

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO I ARCHITEKTURA

Vol. 12(4) 2013

Politechnika Lubelska
Lublin, 2013

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO I ARCHITEKTURA



Vol. 12(4) 2013

Politechnika Lubelska
Lublin, 2013

Rada Naukowa

Tomasz Bajda (AGH Kraków)
Ivan Baláž (University of Economics in Bratislava)
Mykola Bezv (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 Cenan Mertol (Atılım University)
Carlos M. Mozos (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 Kukiełka, 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 2013

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

Anna P. Gawlikowska:

Communication and buildings. Space as mass-media 7

Andrzej Chądryński, Marek Piróg:

Technologia procesu przechowywania owoców, warzyw i ziemniaków
a układy funkcjonalno-przestrzenne obiektów
*The technology of the process of storing fruits, vegetables and potatoes
and functional-spatial arrangements of objects*21

Ewelina Tkaczewska:

Wpływ struktury syntetycznego szkła popiołowego na właściwości
zaczynów i zapraw cementowych
*Influence of fly ashes with different glassy phase structure on properties
of cement pastes and mortars*29

Agnieszka Wozzuk:

Projektowanie mieszanki mineralno-asfaltowej na ciepło (WMA)
z dodatkiem zeolitu
Designing warm – mix asphalt with the zeolite addition41

**Anna Dąbek, Natalia Dyś, Katarzyna Wyszyńska, Ilona Zaniuk,
Jerzy Szafran:**

Zabezpieczanie konstrukcji budynków przed skutkami
wystąpienia obciążeń wyjątkowych
Protection of constructions of the buildings against accidental actions51

Szymon Sobczyk:

Optymalna wysokość wolnopodpartej żelbetowej belki prefabrykowanej
o przekroju prostokątnym
*Optimal height of free-ends prefabricated reinforced concrete beam
with rectangular cross-section*61

Danuta Barnat-Hunek, Beata Klimek:

Ocena efektywności preparatów na bazie kwasu ortokrzemowego
do wzmacniania zabytkowych zapraw sztukatorskich typu lubelskiego
*Valuation of possibility of the silicon based preparations application
for strengthening Lublin-type mouldings*71

Zbigniew Suchorab, Stanisław Fic, Danuta Barnat-Hunek:

Ocena zjawiska podciągania kapilarnego w murze budynku o charakterze
zabytkowym za pomocą powierzchniowej sondy TDR
*Valuation of the capillary uptake phenomenon in the wall of the historic
building using the surface TDR probe*83

Beata Klimek:

Wykorzystanie skaningowego mikroskopu elektronowego
do badań malatury z kościoła w Radcze
*The use of scanning electron microscopy to the study
of the painting from the Church in Radcze*95

Anna Życzyńska:

- Wykorzystanie audytu oraz świadectwa energetycznego budynku przy zarządzaniu nieruchomością
The application of building audit and energetic certificate to the property management107

Bogusław Szmygin:

- Rekomendacja o Historycznym Krajobrazie Miejskim – wdrożenie zmiany paradygmatu w ochronie miast historycznych
Recommendation on Historic Urban Landscape – element of paradigm shift in historic towns protection117

Jerzy Adamczyk:

- Kominki wspomagające centralne ogrzewanie
Fireplaces supporting central heating127

Jerzy Adamczyk:

- Ogrzewanie powietrzne pomieszczeń
Air heating of rooms135

Jan Wrana, Agnieszka Fitta:

- The innovative solutions in new building for education architects in Lublin
Przykłady innowacyjnych rozwiązań w nowym obiekcie dla kształcenia architektów w Lublinie145

Maciej Trochonowicz:

- Analiza skuteczności przepon wykonywanych metodami iniekcji chemicznej w murach z opoki wapiastej. Część II. Wykonywanie i badanie skuteczności przepon chemicznych w murach z opoki
The efficacy analysis of the diaphragms made using the method of chemical injection in the walls of calcareous stones. Part II. Testing the possibility of producing chemical injection in the walls of calcareous stones and in the lime mortars151

Maciej Trochonowicz, Beata Witek, Marcin Chwiej:

- Analiza wpływu wilgotności i temperatury powietrza na wartość współczynnika przewodności cieplnej λ materiałów termoizolacyjnych stosowanych wewnątrz pomieszczeń
Impact analysis of humidity and temperature on the value of thermal conductivity λ coefficient of insulating materials used inside buildings165

Mykola Bezv:

- Problems of protection and restoration of historical monuments of L'viv built using Roman cement
Problem ochrony i restauracji zabytków architektonicznych Lwowa, zbudowanych z użyciem cementu rromańskiego177

Petro Rychkov, Olga Mykhaylyshyn:

- Konkurs 1928 roku na projekty cerkwi prawosławnych w Drugiej Rzeczypospolitej: w poszukiwaniu nowej tożsamości architektonicznej
Anno 1928 competition for projects of Orthodox Churches in the Second Polish Republic: in searching new architectural identity189

Petro Rychkov:

- Klasztor oo. Bernardynów w Dubnie w świetle mało znanych źródeł archiwalnych
The monastery of the Bernadines at Dubno in the light of little-known archival sources205

Tadeusz Ciężak:

- Praktyczne aspekty wymiarowania belek żelbetowych podwójnie zbrojonych w świetle PN-EN 1992-1-1
Practical aspects of dimensioning of reinforced concrete beams, double reinforced in the light of PN-EN 1992-1-1219

Ryszard Hołubowski, Andrzej Merena:

- Metoda wielostrzałowa w analizie stateczności niepryzmatycznych słupów wielosegmentowych
Multiple shooting method in stability analysis of non-prismatic multi-segment columns225

Magdalena Rogalska:

- Dobór zestawu maszyn do robót ziemnych w aspekcie minimalizacji emisyjności CO₂
Selection of a set of earthmoving equipment in the aspect minimizing the emission of CO₂233

Łukasz Borowski:

- Wpływ długości sesji pomiarowej na dokładność wyznaczania pozycji w pomiarach statycznych GPS
Duration of static GPS measurements and it's influence on the coordinates accuracy251

Katarzyna Porębska:

- Powłoki hydrofobowe na bazie SiO₂ wytwarzane metodą zol-żel
Hydrophobic coatings based on SiO₂257

Errata do artykułu *Budownictwo i Architektura* 12(3) (2013) 169-176.....269

Errata do artykułu *Budownictwo i Architektura* 12(3) (2013) 271-278.....271

Errata do artykułu *Budownictwo i Architektura* 12(3) (2013) 185-192.....273

Communication and buildings. Space as mass-media

Anna P. Gawlikowska

*Department of Mechanical Engineering, ETH Zurich, Switzerland,
e-mail:gawlikowska@lec.mavt.ethz.ch*

Abstract: After providing definition and social roles of communication, media and mass-media, placing of architecture and urban space as one of the media types is proposed. Subsequently, architecture is looked at in the context of mass-media meaning transmission methods, roles, functions, effects and drawbacks. Articulating phenomena in architectural communication are listed, along with exemplary methods, in which design of space can shape public opinion. Models of mass communication are defined and discussed in context of architecture and urban space. This paper provides examples of short-, intermediate-, and long-term effects facilitated through space, as well as analyses, how architecture performs functions of media in society.

Keywords: Mass-media, architecture, urban design, communication, social rituals, symbols, language, transmission.

1. Mass Communication

Motto: “*People tend to feel the similarities between the memory image and mental image, which means that if you look at them close enough, they will represent the same appearance, or the same organization.*” (Scruton [65])

Communication plays a large role in shaping modern culture, by selecting and portraying a particular set of beliefs, values, and traditions (an entire way of life), as reality. That is, by portraying a certain interpretation of reality, it shapes reality to be more in line with that interpretation (Vipond [2]). The term *communication* is derived from Latin *communicare*, meaning *to impart, share, or make common* (Peters [3]). Communication is a complex and interdisciplinary social process of exchange of meaning (Rittel [4]). The impact of message content changes in the course of contact between the means of communication and the audience (Goban-Klas [5]). Communication can be described as transmission of information, suggestions, ideas and emotions as an effect of interaction with symbols, images and signs. Symbols and signs transmit information through concept representations by a more essential and expressive means. They are customary, their meaning and understanding is often limited to a particular culture or social group. Therefore their communicative function is possible if both parties share a common semiotic code: system of symbols.

In the social context, communication can be described as *means by which the group standards are expressed, social control is exercised, roles are assigned, coordination of efforts is achieved, and expectations are disclosed* (De Fleur [6]). It allows socialization and organization, group identity creation as well as behavior and attitude shaping. Once communication is understood as *all of the procedures by which*

one mind can affect another (Shannon & Weaver [7]), all intentional methods, used by architecture to affect the users and observers can be qualified as communication. Therefore for the purpose of differentiation, social communication has been chosen as the focus of attention for the current paper. Symbols are regularly used in social communication, when *groups, institutions, and advocates compete to identify problems, to move them onto the public agenda, and to define the issues symbolically* (Finnegan and Viswanath [8]).

Mass media is defined as *the channels of communication in modern societies that can reach large numbers of people, sometimes instantaneously* (Sullivan [9]). Mass media play a significant role in shaping public perceptions on a variety of important issues (Lorimer & Scannell [10]). Mass culture can be defined as a commercial culture, mass-produced for mass consumption by mass media (Storey [11], Campos Gonçalves [12]). In the context of this paper mass media will be understood in a broader way, with functions of social systems coordination, and inter-generational culture transmission (Lasswell [13]), information, interpretation, entertainment (Wright [14]) and social mobilization.

As a tool of social behavior, attitude and identity shaping, communication is used for politics and economy, and therefore is not free of issues of power and influence, impacting the transmitted message. Semiology describes social forms of communication (language, rituals, clothing, architecture, etc.). Dependencies on context and transmission intention, as well as complexity of cultural, social and political influences, make any single concept of mass communication inadequate. McQuail [15] provides qualification mass communication, recognizing four models: (1) transmission; (2) expressive/ritual; (3) publicity; (4) reception. The provided models differ in regards to orientation on the sender and receiver's part:

1. Transmission Model, where sender determines transmission of a fixed quantity of information, which is processed cognitively by the receiver. The model can be understood not fully linearly, but as shaped by receiver's feedback (Westley and McLean, [16]), as in the American free market model.

2. Ritual/Expressive Model perceives communication as ritual: *communication is linked to such terms as sharing, participation, association, fellowship and the possession of a common faith* (McQuail [17]). The relatively timeless message, basing on shared understandings and emotions, has a unifying effect, mobilizing sentiment, relations and action, therefore is often transmitted for the purpose of control and used by advertising and politicians. In this model, being decorative rather than utilitarian, sender provides performance, whereas receiver consumes and shares the experience.

3. Communication as display and attention: a publicity model does not aim to transmit particular information or to unite the public, by expression of cultural values, but is simply designed to gain attention. The sender provides competitive display, to catch and hold spectators attention, by means of arousing emotion and stimulating interest. In this model, the fact of attention matters more than the quality (Altheide and Snow [18]), and is perceived as consumption, which can be sold to advertisers.

4. Encoding and decoding media discourse: a reception model, where receiver constructs the meaning derived from media originates from critical theory,

semiology and discourse analysis. In this model decoding is perceived as meaningful discourse, since message is *polysemic* – having multiple meanings depending on context and the receivers culture.

These models of communication will rarely occur in a pure form – and in social context both the generally understood communication, and the communication of space will be usually impacted by few of the listed transmission models.

Some of social communication is transmitted through media, which extend *people's ability to communicate, to speak to others far away, to hear messages, and to see images that would be unavailable without media* (Kreps and Thornton [19]). Among various media, mass media is particularly interesting, since it reaches large audiences, can be therefore compared with architectural objects in public spaces. Mass media definition recognizes the following media types: broadcast, print, outdoor (billboards, signs or placards placed inside and outside buildings, transportation means, as well as flying billboards) and digital (Internet, mobile communication). Within this definition, apart from traditional outdoor advertisement spaces, architecture and urban space is not considered as mass media, but according to the Author this description should be re-defined, involving them as types of outdoor mass media, not only as advertisement surfaces.

2. Mass Communication through Space

Psychologists and philosophers agree, that perception, experience and interpretation are inseparable. Architecture impacts perception and creates experience, has therefore a direct impact on interpretation and mental image creation (Scruton [20]). To communicate, architecture uses visual symbols and elements (rhythm, material properties, lines, shapes, colors, proportions, etc.), which provide an array of communicative elements, which can be abstracted and combined. They are, like language, able to articulate, along with other elements of architectural grammar (Durand [21]; Collins [22]; Eisenman [23]; Alexander et al. [24]; Ching [25]; Hill [26]). The articulating phenomena, mentioned by A. Forty (Forty [27]) include amongst others:

- **Architecture formal characteristics: typology and style** (Blondel [28] ; Norberg-Schulz [29]; Vidler [30]; Moneo [31]; Bandini [32]; Semper [33]); **function, structure and organization** (Viollet-le-Duc [34]; Frankl [35]; Sullivan [36]; Behne [37]; Taut [38]; Norberg-Schulz [39]; Collins [40]; Colquhoun [41]; Hillier [42]); **form** (Taut [43]; Alexander [44]; Venturi [45]; Eisenman [46]; Summers [47]);
- **Architecture characteristics: character** (Whatley [48]; Boffrand [49]; Viollet-le-Duc [50]; Norberg-Schulz [51]; Versely [52]); **unity, truth and transparency** (Wagner [53]; Gropius [54]; Baudrillard [55]; Tschumi [56]; Vesley [57]); **poetry and rationality** (Lethaby [58]; Vesley [59]);
- **Context characteristics: spatial and historical context and continuity** (Rossi [60]; Stern [61]; Rogers [62]); **privacy and community** (Alexander [63]);

Architectural and urban forms established as means of communication can be used in shaping public opinion, passing on the messages in accordance with their patrons vision. Due to the construction costs and needed regulatory power the building patrons often represent the minority elite. This fact is in alliance with class-dominant theory of mass-media, stating that the media reflect the view of minor-

ity elite controlling them (Mills [64]), and allow influence over society - *country itself belongs to the person who controls communications* (Eco [65]). The mentioned articulating phenomena can be used to shape the perception of audience inter alia through providing unifying cultural context - *homogenizing agent* (Littlejohn [66]). Architecture can be used as well as an element of symbolic domination over the territory and society. *Symbolic domination is mastery over symbolic objects, things that are important symbols or signs for the social group. (...) This domination is a key symbolic element in political activity oriented at symbols. It is part of what is commonly referred to as the "political rituals" or "politics of symbols"* (Nijakowski [67]).

Buildings are primary social objects (Markus [68]), not aesthetic or technical. In the context of mass communication models (McQuail [69]) architecture provides a complex array of meanings and plays various communicative roles.

Within the **Transmission Model** context, which is largely taken from older institutional contexts of education, religion and government, it provides the institutional, informational or propagandist solutions. The spatial examples of his model are multifold, and this is where the spatial design as mass media contributes to setting the hierarchy, and legitimizing power structures. It is also where symbolic objects are intentionally designed, using the grammar and communicative elements of architecture. The globally observed process of creating architectural objects built of more typical *cognitive components*, is linked with their potentially greater range of understanding by the world public, and therefore enlarged sales. The site effect of this process is the disappearance of works of revealing and unique character.

Within the **Ritual/Expressive Model** the architectural communication related to art, drama and entertainment can be categorized. Architecture, which is purely aesthetic and expressionistic, fits this category, along with public spaces, providing framework for social rituals and shared experience. Within this model symbolic communication ability of architecture, understood as mass-media can be qualified. Rituals in public space can be communicated in various manners through symbolic organization of space (Norberg-Schulz [70]), for example:

Center and road – in Christian world the road is designed towards the altar, symbolizing Christ – the goal of Christianity. *Road* – in the eastern religions the process is the goal by itself, and therefore shrines are designed basing on circulation around the common center (Fig. 1. Buddhist monument in Magelang, Indonesia). *Center* – the importance of symbolic center, which is space concentration and the specific organization, was present throughout most of the architectural styles. Closing of the place will have social implications – feeling of group togetherness, and focus on common goal. After a brief departure from the desire to symbolize, observed in the functionalist architecture, there was a return to the idea of center in pluralistic style (Fig. 2, Notre Dame chapel in Ronchamp).

Architecture, which provides advertisement and publicity fits into **Publicity Model** of mass communication, which is commonly associated with the role of mass media (Fig. 3. Exemplary architectural form, aiming at prestige and sales development, is the Apple Store in New York). Multiple architectural objects, like Eiffel Tower in Paris, are designed to gain public attention, to stimulate interest, and becoming touristic highlights, symbols of the city landscapes. The urban and architectural design is often conducted to gain and hold attention of the observer, by designed series of spatial stimuli.



Fig. 1. Concept of center in the eastern religions illustrated by an example of Borobudur temple. Buddhists walk around the temple while carrying candles at the Borobudur Mahayana Buddhist monument in Magelang, Indonesia.



Fig. 2. Concept of center of meaning in the pluralistic architecture illustrated by Notre Dame du Haut in Ronchamp chapel by Le Corbusier's, 1953-1955.

Within the mass media context it should be mentioned, that urban landscapes are increasingly transformed into large advertisement spaces, with the most valuable areas around large mobility crossroads and symbolic dominants. The symbolic objects carry long lasting tradition of meaning and communal identity, are therefore attractive associations for the brands wanting to establish market presence. An illustration of this process is the occurrence, which took place in the early 90-ies, when the King Sigmund III Vasa column, located in front of the royal castle in Warsaw, has been dressed in St. Claus outfit, as a part of advertisement campaign.

This violation of symbolic cultural structure has resulted in protests of the History Department of the Warsaw University (Kula [28]), leading to the campaign cancellation. Similarly planned McDonald's restaurant proposed location on the main square of Krakow has resulted in protests against the *symbol of mass industrial civilization and superficial cosmopolitanism (...) to preserve cultural identity and historical character of this space* (Kula [71]).

The **Reception Model** of mass media message transmission shows partially illusory power of architecture to mold, express and capture social attention, due to misunderstanding and misinterpretation of the encoded message by its receivers. The culturalist theory, developed in the 1980s and 90s claims that people interact with media (and architecture), and to create their own meanings and that audience members play an active, rather than passive role in relation to mass media.

Not all symbolic values of architecture are designed to be understood by it all users. There is a vast sphere of privacy, territoriality, and the related issues of human individualization. The Babel Tower can metaphorically illustrate this phenomenon, with its individualization problem resulting in lack of common language, identity and continuity (Fig. 4. Babel Tower Image). In the large metropolis of future, the various cultures live site-to-site, and often don't overlap, creating cultural and architectural ghettos. This lack of common language is further strengthened by communication being a dynamic, ever-changing, process, moreover *the ingredients within a process interact; each affects all others* (Miller [72]). In this context spatial communication is not a stable concept - it is subject to changes of built, technological, social, political and cultural environments, since the buildings are narrative, and their story *consists of experiences, events and transformations until its destruction* (Markus [73]).



Fig. 3. Publicity architecture example: Apple Store, Fifth Avenue, NYC, opened in 2002, designed by Bohlin, Cywinski, Jackson company.



Fig. 4 . Painting of Babel Tower, Steven Kenny, 2000 - an interesting architectural interpretation of the semantic confusion.

As a part of mass media, architecture is capable of facilitating short-term, intermediate-term, and long-term effects on audiences. Short-term objectives include exposing audiences to concepts; creating intended awareness, knowledge and memory of advertisements. In this context architecture serves as an outdoor space for classical advertisement campaigns (billboards, LED screens, etc.), as well as for *ambient advertisement* (Fig. 5. Road safety Program advertisement and Fig. 6. Iberia advertisement), which uses space in an unusual manner, for example by projecting images on sites of buildings (Barnes [74]).

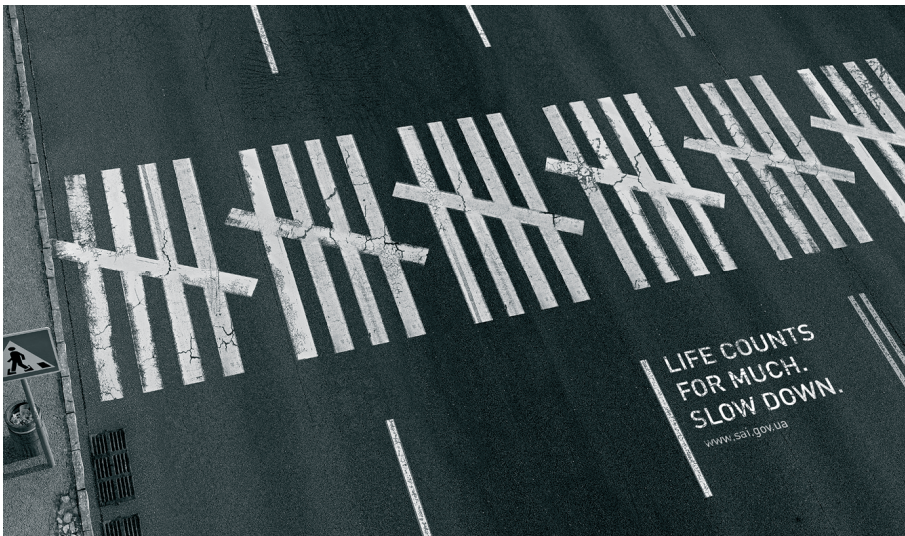


Fig. 5. Ambient advertisement using urban outdoor space, directed for both pedestrians and drivers. Advertisement created for the Road safety Program of State Auto Inspection.



Fig. 6. Ambient advertisement using architectural interior, created for Iberia airline flights to Madrid. International airport, Pinto Martins.

Intermediate-term objectives of mass media, apart from the above characteristics, result in changes in attitudes, behaviors, and perceptions of social norms, whereas long-term objectives incorporate all of the above, as well as they restructure perceived social norms, and maintain behavioral change (Mcdermott and Albrecht [75]). Both the intermediate and long-term objectives of mass media can be directly met by architecture and urban space. This is possible due to the long-term presence of the built environment, its communication ability and influence upon social activities. This role of architecture is particularly important in context of contemporary society, characterized by pervasive change and the increasing speed - *la societe des flux*, which does not recognize permanent universal value hierarchy. For this reason the modern society needs stability, transmitted symbolically by *significant stones* (Schiller [76]). *The existential meanings are derived from natural phenomena (...) and are felt as order and character. Architecture translates these meanings into spatial forms* (Norberg-Schulz [77]), which can be considered significant to the society.

Architecture performs all tasks and functions of the media in the society listed by McQuail (McQuail [78]), including:

- **Information** – for example architectural objects can inform about their functions through the particular distinctive form (e.g. temple); they can also be used for indication of the balance of political power, since architecture can illustrate political hierarchy;

- **Correlation** - interpretation of the meaning of events is being performed for example by placing particular memorial spaces; socialization can be supported by appropriately design pro-social public areas; coordination of social action can be performed by spatial organization; creation of social and political consensus can be supported by symbolic social areas, authority and social status can be established through architectural symbols of power and control.

- **Continuation** – architecture can be used for expression of the dominant culture by adaptation of symbols and style related to the given culture, generation

of community of values can be also supported by architecture, by creation of dominants in space related to specific value system, for example supermarket embodying commercial value-system.

- **Entertainment** – architecture can provide spaces for fun, rest and relaxation, for example sport areas, city parks, entertainment centers, thematic parks.

- **Mobilization** - public campaigns are often supported by spatial activities, for example public defilades on main squares (political and war campaigns), skyscrapers (economical development), areas conceived as sacral (religious purposes).

Among other key mass-media functions, architecture and public space assists organizations in achieving credibility and respect among public and gaining support. For example in context of hierarchical symbols is clearly visible: it illustrates the importance of symbolic values for the given social and political system through location and scale of buildings. Among other key mass-media functions, architecture and public space assists organizations in achieving credibility and respect among public and gaining support. For example in context of hierarchical symbols is clearly visible: it illustrates the importance of symbolic values for the given social and political system through location and scale of buildings embodying these values:

- Example of urban design, symbolically underlying value of intellect is Zurich, with the University of Zurich and the Zurich Technological University (ETH), located in the most prestigious point within the city structure;

- Bucharest with its massive structure constructed by Ceausescu (currently Palace of Parliament) symbolically illustrates the value of political power (Fig. 7. Palace of Parliament);

- Limited scale and decoration of protestant city landscapes illustrate the importance of modesty within the social value system;

- Social equality was envisioned as an underlying value behind the social working class multifamily block unit (Fig. 8. City of Pyongyang);

- Value of community unity was the symbolic meaning behind the design of oval square in front of the St. Peter's cathedral in Rome.

The significance of architectural objects related to high values and universal archetypes occurs, because in accordance to psychological research *the mobile world that is not based on the repetition of similarities associated with a stable system, would prevent the development of man and not permit also to the real interaction between people* (Piaget [79]). In the context of current mass media development, architecture is essential to surpass momentary experience, providing symbols and anchoring memory (Fig. 9. Street in Toyko). At the same time media semantic code is increasingly becoming more global, connecting places, and reducing distance and time separation. *Major trends in mass communication are said to have delocalizing effect, or to establish a new global "place", which increasingly people recognize as familiar* (McQuail [80]), which gives architectural symbolic object a higher outreach then ever before. Destabilized society needs memory anchors, global society needs cognition anchors in form of symbolic images to map the complexity of the world. *Since a well-developed media system, informing and teaching its citizens, helps democracy move toward its ideal state* (McAllister [81]) well designed space can change society.



Fig. 7. Spatial symbol of political power constructed by N. Ceausescu: Palace of Parliament (originally People's House), 1984-1997, Bucharest, Romania. This neoclassical building is the world's largest and most expensive civilian building¹.



Fig. 8. North-Korean example of socialistic architecture: city of Pyongyang – a symbol of social equality of Northern Korean citizens.



Fig. 9. Characteristic space of modern societies: speed, change and virtuality: Tokyo street at night.

¹ According to World Records Academy.

3. Conclusions

Architecture impacts perception and creates experience, therefore has a direct impact on interpretation and mental image creation. To communicate, architecture uses visual symbols and elements, which can be abstracted and combined. They are, like languages, able to articulate, along with other elements of architectural grammar, like typology, function, structure, form, character, context, etc.

Definition of mass-media, considering architecture and urban space as media only within the context of outdoor advertisement spaces, should be redefined involving them as types of mass-media, not only as advertisement surfaces. Architectural and urban forms understood as means of social communication can be used in shaping public opinion, passing on the messages in accordance with their patrons' vision. Architecture can be used to create control, standards, assign roles, coordinate, as well as transmit culture, information and interpretation. Architecture has an ability to perform key media functions, providing: information (e.g. indicating balance of political power); correlation (e.g. interpretation of meaning by particular memorials); continuation (e.g. symbolic community of values); entertainment (e.g. relaxation spaces); mobilization (e.g. space for public defilades supporting political processes).

In the context of mass communication models architecture provides a complex array of meanings and plays various communicative roles. Within the Transmission Model context it provides the institutional, informational or propagandist solutions. As a part of Ritual/Expressive Model it provides entertainment, and through symbolic space organization helps in constructing public rituals. Within the context of mass-communication Publicity Model it can serve both as publicity space as a means of advertisement through gaining public attention, stimulating interest, and symbolic objects transformation into city icons. Following mass-media Reception Model it should be noticed, that audience plays an active role in encoding the messages transmitted by spatial structures, resulting often in misinterpretation.

As a part of mass media, architecture is capable of facilitating short-term, intermediate-term, and long-term effects on audiences. This is possible due to the long-term presence of the built environment, its communication ability and influence upon social activities. In the context of current mass media development architecture is essential to surpass momentary experience, providing symbols and anchoring memory.

Bibliography

- [1] Scruton R. *The Aesthetics of Architecture*. Methuen & Co. Ltd, London, 1979.
- [2] Vipond M. *The mass media in Canada*. James Lorimer & Company, 2000.
- [3] Peters J.D. *Speaking into the air: A history of the idea of communication*. Chicago, I L University of Chicago Press, 1999.
- [4] Rittel S.J. *Komunikacja polityczna. Dyskurs polityczny. Język w przestrzeni politycznej*. Wydawnictwo Akademii Świętokrzyskiej, Kielce, 2003.
- [5] Goban-Klas T. *Media i komunikowanie masowe*. Wyd. PWN, Warszawa, Kraków, 2002.
- [6] De Fleur M.L. *Theories of Mass Communication*. D. McKay, New York, 1966.
- [7] Shannon C.E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: The University of Illinois Press, 1949.

- [8] Finnegan J.R., Jr., Viswanath K. *Communication Theory and Health Behavior Change: The Media Studies Framework*. In: *Health Behavior and Health Education*, 2nd edition, eds. Glanz K., Lewis F.M., Rimer B.K. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1997.
- [9] Sullivan T. J. *Sociology: Concepts and Applications in a Diverse World*. Boston: Pearson Education, Inc, 2007.
- [10] Lorimer R., Scannell P. *Mass communications: a comparative introduction*. Manchester University Press, 1994.
- [11] Storey J. *Cultural theory and popular culture*. Pearson Education, 2006.
- [12] Campos Gonçalves S. *Cultura e Sociedade de Consumo: um olhar em retrospecto*. In: *Revista - Núcleo de Produção Científica em Comunicação – UNAERP (Ribeirão Preto)*, vol. 3, 2008.
- [13] Lasswell H.D. *Power and Personality*. W. Norton & Company, New York, 1948.
- [14] Wright C.R. *Functional Analysis and Mass Communication*. *Public Opinion Quarterly*, vol. 24, 1960.
- [15] McQuail D. *Mass Communication Theory. An Introduction*. 5 Edition (2005), Sage, London, 1983.
- [16] Westley B., McLean M. *A conceptual model for mass communication research*. *Journalism Quarterly*, 34 (1957) 8-31.
- [17] McQuail D. *Mass Communication Theory. An Introduction*. 5 Edition (2005), Sage, London, 1983.
- [18] Altheide D.L., Snow R.P. *Media logic*. Beverly Hills, Ca, Sage, 1979.
- [19] Kreps G.L., Thornton B.C. *Health Communication Theory & Practice*. Prospect Heights, IL: Waveland Press, 1992.
- [20] Scruton R. *The Aesthetics of Architecture*. Methuen & Co. Ltd, London, 1979.
- [21] Durand J.N.L. *Précis des leçons d'Architecture données à l'École polytechnique*. 2 vols (1819) 1802-1805.
- [22] Collins P. *Concrete*. Faber and Faber, London, 1959.
- [23] Eisenman P. *From Object to Relationship II: Giuseppe Teragni Casa Giuliani Frigerio*. *Perspecta*, vol. 13/14, 1971.
- [24] Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M. *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. Oxford University Press, New York, 1977.
- [25] Ching F.D.K. *Architecture Form, Space and Order*. van Nostrand Rienhold, New York, 1979.
- [26] Hill R. *Designs and their Consequences*. Yale University Press, New Haven and London, 1999.
- [27] Forty A. *Words and Buildings: a vocabulary of modern architecture*. Thames and Huston, 2000.
- [28] Blondel J.F. *Cours d'architecture*. 4 vols, Paris, 1771-77.
- [29] Norberg-Schulz C. *Intentions in Architecture*. Scandinavian University Books, Oslo & Allen and Unwin, London, 1963.
- [30] Vidler A. *The Third Typology*. *Oppositions*, no. 7, 1977.
- [31] Moneo R. *On Typology*. *Oppositions*, vol. 13, 1978.
- [32] Bandini M. *Typology as a Form of Convention*. *AA Files*, vol. 6, 1984.
- [33] Semper G. *The Four Elements of Architecture and Other Writings*. trans. Mallgrave H.F., Herrmann W., Cambridge University Press, 1989.
- [34] Viollet-le-Duc E.E. (1863, 1872) *Lectures on Architecture*. trans. Bucknall B. (1877 and

- 1881), Dover Publications, New York, 1987.
- [35] Frankl P. *Principles of Architectural History*. trans. O’Gorman (1968), MIT Press, Cambridge, MA and London, 1914.
- [36] Sullivan L.H. *The Autobiography of an Idea*. Dover Publications, New York, 1924.
- [37] Behne A. *The Modern Functional Building*. 1926, trans. Robinson M., Getty Research Institute, Santa Monica, CA, 1996.
- [38] Taut B. *Die neue Baukunst in Europa und Amerika*. Stuttgart, eng. trans: Modern Architecture, The Studio, London, 1929.
- [39] Norberg-Schulz C. *Intentions in Architecture*. Scandinavian University Books, Oslo & Allen and Unwin, London, 1963.
- [40] Collins P. *Changing Ideals in Modern Architecture 1750-1950*. Faber and Faber, London, 1965.
- [41] Colquhoun A. *Plateau Beaubourg*, in: *Essays in Architectural Criticism*. MIT Press, Cambridge, MA and London, 1981.
- [42] Hillier B. *Space is the Machine*. Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- [43] Taut B. *Die neue Baukunst in Europa und Amerika*. Stuttgart, eng. trans: Modern Architecture, The Studio, London, 1929.
- [44] Alexander C. *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1964.
- [45] Venturi R. *Complexity and Contradiction in Architecture*. Architectural Press, London, 1977.
- [46] Eisenman P. *From Object to Relationship II: Giuseppe Teragni Casa Giuliani Frigerio*. *Perspecta*, vol. 13/14, 1971.
- [47] Summers D. *Form and Gender*. in: Bryson, N. et al. (ed.) *Visual Culture. Images and Interpretations*. Hanover, New Hampshire, 1994.
- [48] Whatley T. *Observations on Modern Gardening*. Dublin, in: Hunt and Willis, *The Genius of the Place, 1770*.
- [49] Boffrand G. *Livre d’architecture*. Paris, 1745.
- [50] Viollet-le-Duc E.E. (1863, 1872) *Lectures on Architecture*. trans. Bucknall B. (1877 and 1881), Dover Publications, New York, 1987.
- [51] Norberg-Schulz C. *The Phenomenon of Place*. *Architectural Association Quaterly*, vol. 8, no. 4, 1976. In: Norberg-Schulz C. *Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture*. London, Academy Editions, 1980.
- [52] Vesley D. *Architecture and the Poetics of Representation*. *Daidalos*, no. 25, 1987.
- [53] Wagner O. (1896) *Modern Architecture*. trans. Magllgrave, H. F. (1988), Getty Center, Santa Monica, CA.
- [54] Gropius W. *The New Architecture and the Bauhaus*. Faber and Faber, London, 1935.
- [55] Baudrillard J. *Simulations*. trans. Foss P., Patton P., Beitchman P., *Semiotext(e)*, New York, 1983.
- [56] Tschumi B. *Disjunctions*, in: *Architecture and Disjunction*. MIT Press, Cambridge, MA, and London, 1987.
- [57] Vesley D. *Architecture and the Poetics of Representation*. *Daidalos*, no. 25, 1987.
- [58] Lethaby W. R. *The Architecture of Adventure*. in: *Form in Civilization*, 1910.
- [59] Vesley D. *Architecture and the Poetics of Representation*. *Daidalos*, no. 25, 1987.
- [60] Rossi A. *The architecture of the City*. trans. Ghirardo D., Ockamn J., MIT Press, Cambridge, MA and London, 1966.

-
- [61] Stern R. *At the Edge of Post-Modernism*. Architectural Design, vol. 47, no. 4, 1977.
- [62] Rogers E.N. *Continuitá*. Casabella continuitá, no. 199, 1954
- [63] Alexander C. *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1964.
- [64] Mills C.W. *The Power Elite*. Oxford Press, Oxford, 1956.
- [65] Eco U. *Towards a Semiological Guerrilla Warfare*. first given as a lecture at conference Vision '67 in New York, 1967.
- [66] Littlejohn S.W. *Theories of human communication*. 7th edition, Belmont, CA: Wadsworth, 2002.
- [67] Nijakowski L.M. *Domeny symboliczne. Konflikty narodowe i etniczne w wymiarze symbolicznym*. Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa, 2006.
- [68] Markus T.A. *Buildings & Power. Freedom & Control in the origin of the Modern Building Types*. London, Routledge, 1993.
- [69] McQuail D. *Mass Communication Theory. An Introduction*. 5 Edition (2005), Sage, London, 1983.
- [70] Norberg-Schulz Ch. *Znaczenie w architekturze Zachodu*. Wydawnictwo Murator, Warszawa, 1991.
- [71] Kula M. *Nośniki pamięci historycznej*. Warszawa, Wydawnictwo DiG, 2002.
- [72] Miller G. A. *Language and Communication*. New York, McGraw-Hill, 1951.
- [73] Markus T.A. *Buildings & Power. Freedom & Control in the origin of the Modern Building Types*. London, Routledge, 1993.
- [74] Barnes J. *Making a difference with ambient media*. Admap, London, 1999.
- [75] Mcdermott R.J., Albrecht T.L. *Encyclopedia of Public Health*. encyclopedia.com, 2002.
- [76] Schiller F. *Über die ästhetische Erziehung des Menschen*. Epistle Publication, 1795.
- [77] Norberg-Schulz Ch. *Znaczenie w architekturze Zachodu*. Wydawnictwo Murator, Warszawa, 1991.
- [78] McQuail D. *Mass Communication Theory. An Introduction*. 5 Edition (2005), Sage, London, 1983.
- [79] Piaget J. *The Psychology of Intelligence*. Routledge and Kegan Paul, London / Littlefield, NY, 1968, in: Norberg-Schulz Ch. *Bycie, przestrzeń i architektura*. Wydawnictwo Murator, Biblioteka Architekta, Warszawa, 2000.
- [80] McQuail D. *Mass Communication Theory. An Introduction*. 5 Edition (2005), Sage, London, 1983.
- [81] McAllister M.P. *The Commercialization of American Culture: New Advertising, Control and Democracy*. Sage Publications, 1995.

Technologia procesu przechowywania owoców, warzyw i ziemniaków a układy funkcjonalno-przestrzenne obiektów

Andrzej Chądryński¹, Marek Piróg²

¹ Zakład Konstrukcji i Budownictwa Ogólnego, Wydział Architektury,
Politechnika Wroclawska, e-mail: Andrzej.jerzy.chadzynski@pwr.wroc.pl

² Zakład Konstrukcji i Budownictwa Ogólnego, Wydział Architektury,
Politechnika Wroclawska, e-mail: marek.pirog@pwr.wroc.pl

Streszczenie: Właściwe przechowywanie, pozwalające na zachowanie wartości odżywczych, walorów smakowych i estetycznego wyglądu produktów, możliwe jest jedynie w specjalnie do tego celu przygotowanych i wyposażonych obiektach. Szczególnie ważny jest mikroklimat wytworzony i utrzymywany w pomieszczeniach składowych (odpowiedni poziom temperatury, wilgotności względnej i cyrkulacji powietrza) także odpowiedni skład gazowy atmosfery. Przeprowadzona analiza ciągu technologicznego procesu przechowywania wyjaśnia w jaki sposób i jakimi środkami technicznymi powinna być realizowana produkcja w obiekcie przechowalniczym. W procesie sporządzania dokumentacji projektowej obiektu przechowalniczego, technologia pełni rolę wiodącą w stosunku do innych rozwiązywanych zagadnień. Z niej bowiem wynikają wnioski i wymagania, jakie powinny zostać spełnione by budynek technicznie i funkcjonalnie był przystosowany do przechowywania owoców, warzyw lub ziemniaków. Na ostateczne rozwiązanie technologicznego ciągu przechowywania wpływ wywiera zakres wstępnej i końcowej obróbki surowca. W obiektach przechowalniczych zauważa się wyraźne uzależnienie formy architektonicznej, rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych i instalacyjnych od realizowanych w obiekcie procesów technologicznych.

Słowa kluczowe: przechowywanie owoców, warzyw, ziemniaków, technologia, układ, funkcja.

1. Wprowadzenie

Dostarczane przez producentów surowce roślinne cechuje duża, naturalna podatność na ciągłe przemiany wywoływane procesami życiowymi. Potrzeba wydłużania okresu przydatności do spożycia świeżych owoców, warzyw i ziemniaków wynika z sezonowych wahań podaży, wobec względnie stałego poziomu ich spożycia w ciągu roku [1].

Niektóre współcześnie stosowane techniki utrwalania surowców roślinnych, a do takich zaliczyć można przechowywanie, pozwalają na kontrolowane regulowanie przemian zachodzących w ziemiopłodach. Tym samym umożliwiają spowolnienie procesu dojrzewania i psucia się produktów roślinnych [9].

W celu stworzenia właściwych warunków dla realizacji procesu przechowywania i osiągnięcia zadowalających efektów konieczne jest nowoczesne zaplecze

techniczne, do którego należą między innymi obiekty przechowalnicze zróżnicowane pod względem wielkości, typu użytkowego i wyposażenia w technologiczne zastawy maszyn i urządzeń. Program użytkowy przechowalni i chłodni, ich układ funkcjonalno-przestrzenny i mikroklimat przestrzeni składowej są ściśle uwarunkowane technologią procesu przechowywania. Inwestowanie w przechowalnictwo wymaga bardzo dużych nakładów finansowych. Obecnie kosztowny jest sam budynek i jego nowoczesne wyposażenie techniczne i technologiczne. Indywidualnego producenta najczęściej nie będzie stać na samodzielne ponoszenie takich wydatków. Budowa nowoczesnych chłodni możliwa jest np. w dużych wysokotowarowych gospodarstwach specjalistycznych. Większości producentów prawdopodobnie bardziej będzie się obecnie opłacało zostać członkami grup producenckich – współwłaścicielami lub użytkownikami jednej dużej zespołowo budowanej i eksploatowanej chłodni, wyposażonej w nowoczesne linie technologiczne do uszlachetniania ziemiołdów [12].

2. Fizjologia ziemiołdów po zbiorze a założenia technologiczne

Fizjologia owoców, warzyw i ziemniaków po zbiorze oraz w czasie długotrwałego przechowywania stanowi podstawę do sformułowania biologicznych i mikroklimatycznych zasad projektowania i eksploataowania obiektów przechowalniczych. Cechą wspólną kierowanych do przechowania surowców roślinnych jest ich nietrwałość, a więc duża naturalna podatność na ciągłe przemiany fizyczne, biochemiczne i mikrobiotyczne. Po zbiorze, surowce roślinne pozostają nadal żywymi organizmami. Przejawem ich metabolizmu są między innymi procesy oddychania, odparowywania wody (transpiracja) i dojrzewania. Podczas przechowywania surowców roślinnych zachodzą w nich zmiany jakościowe i ilościowe. Ubytki masy ziemiołdów oprócz parowania są spowodowane stratami suchej masy substancji w skutek oddychania. Opisanych procesów życiowych nie można zupełnie zahamować w czasie przechowywania. Warunki przechowywania powinny zapewnić minimalny poziom przebiegu procesów życiowych, aby owoce, warzywa, czy ziemniaki zbyt nie traciły na jędrności, gdyż wpływa to ujemnie na ich wygląd, prowadzi do powstania ubytków naturalnych i zmniejsza odporność na porażenia chorobami [2], [6].

Za optymalną temperaturę przechowywania uznaje się taką, która zapewni możliwie najdłuższy okres przechowywania partii surowca, gwarantując jednocześnie najmniejsze obniżenie jego jakości, wartości odżywczej oraz minimalne straty. Optymalny poziom wilgotności względnej w pomieszczeniu składowym to taki, dzięki któremu straty ilościowe i jakościowe surowca nie będą nadmierne, procesy biochemiczne będą się odbywać we właściwym tempie, a rozwój grzybów i innych czynników chorobotwórczych wywołujących procesy gnilne zostanie wyraźnie zahamowany. Odpowiednio niska i stabilna temperatura przechowywania, właściwa wilgotność względna powietrza, atmosfera o właściwym składzie gazowym spowalniają procesy oddychania i transpiracji charakterystyczne dla wszystkich żywych organizmów. Podniesienie w pomieszczeniu składowym procentowego udziału dwutlenku węgla oraz obniżenie udziału tlenu korzystnie wpływa na trwałość przechowalniczą wielu gatunków i odmian ziemiołdów. Kontrolowana atmosfera ogranicza między innymi procesy życiowe, hamuje dojrzewanie, zmniejsza ilość

porażeń wywołujących choroby. Dzięki temu przechowywane owoce, warzywa i ziemniaki zachowują wysoką jakość przez cały okres długotrwałego składowania.

3. Założenia technologiczne procesów przechowywania

Magazynowanie świeżych owoców, warzyw lub ziemniaków ze względu na postać składowanych materiałów wymaga innego rodzaju magazynowania niż w przypadku buforowego składowania surowców i gotowych wyrobów. Magazynowanie jakim jest długotrwałe składowanie świeżych ziemniaków pełni funkcje przechowalnicze. Obejmuje ono gromadzenie, przygotowanie i przechowywanie materiału w ściśle określonych warunkach przez określony czas. Funkcje przechowalnicze mogą pełnić wyłącznie obiekty specjalnie do tego celu przystosowane, zapewniające za pomocą środków technicznych ochronę ziemniaków przed szkodliwym wpływem środowiska zewnętrznego i odpowiednie warunki do obróbki surowca i uzyskiwanego z niego produktu handlowego [1], [10] [11], [14].

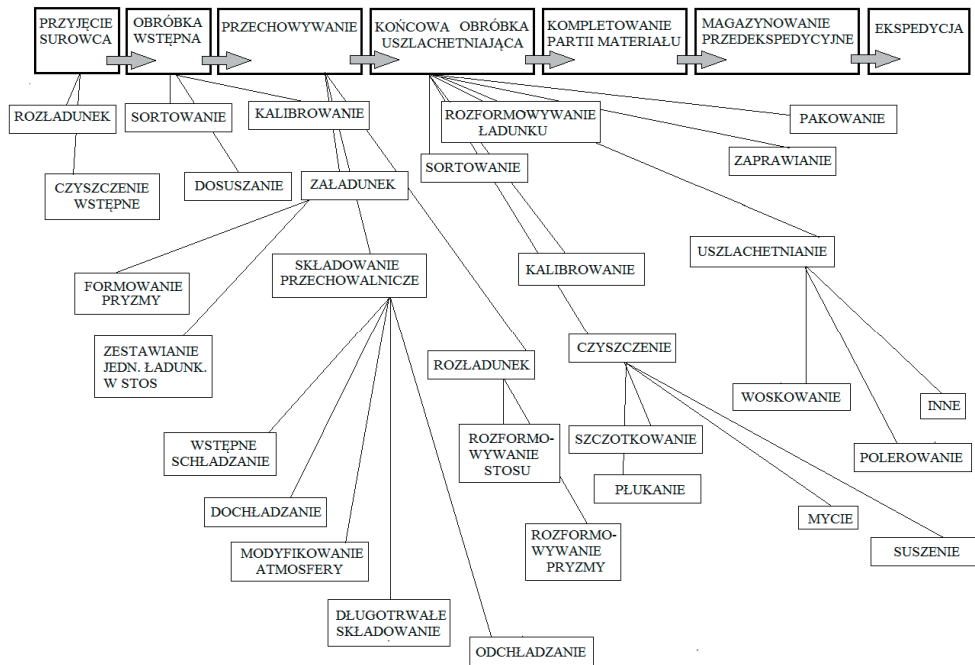
W wyodrębnionych funkcjonalnie strefach magazynu-przechowalni, są wykonywane zespoły czynności, które składają się na proces magazynowania. Wzajemne usytuowanie tych stref względem siebie buduje układ funkcjonalno-przestrzenny obiektu [11] [13].

Analiza potrzeb zgłaszanych przez uczestników procesu zagospodarowywania omawianej grupy ziemniaków prowadzi do sformułowania ogólnego wniosku, że baza techniczna służąca przechowywaniu powinna składać się z systemu obiektów dostosowanych funkcjonalnie i technicznie do: przyjęcia ziemniaków, przygotowania surowca do składowania, długotrwałego składowania w optymalnych warunkach, właściwego przygotowania produktu do ekspedycji wyekspediowania towaru, uniezależnienia warunków pracy przy obróbce i przechowywaniu ziemniaków od zmiennych warunków klimatycznych otoczenia obiektu.

Powyższe wymagania spełniają obiekty przechowalnicze posiadające dostosowane do potrzeb układy funkcjonalno-przestrzenne, przegrody budowlane o właściwej strukturze wewnętrznej oraz pomieszczenia składowe i manipulacyjne wyposażone w systemy urządzeń technicznych do wentylowania, regulowania temperatury, wilgotności względnej, składu gazowego atmosfery oraz sprzęt do obróbki i transportu zgromadzonego materiału [7], [8].

4. Procesy technologiczne realizowane w obiekcie przechowalniczym

Wstępna obróbka i czynności transportowo-manipulacyjne dokonywane po zbiorze obejmują wszystkie procesy niezbędne do tego, aby ziemniaki zostały sprawnie dostarczone do obiektu przechowalniczego, wstępnie oczyszczone i przygotowane do składowania oraz załadowane transportem wewnętrznym i systemem odpowiednich urządzeń do pomieszczeń składowych. Zgromadzony materiał jest tam w ściśle określonych warunkach mikroklimatycznych długotrwałe przechowywany. Po okresie przechowania owoce, warzywa i ziemniaki są rozładowywane, uszlachetniane i ekspediowane. Ekonomiczny wymóg dostosowywania się producenta do różnorodnych wymagań współczesnego rynku zmusza przechowującego do wprowadzania nowoczesnych technologii składowania i uszlachetniania produktu, spełniających oczekiwania odbiorców.



Rys. 1. Procesy technologiczne realizowane w obiekcie przechowalniczym [8].

Rodzaj i zakres wykonywanych czynności zależy od biologicznych cech przechowywanych surowców roślinnych i wymagań odbiorcy co do sposobu przygotowania towaru [7]. Uszlachetnianie produktu zwane także obróbką końcową obejmuje następujące czynności: sortowanie, kalibrowanie, czyszczenie i mycie, ważenie, obieranie, kostkowanie, rozdrabnianie, pakowanie i inne zabiegi o podobnym charakterze. Procesy technologiczne realizowane w obiekcie przechowalniczym przedstawiono na rys. 1.

5. Składowanie przechowalnicze

Odpowiednio szybkie obniżenie temperatury ziemniaków, owoców i większości warzyw, bezpośrednio po zbiorze pozwala na zachowanie wyjściowych cech jakościowych ziemniaków [5] [6]. Proces przechowywania rozumiany jako ciąg ułożonych w logiczną sentencję czynności umożliwiających długotrwałe składowanie w ściśle określonych warunkach realizowany jest etapami. Jedną z ważnych części procesu, występującą w każdej możliwej konfiguracji, jest długotrwałe składowanie przechowalnicze [3], [4], [5], [11]. Ten etap przechowywania podzielić można na cztery okresy:

- wstępnego schładzania surowca,
- dochładzania do temperatury długotrwałego przechowywania,
- długotrwałego przechowywania w temperaturze i wilgotności względnej powietrza właściwej ze względu na gatunek i odmianę dla tego etapu składowania,
- odchładzania surowca.

Długość okresu efektywnego przechowywania zależy przede wszystkim od cech biologicznych charakteryzujących poszczególne gatunki i odmiany. Warunki przechowywania rozumiane jako zespół czynników tworzących środowisko, w którym materiał będzie długotrwale przechowywany tworzą: temperatura, wilgotność względna powietrza, szybkość wstępnego schładzania i dochładzania, skład gazowy atmosfery, cyrkulacja powietrza, stopień zanieczyszczenia środowiska czynnikami chorobotwórczymi. Wymienione elementy są składowymi środowiska pomieszczenia przechowalniczego.

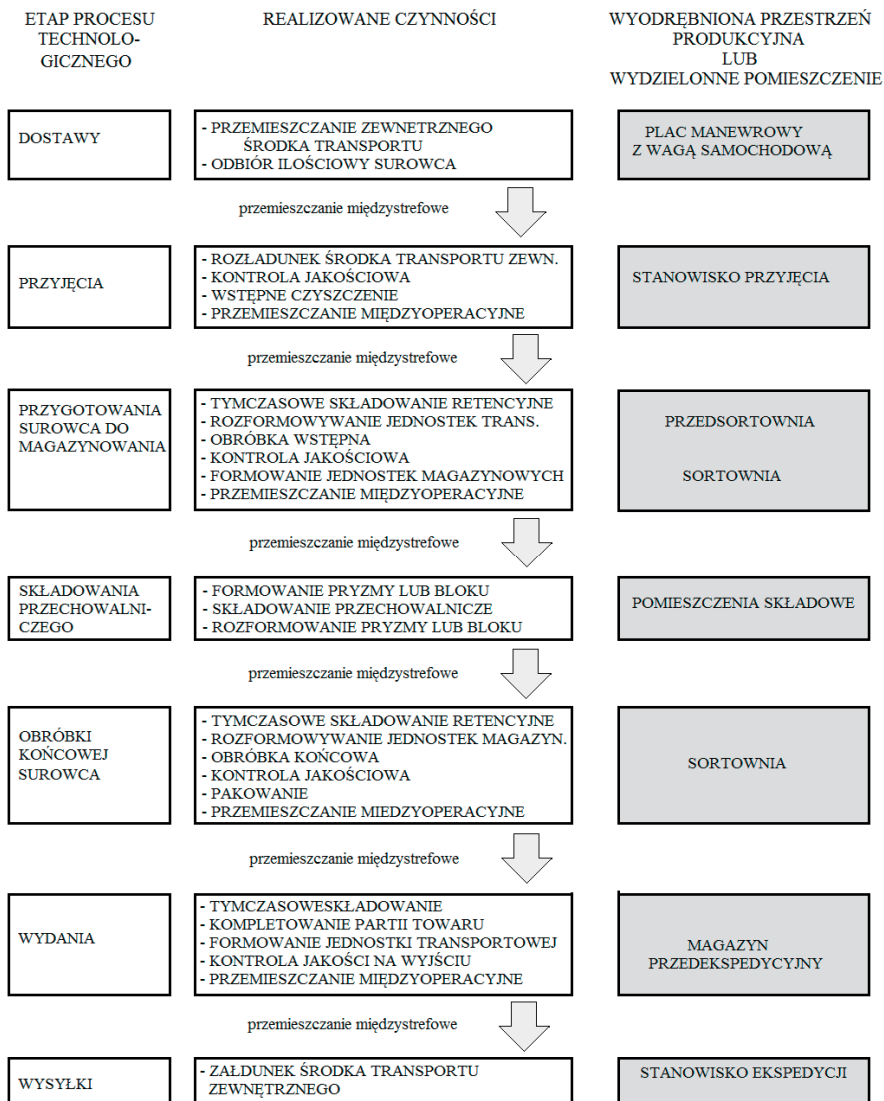
6. Techniki wentylowania i regulowania temperatury pomieszczeń składowych

W procesie przechowalniczego magazynowania owoców, warzyw i ziemniaków są stosowane dwa podstawowe sposoby utrzymywania niskich temperatur w pomieszczeniach składowych. Pierwszy to system wentylacji aktywnej, w którym do utrzymania żądanych parametrów przechowywania jest wykorzystywana niska temperatura powietrza otaczającego obiekt. System wentylacyjny rozprowadzający powietrze o odpowiednich parametrach wyjściowych pozwala na ochładzanie i wentylowanie masy zgromadzonego materiału. W takim przypadku temperatura obiektów składowych zależy w znacznym stopniu od temperatury powietrza na zewnątrz obiektu. Drugi sposób uzyskiwania niskich temperatur wykorzystuje technikę chłodniczą. Instalacja chłodnicza wyposażona w wentylatorowe chłodnice powietrza pozwala na całkowite uniezależnienie procesu przechowywania od zmieniających się na zewnątrz warunków klimatycznych [7], [9].

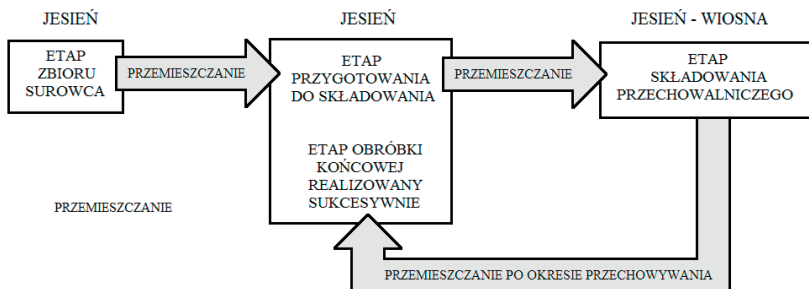
Wraz ze zwiększaniem w obiekcie mocy chłodniczej proporcjonalnie do jej wielkości rosną koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. W celu ich zmniejszenia stosowany może być system będący kombinacją dwóch poprzednich, w którym moc zainstalowanego urządzenia chłodniczego uzupełnia jedynie system aktywnej wentylacji. Praca obydwu systemów musi być bezwzględnie skoordynowana.

