirements suitable for buildings, were also discussed. Furthermore, minimal thicknesses of insulation materials which enable meeting this requirements of a heat transfer coefficient for building partitions, were examined in the article.

Keywords: heat transfer coefficient, energy policy, insulation thickness, usable energy, non-renewable primary energy demand index, building energy standard, energy saving.

1. Introduction

Energy-saving policy applied for buildings has significant global impact. Energy consumption in buildings in developed countries comprises 20%–40% of the world final energy consumption [1]. What is more, about 63% of the total energy consumption in the European buildings sector is also used in residential buildings [2].

Indeed, there are a lot of technical and social possibilities to reduce energy consumption in existing buildings; for instance, described by Ueno et al. [3] and by Ouyang and Hokao [4], who proposed improving the occupants' domestic energy consumption through education about energy saving behaviour.

But to reduce the energy consumption in future buildings, designers should choose the proper heating system and the source of its energy supply [5–7]; what is not naturally the fundamental and the cheapest version, and is not very often used in the final version of the project after consultations with investors.

From another side, energy savings polices, which are obligatory, may significantly contribute to energy savings, what was also described in [8–12].

This situation may be seen in Poland (see Fig. 1), where the energy consumption per one person declines to a greater extent in comparison to EU27.

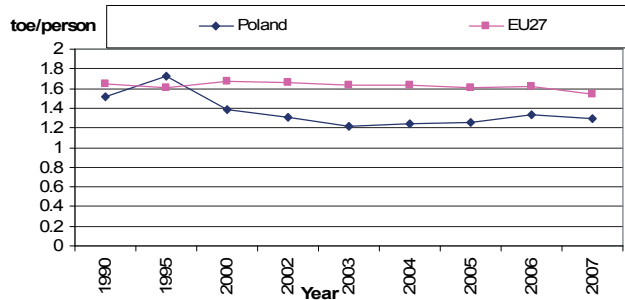


Fig. 1. Energy consumption in households per one person in Poland and EU27 [13]

Therefore, the objective of this study was to show energy-saving policy used in Poland since 1974. What is more, it is also a prospective policy for 2021 treated as exemplary influence of energy policy on the energy conservation, which is on the top of commonly accepted energy hierarchy.

2. Energy-saving policies in Poland

During the design of a new building or the modernisation of an existing one, it is necessary to take the building energy standard requirements into account since they are frequently defined as requirements for a building in terms of its energy consumption. For over 30 years, the energy saving alterations have been introduced to the binding standards [14–16] or technical building regulations [17,18]. Firstly, the changes referred only to maximal values of heat transfer coefficients (marked with ‘k’ then ‘K’ and finally ‘U’ expressed in $[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$ for the opaque and transparent partitions. In 1998, the regulation which aimed at supporting thermomodernisation investments [19,20] was passed together with the executory order [21], which showed that thermomodernised buildings should have better thermal insulation parameters than the newly built ones. Furthermore, in 2002, additional requirements were introduced on the maximal (boundary) value of the index of seasonal heat demand for heating. Such an index (marked with E and expressed in $[\text{kWh m}^{-3}\text{year}^{-1}]$) showed only building demand for usable energy; and thus, it should be calculated in accordance with Polish Standard [21]. The boundary value (marked with E_0) depended on the building shape coefficient (marked with A/V , where A in $[\text{m}^2]$ was the total sum of the area of all partitions separating the heated space from the outdoor air, the unheated space and ground, calculated by the external outline, V in $[\text{m}^3]$ - net cubic volume of a heated part of building). In 2008, the requirement concerning the building demand for nonrenewable primary energy was introduced to the domestic regulations. It determined the maximal value of annual index calculation of the demand for heating, ventilation, cooling, warm water preparation for residential buildings. When it comes to other buildings, there is also a demand for the built-in lighting. This index is marked with EP , and its value is expressed in $[\text{kWh m}^{-2}\text{year}^{-1}]$. Formulas allowing for the calculation of its boundary values for, a so-called, reference building depending on its function, shape coefficient and cooling facilities, are stated in the technical building regulations [17]. The requirements for the thermal insulation of building partitions were implemented simultaneously with the introduction of E and EP ; and additionally, in 2008 together with the thermal insulation of conduits, fittings and fixtures in installations. In 2002, the provisions which referred to the energy efficiency of fixtures and keeping the energy demand in a building at a reasonably low level, were introduced for the first time in the Decree of the Minister of Infrastructure [17].