7. Strefy technologiczno-użytkowe obiektu przechowalniczego

Analiza technologii procesu przechowywania (rys.1) pozwoliła na zbudowanie schematu wzajemnych powiązań między wydzielonymi z ciągu produkcyjnego czynnościami i strefami funkcjonalnymi obiektu. Schemat tych zależności przedstawiono na rys. 2. W magazynie o funkcji retencyjnej przygotowanie wstępne i końcowe - przedekspedycyjne produktu jest realizowane w dwóch wyodrębnionych strefach rozdzielonych obszarem składowania usytuowanych na wejściu i wyjściu z magazynu. W przechowalniach i chłodniach ziemniaków po okresie obróbki wstępnej i składowania przechowalniczego są kierowane najczęściej ponownie do tej samej strefy (sortowni). Tu materiał poddawany jest procesowi obróbki końcowej, uszlachetniającej.



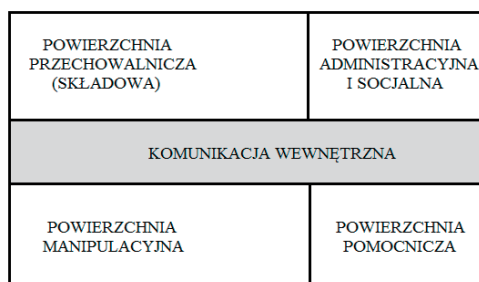
Rys. 2. Współzależności pomiędzy wydzielonymi z ciągu produkcyjnego zespołami czynności i strefami funkcjonalnymi obiektu [8].



Rys. 3. Okresy i etapy procesu przechowywania [8].

8. Funkcjonalnie wydzielone powierzchnie w obiekcie przechowalniczym

W każdym obiekcie przechowalniczym zawsze występują dwa rodzaje przestrzeni lub pomieszczeń produkcyjnych. Manipulacyjna i składowa [7], [10]. Ich rodzaj i wielkość zależą od tego, czy program użytkowy obiektu jest minimalny czy pełny. W obiektach przechowalniczych z pełnym programem użytkowym występują następujące rodzaje powierzchni lub pomieszczeń: przechowalnicze (składowe), manipulacyjne (przyjęcia i wstępnego czyszczenia, obróbki wstępnej i końcowej), komunikacja wewnętrzna, pomocnicze (magazynowanie opakowań, maszyn i urządzeń, odpadów, maszynownie, postojowe środków transportu itp.), administracyjne i socjalne.



Rys. 4. Powiązanie powierzchni występujących w obiekcie przechowalniczym [8].

9. Podsumowanie

Analiza ciągu technologicznego procesu przechowywania wyjaśnia w jaki sposób i jakimi środkami technicznymi powinna być realizowana produkcja w obiekcie przechowalniczym. W procesie sporządzania dokumentacji projektowej takiego obiektu technologia pełni rolę wiodącą w stosunku do innych, rozwiązywanych zagadnień. Z niej bowiem wynikają warunki i wymagania, jakie powinny zostać spełnione, by budynek technicznie i funkcjonalnie był właściwie przystosowany do przechowywania owoców, warzyw i ziemniaków. Przechowalnie i chłodnie tworzą obecnie wysoce wyspecjalizowaną grupę obiektów rolno-przemysłowego. Podobnie jak w przypadku innych obiektów przemysłowych wiodącą rolę w ich projektowaniu oprócz architekta odgrywa technolog. Zauważa się tu wyraźne uzależnienie formy architektonicznej, rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych i instalacyjnych od realizowanych w obiekcie procesów technologicznych.

Literatura

- [1] Adamicki F. *Zanim dotrą do konsumenta*. Owoce Warzywa Kwiaty. 1997. 14.
- [2] Adamicki F. *Optymalne warunki przechowywania warzyw*. Owoce Warzywa Kwiaty. 1994. 19.
- [3] Adamicki F. *Przechowywanie warzyw w pomieszczeniach*. Owoce Warzywa Kwiaty. 1994. 22.
- [4] Adamicki F. *Przechowalnie czy chłodnie*. Owoce Warzywa Kwiaty. 1997, 17-18.
- [5] Adamicki F. *Jak uniknąć nadmiernych strat w czasie przechowywania*. Owoce Warzywa Kwiaty. 1994. 19.

- [6] Ben J. *Co się dzieje z jabłkami w czasie przechowywania*. Sad Nowoczesny 1997. 8.
- [7] Chądryński A. *Algorytm projektowania przechowalni i chłodni*. Niepublikowana praca doktorska. Wydział Architektury PWr. 2000.
- [8] Chądryński A., Piróg M. *Przegroda budowlana do przechowywania owoców, warzyw i ziemniaków*. Materiały konferencyjne IV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej. Problemy Projektowe w Kontekście Nowych Technologii Budowlanych. Kraków 2001.
- [9] Gruda Z., Postolski J. *Zamrażanie żywności*. WNT. Warszawa 1999.
- [10] Grzybek A., Niczyporuk Z. *Przechowywanie owoców i warzyw, poradnik*. IBMER, Warszawa 1995.
- [11] Lange E. Ostrowski W. *Przechowalnictwo owoców*. PWRiL, Warszawa 1992.
- [12] Lange E. *Tendencje w przechowalnictwie owoców*. Owoce Warzywa Kwiaty. 1994. 16.
- [13] Mordasewicz J. *Zasady projektowania przechowalni ziemniaków*. BISPROL, Warszawa 1988.
- [14] Mordasewicz J. *Budynki do przechowywania ziemniaków*. BISPROL, Warszawa 1989.

The technology of the process of storing fruits, vegetables and potatoes and functional-spatial arrangements of objects

Andrzej Chądryński¹, Marek Piróg²

¹ Faculty of Architecture, Wrocław University of Technology,
e-mail: andrzej.jerzy.chadzynsk@pwr.wroc.pl

² Faculty of Architecture, Wrocław University of Technology,
e-mail: marek.pirog@pwr.wroc.pl

Abstract: Proper storage, allowing to keep nutritive values, quality of taste and the aesthetic appearance of products, is possible only in specially for this purpose prepared and equipped objects. A microclimate generated and kept in storage spaces is particularly important (appropriate temperature, relative humidity and air circulation), also an appropriate gases composition of the atmosphere. Conducted analysis of technological thrust in the storage process explains how and using what technical means a production carried out in a storage building should be executed. In the process of preparing the project documentation of the storage object, the technology is a much more important issue than other given matters. It is so, because conclusions and requirements which should be fulfilled so that the building is technically and functionally adapted to storing fruits, vegetables or potatoes. A scope of preliminary and final food processing influences definitive design of the technological sequence of the storage. It appears distinctive in storage buildings that architectural form, structural, material and installation solutions are secondary to the technological processes carried out in the object.

Keywords: storing fruits, vegetables, potatoes, technology, arrangement, function.

Wpływ struktury syntetycznego szkła popiołowego na właściwości zaczynów i zapraw cementowych

Ewelina Tkaczewska

Katedra Technologii Materiałów Budowlanych, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, AGH, e-mail: tkaczews@agh.edu.pl

Streszczenie: Praca analizuje zależność między aktywnością pucolanową popiołów lotnych a strukturą ich składnika szklistego. Materiał doświadczalny stanowią modelowe popioły lotne krzemionkowe otrzymane ze zmieszania syntetycznego szkła, syntetycznego mullitu i SiO_2 jako źródła β -kwarcu. Syntetyzowano dwa szkła o zmiennym składzie chemicznym dobranym w oparciu o wartość parametru ASI, definiowanego jako stosunek $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+2\text{CaO})$. Szkła tworzyły głównie sieć tetraedrów SiO_4 . W szkłe o wartości parametru $\text{ASI}<1$, jony glinu występują wyłącznie w tetraedrach AlO_4 , a w szkłe o wartości parametru $\text{ASI}>1$, jony Al lokują się także w oktaedrach AlO_6 . Stwierdzono, że szkło, w którego strukturze jony glinu występują w koordynacji 4 i 6, ma większą reaktywność, a tj. zawiera więcej aktywnego Al_2O_3 , osiąga wyższe wskaźniki pucolanowości oraz wpływa pozytywnie na wytrzymałość zaprawy wapiennej. Cement z dodatkiem popiołu zawierającego szkło o wyższej wartości parametru ASI wykazuje wyższe ciepło hydratacji oraz większą wytrzymałość na ściskanie. Dodatek 20%mas. popiołów daje cement CEM II/A-V, klasy 32,5R (jony Al w koordynacji 4) lub 42,5N (jony Al w koordynacji 4 i 6).

Słowa kluczowe: szkło, cement, ciepło hydratacji, wytrzymałość, mikrostruktura.

1. Wstęp

Krzemionkowy popiół lotny jest ubocznym produktem spalania węgla kamiennego, szeroko stosowanym w technologii cementu i betonu. Dotychczasowe prace nad aktywnością pucolanową popiołu koncentrowały się głównie na wpływie uziarnienia, składu chemicznego i fazowego tego materiału [1-3], natomiast niewiele było prac analizujących wpływ struktury szkła [4-10].

Szkło w krzemionkowym popiele lotnym jest szkłem glinokrzemianowym, którego sieć przestrzenną tworzą głównie tetraedry SiO_4 połączone mostkami tlenowymi -Si-O-Si-. Inne tlenki, głównie litowce i berylowce, modyfikują właściwości szkła, rozrywając mostki tlenowe i neutralizując ładunki niewysyczone tlenu, np.: Si-O-K. Prowadzi to do rozluźnienia sieci przestrzennej szkła i wzrostu jego aktywności. Im większa zawartość niemoistkowych atomów tlenu, tym wyższy stopień depolimeryzacji SiO_4 . Właściwości amfoteryczne jonu glinu pozwalają mu pełnić w szkłe rolę szkłotwórczą, jeżeli występuje w koordynacji 4, i jonu modyfikatora w koordynacji 6. O udziale jonów Al w koordynacji 4 lub 6 decyduje parametr ASI (aluminium saturation index), definiowany jako stosunek $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-$

+2CaO) [4]. W szkłe o parametrze ASI<1 jon Al jest wyłącznie jonem szkłotwórczym, a w szkłe o parametrze ASI>1 również jonem modyfikatorem. Mając na uwadze, że skład chemiczny szkła determinuje stopień polimeryzacji anionów SiO₄, można spodziewać się istotnych zmian w reaktywności popiołów o różnej strukturze szkła, co w rezultacie może decydować o szybkości hydratacji cementu i jego właściwościach.

W pracy syntetyzowano dwa szkła o zmiennym składzie chemicznym dobranym w oparciu o wartość parametru ASI, poniżej lub powyżej 1. Dodatkowo przeprowadzono syntezę mullitu. Modelowe popioły otrzymano mieszając w odpowiednich proporcjach szkło, mullit i SiO₂ jako źródło β-kwarcu. Celem badań była analiza wpływu struktury składnika szklatego popiołu na właściwości zaczynu i zaprawy cementowej.

2. Synteza szkieł o zmiennym składzie chemicznym i strukturze

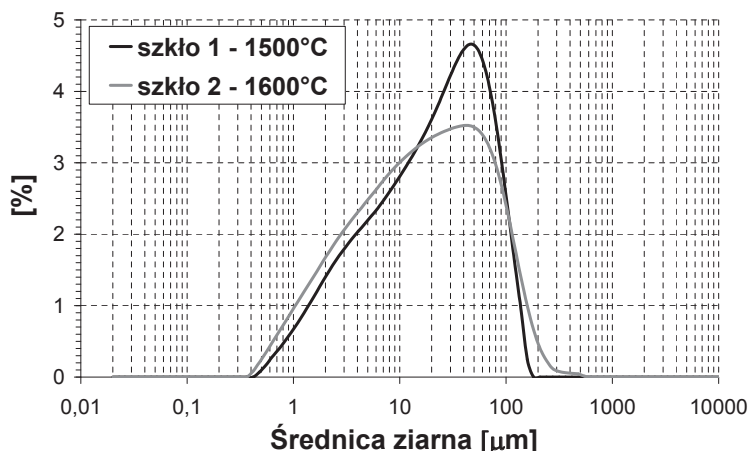
Założono, że podstawowymi tlenkami szkłotwórczymi w szklach będą SiO₂ i Al₂O₃, przy czym jon glinu będzie pełnił w szkłe wyłącznie funkcję szkłotwórczą (szkło 1) lub dodatkowo modyfikatora więźby (szkło 2). Skład chemiczny szkieł podano w tab.1. Szkła otrzymano drogą topienia i schłodzenia surowców w postaci odczynników chemicznych, będących nośnikami poszczególnych tlenków. Surowce homogenizowano przez 24h w młynku, a następnie poddawano obróbkę termicznej w temperaturze 1500°C (szkło 1) lub 1600°C (szkło 2). Czas przebywania stopu w maksymalnej temperaturze wynosił 1h. Stop gwałtownie chłodzono w wodzie o temperaturze 20°C. Każdą próbkę mielono do powierzchni właściwej 400±10m²/kg wg Blaine'a.

Tabela 1. Skład chemiczny w [%mas.] modelowych szkieł popiołowych (* - ułamek molowy).

Składnik chemiczny		Szkło 1	Szkło 2
	SiO ₂	57,00 (0,648)*	52,88 (0,639)
	Al ₂ O ₃	19,00 (0,125)	30,01 (0,217)
	Na ₂ O	4,30 (0,047)	0,33 (0,004)
	K ₂ O	7,50 (0,054)	0,96 (0,008)
	CaO	6,50 (0,078)	3,09 (0,041)
	MgO	2,70 (0,045)	1,79 (0,033)
	Fe ₂ O ₃	3,00 (0,013)	10,94 (0,050)
parametr ASI (Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O+K ₂ O+2CaO))		0,77	4,02
Zawartość frakcji ziarnowej [%obj.]	< 10 μm	30	36
	10-100 μm	67	58
	> 100 μm	3	6

Analiza XRD próbek szkieł syntetyzowanych w temperaturze 1500°C wykazała, że szkło 1 daje charakterystyczne dla materiałów amorficznych podniesienie tła w zakresie 15-35°2θ, bez widocznych pików dyfrakcyjnych od faz krystalicznych, natomiast na dyfraktogramie XRD szkła 2 pojawiają się refleksy od SiO₂, Fe₂O₃ i mullitu. W pełni amorficzną próbkę szkła 2 otrzymano podnosząc tempe-

ratuę topnienia do 1600°C. Krzywe uziarnienia szkieł zestawiono na rys.1. Udział wyselekcjonowanych frakcji ziarnowych w próbkach szkieł podano w tab.1. Dane wskazują, że próbka szkła 2 zawiera o 20% więcej ziaren <10µm i blisko 2-krotnie więcej ziaren >100µm w stosunku do szkła 1. Według autorów pracy [13] szkło o uziarnieniu <75µm, zwłaszcza <38µm, wykazuje silne właściwości pucolanowe. Udział frakcji <75µm w obu szkiełach jest zbliżony, w zakresie od 81 do 88%obj, podczas gdy udział frakcji <38µm jest o 11% większy w szkło 2.



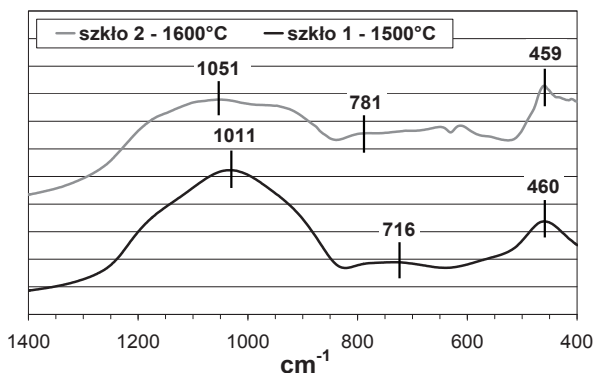
Rys. 1. Krzywe uziarnienia próbek szkieł 1 i 2.

Wartość parametru ASI szkła 1 wynosi 0,77 (jon Al wyłącznie w koordynacji 4), a szkła 2 – 4,02 (jon Al w koordynacji 4 i 6). W przypadku szkła 2 uzyskanie większej wartości parametru ASI wymagało zredukowania zawartość tlenków Na_2O , K_2O i CaO (tab.1). Udział Na_2O i K_2O w szkło 2 wynosi odpowiednio 0,33 i 0,96% i jest odpowiednio 13- i 8-krotnie mniejszy niż w szkło 1. Literatura podaje, że udział tetraedrów AlO_4 w szkło maleje z zawartością Na_2O i K_2O , bowiem jony Na i K kompensują dodatkowy ładunek ujemny wywołany podstawieniem jonu Si przez jon Al w grupie czworościanowej. Według [14] w szkło o ułamku molowym Al_2O_3 mniejszym od sumy ułamków molowych Na_2O i K_2O jony Al występują wyłącznie w koordynacji 4, natomiast w sytuacji odwrotnej, nadmiarowy Al zajmuje pozycje oktaedryczne lub też tworzy tzw. klaster tlenowy (trzy tetraedry połączone ze sobą wspólnym atomem tlenu). W szkło 1 ułamek molowy Al_2O_3 jest większy od sumy ułamków molowych Na_2O i K_2O , co wstępnie sugeruje, że strukturę tego szkła nie tworzą wyłącznie tetraedry AlO_4 , co z kolei zaprzecza przyjętej wartości parametru ASI. Opierając się na pracy [15] można sądzić, że w szkło 1 część tetraedrów AlO_4 tworzy klaster typu $1\text{Al}2\text{Si}$ i $2\text{Al}1\text{Si}$. Zgodnie z regułą Loewensteina [16] w szkło 1 nie występują klaster typu 3Al , gdyż tetraedry AlO_4 łączą się wyłącznie z tetraedrami SiO_4 , które z kolei mogą łączyć się także ze sobą. W szkło 2 stosunek ułamków molowych $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ jest 10-krotnie większy niż w szkło 1, co przy niewielkim udziale Na_2O i K_2O , wskazuje na obecność nadmiarowego Al w oktaedrach AlO_6 [17].

Analizując skład chemiczny szkieł nie wolno pominąć zmiennej zawartości Fe_2O_3 , CaO i MgO (tab.1). Jony Fe^{3+} występują w szkło głównie w koordynacji 4, chociaż przy stężeniu Fe_2O_3 powyżej 1%mol mogą występować również w koor-

dynacji 6 [18-19]. Dla zubożenia nadmiarowego ładunku ujemnego tetraedrów Fe(III)O_4 wymagane jest włączenie dodatkowych jonów, co jednocześnie zapobiega redukcji jonów Fe^{3+} do Fe^{2+} , które również tworzą tetraedry Fe(II)O_4 [20-22]. W szkło 2 stabilizację tetraedrów Fe(III)O_4 , w którym ilość jonów Na i K wystarcza jedynie na stabilizację tetraedrów AlO_4 , zapewnia CaO [21-22]. Włączenie jonów Ca do struktury szkła wymaga dwóch tetraedrów Fe(III)O_4 w celu zapewnienia kompensacji elektrycznej sieci. Ponieważ dwa tetraedry Fe(III)O_4 nie mogą łączyć się ze sobą wspólnym atomem tlenu [22], jon Ca może stabilizować tylko jeden tetraedr Fe(III)O_4 , dając w efekcie niemostrkowy atom tlenu. Mniejsza zawartość CaO w szkło 2 może sugerować obecność w jego sieci oktaedrów Fe(III)O_6 (1,26-5,03% mol Fe_2O_3) lub też tworzenie się tetraedrów Fe(II)O_4 .

Widma MIR szkła zestawiono na rys.2. Jak wiadomo, na widmie MIR szkła krzemionkowego ($\nu\text{-SiO}_2$) widoczne są zasadniczo trzy pasma: ok. 1100 cm^{-1} – asymetryczne drgania rozciągające -Si-O-Si- , $800\text{-}600\text{ cm}^{-1}$ – symetryczne drgania rozciągające -Si-O-Si- i ok. 460 cm^{-1} – drgania zginające -Si-O-Si- . Identyczny układ pasm występuje na widmach szkła 1 i 2. Charakterystyczne jest jednak duże przesunięcie pasm związanych z asymetrycznym i symetrycznymi drganiami -Si-O-Si- , świadczące o obecności w tych szklach mostków Si-O-Al [23]. Na widmie MIR szkła 1 pasma te przesuwają się odpowiednio aż do 1011 cm^{-1} i 716 cm^{-1} , co pozwala przypuszczać, że w szkło 1 występuje więcej tetraedrów AlO_4 . Biorąc pod uwagę, że szkło 2 zawiera więcej Al_2O_3 , można sądzić, że znaczna część jonów Al w szkło 2 tworzy oktaedry AlO_6 . Potwierdzeniem tego jest nieznaczne, ale wyraźnie widoczne przesunięcie przy ok. 550 cm^{-1} na widmie MIR szkła 2 [24].



Oczywiście nie można pominąć zmiennej zawartości jonów Na i K w szklach, które tworzą słabsze wiązania z tlenem niż jony szklotwórcze i jako pierwsze przechodzą ze szklistej otoczki popiołu do roztworu [24], zwiększając jego zasadowość, a w rezultacie intensywność reakcji pucolanowej. Oznaczona zgodnie z normą ASTM C593-06 [26] wytrzymałość zapraw wapiennych z tym samym dodatkiem szkła 1, szkła 2 lub przemysłowego popiołu lotnego jest nieco niższa od wymaganego minimum 4,1 MPa. Można jednak sądzić, że wytrzymałość zapraw będzie znacznie wyższa po 28 dniach („efekt pucolanowy”). Wskaźniki puculanowości badanych materiałów osiągają po 28 i 90 dniach minimum odpowiednio 75 i 85% zgodnie z normą PN-EN 450-1:2009 [27]. Po 90 dniach większy przyrost wartości wskaźników notuje się w przypadku zaprawy z dodatkiem szkła 2. Według literatury [1-3], jednym z czynników decydujących o reaktywności puculanu jest jej miałkość, a w szczególności zawartość frakcji <30 μm [3]. Próbką szkła 2, mimo grubszego uziarnienia, osiąga lepsze właściwości puculanowe i korzystniej kształtuje wytrzymałość zaprawy wapiennej i cementowej, co można wiązać z innym składem chemicznym i strukturą tego szkła [5-8]. Przemysłowy popiół lotny PPK wykazuje puculanowość porównywalną do szkieł 1 i 2, mimo iż zawiera w swoim składzie tylko 70%mas składnika szklatego. Może to oznaczać, że nie tylko udział szkła, ale również jego właściwości są istotne z punktu widzenia oceny reaktywności chemicznej popiołu lotnego.

Tabela 2. Aktywność puculanowa modelowych szkieł popiołowych.

Parametr		Szkło 1	Szkło 2	Popiół PPK
Aktywny składnik chemiczny wg ASTM C379-65 [%mas.]	SiO ₂	10,56±0,11	9,96±0,14	9,22
	Al ₂ O ₃	3,56±0,08	4,99±0,08	5,43
	SiO ₂ + Al ₂ O ₃	14,12±0,18	14,97±0,22	14,64
Wytrzymałość na ściskanie zaprawy wapiennej wg ASTM C593-06 [MPa]	7 dni (54°C)	2,05±0,16	2,18±0,16	2,05
	kolejne 21 dni (23°C)	3,44±0,14	3,62±0,20	3,65
Wskaźniki puculanowości wg PN-EN 450-1:2009 [%]	po 28 dniach	72,6	78,7	76,3
	po 90 dniach	75,8	81,2	78,7

Modelowe popioły otrzymano mieszając syntetyczne szkło, mullit i β -kwarc w proporcjach odpowiednio 70, 20 i 10%mas. [1,10]. Mullit otrzymano prażąc mieszaninę Al(OH)₃ i SiO₂ w obecności domieszki MgO [11,12]. Jako źródło β -kwarcu zastosowano SiO₂. Próbkę modelowych popiołów oznaczono jako P1 (szkło 1) i P2 (szkło 2). Obliczony skład chemiczny popiołów przedstawiono w tab.3. Modelowe popioły lotne spełniały wymagania chemiczne zawarte w normie PN-EN 450-1:2009.

Cementy do badań przygotowano w warunkach laboratoryjnych przez wymieszanie cementu portlandzkiego CEM I 42,5R (oznaczonego jako CEM I) i modelowych popiołów P1 i P2 w ilości 20%mas. (oznaczonych odpowiednio jako CEM-20P1 i CEM-20P2). Badania przeprowadzono również dla cementu zawierającego 20%mas. przemysłowego popiołu krzemionkowego PPK (oznaczonego jako CEM I-20PPK).

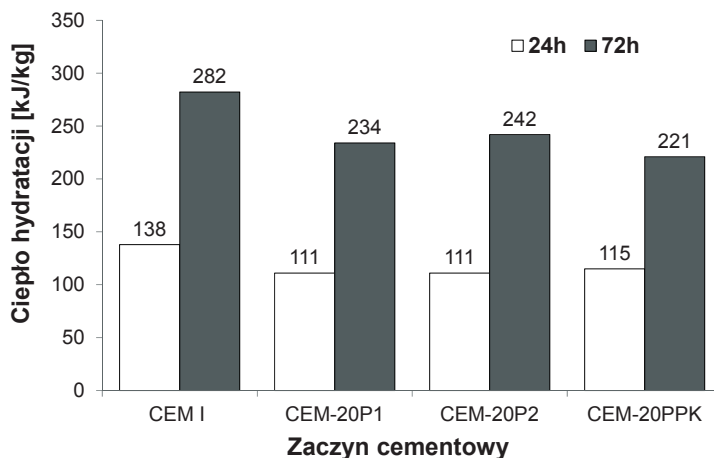
Tabela 3. Skład chemiczny w [%mas.] modelowych popiołów lotnych.

Składnik chemiczny	Popiół P1	Popiół P2	Popiół PPK
Str. prażenia	-	-	3,19
SiO ₂	57,06	54,29	53,60
Al ₂ O ₃	26,84	34,23	28,60
Fe ₂ O ₃	2,89	0,22	6,28
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	86,79	88,74	88,48
CaO	5,03	0,64	3,09
MgO	4,36	2,07	1,75
Na ₂ O	1,81	1,20	0,41
K ₂ O	2,01	7,34	2,57
SO ₃	-	-	0,51
parametr ASI (Al ₂ O ₃ / (Na ₂ O+K ₂ O+2CaO))	1,93	3,84	3,12

3. Badania właściwości zaczynów i zapraw cementowych

Proces hydratacji cementu określono analizując szybkość wydzielania ciepła hydratacji (metoda mikrokalometrii) i zmiany zawartości Ca(OH)₂ w zaczynach (metoda termiczna DTA/TG). Przeprowadzono również badania wytrzymałości na ściskanie i mikrostruktury zapraw cementowych.

Badania mikrokalometryczne zaczynów wykazały, że modelowy popiół P1 wydłuża okres indukcji hydratacji względem CEM I, natomiast ten sam dodatek popiołu P2 powoduje jego skrócenie o 20 minut. Jak wiadomo, proces hydratacji popiołu rozpoczyna się od rozpuszczenia szkła i przechodzenia do roztworu, początkowo jonów Na i K, a następnie jonów Al i Si, które łącząc się z jonami Ca z hydratacji cementu, tworzą hydraty w postaci C-S-H i C-A-H. Szybkość reakcji pucolanowej wzrasta ze wzrostem pH roztworu. Wprowadzenie do składu cementu popiołów zmniejsza wartość pH zaczynu, co jest „efektem rozcieńczenia” i mniejszej zawartości Ca(OH)₂ w spoiwie. Ze względu na większy udział alkaliów w popiele P1, można przypuszczać, że zaczyn CEM-20P1 będzie wykazywał większą zasadowość, a proces hydratacji będzie przebiegał z większą intensywnością. Jednak krótszy okres indukcji obserwuje się dla CEM-20P2. Ze względu na większą ilość aktywnego Al₂O₃, modelowy popiół P2 wiąże większą ilość jonów Ca w reakcji pucolanowej, co wymusza wzrost stopnia przereagowania alitu, zwłaszcza po okresie indukcyjnym. Wartości ciepła hydratacji zaczynów zestawiono na rys.3. Biorąc pod uwagę „efekt rozcieńczenia”, ciepło hydratacji próbek CEM-20P1 i CEM-20P2 powinno wynosić 110 kJ/kg po 24h i 225 kJ/kg po 72h. Wyniki wskazują, że już po 72h ciepło hydratacji zaczynów CEM-20P1 i CEM-20P2 jest wyższe niż to wynika z „efektu rozcieńczenia”, przy czym różnica wynosi odpowiednio 17 i 14%. Niższe ciepło hydratacji cementu CEM-20P2, o 22% względem CEM-20P1, wskazuje na szybszy i intensywniejszy przebieg reakcji pucolanowej z udziałem popiołu P2. Po 72h ciepło hydratacji zaczynu CEM-PPK wynosi 221 kJ/kg, co należy tłumaczyć wyłącznie „rozcieńczeniem” cementu w spoiwie (brak „efektu pucolanowego” od przemysłowego popiołu PPK).



Rys. 3. Ciepło hydratacji zaczynów cementowych ($w/c=0,5$) po 24 i 72h hydratacji.

Wyniki oznaczeń zawartości Ca(OH)_2 w zaczynach podano w tab.4. Początkowo spadek ilości Ca(OH)_2 wynika z „rozcieńczenia” cementu, lecz w miarę upływu czasu zaznacza się wpływ „efektu pucolanowego”. Po 2 dniach, ilość portlandytu w zaczynie CEM-20P1 jest o 20% mniejsza niż w próbce CEM I, natomiast w przypadku CEM-20P2 wielkość spadku wynosi 23% (początek reakcji pucolanowej). Po 28 dniach spadek ilości Ca(OH)_2 w CEM-20P1 wynosi 22%, natomiast w CEM-20P2 wzrasta do 26%, co potwierdza lepsze właściwości pucolanowe popiołu P2. Biorąc pod uwagę, że ilość aktywnego SiO_2 w modelowych popiołach P1 i P2 jest porównywalna, można przypuszczać, że ilość żelu C-S-H powstającego w reakcji pucolanowej w zaczynach CEM-20P1 i CEM-20P2 będzie również zbliżona. Większy spadek ilości Ca(OH)_2 w CEM-20P2 należy wiązać ze zmiennym składem chemicznym szkła w popiele P2, a przede wszystkim z występowaniem jonów Al w koordynacji 4 i 6 w sieci przestrzennej szkła 2. Jony Al w pozycji oktaedrycznej tworzą słabsze wiązanie Al-O niż w pozycji tetraedrycznej, dlatego łatwiej przechodzą do roztworu, co przekłada się na wzrost intensywności reakcji pucolanowej z udziałem popiołu P2. Po 90 dniach ilość Ca(OH)_2 w próbkach CEM-20P1 i CEM-20P2 jest zbliżona i o 35% mniejsza niż w CEM I, co oznacza, że pomiędzy 28 i 90 dniem większy wpływ na szybkość reakcji pucolanowej mają jony Al w koordynacji 4 w szkłe popiołowym, których udział jest największy w przypadku popiołu P1. Wprowadzenie do składu cementu tej samej ilości przemysłowego popiołu PPK powoduje najmniejszy spadek ilości portlandytu w zaczynie. Po 2 i 28 dniach ilość Ca(OH)_2 w próbce CEM-20PPK jest większa niż w próbce CEM-20P1 odpowiednio o 2 i 4%, co wiąże się bezpośrednio z mniejszym udziałem szkłotwórczego jonu Al w szkłe popiołu PPK, co sugeruje wyraźnie mniejszą zawartość tlenków Na_2O i K_2O (tab.3). Względem próbki CEM-20P2 wzrost ilości Ca(OH)_2 w zaczynie CEM-20PPK wynosi 5% po 2 dniach i 9% po 28 dniach, co przypuszczalnie można tłumaczyć mniejszym udziałem jonów Al w koordynacji 6 w szkłe popiołu PPK. Pomiedzy 28 i 90 dniem spadek zawartości Ca(OH)_2 w CEM-20PPK wynosi 6%, w CEM-20P1 – 7%, natomiast w CEM-20P2 – tylko 3%, co przypuszczalnie wiąże się ze zmiennym udziałem tetraedrów AlO_4 w sieci przestrzennej szkła popiołów, tj. największym w popiele P1, a najmniejszym w popiele P2.

Tabela 4. Zawartość $\text{Ca}(\text{OH})_2$ w [%mas.] w zaczynach cementowych (analiza DTA/TG).

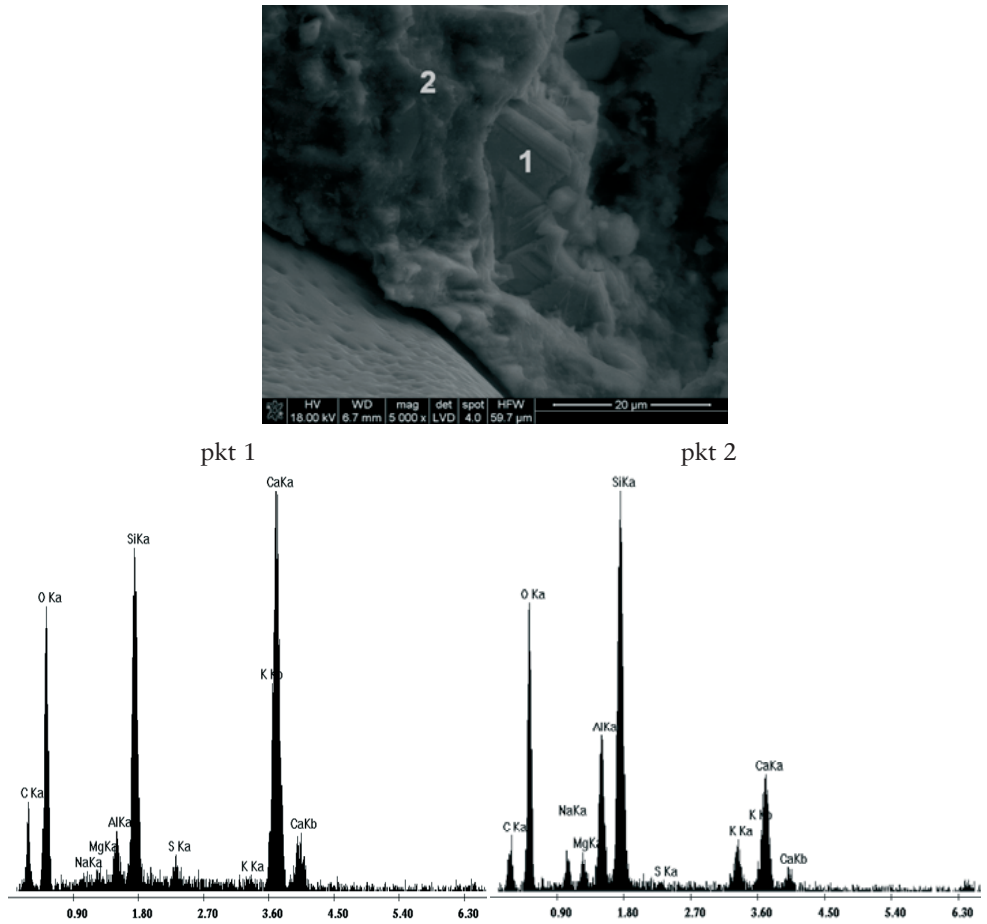
Próbka	2 dni	28 dni	90 dni
CEM I	11,32	16,83	18,52
CEM-20P1	8,98	13,10	12,18
CEM-20P2	8,72	12,47	12,03
CEM-20PPK	9,12	13,63	12,75

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie zapraw, zgodnie z normą PN-EN 196-1:2006 [28], zestawiono w tab.5. Wytrzymałość 2-dniowa zapraw CEM-20P1 i CEM-20P2 jest o 40-42% niższa niż próbki kontrolnej. Wytrzymałość 28-dniowa tych zapraw jest wciąż niższa niż CEM I, jednak różnica wynosi 19% dla CEM-20P1 i 15% dla CEM-20P2. Osiągnięcie przez próbkę CEM-20P2 normowej wytrzymałości wyższej niż to wynika z „efektu rozcieńczenia”, przy różnicy ok. 21% względem CEM-20P1, jest efektem większej reaktywności pucolanowej modelowego popiołu P2, wynikającej prawdopodobnie z obecności oktaedrów AlO_6 w strukturze szkła 2. Pomiedzy 28 a 90 dniem przyrost wytrzymałości zaprawy CEM I wynosi tylko 3%, natomiast zapraw CEM-20P1 i CEM-20P2 – odpowiednio 22 i 19% („efekt pucolanowy”). Korzystniejsze cechy wytrzymałościowe CEM-20P2 zapewnia większa szczelność mikrostruktury, będąca wynikiem tworzenia się większej ilości produktów reakcji pucolanowej, zwłaszcza uwodnionych glinianów i glinokrzemianów wapnia. Mimo iż, zaprawy z dodatkiem modelowych popiołów P1 i P2 zawierają w swoim składzie tylko 80%mas. cementu CEM I, ich wytrzymałość 90-dniowa jest większa niż to wynika z „efektu rozcieńczenia”, a różnica wynosi 19% (CEM-20P1) i 23% (CEM-20P2). Według normy PN-EN 197-1:2012 [29], dodatek 20%mas. modelowego popiołu P2 pozwala uzyskać cement CEM II/A-V klasy 42,5, jednak o normalnej wytrzymałości wczesnej. Dodatek 20%mas. modelowego popiołu P1 i przemysłowego popiołu PPK daje cement CEM II/A-V 32,5R. Biorąc pod uwagę większy udział tetraedrów AlO_4 w szkłe popiołu P1, można przypuszczać, że wytrzymałość 180-dniowa próbki CEM-20P1 będzie większa niż CEM-20P2.

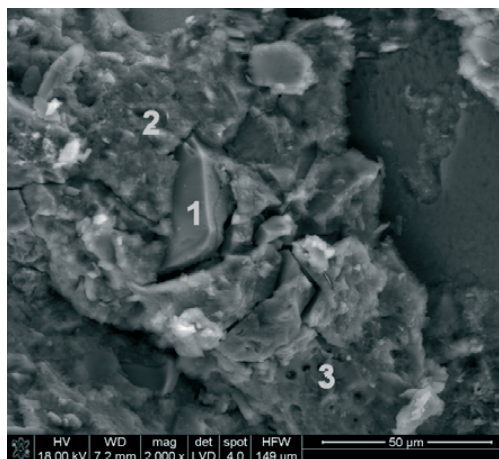
Tabela 5. Wytrzymałość na ściskanie w [MPa] normowych zapraw cementowych (wg PN-EN 196-1:2006).

Próbka	2 dni	28 dni	90 dni
CEM I	30,9±0,17	54,3±0,44	56,2±1,01
CEM I-20P1	17,0±0,24	43,8±0,59	53,6±0,55
CEM I-20P2	18,1±0,21	46,3±0,50	55,3±1,00
CEM I-20PPK	15,6±0,97	42,5±1,36	49,1±1,01

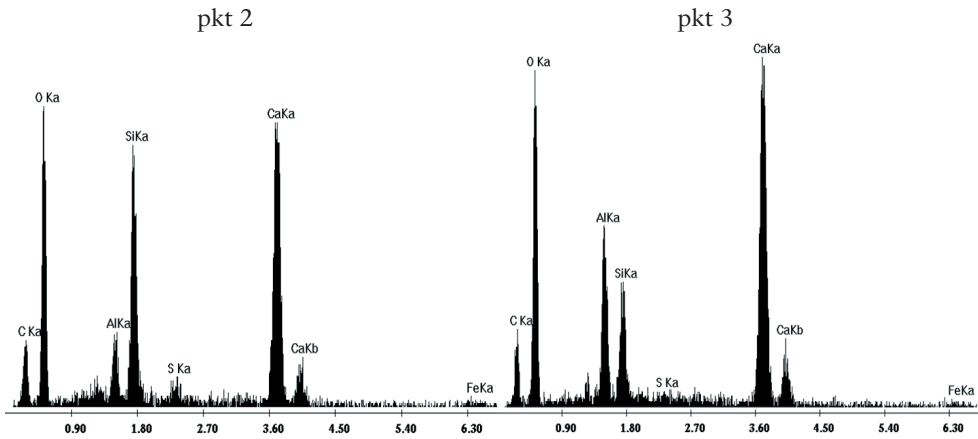
Wybrane zdjęcia mikrostruktury zaczynów pokazano na rys.4-5. Dominującym produktem hydratacji jest C-S-H. Po 90 dniach w zaczynie CEM-20P2 pojawiają się uwodnione glinokrzemiany wapnia, prawdopodobnie hydrogranaty, które w przypadku cementów z dodatkiem przemysłowych popiołów lotnych krzemionkowych pojawiają się dopiero po ok. 180 dniach. Na zdjęciach widoczna jest amorficzna faza glinokrzemianowa, pochodząca głównie od syntetycznego szkła.



Rys. 4. Kawałek szkła (pkt 1) oraz amorficzny C-S-H o stosunku C/S~1,3 (pkt 2) w zaczynie CEM I-20P1 po 90 dniach. SEM/EDS (5000x).



Rys. 5. Kawałek szkła (pk1), amorficznym C-S-H o stosunku C/S~1,0 (pkt 2) i prawdopodobnie hydrogranat w zaczynie CEMI-20P2 po 90 dniach. SEM/EDS (2000x).



Rys. 5cd. Kawałek szkła (pk1), amorficznym C-S-H o stosunku C/S-1,0 (pkt 2) i prawdopodobnie hydrogrnat w zaczynie CEMI-20P2 po 90 dniach. SEM/EDS (2000x).

5. Wnioski

1. Szkło o większej wartości stosunku $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+2CaO)$ zawiera więcej oktaedrów AlO_6 w więźbie szkła, z równoczesnym spadkiem udziału tetraedrów AlO_4 .
2. Ze względu na niższą wytrzymałość wiązania Al-O w oktaedrach AlO_6 , jony Al w koordynacji 6 w sieci przestrzennej szkła łatwiej przechodzą do roztworu niż jony Al. w koordynacji 4, co zwiększa intensywność reakcji pucolanowej.
3. Obecność oktaedrów AlO_6 zwiększa reaktywność szkła (większa zawartość aktywnego Al_2O_3), co korzystnie kształtuje wytrzymałość zaprawy cementowej i wapiennej.
4. Cement z dodatkiem popiołu, którego strukturę szkła tworzą obok tetraedrów AlO_4 również oktaedry AlO_6 , wykazuje większe ciepło hydratacji.
5. Dodatek 20%mas. popiołu zawierającego 70%mas. szkła, daje cement CEM II/A-V 32,5R (jony Al w formie AlO_4) lub CEM II/A-V 42,5N (jony Al w formie AlO_4 i AlO_6).

Temat zrealizowano w ramach projektu Nr N N506 299139, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych (KBN).

Literatura

- [1] Lee S.H., Sakai E., Diamon M., Bang W.K. Cem Conc Res. 29 (1999) 1791.
- [2] Małolepszy J., Tkaczewska E. V Konf. PTCer, Zakopane 2005, s.1143.
- [3] Tkaczewska E. Drogi i Mosty, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2008, Nr 4, s.47.
- [4] Bumrongjaroen W., Swatekititham S., Livingston R.A., Schweitzer J. 9th CANMET/ACI Inter. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Warszawa 2007, s.267.

-
- [5] Tkaczewska E., Małolepszy J. Cement Wapno Beton 3(2009) 148.
- [6] Małolepszy J., Tkaczewska E. 53 Konf. Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 2007, s.119.
- [7] Małolepszy J., Tkaczewska E. 54 Konf. Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 2008, s.411.
- [8] Tkaczewska E., Sitarz M. VI Konf. Naukowo-Techniczna MATBUD'2011, Kraków 2011, s.411.
- [9] Tkaczewska E. 13th Inter. Congress on the Chemistry of Cement, Madrid 2011, s.295.
- [10] Tkaczewska E., Sitarz M. Phys. Chem. Glasses: Eur. J. Glass Sci. Technol. B 54 (2013) 89.
- [11] Ward C.R., French D. w: Characteristics of Australian Fly ashes (eds. Ward C.R., Franch D.), Technical Note 21, Co-operative Research Centre for Coal Sustainable Development, QCAT Technology Transfer Centre, Technology Court, Pullenvale 2003, s.1.
- [12] Dong Y., Hampshire S., Zhou J., Ji Z., Wang J., Meng G. J Eur Ceram Soc 31 (2011) 687.
- [13] Montanaro L., Perrot Ch., Esnouf C., Thollet G., Fantozzi G., Negro A. J Am Ceram Soc 83 (2000) 189.
- [14] Shao Y., Lefort T., Moras S. Rodriguez D. Cem Conc Res 30 (2000) 91.
- [15] Engelhardt G., Nofz M., Forkel K., Wihsmann F.G., Magi M., Samoson A., Lippmann E. Phys Chem Glasses 26 (1985) 157.
- [16] Lacey E.D. Phys Chem Glasses 4 (1963) 234.
- [17] Lowenstein W. Am. Minerol. 39 (1954) 92.
- [18] Day D.E., Rindone G.E. J Am Ceram Soc 45(1962) 489, 496, 579.
- [19] Rüssel C. Glastechn. Ber. 66 (1993) 93.
- [20] Rüssel C. Glastechn. Ber. 66 (1993) 68.
- [21] Gerlach S., Claußen O., Rüssel C. J. Non-Cryst. Solids 238 (1998) 75.
- [22] Wiedenroth A., Rüssel C. J. Non-Cryst. Solids 290 (2001) 41.
- [23] Wiedenroth A., Rüssel C. J. Non-Cryst. Solids 320 (2003) 238.
- [24] Tarte P. SpectrochimActa 23A (1967) 2127.
- [25] ASTM C379-65. *Specification for Fly Ash for Use as a Pozzolanic Material with Lime*. American Society for Testing and Materials (Withdrawn 1966).
- [26] ASTM C593-06. *Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime*. American Society for Testing and Materials.
- [27] PN-EN 450-1:2009. *Popiół lotny do betonu – Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności*.
- [28] PN-EN 196-1:2006. *Metody badania cementu – Część 1: Oznaczanie wytrzymałości*.
- [29] PN-EN 197-1:2012. *Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*.

Influence of fly ashes with different glassy phase structure on properties of cement pastes and mortars

Ewelina Tkaczewska

Department of Building Material Technology, Faculty of Materials Science and Ceramics, AGH University of Science and Technology, e-mail: tkaczews@agh.edu.pl

Abstract: Work analyzes relationship between fly ash pozzolanic activity and structure of its glass component. Model silica fly ashes are prepared by mixing synthetic glass, synthetic mullite and SiO_2 . Chemical composition of glasses was based on value of parameter ASI, defined as ratio of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+2\text{CaO})$. Glass structure was built main by tetrahedra SiO_4 . In glass of parameter $\text{ASI}<1$, Al ions occur only in tetrahedra AlO_4 , but in glass of parameter $\text{ASI}>1$, additionally in octahedra AlO_6 . It was found that glass containing in its structure Al ion in coordination 4 and 6 shows greater reactivity – more active Al_2O_3 , higher pozzolanic indexes and positive effect on lime mortar strength. Cement with addition of ash containing glass of higher value of ASI has higher hydration heat and higher compressive strength. Using 20wt% of ashes it is possible to obtain cement CEM II/A-V, class 32.5R (Al ion in AlO_4) or class 42.5N (Al ion in AlO_4 and AlO_6)

Keywords: glass, cement, hydration heat, compressive strength, microstructure.

Projektowanie mieszanki mineralno-asfaltowej na ciepło (WMA) z dodatkiem zeolitu

Agnieszka Woszuk

*Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: a.woszuk@pollub.pl*

Streszczenie: Celem tej pracy jest omówienie procesu projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło. Jednym ze sposobów obniżenia temperatury produkcji MMA jest zastosowanie zeolitu. W artykule wykazano na przykładzie brak różnic w projektowaniu recepty z dodatkiem zeolitu w stosunku do tradycyjnej mieszanki mineralno-asfaltowej.

Słowa kluczowe: zeolit, mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło, projekt składu mieszanki mineralno asfaltowej.

1. Wprowadzenie

Technologia budowy nawierzchni drogowych ma zapewniać trwałość oraz bezpieczeństwo i komfort użytkowników. Zastosowanie danej technologii powinno także mieć uzasadnienie ekonomiczne oraz być przyjazne środowisku. Wszystkie te wymagania spełniają mieszanki mineralno-asfaltowe o obniżonej temperaturze produkcji. Temperatura produkcji tradycyjnych mieszanek mineralno-asfaltowych (na gorąco) wynosi 140-200°C w zależności od rodzaju asfaltu [1]. Mieszanki na ciepło także wymagają wysokiej temperatury w celu upłynnienia asfaltu, otoczenia kruszywa i zagęszczenia, jednak umożliwiają obniżenie temperatur technologicznych nawet o 30°C.

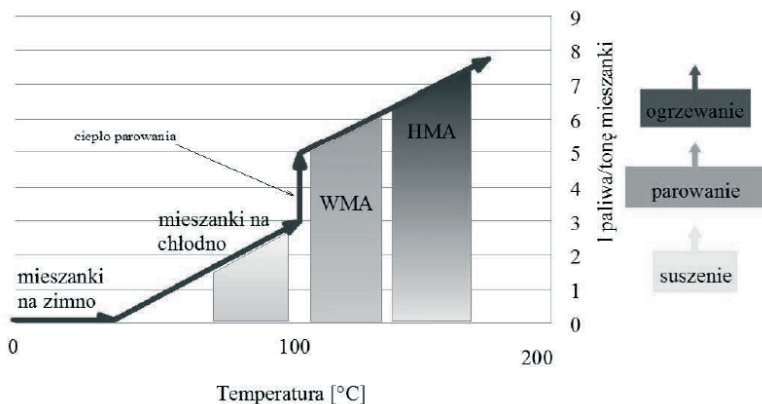
Początki mma na ciepło to zastosowanie asfaltu spienionego. Norweska firma Kollo Veidekke wspólnie z firmą Shell opracowała i opatentowała tę technologię w 1997 pod nazwą WAM-Foam. Spienienie asfaltu następuje na skutek kontaktu z wodą lub parą wodną, która może być wprowadzana mechanicznie lub pod ciśnieniem. Efekt spienienia asfaltu uzyskać można także poprzez dodanie do mieszanki mineralnej zeolitu, w czasie dozowania asfaltu. W wyniku uwalniania wody zeolitowej dochodzi do ekspansji objętościowej spoiwa, efektem czego jest spienienie asfaltu i obniżenie jego lepkości. Zwiększa się urabialność mieszanki i przyczepność do kruszywa w niższych temperaturach [2]. Metodę obniżania temperatury produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej poprzez dodanie syntetycznego zeolitu (Aspha-Min) zapoczątkowano w Niemczech (Mitteldeutsche Hartstein-Industrie AG). Pierwszym i głównym odbiorcą była francuska firma drogową Eurovia, która od 2001 r. rozwija i stosuje technologię WMA.

Mieszanki WMA są obecnie stosowane zarówno w Europie jak i w USA. Jednak z uwagi na koszty, które są wyższe w stosunku do typowych mieszanek mineralno-asfaltowych (na gorąco), ich produkcja jest obecnie marginalna. Biorąc pod uwagę zwiększającą się świadomość w zakresie ochrony środowiska oraz obowiązujące

w tym zakresie przepisy (zmniejszenie emisji wycieków i aerozoli, obniżenie emisji gazów cieplarnianych) w najbliższych latach można spodziewać się upowszechnienia tej technologii.

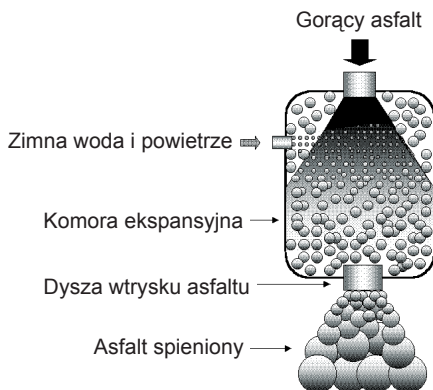
2. Technologia produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na ciepło z dodatkiem zeolitu

Stosowanie mieszanek mineralno asfaltowych na ciepło to zmniejszenie temperatury produkcji i zagęszczania o ok. 30°C. Dzięki czemu zmniejsza się zużycie energii (rys. 1), poprawia komfort i bezpieczeństwo pracy. Niższa temperatura produkcji to także spowolnienie starzenia lepiszcza oraz lepsza urabialność mieszanki. Na rynku dostępnych jest obecnie wiele rozwiązań i produktów obniżających temperaturę produkcji mma. Najbardziej powszechne dodatki to woski, zeolity i dodatki chemiczne.



Rys. 1. Klasyfikacja mieszanek mineralno – asfaltowych według temperatur i przybliżone zużycie paliwa [3].

Najstarszą technologią obniżania temperatury produkcji MMA jest spienianie asfaltu. Pierwsze próby w tym kierunku były przeprowadzone już w 1957 roku, w USA przez prof. L. Csanyi. Spienienie asfaltu następuje na skutek kontaktu z wodą lub parą wodną, która może być wprowadzana mechanicznie pod ciśnieniem (rys.2).



Rys. 2 Schemat wytwarzania asfaltu spienionego [4].

Alternatywnym sposobem spieniania asfaltu jest stosowanie zeolitów. Zeolity są glinokrzemianami pierwiastków alkalicznych (Na, K, rzadziej Li) i pierwiastków ziem alkalicznych (Ca, Mg, Bar, rzadziej Sr). Szkieletowa struktura o dużej ilości wolnych przestrzeni nadaje zeolitom specyficzne właściwości sorpcyjne, jonowymienne, katalityczne oraz molekularno-sitowe. Wyróżnić można zeolity naturalne, modyfikowane oraz syntetyczne (rys.3).



Rys 3. Zeolit [źródło: www.answers.com].

Dzięki swoim właściwościom zeolity znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach życia jak na przykład: medycyna, rolnictwo, ochrona i inżynieria środowiska. Cechą charakterystyczną zeolitów jest zdolność gromadzenia w kanalikach struktury krystalicznej tzw. wody zeolitowej. Pod wpływem kontaktu z gorącym asfaltem uwieczona w mikrokanalikach woda jest uwalniana, co powoduje spienienie asfaltu. Proces ten jest rozciągnięty w czasie, co umożliwia poprawę otoczenia i urabialności również w trakcie wbudowania i zagęszczania.

Naturalne zeolity zawierają ok 6 -10% (m/m) wody, syntetyczne nawet do 25 % (m/m). Syntetyczny zeolit w technologii Aspha-min zawiera około 21 procent wody (masowo), która jest wydzielana w zakresie temperatur 85-182°C. Po podgrzaniu do temperatury mieszania woda zgromadzona w porach molekuł stopniowo się uwalnia. W wyniku tego zjawiska lepkość asfaltu zostaje obniżona, co pozwala na produkcję i wbudowanie mma w niższej temperaturze. W trakcie schładzania lepiszcza mikropęcherzyki pary kondensują się, co powoduje ponowny wzrost lepkości lepiszcza do pierwotnej wartości, a lepiszcze oraz wytworzona mma odzyskują swoje początkowe (pierwotne) właściwości [5]. Zjawisko to trwa przez 2-3 godzin, przez co efekt zwiększonej urabialności jest wykorzystywany zarówno w trakcie produkcji, transportu jak i zagęszczania mieszanki [6]. Zeolity dostępne komercyjnie występują w postaci proszku. Przechowywane zeolity powinny być chronione przed wpływem warunków atmosferycznych i zawilgoceniem, zalecane jest magazynowanie w silosie albo składowanie w workach.

Proces produkcyjny MMA z dodatkiem zeolitu nie różni się od tradycyjnie wytwarzanych mieszanek. Problematyczne może być jedynie dozowanie zeolitu. Z uwagi na charakter swojego działania ważna jest kolejność dozowania poszczególnych składników mieszanki. Zeolit powinien być dozowany razem z wypełniaczem lub bezpośrednio po nim [2, 5, 6]. Dozowanie automatyczne odbywa się z silosu lub przy użyciu dodatkowo zainstalowanego zasobnika wagowego. W przypadku niedużych ilości mma, np. dla celów naukowych, możliwe jest ręczne dodawanie zeolitu w papierowych workach [5, 7].

3. Proces projektowania recepty mieszanki mineralno asfaltowej z dodatkiem zeolitu

W wyniku prowadzonych w Polsce badań MMA o obniżonej temperaturze otaczania zostały opublikowane wstępne zalecenia dotyczące tych mieszanek [8]. Potwierdzono, że proces projektowania recepty mieszanki WMA przebiega w sposób podobny do projektowania recepty mieszanki tradycyjnej (tab.1). Typ uziarnienia oraz rodzaj lepiszcza należy przyjmować zgodnie z wymaganiami dla MMA na gorąco (Wymagania Techniczne WT-2 2010).

Tabela 1. Etapy projektowania składu mieszanki WMA oraz ewentualne różnice w stosunku do mieszanek HMA [8].

Lp.	Etap projektowania recepty	Ewentualne różnice w stosunku do projektowania składu mieszanki tradycyjnej
1.	Dane podstawowe	W głównej części bez zmian. Konieczny wybór danej technologii (rodzaju dodatku) WMA oraz cel zastosowania dodatku.
2.	Dobór kruszywa i kompozycja uziarnienia	Bez zmian
3.	Dobór ilości asfaltu oraz środka adhezyjnego	Do asfaltu, albo do przygotowanej w laboratorium mieszanki asfaltu z kruszywem powinien być dodany określony środek obniżający temperaturę. Po za tym postępowanie bez zmian.
4.	Określenie warunków przygotowania i zagęszczania próbek	Konieczne indywidualne określenie temperatury zagęszczania próbek.
5.	Zakres badań laboratoryjnych	Bez zmian
6.	Określenie temperatur technologicznych	Ustalane indywidualnie w zależności od celu zastosowania mieszanki WMA.

Za optymalną ilość dozowanego zeolitu przyjmuje się 0,3% w stosunku do masy mieszanki mineralno-asfaltowej [2, 5, 9]. W recepcie MMA zeolit zastępuje wypełniacz, którego ilość powinna być pomniejszona o dodatek zeolitu. Powstaje pytanie: czy uwzględniać zeolit przy projektowaniu składu MMA, czy traktować jako dodatek powodujący spienianie asfaltu? Zgodnie z normą [1] uziarnienie powinno być wyrażone w procentach w stosunku do całego kruszywa. Natomiast zawartość lepiszcza i dodatków jest określana procentowo w stosunku do masy całej mieszanki. Zeolit jest dodatkiem, ale jeżeli zastępuje wypełniacz staje się również elementem składowym uziarnienia.

Autor, na przykładzie, dokona analizy zmian składu mieszanki mineralnej przy uwzględnieniu 0,3% dodatku zeolitu. Sprawdzona zostanie ewentualna zmiana ilości dozowanego asfaltu na podstawie powierzchni właściwej oraz różnica w ilości dozowanego asfaltu.

4. Przykład projektowania mieszanki mineralno asfaltowej z dodatkiem zeolitu

Skład mieszanki mineralnej bez zeolitu ustalony został typową metodą krzywych granicznych. Projektowa recepta przeznaczona jest na warstwę wiążącą z betonu asfaltowego, KR 3-6 (AC 22 W). Wszystkie kruszywa oraz wypełniacz wapienny do

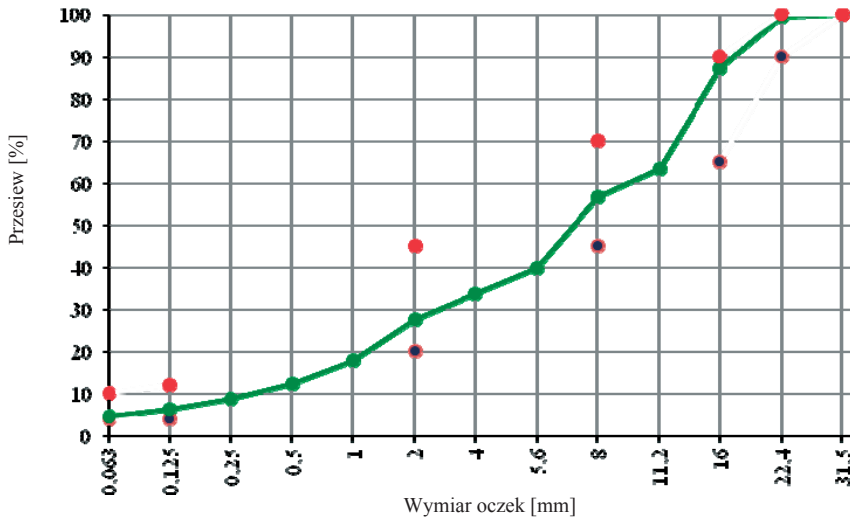
badania dostarczyła jedna z firm drogowych wykonawczych działających w województwie lubelskim. Uziarnienie kruszywa zbadano metodą przesiewania [10].

Tabela 2. Analiza sitowa składników mieszanki mineralnej.

Wymiar sita	wypełniacz dodany	kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/4	frakcja grysowa 4/8	frakcja grysowa 11/16	frakcja grysowa 16/22
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
31,50				0,00	0,00
22,40				1,00	2,00
16,00				12,00	86,00
11,20			0,00	75,00	11,00
8,00		0,00	13,00	11,00	0,00
5,60		0,00	62,00	0,00	1,00
4,00		1,00	22,00	0,00	2,00
2,00		17,00	2,00	0,00	3,00
1,00		30,00	0,00	0,00	4,00
0,50		18,00	0,00	1,00	5,00
0,25		11,00	0,00	2,00	6,00
0,13	3,00	7,00	0,00	3,00	7,00
0,06	14,00	4,00	0,00	0,00	8,00
<0,063	83,00	12,00	1,00	1,00	1,00
% ubytków # <0,063	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0

Tabela 3. Uziarnienie mieszanki mineralnej.

Wymiar sita	Odsiew	Skrócony odsiew	Przesiew	Rzędne krzywych granicznych	
[mm]	[%]	[%]	[%]		
31,5	0,0	72,4	100,0	100	0
22,4	0,5		99,5	90	100
16	12,3		87,2	65	90
11,2	23,7		-	-	-
8	6,8		56,7	45	70
5,6	16,8		-	-	-
4	6,3		-	-	-
2	6,0		27,6	20	45
1	9,6	22,9	-	-	-
0,5	5,8		-	-	-
0,25	3,5		-	-	-
0,125	2,3		6,3	4	12
0,063	1,7		4,6	4	10
0	4,6	4,6			
razem	100,0	100,0			



Rys. 3. Wykres krzywej uziarnienia.

Ilość asfaltu przyjęto na poziomie minimalnym, zgodnie z WT 2, uwzględniając gęstość mieszanki mineralnej. Przyjęty skład mieszanki mineralnej oraz skład mineralno-asfaltowej przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Projektowany skład mieszanek.

Nazwa składnika mieszanki	Udział w mieszance [%]	
	MM	MMA
wypełniacz dodany	3	2,9
kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/4	30	28,7
grysy 4/8	27	25,8
grysy 11/16	30	28,7
grysy 16/22	10	9,5
asfalt	4,4	4,4

Na podstawie wyników badań składu ziarnowego zeolit Aspha-min należy sklasyfikować jako pyły (frakcja kruszywa o wymiarach ziaren przechodzących przez sito 0,063 mm). Wypełniacz natomiast to kruszywo którego większość ziaren przechodzi przez sito 0,063mm (tab. 5).

Tabela 5. Wymagania dotyczące uziarnienia dodanego wypełniacza [11].

Wymiary sita [mm]	Procent przechodzącej masy
2	100
0,125	od 85 do 100
0,063	od 70 do 100

Traktując zeolit jako jeden z materiałów wejściowych przy projektowaniu mieszanki mineralnej należy również pomniejszyć wypełniacz o ilość dodawanego zeolitu. Trzeba jednak pamiętać, że procentowa wartość tego dodatku odnosi się do MMA, a pierwszym krokiem w ustaleniu składu mma jest zaprojektowanie uziar-

nienia mieszanki mineralnej. Należy dokonać odpowiedniego przeliczenia udziału w MM wypełniacza i zeolitu, z uwzględnieniem projektowanej ilości lepiszcza.

Dla danych jak w przykładzie, projektowana ilość wypełniacza w stosunku do mieszanki mineralnej wynosi 3%, natomiast w odniesieniu do mma to 2,868% (tab. 4). Kolejnym krokiem jest ponowne przeliczenie pomniejszonej o 0,3% ilości wypełniacza (2,868%-0,3%) i zeolitu w stosunku do masy MM. Otrzymano następujące wartości: 2,686% wypełniacza i 0,314% zeolitu w stosunku do całego kruszywa. Ponieważ procent kruszywa przechodzącego przez sito 0,063 mm, jak i zawartość dodatków powinna być wyrażona z dokładnością do 0,1% [1] ostateczne wyniki do 2,7% wypełniacza oraz 0,3% zeolitu w odniesieniu do MM. Ostatecznie otrzymano takie same wartości (%) jak w stosunku do całej mieszanki mineralno-asfaltowej. Autor dokonał analizy również dla mieszanek o innym przeznaczeniu, z różnymi zawartościami asfaltu. Efekt końcowy za każdym był taki jak w przedstawionym przykładzie.

Dla analizowanego w niniejszym artykule przypadku, po uwzględnieniu w składzie kruszywa zeolitu, nieznacznie zmieniła się wartość przesiewu przez sito 0,063. W pierwotnej wersji przesiew ten wynosił 4,6% (tab. 3), natomiast po korekcie o dodatek 0,3% zeolitu wzrósł do 4,7%. Dla innych analizowanych przypadków zmiana wynosiła od 0 do 0,1%. Również gęstość mma określana na podstawie gęstości poszczególnych składników zmieniła się marginalnie (1- 3 kg/m³). Dla powyższych danych gęstość mma spadła z 2507 kg/m³ do 2505 kg/m³.

Zmiana uziarnienia mieszanki mineralnej może skutkować koniecznością korekty ilości dozowanego asfaltu. W produkcji mieszanek mineralno asfaltowych istotną kwestią jest otoczenie wszystkich ziaren błoną lepiszcza asfaltowego o odpowiedniej grubości. Grubość otoczki asfaltowej zależy od rodzaju lepiszcza oraz powierzchni właściwej mieszanki [2], obliczanej zgodnie z wzorem (1):

$$F = (0,04g + 0,06z + 0,10s + 1,5f)x^{2,65} / \rho^{m-m} \quad (1)$$

w którym: F – powierzchnia właściwa zaprojektowanej mieszanki [m²/kg], g – zawartość frakcji powyżej 4 mm [% (m/m)], z – zawartość frakcji 0,3 do 4 mm [% (m/m)], s – zawartość frakcji 0,075 do 0,3 mm [% (m/m)], ρ^{m-m} – gęstość mieszanki mineralnej.

Znając powierzchnię właściwą można określić potrzebną zawartość asfaltu w mieszanke mineralnej (2):

$$A_k = \frac{Fb\rho^a}{10} \quad (2)$$

gdzie: A_k – zawartość asfaltu [%], F – powierzchnia właściwa [m²/kg], ρ^a – gęstość asfaltu [Mg/m³], b – grubość otoczki asfaltowej [μm].

Powierzchnia właściwa MMA referencyjnej wynosi 11,33 m²/kg, natomiast po uwzględnieniu zeolitu – 11,42 m²/kg. Przy założeniu grubości otoczki asfaltowej 3,2 μm, zawartość asfaltu dla mieszanki uwzględniającej zeolit wzrosła z 3,70 do 3,73%.

Ostatnią kwestią wymagającą sprawdzenia jest objętościowa zawartość asfaltu (3):

$$V_a = \frac{A_m \rho_p^m}{\rho^a} \quad (3)$$

gdzie: V_a – objętość asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej [%], A_m – ilość asfaltu w mieszance [%], ρ^a – gęstość asfaltowej asfaltu [g/cm^3], ρ_p^m – gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej [g/cm^3],

Objętościowa zawartość asfaltu z mieszance z dodatkiem zeolitu wzrosła o 0,06% (z 8,68% do 8,74%).

5. Wnioski

Przeprowadzona analiza potwierdza brak konieczności uwzględniania 0,3% dodatku zeolitu w składzie mieszanki mineralnej (tab.1). Zmiana recepty mma sprowadza się jedynie do zmniejszenia ilości dodawanego wypełniacza o procent dozowanego zeolitu. Zgodnie z WT 2 dopuszczalna odchyłka dodatku lepiszcza (zawierająca błąd badania i dozowania) wynosi 0,3%. Różnicę w ilości asfaltu poniżej 0,1% należy uznać za nieistotną.

Technologia która w dużym stopniu bazuje na istniejących rozwiązaniach spotka się na pewno z większą przychylnością projektantów i wykonawców. Niewielkie nakłady finansowe w celu wprowadzenia omawianej technologii, a także oszczędności wynikające z niższej temperatury produkcji, przekładają się na wyższą wydajność ekonomiczną. Zastosowanie zeolitów w produkcji mma to również zmniejszenie emisji wycieków, aerozoli, dwutlenku węgla. Dzięki czemu chroni się nie tylko środowisko, ale również podnosi się bezpieczeństwo i komfort ludzi pracujących przy produkcji i w budowywaniu MMA.

Literatura

- [1] PN-EN 13108-1 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 1; Beton asfaltowy*.
- [2] Hurley, G. and Prowell, B. *Evaluation of potential processes for use in warm asphalt mixes*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists 75 (2006) 41-85.
- [3] Prowell B. *Warm mix asphalt – The international technology scanning program*. Summary report. NCHRP 2007.
- [4] Sybilski D., Horodecka R., Bańkowski W., Wróbel A., Mirski K. *Zastosowanie asfaltu spienionego w technologii recyklingu nawierzchni na zimno*. Projekt na zlecenie GDDKiA, 2004.
- [5] Aspha-min, <http://www.aspha-min.com/98.html>.
- [6] D'Angelo J., Corrigan M., Harman T., Jones W., Newcomb D., Prowell B. *Warm-Mix Asphalt: European Practice*. Report No. FHWA-PL-08-007, 2008.
- [7] Barthel, W., Marchand, J., Von Devivere, M. *Warm mix asphalt by adding a synthetic zeolite*. Proceedings of the Third Eurasphalt and Eurobitume Conference, Book 1, Foundation Eurasphalt, Breukelen, The Netherlands, 2004, 1241-1249.
- [8] Judycki J., Stienss M. *Wstępne zalecenia dotyczące projektowania, produkcji i w budowywania mieszank mineralno asfaltowych wałowanych o obniżonej temperaturze otaczania i w budowania (WMA) z dodatkami obniżającymi temperaturę produkcji*. 2012.
- [9] Judycki J. *Badania mieszank mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze otaczania*. Projekt badawczy dla GDDKiA, 2011.

-
- [10] PN-EN 993-1 *Badania geometrycznych właściwości kruszyw Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewania.*
- [11] PN-EN 13043 *Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu.*
- [12] Błażejowski K., Styk S. *Technologia warstw asfaltowych. Nawierzchnie drogowe.* Poradnik, WKŁ, 2004.

Designing warm – mix asphalt with the zeolite addition

Agnieszka Woszuk

*Chair of Roads and Bridges, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology e-mail: a.woszuk @ pollub.pl*

Abstract: The purpose of this paper is to discuss the design of warm-mix asphalt. One way to reduce the temperature of bituminous mix is the use of zeolite. The article shows the lack of differences in designing WMA recipe with zeolite addition compared to the HMA.

Keywords: zeolite, warm mix asphalt, mix asphalt design.

Zabezpieczanie konstrukcji budynków przed skutkami wystąpienia obciążeń wyjątkowych

**Anna Dąbek, Natalia Dyś, Katarzyna Wyszyńska,
Ilona Zaniuk, Jerzy Szaferafin**

*Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: j.szaferafin@pollub.pl*

Streszczenie: Zgodnie z wymaganiami normowymi, obiekty budowlane powinny być projektowane z uwzględnieniem ich zabezpieczenia przed skutkami obciążeń wyjątkowych, takich jak np. wybuch gazu czy uderzenie samochodem. Istniejące przepisy są w dużej mierze niejednoznaczne i dość enigmatyczne, brak jest również opracowań literaturowych szerzej opisujących to zagadnienie. W artykule przedstawiono podstawowe zasady projektowania budynków żelbetowych z uwzględnieniem zapisów normy PN-EN 1991-1-7:2008. Zaprezentowano wyniki obliczeń i ich analizę dla przykładowego stropu płaskiego, którego konstrukcja spełnia wymogi zabezpieczenia przed wystąpieniem zjawiska katastrofy postępującej.

Słowa kluczowe: konstrukcje żelbetowe, strop płaski, obciążenia wyjątkowe.

1. Wstęp

Bombowe zamachy terrorystyczne, wybuchy gazu w budynkach czy uderzenia w elementy konstrukcyjne budynków podczas wypadków drogowych i lotniczych przyczyniły się do śmierci wielu ludzi w wyniku katastrof budowlanych. Wzrost świadomości społecznej w kwestii bezpieczeństwa wymógł konieczność projektowania obiektów budowlanych na obciążenia wyjątkowe, tak by ograniczyć skutki ich działania, zakładając ewentualnie możliwość uszkodzenia jedynie stosunkowo niewielkiej powierzchni obiektu a wykluczając zniszczenie całego budynku.

Podstawowym dokumentem jest norma PN-EN 1991-1-7:2008 [9], w której zawarto zasady klasyfikacji budynków pod względem bezpieczeństwa oraz podstawowe reguły zabezpieczenia budynków przed działaniem obciążeń wyjątkowych. Obecnie trwają prace nad opracowaniem metod minimalizujących skutki wystąpienia obciążeń wyjątkowych, prowadzone także i w Polsce. W dalszym ciągu jednak dostępne dane literaturowe są mało wyczerpujące. W niniejszym artykule przedstawiono ogólne zasady projektowania konstrukcji budynków z uwzględnieniem zaleceń normy [9] oraz efekty uwzględnienia obciążeń wyjątkowych dla przykładowego żelbetowego stropu płaskiego.

2. Postępujące zawalenie

Przywołane we wstępie zdarzenia, oddziaływujące początkowo na jeden z elementów konstrukcyjnych budynku, niejednokrotnie kończyły się katastrofą całego obiektu, gdyż rozpoczynały zjawisko postępującego zawalenia. Zjawisko to

jest najgroźniejszym skutkiem zadziałania na konstrukcję obciążeń wyjątkowych gdyż początkowe uszkodzenie niewielkiego obszaru konstrukcji może przyczynić się do zapoczątkowania reakcji łańcuchowej, która przekazując nieprzewidziane w obliczeniach konstrukcyjnych obciążenia uszkadza kolejne elementy konstrukcyjne obiektu.

Główne czynniki ryzyka, mogące przyczynić się do postępującego zawalenia budowli betonowych, zostały zestawione w tabeli 1.

Tabela 1. Czynniki ryzyka wpływające na postępujące zawalenie konstrukcji żelbetowych i sprężonych, za Kobiela [1]

Rodzaj ustroju lub elementu nośnego	Czynniki ryzyka
Rama żelbetowa -zaprojektowana dla 1 strefy sejsmicznej wg [6] -zaprojektowana dla 4 strefy sejsmicznej wg [6]	słupy mogą mieć za małą nośność na ścinanie słupy mogą ulec rozkruszeniu w połowie wysokości
Ściana żelbetowa przejmująca obciążenia poziome	powiązanie ściany ze stropem
Strop płytowy żelbetowy	brak sztywności/ciągłości węzła wymaganego w ustrojach szkieletowych, przebiecie przez ścinanie w obrębie słupów
Rygle/podciąg strunobetonowe i kablobetonowe oparte na stalowych lub żelbetowych słupach	brak ciągłego połączenia elementów
Ściana nośna: -zbrojona -niezbrojona -o znacznej grubości	braki w ciągliwości może ulec rozkruszeniu lub rozdrobnieniu niepewność co do dopuszczalnej strefy uszkodzenia

Zapobieganie zjawisku postępującego zawalenia się konstrukcji, możliwe jest dzięki wytworzeniu się wtórnego ustroju nośnego. Podczas projektowania zaleca się przyjąć jedną z metod projektowych: bezpośrednią lub pośrednią, które dokładniej opisane zostaną w podpunkcie 4 niniejszego opracowania.

Przykładem zjawiska postępującego zawalenia jest np. katastrofa budynku mieszkalnego w Ronan Point w Anglii (Rys. 1a), w którym w mieszkaniu na 18 piętrze 23-kondygnacyjnego prefabrykowanego, żelbetowego budynku wybuchł gaz. Eksplozja wyrzuciła na zewnątrz fragment zewnętrznej ściany nośnej, w wyniku czego 5 powyżej położonych pięter uległo zawaleniu, niszcząc dolne kondygnacje. W przypadku głośniejszej w Polsce katastrofy budowlanej hali w Chorzowie z 2006r. (rys. 1b), wystąpił efekt postępującego zawalenia konstrukcji w wyniku przekroczenia nośności tylko w jednym z elementów przekrycia dachowego. W tym przypadku czynnikiem sprawczym nie były wprawdzie obciążenia wyjątkowe, jednak o rozmiarach katastrofy zadecydował brak możliwości wytworzenia się ustroju wtórnego w konstrukcji, zdolnego do częściowego przejęcia funkcji uszkodzonych elementów.

Skutki tych katastrof są niewspółmierne do kosztów, które należy ponieść w celu odpowiedniego zaprojektowania i zabezpieczenia konstrukcji na działanie obciążeń wyjątkowych, dlatego należy dążyć do udoskonalania metod projektowania w sferze takich oddziaływań, a przede wszystkim odpowiednio je wykorzystywać przy projektowaniu obiektów.



Rys. 1. Skutki katastrof postępujących: a) budynek mieszkalny w Ronan Point (fot. wyk. przez Derek Voller: www.geograph.org.uk), b) hala Międzynarodowych Targów Katowickich w Chorzowie [3].

W dalszej części artykułu przedstawiono metody uwzględniania obciążeń wyjątkowych w zależności od rodzaju zdarzenia wywołującego.

3. Metody zabezpieczania obiektów

W niniejszym opracowaniu skupiono się na zagadnieniu konstruowania ustrojów szkieletowych. Takie konstrukcje narażone są na uszkodzenie w następstwie utraty jednego z elementów składowych tzn. belki, słupa lub płyty stropowej. Przyступując do projektowania konstrukcji ramowych w celu zabezpieczenia ich przed działaniem obciążeń wyjątkowych, *Kobielak i Tatko* [1, 2] oraz *Starosolski* [5] proponują uwzględniać następujące wymagania i warunki:

- odpowiednia wytrzymałość betonu i stali, aby sprostać wymaganiom ze względu na obciążenie wyjątkowe,
- wystarczająca sztywność do ograniczenia międzypiętrowego przechylenia,
- niezbędna ciągłość węzłów rygiel-słup do przejęcia obrotów, którym są poddane,
- możliwość wytworzenia plastycznych przegubów, w wyniku jednoczesnego działania obciążenia grawitacyjnego i obciążenia spowodowanego obciążeniem wyjątkowym,
- wystąpienie w pierwszej kolejności przegubów plastycznych w ryglach, przed pojawieniem się ich w słupach, w konstrukcji zaprojektowanej według koncepcji mocne słupy/słabe rygle,
- konieczność przeanalizowania zmiany charakteru pracy elementów składowych konstrukcji wokół elementu usuniętego, w sytuacji wystąpienia bardzo dużych odkształceń.

Jako podstawowe środki zabezpieczeń konstrukcji przed skutkami wystąpienia obciążeń wyjątkowych zalecane jest:

- stosowanie stężeń poziomych na każdej kondygnacji w poziomie stropu: obwodowych oraz wewnętrznych w dwóch prostopadłych kierunkach, w sposób zapewniający bezpieczne związanie słupów i ścian z konstrukcją budynku. Mają one uniemożliwić oderwanie i przemieszczenie się pionowych elementów nośnych. W każdej z norm [9], [10] czy [7] wymagane jest projektowanie stężeń na przeniesienie nieco innej siły, przy czym są one co do wartości zbliżone. Jednakże, jak słusznie zauważono w [5], żadna z nich nie precyzuje ściśle, gdzie zaprojektować należy zbrojenie stężające;
- zabezpieczenie strefy przypodporowej poprzez uciąglenie zbrojenia nad słupem, tak by w momencie pojawienia się obciążeń wyjątkowych mogło się ono jedynie urwać a nie wyrwać. Zgodnie z normą [10] bez względu na sposób obliczenia zbrojenia w płycie wymagane jest zastosowanie minimum dwóch prętów dolnych przeprowadzonych w sposób ciągły przez słup na każdym kierunku;
- prawidłowe zabezpieczenie strefy przeszłowej i podporowej w ustrojach płytowo – słupowych. Zgodnie z sugestiami przedstawionymi przez *Starsolskiego* [5], w sytuacji zastosowania jako rodzaj zabezpieczenia układów ciągnowych, szczególną uwagę należy skierować na sposób układania zbrojenia. W strefie przeszłowej na samym dole powinno się znaleźć zbrojenie przechodzące ponad słupami, a dopiero powyżej pozostałe zbrojenie dolne. W tym przypadku aby nie zwiększać niepotrzebnie grubości otuliny należy odgiąć zbrojenie jednej warstwy. Ponieważ nie jest to szczególnie łatwe rozwiązanie, częściej stosuje się zbrojenie krzyżowe w dwóch warstwach, co z kolei wiąże się z ryzykiem utraty nośności zbrojenia w jednym kierunku w sytuacji odprysnięcia otuliny. Z uwagi na taką możliwość zaleca się takie projektowanie zbrojenia, by uwzględnić przekaz obciążeń wyłącznie na ciągną jednego kierunku.

4. Zasady projektowania budynków ze względu na postępujące zawalenie

Do obciążeń wyjątkowych zaliczamy między innymi uderzenia pojazdów, wybuchy wewnętrzne gazu, błędy ludzkie czy też najbardziej niebezpieczne bomby zamachy terrorystyczne. Każde z tych obciążeń jest obciążeniem dynamicznym, dlatego też w każdym przypadku należy założyć nieliniową odpowiedź konstrukcji. Zniszczenia miejscowe są dopuszczalne jedynie pod warunkiem, że nie zagrażają one stateczności oraz nośności całej konstrukcji i istnieje możliwość podjęcia akcji ratowniczej. W rozumieniu działań ratowniczych dla konstrukcji wspomniana norma przytacza bezpieczną ewakuację z budynku i jego otoczenia.

Strategie, które dotyczą wyjątkowych sytuacji obliczeniowych można opierać na klasach konsekwencji zniszczenia wg normy [9], w której wyróżnia się:

Klasę konsekwencji CC1 (niskie konsekwencje zniszczenia) – w przypadku tej klasy nie są konieczne żadne szczególne rozważania co do działania obciążeń wyjątkowych, muszą być jedynie spełnione ogólne zasady stateczności oraz warunki wymienione w normach konstrukcyjnych. Zaliczane są tu przede wszystkim domy prywatne nieprzekraczające 4 kondygnacji oraz budynki rolne.

Klasę konsekwencji CC2 (średnie konsekwencje zniszczenia) – rozpatruje się określone okoliczności dla konkretnej konstrukcji i w zależności od nich przyjmuje się uproszczoną analizę na podstawie modeli oddziaływania równoważnego lub stosuje projektowanie normatywne i reguły szczegółowe. W przypadku klasy CC2 rozróżnia się dwie grupy:

- CC2a - grupa niższego ryzyka (np. hotele, biura, budynki mieszkalne nieprzekraczające 4 kondygnacji, jednokondygnacyjne budynki oświatowe, budynki przemysłowe do 3 kondygnacji itp)
- CC2b - grupa wyższego ryzyka (jw. ale w zakresie 4-15 kondygnacji, szpitale, część budynków publicznych, parkingi do 6 kondygnacji itp)

Klasę konsekwencji CC3 (wysokie konsekwencje zniszczenia) – rozpatrywany przypadek badany jest w zakresie poziomu niezawodności i potrzeby przeprowadzania analiz konstrukcyjnych. Może zaistnieć konieczność przeprowadzenia analizy ryzyka, jak również wykorzystanie bardziej szczegółowych i udoskonalonych metod jak analiza dynamiczna czy też interakcja między obciążeniem a konstrukcją.

Wyróżnia się dwa rodzaje metod projektowania: metody pośrednie i bezpośrednie. Metoda pośrednia to metoda więzi łączących, natomiast do metod bezpośrednich zaliczamy metodę ścieżki zastępczej i elementu kluczowego.

Zasady tych metod oparte są na przesztynieniu konstrukcyjnym, zapewnieniu minimalnego poziomu ciągłości czy też ciągłości odpowiednich elementów nośnych w konstrukcji. Najczęściej stosowaną jest metoda więzi łączących. Przytaczana jest ona między innymi w amerykańskich wytycznych [6]. Wytyczne dla budynków żelbetowych oparte są na normie brytyjskiej, wprowadzono je także do Eurokodów. Metoda ta polega na wytworzeniu w ustroju nośnym budynku więzi, które łączą poszczególne jego elementy nośne. Taki ustrój możemy osiągnąć poprzez zapewnienie ciągłości zbrojenia oraz ciągłości konstrukcji. Głównym zadaniem tych więzi jest ułatwienie redystrybucji sił wewnętrznych w momencie uszkodzenia jednego z elementów nośnych konkretnego budynku. Jako łączone elementy wykorzystywane są typowe rozwiązania konstrukcyjne, projektowane według standardowych procedur. Prawidłowe zastosowanie powyższej metody sprawia, że w efekcie zniszczenia jednego z elementów konstrukcji, powstaje alternatywny ustrój nośny, co zapewnia budynkowi ochronę przed postępującym zawaleniem.

Metoda ścieżki zastępczej jest dopuszczalna przez normę [9] jako alternatywna do metody więzi łączących. Istotą metody jest poddanie analizie zachowanie się budynku w konsekwencji usunięcia jednego z głównych elementów nośnych. Analiza jest przeprowadzana dla różnych lokalizacji wybranego elementu. Lokalizacje te w [6] zaleca rozszerzać na każdą kondygnację, natomiast norma [9] nakazuje przeprowadzenie takich analiz dla każdej kondygnacji i dla każdego słupa, każdej belki podpierającej słup lub dla każdego fragmentu ściany nośnej budynku.

W metodzie elementu kluczowego typowany jest element nośny, którego zniszczenie może spowodować przekroczenie dopuszczalnego zakresu zniszczeń. Element taki zgodnie z normą [9] musi być zaprojektowany na przeniesienie obciążenia 34kN/m^2 działające na niego w dowolnym kierunku.

W obliczeniach przyjmuje się obciążenia wynikające z kombinacji oddziaływań dla wyjątkowych sytuacji obliczeniowych:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ lub } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

Wartości współczynników $\psi_{1,1}$ i $\psi_{2,1}$ dobiera się na podstawie normowej tablicy A1.1 [8], natomiast wyboru pomiędzy nimi dokonuje się odpowiednio do miarodajnej sytuacji obliczeniowej.

Przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności w sytuacji wyjątkowej, można stosować podane w Załączniku Krajowym do normy [10] zmniejszone wartości współczynników materiałowych dla betonu ($\gamma_c = 1,2$) i stali ($\gamma_s = 1,0$).

5. Przykład obliczeniowy

Konsekwencje wymogu uwzględniania w projektowaniu obciążeń wyjątkowych prześledzono na przykładzie żelbetowego budynku o konstrukcji szkieletowej ze stropami płaskimi, którego schemat konstrukcyjny przedstawiono na rys. 2. Założono klasę konsekwencji CC2b typową dla dużej grupy obiektów, takich jak większość budynków oświatowych, szpitali, biurowców czy parkingów wielopoziomowych. Konstrukcja powinna zostać tak zaprojektowana, aby uszkodzenie dowolnego ze słupów na kondygnacji nie spowodowało zawalenia się stropu o powierzchni większej niż dopuszczalny zasięg uszkodzenia miejscowego, który w normie [9] został określony jako 15% powierzchni podłogi. W analizowanym przykładzie oznacza to powierzchnię ok. 50m², odpowiadającą wielkości dwóch pól płyty łącznie.

Do obliczeń stropu przyjęto:

- obciążenie stałe (łącznie z ciężarem płyty) $g_k = 6,5 \text{ kN/m}^2$,
- obciążenie zmienne $q_k = 4,25 \text{ kN/m}^2$.

W sytuacji eksploatacyjnej obciążenie obliczeniowe po zastosowaniu bardziej niekorzystnej kombinacji obciążeń (zalecanej w [8]) wyniosło

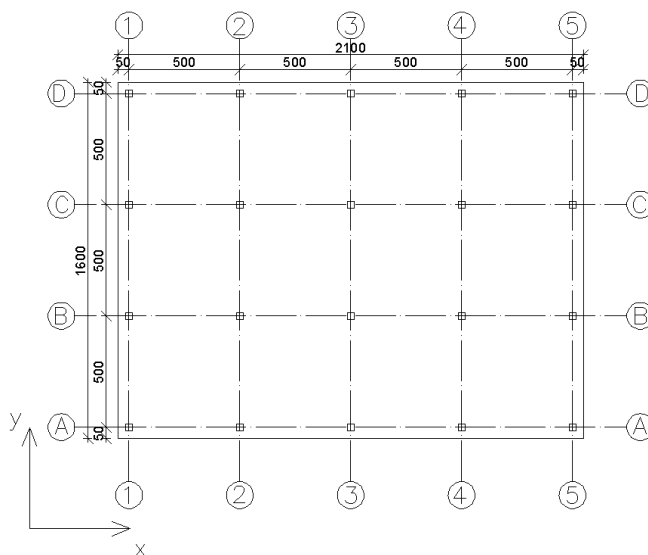
$$p_{eks} = g_k \cdot \gamma_G \cdot \xi + q_k \cdot \gamma_Q = 13,9 \text{ kN/m}^2, \quad (2)$$

natomiast w sytuacji wyjątkowej płytę obliczano pod obciążeniem

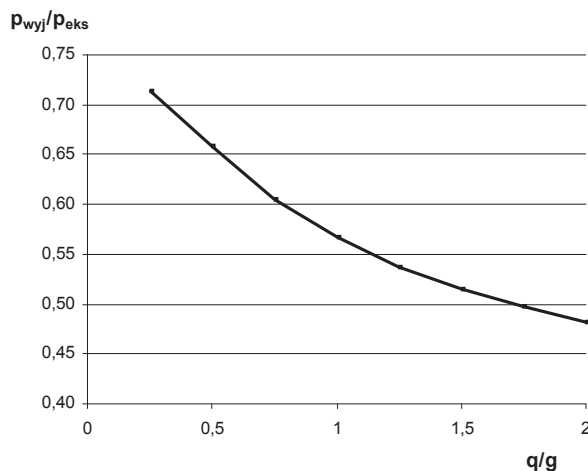
$$p_{wyj} = g_k + q_k \cdot \psi_1 = 8,7 \text{ kN/m}^2. \quad (3)$$

Warto zauważyć, że zgodnie z powyższymi kombinacjami, obciążenie przyjmowane do wymiarowania w sytuacji poawaryjnej jest zawsze mniejsze niż w sytuacji eksploatacyjnej, przy czym różnica zależy od poziomu obciążeń zmiennych w stosunku do stałych, jak przedstawiono na z rys. 3.

Obliczenia statyczne przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego. W wyniku usunięcia słupa nośnego następuje zmiana rozkładu sił wewnętrznych w płycie, charakteryzująca się przede wszystkim powstaniem rozciągania dolnych włókien w płycie nad usuwanym słupem oraz zwiększeniem momentów zginających ponad słupami znajdującymi się w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca awarii, co zilustrowano na rys. 5 i 6. Wzrost wartości momentów nadpodporowych okazuje się stosunkowo niewielki, na co wpływ ma mniejsza wartość obciążenia przyjmowana w sytuacji wyjątkowej.



Rys. 2. Schemat konstrukcyjny stropu płaskiego w analizowanym budynku.

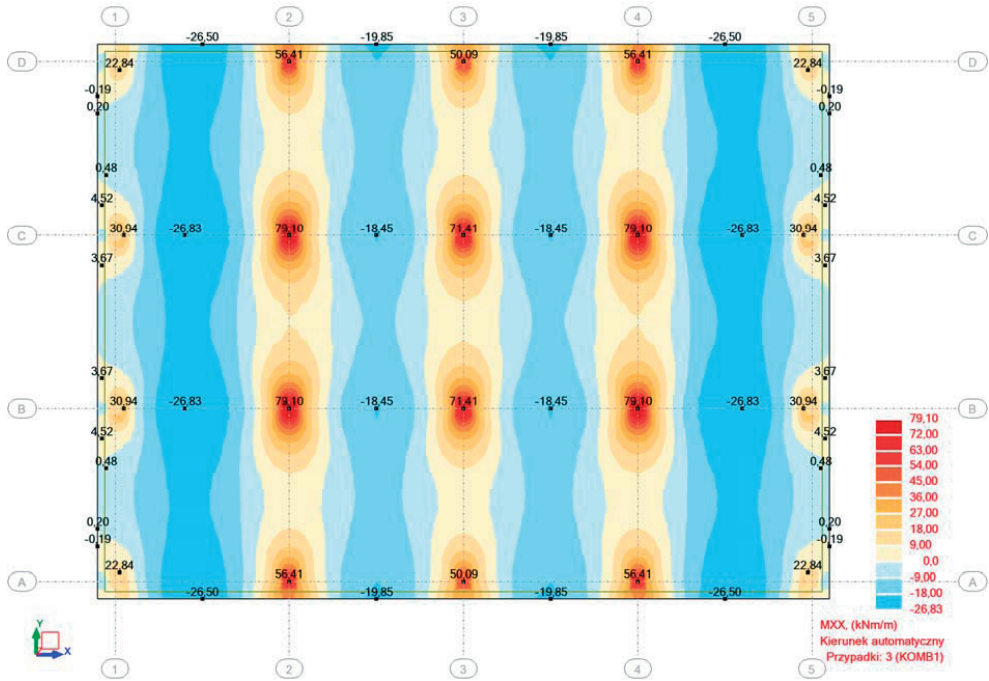


Rys. 3. Relacja obciążeń obliczeniowych przyjmowanych w sytuacji eksploatacyjnej i wyjątkowej.

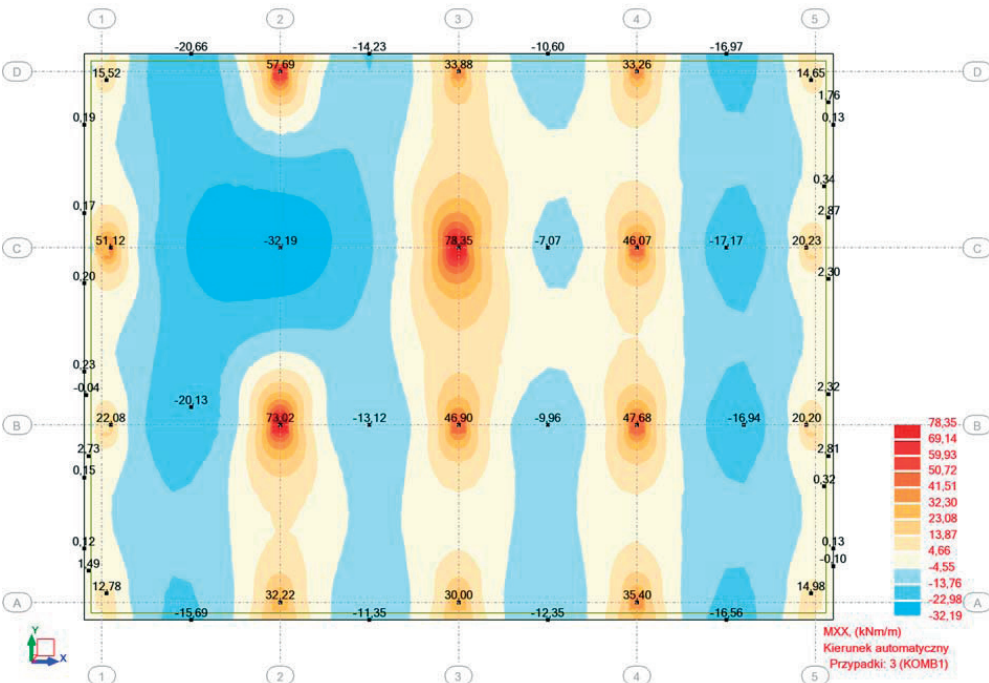
Rozważając pracę konstrukcji z uwzględnieniem obciążeń wyjątkowych należy wziąć pod uwagę możliwość awarii dowolnego ze słupów, co w efekcie wiąże się z koniecznością wielokrotnego powtarzania obliczeń, aby uzyskać najbardziej niekorzystne wartości sił wewnętrznych we wszystkich punktach płyty stropowej.

Przy założeniu niedopuszczenia do zawalenia się jakiegokolwiek fragmentu stropu, można przyjąć koncepcję odpowiedniego wzmocnienia płyty w miejscach, gdzie nastąpił wzrost wartości sił wewnętrznych. Biorąc pod uwagę rys. 4 i 5, sposób ten wiązać się będzie z częściowym dozbrojeniem pasm słupowych górą oraz uciążleniem i ewentualnie również zwiększeniem ilości zbrojenia dolnego w tych strefach.

W tab. 2 zamieszczono przykładowe wyniki obliczeń ilości stali zbrojeniowej niezbędnej w sytuacji eksploatacyjnej oraz wyjątkowej, w strefie jednego z centralnych słupów analizowanego przypadku.



Rys. 4. Sytuacja eksploatacyjna. Mapa momentów zginających M_x



Rys. 5. Sytuacja wyjątkowa. Mapa momentów zginających M_x po usunięciu słupa C2

Tabela 2. Wyniki obliczeń ilości zbrojenia przy słupach B3 i C3

strefa (szerokość)	zbrojenie dla kie- runku x	schemat	sytuacja eks-	sytuacja
			ploacyjna $A_{s,req}$	wyjatkowa $A_{s,req}$
			[cm ² /m]	[cm ² /m]
a (1,25m)	dolne		2,17	1,91
b (1,25m)	dolne		1,8	1,27
a_1 (0,625m)	górne		8,91	8,83
	dolne		-	5,74
a_2 (0,625m)	górne		4,32	4,29
	dolne		-	2,8
b (1,25m)	górne		2,13	2,12
	dolne		-	1,4

Jak wynika z zestawionych danych obliczeniowych, w strefie słupów centralnych konieczne jest umieszczenie dodatkowego zbrojenia dolnego w paśmie słupowym. Zakładając, że zbrojenie dolne ze strefy „ a ” w całości zostanie doprowadzone do słupa, należy umieścić w strefach „ a_1 ” i „ a_2 ” dodatkowe pręty o łącznym przekroju 2,36 cm²/m. W przybliżeniu oznacza to dwukrotne zagęszczenie tego zbrojenia (w obu kierunkach). Ponadto, jak wynika z porównania rys. 4 i 5, dozbrojenia górą przekroju wymagają również słupy skrajne.

6. Wnioski

Wyniki obliczeń statycznych przykładowego stropu płaskiego wskazują na fakt, że wzrost wartości sił wewnętrznych w sytuacji wyjątkowej obejmuje jedynie rejony płyty bezpośrednio sąsiadujące z założonym miejscem awarii, a więc zasięg miejscowych zniszczeń nie powinien przekraczać wielkości dopuszczalnej, ustalonej w normie [8]. Jednak w analizowanym przypadku można uzyskać pełniejszy sposób zabezpieczenia stropu, wiążący się głównie z dozbrojeniem dołem stref podparcia płyty na słupach, co oznacza jednakże wyższy koszt wykonania konstrukcji. Decyzja o stopniu zabezpieczenia konstrukcji budynku przed skutkami wystąpienia obciążeń wyjątkowych wynikać więc powinna nie tylko z konieczności spełnienia wymogów normowych, ale również z indywidualnych ustaleń pomiędzy projektantem a inwestorem. W przypadku niektórych inwestycji, takich jak np. budynki oświatowe, społeczne skutki (dopuszczalnego normowo) zawalenia się fragmentu stropu mogłyby okazać się wyższe, niż to wynikałoby z przyjęcia przewidzianej normowej klasy konsekwencji.

Literatura

- [1] Kobielał S. *Współczesne betonowe budowle ochronne*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2005.
- [2] Kobielał S., Tatko R. *Metody projektowania budynków żelbetowych o zwiększonej odporności na obciążenia wyjątkowe*. Czasopismo Techniczne B Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej nr 2-B/2007.

- [3] Mendera Z. *Analiza przyczyn katastrofy hali wystawowej w Katowicach*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryje budowlane”, Szczecin Międzyzdroje, 2007.
- [4] Moore D.B. *The UK and European Regulations for Accidental Actions*. 2002.
- [5] Starosolski W. *Zabezpieczenie ustrojów żelbetowych przed obciążeniami wyjątkowymi*. Materiały seminaryjne, 2012.
- [6] Unified Facilities Criteria (UFC): *Design of buildings to Resist Progressive Collapse*. Department of Defense USA, UFC 4-023-03, 25 January 2005.
- [7] PN-B-03264:2002. *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [8] PN-EN 1990. *Podstawy projektowania konstrukcji*.
- [9] PN-EN 1991-1-7. *Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-7: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wyjątkowe*.
- [10] PN-EN 1992-1-1. *Eurokod 2 Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.

Protection of constructions of the buildings against accidental actions

**Anna Dąbek, Natalia Dyś, Katarzyna Wyszyńska,
Ilona Zaniuk, Jerzy Szerafin**

*Department of Building Structures, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: j.szerafin@pollub.pl*

Abstract: In accordance with the requirements of construction standards, building structures should be designed taking into account their protection against accidental actions, such as gas explosions or car accidents. The current standards are largely inconclusive and quite enigmatic, there is also a deficiency in literature studies describing the issue. The article presents the basic procedures of design of the reinforced concrete buildings, including the requirements of the PN-EN 1991-1-7:2008 and the results of the calculations and analysis for a sample flat slab, whose structure meets the requirements of protection against the phenomenon of progressive collapse.

Keywords: reinforced concrete structures, flat slab, accidental actions.

Optymalna wysokość wolnopodpartej żelbetowej belki prefabrykowanej o przekroju prostokątnym

Szymon Sobczyk

*Institut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska,
e-mail: szymek.sobczyk@gmail.com*

Streszczenie: Praca dotyczy optymalnego kształtowania wolnopodpartych prefabrykowanych belek żelbetowych. W artykule skupiono się na optymalnym doborze wysokości przekroju poprzecznego przy ustalonej długości, szerokości, stopniu zbrojenia elementu oraz przy określonych obciążeniach zewnętrznych. Dzięki zastosowaniu metody gradientowo-iteracyjnej możliwe było przeprowadzenie wielokrotnych obliczeń optymalizacyjnych. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano praktyczne zalecenia doboru wysokości belek żelbetowych.

Słowa kluczowe: belka żelbetowa, belka prefabrykowana, optymalizacja konstrukcji, zalecenia kształtowania

1. Wprowadzenie

Przy projektowaniu współczesnych konstrukcji prawie zawsze za kryterium optymalności przyjmuje się minimalizację kosztów. Konstrukcja optymalnie zaprojektowana to taka, która przy możliwie minimalnym koszcie wykonania spełnia wszystkie warunki stanów granicznych nośności i użyteczności.

Ze względu na powszechność i skalę stosowania, przy projektowaniu żelbetowych belek należy zwrócić szczególną uwagę na dobór wymiarów przekroju poprzecznego oraz ilości zastosowanego zbrojenia. Projektując ekonomicznie, przed przystąpieniem do obliczeń, należy szczegółowo przeanalizować koszty związane z wykonaniem danego elementu w konkretnej inwestycji.

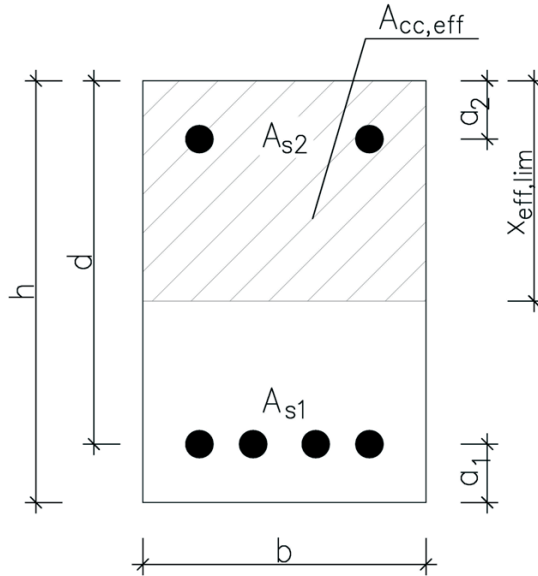
Nie w każdym przypadku element optymalny będzie cechował się minimalnym zużyciem stali zbrojeniowej. Cena elementu prefabrykowanego zależy od licznych czynników, m.in.: aktualnych cen materiałów, kosztów transportu i montażu, możliwości linii technologicznej. Każdy producent jest w stanie określić optymalny pod względem ekonomicznym stopień zbrojenia belki, który będzie minimalizował wypadkową wszystkich kosztów związanych z wyprodukowaniem, transportem i montażem elementu.

W pracy skupiono się na optymalnym doborze wysokości belki przy założonym stopniu zbrojenia oraz ustalonych warunkach obciążeniowych.

2. Algorytm obliczeniowy

2.1. Założenia obliczeniowe

Analizie podlega jednokierunkowo zginana belka żelbetowa o przekroju prostokątnym. Na rys. 1 pokazano oznaczenia wymiarów przekroju poprzecznego.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny.

2.2. Stan graniczny nośności

2.2.1. Zginanie

W pierwszej kolejności należy wyznaczyć zasięg efektywnej wysokości strefy ściskanej ξ_{eff} w betonie.

$$\xi_{eff} = \frac{\lambda(f_{ck})}{0,8} \frac{A_{s1}f_{yd} - A_{s2}f_{yd}}{f_{cd}bh} \quad (1)$$

Jeżeli spełniony jest warunek $\xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim}$ to zbrojenie A_{s1} jest w pełni wykorzystane. Natomiast jeżeli $\xi_{eff} > \xi_{eff,lim}$ to zbrojenie A_{s1} nie jest w pełni wykorzystane. Nośność elementu zginanego opisuje funkcja (2):

$$M_{Rd} = \begin{cases} \text{jeżeli: } \xi_{eff} \leq \xi_{eff,lim} \\ \left\{ \begin{array}{l} M_{Rd} = A_{s1}(d - a_2)f_{yd} \quad \text{jeżeli: } \xi_{eff} \leq 2\frac{a_2}{d} \\ M_{Rd} = \xi_{eff}(1 - 0,5\xi_{eff})d^2bf_{cd} + A_{s2}(d - a_2)f_{yd} \end{array} \right. \\ \text{w przeciwnym przypadku:} \\ \left\{ \begin{array}{l} M_{Rd} = \xi_{eff,lim}(1 - 0,5\xi_{eff,lim})d^2bf_{cd} \end{array} \right. \end{cases} \quad (2)$$

gdzie (oznaczenia we wzorach 1 i 2): a_2 , b , d – wymiary geometryczne określone na rysunku nr 1, f_{cd} – obliczeniowa wytrzymałość betonu na ściskanie, f_{ck} – charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie, f_{yd} – obliczeniowa granica plastyczności stali zbrojeniowej, $\lambda(f_{ck})$ – współczynnik określający efektywną wysokość strefy ściskanej (opisany formułą (3)).

$$\lambda(f_{ck}) = 0,8 - \begin{cases} 0 & \text{jeżeli: } f_{ck} \leq 50MPa \\ \frac{f_{ck} - 50MPa}{400MPa} & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (3)$$

2.2.2. Ścinanie

Ponieważ analizowany w pracy problem dotyczy optymalnego doboru wysokości przekroju poprzecznego przy założonym stopniu zbrojenia podłużnego nie wymiarowano zbrojenia poprzecznego.

Sprawdzeniu podlega tylko nośność przekroju ze względu na ściskanie betonu powstające przy ścinaniu w elementach zginanych (funkcje 4 i 5). Warunek (5) musi zostać spełniony, gdyż w przeciwnym przypadku doszłoby do zmiążdżenia betonu.

$$\nu = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250MPa} \right) \quad (4)$$

$$V_{Ed} = 0,5bd \nu f_{cd} \quad (5)$$

2.3. Stan graniczny użytkowania

2.3.1. Ugięcia

Graniczny moment rysujący określa równanie (6).

$$M_{cr} = f_{ctm} b \frac{h^2}{6} \quad (6)$$

Sztywność elementu żelbetowego w funkcji granicznego momentu rysującego przedstawia funkcja (7).

$$B_{\infty} = \begin{cases} \text{jeżeli: } M_k > M_{cr} \\ \left\{ \frac{E_{c,eff} I_{II}}{1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{M_{cr}}{M_k} \right)^2 \left(1 - \frac{I_{II}}{I_I} \right)} \right. \\ \text{w przeciwnym przypadku:} \\ \left. \left\{ E_{c,eff} I_I \right. \right. \end{cases} \quad (7)$$

gdzie: β_1 – współczynnik zależny od przyczepności prętów, β_2 – współczynnik zależny od czasu działania i powtarzalności obciążenia, $E_{c,eff}$ – efektywny moduł sprężystości betonu, I_I – sprowadzony moment bezwładności w fazie I (przekroju niezarysowany), I_{II} – sprowadzony moment bezwładności w fazie II (przekroju zarysowany), M_k – charakterystyczny moment zginający.

Ugięcie elementu żelbetowego wyznacza się za pomocą funkcji (8).

$$a = \alpha_k \frac{M_k I_{eff}^2}{B_\infty} \quad (8)$$

2.3.2. Szerokość rozwarcia rys

Szerokość rozwarcia rys ukośnych przy podporach ściśle zależy od przyjętego rozstawu strzemion. Ponieważ zadanie optymalizacyjne nie uwzględnia wymiarowania zbrojenia poprzecznego, zostanie pominięte sprawdzenie szerokości rozwarcia rys ukośnych.

Szerokość rozwarcia rys prostopadłych wyznacza się za pomocą równania (9):

$$w_k = \beta s_{rm} \frac{\sigma_s}{E_s} \left(1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{M_{cr}}{M_k} \right)^2 \right) \quad (9)$$

gdzie: β – współczynnik wyrażający stosunek obliczeniowej szerokości rysy do szerokości średniej, σ_s – naprężenie w zbrojeniu rozciągającym, obliczonym w przekroju przez rysę, E_s – moduł sprężystości stali zbrojeniowej, s_{rm} – średni rozstaw rys wyznaczony zgodnie z równaniem (10):

$$s_{rm} = 50mm + 0,25k_1 k_2 \frac{\varphi}{\rho_r} \quad (10)$$

gdzie: φ – średnica pręta [mm], ρ_r – efektywny stopień zbrojenia, k_1 – współczynnik zależny od przyczepności prętów, k_2 – współczynnik zależny od rozkładu odkształceń w strefie rozciąganej.

3. Optymalizacja

3.1. Opis metody optymalizacyjnej

Zastosowana w obliczeniach metoda stanowi połączenie metody gradientu prostego oraz iteracyjnego rozwiązania sformułowanego problemu optymalizacyjnego. W ogólności zastosowanie metody można opisać w 6 krokach:

1. Matematyczny zapis funkcji opisujących rozważane zadanie optymalizacyjne.
2. Ustalenie funkcji celu oraz zmiennych decyzyjnych.
3. Określenie ograniczeń optymalizacyjnych.
4. Ustalenie punktu startowego optymalizacji oraz kierunku poszukiwań rozwiązania.
5. Opis funkcji przyrostowej.
6. Iteracyjne znalezienie rozwiązania spełniającego zadane kryteria optymalizacyjne.

3.2. Założenia optymalizacyjne

Za funkcję celu w zadaniu optymalizacyjnym przyjęto objętość elementu.

$$f = \int_0^L A_c(x) dx \tag{11}$$

gdzie: $A_c(x)$ – pole przekroju poprzecznego w funkcji długości elementu L .

Optymalizacja polega na doborze wysokości (stałej wzdłuż osi belki), która minimalizuje ustaloną funkcję celu (11) oraz spełnia wszystkie przyjęte ograniczenia.

Obliczenia przeprowadzane są dla ustalonych danych:

- szerokości i długości belki,
- obciążenia,
- stopnia zbrojenia.

Za punkt startowy optymalizacji przyjęto minimalną wysokość przekroju poprzecznego uwarunkowaną narzuconymi ograniczeniami geometrycznymi. Przyjęto skokowy przyrost zmiennej decyzyjnej w obrębie jednej pętli obliczeniowej. Kierunek przyrostu Δh zależy od spełnienia warunków nośności i użyteczności ($1 \div 10$) i jest określany w zależności od uzyskanego wyniku weryfikacji nośności przekroju. Dodatkowo wartość przyrostu Δh maleje wraz z kolejnymi fazami obliczeń. Poniżej przedstawiono w uproszczony sposób funkcję określającą gradientową zmianę wysokości przekroju (12).

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta h_1 = 0 \\ \text{dopóki } |WN_p - WN_{p-1}| > \lambda \\ \left\{ \begin{array}{l} \Delta h_2 = 0,5h_{\max} \\ \dots \\ \Delta h_{p+1} = \Delta h_p + \begin{cases} |\Delta h_p - \Delta h_{p-1}| & \text{if } WN_p > 1 \\ -|\Delta h_p - \Delta h_{p-1}| & \text{if } WN_p \leq 1 \end{cases} \end{array} \right. \\ \text{przerwij jeżeli: } p > p_{\max} \end{array} \right. \tag{12}$$

gdzie: λ – ustalone kryterium zbieżności, p – numer fazy obliczeniowej, p_{\max} – maksymalna ustalona ilość faz obliczeniowych, WN_p – zbiór warunków obliczeniowych wynikających z analizy stanów granicznych dla p -tej fazy obliczeniowej.

Na podstawie powyższych założeń został napisany program komputerowy, który umożliwia znalezienie rozwiązania optymalnego dla rozważanego zagadnienia. Algorytm został zapisany w środowisku programu Mathcad. Wymieniony program do obliczeń matematycznych umożliwia czytelny zapis procedury obliczeniowej oraz szybkie rozwiązywanie równań macierzowych.