The affiliation of Poland to the EU caused the necessity to implement the Directive 2002/91/EC known as “The energetic characteristics of buildings.” In Poland, it was realised by the introduction of modifications to the Building Code Act as well as the executive regulation [23] and changes to the regulations [17,21]. The obligation to perform the energy characteristics of a building at the stage of its design, opening, sale or lease was imposed the 1st of January, 2009. The uniformed methodology to determine the integrated building energy characteristics as well as draft the energy certificates in accordance with uniformed formulas presented in the Decree of the Minister of Infrastructure [23] came also into force. Furthermore, the obligation to conduct periodic inspections of boilers and air conditioning installations; not only in terms of their technical state, but first and foremost, due to the efficiency to generate energy and the correctness of choice of power capacity adapted to the building demand. In the modified technical building regulations [18]; effective from January 2014; the schedule for the years 2014-2021 was established. When it comes to its requirements on the thermal insulation of partitions and *EP* index, they are even more strict.

2.1. Heat transfer coefficient (*U*)

2.1.1. Opaque partitions

The maximal values of heat transfer coefficients (*U*) for various types of opaque partitions, effective in accordance with technical building regulations at particular periods, values binding during the preparation of energy audits used for obtaining thermomodernisation funds and the requirements (valid since January 2014, in accordance with Decree of the Minister of Infrastructure, Construction and Maritime Economy [18], are presented in Table 1. It demonstrates progressive changes and the extent to which the requirements are tightened within this scope, for the inside temperature of a heated room or with the difference between the heated and unheated space of at least 16°C.

Table 1. The values of heat transfer coefficient for the selected building partitions

Partition type	Heat transfer coefficient U [$W\ m^{-2}K^{-1}$]								
	*public utility and manufacturing buildings						** manufacturing, warehouse, outhouse buildings		
	1974	1982	1991	2002	2008	1998	acc. to Decree of the Minister [18]		
							since 01.01.2014	since 01.01.2017	since 01.01.2021
External wall when $t_i \geq 16^0$	1.16	0.75	0.55	0.30 0.45*	0.30	0.25	0.25	0.23	0.20
Internal walls separating heated from unheated rooms	1.45	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.30	0.30	0.30
roofs, flat roofs, ceilings above crossings	0.70	0.45	0.30 0.45**	0.30	0.25	0.22	0.20	0.18	0.15
Ceilings below the unheated attic	0.93	0.40	0.30	0.30	0.25	0.22	0.20	0.18	0.15
Ceilings above heated and unheated rooms	1.16	1.00	0.60 1.00**	0.60	0.45 0.80**	0.50	0.25	0.25	0.25
Floors on ground	1.16	0.60	0.67	0.67	0.50	-(1)	0.30	0.30	0.30
Walls adjoining to ground	-(2)	1.00	1.00	1.00	-(1)	-(1)	-(1)	-(1)	-(1)

(1) – not determined, (2)- without requirements

2.1.2. Windows, balcony doors and exterior doors

Similarly to the item 2.1.2, the maximal values of heat transfer coefficients (U) of windows and balcony doors are displayed in Table 2; whereas, in the case of exterior doors they are presented in Table 3. The tables illustrate continuous changes and the extent to which the requirements for various types of buildings, allowing for different internal temperatures and a climate zone, are tightened.

Table 2. The values of heat transfer coefficient for windows and balcony doors

Partition type	Heat transfer coefficient U [$W m^{-2}K^{-1}$]									
	1974	1982	1991	2002	2008	1998 A	acc. to Decree of the Minister [18]			
							since 01.01. 2014	since 01.01. 2017	since 01.01. 2021	
Windows in residential and multi-apartment residential buildings I, II, III zone, $t_i \geq 16^{\circ}C$	2.0÷ 5.8	2.6	2.6	2.6	1.8	1.9	1.3	1.1	0.9	
Windows in residential and multi-apartment residential buildings IV and V zone, $t_i \geq 16^{\circ}C$	2.0÷ 5.8	2.0	2.0	2.0	1.7	1.7	1.3	1.1	0.9	
Roof windows $t_i \geq 16^{\circ}C$	2.0÷ 5.8	– ⁽¹⁾	– ⁽¹⁾	2.0	1.8	1.8; 1.7	1.5	1.3	1.1	
Roof windows $t_i < 16^{\circ}C$	2.0÷ 5.8	– ⁽¹⁾	– ⁽¹⁾	– ⁽¹⁾	1.8	– ⁽¹⁾	1.8	1.6	1.4	
Windows in public utility buildings $t_i \geq 16^{\circ}C$	2.0÷ 5.8	2.6 or 2.0	2.6 or 2.0	2.3	1.8	– ⁽²⁾	1.3	1.1	0.9	
Windows in public utility buildings $8^{\circ}C < t_i < 16^{\circ}C$	2.0÷ 5.8	4.0	4.0	2.6	2.6	– ⁽²⁾	1.8	1.6	1.4	
Windows in manufacturing buildings $t_i \geq 20^{\circ}C$	2.0÷ 5.8	2.6	2.6	2.6	1.9 or 1.7	– ⁽²⁾	1.3	1.1	0.9	
Windows in manufacturing buildings $12^{\circ}C < t_i < 20^{\circ}C$	2.0÷ 5.8	4.0	4.0	4.0	1.9 or 1.7	– ⁽²⁾	1.8	1.6	1.4	

(1) – Not determined, (2) – As for residential

Table 3. The values of heat transfer coefficient for exterior doors

Partition type	Heat transfer coefficient U [$W m^{-2}K^{-1}$]									
	1974	1982	1991	2002	2008	1998 A	acc. to Decree of the Minister [18]			
							since 01.01.2014	since 01.01.2017	since 01.01.2021	
Doors in residential and multi-apartment residential buildings	1.6÷ 5.8	1.1÷ 5.6	3.0	2.6	2.6	– ⁽¹⁾	1.7	1.5	1.3	
Doors in public utility buildings	1.6÷ 5.8	1.1÷ 5.6	3.0	2.6	2.6	– ⁽¹⁾	1.7	1.5	1.3	
Doors in manufacturing buildings	1.6÷ 5.8	1.1÷ 5.6	1.4; 3.0	1.4; 3.0	2.6	– ⁽¹⁾	1.7	1.5	1.3	

(1) – Not determined

2.2. The index of usable energy demand (E)

In April 2002 [17], the requirement referring to the index boundary values E_0 (seasonal demand for thermal energy to heat a building) was introduced for the first time to the regulation “concerning technical requirements, which buildings and their locations should comply with” for multi-family and multi-apartment buildings as well as for a single family building. The index boundary values E_0 is calculated according to the dependencies presented in Table 4 (E_0^* is given for 2.5 meters of room clear height) and by taking the shape coefficient of building (A/V) into account. When it comes to the calculations of E index, the Polish Standard [22] was valid. The requirements of regulation on energy savings and thermal insulation were assumed to be fulfilled for a single family building if the building partitions complied with the requirements of heat transfer coefficients (U) or E value did not exceed E_0 value; whereas as for multi-family and multi-apartment buildings, the requirements of E and U should be met. In the case of a public utility building and manufacturing building, it was sufficient to meet the requirements of U . Such provisions were in force until November 2008.