4. Wyniki

4.1. Założenia obliczeniowe

Dane przyjęte do obliczeń:

- Beton: C35/45 ($f_{ck} = 35$ MPa, $f_{cd} = 25$ MPa),
- Stal zbrojeniowa: A-IIIIN ($f_{yd} = 420$ MPa),
- Średnica zbrojenia podłużnego: $\varphi = 16$ mm,
- Średnica zbrojenia poprzecznego: $\varphi_s = 8$ mm (strzemiona czterocięte),
- Konstrukcyjne zbrojenie w strefie ściskanej: $4\varphi 16$,
- Otulina zbrojenia: 30 mm,
- Ugięcie dopuszczalne: $L/250$.

Obliczenia przeprowadzono dla zmiennej decyzyjnej określonej w zakresie:

- wysokość $h \in [300; 2000]$ [mm].

W celu sformułowania zaleceń praktycznych przeprowadzono wielokrotne obliczenia belek o zróżnicowanej długości, szerokości oraz dla różnych wartości obciążeń zewnętrznych. Przyjęto zakresy oraz przyrost zmiennych:

- długości analizowanych elementów:
 - $L \in [6; 12]$ [m],
 - $\Delta L = 0,5$ m,
- szerokość przekroju poprzecznego:
 - $b \in [0,3; 0,8]$ [m],
 - $\Delta b = 0,05$ m,
- charakterystyczne obciążenia zewnętrzne:
 - $q \in [30; 100]$ [kN/m],
 - $\Delta q = 5$ kN/m.

Napisany algorytm komputerowy automatycznie uwzględni ciężar analizowanej belki. W obliczeniach założono, że 60% obciążenia zewnętrznego stanowią obciążenia zmienne. Z powyższego wyniku współczynnik obliczeniowy ustalony dla założonych obciążeń $\gamma = 1,45$.

Dodatkowo wszystkie powyższe obliczenia przeprowadzono dla stopni zbrojenia podłużnego w strefie rozciąganej (A_{s1}) przyjętych z przedziału:

- $\rho \in [0,5; 2,5]$ [%],
- $\Delta\rho = 0,1$ %.

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wariantów:

- Wariant A – analizowany przekrój spełnia wszystkie warunki nośności i użytkowalności.
- Wariant B – analizowany przekrój spełnia tylko warunki nośności; stan graniczny użytkowalności nie wpływa na dobór wysokości przekroju poprzecznego.

Poniżej w tabeli 1 pokazano przykładowe wyniki dla belki o długości 10 m, szerokości 0,4 m oraz obciążenia zewnętrznego $q = 50$ kN/m (wariant A).

Komplet wyników obliczeń jest zbyt obszerny, żeby było możliwe jego zamieszczenie.

Tabela 1. Wyniki obliczeń optymalizacyjnych ($L = 10$ m, $b = 0,4$ m, $q = 50$ kN/m) (wariant A).

Stopień zbrojenia	Wysokość optymalna	Warunek nośności zbrojenia zginanego	Warunek nośności na ścinanie	Warunek użytkowania (ugięcie)	Warunek użytkowania (zarysowanie)
[%]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,5	1,21	0,999	0,151	0,514	0,554
0,6	1,10	0,999	0,163	0,603	0,552
0,7	1,02	0,991	0,175	0,680	0,542
0,8	0,95	0,996	0,186	0,769	0,541
0,9	0,90	0,985	0,195	0,837	0,528
1,0	0,85	0,996	0,206	0,929	0,528
1,1	0,82	0,978	0,213	0,975	0,510
1,2	0,80	0,948	0,218	0,996	0,484
1,3	0,79	0,903	0,220	0,986	0,452
1,4	0,78	0,867	0,223	0,982	0,425
1,5	0,77	0,837	0,226	0,981	0,403
1,6	0,76	0,812	0,228	0,985	0,384
1,7	0,75	0,791	0,231	0,991	0,366
1,8	0,75	0,754	0,231	0,962	0,341
1,9	0,74	0,740	0,234	0,973	0,328
2,0	0,73	0,729	0,237	0,987	0,317
2,1	0,73	0,701	0,237	0,963	0,299
2,2	0,72	0,694	0,240	0,981	0,291
2,3	0,72	0,671	0,240	0,960	0,276
2,4	0,71	0,667	0,243	0,981	0,270
2,5	0,71	0,648	0,243	0,962	0,258

W tabeli pogrubiono wartości, które zadecydowały o przyjęciu wysokości przekroju poprzecznego. Z powyższej tabeli wynika, że dla analizowanej belki przy stopniu zbrojenia w strefie rozciąganej $\rho > 1,1$ % o wymiarach przekroju decyduje stan graniczny użytkowalności (ugięcia). Stan graniczny zarysowania oraz stan graniczny nośności z uwagi na zmiężdżenie betonu przy ścinaniu nigdy nie jest warunkiem decydującym o rozwiązaniu optymalnym.

Dodatkowo w tabeli 2 pokazano wyniki dla wariantu obliczeniowego B.

Ponownie na dobór optymalnej wysokości nie ma wpływu warunek nośności na ścinanie. Tabela 2 bardzo dobrze obrazuje wpływ zastosowanego stopnia zbrojenia na ugięcie belki. Dla stopnia zbrojenia 2,5 % obliczone ugięcie jest prawie dwukrotnie większe od dopuszczalnego.

4.2. Zalecenia praktyczne

Łącznie wyznaczono wysokość optymalną dla 45045 belek o zróżnicowanej długości, szerokości, stopniu zbrojenia oraz obciążeniu zewnętrznym. Wszystkie obliczenia przeprowadzono w dwóch wariantach, co daje łącznie 90090 wyznaczonych rozwiązań optymalnych. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano zalecenia praktyczne doboru optymalnej wysokości belki żelbetowej.

Tabela 2. Wyniki obliczeń optymalizacyjnych ($L = 10$ m, $b = 0,4$ m, $q = 50$ kN/m) (wariant B).

Stopień zbrojenia	Wysokość optymalna	Warunek nośności zbrojenia zginanego	Warunek nośności na ścinanie	Warunek użytkowania (ugięcie)	Warunek użytkowania (zarysowanie)
[%]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,5	1,21	0,999	0,151	0,514	0,554
0,6	1,10	0,999	0,163	0,603	0,552
0,7	1,02	0,991	0,175	0,680	0,542
0,8	0,95	0,996	0,186	0,769	0,541
0,9	0,90	0,985	0,195	0,837	0,528
1,0	0,85	0,996	0,206	0,929	0,528
1,1	0,82	0,978	0,213	0,975	0,510
1,2	0,78	0,995	0,223	1,074	0,513
1,3	0,75	0,999	0,231	1,152	0,509
1,4	0,73	0,986	0,237	1,198	0,494
1,5	0,71	0,980	0,243	1,252	0,478
1,6	0,69	0,980	0,250	1,317	0,467
1,7	0,67	0,985	0,257	1,393	0,459
1,8	0,65	0,996	0,265	1,481	0,455
1,9	0,64	0,982	0,269	1,509	0,439
2,0	0,63	0,972	0,273	1,542	0,426
2,1	0,61	0,996	0,282	1,660	0,429
2,2	0,60	0,992	0,287	1,706	0,420
2,3	0,59	0,990	0,291	1,757	0,413
2,4	0,58	0,992	0,296	1,814	0,407
2,5	0,57	0,996	0,302	1,877	0,402

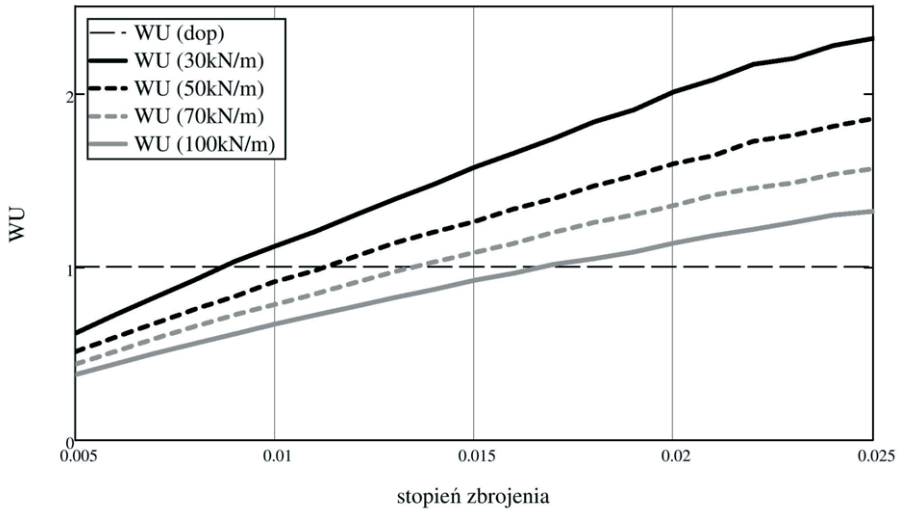
Współcześnie powszechnym rozwiązaniem jest stosowanie odwrotnego ugięcia wstępnego, które zmniejsza ugięcie obliczone do wartości dopuszczalnej. Projektując element przy dopuszczeniu przekroczenia ugięcia dopuszczalnego (wariant B obliczeń) należy przyjmować wysokość belek zgodnie z formułą (13).

$$h = 0,00284L \frac{\sqrt[3]{q}}{\sqrt{\rho}} \sqrt[3]{|1-b|} \pm 0,035 \text{ [m]} \quad (13)$$

gdzie: ρ – stopień zbrojenia w strefie rozciąganej (A_{s1}) [-], b – szerokość w [m], L – długość w [m], q – obciążenie zewnętrzne w [kN/m].

Dla przykładu na rys. 2 pokazano zmianę warunku użytkowania z uwagi na stan graniczny ugięcia w funkcji stopnia zbrojenia oraz obciążenia zewnętrznego dla belek o szerokości $b = 0,4$ m.

Należy zwrócić uwagę, że dla dużych stopni zbrojenia oraz małych obciążeń zewnętrznych ugięcie obliczone przekracza dwukrotnie wartość dopuszczalną. Tak dużego ugięcia nie można niwelować strzałką wstępnego ugięcia. Wynika z tego wniosek, że projektując elementy o dużym stopniu zbrojenia należy zwiększyć optymalną z uwagi na nośność wysokość belki w celu ograniczenia ugięcia obliczeniowego do wartości, która wraz z dopuszczalną przeciwstrzałką zapewni spełnienie stanu granicznego użyteczności.



Rys. 2. Warunek użytkowania WU (ugięcia).

Jednak nie każda linia technologiczna ma możliwość wyprodukowania elementu żelbetowego z wstępną strzałką ugięcia. Z tego względu sformułowano zalecenia praktyczne (14), które gwarantują optymalny dobór wysokości belki, która będzie spełniać zarówno warunki stanu granicznego nośności jak i stanu granicznego ugięcia.

$$h = 0,00283L \frac{\sqrt[3]{q}}{\sqrt{\rho}} \left((1-b) \right)^{\frac{1}{3,3}} \pm 0,073 \text{ [m]} \tag{14}$$

Wszystkie zalecenia zostały podane dla stali zbrojeniowej A-IIIN, która jest najpowszechniej stosowaną klasą stali przy produkcji prefabrykowanych elementów żelbetowych. Zalecenia można natomiast skutecznie odnieść do dowolnej klasy betonu, gdyż dla elementów zginanych klasa betonu ma niewielki wpływ przy określaniu optymalnej wysokości przekroju.

Należy pamiętać, że przyjęcie wymiarów geometrycznych w oparciu o prezentowane zalecenia nie zwalnia projektanta od szczegółowej weryfikacji projektowanego elementu.

5. Wnioski

Przed przystąpieniem do projektowania belek żelbetowych należy przeanalizować koszty związane z wykonaniem i przetransportowaniem danego elementu. Wstępna analiza kosztowa pozwala zaprojektować element, który będzie optymalny. Powyższa analiza ma zdecydowanie większe znaczenie w przypadku elementów prefabrykowanych, dla których minimalizacja zużycia stali zbrojeniowej nie zawsze oznacza zmniejszenie kosztów.

W pracy przedstawiono gradientowo-iteracyjną metodę optymalizacji belek żelbetowych. Na podstawie wyników uzyskanych z wielokrotnych obliczeń sformułowano zalecenia praktyczne doboru optymalnej wysokości przekroju

poprzecznego. Dobór gabarytów elementu w oparciu o powyższe zalecenia umożliwiła znaczące zmniejszenie czasu potrzebnego do znalezienia optymalnego kształtu projektowanej belki.

Prezentowaną metodę gradientowo-iteracyjną obliczeń optymalizacyjnych można ponadto skutecznie zastosować do obliczeń innych elementów konstrukcyjnych.

Literatura

- [1] Łapko A., Jensen B. C. *Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetonowych*. Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 2005.
- [2] Mikulski L. *Teoria sterowania w problemach optymalizacji konstrukcji i systemów*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, ISBN 978-93-7242-440-2, Kraków 2007.
- [3] Sobczyk Sz. *Optymalne kształtowanie pól dźwigarów strunobetonowych*. w: *Badania doświadczalne i teoretyczne w budownictwie*. monografia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
- [4] Sobczyk Sz., Mikulski L. *Optymalizacja belek sprężonych*. Pomiary Automatyka Kontrola nr 10/2012.
- [5] Sobczyk Sz., Mikulski L. *Optymalizacja dźwigarów strunobetonowych*. „*Poliptymalizacja i komputerowe wspomaganie projektowania. Tom X*”, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012r.
- [6] Starosolski Wł. *Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002 i Eurokodu 2. Tom I*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [7] PN-EN 1990:2004. *Podstawy projektowania konstrukcji*.
- [8] PN-EN 1992-1-1:2008. *Projektowanie konstrukcji z betonu – Reguły ogólne i reguły dla budynków*.

Optimal height of free-ends prefabricated reinforced concrete beam with rectangular cross-section

Szymon Sobczyk

*Institute of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering,
Cracow University of Technology, e-mail: szymek.sobczyk@gmail.com*

Abstract: This paper concerns the optimal modelling of free-ends prefabricated reinforced concrete beams. The article focuses on the selection of the optimal height of the cross-section at a fixed length, width, level of reinforcement of the element and the set of external loads. By applying gradient-iterative method it was possible to conduct multiple optimization calculations. Optimal beam height was formulated based on calculation results.

Keywords: reinforced concrete beam, prefabricated beam, structure optimization, design recommendations.

Ocena efektywności preparatów na bazie kwasu ortokrzemowego do wzmacniania zabytkowych zapraw sztukatorskich typu lubelskiego

Danuta Barnat-Hunek¹, Beata Klimek²

¹*Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: d.barnathunek@pollub.pl*

²*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: b.klimek@pollub.pl*

Streszczenie: W Małopolsce na początku XVII w. powszechne były płaskie, geometryczne dekoracje o niemiecko-północnej genezie, pojawiające się w indywidualnych rodzajach, charakterystycznych dla ośrodków, w których miał miejsce ruch budowlany. Typowe odmiany tych dekoracji opisał J. Szablowski, wskazując dekoracje sieciowe (charakterystyczne dla Lublina), okuciowe oraz złożone z osobnych geometrycznych figur – typowe dla Krakowa [1]. W typie „krakowskim” dostrzegano charakter „zachodnio-europejski”, natomiast typ „lubelsko-kaliski” miał być domeną lokalnych, majstrów murarskich [2], to spostrzeżenie nie ma jednakże oparcia w faktach, gdyż dla listwowych, lubelskich dekoracji nietrudno wytypować zagraniczne pierwowzory [3]. W artykule przedstawiono ocenę możliwości zastosowania preparatów wzmacniających na bazie estrów kwasu ortokrzemowego różniących się podstawnikami. Środki te wykorzystywane są w pracach konserwatorskich do wzmacniania takich materiałów jak tynki wapienne i zaprawy sztukatorskie.

Słowa kluczowe: sztukaterie typu lubelskiego, wzmacnianie, preparaty na bazie kwasu ortokrzemowego.

1. Wprowadzenie

Sztukaterie typu lubelskiego wykonywano z zaprawy murarskiej z dodatkiem silnych środków wiążących, nigdy nie miały one składu typowego dla stiuków. Badania architektoniczne wykazały, że listwa sztukateryjna składała się z „żebra” o prostokątnym przekroju oraz z części bocznych o przekroju trójkątnym. Odcinki listew sztukateryjnych wykonywano na ziemi, po czym dopiero – po związaniu zaprawy – mocowano na sklepieniu.

W oparciu o opisy i kontrakty robót zauważyć można olbrzymią staranność w przygotowaniu zapraw. Sumiennosc ta oparta na wiekowych doświadczeniach poszczególnych warsztatów murarskich, tak że czas przygotowania wapna gaszonego w dole, przekraczał niekiedy 20 lat.

W oparciu o analizy chemiczne zapraw można zauważyć, że spotykamy się z podstawowymi rodzajami zapraw: wapienną, wapienno-gipsową [4].

Podstawowym składnikiem wszystkich zapraw było wapno, które uzyskiwano ze zbitych wapieni łomowych i narzutowych, jak również z osadów skorupiaków,

które dostarczały obfite złoża. Złoża dawały surowiec zawierający około 95% czystego węglanu wapnia CaCO_3 . Ponadto na Lubelszczyznę sprowadzano wapno już wypalone, pochodzące najprawdopodobniej ze złóż wapieni częstochowsko-kieleckich.

Powszechnie stosowanym materiałem do wykonywania wszelkich ozdób była zaprawa wapienno-gipsowa, otrzymywana przez dodanie sproszkowanego gipsu palonego do zwykłej zaprawy wapiennej lub takiej, w której zamiast piasku użyto zmielonych wapieni lub nawet gipsu niepalonego. Zaprawa taka po stwardnieniu posiadała znaczną wytrzymałość, a dzięki dodatkowi gipsu zwiększała się jej przyczepność do wyschniętej spodniej warstwy. Ponadto, nawet niewielki dodatek gipsu palonego do zaprawy bardzo ułatwiał jej formowanie. Do zapraw wapienno-gipsowych stosowano ciasto wapienne zupełnie zlasowane, które uzyskiwano przez długotrwałe przechowywanie go w dołach. Dobra zaprawa wapienno-gipsowa może być przygotowana z wapna starego, z którego wyługowane mogą być sole. Główną przyczyną niskiej jakości zapraw wapienno-gipsowych jest związana z przygotowaniem ciasta wapiennego bezpośrednio po gaszeniu.

Poza spoiwem dodawano piasek rzeczny, który był dokładnie przemieszany z ciastem wapiennym. Badania i obserwacje mikroskopowe stosowanych zapraw sztukatorskich wskazują, że wykorzystywany był piasek naturalny nawet nie przesiewany – średnioziarnisty ostry, który po zarobieniu zaprawy nie zawsze nadawał się do formowania drobnych ozdób. Istnieją jednak dowody, że do zapraw wewnętrznych nie stosowano go w ogóle, wprowadzając materiały zastępcze, którymi były zmielone lub roztluczone wapienie, lub przypuszczalnie kreda z pobliskich pokładów chełmskich [4].

W większości obiektów dekoracje sztukatorskie w narzucie wapienno-pia-skowym i wapienno-gipsowym (dwuwarstwowo) zachowały się fragmentarycznie w formie poczerniałych ciągów ornamentalnych. Większość powierzchni utraciła warstwę wyprawy. Nieliczne powierzchnie z zachowaną sztablaturą pokrywa gęsta siatka pęknięć i złuszczeń. Zacienione fragmenty ścian porasta mikroflora. Brak zadaszania jest podstawową przyczyną szybkiej destrukcji detali sztukatorskich.

Jednym z zabezpieczeń tymczasowych jest wzmocnienie zapraw, które stosuje się też w celu utrzymania stanu istniejącego i niedopuszczenia do jakichkolwiek zmian strukturalnych lub zniekształceń struktury, zanim nie zostaną przeprowadzone zabiegi konserwatorskie oparte na właściwych środkach technicznych. Działania wzmacniające preparatów polegają na utworzeniu w strukturze zdeintegrowanego materiału budowlanego krzemionki, która stanowi spoiwo wzmacniające materiał budowlany.

Proces tworzenia krzemionki jest związany z hydrolityczną polikondensacją estrów etylowych kwasu ortokrzemowego przebiegającą z wodą zawartą w kapilarach materiału budowlanego lub z parą wodną występującą w powietrzu [5].

2. Badania

Do badań laboratoryjnych zakwalifikowano cztery preparaty firm Remmers, Silikony Polskie, MC Bauchemie:

- P1 - zawierający rozpuszczalniki organiczne, oparty na estrach etylowych kwasu krzemowego.

- **P2, P3** – środki do konserwacji wąsko porowatych (P2) i szerokokoporowatych (P3) materiałów budowlanych. Bezrozpuszczalnikowe, jednoskładnikowe środki konsolidujące, których substancją czynną są estry etylowe kwasu ortokrzemowego o standardowym stopniu polikondensacji.
- **P4** – bezrozpuszczalnikowy, oparty na estrach etylowych kwasu krzemowego różniący się od pozostałych środków podstawnikami.

Materiał badawczy stanowiły zaprawy wapienne i wapienno-gipsowe, o składzie zgodnym z oryginalnymi zaprawami dekoracji lubelskich.

Wykonano zaprawy o następującym składzie: M1 - 1 porcji objętościowej wapna do 6 porcji objętościowych piasku, M2 – 2:5, M3 – 3:5, M4 – 4:5. Wykonano 150 próbek dla każdego rodzaju zaprawy o wymiarach 4x4x16 cm. Po 21 dniach od zaimpregnowania prób przystąpiono do badań.

Zbadano wpływ preparatów na bazie kwasu ortokrzemowego na czas wznieszenia kapilarnego wody, nasiąkliwość wagową wodą, wytrzymałość na zginanie w przrządzie Michaelisa, wytrzymałość na ściskanie.

Przeanalizowano wpływ impregnacji na zmiany takich właściwości jak wytrzymałość mechaniczna i odporność na działanie rozpuszczalnych w wodzie soli. Badania te powinny pomóc konserwatorom zabytków w prawidłowym doborze środków i metod konserwatorskich [6].

2.1. Pomiar szybkości podciągania kapilarnego preparatów

Pomiar szybkości podciągania preparatów wzmacniających został wykonywany w 3 etapach: po upływie 12, 40 i 90 min od zanurzenia próby w środku wzmacniającym na wysokość 10 mm. W przypadku środka wzmacniającego P3 po upływie czasu 40 min podciąganie ustępowało. Po upływie 90 min od momentu zanurzenia prób w preparacie została wykonana obserwacja możliwości dalszego podciągania preparatu przez próby. Obserwacja ta trwała przez 60 minut, po upływie tego czasu nie odnotowano występowania dalszego podciągania środka wzmacniającego przez próby. Wyniki obserwacji przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Pomiar szybkości podciągania kapilarnego preparatów.

Rodzaj zaprawy	Wysokość [cm] podciągania preparatów po upływie		
	12 minut	40 minut	90 minut
P1			
M1, M2	2,1	2,7	3,2
M4	1,6	2,1	2,5
P2			
M1, M2	2,1	3,6	4,3
M3, M4	1,9	3,1	3,7
P3			
M1, M2	2,3	3,4	3,4
M3, M4	2,1	3,2	3,2
P4			
M1, M2	2,7	4,0	6,0
M3	2,0	2,9	4,0
M4	1,3	1,7	2,0

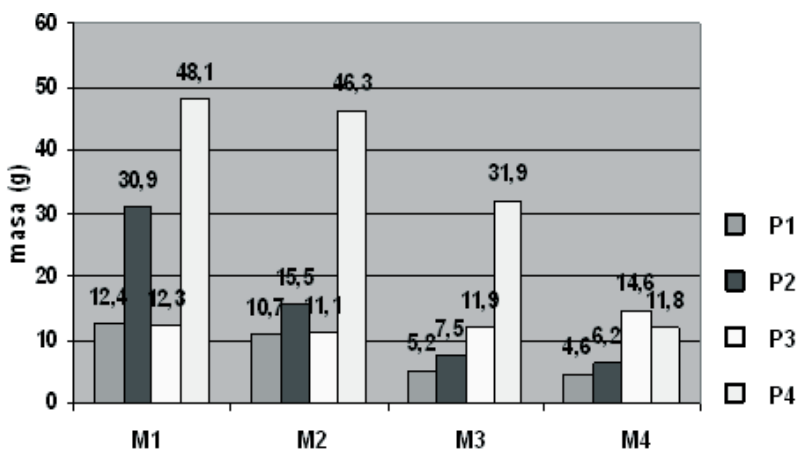
Preparat na bazie ketonów (P1) charakteryzuje się słabym podciąganiem kapilarnym we wszystkich rodzajach badanych zapraw. W przypadku bezrozpuszczalnikowych środków wzmacniających P2, P3 szybkość ich podciągania jest zbliżona do siebie, największa w zaprawie M4. Preparat wzmacniający P4 uzyskał najwyższą wysokość podciągania we wszystkich analizowanych zaprawach.

2.2. Stopień nasycenia preparatami wzmacniającymi

Po kapilarnym wzniesieniu się środka wzmacniającego wyliczono zużycie preparatów w każdym z materiałów. Próby sezonowano przez 28 dni, po tym czasie ponownie określono masę, wyliczając w procentach ilość wprowadzanego środka wzmacniającego, jaka pozostaje po swobodnym odparowaniu rozpuszczalnika (Tab. 2).

Tabela 2. Stopień nasycenia preparatami wzmacniającymi.

Rodzaj zaprawy	Procentowy wzrost masy próbek [%]			
	P1	P2	P3	P4
M1	3,0	8,1	3,1	13,3
M2	2,4	3,4	2,6	11,6
M3	1,1	1,6	2,6	7,4
M4	1,4	1,4	2,3	2,7



Rys. 1. Ilość osadzonego preparatu wzmacniającego w zaprawach.

Środek wzmacniający P4 wykazał największy stopień nasycenia w zaprawach M1, M2. Natomiast najmniejsze stężenie jest w przypadku preparatu rozpuszczalnikowego P1 (Rys. 1). Wszystkie analizowane preparaty największe stężenie uzyskały w zaprawie posiadającej największą ilość piasku M1 (1:6).

2.3. Czas odparowywania rozpuszczalnika z zapraw

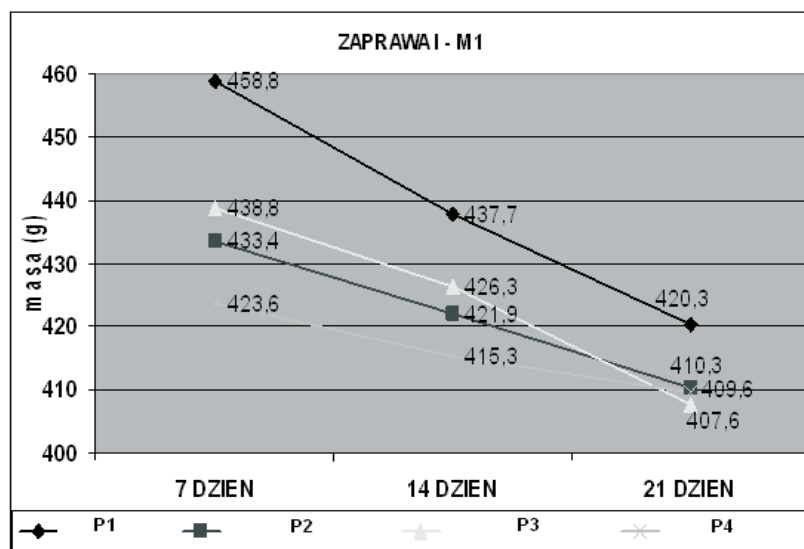
Na podstawie pomiarów uzyskano następujące wyniki:

Zaprawa M1 – widoczne jest liniowe wyparowywanie preparatów wzmacniających z miarą upływu czasu. Najmniejszy spadek masy o wartości 14g (Rys. 2) uzyskano w przypadku preparatu P4. Natomiast w przypadku pozostałych trzech preparatów P1, P2, P3 spadek masy wyniósł odpowiednio 38,5g/23,1g/31,2g.

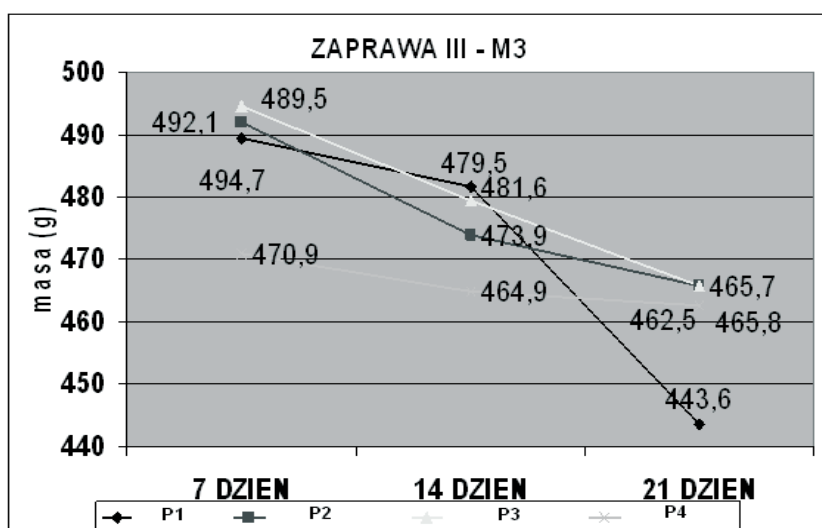
Zaprawa M2 – najmniejszy spadek masy (15g) wykazał również preparat wzmacniający P4. Natomiast w przypadku pozostałych preparatów wzmacniających wyparowywanie rozpuszczalnika w stosunku czasu jest na podobnym poziomie (29,7g/24,1g/26,3g).

Zaprawa M3 – najmniejszy spadek masy wykazał preparat P4 i wyniósł on 8,4g (Rys. 3). Natomiast zdecydowanie najszybciej odparował rozpuszczalnik organiczny P1 (45,9g). W przypadku pozostałych P2, P3 spadek masy wyniósł 26,4g i 28,9g.

Zaprawa M4 – w tym przypadku również preparat wzmacniający P4 odparowywał najwolniej i w najmniejszej ilości 2,8g. W przypadku preparatów P1, P2 i P3 spadek masy wyniósł odpowiednio 14,4g/25,1g/26,5g.



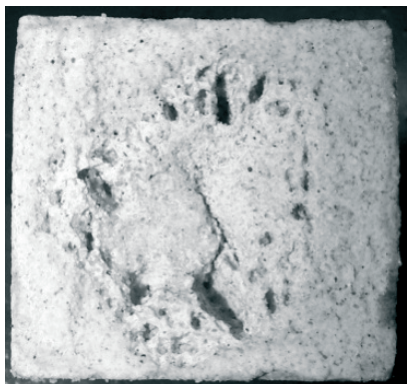
Rys. 2. Spadek masy próbek zapraw M1 w czasie odparowywania rozpuszczalnika.



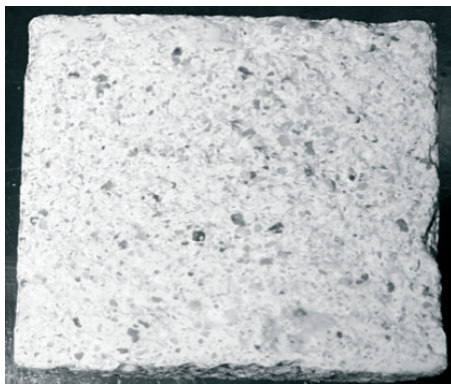
Rys. 3. Spadek masy próbek zapraw M4 w czasie odparowywania rozpuszczalnika.

2.4. Rozmieszczenie preparatu wzmacniającego wewnątrz zaimpregnowanego materiału

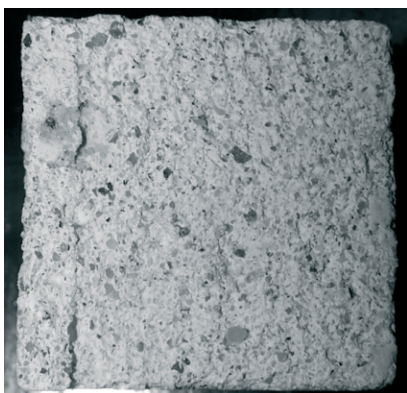
Badanie przebiegało następująco: ze środkowej partii próbek wycięto płytkę o grubości około 3mm w kierunku prostopadłym do nasycania. Płytkę wytrawiono w 10% HCl przez okres 1,5h. Miejsca w których osadził się preparat wzmacniający pozostają nierozpuszczalne dla kwasu, zaś partie w których brak jest środka wzmacniającego rozpuszczają się całkowicie (Rys. 4,5,6,7).



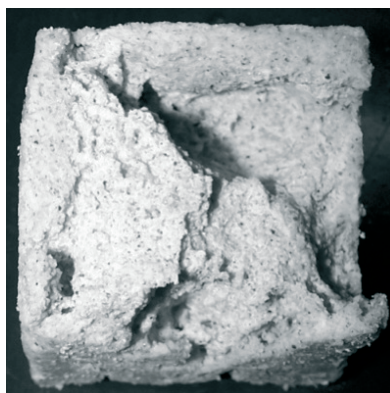
Rys. 4. Zaprawa M1 wzmacniana preparatem P3.



Rys. 5. Zaprawa M1 wzmacniana preparatem P1.



Rys. 6. Zaprawa M2 wzmacniana preparatem P4.



Rys. 7. Zaprawa M2 wzmacniana preparatem P3.

2.5. Badanie wytrzymałości na zginanie wzmacnianych zapraw

Oznaczanie wytrzymałości na zginanie przeprowadzono na beleczkach o wymiarach 4x4x16cm w przyrządzie Michaelisa. Za wynik oznaczania przyjęto średnią arytmetyczną wytrzymałości trzech beleczek.

Badania na zginanie próbek wykazały, iż środek P4 jest bezkonkurencyjnym środkiem wzmacniającym, ponieważ niezależnie od składu próbek wypada najlepiej spośród trzech innych preparatów. Preparat na bazie ketonów uzyskał niewiele lepsze wyniki od P2, P3. Należy jednak stwierdzić, że próbki wzmocnione przez wszystkie preparaty znacznie podniosły wytrzymałość próbek na zginanie w porównaniu do próbek wzorcowych.

Tabela 3. Wytrzymałość próbek na zginanie przed i po ich wzmocnieniu preparatami wzmacniającymi.

Rodzaj zapraw	Rodzaj preparatu wzmacniającego	Wytrzymałość średnia R_{gr} [MPa]
M1	worzec	0,75
	P1	2,59
	P2	0,31
	P3	1,20
	P4	4,02
M2	worzec	2,18
	P1	4,12
	P2	3,50
	P3	2,72
	P4	4,50
M3	worzec	2,83
	P1	4,70
	P2	3,14
	P3	3,11
	P4	5,62
M4	worzec	2,60
	P1	3,50
	P2	3,07
	P3	3,96
	P4	3,64

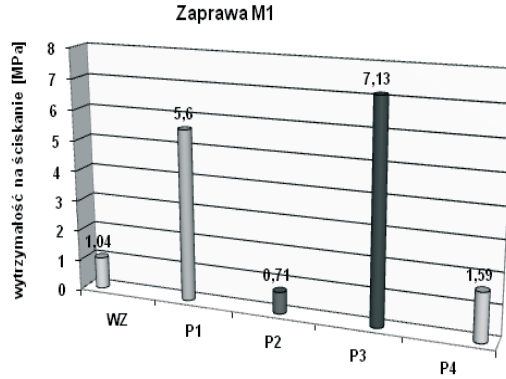
2.6. Badanie wytrzymałości na ściskanie wzmacnianych zapraw

Wytrzymałość na ściskanie określono na 6. połówkach beleczek dla każdej zaprawy po badaniu wytrzymałości na zginanie.

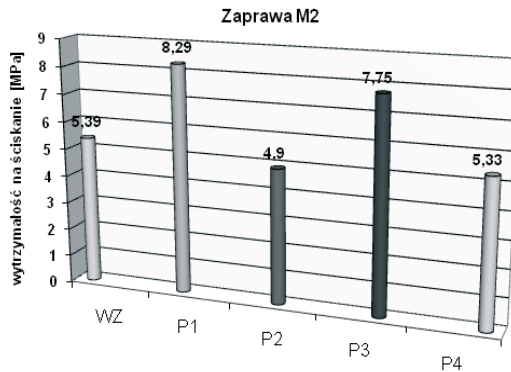
Tabela 4. Wytrzymałość na ściskanie przed i po ich wzmocnieniu preparatami wzmacniającymi.

Rodzaj zapraw	Rodzaj preparatu wzmacniającego	Wytrzymałość średnia R_{gr} [MPa]
M1	worzec	1,04
	P1	5,60
	P2	0,71
	P3	1,59
	P4	7,13
M2	worzec	5,39
	P1	8,29
	P2	4,90
	P3	6,12
	P4	7,75
M3	worzec	10,41
	P1	10,39
	P2	7,70
	P3	10,48
	P4	14,29
M4	worzec	7,43
	P1	7,80
	P2	7,28
	P3	8,20
	P4	14,05

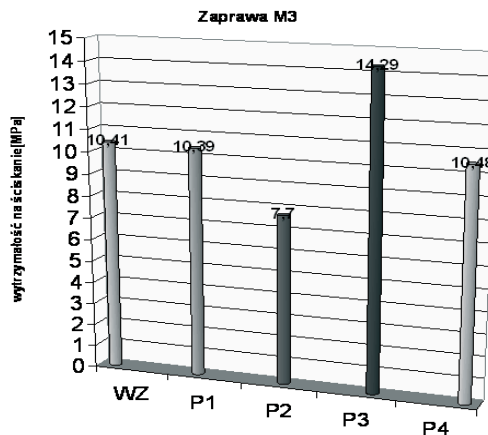
Badania na ściskanie zapraw wykazały bardzo dobre właściwości środka P3 (Rys. 8 -11). Jedynie przy badaniu zaprawy M2, lepszą wytrzymałość uzyskał preparat o rozpuszczalniku organicznym P1, który znacznie podnosi wytrzymałość na ściskanie w porównaniu do zaprawy wzorcowej. P4 nieznacznie wzmacnia zaprawy, natomiast P2 jak wynika z badań obniża ich wytrzymałość.



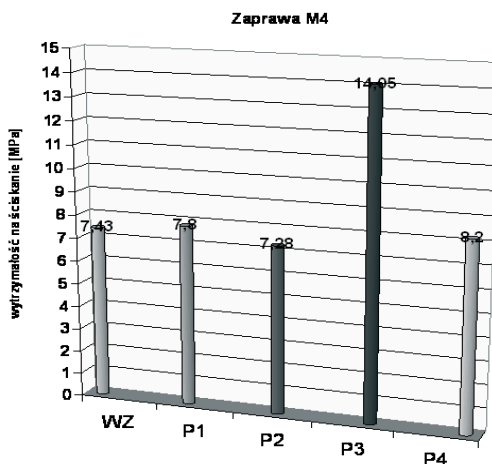
Rys. 8. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy M1 przed i po wzmocnieniu.



Rys. 9. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy M2 przed i po wzmocnieniu.



Rys. 10. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy M3 przed i po wzmocnieniu.



Rys. 11. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy M4 przed i po wzmocnieniu.

2.7. Odporność na działanie soli rozpuszczalnych w wodzie

Wzmocnione i kontrolne próbki zapraw poddano naprzemiennym cyklom 6 - godzinowego suszenia w temp. 105°C i 18 - godzinowego nasycania w roztworze Na_2SO_4 . Test ten polega na niszcącym działaniu ciśnienia krystalizacyjnego siarczuanu sodu, występującego wskutek zmian objętości wynikającej z różnego stopnia uwodnienia tej soli. Bezwodny siarczan sodu przechodząc w sól uwodnioną wiąże 10 cząsteczek wody, zwiększając objętość o 100%.

Tabela 5. Odporność na działanie soli wzmocnianych zapraw.

zaprawa M2 preparat P2	
zaprawa M2 preparat P3	
zaprawa M4 preparat P1	
zaprawa M1 preparat P4	
Zaprawa M4 - wzorcowa poddana tylko kąpielom w wodzie	

Roztwór soli nasycił całkowicie próbki zaprawy M2 wzmocnione preparatami P2 i P3. Preparaty te nie podnoszą odporności zapraw na działanie soli rozpuszczalnych w wodzie. Preparaty P1 i P4 nie zabezpieczają zapraw całkowicie, ponieważ roztwór soli wniknął w strukturę materiału w niewielkim stopniu (Tab. 5).

3. Wnioski końcowe

- Najszybsze podciąganie w zaprawach o większej zawartości piasku w stosunku do wapna wykazuje preparat P4, zaś w zaprawach M3, M4 środek bezrozpuszczalnikowy przeznaczony do materiałów szeroko - porowatych (P3).
- W zaprawach M1, M2, M3 największe stężenie substancji czynnej zaobserwowano przy użyciu preparatu P4, zaś w zaprawie M4 o największej zawartości spoiwa – przy użyciu preparatu P3.
- Miejsca, w których osadził się preparat pozostają nienaruszone przez kwas, zaś partie w których brak środka impregnującego rozpuszczają się całkowicie.
- Preparat P4 w największym stopniu poprawia wytrzymałość na zginanie i ściskanie niezależnie od składu zaprawy.
- Wzmacnianie preparatem na bazie ketonów (P1) i bezrozpuszczalnikowym P3 ma korzystny wpływ na zaprawy o niższej zawartości spoiwa i w znacznym stopniu podnosi ich wytrzymałość na zginanie i ściskanie.
- Wzmacnianie preparatem P2 poprawia wytrzymałość tylko przy zginaniu w zaprawach o większej zawartości wapna. W pozostałych przypadkach P2 jest nieskuteczny, a nawet osłabia zaprawy pod względem ich wytrzymałości na ściskanie.
- Preparaty P4 oraz P1 wytworzyły powłoki hydrofobowe, które hamowały proces podciągania kapilarnego we wszystkich rodzajach zapraw.
- Preparaty P4 oraz P1 wykazały największą odporność na działanie soli rozpuszczalnych w wodzie.

Literatura

- [1] Szablowski J. *Architektura krakowskiego kościoła Bernardynów* [w:] Kantak K., Szblowski J., Żarnecki J. *Kościół i klasztor Bernardynów w Krakowie*. Kraków 1938, s. 92, 93.
- [2] Karpowicz M. *Rzeźba około roku 1600-1630* [w:] *Sztuka około roku 1600*. Materiały Sesji Stowarzyszenia Historyków Sztuki, Warszawa 1974, s. 57.
- [3] Kurzej M. *Siedemnastowieczne sztukaterie w Małopolsce*. Kraków 1012.
- [4] Zin W. *Rzemiosło renesansowych sztukatorów lubelskich*. Czasopismo Techniczne 5 (1958) 7-14.
- [5] Łukasiewicz J.W. *Badania nad zastosowaniem związków krzemooorganicznych w konserwacji zabytków*. Toruń 2002.
- [6] Barnat-Hunek D., Klimek B. *Ocena efektywności preparatów na bazie kwasu ortokrzemowego do wzmacniania zabytkowych tynków*. Materiały Budowlane 9 (2011) 40-41.

Valuation of possibility of the silicon based preparations application for strengthening Lublin-type mouldings

Danuta Barnat-Hunek¹, Beata Klimek²

*¹ Department of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: d.barnathunek@pollub.pl*

*² Department of Historic Building Preservation, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: b.klimek@pollub.pl*

Abstract: At the beginning of XVII-th Century in Little Poland region, flat, geometric decorations were common. Their came from North Germany and appeared in individual types, characteristic for particular regions. Typical variants of decorations were described by J. Szablowski with underlined net (typical for Lublin region), ferrule and geometrical decorations (typical for Cracow region). Cracovian-type decoration resembled West-European decorations and Lublin-Calisia-type were made by local bricklayers, which is hard to be proven, because of the foreign prototypes visible in many Lublin decorations. Article presents valuation of the silicon based preparations application possibility for strengthening Lublin-type mouldings. Valuated preparations differ in compounds. They are applied for conservatory works to strengthen such materials like calcium plasters and mouldings.

Keywords: the moldings' of the lubelski type, strengthening, preparations on the datum feature of the silicon product.

Ocena zjawiska podciągania kapilarnego w murze budynku o charakterze zabytkowym za pomocą powierzchniowej sondy TDR

Zbigniew Suchorab¹, Stanisław Fic², Danuta Barnat-Hunek³

¹ Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, e-mail: z.suchorab@pollub.pl

² Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: s.fic@pollub.pl

³ Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: d.barnat-hunek@pollub.pl

Streszczenie: W artykule omówiono możliwości pomiarowe techniki TDR (Time Domain Reflectometry) pod kątem terenowych pomiarów wilgotności murów w budynkach zabytkowych. Do pomiarów wykorzystano zmodyfikowaną sondę powierzchniową umożliwiającą bezinwazyjny pomiar wilgotności materiałów budowlanych, dzięki czemu możliwe jest prowadzenie badań *in-situ*, zwłaszcza na obiektach zabytkowych. Badania polowe wykonano na murze zewnętrznym z cegły ceramicznej pełnej, będącym częścią zabytkowego szpitala zlokalizowanego na terenie Wojewódzkiego Samodzielnego Psychiatrycznego Zespołu Publicznych Zakładów Opieki Zdrowotnej im. prof. dr Jana Mazurkiewicza w Pruszkowie. Mur dotknięty jest zjawiskiem podciągania kapilarnego przez wody pochodzące z gruntu, co jest możliwe do oceny nawet w drodze obserwacji wizualnej. Przeprowadzone badania umożliwiły ilościową ocenę zjawiska, którym dotknięty jest omawiany obiekt. W ramach przeprowadzonych badań wykonano pomiary reflektometryczne za pomocą prototypowych sond TDR. Badania powtórzono w celu wykazania zmian wilgotności muru w czasie. Pierwszą serię pomiarów przeprowadzono w okresie letnim – lipcu 2010 roku, natomiast druga seria pomiarowa zrealizowana została w miesiącu listopadzie tego samego roku. Następnie, na podstawie uzyskanych danych sporządzono mapy wilgotności muru, dzięki którym widoczne są zmiany wilgotności przegrody w pionie i poziomie, co w rezultacie umożliwia stwierdzenie występowania zjawiska podciągania kapilarnego w badanym murze.

Słowa kluczowe: zawilgocenie murów, detekcja wilgoci, podciąganie kapilarne, technika TDR.

1. Wprowadzenie

Jedną z najpoważniejszych przyczyn uszkodzeń elementów budynków jest wilgoć. Zawilgocenie budowli powoduje postępującą dezintegrację strukturalną przegród budowlanych na drodze podciągania kapilarnego, jak i w wyniku działania mrozu i krystalizacji soli rozpuszczalnych w wodzie. W praktyce spotykamy się z szeroką skalą oddziaływania zawilgocenia, od niewielkich, drobnych zawilgoczeń, powodujących utratę estetyki elewacji, pomieszczeń lub występowanie nieprzyjem-

nych zapachów w pomieszczeniach, do poważnych zniszczeń elementów konstrukcyjnych zagrażających zdrowiu i życiu użytkowników.

Profilaktyka konserwatorska obecnie poświęca dużo uwagi zabezpieczeniom stref cokołowych obiektów, gdyż one najbardziej narażone są na zjawiska korozyjne. Największe zjawiska korozyjne można zaobserwować w elementach bezpośrednio stykających się z gruntem [1], za co odpowiada zjawisko podciągania kapilarnego. Należy zwrócić uwagę, że wysokość podciągania kapilarnego wilgoci z gruntu jest większa w murach starych, zabytkowych wznoszonych bez zastosowania właściwych izolacji poziomych niż w murach współczesnych obiektów. Stopień zawilgocenia murów przyziemia zależy od różnych czynników, takich jak: ukształtowania terenu, posadowienia budynku, rodzaju i uwarstwienia gruntów, na których usytuowano budynek, poziomy wód gruntowych, od właściwości fizycznych i chemicznych samych materiałów budowlanych, z których wzniesiono obiekt, grubości muru, a także od składu chemicznego wód gruntowych. Powierzchnia napływu wody z gruntu równa się powierzchni odparowania, która znajduje się w części nadziemnej muru zarówno od strony wewnętrznej, jak i zewnętrznej [2]. Większa wydajność parowania dyfuzyjnego znajduje się przeważnie na zewnętrznej powierzchni ściany, w związku z tym rozkład wilgoci na grubości muru nie jest równomierny. Podwyższony poziom zawilgocenia występuje na wewnętrznej powierzchni ściany, a jego spadek następuje w kierunku zewnętrznym muru.

Negatywne skutki obecności wody w przegrodach budowlanych stanowią podstawę do rozwoju i ciągłego udoskonalania istniejących oraz wdrażania nowych, coraz bardziej dokładnych technik detekcji wilgoci w przegrodach budowlanych.

W artykule przedstawiono możliwość zastosowania techniki TDR (Time Domain Reflectometry) do terenowych pomiarów wilgotności murów. Inwazyjny charakter metody w większości przypadków uniemożliwiał jednak jej praktyczne wykorzystanie lub był przyczyną wielu problemów technicznych. Sonda powierzchniowa umożliwia bezinwazyjny pomiar wilgotności materiału budowlanego i w związku z tym nadaje się do badań *in-situ*, zwłaszcza na obiektach zabytkowych [3,4,5].

2. Metodyka badań

2.1. Opis badanego obiektu

Przedmiotem badań wilgotnościowych był mur zewnętrzny zabytkowego Szpitala zlokalizowanego na terenie Wojewódzkiego Samodzielnego Psychiatrycznego Zespołu Publicznych Zakładów Opieki Zdrowotnej im. prof. dr Jana Mazurkiewicza w Pruszkowie. Pawilon jest obiektem zabytkowym znajdującym się w rejestrze zabytków Konserwatora Wojewódzkiego, w związku z powyższym podlega specjalnej ochronie określonej specjalnymi przepisami odnośnie przeprowadzania wszelkich robót budowlanych w obiektach architektury zabytkowej. Według dokumentacji archiwalnej w początkowym okresie szpital był budowany w stylu eklektycznym, m.in. neogotyckim (kaplica katolicka), ormiańskim (cerkiew) i charakterystycznym dla drugiej połowy XIX wieku stylu architektury klinkierowej (pawilony pacjentów). W okresie dwudziestolecia międzywojennego szpital rozbudowano w stylu art déco, zgodnie z koncepcją miasta - ogrodu i polskim stylem architektury dworskowej. Budynki charakteryzują się elewacjami z czerwonej ceramicznej cegły

z wieloma elementami zdobniczymi jak: pilastry, gzymsy, opaski okienne reliefowe fryzy, cokoły, balustrady schodów, również kominy ponad dachem są wykonane jako elementy zdobnicze.

Budynek jest wolnostojący, całkowicie podpiwniczony, wykonany w technologii tradycyjnej. Ściany konstrukcyjne wewnętrzne i zewnętrzne wykonano z cegły pełnej ceramicznej na zaprawie wapiennej. Grubość ścian zewnętrznych jest zróżnicowana i wynosi: w poziomie piwnic 78 cm, w poziomie I i II. kondygnacji od 38 do 65 cm łącznie z tynkiem wewnętrznym. Ściany zewnętrzne oblicowane są cegłą pełną ceramiczną glazurowaną o wymiarach 27x12x7-9 cm [6,7].

Elewacje posiadają gzymsy górne, międzypiętrowe i podokienne. Pionowymi akcentami są ryzality biegnące przez całą wysokość budynku od cokołu, aż do gzymsu górnego. Otwory okienne i drzwiowe obramowane są opaską i przesklepione odcinkowo (Rys. 1. i Rys. 2).



Rys. 1. Jeden z segmentów badanego obiektu – elewacja południowa [6].



Rys. 2. Widok na S-W część obiektu - ubytki cegieł w ścianie piwnicy spowodowane uszkodzeniami mrozowymi i obecnością soli rozpuszczalnych [6].

2.2. Badana przegroda

Badania pilotażowe wykonano w lipcu 2010 roku na północnym murze zewnętrznym z cegły ceramicznej pełnej (Rys. 3). Powtórnych pomiarów dokonano w listopadzie 2010 roku w celu wykazania ewentualnych zmian wilgotności muru w okresie jesienno-zimowym. Do badań zakwalifikowano fragment muru charakteryzujący się podwyższoną zawartością wody w wyniku podciągania kapilarnego. Całkowita powierzchnia pomiarowa wynosiła $3,06\text{m}^2$ (2,0m szerokość, 1,53m wysokość). Pomiary wykonano na każdym poziomym rzędzie cegieł z odstępem 25cm. Miejsca w których przykładano sondę pomiarową TDR wyspecyfikowano w Tabeli 1 i Tabeli 2, przy analizie uzyskanych wyników, w rozdziale 3 artykułu.



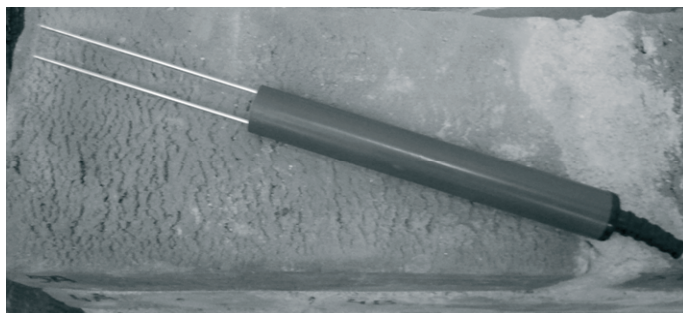
Rys. 3. Elewacja N i E obiektu – miejsce badania wilgotności muru metodą TDR.

2.3. Zastosowana technika pomiarowa

Do pomiarów zastosowano technikę pomiarową TDR opartą o pomiar przenikalności dielektrycznej, charakteryzującą zachowanie się cząsteczek materii przyłożeniu zewnętrznego, zmiennego pola elektrycznego [8]. Pomiar realizowany jest za pomocą miernika (Rys. 4) generującego impuls propagujący wzdłuż kabla koncentrycznego o określonej, stałej wartości impedancji. W przypadku tradycyjnych konstrukcji czujników przewód koncentryczny zakończony jest sondą (Rys. 5) o określonej długości prętach pomiarowych, umieszczanych wewnątrz struktury porowatego materiału. Szczegółowe informacje na temat funkcjonowania techniki TDR przedstawiono w następujących opracowaniach [8, 9, 10, 11].



Rys. 4. Przenośny miernik TDR (FOM - Field Operated Multimeter).



Rys. 5. Typowa, inwazyjna sonda TDR (Easy Test/ Lublin) do pomiarów terenowych (FP/mts).

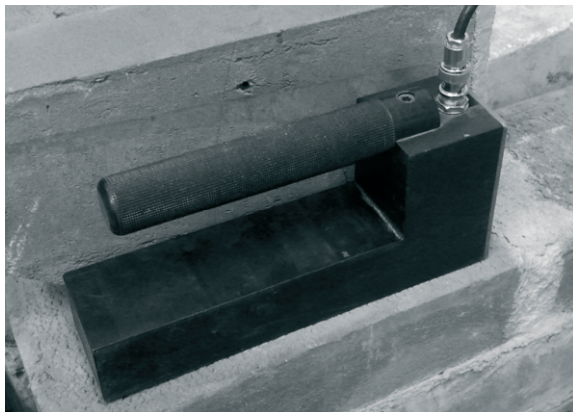
Na wartość przenikalności dielektrycznej odczytanej przez miernik wpływa przenikalność fazy stałej wahająca się w przedziale od ok. 4 do 10, przenikalność dielektryczna powietrza równa 1 oraz przenikalność dielektryczna wody równa 80 [8, 12], której wysoka wartość ma decydujący wpływ na wartość tego parametru dla ośrodka porowatego. Odczytana przez miernik TDR przenikalność dielektryczna jest wypadkową przenikalności wszystkich faz i może być przeliczona na wilgotność za pomocą formuł kalibracyjnych fizycznych oraz empirycznych [13, 14, 15, 16]. Do najczęściej stosowanych modeli uzależniających wilgotność ośrodka od odczytanej za pomocą miernika TDR zaliczamy formułę Topp'a [14] oraz Malickiego [15]. Formuły te zostały wyprowadzone dla ośrodków gruntowych, jednak z powodzeniem mogą być stosowane do szacowania wilgotności materiałów budowlanych, w przypadku materiałów możliwych do zbadania za pomocą sond inwazyjnych (Rys. 5).

Ze względu na zwartą strukturę większości materiałów budowlanych, w porównaniu do ośrodków gruntowych, powstała konieczność modyfikacji tradycyjnej konstrukcji sond pomiarowych pod kątem badań nieinwazyjnych. W tym celu opracowano sondę powierzchniową (Rys. 6), której zastosowanie nie wymaga wewnętrznego montażu prętów pomiarowych. Dzięki powyższemu, możliwe jest szybsze prowadzenie badań laboratoryjnych, a także, co było praktycznie niemożliwe w przypadku sond inwazyjnych prowadzenie badań terenowych. Dodatkowym, istotnym atutem wynikającym z przyjętej koncepcji sondy powierzchniowej był brak konieczności wykonywania odwiertów do montażu prętów sondy TDR, który to zabieg w znacznym stopniu wpływał na strukturę i właściwości ośrodka, tym samym mógł fałszować wynik pomiaru.