Table 4. The boundary values E_0 according to the Decree of the Minister of Infrastructure [17]

Number of case	A/V [m^{-1}]	E_0 [$kWh\ m^{-3}\ year^{-1}$]	E_0^* [$kWh\ m^{-3}\ year^{-1}$]
1	≤ 0.20	29.0	72.5
2	$0.20 \div 0.90$	$26.6 + 12 \cdot A/V$	$2.5 \cdot (26.6 + 12 \cdot A/V)$
3	≥ 0.90	37.4	93.5

2.3. The index of the demand for nonrenewable primary energy (EP)

In November 2008, together with the regulations compulsory to perform the energy characteristics of a building, the provisions on determining the boundary index values of the demand for nonrenewable primary energy EP expressed in [$kWh\ m^{-2}\ year^{-1}$], entered into force. The buildings were divided according to the two criteria i.e. the function and the occurrence of a cooling installation. While determining EP index, the energy for different purposes should be taken into consideration depending on the building adherence to a given group, which is presented in Table 5.

Table 5. Criteria for the division and types of energy demands of a building

Building type	Energy for heating and ventilation	Energy for the hot water preparation	Energy for cooling	Energy for built-in lighting
Residential building without a cooling installation	+	+	-	-
Residential building with a cooling installation	+	+	+	-
Multi-apartment, public utility or manufacturing building without a cooling installation	+	+	-	+
Multi-apartment, public utility or manufacturing building with a cooling installation	+	+	+	+
+ the demand for energy should be determined				
- the demand for energy should not be determined				

Table 6. The determination of index value EP according to the Decree of the Minister of Infrastructure, 2008

Type of energy demand	Determination method EP [$\text{kWh m}^{-2} \text{ year}^{-1}$]	
	Building type	
	Residential building	Multi-apartment, public utility, manufacturing building
For heating and ventilation	$A/V_e \leq 0.2$	$EP_H = 73$
	$0.2 \leq A/V_e \leq 1.05$	$EP_H = 55 + 90 \cdot (A/V_e)$
	$A/V_e \geq 1.05$	$EP_H = 149.5$
For the hot water preparation	$\Delta EP_W = 7800 / (300 + 0.1 \cdot A_f)$	$\Delta EP_W = 1.56 \cdot 19.10 \cdot V_{cw} \cdot b_t / a_l$
For cooling	$\Delta EP_C = (5 + 15 \cdot A_{w,e} / A_f) (1 - 0.2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c} / A_f$	$\Delta EP_C = (10 + 60 \cdot A_{w,e} / A_f) (1 - 0.2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c} / A_f$
For built-in lighting	Not determined	$\Delta EP_L = 2.7 \cdot P_N \cdot t_0 / 1000$
EP value	$EP_{H+W} = EP_H + \Delta EP_W$ or	$EP_{H+W+L} = EP_H + \Delta EP_W + \Delta EP_L$
	$EP_{H+W+C} = EP_H + \Delta EP_W + \Delta EP_C$	$EP_{H+W+C+L} = EP_H + \Delta EP_W + \Delta EP_L + \Delta EP_C$

where:

A_f – heated usable area, A – total area of partitions separating heated part from outside air, ground, and the unheated part, V_e – heated cubic volume, A/V_e – shape coefficient of a building, $A_{w,e}$ – area of external walls calculated by the external outline of a building, $A_{f,c}$ – cooled usable area, V_{cw} – unitary daily consumption of water per one reference unit [$\text{dm}^3 \text{ day}^{-1}$], b_t – dimensionless time of the use of warm water system per annum, a_l – share of area A_f per one reference unit, P_N – electric power reference [Wm^{-2}], t_0 – time of lighting use per annum [h year^{-1}]

Table 7. Requirements on EP according to the Decree of the Minister of Infrastructure, Construction and Maritime Economy (2013) in force since 01.01.2014