Koncepcja sondy powierzchniowej TDR zastosowanej w pomiarach została bardziej szczegółowo omówiona w następujących pozycjach literatury polskiej oraz światowej [17, 18, 19]. Rysunek 6 przedstawia fotografię prototypowej sondy powierzchniowej TDR, którą zastosowano w omawianym eksperymencie.

Zestaw pomiarowy zastosowany w pomiarach składał się z następujących narzędzi:

- przenośne urządzenie pomiarowe (Rys. 4) TDR - FOM (Field Operated Multi-meter – Easy Test/ Lublin),
- komputer przenośny typu laptop (jako stacja sterująca),
- kabel koncentryczny łączący sondę z miernikiem,
- sonda powierzchniowa TDR (według własnego opracowania, Rys. 6).



Rys. 6. Sonda powierzchniowa TDR wykorzystana na potrzeby omawianego eksperymentu, opracowanie własne.

Do sterowania miernikiem i gromadzenia danych zastosowano opracowaną na potrzeby prototypowej sondy aplikację do pomiarów reflektometrycznych z wykorzystaniem sond powierzchniowych TDR Reflectometer v.1.0 [20]. W celu realizacji zaplanowanych badań sondę pomiarową TDR przykładano w określonych punktach siatki (cegłach) w równomierny sposób, na całej powierzchni badanego muru. W wyniku przeprowadzonego pomiaru, aplikacja sterująca odbierała od miernika tzw. krzywą reflektometryczną (w postaci sekwencji napięć), na podstawie której obliczała wartość przenikalności dielektrycznej, a następnie wartość wilgotności muru w obszarze przylegania sondy powierzchniowej TDR.

Wyznaczenie wartości wilgotności materiału przebiegało w oparciu odpowiednią formułę kalibracyjną uzyskaną na podstawie uprzednich badań kalibracyjnych przedstawionych w następujących pozycjach literatury [20, 21].

3. Analiza wyników

Analiza reflektogramów przeprowadzana była automatycznie przez wcześniej wspomnianą aplikację TDR Reflectometer v.1.0 jednocześnie obsługującą miernik TDR. Uzyskane wyniki badań przedstawiono w postaci tabelaryzowanej. Tabele 1 oraz 2 ukazują wilgotności masowe przeliczone przez program obsługujący miernik na podstawie odczytanych wartości efektywnych przenikalności dielektrycznych. Jak to wspomniano wcześniej, badania prowadzono w okresie letnim i późno-jesiennym, stąd uzyskane dane przedstawiono w dwóch tabelach.

Stabelaryzowane powyżej dane przedstawiono graficznie na Rysunkach 7 w postaci map wilgotności dla obydwu sesji pomiarowych. Wykresy przedstawiono z rozdzielczością 0,5% wilgotności masowej, wynikającą z rozdzielczości zastosowanego urządzenia i zastosowanego w eksperymencie czujnika.

Z uzyskanych odczytów wynika, że badana przegroda budynku Szpitala w Pruszkowie charakteryzuje się dużym stopniem wilgotności. Maksymalne odczytane wartości wilgotności przekraczają 9% wilgotności masowej, szczególnie w dolnych jej warstwach, bardziej podatnych na wpływ wód pochodzących z gruntu. Wraz z wysokością wartość odczytanej przez zestaw TDR wilgotności

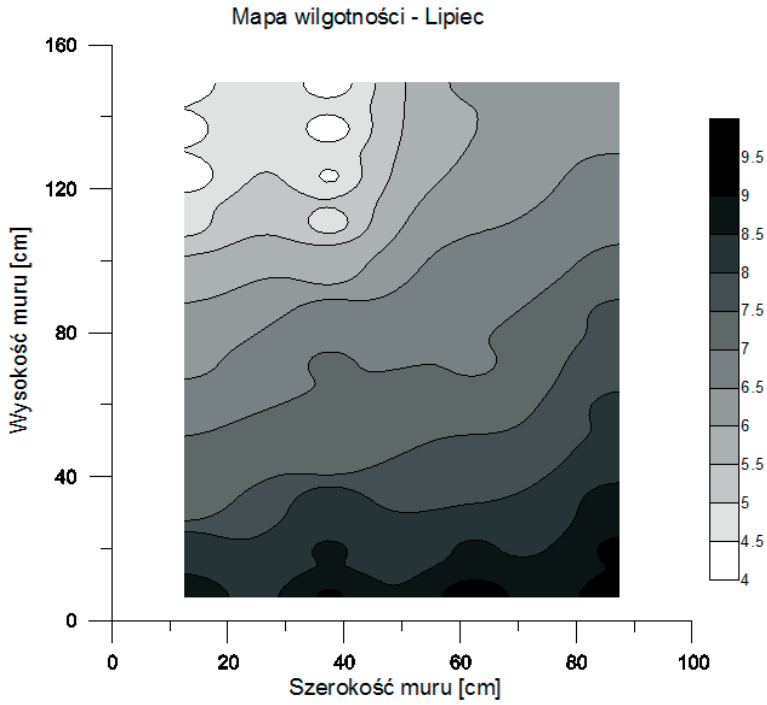
maleje, co potwierdza fakt występowania zjawiska podciągania kapilarnego w przebadanej przegrodzie. Należy zauważyć, iż pora roku (lato – jesień) nie ma znaczącego wpływu na odczytane wartości, chociaż w okresie letnim na wysokości powyżej 1m odczytane wilgotności są mniejsze i oscylują w okolicach 1% wilgotności masowej. Może być to wywołane wyższymi temperaturami powietrza zewnętrznego, a tym samym zintensyfikowanym procesem osuszania muru.

Tabela 1. Odczyty wilgotności za pomocą powierzchniowej sondy TDR w miesiącu lipcu.

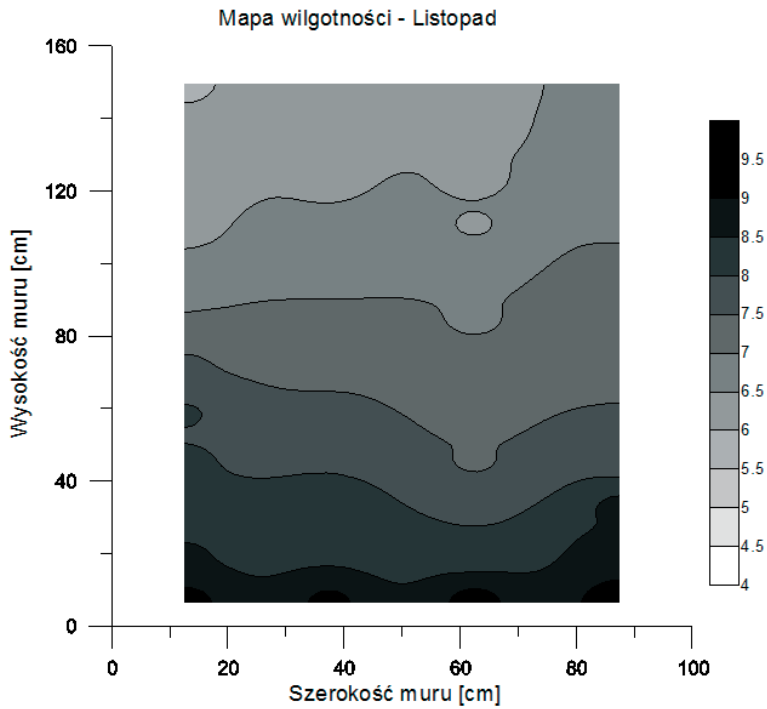
Wysokość [cm]	Odczytana wilgotność [% _{mass.}]			
	12,5 [cm]	37,5 [cm]	62,5 [cm]	87,5 [cm]
149,5	4,2	4,2	6,1	6,3
136,5	4,3	4,2	6,0	6,2
123,5	4,0	4,4	6,0	6,8
110,5	4,7	4,7	6,5	7,0
97,5	5,5	5,7	6,9	7,2
84,5	6,0	6,8	7,0	7,8
71,5	6,3	7,1	6,9	8,0
58,5	6,9	7,0	7,1	8,3
45,5	7,0	7,1	7,8	8,3
32,5	7,1	8,5	8,0	9,0
19,5	8,5	8,6	8,6	9,2
6,5	9,0	9,1	9,5	9,5

Tabela 2. Odczyty wilgotności za pomocą powierzchniowej sondy TDR w miesiącu listopadzie.

Wysokość [cm]	Odczytana wilgotność [% _{mass.}]			
	12,5 [cm]	37,5 [cm]	62,5 [cm]	87,5 [cm]
149,5	5,8	6,0	6,2	6,5
136,5	6,0	6,1	6,2	6,5
123,5	6,0	6,3	6,3	7,0
110,5	6,2	6,5	6,4	6,9
97,5	6,5	6,8	6,9	7,3
84,5	7,0	7,1	6,9	7,3
71,5	7,6	7,3	7,0	7,4
58,5	8,1	7,7	7,2	7,5
45,5	8,1	8,0	7,4	7,9
32,5	8,2	8,5	7,8	8,7
19,5	8,6	8,5	8,4	9,0
6,5	9,3	9,2	9,3	9,5



Rys. 7. Mapy wilgotności badanej przegrody w miesiącu lipcu 2010.



Rys. 8. Mapy wilgotności badanej przegrody w miesiącu listopadzie 2010.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdzają skuteczność detekcji wilgoci w murach z cegły ceramicznej pełnej za pomocą techniki TDR. Zastosowanie proponowanej w artykule techniki pomiarowej umożliwia szacowanie wilgotności w warunkach terenowych, do czego niezbędna jest modyfikacja sondy pomiarowej według informacji przedstawionych w rozdziale 2.3 niniejszego artykułu.

Do podstawowych atutów proponowanej techniki należą:

- bezinwazyjny charakter pomiaru, nie wymagający poboru próbek, dzięki czemu możliwe jest skuteczne jej zastosowanie w obiektach zabytkowych,
- szybkość pomiaru, odczyt wilgotności możliwy jest do uzyskania niemal automatycznie,
- dodatkową zaletą wyróżniającą przedstawioną w pracy technikę pomiarową od innych metod elektrycznych (oporowej lub pojemnościowej) jest jej niska wrażliwość na zasolenie ośrodka, co ma istotny wpływ na odczyty wilgotności w obiektach dotkniętych zjawiskiem podciągania kapilarnego wraz z transportem soli wymywanych z gruntu. Niewrażliwość prezentowanej techniki na zasolenie została dokładniej omówiona w następujących pozycjach [22, 23],
- wysoka rozdzielczość pomiaru, która w przypadku zastosowanego miernika, sondy pomiarowej oraz materiału (cegły ceramicznej pełnej) wynosi około 0,5% masowego, a jej wartość zależy od konstrukcji czujnika oraz badanego ośrodka.

W rezultacie przeprowadzonych badań za pomocą techniki reflektometrycznej potwierdzono fakt występowania zjawiska podciągania kapilarnego w wybranym murze zewnętrznym zabytkowego Szpitala zlokalizowanego na terenie Wojewódzkiego Samodzielnego Psychiatrycznego Zespołu Publicznych Zakładów Opieki Zdrowotnej im. prof. dr Jana Mazurkiewicza w Pruszkowie.

Literatura

- [1] Jasięńko J., Matkowski Z., Bednarz Ł. *Problemy w projektowaniu zabezpieczeń przeciwwilgociowych na przykładzie zabytkowego kościoła św. Jakuba w Nysie*. X Jubileuszowa konferencja naukowo – techniczna REMO 2002: *Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych*. Wrocław – Zamek Kliczków, 5 – 7.12.2002.
- [2] Garecki M. *Znaczenie diagnostyki w robotach izolacyjno – renowacyjnych budynków poddanych działaniu wilgoci*. *Renowacje i Zabytki* 4 (2005) 127 – 137.
- [3] Suchorab Z., Barnat-Hunek D. *Sondy powierzchniowe TDR w bezinwazyjnych pomiarach wilgoci obiektów zabytkowych. Karta Krakowska 2000 10 lat później*. Monografia 400 Seria Architektura. Politechnika Krakowska, Kraków (2011) 283-293.
- [4] Suchorab Z., Pavlík Z., Černý R. *Zastosowanie techniki pomiarowej TDR w badaniach terenowych przy wykorzystaniu sond powierzchniowych*. *Budownictwo i Architektura* 8 (2011) 97-106.
- [5] Suchorab Z. *Pomiary terenowe wilgotności murów z wykorzystaniem powierzchniowych sond TDR*. *Materiały Budowlane - technologie - rynek – wykonawstwo* 4(464) (2011) 22-24.
- [6] Hunek R., Barnat – Hunek D., Mróz R. *Ekspertyza techniczna budynku „Pawilon I” dla potrzeb projektu modernizacji obiektu w ramach rewitalizacji Szpitala Tworowskiego*. Centrum Techniki Budownictwa Komunalnego Ekotechnika Sp. z o.o. Warszawa (2007).

- [7] Barnat-Hunek D., Iwanek A. *Badania nad hydrofobizacją zniszczonych murów ceglanych na przykładzie Pawilonu i Szpitala Tworowskiego w Pruszkowie*. Str. 146 – 154. Wiadomości Konserwatorskie 28/2010.
- [8] Skierucha W., Malicki M.A. *TDR method for the measurement of water content and salinity of porous media*. Institute of Agrophysics Polish Academy of Sciences Lublin, 2004.
- [9] Černý, R. *Time domain reflectometry method and its application for measuring moisture content in porous materials: A review*. Measurement 42(3) (2009) 329-336.
- [10] Hansen E.J., Hansen M.H. *TDR measurement of moisture content in aerated concrete*. Building Physics, 6-th Nordic Symposium, (2002) 381-388.
- [11] Suchorab Z., Widomski M., Łagód G., Sobczuk H. *Capillary rise phenomenon in aerated concrete*. Monitoring and simulations, Proceedings of ECOpole 4(2) (2010) 285-290.
- [12] O'Connor, K.M., Dowding, C.H. *GeoMeasurements by pulsing cables and probes*, CRC Press, 1999.
- [13] De Loor G.P. *Dielectric properties of heterogeneous mixtures containing water*, J. Microwave Power 3(2) (1968) 67-73.
- [14] Topp G.C., Davis J.L., Annan A.P. *Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines*. Water Resour. Res. 16 (1980) 574-582.
- [15] Malicki M.A., Plagge R., Roth C.H. *Improving the calibration of dielectric TDR soil moisture determination taking into account the solid soil*. Eur. J. Soil Sci. 47 (1996) 357–366.
- [16] Suchorab Z., Sobczuk H. *Dielectric properties of building materials*, Thermophysics 2009, Conference Proceedings, Valtice 29-30.10.2009, Czech Republic, (2009) 138-146.
- [17] Wraith J.M., Robinson D.A., Jones S.B., Long D.S. *Spatially characterizing apparent electrical conductivity and water content of surface soils with time domain reflectometry*. Computers and Electronics in Agriculture 46 (2005) 239–261.
- [18] Sobczuk H. *Sonda do pomiaru wilgotności ośrodków porowatych, zwłaszcza materiałów budowlanych*, patent nr 198492 B1 z dnia 30.06.2008.
- [19] Suchorab Z., Zarzeka-Raczkowska E. *Time domain reflectometry probes for measurement of moisture in building materials. Energy-saving and ecological materials, installations and technology in construction* Ed. By Fic S. (2012) 76-91.
- [20] Suchorab Z., Sobczuk H., Cerny R., Pavlik Z., Plagge R. *Noninvasive moisture measurement of building materials using TDR method*. Proceedings of the 8th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances (ISEMA 2009) Helsinki: Helsinki University of Technology, Finland (2009) 147-155.
- [21] Sobczuk H., Suchorab Z. *Calibration of TDR instruments for moisture measurement of serated concrete*. w: Skierucha, W. and Walczak, T. (eds.) *Monitoring and modelling the properties of soil as porous medium*. Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin (2005) 156–165.
- [22] Suchorab Z., Deneka B., Łagód G., Sobczuk H. *Możliwość pomiaru zasolenia w materiałach budowlanych za pomocą metody TDR*, Society of Ecological Chemistry and Engineering, Proceedings of EcOpole 3(1) (2009) 199-205.
- [23] Pavlík Z., Mihulka J., Pavlíková M. *Effect of salt concentration on the applicability of TDR method for moisture content measurement*. in Porous Materials. Proceedings of the 8th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances (ISEMA 2009). Helsinki: Helsinki University of Technology, Finland (2009) 372-376.

Valuation of the capillary uptake phenomenon in the wall of the historic building using the surface TDR probe

Zbigniew Suchorab¹, Stanisław Fic², Danuta Barnat-Hunek³

¹ Department of Water Supply and Wastewater Treatment, Faculty of Environment Engineering, Lublin University of Technology, e-mail: z.suchorab@pollub.pl

² Department of General Construction of Buildings, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: s.fic@pollub.pl

³ Department of General Construction of Buildings, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: d.barnat-hunek@pollub.pl

Abstract: Article discusses measuring potential of the TDR (Time Domain Reflectometry) technique for terrain measurement of moisture in the masonries of the historical buildings. For the measurements it was applied modified TDR probe which enables noninvasive moisture detection in building materials, thus enables its application for *in-situ* measurements, especially in old, historical objects. Terrain measurements were realized on the external masonry made of red ceramic brick, being the part of the historical hospital located on the area of the “Wojewódzki Samodzielny Psychiatryczny Zespół Publicznych Zakładów Opieki Zdrowotnej im. prof. dr Jana Mazurkiewicza” in Pruszków. The masonry is stricken with capillary rise phenomenon by the water coming from the ground, which is also visible by visual observation. Conducted measurement enabled quantitative estimation of the phenomenon which threatens to the discussed object. Within the research, reflectometric measurements were conducted using the prototype surface TDR probes. Measurements were repeated to verify moisture changes in time. First series of measurement was conducted in summertime, in July 2010. The second one was conducted in November of the same year. Then, with the obtained data there were drawn moisture maps of the masonry, which indicated horizontal and vertical variations of moisture and interpretation of the obtained results enabled to confirm capillary uptake process in the examined masonry.

Keywords: masonry moisture, moisture detection, capillary uptake, TDR technique.

Wykorzystanie skaningowego mikroskopu elektronowego do badań malatury z kościoła w Radcze

Beata Klimek

Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: b.klimek@pollub.pl

Streszczenie: Jednym z głównych zadań w badaniach obiektów zabytkowych jest konieczność wskazania materiałów oryginalnych i późniejszych uzupełnień, które często także mają charakter zabytkowy. Kolejne zadanie dotyczy określenia składu i budowy historycznych materiałów, rozpoznania techniki wykonania pierwotnego opracowania malarskiego. W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań zabytkowej malatury. Wykorzystano metodę badań w mikroobszarze z zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego sprzężonego z energo-dyspersyjną mikrosondą elektronową EDS (SEM-EDS).

Słowa kluczowe: kościół w Radczu, Wiktor Syczugow, badania SEM-EDS.

1. Wprowadzenie

Radcze to mała wieś położona w województwie lubelskim, w powiecie parczewskim, w gminie Milanów. Kościół św. Mikołaja w Radczu wzniesiono jako prawosławną cerkiew parafialną pod wezwaniem Świętych Praksedy i Mikołaja na przełomie XIX i XX w. (ukończenie budowy w 1905 r.), według projektu Wiktora Syczugowa [1].

Wiktor Iwanowicz Syczugow absolwent Carskiej Akademii Sztuk Pięknych w Petersburgu był przedstawicielem stylu bizantyjsko – ruskiego [2]. Działał między innymi na terenie obecnej diecezji lubelsko–chełmskiej (ówczesnej guberni siedleckiej i częściowo lubelskiej). W latach 1887 – 1890 był odpowiedzialny za problemy architektury cerkiewnej Królestwa w kancelarii generała gubernatora warszawskiego [3]. Przypisuje się mu autorstwo dwunastu projektów murowanych cerkwi, przeznaczonych dla tego terenu. Utrzymuje się, że był autorem projektu cerkwi włodawskiej, która była by trzynastą świątynią. Projekty pochodzą głównie z lat: 1887, 1888 i 1889 [3].

W celu uzyskania „bizantyjskiego” wyrazu i tradycyjnej trójdzielnej architektury, ogólne bryły wszystkich świątyń opierały się na systemie podobnych modułów. Z reguły część centralna świątyń wznoszona była na rzucie kwadratu lub krzyża. W zależności od skali obiektu, architekt mnożył lub ograniczał liczbę fryzów i profilowanych obramień otworów, niemalże zawsze wprowadzał bonionowaną część cokołową. Całość wieńczyły na ogół dwie kopuły [3]. Oprócz Radcza (Rys.1) Syczugow opracował odrębne projekty dla Szóstki, Tyszowiec, Dratowa. Wykonał jeden wspólny projekt dla Ostrowa Lubelskiego i Łomaz, porównywalnie dla Chłopkowa i Kosyna, z tym, że projekt tych cerkwi posłużył do wybudowania

kolejnej, identycznej w Hostynnem. Były to cerkwie przeznaczone dla 350 wiernych. Te trzy cerkwie i cerkiew w Sosnowicy miały podobną bryłę architektoniczną (Sosnowicka jest jednak większa, gdyż projektowana była na 500 osób). Architekt zżęcznie rozwiązał problem wielkości cerkwi w Kobyłanach i Tarnawatce, rysując na dwóch identycznych projektach różne podziałki liniowe: dłuższą dla Kobyłan (kubatura dla 300 osób), a krótszą dla Tarnawatki (kubatura dla 400 osób). Jeden niezrealizowany projekt opracował dla Radomia [2,3]. Wymienione cerkwie w Szóstce, Tyszowcach, Dratowie, Radczu i Łomazach/Ostrowie Lubelskim wyróżniają się od pozostałych dużo bogatszym wystrojem architektonicznym i bardziej rozbudowaną bryłą [8].



Rys. 1. Projekt cerkwi w Radczu (1890-1892) [4].

2. Historia budowy

Jak głośzą ustne przekazy miejscowej ludności, fundatorem cerkwi, był bogaty kupiec i przemysłowiec – właściciel statku rybackiego i przetwórci rybnej, mieszkający na stałe w Moskwie. Po śmierci jedyne go syna, który zginął w wypadku, człowiek ten miał przekazać znaczną kwotę dla kościoła prawosławnego jako votum na budowę czterech cerkwi. Jedną z nich wzniesiono w Moskwie, trzy pozostałe w Polsce: w Radczu, Łomazach (rozebrana po 1918 r.) i w Szóstce. Przygotowania do rozpoczęcia budowy cerkwi w Radczu trwały trzy lata. Budowniczym był inżynier rosyjski, który zamówił w trzech okolicznych cegielniach cegły o różnych kształtach stosownie do przywiezionych przez niego modeli. Dodatkowo wynajął chłopów z wozami do zwożenia polnych kamieni na plac budowy. Po upływie trzech lat – (tyle bowiem trwało zwieźenie potrzebnej ilości kamieni i cegły) inżynier zjawił się w Radczu ponownie z własną ekipą budowlaną, która w ciągu jednego roku pod jego nadzorem wybudowała cerkiew [2].

W związku z trudnymi warunkami gruntowymi zastosowano bardzo ciekawe rozwiązanie fundamentów kościoła. Pod cały plan świątyni wykopano dół o przekroju olbrzymiej niecki. Ułożono w niej wszystkie zebrane w ciągu trzech lat kamienie – jeden obok drugiego, posuwając się od dna niecki ku jej górnym krawędziom. Utworzyły one warstwę pokrywającą wewnątrz niecki do poziomu terenu ziemi, dopiero na kamiennych krawędziach niecki zaczęto stawiać ściany. Budynek posadowiono na murowanej odwróconej kolebce, której konstrukcja dobrze przenosi i rozkłada zarówno obciążenia murów na grunt, jak i parcie gruntu na fundament. Cerkiew składa się z podłużnej, prostokątnej nawy zakończonej prezbiterium z dwoma bocznymi ryzalitami – tak, że całość tworzyła regularny plan krzyża. Na skrzyżowaniu jego ramion nad środkiem świątyni znajdowała się duża kopuła. Prezbiterium w kształcie wydłużonego prostokąta, przykryte kolebką, podniesione było w stosunku do nawy o dwa stopnie i doświetlone bocznymi pojedynczymi łukowymi oknami. W bryle budowli dominowała wieża z łukowymi otworami od frontu i po bokach – służąca jako dzwonnica, zwieńczona osmiobocznie, z małą kopułą na szczycie.

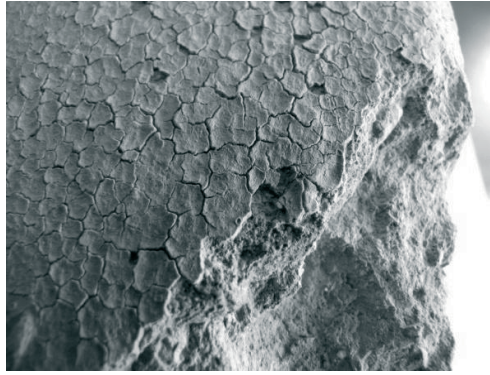
Na elewacji frontowej i elewacjach bocznych występowała charakterystyczna dla architektury cerkiewnej forma otworów okiennych w formie triforium – kompozycji trzech otworów zamkniętych łukowo, gdzie środkowy jest szerszy i wyższy od bocznych. Detale wykonane były z kształtek ceglanych, ściany – z cegły pełnej. Gzymsy wieńczące budowlę zostały otynkowane i pomalowane na biało, ceglane ściany pokryto farbą wapienną w kolorze ugru [5].

3. Badania mikroskopowe (SEM-EDS) wymalowań i cegły

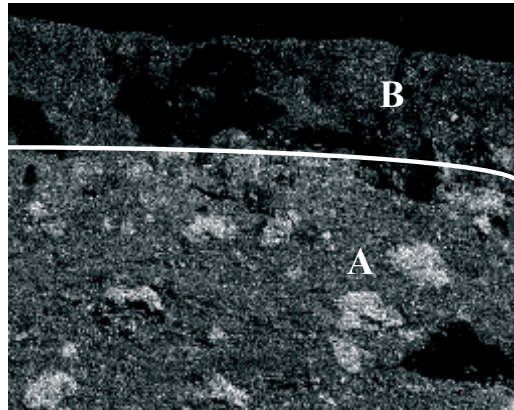
Do badań zostały pobrane trzy reprezentatywne próbki (od 5 do 15 g). Każda składa się z warstwy podłoża ceglano i wykończeniowej warstwy wymalowania, wszystkie zostały pobrane z historycznych fragmentów elewacji.

Morfologię i skład chemiczny w mikroobszarze głównych składników mineralnych cegły i wymalowania oznaczono za pomocą mikroskopu skaningowego (SEM). Wykorzystano mikroskop skaningowy FEI Quanta 250 FEG wyposażony w system analizy składu chemicznego oparty na dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego – EDS firmy EDAX. Obserwacje zostały wykonane w Laboratorium Wydziału Budownictwa i Architektury PL.

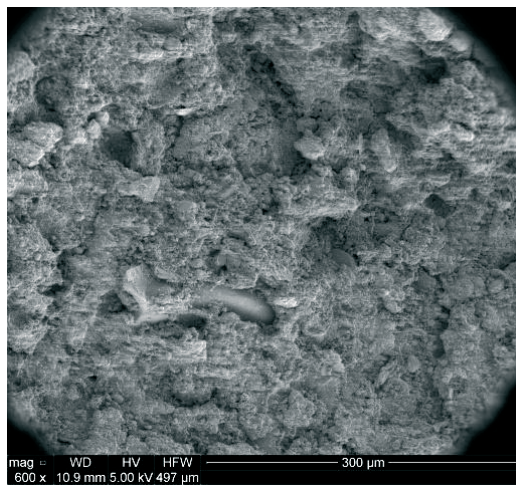
Próbki do badań SEM naklejono na holder węglowy za pomocą kleju węglowego. Obserwacje przeprowadzono na powierzchniach świeżych przełamów (bez napyłania złotem czy węglem) [5].



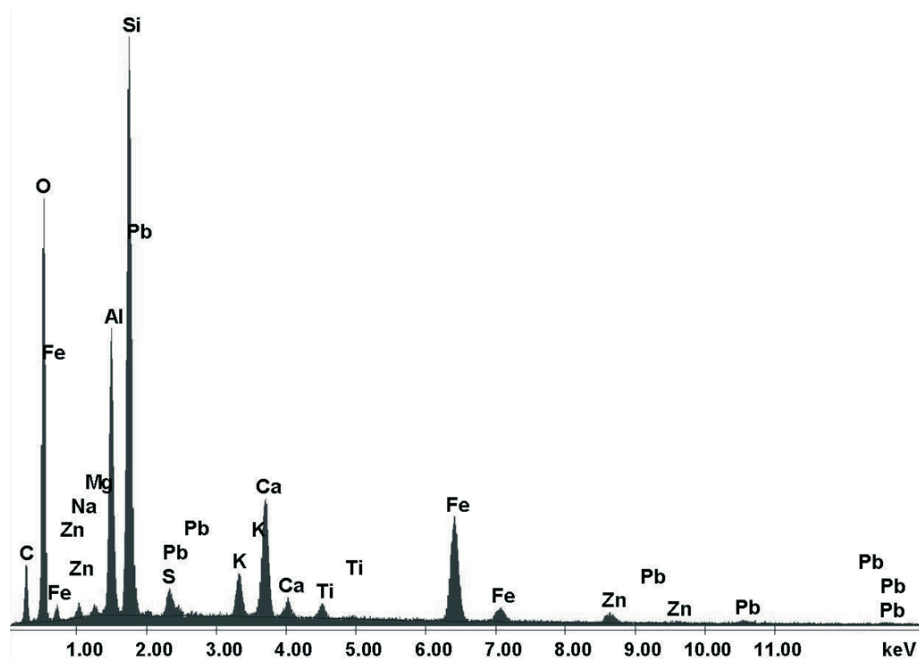
Rys. 2. Fragment cegły wraz ze spękaną powierzchnią wymalowania.



Rys. 3. Mapa rozkładu pierwiastka Si (SEM). Przekrój przez warstwę cegły (A) i malatury (B).



Rys. 4. Zdjęcie skaningowe (SEM) zewnętrznej powierzchni malatury.



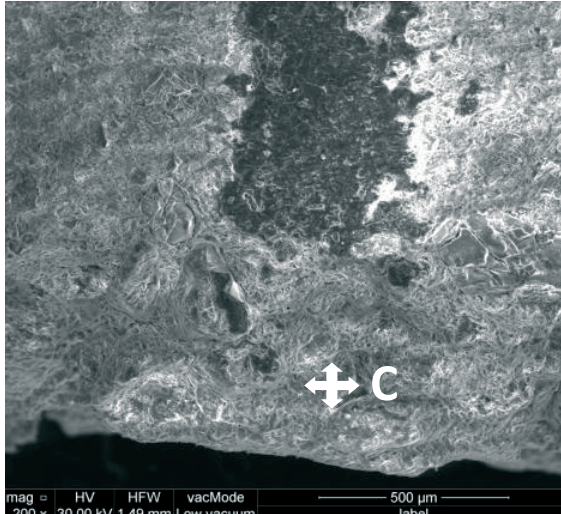
Rys. 5. Widmo składu chemicznego dla obszaru z Rys. 4.

Tabela 1. Wyniki energodispersyjnej analizy rentgenowskiej z zastosowaniem mikrosondy (SEM-EDS) w mikroobszarze widocznym na Rys. 4 (zewnętrzna powierzchnia malatury).

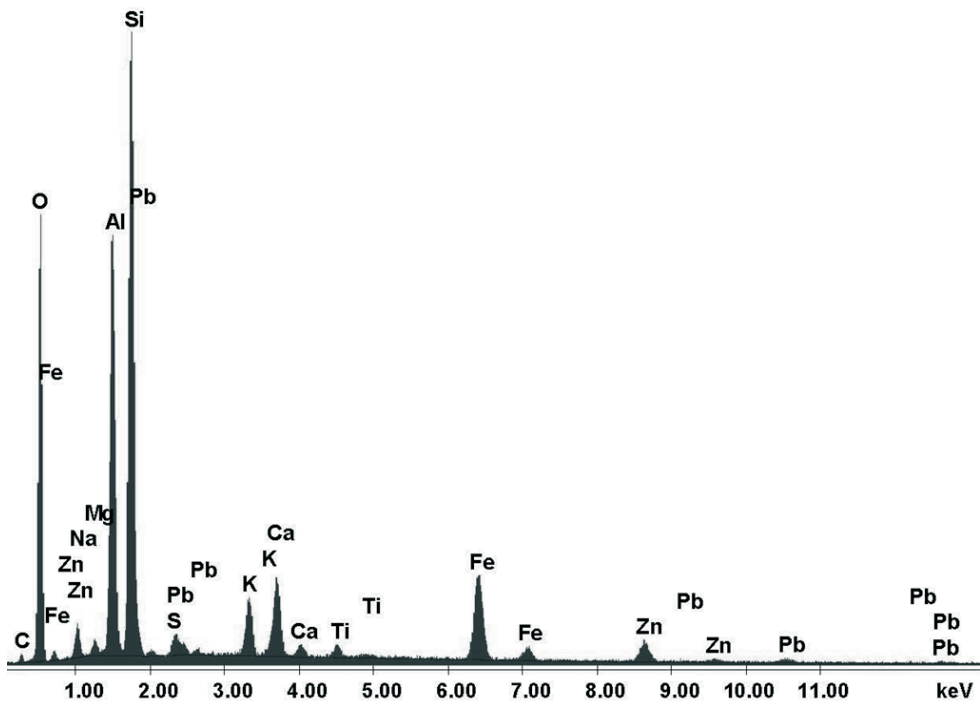
Element	Wt [%]	Mol [%]
C K	32.48	57.26
Na K	0.35	0.32
Mg K	0.58	0.51
Al K	12.09	9.49
Si K	28.94	21.82
S K	1.07	0.71
K K	2.15	1.17
Ca K	6.43	3.40
Ti K	0.87	0.39
Fe K	10.84	4.11
Zn K	1.83	0.56
Pb L	2.36	0.24
Total	100.00	100.00

Analiza EDS powierzchni malatury wykonana w obszarze widocznym na zdjęciu (Rys. 4) wykazała oprócz obecności krzemu (28,94%), znaczną zawartości węgla około (32,48%), glinu (12,09%) żelaza (10,84 %) i wapna (6,43 %). W mniejszej ilości obecne są: ołów (2,36%), potas (2,15 %) i siarka (1,07%) i cynk (1,83 %).

Wykonano badania malatury w punkcie C z powierzchni świeżego przełamu (Rys. 6) Analiza EDS w punkcie wykazała przede wszystkim znaczną ilość krzemu (42,52%), ponadto głównie glinu (20,98%) i dużą ilość żelaza (10,25%). W mniejszej ilości obecne jest wapno (5,11%), cynk (4,16%), potas (3,68%), ołów (3,67%) i znikoma zawartość siarki (0,72%).



Rys. 6. Zdjęcie skaningowe (SEM) przełamu próbki.



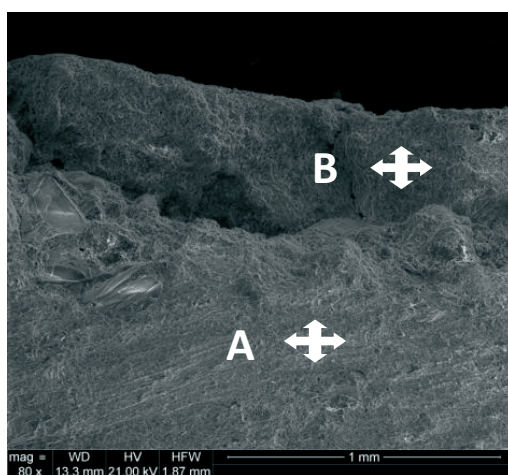
Rys. 7. Widmo składu chemicznego dla punktu C (brzeg warstwy malatury) z Rys. 6.

Tabela 2. Wyniki energodispersyjnej analizy rentgenowskiej z zastosowaniem mikrosondy (SEM-EDS) w mikroobszarze widocznym na Rys.6 (analiza z punktu C brzeg warty malatury).

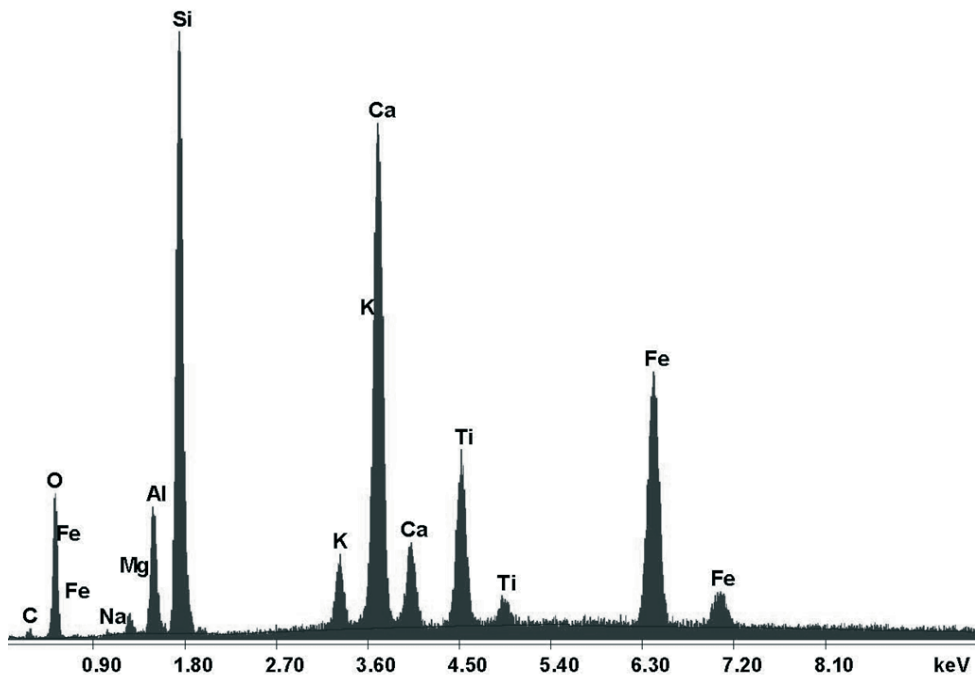
Element	Wt	Mol
	[%]	[%]
C K	6.82	16.54
Na K	0.19	0.23
Mg K	0.93	1.12
Al K	20.98	22.64
Si K	42.52	44.07
S K	0.72	0.65
K K	3.68	2.74
Ca K	5.11	3.71
Ti K	0.97	0.59
Fe K	10.25	5.34
Zn K	4.16	1.85
Pb L	3.67	0.52
Total	100.00	100.00

Obraz powierzchni świeżego przekładu (cegły i malatury) nie wykazuje spękań jest zwięzły i jednorodny z wyraźnie zarysowanymi dwiema warstwami (Rys. 8). Widoczne są drobne ostrokrawędziste ziarna kwarcu, które tkwią w masie ceglanej. Wykonana analiza EDS mikroobszaru w punkcie A (cegła) wykazała, obecność krzemionki (29,36%), w dużej ilości występuje również żelazo (23,70%), wapno (22,20%), tytan (10,10%), w znacznie mniejszej ilości obecne są glin (6,52%), potas (2,77%), magnez (1,26%).

Analiza mikroobszaru w punkcie B (malatura) wykazała również znaczną ilość krzemionki (30,76%), wapna (27,51%), glinu (14,83%) i mniejszą żelaza (5,10 %), występuje również ołów (3,74%), cynk (2,81%), potas (1,73%) i siarka (1,37%).



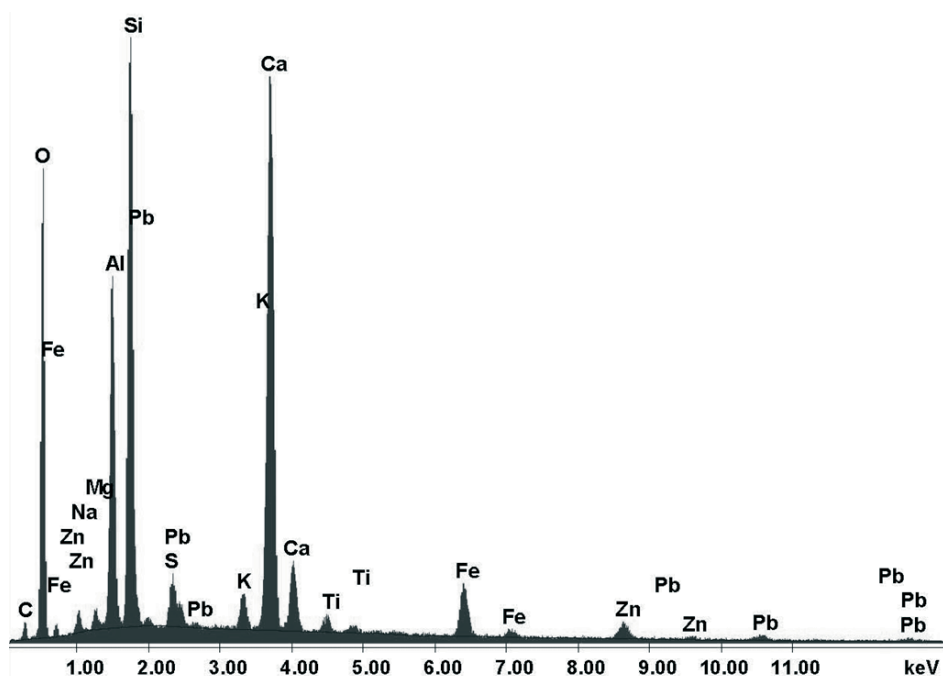
Rys. 8. Zdjęcie skaningowe (SEM) przekładu próbki widoczne warstwy cegły (A) i malatury (B).



Rys. 9. Widmo składu chemicznego dla punktu A (cegła) z Rys. 8.

Tabela. 3. Wyniki energodispersyjnej analizy rentgenowskiej z zastosowaniem mikrosondy (SEM-EDS) w mikroobszarze widocznym na Rys. 8 (analiza z punktu A - cegła).

Element	Wt [%]	Mol [%]
C K	3.83	10.89
Na K	0.27	0.40
Mg K	1.26	1.77
Al K	6.52	8.25
Si K	29.36	35.69
K K	2.77	2.42
Ca K	22.20	18.91
Ti K	10.10	7.20
Fe K	23.70	14.49
Total	100.00	100.00



Rys. 10. Widmo składu chemicznego dla punktu B (malatura) z Rys. 8.

Tabela 4. Wyniki energodispersyjnej analizy rentgenowskiej z zastosowaniem mikrosondy (SEM-EDS) w mikroobszarze widocznym na fot. 5 (analiza z punktu B - malatura).

Element	Wt	Mol
	[%]	[%]
C K	9.93	23.84
Na K	0.17	0.22
Mg K	1.05	1.25
Al K	14.83	15.85
Si K	30.76	31.57
S K	1.37	1.23
K K	1.73	1.28
Ca K	27.51	19.79
Ti K	0.98	0.59
Fe K	5.10	2.63
Zn K	2.81	1.24
Pb L	3.74	0.52
Total	100.00	100.00

3.1. Wyniki z badań (SEM-EDS)

Przeprowadzono analizę trzech próbek pochodzących z elewacji budynku. Z przedstawionych zdjęć oraz analiz EDS, wynika iż warstwa podłoża i wymalowania różnią się nieznacznie między sobą składem pierwiastkowym jak i obrazem

mikrostruktury. Zdjęcia uzyskane za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego pokazują mikrostrukturę cegły zbudowaną z różnej wielkości ziaren oraz wolnych przestrzeni między nimi. Wolne przestrzenie, widoczne na zdjęciach powstają w czasie wypalania cegły i powodują, że cegła jest materiałem porowatym. Na podstawie wyników analiz EDS dla różnych obszarów badanego materiału można stwierdzić, że głównymi pierwiastkami wchodzącymi w skład badanych próbek są: krzem, glin, a także żelazo oraz wapno. Oprócz wymienionych pierwiastków, badany materiał zawierał również niewielkie ilości potasu oraz magnezu. Stwierdzony skład pierwiastkowy jest konsekwencją składu chemicznego złóż pierwotnych glinki używanej do wyrobu cegły. Skład tlenkowy takich złóż to: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O i Na_2O . Znaczna ilość krzemu, tlenu oraz glinu wynika z obecności glinokrzemianów, a więc głównego materiału wchodzącego w skład glinki ceglanej. Obecność żelaza potwierdza występowanie w składzie cegły tlenków tego metalu, głównie Fe_2O_3 nadającego jej charakterystyczne brązowo-czerwone zabarwienie.

Równomierne występowanie prawie wszystkich pierwiastków (poza Si, Ca), (Rys. 3) w warstwie wymalowania i w warstwie cegły świadczy o podobnym składzie pierwiastkowym obu warstw. Rozkład cząstek większości pierwiastków pokrywa się ze sobą. Bezpośrednio w warstwie wymalowania widoczna jest większa ilość Ca i mniejsza ilość Si, co świadczy, że jest to osobna warstwa technologiczna, ale o podobnym składzie, co podłoże.

4. Wnioski

Elewacja świątyni w Radczu była pokryta nietypowym dla obiektów muryanych wymalowaniem, wykonanym bezpośrednio na licu ceglanym. Warstwa wymalowania była spękana i nierównomiernie przebarwiona, brak było śladów osypywania się, czy pudrowania warstwy. Nawet cienka warstwa malatury dość dobrze przylega do podłoża ceglanego. Do roku 2013, kiedy przy budynku podjęto prace konserwatorskie i naprawcze, brak było informacji na temat opracowania wymalowania.

Analizując i porównując inne świątynie zaprojektowane przez Syczugowa, żadna nie posiadała opracowania malarskiego bezpośrednio na cegle. Nie ulega wątpliwości, że elewacja już w założeniu projektowym miała być pokryta warstwami wypraw tynkarskich. Wskazuje na to sposób opracowania samego lica muru ceglanego (zastosowana cegła nie była cegłą licową) jak również zachowana dokumentacja projektowa, dostępna na mikrofilmach w Archiwum Głównym Akt Dawnych w Warszawie [4].

Obserwacje mikroskopowe i analizy dostarczonego materiału wskazują, że malatura znajdująca się na powierzchni cegły ma skład pierwiastkowy zbliżony do składu cegły. Różni się jedynie znaczną ilością kalcytu i mniejszą ilością kwarcu w warstwie wymalowania. W badaniach mikroskopowych nie natrafiono na struktury mikroorganizmów, czy pozostałości związane z krystalizującymi solami.

Nie znamy dziś przyczyny podjęcia decyzji o wykonaniu malatury, prawdopodobnie chodziło o zabezpieczenie i ujednolicenie powierzchni lica ceglanego. Warstwa o ugrowym odcieniu położona wprost na warstwę cegły, zmieniła charakter muru ceglanego. Szczegółowe rozważania na temat składu wymalowania

zostaną podjęte w odrębnej publikacji. Połączenie wiedzy z historii obiektu i badań technologicznych pozwoli na obszerniejszą interpretację wyników badań.

Literatura

- [1] Brykowski R., Smulikowska E. (red.) *Katalog zabytków sztuki w Polsce, t. VIII - województwo lubelskie, zeszyt 14 - powiat parczewski*. Instytut Sztuki Polskiej Akademii Nauk, s.11.
- [2] Seniuk B. *Prawosławne cerkwie guberni lubelskiej i siedleckiej zrealizowane według projektów arch. Wiktora Syczugowa, członka Cesarskiej Akademii Sztuk Pięknych w Petersburgu*. w: Do piękna nadprzyrodzonego. Sesja naukowa na temat rozwoju sztuki sakralnej od X do XX wieku na terenie dawnych diecezji chełmskich Kościoła rzymskokatolickiego, prawosławnego, grekokatolickiego, T I. Referaty. Red. Krystyna Mart. Chełm 2003.
- [3] Cynalewska-Kuczma P. *Architektura cerkiewna Królestwa Polskiego narzędziem integracji z Imperium Rosyjskim*. Poznań: 2004, s. 97-98.
- [4] *Dokumentacja techniczna w AGAD*, Zbiory kartograficzne, sygn. 61/1.
- [5] Motorna U. *Kościół w Radczu – rys historyczny*. [w:] *Radcze wczoraj i dziś* monografia miejscowości. (Red. ks. Grzymała Z), Radcze 2012.s. 90-91.
- [6] Klimek B. *Metody badań struktury zabytkowych zapraw budowlanych. Część I- Analiza makroskopowa, mikroskopia w świetle przechodzącym i mikroskopia skaningowa*, *Budownictwo i Architektura* 11 (2012) 113-120.
- [7] Nardini I., Zendri E., Biscontin G., Riato S., *Composition and technology of historical stuccoes coming from Grimani Palace in Venice (Italy)*. *Journal of Cultural Heritage* 8 (2007) 61-64.
- [8] Mrozek U. *Zabytkowa cerkiew w Sosnowicy. Ocena stanu technicznego i koncepcja prac naprawczych*. Praca magisterska KKZ, WBiA, PL, promotor prof. B. Szmygin. Lublin 2007.

The use of scanning electron microscopy to the study of the painting from the Church in Radcze

Beata Klimek

*Department of Historic Building Preservation, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: b.klimek@pollub.pl*

Abstract: One of the main tasks in the study of historic buildings is the need to identify the original materials and extensions, which often have historic character. The next task concerns the determination of the composition and structure of the historical, diagnosis technique to develop original paint. The article presents the preliminary results of paintings. Methods were used with the scanning electron microscope was equipped with an energy dispersive X-ray spectrometer (SEM-EDS).

Keywords: church in Radcze, the investigations of the polychromy, SEM-EDS.

Wykorzystanie audytu oraz świadectwa energetycznego budynku przy zarządzaniu nieruchomością

Anna Życzyńska

*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: a.zyczynska@pollub.pl*

Streszczenie: W artykule przedstawiono podstawowe zasady obowiązujące przy sporządzaniu audytów i świadectw energetycznych budynków oraz wskazano zasadnicze różnice występujące pomiędzy dokumentami. Omówiono zasadność wykonywania audytu energetycznego i jego wykorzystanie przy pozyskiwaniu wsparcia finansowego oraz przy prowadzeniu inwestycji termomodernizacyjnych. Podano obecnie obowiązujący standard energetyczny dla budynków nowych i przebudowywanych. Omówiono rolę i obowiązki zarządcy nieruchomości w tym zakresie. Przywołano akty prawne związane z wykonywaniem tego typu pracowań.

Słowa kluczowe: audyt energetyczny budynku, charakterystyka energetyczna budynku, termomodernizacja, zarządzanie nieruchomością.

1. Wprowadzenie

W dniu 16 lutego 2005 r. wszedł w życie ratyfikowany przez 141 krajów tzw. Protokół z Kioto. Protokół ten, pomimo występujących kontrowersji oraz konieczności wprowadzania poprawek i uzgodnień międzynarodowych, jest uznawany za pierwszy formalny dokument dotyczący wspólnych działań dotyczących realizacji jednego z nadrzędnych celów jakim jest ochrona środowiska. Polska od początku znajdowała się w grupie tych państw, dlatego aby osiągnąć ten strategiczny cel konieczne było i jest dobre przygotowanie i wdrażanie aktów prawnych w postaci ustaw oraz rozporządzeń wykonawczych. Jednym z pierwszych aktów prawnych, który przyczynił się do podejmowania działań związanych z ograniczeniem zużycia energii na drodze szeroko pojętej termomodernizacji budynków istniejących, a także stanowił mechanizm wsparcia finansowego, w postaci premii termomodernizacyjnej pochodzącej z budżetu Państwa Polskiego była Ustawa o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych z dnia 18.12.1998 r. I chociaż zagadnienia audytu energetycznego były omawiane już przed 1998 r. to jednak po raz pierwszy w drodze rozporządzeń wykonawczych z 30.04.1999 r. sformalizowano procedury oraz opracowano wytyczne do sporządzania i weryfikacji audytów energetycznych budynków, źródeł ciepła i sieci ciepłowniczych. Obecnie po zmianach obowiązują [2], [3], [10].

Kilka lat później, ze względu na przynależność Polski do UE powstała konieczność wdrożenia Dyrektywy 2002/91/EC „Charakterystyka energetyczna budynków”. Dyrektywa zobowiązywała do określenia minimum standardu energetycznego

dla budynków, wprowadzenia jednolitej metodologii wyznaczania zintegrowanej charakterystyki energetycznej budynku, opracowania wzorów świadectw energetycznych. Powstał również obowiązek prowadzenia okresowej kontroli kotłów i instalacji klimatyzacyjnych pod względem nie tylko ich stanu technicznego, ale przede wszystkim sprawności wytwarzania energii oraz poprawności doboru wielkości mocy urządzeń do potrzeb budynku. Ostateczny termin wdrożenia zapisów dyrektywy do prawodawstwa polskiego został wyznaczony na dzień 1 stycznia 2009 r. Pomimo wielu dyskusji oraz kontrowersyjnych opinii, Polska wywiązała się w terminie z tego obowiązku poprzez wprowadzenie zmian w Ustawie Prawo budowlane [9] oraz w rozporządzeniach wykonawczych do tej ustawy [5], [8] jak również poprzez wprowadzenie rozporządzenia [4]. W celu wdrożenia dyrektywy 2006/32/WE w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych, w 2011 r. powstała Ustawa o efektywności energetycznej [12], natomiast w 2012 r. rozporządzenie w sprawie sporządzania audytu efektywności energetycznej [7].

2. Audyt energetyczny budynku

Audyt jest opracowaniem określającym zakres i parametry techniczne oraz ekonomiczne przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, ze wskazaniem rozwiązania optymalnego, w szczególności z punktu widzenia kosztów realizacji tego przedsięwzięcia oraz oszczędności energii. Audyt energetyczny wykonany rzetelnie i według obowiązujących standardów stanowi ocenę systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody w budynku, ocenę struktury budowlanej pod względem izolacyjności cieplnej oraz opisuje sposób rozliczania kosztów eksploatacyjnych związanych ze zużyciem ciepła w budynku, jak również określa szacunkowe koszty inwestycji i jej opłacalność. Ponad to zawiera uzasadnione, konkretne rozwiązania techniczne będące założeniami do projektu budowlanego. Może stanowić podstawę do określenia wysokości mocy zamawianej dla potrzeb ogrzewania i przygotowania ciepłej wody.

Audyt jest elementem procedury przygotowawczej inwestycji, wykorzystuje się go przy podejmowaniu decyzji o rozpoczęciu i zakresie prac termomodernizacyjnych, stanowi opracowanie traktujące termomodernizację w sposób kompleksowy. Wymagany jest przy pozyskiwaniu środków finansowych w postaci premii termomodernizacyjnej przyznawanej przez BGK (Bank Gospodarstwa Krajowego), środków NFOŚiGW (Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej), WFOŚiGW (Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej), funduszy unijnych i innych wspierających inwestycje prowadzące do ograniczenia zużycia energii, a dzięki temu do uzyskiwania efektów ekologicznych między innymi w postaci ograniczenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery.

Zaproponowane w audycie działania powinny przynosić wymierne efekty w postaci spadku zużycia energii, ograniczenia kosztów eksploatacyjnych, a także efekty niewymierne w postaci doprowadzenia budynku do wymagań przepisów techniczno-budowlanych, poprawy parametrów komfortu cieplnego, zwiększenia walorów estetycznych oraz poprawy warunków eksploatacji i użytkowania budynku wraz z jego wyposażeniem.

Ze względu na zakres wyróżnia się tzw. audyty wstępne oraz szczegółowe nazywane często pełnymi. W audycie wstępnym w sposób ogólny stwierdza się lub

nie zasadność prowadzenia termomodernizacji bez wskazywania szczegółowych rozwiązań. Jest to dokument zbyt ogólny by na jego podstawie można było ubiegać się o jakąkolwiek formę dofinansowania. Natomiast audyt szczegółowy (niezbędny przy pozyskiwaniu środków finansowych) powinien być wykonany zgodnie z obowiązującymi przepisami [2] i zawartym w nich algorytmem obliczeń. Powinien zawierać wg [2]: stronę tytułową, kartę audytu, wykaz dokumentów i danych źródłowych, ocenę stanu technicznego budynku w zakresie istotnym dla termomodernizacji, wykaz usprawnień wskazanych do oceny efektywności, kolejne kroki algorytmu obliczeniowego, opis techniczny oraz charakterystykę ekonomiczną przedsięwzięcia przewidzianego do realizacji.

Algorytm obliczeń opiera się na następujących zasadach: analizuje się stan budynku na dzień sporządzania opracowania, do obliczeń wykorzystuje się obowiązujące Polskie Normy; obliczenia prowadzi się dla standardowych warunków brzegowych. W analizie ekonomicznej nakłady inwestycyjne, opłaty i stawki nośników energii oraz obliczone koszty eksploatacyjne podaje się zazwyczaj w wartościach brutto. Wielkości pomierzone oraz rzeczywiste koszty eksploatacyjne służą jedynie do weryfikacji otrzymanych w audycie wyników. Podstawę szacowania kosztów inwestycyjnych mogą stanowić: kosztorysy inwestorskie, analiza rynku lokalnego, wyniki przetargów dla podobnego typu i zakresu przedsięwzięcia, informacje podane przez Inwestora, metoda kalkulacji uproszczonej.

Parametrem decydującym o kolejności prac dla wszystkich robót poza tymi, które dotyczą systemu grzewczego jest tzw. prosty czas zwrotu (SPBT). Jeżeli konieczne jest wykonanie nowego systemu grzewczego lub jego modernizacja, to bez względu na długość prostego czasu zwrotu tego działania, należy je zrealizować. Natomiast jeżeli system ogrzewania nie wymaga wprowadzenia zmian to obowiązkowo po wykonaniu budowlanych prac termomodernizacyjnych należy przeprowadzić regulację hydrauliczną instalacji grzewczej. Jest to jak najbardziej uzasadnione, gdyż przy braku sprawnego systemu grzewczego odpowiadającego w sposób automatyczny na zmieniające się dynamicznie potrzeby ciepłe budynku nie można spodziewać się rzeczywistych efektów energetycznych i ekonomicznych zbliżonych do prognozowanych. W niektórych przypadkach, przy badaniu rentowności inwestycji przynoszących oszczędności energii wykorzystuje się typowe kryteria dynamiczne jak wartość bieżąca inwestycji (NPV) oraz wewnętrzna stopa zwrotu inwestycji (IRR).

3. Świadectwo energetyczne budynku

Świadectwo charakterystyki energetycznej jest dokumentem będącym wynikiem oceny energetycznej budynku pod względem zapotrzebowania na energię niezbędną do zaspokojenia różnych potrzeb budynku związanych z jego użytkowaniem. Zawiera dane identyfikacyjne budynku, obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną, krótką charakterystykę techniczno-użytkową budynku, obliczeniowe zapotrzebowanie na energię i jego podział na poszczególne potrzeby oraz wskazanie robót umożliwiających zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową.

W Polsce do 2008 r. jednostkowe wskaźniki zapotrzebowania na energię budynku określano w odniesieniu jedynie do potrzeb energetycznych wynikających z parametrów struktury budowlanej. Standard energetyczny budynku był

opisywany poprzez maksymalne wartości współczynników przenikania ciepła lub jednostkowego zapotrzebowania budynku na ciepło użytkowe. Nie analizowano wpływu rodzaju i stanu technicznego systemu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody na wskaźnik zapotrzebowania na energię.

Obecnie w analizie energetycznej dla budynku należy określić trzy rodzaje energii bilansowane na jego granicy. Pierwszą, użytkową oblicza się jako niezbędną do zaspokojenia potrzeb budynku związanych z jego konstrukcją, funkcją i lokalizacją przy standardowych warunkach brzegowych między innymi takich jak warunki klimatyczne, parametry powietrza wewnętrznego, wymagania wentylacji pomieszczeń, zyski wewnętrzne. Drugą jako końcową, którą powinny dostarczyć systemy instalacyjne stanowiące wyposażenie techniczne tego budynku po uwzględnieniu ich sprawności. Trzecią jako nieodnawialną energię pierwotną zawartą w nośniku energii. Przy określaniu wartości wskaźników energetycznych dla budynku należy uwzględniać nie tylko energię związaną z ogrzewaniem i wentylacją, ale także przygotowaniem ciepłej wody, chłodzeniem, a dla budynków zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnych również energię niezbędną do oświetlenia wbudowanego na stałe. Dodatkowo dla każdego rodzaju budynku należy także obliczyć wielkość energii elektrycznej pomocniczej niezbędnej do utrzymania w ruchu wszystkich technicznych systemów instalacyjnych objętych analizą.

Dopiero po przeprowadzeniu pełnych obliczeń możliwe jest wyznaczenie wskaźników jednostkowych wyrażonych w $[kWh/m^2 \cdot rok]$ zapotrzebowania na energię użytkową jako E , końcową E_K i pierwotną E_P . Tak określoną charakterystykę energetyczną dla budynku ocenianego porównuje się z charakterystyką energetyczną budynku tzw. referencyjnego spełniającego wymagania minimum standardu energetycznego zawarte w warunkach technicznych. Im mniejsze wartości wskaźników energetycznych tym mniejsze zapotrzebowanie na energię i większa efektywność energetyczna [4].

Z zapisów zawartych w rozporządzeniu [4] dotyczącym metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku wynika jednoznacznie, że z uwagi na standardowe warunki brzegowe uzyskiwane wartości zapotrzebowania na energię nie pozwalają wnioskować o rzeczywistym zużyciu energii budynku.

W zależności od potrzeb można wykonać świadectwo dla budynku, lokalu mieszkalnego lub dla części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową. Obowiązek wykonania świadectwa występuje w przypadku: oddawania budynku do użytkowania, zawierania umów na podstawie których następuje przeniesienie własności budynku, lokalu mieszkalnego lub części budynku, zbycie spółdzielczego własnościowego prawa do lokalu, a także powstanie stosunku najmu. Przy przeniesieniu własności zbywca przekazuje świadectwo nabywcy, a w przypadku najmu wynajmujący udostępnia najemcy. Świadectwo lokalu można sporządzić na podstawie świadectwa budynku jeżeli lokal nie posiada własnej instalacji ogrzewczej [9].

Budynki dla których nie występuje obowiązek sporządzania świadectwa to: budynki zabytkowe, używane jako miejsca kultu i działalności religijnej, przeznaczone na czas użytkowania nie dłuższy niż 2 lata, niemieszkalne służące gospodarce rolnej, przemysłowe i gospodarcze o zapotrzebowaniu do $50 kWh/m^2/rok$, mieszkalne użytkowane nie dłużej niż 4 miesiące w roku. Niepoprawnie wykonane świadectwo jest wadą fizyczną rzeczy w rozumieniu przepisów o rękojmi za wady [9].

4. Standard energetyczny budynku

Zgodnie z zapisami w § 328 obowiązujących obecnie przepisów techniczno-budowlanych [8], „budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynku użyteczności publicznej również oświetlenia wbudowanego, powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ilość ciepła, chłodu i energii elektrycznej, potrzebnych do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem, można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie.” Wymaganie z § 328 uznaje się za spełnione jeżeli prawidłowo zostały zaprojektowane i wykonane pełne i przezroczyste przegrody budowlane oraz izolacja termiczna instalacji lub (alternatywnie) jeżeli wartość obliczonego dla budynku wskaźnika EP nie przekracza wartości granicznej określonej w warunkach technicznych. Kryterium izolacyjności cieplnej przegród stanowi współczynnik przenikania ciepła (wyrażony w W/m^2K), który np. dla ściany zewnętrznej wynosi 0,30, dla stropodachu 0,25, stropu nad nieogrzewaną piwnicą 0,45 lub 0,8 (w zależności od rodzaju budynku) natomiast dla okien 1,7 lub 1,8 albo 1,9 (w zależności od rodzaju budynku). Wymagania izolacji cieplnej przewodów instalacji zostały podane w postaci minimalnej grubości materiału izolacyjnego przy współczynniku przewodzenia ciepła 0,035 W/mK. Maksymalne wartości wskaźnika EP w zależności od współczynnika kształtu budynku (A/V_e) oraz rodzaju budynku wg [8], określone są następująco:

- budynki mieszkalne bez chłodzenia

$$\text{dla } A/V_e \leq 0,2 \quad EP_{H+W} = 73 + \Delta EP$$

$$\text{dla } 1,05 \leq A/V_e \leq 0,2 \quad EP_{H+W} = 55 + 90 \cdot (A/V_e) + \Delta EP$$

$$\text{dla } A/V_e \geq 1,05 \quad EP_{H+W} = 149,5 + \Delta EP$$

gdzie:

$$\Delta EP = \Delta EP_W = 7800 / (300 + 0,1 \cdot A_f)$$

A_f – powierzchnia użytkowa ogrzewana, A – suma powierzchni przegród oddzielających część ogrzewaną od powietrza zewnętrznego, gruntu i części nieogrzewanej, V_e – kubatura ogrzewana, A/V_e – współczynnik kształtu budynku;

- budynki mieszkalne z chłodzeniem

$$EP_{H+W+C} = EP_{H+W} + (5 + 15 \cdot A_{w,e}/A_f)(1 - 0,2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c}/A_f$$

gdzie: $A_{w,e}$ – powierzchnia ścian zewnętrznych liczona po obrysie zewnętrznym, $A_{f,c}$ – powierzchnia użytkowa chłodzona;

- budynki zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjne

$$EP_{H+W+C+L} = EP_{H+W} + (10 + 60 \cdot A_{w,e}/A_f)(1 - 0,2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c}/A_f$$

gdzie:

$$\Delta EP = \Delta EP_W + \Delta EP_L$$

$$\Delta EP_W = 1,56 \cdot 19,10 \cdot V_{cw} \cdot b_t / a_1$$

$$\Delta EP_L = 2,7 \cdot P_N \cdot t_0 / 1000$$

V_{cw} – jednostkowe dobowe zużycie wody na jednostkę odniesienia [$\text{dm}^3/\text{dobę}$], b_t – bezwymiarowy czas użytkowania systemu ciepłej wody w ciągu roku, a_f – udział powierzchni A_f na jednostkę odniesienia, P_N – referencyjna moc elektryczna [W/m^2], t_0 – czas użytkowania oświetlenia w ciągu roku [h/rok]

Dla budynku przebudowywanego dopuszcza się zwiększenie wartości EP o nie więcej niż 15% w porównaniu z wartością jak dla budynku nowego [4].

Zgodnie z [5] projekt budowlany powinien zawierać charakterystykę energetyczną budynku, w której określono bilans mocy urządzeń zużywających energię elektryczną i inne rodzaje energii, właściwości cieplne przegród budowlanych, parametry sprawności energetycznej instalacji stanowiących wyposażenie techniczne budynku oraz dane wskazujące, że przyjęte w projekcie rozwiązania spełniają wymagania dotyczące oszczędności energii zawarte w przepisach techniczno-budowlanych.

Ustawodawca od 1 stycznia 2014 r. wprowadza zmiany do przepisów techniczno-budowlanych zgodnie z rozporządzeniem [1]. Obowiązujące zmiany w okresie od 2014 do 2021 roku mają na celu znaczne zaostrzenie wymagań izolacyjności cieplnej przegród oraz znaczne zmniejszenie wartości wskaźnika EP. Zostały zaproponowane inne formuły do obliczania granicznych wartości EP i pojawia się zapis o obowiązkowym, a nie jak dotychczas, alternatywnym spełnieniu wymagania dotyczącego wskaźnika EP. Zmiany zostały przedstawione w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Wartości współczynnika przenikania ciepła dla wybranych przegród wg [1].

Rodzaj przegrody	Współczynnik przenikania ciepła [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]		
	od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2021 r.
1 ściana zewnętrzna przy $t_i \geq 16^0$	0,25	0,23	0,20
2 ściany wewnętrzne oddzielające pomieszczenia ogrzewane od nieogrzewanych	0,30	0,30	0,30
3 dachy, stropodachy, stropy nad przejazdami	0,20	0,18	0,15
4 stropy pod nieogrzewanymi poddaszami	0,20	0,18	0,15
5 stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi	0,25	0,25	0,25
6 Podłogi na gruncie	0,30	0,30	0,30
7 okna w budynkach mieszkalnych	1,3	1,1	0,9
8 drzwi zewnętrzne w budynkach mieszkalnych	1,7	1,5	1,3

Tabela 2. Wymagania w zakresie EP wg [1].

Lp.	Rodzaj zapotrzebowania na energię	Rodzaj budynku	Maksymalna wartość wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną [kWh/(m ² ·rok)]			
			od 1.01.2014r.	od 1.01.2017r.	od 1.01.2021r.	
1	do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody EP_{H+W}	mieszkalny: - jednorodzinny - wielorodzinny zamieszkania zbiorowego użyteczności publicznej: - opieki zdrowotnej - pozostałe gospodarczy, magazynowy produkcyjny	120 105 95 390 65 110	95 85 85 290 60 90	70 65 75 190 45 70	
2	do chłodzenia ΔEP_C	mieszkalny pozostałe	$\Delta EP_C = 10 \cdot A_{f,c} / A_f$		$\Delta EP_C = 5 \cdot A_{f,c} / A_f$	
3	do oświetlenia wbudowanego ΔEP_L	mieszkalny	nie dotyczy			
		pozostałe	$\Delta EP_L = 50$		$\Delta EP_L = 25$	
			czas działania do 2500 h/rok			
			$\Delta EP_L = 100$		$\Delta EP_L = 50$	
		czas działania powyżej 2500 h/rok				
4	wartość EP	budynki mieszkalne bez chłodzenia:	$EP = EP_{H+W}$			
		budynki mieszkalne z chłodzeniem:	$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C$			
		budynki pozostałe bez chłodzenia:	$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_L$			
		budynki pozostałe z chłodzeniem:	$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C + \Delta EP_L$			

gdzie:

 A_f – powierzchnia użytkowa ogrzewana $A_{f,c}$ – powierzchnia użytkowa chłodzona

5. Osoby uprawnione do wykonywania audytów energetycznych

Od osób sporządzających audyty energetyczne, od początku funkcjonowania przepisów dotyczących sposobu ich wykonywania, nie są wymagane żadne uprawnienia. Jednak już na etapie wdrażania przepisów od 1998 r. Krajowa Agencja Poszanowania Energii (KAPE) przeprowadzała kursy przygotowawcze oraz postępowanie kwalifikacyjne kończące się egzaminem dla osób, które chciały podnieść swoje kwalifikacje zawodowe. Osoba, która przeszła pozytywnie postępowanie kwalifikacyjne otrzymywała dokument w postaci „Świadectwa”, uzyskiwała status audytora energetycznego KAPE w danej specjalności (np. budynki mieszkalne i użyteczności publicznej) i była wpisywana do rejestru audytorów pod numerem podanym na tym świadectwie. Elektroniczny rejestr audytorów w postaci listy znajduje się na stronie KAPE, Ministerstwa Infrastruktury oraz Zrzeszenia Audytorów Energe-

tycznych. W celu uniknięcia przypadkowych wykonawców audytów, bardzo często w specyfikacjach przetargowych pojawia się wymóg dołączenia takiego „Świadectwa” do dokumentów składanych przez oferenta.

Należy dodać, że każdy audyt stanowiący podstawę przyznania dofinansowania do inwestycji przechodzi weryfikację zewnętrzną, formalną i merytoryczną, prowadzoną przez specjalistów z danej dziedziny.

6. Osoby uprawnione do wykonywania świadectw energetycznych

Zgodnie z obowiązującymi przepisami [9], świadectwa energetycznych mogą być sporządzane jedynie przez osoby do tego uprawnione tj. takie które: spełniły wymagania formalne wg [9] i posiadają uprawnienia budowlane w specjalności architektonicznej, konstrukcyjno-budowlanej lub instalacyjnej albo odbyły szkolenie [6] i złożyły z wynikiem pozytywnym egzamin państwowy [6] albo ukończyły co najmniej roczne studia podyplomowe w zakresie audytu energetycznego na potrzeby termomodernizacji oraz oceny energetycznej budynków (program studiów zatwierdza minister właściwy do spraw szkolnictwa wyższego po zaopiniowaniu przez ministra właściwego do spraw budownictwa). Elektroniczny rejestr osób, które nabyły uprawnienia w drodze egzaminu państwowego lub studiów podyplomowych prowadzi minister właściwy do spraw budownictwa. Świadectwa energetyczne nie podlegają procedurze weryfikacyjnej. Osoba sporządzająca świadectwo bez uprawnień i przekazująca je do obrotu prawnego podlega karze grzywny.

7. Rola i obowiązki zarządcy nieruchomości

Zadaniem zarządcy jest przygotowanie procedury umożliwiającej pozyskanie środków na termomodernizację, koordynowanie działań audytora, projektanta i wykonawcy, współpraca z podmiotami udzielającymi wsparcia finansowego, rozliczanie inwestycji.

Właściciel lub zarządca budynku ma obowiązek uzyskania świadectwa i przekazania jego kopii nieodpłatnie właścicielowi lokalu w terminie nie dłuższym niż 6 miesięcy od dnia złożenia wniosku w tej sprawie. Zleca przedłużenie ważności lub aktualizację świadectwa, (świadectwo jest ważne 10 lat, jeżeli nie nastąpiły zmiany powodujące zmniejszenie zapotrzebowania na energię). Zarządca ma obowiązek przechowywać świadectwo w książce obiektu budowlanego oraz udostępniać je do wglądu osobie opracowującej wycenę nieruchomości, pośrednikowi w obrocie nieruchomościami, a także innemu zarządcy [11]. Dla zarządcy istotnymi zapisami w świadectwie są wytyczne zawarte w części „Uwagi w zakresie możliwości zmniejszenia zapotrzebowania na energię końcową”, ponieważ powinny one stanowić podstawę podjęcia działań zmierzających do ograniczenia zużycia energii w budynku. W przypadku szerokiego zakresu prac i poszukiwania na nie wsparcia finansowego, działania powinny być poprzedzone wykonaniem audytu energetycznego. Natomiast niewielkie zmiany zarządca może wprowadzać poprzez prace remontowe i bieżące działania związane z eksploatacją budynku.

8. Podsumowanie

Sporządzanie audytów oraz świadectw energetycznych budynków powinno opierać się na wytycznych i algorytmie zawartym w przepisach prawnych i normach. Tylko na tej podstawie wykonane dokumenty mogą być przydatne i wykorzystane przy planowaniu i realizacji inwestycji. Rzetelne sporządzenie tego typu opracowań jest możliwe przy ścisłej współpracy wykonawcy z zarządcą lub właścicielem budynku. Jak wyżej opisano, pomimo zasadniczych różnic, audyt i świadectwo jest źródłem informacji o zapotrzebowaniu budynku na energię. Audyt stanowi obligatoryjne opracowanie umożliwiające pozyskanie funduszy na działania termomodernizacyjne. Natomiast świadectwo między innymi jest niezbędnym dokumentem przy oddawaniu budynku do użytkowania, jego sprzedaży lub najmu. Zarządca powinien posiadać przynajmniej podstawową wiedzę z zakresu zagadnień przedstawionych w niniejszym artykule.

Literatura

- [1] Rozporządzenie MTBiGM zmieniające rozporządzenie *w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz. U. poz.926 z dnia 13.08.2013 r.
- [2] Rozporządzenie MI z dnia 17 marca 2009 r. *w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego*, Dz.U. z 2009 r. Nr 43 poz. 346.
- [3] Rozporządzenie MI z dnia 17 marca 2009 r. *w sprawie szczegółowego sposobu weryfikacji audytu energetycznego i części audytu remontowego oraz szczegółowych warunków jakie powinny spełniać podmioty, którym Bank Gospodarstwa Krajowego może zlecać wykonanie weryfikacji*, Dz. U. z 2009 r. Nr 43 poz. 347.
- [4] Rozporządzenie MI z dnia 6 listopada 2008 r. *w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno – użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej*, Dz. U. z 2008 r. Nr 201 poz. 1240.
- [5] Rozporządzenie MI z dnia 6 listopada 2008 r. *zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego*, Dz. U. z 2008 r. Nr 201 poz. 1239.
- [6] Rozporządzenie MI z dnia 21 stycznia 2008 r. *w sprawie przeprowadzania szkolenia oraz egzaminu dla osób ubiegających się o uprawnienie do sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego oraz części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową*, Dz. U. z 2008 r. Nr 17 poz. 104.
- [7] Rozporządzenie MG z dnia 10 sierpnia 2012 r. *w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii*, Dz. U. z dnia 27 sierpnia 2012 r. poz. 962.
- [8] Rozporządzenie MI z dnia 12 kwietnia 2002 r. *w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, Dz. U. z 2002 r. Nr 75 poz. 690 z późn. zm.
- [9] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. *Prawo budowlane*, Dz. U. z 1994 r. Nr 89 poz. 414 z późn. zm.
- [10] Ustawa z dnia 21 listopada 2008 r. *o wspieraniu termomodernizacji i remontów*, Dz. U. z 2008 r. Nr 223 poz. 1459 z późn. zm.
- [11] Ustawa z dnia 21 sierpnia 1997 r. *o gospodarce nieruchomościami* „Dz. U. z 1997r. Nr 115 poz. 741 z późn. zm.
- [12] Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. *o efektywności energetycznej*, Dz. U. z 2011 r. Nr 94 poz. 551.

The application of building audit and energetic certificate to the property management

Anna Życzyńska

*Department of Historic Building Preservation, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: a.zyczynska@pollub.pl*

Abstract: The paper demonstrates the basic regulations in force concerning the preparation of audits and energetic certificates of buildings whose essential differences were subsequently pointed out. The relevance of the energetic audit performance and its use in gaining the financial support and managing the thermal modernisation investments was examined. Furthermore, the energetic standard currently in force for new and reconstructed buildings was discussed. The role and responsibilities of a property administrator within this scope were presented. Last but not least, the legal acts referring to the realisation of such a research were mentioned.

Keywords: building energetic audit, building energetic characteristic, thermo-modernisation, property management.

Rekomendacja o Historycznym Krajobrazie Miejskim – wdrożenie zmiany paradygmatu w ochronie miast historycznych

Bogusław Szmygin

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

Streszczenie: Ochrona i zagospodarowanie miast historycznych jest jednym najtrudniejszych problemów w konserwacji zabytków. Tradycyjne podejście – zakładające utrzymanie w formie niezmienionej zabudowy i zagospodarowania przestrzennego zespołów historycznych, nie jest możliwe we współczesnych warunkach. Zespoły staromiejskie muszą się modernizować i przekształcać, dostosowując do nowych funkcji, standardów i potrzeb. Współczesna teoria konserwatorska stara się te problemy rozwiązać – Rekomendacja o Historycznym Krajobrazie Miejskim przyjęta przez UNESCO jest pierwszym dokumentem doktrynalnym, który formuluje nowe podejście do ochrony miast historycznych.

Słowa kluczowe: ochrona, dziedzictwo, miasta historyczne, teoria konserwatorska.

1. Wprowadzenie

W ostatniej dekadzie dokonały się radykalne przemiany większości fundamentalnych systemów i założeń, które tworzyły porządek XX świata. Przemiany te miały unikatowy przebieg i charakter - w masowej skali i w relatywnie bardzo krótkim czasie dokonywały się przemiany, które naruszały tradycyjny porządek funkcjonowania świata w gospodarce, kulturze, komunikacji, mediach, polityce. Na tempo i zakres tych zmian byliśmy całkowicie nieprzygotowani. Nie byliśmy przygotowani w wielu aspektach – intelektualnie by te procesy w porę przewidzieć, zrozumieć i opracować plany dalszego działania; organizacyjnie, by nimi zrzęczać; mentalnie by zaakceptować nowe realia; gospodarczo by przebudować nasze ekonomie, etc. Obszarów zamian i naszego do nich niedostosowania było tak wiele, że w rezultacie zrodził się globalny wieloaspektowy kryzys.

Kryzys w tym przypadku nie oznacza jednak przejściowego stanu, krótkotrwałych kłopotów, po których sytuacja wraca do równowagi. Tak było do tej pory – dokonanie pewnych korekt przywracało stan równowagi. Ten kryzys ma jednak odmienny charakter i jest poważniejszy gdyż polega na tym, że fundamenty na których został zbudowany współczesny świat okazują się zupełnie nieadekwatne. W efekcie z obecnego kryzysu wyłoni się nowa rzeczywistość.

To oznacza, że potrzeba zbudować nowe fundamenty. Zmieniło się – w sposób nieplanowany, funkcjonowanie świata. Musimy to nowe funkcjonowanie zrozumieć, odpowiednio opisać, skonstruować narzędzia przy pomocy których będziemy tymi nowymi warunkami zarządzać (albo próbować).

Te uwagi w pełnym zakresie dotyczą szeroko rozumianego obszaru kultury. Te uwagi w bardzo szerokim zakresie dotyczą też dyscypliny – ochrony i konserwacji dziedzictwa.

W ochronie i konserwacji dziedzictwa fundamentalne założenia tej dyscypliny – jej paradygmat – ukształtowały się jeszcze w pierwszej połowie XX wieku. Ten paradygmat oficjalnie nadal obowiązuje – przede wszystkim dlatego, że nie opracowano spójnych koncepcji, które połączyłyby tradycyjną ochronę zabytków i różnorodność współczesnych uwarunkowań. Dlatego międzynarodowy dokument, który wprowadza nowe elementy, zasługuje na szczególną analizę. Takim dokumentem jest Rekomendacja o Historycznym Krajobrazie Miejskim (*Historic Urban Landscape Recommendation* – Rekomendacja HUL) przyjęta w listopadzie 2011 roku przez Zgromadzenie Generalne UNESCO. Rekomendacja ta formułuje zupełnie nową koncepcję podejścia do ochrony miast historycznych, a nawet szerzej do ochrony dziedzictwa.

2. Status Rekomendacji HUL

Z punktu widzenia formalnego Rekomendację HUL należy zaliczyć do grupy międzynarodowych dokumentów doktrynalnych. W ochronie i konserwacji dziedzictwa dokumenty te pełnią bardzo ważną rolę, ponieważ są podstawową formą kodyfikacji tej dyscypliny.

Na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci powstało bardzo wiele dokumentów doktrynalnych. Jest to jednak dużym problemem, gdyż dokumenty te nie powstają według żadnego planu, nie podlegają merytorycznej ocenie, nie są wzajemnie uzgadniane (często są wzajemnie sprzeczne), nie obowiązują zasady ich tworzenia, nie ma gradacji ich ważności. Dlatego o ważności tych dokumentów decydują przede wszystkim trzy elementy: ich strona formalna - przede wszystkim „instytucja uchwalająca”, rodzaj dokumentu, zakres jego obowiązywania.

Z tego punktu widzenia Rekomendacja HUL zasługuje na szczególną uwagę. Dokument został uchwalony przez Zgromadzenie Generalne UNESCO – najważniejsze międzynarodowe zgromadzenie w zakresie kultury; jest to Rekomendacja – czyli dokument, który powinien być wdrażany przez Państwa Strony (jednoznacznie określają to zapisy Rekomendacji); dotyczy miast historycznych – czyli najważniejszej grupy dziedzictwa.

To wszystko oznacza, że Rekomendacja HUL ma najwyższą możliwą rangę, wśród dokumentów kształtujących ochronę dziedzictwa.

O specjalnym znaczeniu Rekomendacji HUL decyduje jednak jeszcze jeden czynnik. Otóż dokumenty doktrynalne można podzielić w pewnym uproszczeniu na dwie grupy. Jedną stanowią dokumenty, które formułują wzorcowe, idealistyczne zasady – czyli formułują teorię, do której powinna dopasować się rzeczywistość (np. Karta Wenecka). Drugą grupę stanowią dokumenty, które sankcjonują zasady, które już obowiązują – czyli dopasowują teorię do rzeczywistości (np. Nara Document of Authenticity). Rekomendacja HUL należy do tej drugiej grupy, a to oznacza, że będzie szybko i powszechnie wdrażana do realizacji.

Wymienione okoliczności sprawiają, że Rekomendacja HUL zasługuje na bardzo poważne potraktowanie, zarówno z punktu widzenia teorii, jaki i praktyki konserwatorskiej.

3. Istota treści Rekomendacji HUL

Przyjmując jako założenie tezę, iż Rekomendacja HUL zawiera nowe elementy, trzeba dokonać jej analizy by tezę tę zweryfikować. W tym celu treść Rekomendacji można podzielić na trzy grupy, w zależności od treści zawartych w nich zapisów. Grupę pierwszą może być określona jako „Zapisy tradycyjne”. Grupa druga może być określona jako „Zapisy o kompleksowym traktowaniu dziedzictwa”. Grupa trzecia może być określona jako „Zapisy określające pozycję dziedzictwa w mieście”.

Grupę pierwszą stanowią wszystkie zapisy, które dotyczą: znaczenia miasta i jego dziedzictwa, zagrożeń dla ochrony dziedzictwa, konieczności ochrony dziedzictwa, ważności poprzednich dokumentów doktrynalnych, poszerzenia współczesnej definicji dziedzictwa, itp. (podać artykuły).

Podobne zapisy znajdują się w większości dokumentów dotyczących ochrony miast historycznych i dziedzictwa i dlatego można nazwać je tradycyjnymi. Takie zapisy są oczywiście potrzebne – tworzą konieczny kontekst dokumentu, ale nie wnoszą nowatorskich treści. Dlatego to nie one stanowią o wartości Rekomendacji HUL.

Grupę drugą stanowią zapisy, które dotyczą bardzo szerokiego rozumienia i traktowania dziedzictwa w mieście historycznym. Oczywiście najważniejsze są zapisy definiujące pojęcie HUL. Określenie *Historic Urban Landscape* składa się z 3 elementów, przy czym nową jakością podejścia ma tworzyć określenie „krajobraz” odniesione do „miasta historycznego”. Określenie to ma otworzyć problematykę miejską na bardzo szerokie ujęcie, które jest skojarzone z pojęciem „krajobraz”.

Owo „szerokie ujęcie” potwierdza kilka punktów Rekomendacji, które wyliczają wszelkie elementy materialne i niematerialne, które stanowią miasto historyczne. Założenie, że analiza miasta historycznego i programy działania w takim mieście powinny obejmować tak wiele elementów i czynników, może być uznane za nowatorskie w podejściu HUL. Dlatego ta grupa zapisów została odrębnie wyróżniona.

Grupę trzecią w Rekomendacji HUL stanowią zapisy, które określają sposób w jaki powinno być traktowane dziedzictwo i jego ochrona w kontekście całości zadań i procesów zachodzących w mieście historycznym.

Zapisy te stanowią, że ochrona dziedzictwa jest tylko jednym z czynników uwzględnianych w postępowaniu z miastem historycznym. Dlatego plany konserwatorskie powinny uwzględniać rozwój (czyli konserwatorzy są współodpowiedzialni za rozwój miasta historycznego). W konsekwencji ochrona dziedzictwa staje się (dla konserwatorów) nie celem ale środkiem, który prowadzi do celu jakim jest zrównoważony rozwój miasta historycznego. Ponadto określanie wartości dziedzictwa specjaliści powinni dokonywać wraz z lokalnymi społecznościami (określanie tych wartości powinno być zaakceptowane przez lokalne społeczności).

Wszystkie te zapisy dotyczą sposobu w jaki ma być traktowane dziedzictwo, dlatego zostały nazwane „Zapisy określające pozycję dziedzictwa w mieście”. Ta właśnie grupa zapisów stanowi o nowatorstwie Rekomendacji HUL.

Aby całościowo ocenić nowatorstwo treści Rekomendacji HUL można dokonać porównania jej zapisów do tradycyjnego podejścia do ochrony miast historycznych. Zestawienie to wygląda następująco.

Tabela 1. Zmiana podejścia do miasta historycznego /podejście tradycyjne i Rekomendacja 2011.

Elementy, cechy i cele charakteryzujące podejście do miast historycznych	Podejście tradycyjne	Podejście HUL /Rekomendacja 2011/
Przedmiot Rekomendacji /elementy objęte podejściem/	Miasto historyczne /materialne elementy tworzące i charakteryzujące miasto/	HUL /wszelkie elementy, wartości, relacje, procesy tworzące miasto/
Co jest przedmiotem analizy i planów ochrony	Dziedzictwo /elementy i czynniki konserwatorskie/	Całe miasto historyczne /elementy i czynniki konserwatorskie i poza-konserwatorskie/
Stosunek do zmian i przekształceń	Zmiana jest nieporządna; jest zakłóceniem; prowadzi do obniżenia wartości /miasto jest statyczne/	Zmiany są elementem naturalnym; są immanentną cechą każdego miasta /także historycznego/
Nadrzędny cel działań podejmowanych w mieście historycznym	Ochrona wartości dziedzictwa	Brak nadrzędnego celu /równorzędne cele: ochrona dziedzictwa, zrównoważony rozwój, spójność społeczna/
Sposób określania celów i wartości	Specjaliści	Specjaliści + konsultacje społeczne /wymagana społeczna akceptacja/
Cel działań konserwatorskich	Ochrona dziedzictwa /tylko/ Konserwator odpowiada tylko za ochronę dziedzictwa	Ochrona dziedzictwa + inne cele /np. rozwój/ Konserwator odpowiada również za inne cele

4. Zagrożenia tworzone przez Rekomendacją HUL

Pośród trzech wymienionych grup zapisów na analizę zasługuje przede wszystkim grupa 2 i 3. Ich treść dlatego wymaga oceny z różnych punktów widzenia. Ocena tych zapisów - szczególnie z punktu widzenia ochrony dziedzictwa, powinna być celem analizy Rekomendacji HUL.

Z punktu widzenia ochrony dziedzictwa nowe rozwiązania zaproponowane w Rekomendacji HUL mają różne znaczenie i będą miały różne konsekwencje.

Zapisy zaliczone do grupy 2 – czyli „Zapisy o kompleksowym traktowaniu dziedzictwa”, z punktu widzenia ochrony dziedzictwa należy ocenić jako pozytywne. Ich wartość polega na dwóch elementach.

Po pierwsze, zalecają i podkreślają konieczność holistycznego postrzegania dziedzictwa. Wskazują, że wszystkie elementy dziedzictwa – materialne i niematerialne, powinny być objęte analizą i ochroną. Taki sposób traktowania dziedzictwa był obecny we współczesnej teorii konserwatorskiej, jednak jego konsekwentne powtórzenie w tak ważnym dokumencie ma znaczenie.

Po drugie, pozytywną wartość ma podkreślenie konieczności szerokiego uwzględnienia czynników poza-konserwatorskich w programach ochrony i rozwoju miast historycznych. Uwaga ta dotyczy takich elementów jak współczesny wzrost,

opinie lokalnych społeczności, zrównoważony rozwój, etc. Wyraźnie podkreślenie, że te czynniki powinny być uwzględniane w programach ochrony miast historycznych jest pozytywnym elementem Rekomendacji HUL.

Z drugiej jednak strony bardzo istotne znaczenie ma zakres, w jakim owe poza-konserwatorskie czynniki powinny być uwzględniane. Ten problem spowodował wydzielenie 3 grupy nazwanej „Zapisy dotyczące pozycji dziedzictwa w mieście”. Zapisy te zalecają traktowanie ochrony dziedzictwa tylko jako jednego z czynników branych pod uwagę w mieście historycznym. Zalecają by to społeczności określały wartości do ochrony i określały formy ich ochrony. Zapisy te również zobowiązują konserwatorów do współodpowiedzialności za proces rozwoju miast. A to wszystko sprawia, że mogą one prowadzić do osłabienia ważności i nadrzędności ochrony dziedzictwa wśród innych celów. Dlatego też - z punktu widzenia konserwatora zabytków, mogą być uznane za negatywne.

Dostrzegając owo zróżnicowanie możliwych efektów Rekomendacji HUL trzeba więc postawić pytanie o jej możliwy bilans i potencjalne znaczenie dla ochrony miast historycznych. Czy większe znaczenie – oczywiście patrząc na problem z wąskiego punktu widzenia ochrony dziedzictwa – mają stwierdzenia zalecające holistyczne, zintegrowane postrzeganie dziedzictwa w mieście historycznym, czy zapisy, które mówią, że ochrona dziedzictwa jest tylko jednym z zadań, które ma realizować konserwator zabytków?

Pierwsze oceny środowisk konserwatorskich są pozytywne. Oczekuje się, że Rekomendacja HUL będzie impulsem do sprawniejszej i skuteczniejszej ochrony miast historycznych. Rekomendacja ma pomóc w przełamaniu impasu, który powstał gdy tradycyjna teoria konserwatorska musi funkcjonować w konfrontacji ze współczesnymi uwarunkowaniami. Potwierdzają to oczekiwania środowiska związanego z ruchem Światowego Dziedzictwa UNESCO, które planuje przełożenie zapisów Rekomendacji na nowe zapisy w Wytocznych Roboczych, które służą ocenie i zarządzaniu dóbr wpisanych na Listę Światowego Dziedzictwa. Nie oznacza to jednak, że można bagatelizować zagrożenia, które może tworzyć niewłaściwa interpretacja Rekomendacji HUL – sumaryczne skutki jej powszechnego wdrożenia mogą być negatywne. I to jest kolejny problem wymagający zasygnalizowania.

5. Czynniki warunkujące wdrażanie Rekomendacji HUL

Wdrażanie i interpretacja Rekomendacji HUL będzie zależało od wielu indywidualnych czynników i okoliczności. Nie można zakładać, że będzie wszędzie przebiegało w taki sam sposób – konserwatorstwo stało się obecnie bardzo zróżnicowana dyscyplina. Tym niemniej można wyróżnić trzy generalne czynniki, które w praktyce będą ukierunkują jej wdrażanie.

Pierwszym problemem jest wewnętrzna sprzeczność pewnych zapisów Rekomendacji. Sprzeczność ta polega na tym, że nie można stosować tradycyjnych zasad konserwatorskich i jednocześnie rozwijać i modernizować historyczne miasto. A takie założenia zostały zapisane w Rekomendacji. Tymczasem w praktyce trzeba wybrać; ochrona zgodnie z tradycyjnymi zasadami konserwatorskimi albo rozwój i modernizacja miasta historycznego. Ten dylemat w praktyce jest i będzie rozstrzygany na korzyść drugiej opcji – rozwoju i modernizacji, gdyż uwarunkowania zewnętrzne tę opcję wspierają.

Drugim problemem jest więc zewnętrzna nierównowaga, która charakteryzuje otoczenie w jakim funkcjonują miasta historyczne. Zestawiając ochronę dziedzictwa z rozwojem gospodarczym (wzrostem dochodów, nowymi miejscami pracy, modernizacją zabudowy, usprawnieniem transportu, etc.), trzeba uznać, że oczywiście większą siłę ma drugi element. Dla rozwoju łatwiej zdobyć pieniądze, akceptację społeczną, możliwości uchwalenia odpowiedniego prawa.

Ta nierównowaga otoczenia sprawi, że w Rekomendacji HUL zostaną dostrzeżone postulaty o konieczności rozwoju miast historycznych, o określaniu przez interesariuszy priorytetów działań w mieście, o braku nadrzędności celów konserwatorskich. Natomiast zapisów o konieczności ochrony całej różnorodności dziedzictwa nie będzie miał kto realizować.

Trzecim problemem jest brak metodologii analizy i porównania wartości zabytkowych oraz procesów związanych z przekształcaniem materialnych nośników tych wartości – jest to oczywiście wewnętrzny problemem teorii konserwatorskiej.

W tradycyjnej teorii konserwatorskiej zakładano, że dziedzictwo (zabytek) będzie chronione całkowicie – jego substancja i forma. Dlatego nie było potrzeby ustalenia związku pomiędzy wartościami zabytku a jego materialnymi „nośnikami”. Dlatego do tej pory nie potrafimy określić „ubytku wartości” w związku z jego przekształceniem czy modernizacją. Dotyczy to pojedynczego zabytku, a w przypadku miasta historycznego problem jest jeszcze bardziej skomplikowany.

W praktyce ogólne stwierdzenia o stracie wartości dziedzictwa będą skonfrontowane z dokładnymi wyliczeniami pokazującymi możliwość powstania nowych miejsc pracy czy potencjalne zyski z modernizacji i nowych inwestycji w przekształcanych miastach historycznych. To znaczy, że konserwatorzy nie będą mieli argumentów a inwestorzy będą je mieli.

Suma powyżej wymienionych czynników pozwala stwierdzić, że w obecnych realiach Rekomendacja HUL nie doprowadzi do poszerzenia spectrum wartości dziedzictwa (materialnych i niematerialnych) objętych ochroną oraz do stworzenia bardziej kompleksowych systemów ochrony ale do ograniczenia ważności dziedzictwa i jego ochrony ze względu na inne czynniki (potrzeba rozwoju, opinie interesariuszy).

6. Kierunki koniecznych działań związanych z wdrażaniem Rekomendacji HUL

Niebezpieczeństwa związane z interpretacją Rekomendacji HUL nie oznaczają oczywiście, że jest to zły dokument. Trzeba natomiast rozumieć, że Rekomendacja może być wykorzystana w inny sposób niż tego oczekuje środowisko konserwatorskie.

Rekomendacja może być groźna jeżeli będzie interpretowana przez środowiska zainteresowane osłabieniem konserwatorskiej kontroli nad miastem historycznym – np. inwestorów. I jest to realne zagrożenie, gdyż na całym świecie jest widoczna tendencja do modernizacji, prywatyzowania i komercjalizacji zabytków i miast historycznych. Można wręcz paradoksalnie powiedzieć, że cały świat czeka na międzynarodowy dokument doktrynalny, którym można uzasadnić, że rozwój jest równie ważny jak ochrona dziedzictwa a opinia interesariuszy równie znacząca jak opinia specjalistów.

Dlatego bardzo pilnym zadaniem jest interpretacja Rekomendacji HUL przez konserwatorów zabytków. Rekomendacja HUL musi być wdrożona przez Państwa Strony – takie są międzynarodowe zobowiązania Państw Stron. I to wdrażanie Rekomendacji powinno się odbywać za pośrednictwem konserwatorów i z ich interpretacją. Jednak aby tego dokonać i aby uprzedzić inne interpretacje, trzeba się odpowiednio przygotować. Trzeba przede wszystkim przygotować modele analizy miast historycznych, które w konkretny sposób pokażą konsekwencje – materialne i niematerialne, różnych interwencji w miastach historycznych.

Jednoznacznej interpretacji wymagają też podstawowe pojęcia Rekomendacji. Nie jest jasne jak należy rozumieć, jaki jest status ontologiczny samego pojęcia HUL. Ustalono już, że HUL nie jest nową kategorią dziedzictwa (grupą typologiczną). Ale nie ustalono też, czy jest to sposób podejścia, środek czy cecha.

Trzeba wyraźnie stwierdzić, że do tej pory funkcja – a może należałoby precyzyjniej powiedzieć status ontologiczny HUL, nie jest wcale oczywisty. W tej kwestii od początku istniało wiele nieporozumień, wynikających choćby ze wspomnianej niejednoznaczności w rozumieniu pojęcia „krajobraz”. Oczywiście nie małe znaczenie miał również fakt, że zakres pojęciowy (pole semantyczne znaczeń) tego określenia ewoluował na przestrzeni tak krótkiego czasu. W efekcie jeszcze bardzo niedawno zastanawiano się czy to pojęcie nie określa nowej grupy typologicznej dziedzictwa¹. Takie rozumienie było rozpowszechnione, co w sposób istotny utrudniało wprowadzenie pojęcia HUL w jego współcześnie proponowanym rozumieniu². Stanowiło to – i nadal stanowi, istotne utrudnienie we wdrożeniu Rekomendacji HUL.

Obecnie tych wątpliwości już być nie może. HUL nie jest to nową kategorią dziedzictwa (grupą typologiczną), która obejmuje więcej elementów – na przykład w stosunku do kategorii „miasto historyczne”. Pojęcie HUL może być natomiast interpretowane i funkcjonować w trzech rozumieniach.

1. Przede wszystkim HUL jest sposobem traktowania miasta; jest to sposób podejścia do analizy, ochrony i rozwoju miasta historycznego. Jest to podejście, które można nazwać holistycznym, gdyż obejmuje wszelkie elementy, wartości (materialne i niematerialne) oraz cele, które stanowią o współczesnym mieście. Podejście HUL jest więc podejściem, które zobowiązuje do jak najszerszego postrzegania miasta. Nakazuje, by analiza miasta uwzględniała wszelkie elementy – nie pozwala na ich separację czy pomijanie. Taka interpretacja jest potwierdzana w Rekomendacji (*Historic Urban Landscape as an approach to urban heritage conservation* – Preambuła)

2. W drugim rozumieniu HUL jest środkiem (formą) działania stosowaną w mieście historycznym; takie rozumienie jest niejako konsekwencją zastosowania podejścia HUL (pierwsze rozumienie). Na poziomie roboczym (analitycznym)

¹ W 2009 roku duża międzynarodowa konferencja (380 uczestników z 26 krajów) realizowana w ramach 12 Międzynarodowego Seminarium *Forum UNESCO – University and Heritage* w Hanoi (Wietnam) była zatytułowana ‘*Historic Urban Landscapes: A New Concept? A New Category of World Heritage Properties?*’ – “Hanoi Declaration on Historic Urban Landscape”

² Ten aspekt był na przykład podnoszony w komentarzu przygotowanym przez ICOMOS International (pkt.7) – *ICOMOS comments on the proposed UNESCO Recommendation on the Historic Urban Landscape (HUL)*, ref. GJ/04, 24 December 2010.

zastosowanie podejścia HUL wymaga bowiem uwzględnienia (a więc i zbadania) wzajemnych relacji i wpływu poszczególnych elementów tworzących miast. Podejście HUL wymusza więc by analizując jakikolwiek aspekt funkcjonowania miasta jednocześnie uwzględniać jego wpływ na inne aspekty. Na przykład planując i podejmując działania służące ochronie elementów historycznych trzeba jednocześnie uwzględniać konsekwencje tych działań we wszystkich możliwych aspektach funkcjonowania miasta (np. rozwój). W takim przypadku podejście HUL sprawia, że staje się ono również nowym sposobem (środkiem, formą) działania. Tak to zostało też ujęte w Rekomendacji (*landscape approach is considered a new means to address urban heritage management and maintain urban identity* - Preambuła).

3. W trzecim możliwym ujęciu HUL jest rozumiany jako najszersze z możliwych spectrum elementów, wartości i relacji tworzących charakterystykę miasta historycznego. Takie ujęcie i rozumienie jest niejako zawarte w definicji HUL, gdy jest ona postrzegana w sposób wyizolowany; definicja jako taka składa się bowiem z wyliczenia elementów, które obejmuje dane pojęcie. Tak rozumiany HUL staje się swego rodzaju „cechą” miasta, która może być na przykład przedmiotem ochrony. Takie traktowanie HUL pojawiło się w zapisach przyjętych przez GA 16 w 2008 roku (*the urban landscape as a feature that has to be preserved* - pkt.2).

Wymienione rozumienia (funkcje) pojęcia HUL są więc różne. Wybór i stosowanie każdego z nich powinno być zależne od kontekstu i potrzeb. Ważne natomiast jest to, że poszczególne rozumienia HUL nie są wzajemnie wykluczające się. Dlatego ich użycie może być mylące i nieprecyzyjne – tak jest obecnie. Dlatego tak istotne jest określenie w jakim rozumieniu w danym przypadku pojęcie HUL jest używane; szkodliwa jest bowiem sytuacja gdy komunikujący się partnerzy używają tych samych pojęć w różnym znaczeniu i funkcji. Wydaje się, że obecnie jest to podstawowy problem ograniczający wdrażanie Rekomendacji i ocenę jej przydatności.

7. Wnioski

Przedstawiona sytuacja pozwala na sformułowanie następujących wniosków dotyczących Rekomendacji HUL i koniecznych działań związanych z jej wdrażaniem.

- Rekomendacja HUL jest pierwszym międzynarodowym dokumentem doktrynalnym tej rangi, który zmienia i sankcjonuje zmianę paradygmatu w ochronie dziedzictwa;
- Ze względów formalnych Rekomendacja HUL będzie wdrażana w miastach historycznych na całym świecie – będzie dokumentem, który wpłynie na ochronę i rozwój miast historycznych;
- Brak metodologii oceny wartości dziedzictwa sprawia, że Rekomendacja HUL może być wykorzystana do osłabienia ochrony dziedzictwa (na rzecz rozwoju);
- Konieczna jest jak najszybsza interpretacja Rekomendacji HUL i opracowanie metodologii oceny wartości dziedzictwa, przede wszystkim powiązania wartości z materialnymi nośnikami.



Fot. 1. Pekin – tradycyjną zabudowę (hutongi) zastępuje nowa zabudowa pozbawiona tożsamości, (fot. B. Szmygin).



Fot. 2. Waszyngton – fasady rozebranych budynków historycznych naklejone na ślepią ścianę magazynu przy jednej ulicy w centrum, (fot. B. Szmygin).



Fot. 3. Madryt – historyczne elewacje wykorzystane w nowoczesnym budynku wystawienniczym, (fot. B. Szmygin).



Fot. 4. Stambuł – połączenie nowej zabudowy z historyczną pierzeją (fot. B. Szmygin).

Recommendation on Historic Urban Landscape – element of paradigm shift in historic towns protection

Bogusław Szmygin

*Department of Historic Building Preservation, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: b.szmygin@pollub.pl*

Abstract: The foundations of the heritage protection - its paradigm, have been created in the first half of the 20th century. This paradigm is officially still in force - primarily because we do not have a coherent concept, which could link the requirements of the traditional protection of historic monuments and the diversity of today's circumstances. Therefore, international document that introduces new elements, deserves particular analysis. This document is the Historic Urban Landscape Recommendation, which formulates a new approach to heritage and its protection. HUL Recommendation was adopted by the General Conference of UNESCO - the most important international meeting on culture; this is the Recommendation – such a type of document should be implemented by the Member States (which is explicitly formulated in the text of Recommendation); its subject is historical city – the most important part of heritage. From this point of view, the HUL Recommendation deserves special attention.

Keywords: conservation, heritage, historical cities, the theory of Conservation.

Kominki wspomagające centralne ogrzewanie

Jerzy Adamczyk

*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska
oraz Katedra Nauk Technicznych, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II
w Białej Podlasce, e-mail: j.adamczyk@pollub.pl*

Streszczenie: W artykule podano możliwość zastosowania kominków z płaszczem wodnym, oraz z turbiną powietrzną w budynku jednorodzinny. Przeanalizowano też jak zastosowanie kominków wpływa na zapotrzebowanie energii pierwotnej.

Słowa kluczowe: kominek z płaszczem wodnym, kominek powietrzny, certyfikat energetyczny.

1. Wprowadzenie

W ostatnich czasach coraz powszechniejsze staje się instalowanie w mieszkaniach i budynkach jednorodzinnych kominków. Oprócz aspektu dekoracyjnego spełniają one również funkcję praktyczną. Pierwotnie umożliwiały ogrzewanie pomieszczeń których były zainstalowane za pomocą ciepła przekazywanego na drodze promieniowania. Sprawność kominków przekazujących ciepło na drodze promieniowania wynosi poniżej 30%. Obecnie produkowane kominki umożliwiają współpracę wkładów kominkowych z instalacją ciepłej wody jak i z instalacją centralnego ogrzewania. Sprawność takich układów jest znacznie wyższa od 30%. W niniejszym artykule opiszemy oba systemy.

2. Kominki z płaszczem wodnym

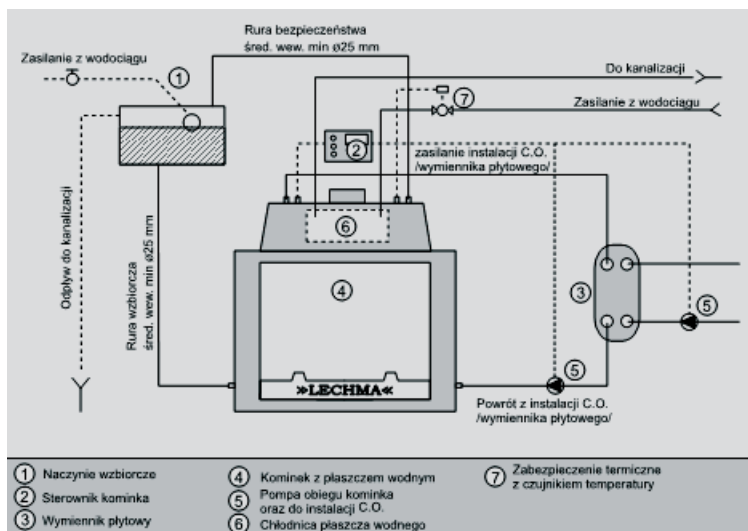
Prawie każdy, kto planuje budowę domu, nie wyobraża go sobie bez kominka. Drewno jest najtańszym paliwem, więc wszyscy, którzy boją się wysokich kosztów ogrzewania domu, chcą się tym kominkiem ogrzewać. W tej sytuacji powinni się zainteresować kominkiem z płaszczem wodnym – urządzeniem wyglądającym jak zwykły zamknięty wkład kominkowy, ale działającym jak kocioł c.o. Dzięki wyposażeniu wkładu w wymiennik ciepła, w którym spaliny ogrzewają wodę, kominek z płaszczem może zasilać instalację centralnego ogrzewania i przygotowywać ciepłą wodę użytkową. To go odróżnia od systemu ogrzewania kominkowego z rozproszaniem ciepłego powietrza. Wiele osób woli droższą, ale bardziej uniwersalną i wygodniejszą instalację kominka z płaszczem wodnym.

Omówimy wkład kominkowy z płaszczem wodnym, który z powodzeniem pełni rolę kotła centralnego ogrzewania, oraz może wspomagać przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Może samodzielnie ogrzewać powierzchnie do 300 m². (budowane przy zachowaniu dziś obowiązujących norm izolacyjnych), lub służyć jako pomocnicze źródło ciepła. Materiały z jakich wykonywany jest wkład są wysokiej jakości (szyba żaroodporna zamykająca palenisko sprowadzana jest z Niemiec,

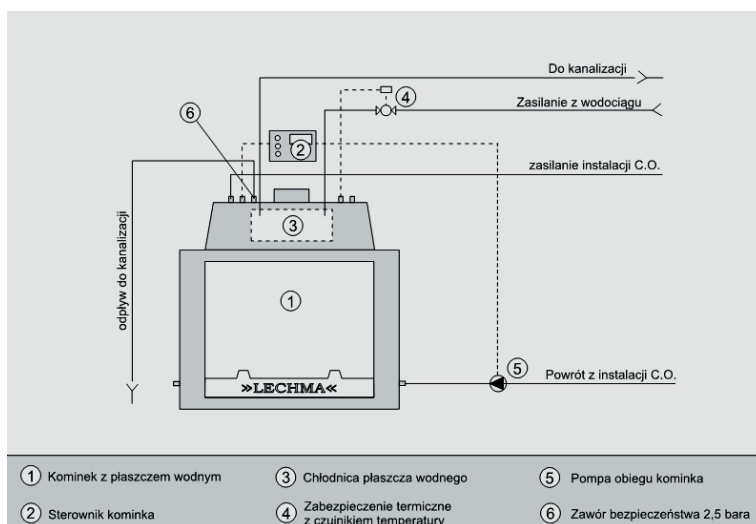
a szamot jest produkcji krajowej). Całość wykonana jest ze stali, co znacznie wpływa na żywotność wkładu. Obsługa kominka jest bardzo prosta a temperaturę na wyjściu można dowolnie regulować.

Na korzyść wkładu wodnego przemawia również ekonomika. Oprócz tego, że można nim ogrzać cały dom (do 300 m²), to w przeciwieństwie do kominów z nawiewem powietrza, nie powoduje on gromadzenia się na ścianach osadu i ujemnych skutków zdrowotnych mieszkańców. Spore różnice kosztowe istnieją również w montażu. Koszt przewodów wodnych jest znacznie niższy niż przewodów powietrznych

Kominek nadaje się do podłączenia do tzw. otwartych i zamkniętych układów grzewczych.

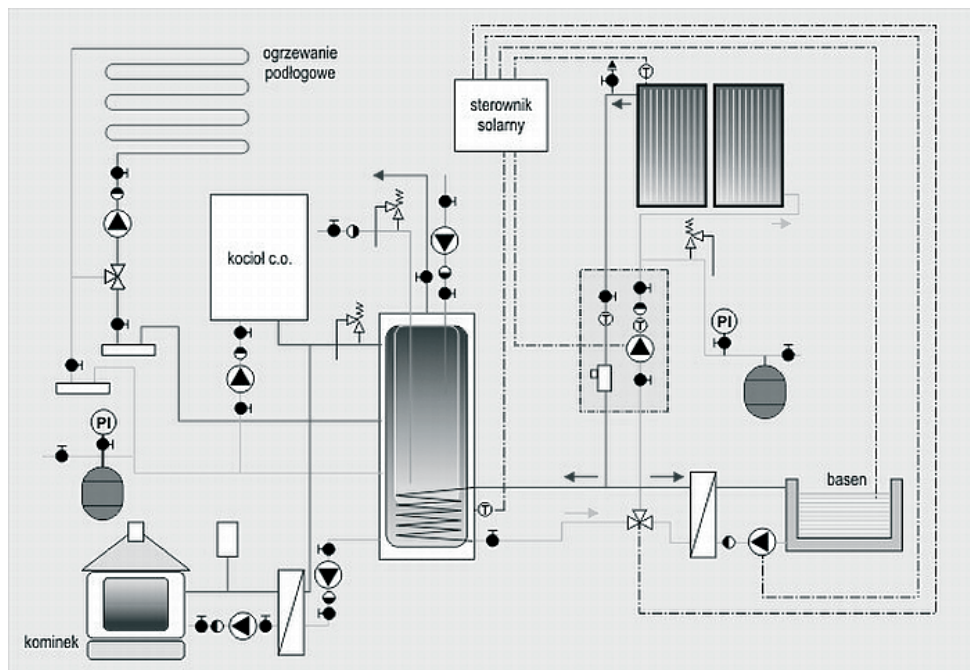


Rys. 1. Schemat zabezpieczenia kominka naczyniem wzbiorczym otwartym.[1]



Rys. 2. Schemat zabezpieczenia kominka w układzie zamkniętym.[1]

Może również służyć jednocześnie do przygotowania c.w.u. (przy podłączeniu z zasobnikiem wodnym). Bardzo dobrym rozwiązaniem jest połączenie go w układ bivalentny z zestawem kolektorów słonecznych.