Type of energy demand	Building type	Maximal index value of nonrenewable primary energy demand [$\text{kWh m}^{-2} \text{ year}^{-1}$]		
		since 1 January 2014	since 1 January 2017	since 1 January 2021
for heating and warm water preparation EP_{H+W}	residential:			
	- single family	120	95	70
	- multi-family	105	85	65
	multi-apartment	95	85	75
	public utility:			
	- public health care	390	290	190
	- other	65	60	45
	farm building			
	warehouse	110	90	70
	manufacturing			
for cooling ΔEP_C	residential	$\Delta EP_C = 10 \cdot A_{f,c} / A_f$		$\Delta EP_C = 5 \cdot A_{f,c} / A_f$
	other	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{f,c} / A_f$		
for built-in lighting ΔEP_L	residential	not applicable		
		$\Delta EP_L = 50$		$\Delta EP_L = 25$
	other	operating time up to 2500 h/year		
		$\Delta EP_L = 100$		$\Delta EP_L = 50$
		operating time above 2500 h/year		
EP value	residential buildings without cooling: $EP = EP_{H+W}$			
	residential buildings with cooling: $EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C$			
	other buildings without cooling: $EP = EP_{H+W} + \Delta EP_L$			
	other buildings with cooling: $EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C + \Delta EP_L$			

where:

A_f – heated usable area, $A_{f,c}$ – cooled usable area

Whereas, the provisions enabling the determination of the boundary values of EP index are shown in Table 6. It should also be stated that as for a reconstructed building, it is permitted to increase these values no more than 15%. These regulations were in force until the 31st of December, 2013. Nevertheless, as in the case of tightening the requirements of heat transfer coefficients U , stringent requirements concerning the boundary values of EP index and the modifications to the manner of its calculation were introduced since the 1st of January, 2014. The modifications and their time schedule are demonstrated in Table 7.

3. A case study

This case study compares the boundary values EP according to still valid technical building regulations to the values which have come in force in January 2014. Three types of buildings were selected to the analysis: a multi-family building, a nursing home and an office building. The characteristic parameters of the buildings are shape coefficient of a building (A/V_e) equal to 0.6, heated usable area (A_f) equal to 1000 m² and area of external walls calculated by the external outline of a building ($A_{w,e}$) equal to 1300 m². It was also assumed that the whole area (A_f) is cooled (when a cooling installation occurs in a building). All calculations on this section are performed in accordance with the Decree of the Minister of Infrastructure, Construction and Maritime Economy [18], EN ISO 13790 [24] and EN ISO 6946 [25].

The results of this analysis are shown in Table 8 and in Figure 2.

Table 8. Sample boundary values of EP index

EP	Legal basis	Type of energy demand	Type of the building						
			multi-family building		nursing home		office		
			without cooling	with cooling	without cooling	with cooling	without cooling	with cooling	
Index of demand for nonrenewable primary energy EP [kWh m ⁻² year ⁻¹]	Journal of Laws No. 201/2008, item 1238	currently valid regulations	heating	109	109	109	109	109	109
			warm water	19.5	19.5	435.8	435.8	6	6
			cooling	-	21.6	-	77.4	-	77.4
			lighting	-	-	337.5	337.5	135	135
			IN TOTAL	128.5	150.1	882.3	959.7	250.0	327.4
	Acc. to Journal of Laws of 13.08.2013 item 926	since 1 January 2014	heating and warm water	105	105	390	390	65	65
			cooling	-	10	-	25	-	25
			lighting	-	-	100	100	50	50
			IN TOTAL	105	115	490	515	115	140
			since 1 January 2017	heating and warm water	85	85	290	290	60
	cooling	-		10	-	25	-	25	
	lighting	-		-	100	100	50	50	
	IN TOTAL	85		95	390	415	110	135	
	since 1 January 2021	heating and warm water	65	65	190	190	45	45	
		cooling	-	5	-	25	-	25	
		lighting	-	-	50	50	25	25	
		IN TOTAL	65	70	240	265	70	95	