Rys. 3. Rozbudowana instalacja grzewcza, w której źródłami ciepła są: kocioł c.o., kominek z płaszczem wodnym i kolektory słoneczne. Budynek wyposażony w 2 obiegi grzewcze: grzejniki i ogrzewanie podłogowe, ciepła woda ogrzewana jest w zbiorniku kombinowanym (zbiornik w zbiorniku z wężownicą słoneczną). Kolektory ogrzewają jednocześnie wodę w basenie. [4]

Dane kominka z płaszczem wodnym typu PL 150 podano w poniższych tabelach nr 1 i 2 [1,2]. Użytkowników interesują również dane praktyczne przedstawione w tabeli nr 2.

Tabela 1. Parametry techniczne kominka Lechma [1].

Całkowita moc cieplna	12 kW ,19 kW, 24 kW
Moc przenoszona do wody	9 kW, 15 kW, 20 kW
Utrzymywanie żaru	do 17 godzin
Pojemność wody	42 litry
Waga	125 kg.
Wymiary kominka	850/710/450 mm
Średnica czopucha	180 mm
Zalecane paliwo	drewno, brykiet z węgla brunatnego
Funkcja	instalacja niezależna lub uzupełniająca

Tabela 2. Dane techniczne paliwa [1].

Lp.	Wyszczególnienie	Oznaczenie	Miano	Termokominek PL 150
	Moc cieplna	Q_{max}	kW	19
1	Zużycie paliwa: • przy mocy nominalnej - *) • przy mocy minimalnej - *)	B	kg/h	1,6 0,5
2	Temperatura spalin: • maksymalna • minimalna	$t_{s\ max}$ $t_{s\ min}$	°C	300 110
3	Zawartość CO (przy $\lambda = 1,0$)	A	%	0,1
4	Wymagany ciąg kominowy: • przy mocy nominalnej - • przy mocy minimalnej -	s_{zn} s_{min}	Pa	10±2 5±2
5	Sprawność cieplna	η	%	≥70
6	Trwałość palenia przy mocy minimalnej	τ	godz	≥10
7	Paliwo – drewno o wartości opałowej 14MJ/kg *) • wilgotność - • długość - • obwód -	a L Ob	% cm cm	Polana drzew liściastych 10 - 20 50 ± 3 30 - 50

Ze względu na wysoką temperaturę szyby (dochodzącą do 100 °C) osłaniającą palenisko termokominek winien być umieszczony na niepalnym podłożu o grubości minimum 15 cm, ponad to podłoga przed drzwiczkami paleniska powinna być zabezpieczona pasem materiału niepalnego o szerokości co najmniej 30 cm, sięgającym poza krawędzie drzwiczek co najmniej 30cm.

Powyższe wymagania dotyczą nie tylko termo kominków, ale również pozostałych urządzeń grzewczych.

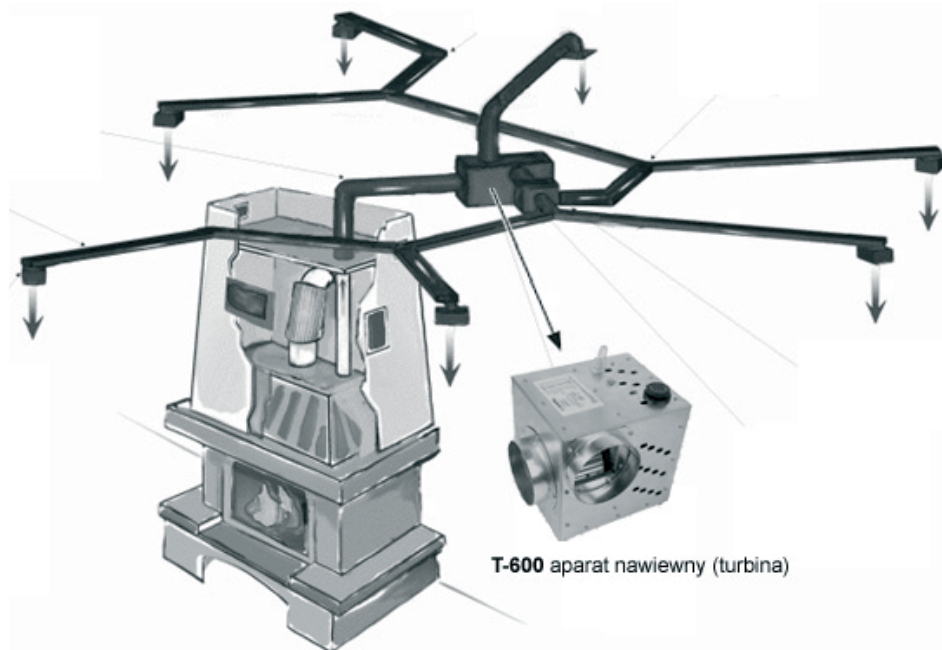
Pozostałe wymagania bezpieczeństwa są takie same jak dla kotłów wodnych opalanych paliwami stałymi i były już dokładnie omawiane w naszych wcześniejszych artykułach. Dla przypomnienia przytoczymy je bez szczegółowego opisywania:

- Termo kominek nie może pracować bez wody,
- Termo kominek winien być zabezpieczony przed wzrostem temperatury powyżej 90 °C (dostawcy proponują system nadzoru najczęściej firm niemieckich, ale nie są one zgodne z polskimi normami),
- W przypadku nadmiernego wzrostu temperatury nie wolno zalewać wodą paliwa w komorze spalania,
- Pomieszczenia w których zainstalowane są kominki winne mieć sprawną zgodną z przepisami wentylację, oraz zapewniać wymaganą ilość powietrza niezbędną do spalania paliwa,
- Nie należy wypełniać komory paleniskowej zbyt dużą ilością paliwa.

3. Kominki powietrzne

Ten typ kominków był do tej pory na naszym rynku najpopularniejszy. Powietrze ogrzewało się od obudowy kominka. Zastosowanie ich umożliwiała ogrzanie

pomieszczeń do temperatury zewnętrznej $t_e \approx -5\text{ }^\circ\text{C}$ a więc przez 60 % czasu trwania sezonu grzewczego[3]. Ciepło do pomieszczeń rozprowadzane było za pomocą ogrzanego powietrza kanałami wentylacyjnymi w systemie naturalnym – grawitacyjnym, lub w sposób wymuszony – wentylatorowy. System grawitacyjny pracuje poprawnie w przypadku odpowiedniej różnicy wysokości między wlotem powietrza do płaszcza kominka a wylotem powietrza do pomieszczenia.



Rys. 4. Kominek z przewodami powietrznymi [3]

Biorąc powyższe pod uwagę możemy stwierdzić, że ogrzewanie pomieszczeń na poziomie na którym został zainstalowany kominek będzie prawie niemożliwie. Poprawnie będzie można ogrzać pomieszczenia zlokalizowane w pobliżu rzutu kominka na wyższych kondygnacjach. Ponadto ze względu na małe ciśnienie czynne i występujące opory przepływu należy stosować przewody wentylacyjne o znacznych średnicach.

Korzystniejszą sytuację mamy w przypadku zastosowania systemu wentylatorowego. Przewody doprowadzają powietrze do dowolnego pomieszczenia, przekroje są znacznie mniejsze niż przy systemie grawitacyjnym. Czas nagrzewania pomieszczenia jest krótszy niż w przypadku układów grawitacyjnych. grawitacyjnych tym systemie konieczne jest zastosowanie jako wspomaganie przepływu powietrza wentylatorów. Może to być wentylator centralny obsługujący wszystkie pomieszczenia, lub wentylatory kanałowe instalowane w miejscu nawiewu powietrza do pomieszczenia. W pierwszym przypadku po uruchomieniu wentylatora nawiewamy ciepłe powietrze do wszystkich pomieszczeń, a w drugim przypadku do tych w których przebywamy. System pierwszy umożliwia nam sterowanie centralne (z pomieszczenia w którym zlokalizowany jest kominek) regulację ilości powietrza a w drugim przypadku z pomieszczenia w którym zlokalizowane są poszczególne wentylatory. W systemie powietrznym problem może stanowić cofanie się spalin

do pomieszczenia z kominkiem i rozprowadzanie przez wentylator spalin po całym budynku przez przewody nawiewne. System wentylatorowy może również rozprowadzać zanieczyszczenia wewnątrz budynku ponieważ systemy powyższe nie są wyposażone w filtry. Systemy powietrzne nie mogą wspomagać ogrzewań wodnych – stanowią niezależne źródła zasilania.

4. Warunki instalacji kominka i bezpieczeństwo

Przed montażem, należy bezwzględnie zapoznać się z polskimi normami budowlanymi. Odpowiedzialność projektanta nie ogranicza się jedynie do dostawy paleniska. Instalacja musi być wykonana przez fachowca lub osobę wykwalifikowaną. Właściwe działanie kominka zależy od jego instalacji dokonanej zgodnie z zasadami sztuki i bezwarunkowego przestrzegania obowiązujących norm i przepisów prawnych oraz instrukcji instalacji i użytkowania.

1. Rodzaj podmurowania. Pod wylewką betonową w miejscu, gdzie ma stać kominek (a nawet po jego obrysie po 20 cm) nie powinna być położona izolacja cieplna, a to ze względu na jego ciężar, który waha się od około 400 kg do nawet 2000 kg. Dobrze jest również to miejsce dodatkowo zazbroić. Wybór pozostawiamy osobie wykwalifikowanej, która powinna wziąć pod uwagę ciężar paleniska jak i jego otoczenie (np.: marmur, cegła itp.).

2. Miejsce, na którym ma stać kominek można wyłożyć płytkami dla zwiększenia bezpieczeństwa – po obrysie kominka około 30 cm., jak również gdy będziemy chcieli zmienić zabudowę kominka lub go całkowicie rozebrać to miejsce to będzie wyglądało estetycznie.

3. Wkład lub kasetę są zamontowane na specjalnych nóżkach lub na wzmocnionej płycie. Konstrukcja stropu jest wzmocniona w zależności od potrzeb.

4. Odpowiednie wymiary obudowy kominkowej umożliwiają umieszczenie wkładu lub kasety w bezpiecznej odległości od podłoża.

5. Wykonanie zarówno wlotu powietrza konwekcyjnego, ja i wlotu powietrza do spalania (minimalna powierzchnia wlotu powietrza jest ściśle określona dla każdego typu urządzenia). Musi być doprowadzony dopływ powietrza z zewnątrz, powinna być możliwość zamykania tego przepływu, aby uniknąć strat ciepła w pomieszczeniu, gdy kominek jest nieużywany.

6. Zachowanie odpowiedniej przestrzeni między wkładem lub kasetą a obudową umożliwiającą ruch powietrza konwekcyjnego (minimum 5 cm).

7. Usunięcie wszystkich przedmiotów łatwopalnych oraz podlegających zniszczeniu pod wpływem temperatury. Izolację termiczną ścian i elementów obudowy należy wykonać z ognioodpornej wełny mineralnej z warstwą folii aluminiowej (izolacja Alu Fire Bats).

8. Przewód dymowy połączyć starannie z króćcem pod kątem 45o. W najnowszych modelach wkładów przewód dymowy jest wkładany do wnętrza urządzenia. Połączenie takie gwarantuje, że skropliny z komina będą spływać bezpośrednio do paleniska. Przewód dymowy powinien być podłączony do komina możliwie krótkim przewodem (rurą) o średnicy zgodnej ze średnicą króćca wylotu spalin.

9. Okap wykonać z ognioodpornych materiałów (np. z profili stalowych, ognioodpornych płyt gipsowo-kartonowych z izolacją z wełny mineralnej).

10. **Kratkę wylotu ciepłego powietrza** umieścić na wysokości minimum 30 cm od sufitu. Sufit wokół kominka wykonać z ognioodpornych materiałów.

11. **Komora dekompresyjna** znajduje się tuż nad górną krawędzią kratki wylotu powietrza. Chroni ona strop przed działaniem gorącego powietrza. Komora jest izolowana. Powinny być w niej zainstalowane dwie kratki: wylotu tuż przy suficie i wlotu nieco niżej.

12. **Połączenie kominka z kominem** wykonać w ten sposób, że sadze i skropliny spływają do paleniska. Stożkowy kształt połączenia zapobiega gromadzeniu się sadzy. Komin rozpoczyna się co najmniej 5 cm poniżej sufitu.

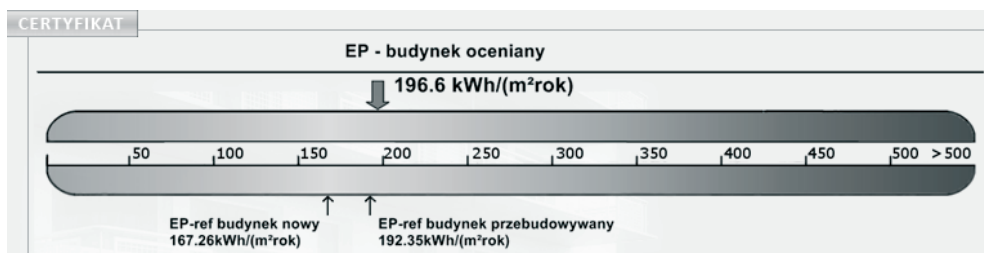
13. **Konstrukcja kominu jest szczelna**, a przekrój odpowiedni do wybranego urządzenia. Właściwa jest też izolacja oraz obudowa przewodu kominowego zapobiegająca schładzaniu spalin.

14. **Przewód kominowy jest izolowany** i zachowana jest bezpieczna odległość od elementów łatwopalnych.

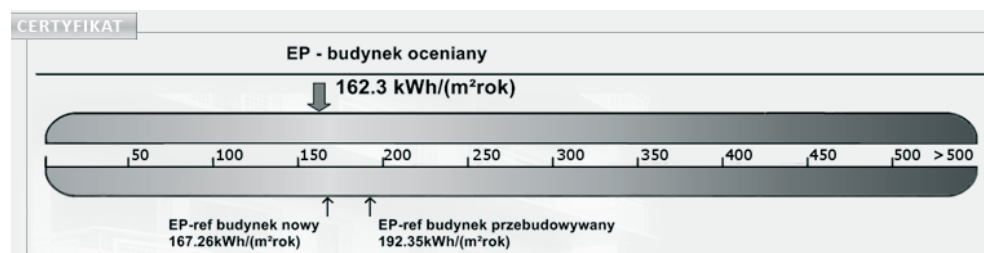
15. **Komin ma jednolity przekrój** na całej długości. Daszek na wylocie kominu uniemożliwia przedostanie się opadów atmosferycznych do środka.

5. Kominiek a certyfikat energetyczny

Kominki opalane drewnem wpływają korzystnie na wartość zapotrzebowania energii pierwotnej. Poniżej podano wykres opracowany przy założeniu iż wariant górny budynek opalany jest w 100% gazem ziemnym z kotłem z otwartą komorą paleniskową, oraz poniżej iż gaz zapewnia 60% ciepła a kominiek opalany drewnem 40%.



Rys. 5. Certyfikat energetyczny budynku jednorodzinego bez kominka.



Rys. 6. Certyfikat energetyczny budynku jednorodzinego z kominkiem.

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić iż zastosowanie kominka spowodowało zmniejszenie zapotrzebowania na EP o 34,3 kWh/(m²rok), a więc zmniejszenie o 17,5%.

6. Podsumowanie

Reasumując możemy stwierdzić:

- Zastosowanie kominków oprócz walorów estetycznych może mieć również aspekt praktyczny.
- Kominki z wkładem wodnym mają większe możliwości współpracy z tradycyjnymi systemami grzewczymi to jest z centralnym ogrzewaniem jak i z układami przygotowującymi ciepłą wodę użytkową.
- Kominki pracujące w systemie powietrznym są tańsze od kominków z wkładem wodnym, ale należy dodatkowo zainstalować wentylator i przewody powietrzne.
- Kominki z płaszczem wodnym mogą współpracować z kotłami opalonymi paliwami gazowymi, płynnymi jak i stałymi stanowiąc dodatkowe źródło ciepła wspomagające istniejące układy.
- Kominki powietrzne są niezależnym, nieskorelowanym źródłem ciepła.
- Wymagania stawiane pomieszczeniom w których zainstalowano kominki podano we wcześniejszych publikacjach.
- Zastosowanie kominka pozwoliło na poprawienie wartości EP w stosunku do budynku referencyjnego.

Literatura

- [1] Dane katalogowe firmy „Lechama”.
- [2] Dane katalogowe firmy „Walma”.
- [3] Dane katalogowe firmy „Arka”.
- [4] Dane katalogowe firmy „Viessmann”.

Fireplaces supporting central heating

Jerzy Adamczyk

*Lublin University of Technology Faculty of Civil Engineering and Architecture
e-mail: j.adamczyk@pollub.pl*

Abstract: Article presents usage of fireplaces with a water jacket and with an air turbine in a single-family detached home. Influence of usage of fireplaces on primary energy demand was also analysed.

Keywords: fireplace with a water jacket, fireplace with an air turbine, energy certificate.

Ogrzewanie powietrzne pomieszczeń

Jerzy Adamczyk

*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury Politechnika Lubelska
oraz Katedra Nauk Technicznych, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II
w Białej Podlasce, e-mail: j.adamczyk@pollub.pl*

Streszczenie: W artykule podano zasady projektowania ogrzewań powietrznych, które w ostatnich czasach są coraz częściej stosowane w budownictwie jednorodzinnym.

Słowa kluczowe: ogrzewania powietrzne.

1. Wstęp

Ogrzewanie powietrzne w ostatnich czasach jest coraz częściej stosowane w budynkach. W porównaniu do ogrzewań tradycyjnych (wodnych) wymaga trochę innego podejścia technicznego. W niniejszym artykule chcemy zwrócić uwagę czytelników na podstawowe problemy związane z omawianym typem ogrzewania. Ponadto dopiero w latach 90 na naszym rynku pojawiły się urządzenia umożliwiające wykonanie ogrzewań powietrznych (piece, wentylatory).

Nośnikiem ciepła jest powietrze, podgrzewane piecu i rozprowadzane kanałami do pomieszczenia lub grupy pomieszczeń (dom), które po ochłodzeniu powraca kanałem do pieca, gdzie ponownie jest ogrzewane. Jest to jedno z najstarszych typów ogrzewania pomieszczeń.

W zależności od sposobu podgrzewania powietrza, możemy podzielić je na:

- ogrzewanie bezpośrednie (podgrzew w piecach) – w części górnej pieca system rur tworzy wymiennik ciepła, przez który przepływa powietrze oraz spaliny (przeważnie w układzie krzyżowym),
- ogrzewanie pośrednie – w tym ogrzewaniu czynnikiem pośrednim jest para wodna lub woda.

W zależności od siły napędowej powodującej przepływ (ruch) powietrza w kanałach ogrzewanie to możemy podzielić na:

- grawitacyjne (najstarsze),
- wentylatorowe (przy czym wentylator może być instalowany w przewodzie nawiewnym i wywiewnym).

Instalacja ogrzewania powietrznego (ciepłym powietrzem) składa się z:

- źródła ciepła (piec, nagrzewnica),
- sieci przewodów (kanałów rozprowadzających i powrotnych),
- kratki nawiewnych i wywiewnych (z termoregulatorami lub bez).

Piece stosowane mogą być na paliwo:

- stałe (najstarsze rozwiązanie),

- ciekłe,
- gazowe.

Pieca na paliwo stałe oprócz zalet (spalanie różnego rodzaju paliw) od drewna do węgla kamiennego (koks) mają kilka wad podstawowych:

- bardzo utrudnioną regulację wydajności pieca i dostosowania jej do zapotrzebowania chwilowego na energię obiektu (grupy pomieszczeń i domu – obiektu sakralnego),
- duże trudności w utrzymaniu czystości pomieszczenia, w którym się znajduje,
- ciągły nadzór i obsługa pieca (dostarczanie paliwa, usunięcie produktów spalania).

Takich wad nie mają pieca na paliwo ciekłe i gazowe. Wadą tych pieców jest to, że nakłady inwestycyjne są wyższe niż w przypadku pieca na paliwo stałe. Niezbędna jest instalacja dostarczająca paliwo do palników oraz automatyka i zabezpieczenia wymagane dla tego typu instalacji (zagrożenie pożarowe). W przypadku paliwa ciekłego należy wydzielić odpowiednie pomieszczenie do jego magazynowania (zbiorniki, instalację do ich napełniania, zabezpieczenie środowiska przed skażeniem). W przypadku, gdy w budynku (np. kościoły) występują trudności z lokalizacją przewodu (komina) do odprowadzania spalin, można zastosować jako źródło ciepła – elektryczne piece akumulacyjne.

2. Przewody

Przewody rozprowadzające powietrze najczęściej wykonuje się jako murowane (pojedyncze pomieszczenia, domki jednorodzinne) lub z blachy stalowej ocynkowanej. W przypadku, gdy przewody są zamurowywane i dostęp lub ich wymiana jest niemożliwa, zalecane jest wykonywanie przewodów z blachy stalowej nierdzewnej. Przy przewodach z blachy stalowej (dobrze przewodzących ciepło) należy je zawsze starannie ocieplić (wełna mineralna, pianka polietylenowa, o odporności temperaturowej minimum 90°C). Wynika to z temperatur powietrza opuszczającego źródło ciepła – mianowicie 50÷80°C. Tak wysoka temperatura powodowana jest zmniejszeniem ilości powietrza przepływającego a co za tym idzie przekrojów kanałów rozprowadzających.

Układ przewodów może być promieniowy, obwodowy (w dół pomieszczenia, budynku). W przypadku ogrzewania powietrznego grawitacyjnego, przy zmianie kierunku należy stosować łagodne łuki (o dużym promieniu $R > 2d$ – w kanałach prostokątnych ostre załamania zastąpić łukami – nie kolanami). Przewody można prowadzić w podłodze (posadzce) kanałami murowanymi wzdłuż ścian, w przestrzeni stropowej – przy ogrzewaniu wentylatorowym.

3. Kratki nawiewne

Otwory wylotowe ciepłego powietrza zaleca się lokalizować (w ogrzewaniu grawitacyjnym) przy ścianach zewnętrznych pod oknami – dolna krawędź otworu na wysokości od 30÷50 cm.

Otwory wyposaża się najczęściej w kratki z blachy perforowanej w płaszczyźnie wylotu (blachy wykonuje się w postaci ozdobników stanowiących uzupełnienie

nie wystroju wnętrza pomieszczenia). W ogrzewaniu wentylatorowym otwory wywiewne nie muszą być lokalizowane na wyżej podanej wysokości. Można wykorzystać ciśnienie wytwarzane przez wentylator, do nawiewu powietrza na okna przez specjalne nawiewniki szczelinowe lub nawiew do przestrzeni międzyszybowej. Dzięki temu ogranicza się wpływ okna (niskie temperatury powierzchni szyb od strony pomieszczeń) na odczuwanie komfortu cieplnego użytkowników pomieszczenia. Zastosowanie kratki wentylacyjnej (w otworach nawiewnych) z termoregulatorami, pozwala na sterowanie ilością energii cieplnej dostarczanej z powietrzem do pomieszczenia a tym samym utrzymanie temperatury w pomieszczeniu na żądanym poziomie.

Wywiew powietrza z pomieszczenia następuje poprzez:

- a) szczeliny w drzwiach tych pomieszczeń,
- b) przez otwory wywiewne i sieć kanałów.

W przypadku a) powietrze przez korytarz i klatkę schodową dopływa do pomieszczenia (piwnicy), gdzie zlokalizowany jest piec. Zostaje zasane do otworu wlotowego wymiennika w piecu i w nim podgrzane. W małych instalacjach rzadko były stosowane składy umożliwiające wymianę powietrza krążącego w instalacji. Układy takie (zamknięte) miały tę wadę, że roznosiły zapachy do wszystkich pomieszczeń. Wymiana powietrza (dostarczanie świeżego – zewnętrznego) zmniejszyła taką uciążliwość, lecz zwiększyła zużycie energii cieplnej (paliwa). W ogrzewaniach wentylatorowych należy się liczyć ze zużyciem energii elektrycznej do napędu wentylatora (wentylatorów), lecz można zmniejszyć zużycie energii cieplnej stosując systemy z wymiennikami (rekuperatorami) do odzysku ciepła z powietrza wyrzucanego. Układy takie są inwestycyjnie droższe od prostych grawitacyjnych – lecz eksploatacyjnie tańsze (oszczędniejsze) oraz zapewniają lepszy komfort cieplnym w obsługiwanych pomieszczeniach.

Obliczanie zapotrzebowania ciepła przez pomieszczenie (budynek) wykonuje się w podobny sposób, jak dla ogrzewania wodnego. Ilość powietrza dopływającego do pomieszczenia określa się z zależności:

$$V_i = \frac{Q_{ip} \cdot 3600}{\rho_p \cdot c_p (t_n - t_p)}; \quad [m^3 / h] \quad (1)$$

gdzie: Q_{ip} – strata ciepła pomieszczenia w kW, ρ_p – średnia gęstość powietrza nawiewanego (w sezonie grzewczym), c_p – ciepło właściwe powietrza = 1 kJ/(kgK), t_n – maksymalna temperatura powietrza nawiewnego w sezonie grzewczym (40÷45°C), t_p – temperatura powietrza w pomieszczeniu (zależy od przeznaczenia pomieszczenia).

Przy doborze mocy pieca (nagrzewnicy) należy do sumarycznego zapotrzebowania energii cieplnej pomieszczeń, doliczyć niezbędną moc cieplną na podgrzanie powietrza świeżego (zewnętrznego). W przypadku odzysku ciepła z powietrza wyrzucanego na zewnątrz uwzględnić odzyskaną moc cieplną w mocy pieca. Niezbędną moc pieca (nagrzewnicy) można wyznaczyć z zależności:

$$Q_{pc} = \sum_{i=1}^n Q_{ip} + Q_{pz} - Q_{od} \quad [kW] \quad (2)$$

gdzie: Q_{ip} – strata mocy cieplnej i-tego pomieszczenia [kW], n – liczba pomieszczeń obsługiwanych przez instalację, Q_{pz} – moc cieplna potrzebna do ogrzania powietrza zewnętrznego (wymienianego) [kW], Q_{od} – moc cieplna odzyskana w wymienniku (rekuperatorze) [kW].

W przypadku, gdy energia cieplna tracona przez przewody rozprowadzające nie „przepływa” do obsługiwanych przez instalację pomieszczeń (jest tracona poza układem) należy również uwzględnić ją w doborze pieca (nagrzewnicy). Wymiarowanie kanałów rozprowadzających powietrze przeprowadza się w analogiczny sposób, jak dla instalacji wentylacji mechanicznej. W ogrzewaniu grawitacyjnym należy dokładnie wykonać obliczenia hydrauliczne całej sieci (część nawiewną i wywiewną). W przeciwnym przypadku należy liczyć się z dużymi trudnościami eksploatacyjnymi (inny niż zakładany przepływ powietrza i temperatury w pomieszczeniach).

Instalacje ogrzewania wentylatorowego można rozbudować montując chłodnicę powietrza. W okresie letnim instalacja taka pracować będzie jako instalacja wentylacyjna z normowaniem temperatury w okresie letnim – zwiększając komfort w pomieszczeniach. Zastosowanie zamiast agregatu chłodniczego, pompy ciepła (np. powietrze – powietrze) umożliwi ogrzewanie pomieszczenia nawet wtedy, gdy temperatura powietrza zewnętrznego spadnie do -10°C bez uruchamiania kotła.

4. Źródła ciepła

- W systemach ogrzewania powietrznego źródłem ciepła jest najczęściej kocioł ogniowo-powietrzny (nadmuchowy) z wbudowanym wentylatorem. Może być on zasilany gazem ziemnym, płynnym lub olejem opałowym. Od kotłów wodnych, różni się tylko tym, że zamiast wymiennika ciepła typu spaliny – woda ma wymiennik spaliny – powietrze. Powietrze ogrzewa się, opływając komorę spalania, a następnie przepływając przez rurki wymiennika, które omywane są z zewnątrz spalinami.
- Źródłem ciepła może być także nagrzewnica elektryczna, ale jest to rozwiązanie bardzo drogie w eksploatacji i dlatego rzadko stosowane.

Kocioł może być zasilane gazem ziemnym, gazem płynnym, olejem opałowym lub energią elektryczną. Z uwagi na wbudowany wentylator nadmuchowy, nawet jednostki zasilane gazem czy olejem wymagają osobnego podłączenia do instalacji elektrycznej jednofazowej, pobór mocy wynosi od 200-600W.

Wymiana ciepła pomiędzy powietrzem a spalinami zachodzi w wymienniku ciepła, przy czym spaliny nie mają nigdy bezpośredniego kontaktu z powietrzem. Zasysanie powietrza do spalania odbywa się osobnym wentylatorem pracującym niezależnie od wentylatora nadmuchowego i osobnym przewodem wyprowadzonym na zewnątrz budynku.

Na rynku krajowym dostępne są co najmniej trzy typy pieców nadmuchowych:

- niekondensacyjne, z jednym wymiennikiem ciepła i sprawnością około 80%, z zamkniętą lub otwartą komorą spalania,
- kondensacyjne, z dwoma wymiennikami ciepła i sprawnością do 106%, z zamkniętą komorą spalania,
- kondensacyjne modulacyjne, z palnikiem pracującym w systemie regulacji „Comfort Heat”.

Ten ostatni typ pieców umożliwia pracę palnika w dwóch położeniach, standardowo piec modułacyjny załącza się na np. 2/3 swojej mocy, co jest w zupełności wystarczające w okresie jesiennym i wiosennym. Przy wzroście zapotrzebowania na ciepło system automatycznie przełącza palnik na maksymalną moc. W systemie Comfort Heat oszczędność gazu dochodzi do 80% w porównaniu do tradycyjnych pieców nadmuchowych.

4.1. Klimatyzator i nawilżacz

Umieszczane są opcjonalnie na wylocie powietrza z pieca nadmuchowego. Oba elementy stanowią wyposażenie dodatkowe instalacji i mogą być zamontowane później, w miarę potrzeb lub możliwości finansowych. Klimatyzator to nic innego jak chłodnica powietrza podłączona do drugiego obiegu, w tym wypadku źródła chłodzenia (tzw. chillera). Chillery umieszcza się zwykle na zewnątrz budynku jako wymienniki ciepła gruntowe, lub jako agregaty chłodnicze, sprężarkowe instalowane na gruncie lub na dachu.

Nawilżacz pozwala na utrzymanie w budynku odpowiedniej wilgotności powietrza, wpływając na poprawę samopoczucia i zmniejszając zdolność do elektryzowania się sprzętów i przedmiotów. Większa wilgotność powietrza pośrednio umożliwia też większą oszczędność energii, dzięki obniżeniu temperatury komfortu cieplnego (w zimie powietrze wilgotne daje większe odczucie ciepła niż powietrze suche, przy tej samej temperaturze w pomieszczeniu).

W standardowym rozwiązaniu nawilżacz zbudowany jest z gęstej, metalowej siateczki lub tacki o dużej powierzchni parowania, po której spływa zimna woda. Ciepłe powietrze przepływając przez nawilżacz powoduje przyspieszone parowanie i powstawanie mgły wodnej. Regulacja ilości dopływającej do nawilżacza wody może być ręczna lub elektroniczna.

Nawilżacze stopniowo zarastają osadami kamienia kotłowego, dlatego wymagają okresowej wymiany siateczki. Można też doprowadzać do nawilżaczy wodę już zmiękczoną.

4.2. Filtry

Montowane są standardowo przed piecem nadmuchowym, część pieców wyposażona jest też we własny filtr mechaniczny do wstępnej filtracji. Filtry, w zależności od typu i przeznaczenia mogą wychwytywać cząstki od kilku mikronów do nawet 0,01 mikrona, mogą też posiadać funkcję jonizacji powietrza (filtr jonizacyjny).

Filtry mechaniczne – o budowie standardowej, będące na wyposażeniu pieca, zbudowane są zwykle z metalowych siatek o odpowiedniej gęstości oczek. Są tanie, łatwe w czyszczeniu, mogą usuwać zanieczyszczenia mechaniczne o wielkości do 10 mikronów.

Filtry syntetyczne – wyposażone są w wewnętrzny, wymienny wkład filtrujący z tkaniny bawełnianej, filcu, itp. Niektóre z nich dają się regenerować poprzez pranie, jednak korzystniej jest wymieniać je na nowe (tak jak w odkurzaczu). Filtry syntetyczne mogą usuwać zanieczyszczenia o wielkości do 0,5 mikrona, jak kurz, sierść zwierząt, pyłki kwiatów, a także częściowo usuwać bakterie, alergeny pochodzenia zwierzęcego i zapach.

Filtry elektroniczne, elektrofiltry, filtry jonizacyjne – posiadają bardzo wysoką zdolność filtracyjną do ponad 90% (filtr jonizacyjny do ponad 99%). Mogą usuwać zanieczyszczenia o wielkości do 0,01 mikrona, jak bakterie, wirusy, a także dym tytoniowy. Stanowią zawsze drugi etap filtracji.

Filtry węglowe - wyposażane we wkład z węgla aktywowanego służą do usuwania zapachów i dymu tytoniowego, jako ostatni etap filtracji.

Firmy oferują najczęściej filtry kompaktowe, o budowie modułowej, posiadające wszystkie powyższe etapy filtracji. Rozwiązanie takie jest korzystne tak pod względem strat ciśnienia, jak i miejsca pod zabudowę.

Dla systemów nadmuchowych pracujących w budynkach użyteczności publicznej, jak restauracje, bary, gdzie konieczna jest bardzo częsta wymiana powietrza i wysoka jego jakość, rynek oferuje też do dezynfekcji powietrza lampy UV.

Tryb wentylacji

4.3. Systemy pracy

System pracuje tylko w funkcji nawiewu świeżego powietrza, zapewniając szybką wymianę zużytego powietrza w pomieszczeniach, jak też usuwanie nadmiaru wilgoci, palnik pieca nadmuchowego jest wyłączony. Ilość dopływającego do układu świeżego powietrza można regulować w przedziale od 5-100%.

Free-cooling

Czyli swobodne chłodzenie. Funkcja ta umożliwia szybkie, w przeciągu 15-20 minut obniżenie temperatury w budynku o kilka stopni, przez jego przewietrzenie świeżym, zewnętrznym powietrzem, przy 100% otwartej przepustnicy powietrza. Idealna latem w godzinach wieczornych, gdy zakumulowane w budynku ciepło stwarza wrażenie zaduchu, a na dworze jest znacznie niższa temperatura.

Funkcja free-cooling jest bardzo przydatna dla budynków położonych blisko lasu, jeziora, stawu itp. gdzie w lecie przez otwarte okna mogą wpadać komary. W tym wypadku odświeżanie powietrza następuje przy całkowicie zamkniętych oknach.

Grzanie i chłodzenie strefowe

Możliwe przy rozbudowanej automatyce, wymaga stosowania programatora czasowego i kilku termostatów. Pozwala na stosowanie kilku stref grzania w budynku, o różnej temperaturze, dodatkowo ustawianej w funkcji czasu dobowego i tygodniowego. W budynkach mieszkalnych strefy komfortu można wydzielić osobno np. dla: kuchni, pomieszczeń technicznych, pokoiów dziennych i salonów, sypialni. Dla każdej ze stref można zaprogramować inną temperaturę i inny czas grzania zgodny ze zwyczajami domowników. Czujniki temperatury umieszczone w strefach wysyłają informacje do centralnego programatora, wpływając tym samym na moc pieca (opcja dostępna przy piecach modułacyjnych), a z poziomu pomieszczenia sterując osobno przepustnicami powietrza w kanałach.

Sterowanie systemem przy pomocy SMS.

Są już systemy oferujące możliwość sterowania programatorem na odległość, np., z poziomu telefonu komórkowego przy pomocy informacji SMS. Telefon pozwala na załączanie i wyłączanie urządzenia, zmianę parametrów jego ustawienia, a także na otrzymywanie aktualnych danych o pracy systemu (np. jaka temp.

panuje w domu). Przy połączeniu z linią serwisanta, programator może wysyłać nawet informacje o awarii systemu. Można go też włączyć do systemu oświetleniowego budynku i z telefonu komórkowego symulować obecność mieszkańców, załączając i wyłączając oświetlenie.

5. Współpraca z gruntowymi wymiennikami ciepła

Istotą nowoczesnego systemu wentylacyjnego w obecnych czasach jest jego niezawodność i energooszczędność. Warto pomyśleć o tym, że poprzez nieszczelne i mało wydajne tradycyjne systemy wentylacyjne w budownictwie jednorodzinym przeciętny użytkownik jest zmuszony zainwestować ok. 30% więcej aniżeli powinien. I to ma miejsce zarówno na etapie instalowania systemu grzewczego, jak i podczas późniejszej eksploatacji. Bierze się to mianowicie stąd, że za utratę ok. 30% ciepła w budynku odpowiedzialna jest nieefektywna i nie spełniająca wymagań energooszczędności wentylacja grawitacyjna. Rozwiązaniem na miarę dzisiejszych czasów jest współpraca z gruntowym powietrznym wymiennikiem ciepła, która zapewni nam wymierne oszczędności zimą oraz naturalny chłód latem. Gruntowy powietrzny wymiennik ciepła (w skrócie GPWC) jest instalacją zapewniającą stały dopływ świeżego, higienicznego i przefiltrowanego powietrza do instalacji oraz gwarantującą wstępne podgrzanie lub schłodzenie tego powietrza. GPWC to typ przeponowego wymiennika rurowego, w którym powietrze pełni rolę medium, ale nie dochodzi do bezpośredniego kontaktu powietrza z gruntem. Podwyższona przewodność cieplna rur polipropylenowych umożliwia optymalną wymianę ciepła między zasysanym powietrzem a gruntem, co przekłada się na bardzo wysoką sprawność systemu.

Praca wymiennika gruntowego bazuje na akumulacyjnych właściwości gruntu w obszarze pod termoizolacją-styropianem. Tak więc praktyczna wielkość GWC jest uwarunkowana powierzchnią styropianu, a nie tylko powierzchnią samego wymiennika. Średnia temperatura powietrza wychodzącego z GWC w ciągu roku równa jest w przybliżeniu wartości średniej temperatury powietrza dochodzącego do wymiennika w tym okresie. W Polsce średnia roczna wartość temperatury zewnętrznej wynosi od 6,5 do 9 st. C (w zależności od regionu kraju).

5.1. Praca GWC w okresie letnim

W okresie letnim wymiennik gruntowy „oddaje chłód” zgromadzony w gruncie zimą, czego efektem jest znaczne obniżenie temperatury powietrza wentylacyjnego. Wysoka stabilność temperatury powietrza za GWC w ciągu doby jest cechą charakterystyczną i świadczy o bardzo dobrej wymianie cieplnej układu powietrze-grunt. Powolne wzrastanie temperatury podczas wielodniowych upałów jest efektem odpowiednio dużej powierzchni samego wymiennika czyli odpowiednio pojemnego akumulatora gruntowego. Ponieważ w porze nocnej temperatura powietrza zewnętrznego jest stosunkowo niska, sprzyja to regeneracji wymiennika (szczególnie samego wlotu i pierwszego szeregu płyt). Dlatego wymiennik płytowy powinien pracować całą dobę. Podczas chłodzenia powietrza o wysokiej temperaturze i wilgotności następuje wykraplanie się wody na powierzchni gruntu. Powietrze wychodzące z GWC jest wówczas dodatkowo osuszone. Jest to korzystne, bowiem mniejsza wilgotność powietrza latem polepsza odczucie komfortu w wentylowa-

nych pomieszczeniach. Należy zaznaczyć, że warunkiem braku odczucia duszności w pomieszczeniach jest skuteczne obniżenie temperatury powietrza nawiewanego przez GWC podczas upałów do wartości zawsze poniżej +18 st. C. Zdolność innego typu gruntowego wymiennika do chłodzenia powietrza do wartości np. +21 st. C jest zdecydowanie niewystarczająca, bowiem odczucie duszności powietrza w tych warunkach pozostaje.

5.2. Praca GWC w okresie zimowym

W okresie zimy płytowy wymiennik gruntowy „oddaje” zgromadzone ciepło w gruncie przez co zimne powietrze jest ogrzewane. Wartość temperatury powietrza za GWC podobnie jak latem jest bardzo stabilna w ciągu doby, a podczas wielodniowych silnych mrozów powoli spada do wartości niewiele większych od zera stopni Celsjusza. Cechą charakterystyczną dla wymiennika jest zdolność dowilżania (zimną) powietrza ogrzewanego w wymienniku. Praktyka pokazuje, że powietrze wychodzące dowilżane bywa do wartości ponad 90% aż do końca grudnia. Jest to bardzo pożądana cecha, bowiem znacząco poprawia parametr wilgotności powietrza w budynku podczas chłódów. Sam proces „wysychania” powietrza w domu rozpoczyna się więc dopiero w styczniu w więc w środku sezonu grzewczego i jest znacznie spowalniany dalszym dowilżaniem powietrza przez GWC. Odpowiednie ukształtowanie strugi powietrza przepływające przez płytowy wymiennik gwarantuje maksymalnie skuteczną wymianę ciepła o niespotykanej gdzie indziej skuteczności. Konstrukcja i konfiguracja poszczególnych elementów wymiennika minimalizuje straty ciśnienia transportowanego powietrza.

Cechy szczególne:

- praktycznie 100% wymiana ciepła z gruntem,
- możliwość posadowienia wymiennika na niewielkiej głębokości,
- wydajne chłodzenie i osuszanie powietrza latem,
- ogrzewanie i dowilżanie powietrza zimą,
- niewielkie straty ciśnienia,
- możliwość pracy ciągłej, bez potrzeby „regeneracji” złoża.

Dzięki odpowiednio dobranej izolacji termicznej i niewielkiej grubości podłoża żwirowego wymiennik może być płytko posadowiony (około 0,7 m poniżej gruntu). Umożliwia to stosowanie go w miejscach gdzie wody gruntowe występują dosyć wysoko.

Jednak wymiennik nie może być przez wodę gruntową zalewany. Bezprzeprowny przepływ powietrza (w bezpośrednim kontakcie z odpowiednio przygotowaną warstwą gruntu) umożliwia odprowadzenie bezpośrednio do gruntu kondensatu powstającego w procesie schładzania powietrza. Dodatkowo, co potwierdziły badania sanepidu, zapobiega rozwojowi grzybów i pleśni wykorzystując stabilizujące działanie naturalnej flory gruntu. Powietrze po przejściu przez płytowy wymiennik jest nie tylko schłodzone lub ogrzane, lecz także oczyszczone z bakterii i zarodników grzybów.

6. Podsumowanie

Reasumując można stwierdzić że:

- ogrzewania powietrzne z powodzeniem mogą być stosowane w budynkach o okresowej używalności (nie zamrażanie woda w grzejnikach) i uruchamiane w czasie pobytu ludzi (oszczędność energii – tańsza eksploatacja),
- znaczne efekty ekonomiczne uzyskamy w połączeniu z wentylacją nawiewno wywiewną z wymiennikami rekuperatorowymi,
- wymaga dokładnego zaprojektowania i starannego wykonania
- opinie o ogrzewaniu powietrznym są często skrajne, podyktowane z jednej strony niewiedzą na temat tego typu systemów, z drugiej wieloletnimi przyzwyczajeniami tak projektantów, jak i wykonawców instalacji. Wiele powstających w biurach projektów domków z góry zakłada ogrzewanie wodne, nie zapewniając odpowiedniej wysokości pomieszczeń, czy miejsc pod zabudowę kanałów.

Air heating of rooms

Jerzy Adamczyk

*Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
e-mail: j.adamczyk@pollub.pl*

Abstract: Article presents rules of designing air heating, which lately are more frequently used in single-family detached homes.

Keywords: air heating.

The innovative solutions in new building for education architects in Lublin

Jan Wrana¹, Agnieszka Fitta²

*¹ Independent Architectural Lab, Faculty of Building and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: janwrana@architekci.pl*

*² Phd student of Faculty of Architecture, Cracow University of Technology,
Design Office JW-Proinvest, e-mail: agnieszka.fitta@doktoranci.pk.edu.pl*

Abstract: The article provides a few new and innovative system solutions a realized extension of the DB&A of Lublin University of Technology called Eastern Innovation Centre of Architecture. The object is “an integrating zone of practical education.” The form of the spatial sculpture of object was achieved via significant overhanging of the assembly hall accommodating 200, supported by the slanted wall, coming from the line of the facade and three cubic elements firmly in the construction of the building. The interior patio emphasizes “the unity of the aims of open education” and also provides additional light for the exhibition space. The mobility of the interior divisions allows “flexible shaping of functional divisions”. The external shutters being electronically controlled, in particular sections on the facade allow for “interactive participation” of the users in the aesthetic creation of the facade. In case of strong winds the external shutters are shut automatically.

Keywords: innovation, Lublin, Eastern Innovation Centre od Architecture.

1. Introduction



Fig. 1. Eastern Innovation Centre of Architecture – a general view. Photo by K. Gnat.

Eastern Innovation Centre of Architecture is a new wing of the Civil Engineering and Architecture Faculty of Lublin University of Technology, designed for the students of architecture. A seemingly simple, subtly sculptured block, vividly corresponds with and perfectly fits in the complex of the university buildings realized in Polish postmodernism, developed in the 1970s.

The building was built in 2010-2013, using the European Union funds from the “East Poland Development” program. The team of architects and builders (among others Jan Wrana – the head of the Project and the chief designer of the investment, Bartłomiej Kwiatkowski – the co-author of the concept, Metropolis-Redan – the co-authors of the construction and executive designs, BUDIMEX S.A. – the chief contractor) succeeded in performing both fast and efficiently.¹

2. Innovative solutions

2.1. Construction

The building of the Eastern Innovation Centre of Architecture, located in the premises of Lublin University of Technology campus, by its form of “spatial sculpture”, corresponds with the spatial composition of the complex of the university buildings located along Nadbystrzycka Street. The building itself is characterized by simple yet elegant architecture, the quality of which was achieved among others via precisely made facade.

The form of the spatial sculpture was achieved via significant overhanging of the assembly hall accommodating 200 people (on the fourth and fifth floor) – supported by the slanted wall, coming from the line of the facade and three cubic elements firmly anchored in the construction of the building.

The interior spacious patio emphasizes “the unity of the aims of open education” in the academic environment and also provides additional light for the exhibition space in the main hall on the ground floor. It is both a place for exhibiting students’ work (on the ground floor) and the place for students’ activity – a meeting place or a place where one can share thoughts and experiences with the others.

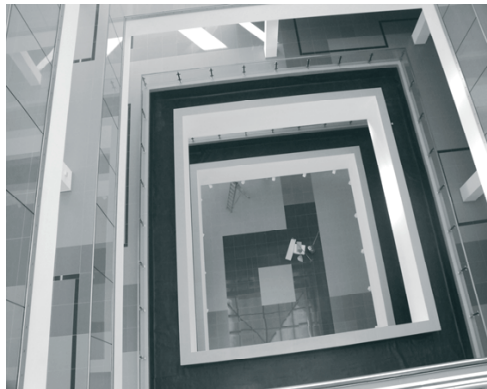


Fig. 2. The patio. Photo by J. Wrana.

¹ The design consultants: professor Bogusław Szmygin (The Dean of the Civil Engineering and Architecture Faculty of Lublin University of Technology 2006-2012), professor Andrzej Getter – a sculptor of the Academy of Fine Arts.



Fig. 3. A drawing room - the technical ceiling. Photo by J. Wrana.

2.2. The ceilings

The ceilings applied in the building give an impression of being unfinished, however, leaving out smooth finish was an intentional and well-thought decision made by the designers.

Due to the fact that the mechanical ventilating ducts and aesthetically made installations are uncovered, the future architect-designer can broaden their knowledge as far as the need for interbranch co-operation is taken into account. The students by means of observation, may it be unintentionally and subconsciously, get accustomed to technical aspects of designing and remember them. Due to this fact it is more possible that they will appreciate the effects of the coherent and effective co-operation between an architect and discipline-specific designers without which it is not possible to design a building that will be both architecturally and technically perfect.

At the same time the installation paths thanks to the proper finish and conduct are a peculiar and original decoration that draws attention of both users and viewers not connected with architecture.

2.3. The walls with Le Corbusier's pictograms

A total innovation, first of all because of the functional aspect – is located on the third floor. The designers decided to separate the faculties and institutions from the hall open for general use by means of glass walls by MARS company.

Two kinds of glazing were applied: transparent (between the hall and the interior corridor) and frosted (between the corridor and the rooms of the faculties). The first – smooth glass – is ornamented with the pictograms based on the drawings by the most famous architect of the 20th century – Le Corbusier. They present human shapes in various poses – it is Modulor, the architect's hallmark, “the measure” he created that helps in designing.

The frosted glass is a compromise satisfying both the workers who will have comfort and privacy and the students who will be able to see whether anybody is inside or not.

The concept of glazing is a vivid reference to the theme of integration – the lack of the visible divisions – the idea of onespaciality – is favourable for both the visual integration of the place, and the integration between the workers and the students.



Fig. 4,5. The walls by MARS with Le Corbusier's pictograms. Photo by J. Wrana.



Fig. 6,7. The mobile divisions on the fourth floor - extended and retracted. Photo by J. Wrana.

2.4. The mobile divisions

In certain parts of the building – on the fourth and fifth floor- the interior mobile divisions were applied. They allow for separating the hall from the classrooms and, at the same time, the mobility of the interior divisions allows for the “flexible shaping of functional divisions”.

The mentioned divisions are the most distinctive elements of the floors both visually and functionally. Thanks to them the space is more flexible – it allows for various arrangements and changes, it can be transformed as needed.

The rooms can have various functions. In case of a large number of students, for instance during the overview – everybody can gather in one room, whereas when

necessary, it can be divided for smaller groups assigned to assistant professors, making small, private rooms that will provide comfortable work without any interference and disturbances. They can also be used during conferences as seminar rooms or exhibiting rooms, or as rooms for preparation before defences, overviews, etc.

2.5. The external shutters

Because of the considerable amount of glazing on the south-east and south-west facade, and the risk of the building overheating, external shutters were applied.

They allow for regulation of the amount of light, thus they protect the building against excessive overheating. They also form a protection against wind, in case of strong wind the external shutters are shut automatically. They are divided into sections and they are electronically controlled by means of the system that allows to shut them with one move and to control them in various sections, which, in turn, allows for “interactive participation” of the users in the aesthetic creation of the facade by opening and shutting them.

The shutters also play an aesthetic role – they make the calm, glazed facades more attractive, due to their being “a technical detail.” Both when open or shut, they make an attractive part of the facade- literally enlivening it because it is thanks to them that the building can change its image.

Regulating the external shutters, the partial or the whole opening or shutting them make new compositions each and every time they are moved, compositions being a mixture of various facade materials: beige-cream modular facade plates covering the space – the navy blue modular segments in aluminium construction – and alternately shut segments of the glazed facade depending on the part of the day and the amount of sunlight.

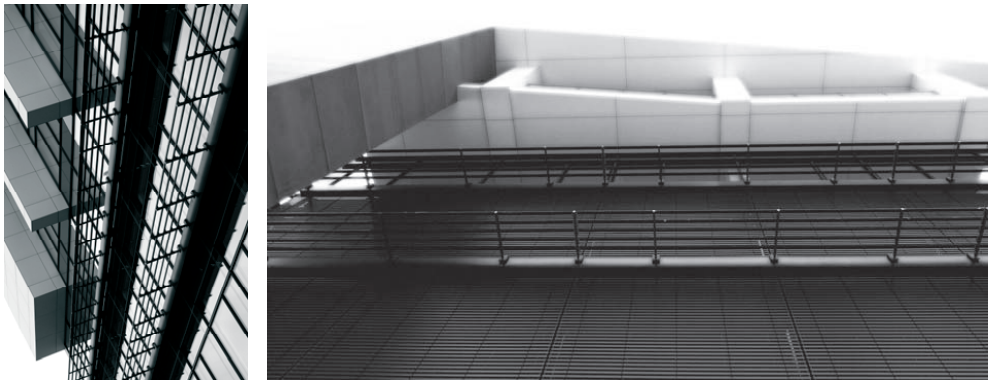


Fig. 8,9. The external shutters. Photo by K. Gnat.

3. Summary

A number of innovative solutions were applied in the Eastern Innovation Centre of Architecture in Lublin, which make the comfort of using the building and its quality higher. At the same time, during the designing phase, the context of the place was not forgotten. The new building was adapted to the existing environment, making the building extremely modern but blending with the spirit of the place.

The building located by the main entrance to the University campus was an attraction even at the stage of construction, it already showed its visible, but not aggressive modern form, in an aware way respecting the context of the place.

The realized building connects the latest technologies with the respect towards the past, thus creating a comfortable working and learning place.

Bibliography

- [1] Barnaś J. *Elewacje dynamiczne – kształtowanie nowoczesnych elewacji – dobór technologii i materiałów*. Czasopismo Techniczne PK, zeszyt 11, 2-A/1/2011, Kraków 2011, s. 7-13.
- [2] Dworzak-Żak E. *Ściany zewnętrzne nowej generacji – aktywne, interaktywne, medialne*. Czasopismo Techniczne PK, 4-A/1/2007, Kraków 2007, s. 43-50.
- [3] Helenowska-Peschke M., *Interaktywność - nowa filozofia architektury*, Czasopismo Techniczne PK, z. 7-A/2, Kraków 2010, s.119-124.
- [4] Tymkiewicz J. *Systemy osłon przeciwśłonecznych – wady i zalety różnych rozwiązań*. Czasopismo Techniczne PK, Zeszyt 11, 2-A/2/2011, Kraków 2011, s. 213-220.
- [5] Wrana J. *Eseje o tożsamości miejsca. Wybrane artykuły dotyczące tożsamości i kontekstu*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2012.
- [6] Wrana J. *Tożsamość miejsca. Kryterium w projektowaniu architektonicznym*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2011.

Przykłady innowacyjnych rozwiązań w nowym obiekcie dla kształcenia architektów w Lublinie

Jan Wrana¹, Agnieszka Fitta²

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury,
Samodzielna Pracownia Architektoniczna, e-mail: janwrana@architekci.pl

² doktorantka Wydziału Architektury Politechniki Krakowskiej,
Biuro Projektowe JW-Proinvest, e-mail: agnieszka.fitta@doktoranci.pk.edu.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia kilka nowych, innowacyjnych rozwiązań systemowych w zrealizowanej rozbudowie WBiA Politechniki Lubelskiej - „WICA” – Wschodnie Innowacyjne Centrum Architektury. Obiekt jest „integracyjną strefą praktycznej edukacji”. Formę rzeźby przestrzennej obiektu uzyskano poprzez znaczne nadwieszenie auli przeznaczonej dla 200 osób, opartej na skośnej ścianie, wyprowadzonej z linii rysunku elewacji, oraz trzech kubicznych elementach, zakotwionych w konstrukcji obiektu. Wewnętrzne patio podkreśla „wspólnotę celów kształcenia otwartego” oraz doświetla przestrzeń ekspozycyjną. Mobilność podziałów wewnętrznych umożliwia „elastyczne kształtowanie podziałów funkcjonalnych”. Elektroniczne sterowanie zewnętrznymi żaluzjami w poszczególnych sekcjach na elewacjach pozwala na „interaktywne uczestnictwo” użytkowników w estetycznym kształtowaniu elewacji. W sytuacjach natężeń wiatrów żaluzje są automatycznie zsuwane.

Słowa kluczowe: innowacja, Lublin, Wschodnie Innowacyjne Centrum Architektury.

Analiza skuteczności przepon wykonywanych metodami iniekcji chemicznej w murach z opoki wapnistej. Część II. Wykonywanie i badanie skuteczności przepon chemicznych w murach z opoki

Maciej Trochonowicz

*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: m.trochonowicz@pollub.pl*

Streszczenie: Uzyskane pozytywne wyniki hydrofobizacji opoki i zaprawy wapiennej pozwoliły na rozszerzenia zakresu badań. Zdecydowano o przeprowadzeniu prób wykonania przepony metodą iniekcji w murach. Ze względu na trudność przeprowadzenia badań polowych zdecydowano o wzniesieniu murów w laboratorium. Po okresie sezonowania w trzech murach badawczych wykonano trzy warianty przepon chemicznych. Do iniekcji użyto preparatu wyselekcjonowanego w pierwszym etapie badań. Kolejnym etapem było sprawdzenie skuteczności wytworzonych przepon.