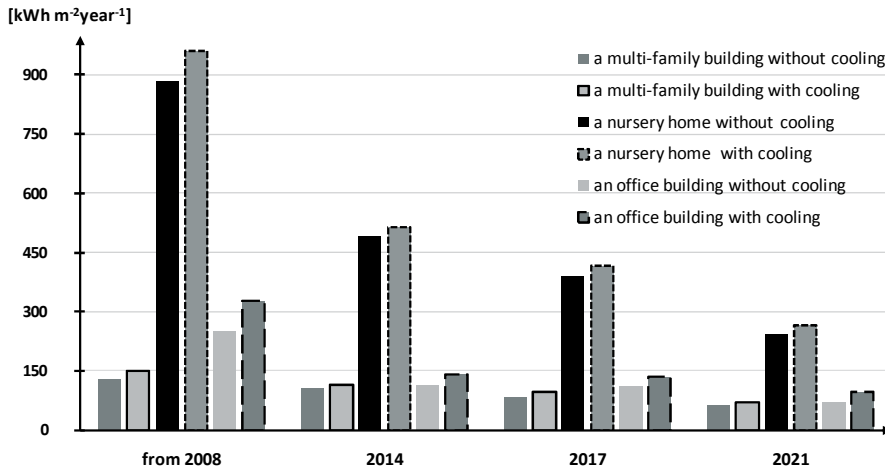


Fig. 2. EP boundary value for particular types of buildings

By contrast, the modification of thermal insulation of building partitions is based on continuous decrease in the maximal values of heat transfer coefficients (U) of these partitions. As a result, in new building or while reconstructing existing ones, there is a necessity to apply bigger thickness of traditional insulation materials or to replace them with materials with lower heat conductivity coefficient (λ). The minimal thicknesses of insulation materials for various λ values, for sample U values in initial condition and target U values consistent with valid technical building regulations, are presented in Table 9 for the external wall, and in Table 10 for the flat roof. Moreover, the difference in the trade thickness of insulation (Δd) between current requirements and target ones in 2021, was calculated.

Table 9. The minimal insulation thickness for an external wall

Initial value U [$W m^{-2}K^{-1}$]	λ of insulation material [$W m^{-1}K^{-1}$]	d – insulation thickness [cm]					Δd trade [cm]
		U – target value [$W m^{-2}K^{-1}$]					
		0.30	0.28	0.25	0.23	0.20	
1.16	0.040	9.9	10.8	12.6	13.9	16.6	7
	0.031	7.7	8.4	9.7	10.8	12.8	5
0.75	0.040	8.0	9	10.7	12.1	14.7	7
	0.031	6.2	6.9	8.3	9.3	11.4	5

Table 10. The minimal insulation thickness for a flat roof

Initial value U [$W m^{-2}K^{-1}$]	λ of insulation material [$W m^{-1}K^{-1}$]	d – insulation thickness [cm]					Δd trade [cm]
		U – target value [$W m^{-2}K^{-1}$]					
		0.30	0.25	0.20	0.18	0.15	
1.70	0.043	11.8	14.7	19.0	21.4	26.1	15
	0.035	9.6	11.9	15.4	17.4	21.3	12
1.20	0.043	10.8	13.6	17.9	20.3	25.1	15
	0.035	8.8	11.1	14.6	16.5	20.4	12

4. Conclusion

Energy-saving policy used in Poland since 1974 and proposed to 2021 is the good example of influence of energy policy on energy conservation.

From the analysis conducted, it appears that in the considered period, substantial decrease of heat transfer coefficients (U) occurred for several times in Poland. When it come to the technical building regulations, in force since January 2014, further limitations of this parameter are imposed.

The boundary value of the demand index for nonrenewable primary energy EP decreased considerably for different types of buildings.

The modifications introduced impose meeting both requirements of U and EP, not only U or only EP as it was so far. The limitation on the value of U coefficients forces the application of bigger thicknesses of thermal insulation for sample partitions i.e. 7 cm or 5 cm for an external wall, and 12 cm or 15 cm for a flat roof depending on the heat conductivity coefficient of an insulation material. All the described modifications to thermal insulation cause the reduction of heat consumption in a building which leads to the limitation of carbon dioxide emissions into the atmosphere. Consequently, such a phenomenon contributes to the realisation of the Polish Energy Policy premises.

References

- 1 Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C. *A review on buildings energy consumption information*. Energy and Buildings 40 (2008) 394–398.
- 2 Poel B., Cruchten G., Balaras C.A. *Energy performance assessment of existing dwellings*. Energy and Buildings 39 (2007) 393–403.
- 3 Ueno T., Inada R., Saeki O., Tsuji K. *Effectiveness of an energy-consumption information system for residential buildings*. Applied Energy 83 (2006) 868–883.
- 4 Ouyang J., Hokao K. *Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China*. Energy and Buildings 41 (2009) 711–720.
- 5 De Almeida A.T., Lopes A., Carvalho A., Mariano J., Nunes C. *Evaluation of fuel-switching opportunities in the residential sector*. Energy and Buildings 36 (2004) 195–203.
- 6 Cholewa T., Siuta-Olcha A., Skwarczyński M.A. *Experimental evaluation of three heating systems commonly used in the residential sector*. Energy and Buildings 43 (2011) 2140–2144.
- 7 Gustafsson S.I., Rönnqvist M. *Optimal heating of large block of flats*. Energy and Buildings 40 (2008) 1699–1708.
- 8 Yuan C., Liu S., Fang Z., Wu J. *Research on the energy-saving effect of energy policies in China:1982–2006*. Energy Policy 37 (2009) 2475–2480.
- 9 Życzyńska A. *The use of audit and the energy certificate for building by management of real estate*. Civil Engineering and Architecture 12 (2013) 107–116, (in polish).
- 10 Życzyńska A. *Changes in law about supporting of thermomodernisation undertakings and executive regulations*. Market of Energy 6 (2002) 48–51, (in polish).
- 11 Zhang L. *Model projections and policy reviews for energy saving in China's service sector*. Energy Policy 59 (2013) 312–320.
- 12 Zhao X., Li H., Wu L., Qi Y. *Implementation of energy-saving policies in China: How local governments assisted industrial enterprises in achieving energy-saving targets*. Energy Policy 66 (2014) 170–184.
- 13 Eurostat Available from: (<http://www.ec.europa.eu/eurostat>)
- 14 Polish Standard, 1974. PN-74/B-03404 *Heat transfer coefficient for building partitions* (in polish).
- 15 Polish Standard, 1982. PN-82/B-02020 *Heat insulation of buildings. Requirements and calculations* (in polish).

- 16 Polish Standard, 1991. PN-91/B-02020 *Heat insulation of buildings. Requirements and calculations* (in polish).
- 17 The Decree of Minister of Infrastructure, 2002. *On technical requirements which buildings and their location should comply with.* (Journal of Laws No. 75/2002, item 690 with later modifications). Available on 12.04.2002, (in polish).
- 18 The Decree of Minister of Infrastructure, Construction and Maritime Economy, 2013. *Modifying the regulation on technical requirements which buildings and their location should comply with.* (Journal of Laws of 13.08.2013, item 926). Available on 5.07.2013, (in polish).
- 19 *The Act of supporting thermomodernisation projects*, 1998. (Journal of Laws No. 162/98, item 1121 with later modifications). Available on 18.11.1998, (in polish).
- 20 *The Act of supporting thermomodernisation and renovation*, 2008. (Journal of Laws 223/2008, item 1459 with later modifications). Available on 21.11.2008, (in polish).
- 21 The Decree of Minister of Infrastructure, 2009. *On detailed range and forms of energy audit and the part of repair audit, sample audit cards, and the algorithm of profitability evaluation of thermomodernisation project.* (Journal of Laws No. 43/2009, item 346). Available on 17.03.2009, (in polish).
- 22 Polish Standard, 2001. PN-B-02025:2001 *Calculating the seasonal heating demand to heat residential and multi-apartment buildings* (in polish).
- 23 The Decree of Minister of Infrastructure, 2008. *On the methodology of energy characteristics calculations of a building, housing unit or a building part being independent as a technical-usable whole and the procedures to prepare the samples of their energy characteristics.* (Journal of Laws No. 201/2008, item 1240). Available on 6.11.2008, (in polish).
- 24 EN ISO 13790:2008 *Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*
- 25 EN ISO 6946:2007 *Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method.*