Słowa kluczowe: izolacje, przepony chemiczne, preparaty hydrofobizujące, opoka wapnista.

1. Wprowadzenie

Badania nad skutecznością preparatów do hydrofobizacji wgłębnej prowadzone były w Polsce w kilku ośrodkach. Wśród najważniejszych należy wymienić Politechniki Krakowską, Wrocławską i Warszawską oraz Wojskową Akademię Techniczną. Na przestrzeni lat prowadzono próby z zastosowaniem szeregu metod oceny głębokości penetracji preparatów i skuteczności efektu hydrofobizacji. Promień penetracji próbowano badać za pomocą ultradźwięków, przy zastosowaniu porozymetrii rtęciowej oraz metodami elektrochemicznymi. [2] Kontrolę szczelności przepon miała umożliwiać metoda pomiaru ciepła zwilżenia. [1] W praktyce w większości przypadków metody te nigdy nie znalazły szerszego zastosowania. W chwili obecnej pomimo pojawienia się na rynku szeregu nowych preparatów, badania na dużą skalę nie są kontynuowane.

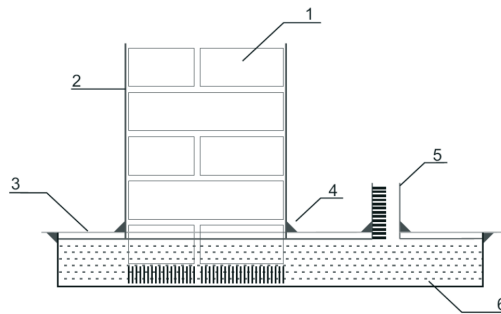
Zdecydowanie lepiej wygląda sytuacja związana z badaniami nad skutecznością preparatów stosowanych do hydrofobizacji powierzchniowej. W większości przypadków są to materiały o wysokim poziomie merytorycznym i opracowane kompleksowo. Badania prowadzone są przez Zakład Konserwacji Elementów i Detali Architektonicznych UMK w Toruniu, Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie, Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie, oraz szereg ośrodków akademickich na terenie całego kraju.

2. Metodyka badań

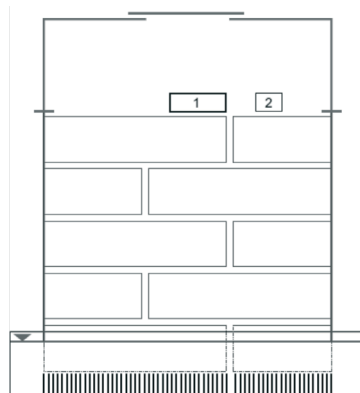
Ze względu na objętość opracowania autor zdecydował się jedynie na krótką charakterystykę metod badania skuteczności preparatów stosowanych do iniekcji wgłębnych. Najwyższy poziom merytoryczny mają metodyki badań opisane w niemieckiej instrukcji WTA 4-4-04 oraz badania prowadzone przez Politechnikę Krakowską.

2.1. Badania WTA 4-4-04

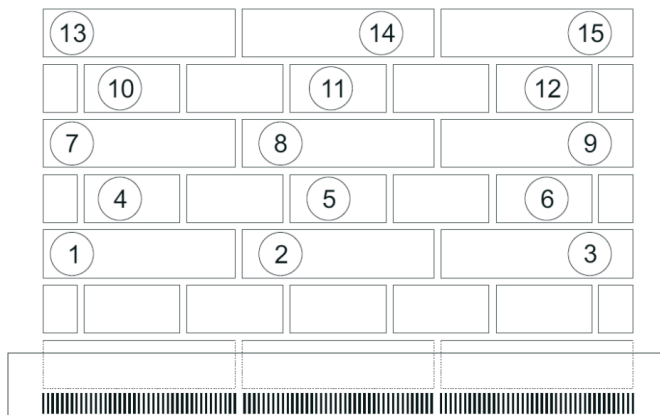
W instrukcji WTA 4-4-04 [6] zawarto informacje dotyczące wykonywania iniekcji i oceny skuteczności w murach zawilgoconych. Zgodnie z nią prowadzone są badania przede wszystkim w Niemczech, w Polsce nie jest ona stosowana obowiązkowo. Z analizy autora wynika, że na dzień dzisiejszy jest to jedno z najlepszych opracowań traktujących o przeponach wykonywanych metodami iniekcji. W instrukcji zamieszczono szereg informacji oraz metod badań dotyczących nie tylko skuteczności preparatów ale także ich trwałości w czasie. Jest to o tyle istotne, że w literaturze przedmiotu dotychczas problem trwałości raczej pomijano. Poniżej zamieszczone zostało streszczenie metodyki badań zgodnie z WTA 4-4-04.



Rys. 1. Schemat sposobu badania skuteczności preparatu do iniekcji przez pomiar ilości objętości wody odparowanej z powierzchni przekroju poprzecznego próbki. 1- murek, 2- powłoka paroszczelna, 3- zbiornik z zamknięciem, 4-uszczelnienie, 5- cylinder pomiarowy z podziałką, 6 - woda. Rys. na podstawie [6].



Rys. 2. Schemat sposobu badania skuteczności preparatu do iniekcji przez pomiar ilości odparowanej wilgoci. 1 – pojemnik z żelazem pobierającym wilgoć z otoczenia, 2- rejestrator parametrów ciepłno-wilgotnościowych. Rys. na podstawie [6].



Rys. 3. Schemat sposobu badania skuteczności preparatu do iniekcji przez pomiar wilgotności za pomocą mikrofal. Usytuowanie punktów pomiarowych. Rys. na podstawie [6].

Badania narzucają konieczność wzniesienia murów testowych i prowadzone są dla trzech przedziałów przesiąknięcia wilgocią tzw. DFG. Instrukcja zaleca prowadzenie badań dla DFG równego 60%, 80% oraz 95%. Badania skuteczności preparatu iniekcyjnego wymagają wykonania trzech testowych murków. W dwóch prowadzi się iniekcje, trzeci ma charakter porównawczy. WTA szczegółowo definiuje wymogi odnośnie cegieł i zapraw użytych do wykonania murów. [6] Określono dwa kryteria, które muszą być spełnione w trakcie badań certyfikacyjnych: wilgotność masowa murów po 90 dniach od wykonania iniekcji musi, w stosunku do trzeciej próbki, spaść przynajmniej o 50 %, wilgotność muru porównawczego nie może wzrastać w czasie przeprowadzania badań.

Każdy z trzech murów testowy musi składa się z 7 warstw cegieł. Grubość spoin poziomych musi wynosić 12 mm, a pionowych 10 mm. Pierwszą warstwę cegieł układa się na specjalnym ruszcie umożliwiającym przemieszczanie muru. Murki należy sezonować przez minimum 28 dni w temperaturze 23°C przy 50% wilgotności względnej powietrza. Następnie wykonuje się odwierty, tak aby nie zostały uszkodzone spoiny. Otwory wykonuje się w jednym lub dwóch rzędach, poziomo lub pod kątem (maksymalnie 45°). Stosuje się rozstaw osiowy otworów od 10 do 12,5 cm. Po wykonaniu otworów wewnątrz należy odpylić. Iniekcję wykonuje się, zgodnie z danymi producenta preparatu iniekcyjnego.

Skuteczność wykonanej przepiony określana jest jedną z trzech metod:

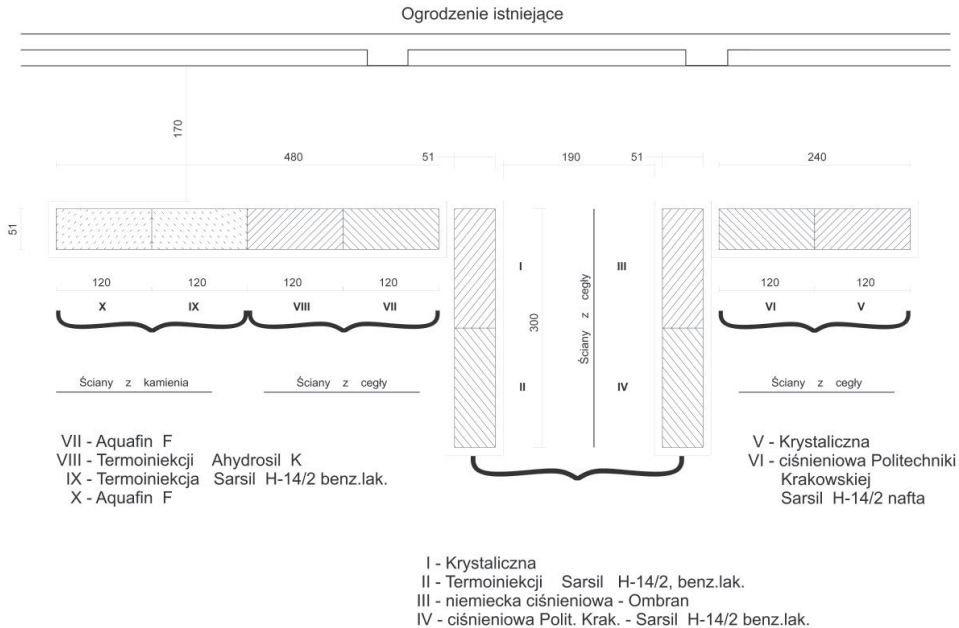
- pomiar ilości objętości wody odparowanej z powierzchni przekroju poprzecznego próbki,
- pomiar ilości odparowanej wilgoci,
- pomiar wilgotności za pomocą mikrofal. [6]

2.2. Badania metodą Politechniki Krakowskiej

W latach 1992-1994 Politechnika Krakowska, w ramach umowy z Komitetem Badań Naukowych prowadziła prace badawcze, których celem była analiza skuteczności metod osuszania. Prace podzielono na trzy etapy, w których badano skuteczność technologii w obiektach eksploatowanych, na próbkach w laboratorium oraz na

ścianach doświadczalnych. Badania dotyczyły preparatów i technologii, które obecnie w znacznej części nie są już stosowane. Dodatkowym problemem przy próbie adaptacji metodyki badań (Politechniki Krakowskiej) jest fakt, że badań tych nie ukończono i uzyskanie końcowych wyników było niemożliwe. Ze względu na to, autor zdecydował się na przytoczenie jedynie sposobu badań dla ścian doświadczalnych.

Badanie miało na celu sprawdzenie przydatności różnych metod osuszania w specjalnie stworzonych warunkach. Wzniesiony został zespół murów doświadczalnych w których wykonano iniekcje różnymi metodami. Szkic ścian i stosowanych technologii zamieszczono na rys. 4. [3]



Rys. 4. Szkic sytuacyjny ścian doświadczalnych i zastosowane metody osuszania. Rys. na podstawie [3].

Badania skuteczności preparatów wykonano metodą tradycyjną, pobierając próbki w dwóch pionach na długości każdego muru. Materiał do badań pozyskiwano za pomocą odwiertów rdzeniowych oraz w postaci zwierzyny, od strony odwiertów iniekcyjnych. Próbki pobierano na głębokości 20 cm, pod przeponą, w przeponie i 15cm nad przeponą. Na pobranych próbkach oznaczono nasiąkliwość. Na podstawie opracowanych wyników końcowych można domniemywać, że o skuteczności przepony miał świadczyć stosunek wilgotności pod przeponą do wyników nad przeponą. [3]

W dostępnych materiałach brak jest informacji dotyczących sposobu nasączenia murów wodą, wstępnej wilgotności materiału podczas iniekcji oraz czasu sezonowania przed przystąpieniem do badań.

3. Badania własne

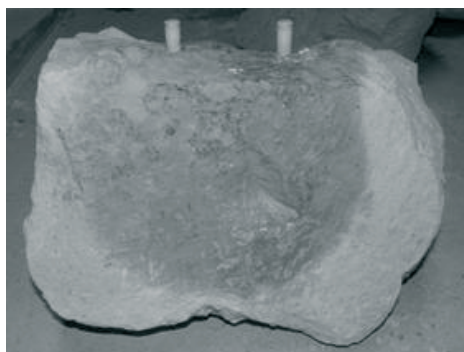
Uzyskane pozytywne wyniki hydrofobizacji opoki i zaprawy[5] wapiennej wymusiły konieczność rozszerzenia zakresu badań. Zdecydowano o przeprowa-

dzeniu prób wykonania przepony metodą iniekcji w murach. Ze względu na brak możliwości przeprowadzenia badań polowych zdecydowano o wzniesieniu murów w Laboratorium Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. W uprzednio wykonanych wannach wzniesione zostały trzy murki badawcze. Wykonano je z opoki pochodzącej z Kazimierza Dolnego nad Wisłą na zaprawie wapiennej. Ze względu na pochodzenie rozbiórkowe, kamień użyty do murów nie wymagał sezonowania. Z powodu długiego czasu wiązania spoiwa wapiennego murki poddano karbonizacji i sezonowano przez okres 12 miesięcy.

3.1. Badania możliwości wykonania iniekcji w blokach wielkowymiarowych z opoki

W murach z opoki wapnistej stosunkowo często wykorzystywano duże bloki kamienne. W ramach prowadzonych badań polowych autor spotykał się z ciosami o długości nawet ponad 1 metra. Wmurowywano je najczęściej w pasie przyziemi, czyli na wysokości wykonywania przepony. Zgodnie z literaturą przepona powinna być prowadzona w pasie spoin. Ze względu na ich gabaryty (brak możliwości obejścia spoinami) zachodziłaby konieczność wykonywania przynajmniej dwóch otworów w jednym bloku. Skłoniło to autora, w ramach badań przedwstępnych do wykonania serii iniekcje w dużych blokach kamiennych. Otwory wywiercono w linii najdłuższego boku kamienia. Na podstawie wcześniejszych wyników, promienia nasycenia opoki, przyjęto rozstaw otworów 12 cm. Procesowi hydrofobizacji poddano 6 bloków kamiennych. Po trzy z dwoma i trzema otworami w linii. Zastosowano iniektory jednorazowe z tworzywa sztucznego. Tłoczenie prowadzono naprzemiennie we wszystkich otworach. Po upływie miesiąca bloki zostały przecięte na pile stołowej. Następnie zmierzono uzyskane promienie nasączenia opoki preparatem.

We wszystkich próbkach promień penetracji wynosił powyżej 6 cm. Osiągnięte wyniki nie odbiegały od uzyskanych wcześniej, w próbkach z jednym otworem.



Rys. 5. Blok opoki po procesie tłoczenia preparatu. Widok z boku.



Rys. 6. Strefa hydrofobizowanej opoki przy tłoczeniu preparatu dwoma otworami w rozstawie 12 cm.

3.2. Wykonanie murów z opoki

W celu zbadania skuteczności przepony chemicznej na murach z opoki wapnistej zostały wykonane trzy mury doświadczalne o wymiarach 150 cm x 120 cm x

50 cm. Do wzniesienia murów wynajęto murarzy z Bochohnicy (gmina Kazimierz Dolny), specjalizujących się w obróbce i wznoszeniu murów z kamienia. Mury zostały wzniesione z opoki na zaprawie wapiennej w proporcji 1:1,5 (wapno-piasek). Zostało użyte wapno suchogaszone CL90, wcześniej poddane zabiegowi zlasowania oraz piasek drobnoziarnisty płukany o frakcji mniejszej niż 2mm. Murki doświadczalne wykonano w wannach z blachy ocynkowanej, obłożonej szczelnie folią budowlaną. Mury zostały wykonane w temperaturze 15°C i wilgotności 45%.

W celu przyspieszania wiązania w murach poddano je procesowi karbonizacji. Wykonano szczelne kołnierze z folii budowlanej, założono na mury doświadczalne, następnie powtórnie uszczelniono. Do środka kołnierzy wpuszczono dwutlenek węgla, po czym otwór wlotowy zamknięto. Proces karbonizacji prowadzono przez 60 dni cyklicznie uzupełniając stężenie gazu.



Rys. 7. Proces wznoszenia murów.



Rys. 8. Widok ukończonych 3 murów z przyjętą do badań numeracją.

3.3. Iniekcja murów

Na podstawie wcześniej wykonanych badań zdecydowano, że we wszystkich murach zastosowany zostanie ten sam preparat (emulsja silikonowa – najlepsze

wyniki w badaniach wstępnych). Przepony wykonano z zastosowaniem trzech technologii. W murze nr 1 wykonano iniekcje dwustronną, w murze nr 2 iniekcje jednostronną z wypełnieniem rys i spękań zaprawą na bazie trasu, a w murze nr 3 iniekcje jednostronną. Iniekcje wykonano zgodnie z informacjami zawartymi w instrukcji WTA 4-4-04 [6] oraz informacjami zawartymi w karcie produktu.

Biorąc pod uwagę wyniki badań promieni hydrofobizacji zaprawy wapiennej i opoki, przyjęto 10-12cm rozstaw otworów. W celu zapewnienia równoległości odwiertów przygotowano stelaż pod młotowiertarką. Zwiercina z otworów posłużyła do ustalenia poziomu wilgotności muru na wysokości przepony. Badania były niezbędne do przyjęcia stężenia emulsji silikonowej. Badanie wilgotności przeprowadzono metodą grawimetryczną.[4] We wszystkich murach odnotowano porównywalne zawilgocenie w granicach 15-20%.

Następnie otwór został dokładnie oczyszczony sprężonym powietrzem. Czyszczenie odwiertów miało na celu wyeliminowanie możliwości wymieszania preparatu z pyłem, a w rezultacie uszczelnienia otworu i zahamowania procesu iniekcji. Podczas prac iniekcyjnych zastosowano iniektory plastikowe z główką płaską, o średnicy 12-14 mm. Iniektory zostały wbite w otwory iniekcyjne przy pomocy pobijaka z tworzywa sztucznego. Do iniekcji użyto pompy pneumatyczną DITTMANN Uniprese D2 napędzaną kompresorem. W murach nr 1 i 2 tłoczono do momentu, w którym materiał przy maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniu (10 bar) nie przyjmował preparatu. Podczas badań kontrolowano zużycie emulsji silikonowej.

W murze nr 2 wykonano doszczelnienie rys i spękań zaprawą trasową o podwyższonej zdolności do samopłynięcia. Zaprawę pompowano przy pomocy pompy membranowej Uniprese D2. Tłoczenie zawiesiny odbywało się przy ciśnieniu do 3 bar. Podyktowane to było chęcią wypełnienia pustek i kawern bez doszczelnienia porów zaprawy w spoinach. Jako koniec procesu wypełniania uznawano moment w którym pompa przestawała tłoczyć zaprawę albo kiedy dochodziło do wycieków zaprawy ze spękań. Po stwardnieniu zaprawy otwory zostały przewiercone jeszcze raz wiertłem o średnicy 14mm. Zastosowanie większej średnicy wiertła podyktowane było koniecznością całkowitego usunięcia trasu z otworów. Zachodziła (podyktowana wynikami badań) obawa, że tras w otworach uniemożliwi migrację preparatu. Po oczyszczeniu sprężonym powietrzem w otworach zamontowano iniektory plastikowe z główką płaską i rozpoczęto tłoczenie.

Tabela 1. Zestawienie parametrów charakteryzujących iniekcje w murach z opoki wapniastej.

Nr muru	Rodzaj iniekcji	Liczba otworów iniekcyjnych	Ciśnienie [bar]	Stężenie preparatu	Powierzchnia muru [m ²]	Ilość preparatu [l]	Zużycie na 1m ²
1	Dwustronna	31	1-10	1:10	0,79	19,9	25
2	Jednostronna z wypełnieniem	15	1-8	1:10	0,75	20	27
3	Jednostronna	15	1-5	1:10	0,85	20,5	24

We wszystkich trzech murach proces tłoczenia preparatu zakończył się powodzeniem. Stosowane ciśnienia nie odbiegały od przyjętych dla technologii iniekcji emulsją silikonową, a rzeczywiste zużycie preparatu mieściło się w zakresie zalecanym przez producenta.

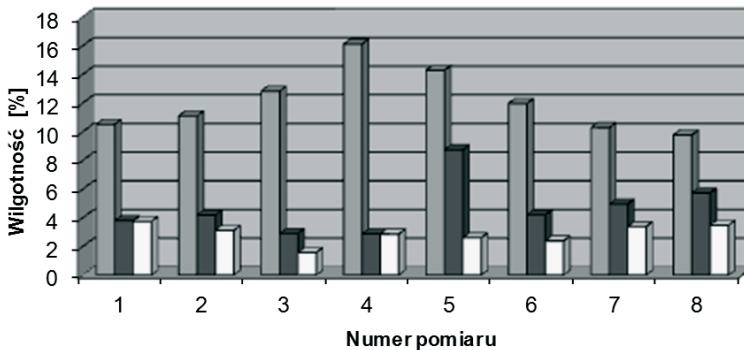
3.4. Badanie skuteczności przepony chemicznej w murze z opoki

Po przeprowadzeniu iniekcji odczekano 14 dni do czasu wbudowania preparatu w strukturę materiału. Następnie zalano wodą wanny, w których znajdowały się murki w celu sprawdzenia szczelności wykonanej przepony. Po okresie czterdziestu dni pobrano próbki do określenia poziomu zawilgocenia muru. Próbki zaprawy pobrano w trzech rzędach: pod przeponą, w pasie przepony oraz nad przeponą. Próbki opoki odwiercono w dwóch rzędach: pod przeponą oraz nad przeponą. Badania wykonano metodą grawimetryczną.[4]

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów wilgotności opoki i zaprawy wapiennej po wykonaniu iniekcji w murze nr 1.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Wilgotność [%]							
Wilgotność zaprawy wapiennej w murze nr 1 od strony a									
1	15cm pod przeponą	10,5	11,1	12,8	16,1	14,3	12,0	10,3	9,8
2	w poziomie przepony	3,8	4,2	2,9	2,9	8,7	4,2	5,0	5,7
3	15cm nad przeponą	3,8	3,1	1,6	2,9	2,6	2,4	3,4	3,5
Wilgotność opoki wapiennej w murze nr 1 od strony a									
1	10cm pod przeponą	17,1	23,3	23,0	22,5	23,9	21,9	15,6	12,1
2	10cm nad przeponą	9,1	6,1	4,3	6,7	7,0	6,5	6,7	5,3
Wilgotność zaprawy wapiennej w murze nr 1 od strony b									
1	15cm pod przeponą	12,8	11,3	11,3	10,8	10,3	10,0	9,3	8,6
2	w poziomie przepony	4,9	7,9	7,4	4,7	2,5	4,4	2,0	6,5
3	15cm nad przeponą	1,9	5,9	1,7	2,3	1,2	1,7	2,2	5,5
Wilgotność opoki wapiennej w murze nr 1 od strony b									
1	10cm pod przeponą	23,2	22,5	21,0	20,0	18,5	16,5	14,9	14,4
2	10cm nad przeponą	6,0	7,9	5,7	7,3	7,3	6,7	3,4	5,1

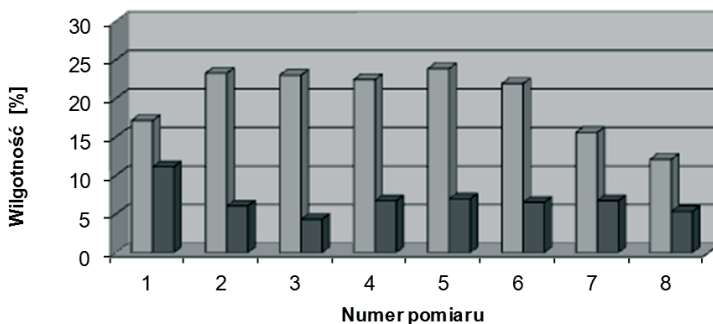
Rozkład wilgotności muru nr. 1a w zaprawie wapiennej



Wykres: 1- 15cm pod przeponą 2 - w poziomie przepony 3 - 15cm nad przeponą

Rys. 9. Rozkład wilgotności muru 1 a pod przeponą, w poziomie przepony i nad przeponą w zaprawie wapiennej po wykonaniu przepony.

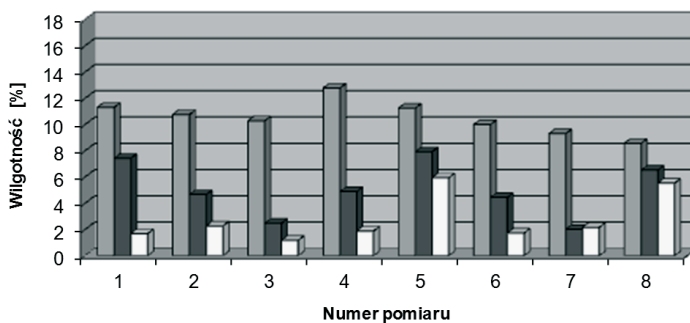
Rozkład wilgotności muru nr. 1a w opoce wapińskiej



Wykres: 1- 10cm pod przeponą 2 - 10cm nad przeponą

Rys. 10. Rozkład wilgotności muru 1 a pod i nad przeponą w opoce wapińskiej po wykonaniu przepony.

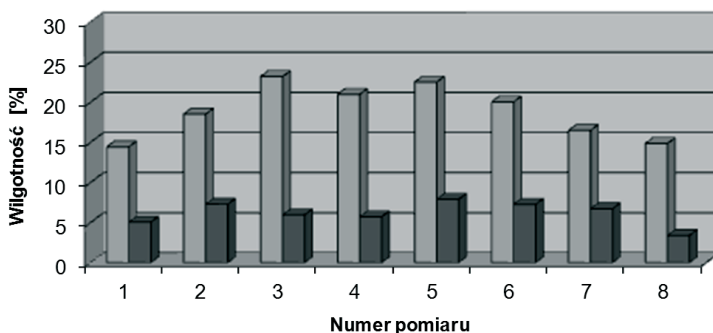
Rozkład wilgotności muru nr. 1b w zaprawie wapiennej



Wykres: 1- 15cm pod przeponą 2 - w poziomie przepony 3 - 15cm nad przeponą

Rys. 11. Rozkład wilgotności muru 1 b pod przeponą, w poziomie przepony i nad przeponą w zaprawie wapiennej po wykonaniu przepony.

Rozkład wilgotności muru nr. 1b w opoce wapińskiej



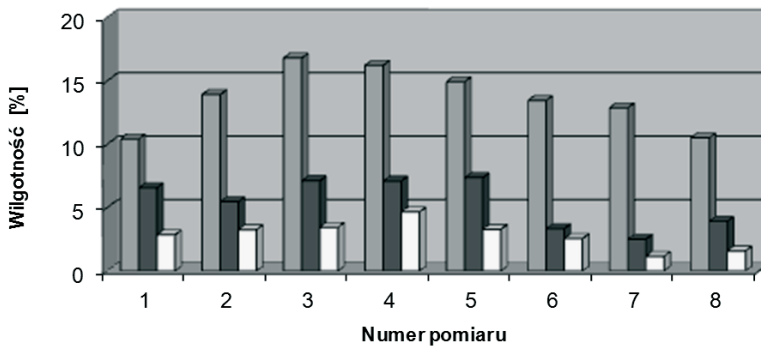
Wykres: 1- 10cm pod przeponą 2 - 10cm nad przeponą

Rys. 12. Rozkład wilgotności muru 1 b pod i nad przeponą w opoce wapińskiej po wykonaniu przepony.

Tabela 3. Zestawienie wyników pomiarów wilgotności opoki i zaprawy wapiennej po wykonaniu iniekcji w murze nr 2.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Wilgotność zaprawy wapiennej w murze nr 2									
1	15cm pod przeponą	10,4	13,9	16,8	16,2	14,9	13,5	12,9	10,5
2	w poziomie przepony	6,6	5,5	7,1	7,1	7,4	3,3	2,5	3,9
3	15cm nad przeponą	2,9	3,3	3,4	4,7	3,3	2,6	1,2	1,6
Wilgotność opoki wapiennej w murze nr 2									
1	10cm pod przeponą	21,8	21,6	22,1	26,2	23,4	18,9	18,9	17,0
2	10cm nad przeponą	12,3	9,2	6,7	11,9	6,2	14,2	7,7	5,7

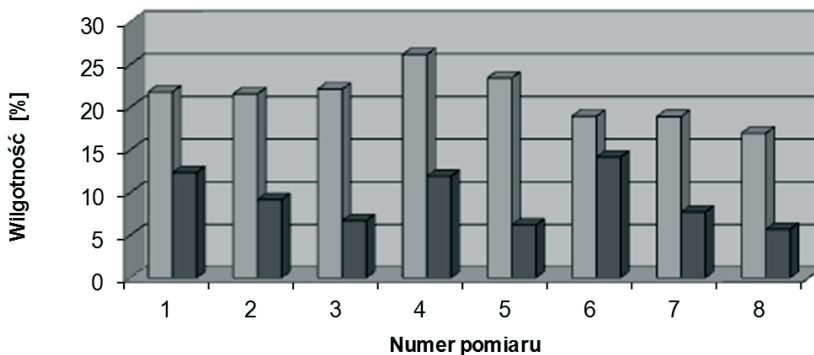
Rozkład wilgotności muru nr. 2 w zaprawie wapiennej



Wykres: 1- 15cm pod przeponą 2 - w poziomie przepony 3 - 15cm nad przeponą

Rys. 13 Rozkład wilgotności muru nr 2 pod przeponą, w poziomie przepony i nad przeponą w zaprawie wapiennej po wykonaniu przepony.

Rozkład wilgotności muru nr. 2 w opoce wapiennej



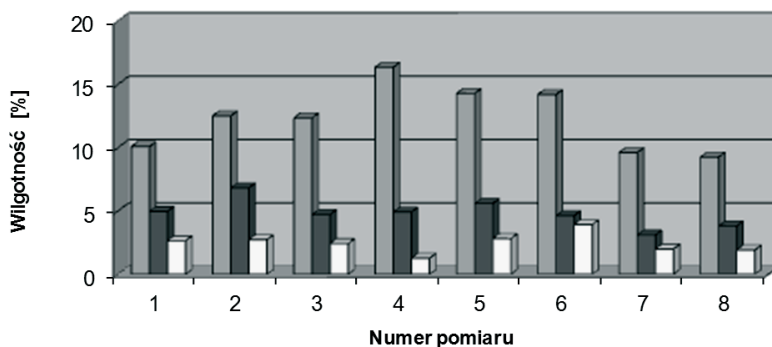
Wykres: 1- 10cm pod przeponą 2 - 10cm nad przeponą

Rys. 14. Rozkład wilgotności muru nr 2 pod i nad przeponą w opoce wapiennej po wykonaniu przepony.

Tabela 4. Zestawienie wyników pomiarów wilgotności opoki i zaprawy wapiennej po wykonaniu iniekcji w murze nr 3.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer pomiaru							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Wilgotność [%]									
Wilgotność zaprawy wapiennej w murze nr 3									
1	15cm pod przeponą	10,1	12,5	12,4	16,4	14,3	14,2	9,6	9,3
2	w poziomie przepony	5,0	6,8	4,7	4,9	5,6	4,6	3,1	3,8
3	15cm nad przeponą	2,7	2,7	2,4	1,3	2,8	3,9	2,0	1,9
Wilgotność opoki wapienstej w murze nr 3									
1	10cm pod przeponą	15,7	16,0	17,8	21,3	20,0	19,4	15,7	15,6
2	10cm nad przeponą	9,0	9,6	5,4	11,6	12,5	9,1	8,3	8,1

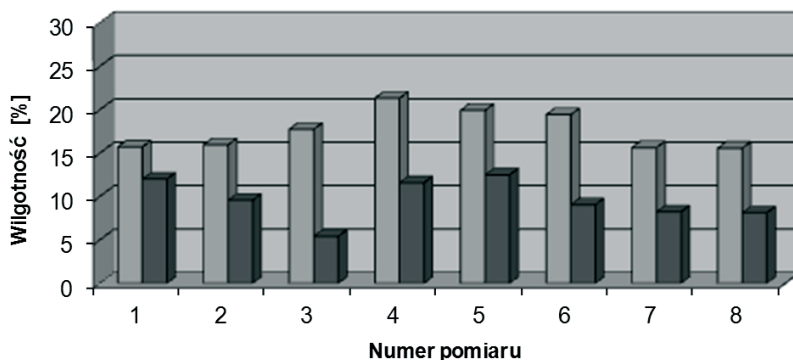
Rozkład wilgotności muru nr. 3 w zaprawie wapiennej



Wykres: 1- 15cm pod przeponą 2 - w poziomie przepony 3 - 15cm nad przeponą

Rys. 15. Rozkład wilgotności muru 3 pod przeponą, w poziomie przepony i nad przeponą w zaprawie wapiennej po wykonaniu przepony.

Rozkład wilgotności muru nr. 3 w opoce wapienstej



Wykres: 1- 10cm pod przeponą 2 - 10cm nad przeponą

Rys. 16. Rozkład wilgotności muru 3 pod i nad przeponą w opoce wapienstej po wykonaniu przepony.

Na podstawie średnich wartości wilgotności muru (Tabela 2, 3 i 4) obliczono procentowy spadek zawilgocenia muru powyżej przepony w odniesieniu do wartości poniżej przepony.

Tabela 5. Procentowy spadek wilgotności w zaprawie wapiennej.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer muru		
		1	2	3
% spadek wilgotności				
1	15cm pod przeponą	-	-	-
2	w poziomie przepony	57	60	61
3	15cm nad przeponą	75	79	80

Tabela 6. Procentowy spadek wilgotności w opoce wapnistej.

Lp.	Wysokość pomiaru [cm]	Numer muru		
		1	2	3
% spadek wilgotności				
1	10cm pod przeponą	-	-	-
3	10cm nad przeponą	67	56	46

Niniejsze badania przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych na murach z opoki miały na celu sprawdzenie skuteczności przepony chemicznej wykonanej preparatem na bazie emulsji silikonowej. Przeprowadzone badania udowodniły, że wykonane przepony zatrzymały transport kapilarny wody, mimo utrzymywania stałego poziomu wody w pojemnikach.

Po 40 dniach od wykonania przepony we wszystkich murach odnotowano spadek zawilgocenia o około 50%. Zgodnie z wspomnianą instrukcją WTA 4-4-04[6] potwierdza to skuteczność preparatu na bazie emulsji silikonowej w tego typu murach. W momencie badania do wymaganych 90 dni pozostało jeszcze 50, można przyjąć, że spadek wilgotność ulegnie powiększeniu.

4. Wnioski dotyczące badań na murach z opoki wapnistej

- W przypadku wszystkich wariantów wykonania izolacji metodą iniekcji niskociśnieniowej z użyciem emulsji silikonowej wytworzono skuteczną przeponę.
- Obserwacje podczas iniekcji oraz wyniki badań wykazały przewagę iniekcji obustronnej w odniesieniu do pozostałych dwóch wariantów (minimalizacja ucieczki preparatu oraz możliwość stosowania wyższych ciśnień).
- W przypadku stosowania iniekcji jednostronnej w związku z niejednorodnością w budowie murów z opoki wapnistej (kawerny, szczeliny) mury wymagają doszczelnienia.
- Doszczelnienia otworów trasem może powodować utrudnienia w tłoczeniu preparatów hydrofobizujących. Rozwiązaniem jest podawanie trasy przy minimalnym ciśnieniu (zdolność do samopłynięcia gwarantuje wypełnienie pustek i kawern), a następnie rozwieranie otworów wiertłem o większej średnicy. Innym rozwiązaniem jest podawanie zaprawy trasowej drugim rzędem otworów poniżej planowanej przepony.

- Uzyskanie roboczego ciśnienia powyżej 5 bar było możliwe jedynie podczas iniekcji dwustronnej oraz w murze doszczelnionym.
- Zużycie preparatu na 1m² było zgodne z zaleceniami podanym w karcie technicznej (20-30l).

Literatura

- [1] Nawrot W. *Metoda kontroli szczelności przepon hydrofobowych w zawilgoconych murach*. Przegląd Budowlany 10,11/1983.
- [2] Nawrot W. *Sposób osuszania budowli z wilgoci podciąganej z gruntu metoda iniekcji krystalicznej*. Przegląd Budowlany 6/1987.
- [3] Pieniążek Z., Szaśiadek S., Królak E. *Analiza i ocena skuteczności stosowanych metod osuszania ścian*. Inżynieria i Budownictwo 9/1995.
- [4] PN-EN ISO 12570 *Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze*.
- [5] Trochonowicz M. *Analiza skuteczności przepon wykonywanych metodami iniekcji chemicznej w murach z opoki wapnistej – Część I Badania możliwości wytworzenia przepony w opoce wapnistej i zaprawach* Budownictwo i Architektura 11 (2012) 99-112.
- [6] WTA 4-4-04 *Mauerwerksinjektionen gegen kapillare Feuchtigkeit*.

The efficacy analysis of the diaphragms made using the method of chemical injection in the walls of calcareous stones.

Part II.

Testing the possibility of producing chemical injection in the walls of calcareous stones and in the lime mortars

Maciej Trochonowicz

*Chair of Historic Buildings Preservation, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: m.trochonowicz@pollub.pl*

Abstract: The obtained positive results of calcareous stone and lime mortar hydrophobisation allowed to expand the scope of research. It was decided to conduct a membrane trial implementation by injection in the walls. Because of the difficulty in field tests it was decided to elevated walls in the laboratory. After a period of aging three variants of chemical membranes was performed in the three research walls. For injection was used the preparation selected in the first step of tests. The next stage of work was verifying the effectiveness of made membranes.

Keywords: insulation, chemical diaphragm, waterproofing formulations, calcareous stone.

Analiza wpływu wilgotności i temperatury powietrza na wartość współczynnika przewodności cieplnej λ materiałów termoizolacyjnych stosowanych wewnątrz pomieszczeń

Maciej Trochonowicz, Beata Witek, Marcin Chwiej

Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, m.trochonowicz@pollub.pl

Streszczenie: Artykuł ma na celu przybliżenie problematyki związanej z wykorzystywaniem płyt klimatycznych jako materiałów termoizolacyjnych stosowanych wewnątrz pomieszczeń. Badaniom poddano cztery materiały, dwa z nich to lekkie betony komórkowe pozostałe dwa wyprodukowano na bazie silikatów wapiennych. Głównym celem badań laboratoryjnych było wyznaczenie współczynnika przewodności cieplnej λ w zależności od zmieniających się wartości wilgotności i temperatury. Na podstawie badań wyznaczono również krzywe sorpcyjne materiałów. Badanie to umożliwia określenie ilości wilgoci, jaką może przyjąć materiał w danych warunkach ciepłno-wilgotnościowych. Ponadto zbadane współczynniki przewodności cieplnej porównano z wartościami deklarowanymi przez producentów materiałów celem oceny zgodności z danymi zawartymi w kartach technicznych.

Słowa kluczowe: termoizolacje od wewnątrz, sorpcja materiałów termoizolacyjnych, płyty klimatyczne, współczynnik przewodności cieplnej λ

1. Wprowadzenie

Materiał, który można stosować do ocieplania ścian od wewnątrz dostępny jest w postaci płyt samonośnych, nie wymagających usztywnień montażowych, a jedynie przyklejenia do ocieplanej powierzchni. Płyty produkowane są z silikatu wapiennego na bazie mineralnej lub z bardzo lekkich odmian betonu komórkowego. Mają one porowatą strukturę, co umożliwia uzyskanie wysokiej właściwości kapilarnych materiału. Porowatość jest główną zaletą tego rozwiązania. W przypadku wytworzenia się wilgoci pod warstwą ocieplenia nie ma ryzyka wystąpienia zagrzybienia muru i degradacji izolacji. Płyta klimatyczna, dzięki swojej aktywności kapilarnej natychmiast pochłania wilgoć i rozprowadza ją na całej swojej powierzchni, skąd zostaje ona w bardzo krótkim czasie odparowana. Materiał termoizolacyjny stosowane od wnętrza budynku są niepalne, bezemisyjne, a dzięki zasadowemu pH materiały na bazie silikatu wapiennego mają dodatkowo właściwości antygrzybiczne. Podobnymi właściwościami charakteryzują się systemowe kleje służący do mocowania płyt do ścian i wzajemnych połączeń między elementami.

2. Charakterystyka materiałów

Charakterystyka badanych materiałów wykonana została w oparciu o informacje zamieszczone przez producentów. Zestawienie danych technicznych (tab. 1) wykazuje, że dokumenty te różnią się między sobą pod względem jakości i ilości informacji. Dla części materiałów brakuje informacji o wielu istotnych parametrach: pH, sorpcji, absorpcji oraz przepuszczalności pary wodnej.

Materiał A Materiał ten pełni funkcję termoizolacyjną i ma formę białej płyty mineralnej, wykonanej na bazie krzemianu wapnia. Może on służyć jako izolacja wewnętrzna ścian lub konstrukcji kratowych oraz w montażu budynków na sucho. Płyty tego materiału mają właściwości wyciszające, są niepalne i łatwe w obróbce. Materiał ten jest zdolny do wchłaniania i oddawania dużych ilości wilgoci w postaci pary wodnej. Dzięki temu reguluje on klimat w pomieszczeniach oraz zapobiega kondensacji wody i powstawaniu pleśni wewnątrz pomieszczeń. Wymiary płyt dostępnych w sprzedaży wynoszą: (długość x szerokość x grubość): 1m x 0,75m x 0,03(lub 0,05)m.

Materiał B. Produkt ten wytwarzany jest z silikatu wapiennego, materiału na bazie mineralnej. Do produkcji używane są surowce naturalne: piasek i wapno. Ze względu na naturalny skład surowców używanych do produkcji, płyty zostały sklasyfikowane jako materiał budowlany nieszkodliwy dla środowiska naturalnego. Przekrój płyt w widoku mikroskopowym to szkielet o otwartych porach, dzięki którym materiał jest paro przepuszczalny (brak wartości w dokumentacji produktu). W zetknięciu się z wilgotnym środowiskiem płyta wchłania wilgoć, przetransportowuje ją na powierzchnię, z której wilgoć samoczynnie odparowuje. Wysoki współczynnik pH płyt zapobiega porostowi pleśni i grzyba, co umożliwia stosowanie ich w pomieszczeniach wilgotnych. Płyty oprócz pełnienia funkcji osuszania ścian, znacznie poprawiają komfort cieplny pomieszczeń. Płyty są całkowicie niepalne i mają zastosowanie w obiektach o wysokim standardzie przeciwpożarowym. Wymiary płyt dostępnych w sprzedaży wynoszą: (długość x szerokość x grubość): 1,25(±0,005)m x 1(±0,003)m x 0,025;0,030;0,050(±0,001m).

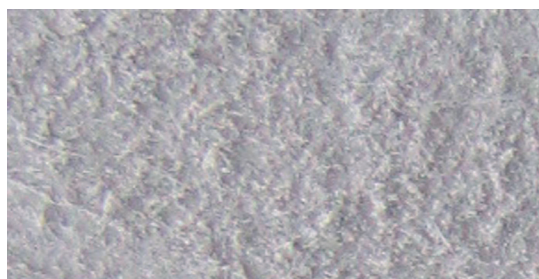
Materiał C Opiswany materiał ma formę mineralnych płyt izolacyjnych wykonanych z bardzo lekkiej odmiany betonu komórkowego. Ich gęstość wynosi do 115 kg/m³, przez co charakteryzują się dobrą izolacyjnością termiczną. Materiał ten może być stosowany jako izolacja termiczna ścian zewnętrznych (również od wewnątrz), stropów i dachów. Z powodu niewielkiej gęstości jest on mało odporny na ściskanie, jednakże jest bardzo łatwy w obróbce i niepalny. Materiał posiada zdolność chłonięcia wilgoci z powietrza i szybkiego jej oddawania, przez co reguluje on mikroklimat pomieszczeń i uniemożliwia rozwój grzybów i pleśni. Długość i szerokość płyt dostępnych w sprzedaży wynosi odpowiednio: 0,60m i 0,39m. Grubości wynoszą: 0,05m; (0,06÷0,30)m (co 0,02m, grubości powyżej 0,20m dostępne na zamówienie).

Materiał D Produkt jest hydroaktywną, mineralną płytą termoizolacyjną stosowaną do wewnętrznej izolacji termicznej ścian murowanych i betonowych. Dzięki swojej porowatej strukturze płyta osiąga wysokie parametry termoizolacyjne. Otwartość dyfuzyjna i aktywność kapilarna struktury materiału umożliwiają transport wody i pary wodnej. Gromadząca się w okresie zimowym wewnątrz przegrody budowlanej wilgoć jest transportowana na zewnątrz i odda-

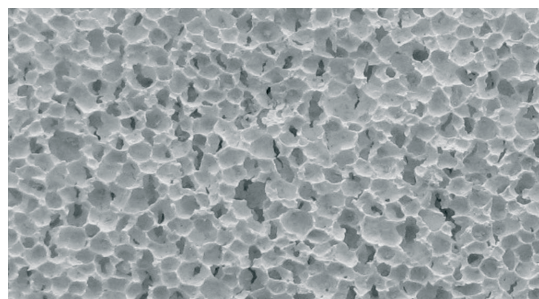
wana latem w postaci pary wodnej. Płyta w naturalny sposób reguluje wilgotność powietrza w budynku. Produkt ten wytwarzany jest na bazie mączki kwarcowej i wodorotlenku wapnia. Produkcja płyt oparta jest tylko na naturalnych surowcach, bez zastosowania włókien. Dzięki temu zapewnia ona czysty i zdrowy mikroklimat pomieszczenia. Wymiary płyt dostępnych w sprzedaży wynoszą: (długość x szerokość x grubość): 0,58m x 0,38m x 0,05(0,06;0,08;0,10;0,12)m.



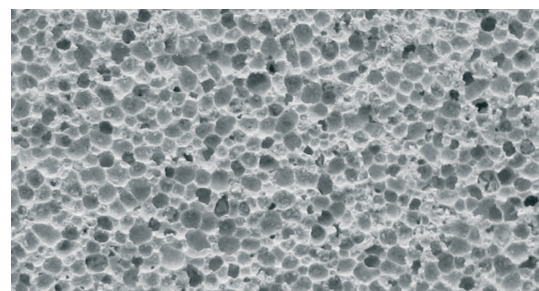
Rys. 1. Fotografia powierzchni materiału A.



Rys. 2. Fotografia powierzchni materiału B.



Rys. 3. Fotografia powierzchni materiału C.



Rys. 4. Fotografia powierzchni materiału D.

Tabela 1. Dane techniczne badanych materiałów.

Parametr	Materiał A	Materiał B	Materiał C	Materiał D
Gęstość w stanie suchym [kg/m ³]	220	220 ÷ 240	≤115	ok. 100
Porowatość	90% objętości	90% objętości	-	-
Współczynnik przewodności cieplnej w stanie suchym [W/(m·K)]	0,059	0,059	0,042	0,042
Obliczeniowy współczynnik przewodności cieplnej [W/(m·K)]	0,067	0,060	0,043	-
Współczynnik oporu dyfuzyjnego μ	3	3-6	3	ok. 5
Przepuszczalność pary wodnej δ	-	-	$0,67 \cdot 10^{10}$	-
Ogniodporność	A1	-	A1	A1
Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]	>1	>1	>0,3	>0,15
Wytrzymałość na rozciąganie [N/mm ²]	-	-	>0,08	-
pH	11 do 12	-	-	-
Odkształcenie pod ciężarem 1kN	-	-	1,0 mm	-
Sorpcja	-	-	≤6% masy	-
Absorpcja wody (krótki kontakt) WP [kg/m ²]	-	-	2,0	-
Absorpcja wody (długi kontakt) WPL [kg/m ²]	-	-	3,0	-
Wilgotność wyrównawcza (20°C/80% względem wilgotności powietrza)	-	<7,7%	-	-
Grupa przewodzenia ciepła	-	065	-	-

3. Badania

Głównym celem poniższego opracowanie jest przedstawienie wyników badań laboratoryjnych, współczynnika przewodności cieplnej λ i jego zależności od wartości wilgotności powietrza, w jakiej był sezonowany oraz temperatury badanego materiału. Zależność współczynnika λ od wilgotności jest o tyle istotna, że badane materiały oprócz funkcji izolacyjnej pełnią rolę płyt klimatycznych. Oznacza to, że okresowo ich wilgotność rośnie w sposób wyraźny, co skutkuje zmianą wartości współczynnika przewodności cieplnej. Ponadto zbadane wyniki współczynnika przewodności cieplnej porównano z wartościami deklarowanymi przez producentów materiałów celem oceny zgodności z danymi zawartymi w kartach technicznych. Kolejnym celem niniejszego opracowania było wyznaczenie dla każdego z materiałów krzywych sorpcyjnych, na podstawie badań laboratoryjnych. Badanie to umożliwia określenie ilości wilgoci, jaką może przyjąć materiał w danych warunkach ciepłno-wilgotnościowych.

3.1. Badanie właściwości sorpcyjnych

Celem badania jest określenie ilości wilgoci, którą pochłoną dane materiały w określonych warunkach otoczenia. Wykonanie badania polega na umieszczaniu próbek kolejno w ciągu środowisk o stopniowo rosnącej wilgotności względnej i stałej temperaturze. Zawartość wilgoci wyznacza się po osiągnięciu przez próbki

stałej masy, czyli do momentu uzyskania stanu równowagi z każdym środowiskiem. Zależność pomiędzy wilgotnością sorpcyjną materiału, a wilgotnością względną powietrza otaczającego przedstawia się graficznie w postaci izotermy sorpcji.

3.1.1. Wykonanie badania

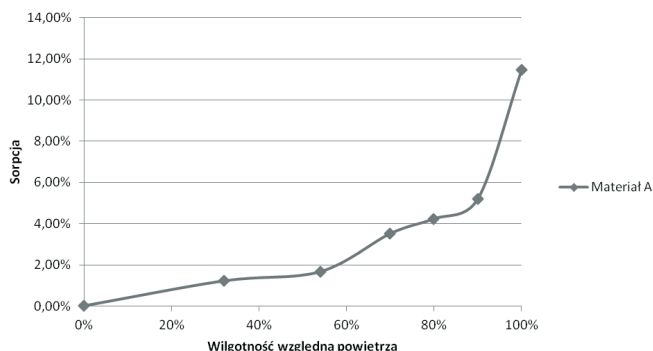
Badanie wykonano za pomocą metody eksykatora oraz komory klimatycznej zgodnie z normą PN-EN ISO 12571:2002 Ciepłno – wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określenie właściwości sorpcyjnych [4]. Dla każdego materiału sorpcję określono na sześciu próbkach, po czym obliczono wartości średnie.

3.1.2. Wyniki badania

Tabela 2. Wartości średnie sorpcji badanych materiałów w różnych wilgotnościach otoczenia.

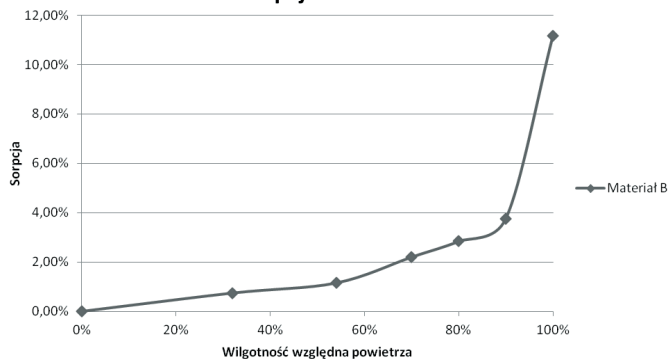
Wilgotność otoczenia	0%	32%	54%	70%	80%	90%	100%
Materiał A	0,00%	1,21%	1,66%	3,51%	4,24%	5,21%	11,48%
Materiał B	0,00%	0,74%	1,15%	2,20%	2,84%	3,76%	11,17%
Materiał C	0,00%	3,04%	3,44%	3,52%	4,29%	5,57%	9,05%
Materiał D	0,00%	3,06%	3,63%	5,44%	7,38%	9,22%	18,83%

Sorpcja materiału A

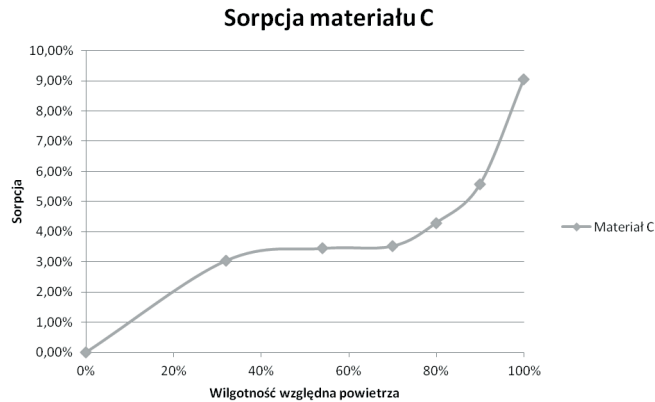


Rys. 5. Krzywa sorpcji materiału A.

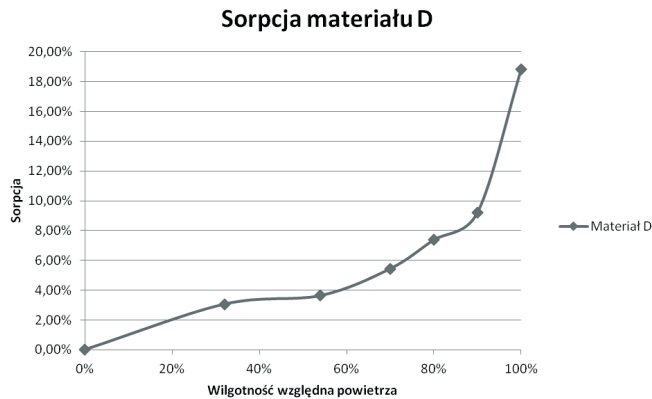
Sorpcja materiału B



Rys. 6. Krzywa sorpcji materiału B.



Rys. 7. Krzywa sorpcji materiału C.



Rys. 8. Krzywa sorpcji materiału D.

3.2. Badanie współczynnika przewodzenia ciepła

Współczynnik przewodzenia ciepła jest podstawowym parametrem charakteryzującym właściwości materiałów termoizolacyjnych i oznacza się go symbolem λ . Im mniejsza jest wartość współczynnika przewodzenia ciepła danego materiału, tym lepszym jest on izolatorem. Współczynnik ten dla badanych materiałów wyznaczono metodą stacjonarną za pomocą aparatu płytowego oraz metodą niestacjonarną posługując się sondą liniową.

3.2.1. Badanie za pomocą aparatu płytowego

Badanie to opiera się na metodzie ustalonego strumienia cieplnego, w której strumień ciepła przechodzący przez próbkę materiału powinien mieć stałą wartość, a temperatura próbki w każdym punkcie powinna być ustalona. Współczynnik przewodności cieplnej badanego materiału określa się mierząc gęstość strumienia cieplnego i różnicę temperatury po obu stronach próbki. Dużą niedogodnością tych metod jest długi czas trwania badania (kilka do kilkudziesięciu godzin). W praktyce nie powinno się przeprowadzać pomiarów dla materiałów mokrych, gdyż wilgość w materiale może ulec przemieszczaniu i zniekształcić wynik pomiaru [1]. Badania wykonano przy użyciu aparatu płytowego Laser Comp FOX 314.

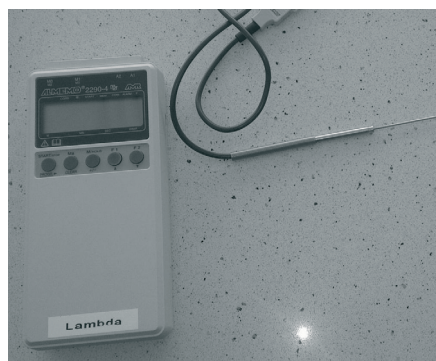
Przed rozpoczęciem badań przeprowadzono kalibrację instrumentu w celu sprawdzenia dokładności pomiarów. Kalibrację przeprowadzono przy użyciu próbki referencyjnej o identyfikatorze S117. Próbka jest wykonana z wełny mineralnej o gęstości $76,7 \text{ kg/m}^3$. Wymiary próbki to (długość x szerokość x grubość): $301\text{mm} \times 301\text{mm} \times 34,2\text{mm}$. Kalibrację rozpoczęto od umieszczenia próbki w komorze pomiarowej, następnie wprowadzono ręcznie jej grubość z uwagi na możliwość zgniecenia próbki przy automatycznym pomiarze grubości, co mogłoby niekorzystnie wpłynąć na rezultat kalibracji. Zakres temperatur, jaki wybrano do pomiaru to $10\text{-}30^\circ\text{C}$, zgodny z zakresami załączonymi w instrukcji urządzenia. Błąd pomiaru kalibracyjnego wyniósł $0,24\%$, przy maksymalnym dopuszczalnym błędzie wynoszącym 2% , co oznacza, iż kalibracja urządzenia została przeprowadzona poprawnie. [2]

3.2.2. Badanie za pomocą sondy liniowej

Idea sondy polega na umieszczeniu w badanym materiale drutu grzejnego zasilanego prądem elektrycznym w taki sposób, że wydzielający się w drucie strumień ciepła jest stały w czasie. W wyniku wydzielania się ciepła następuje nagrzanie się drutu i jednocześnie oddawanie ciepła przez przewodzenie do otaczającego materiału. Najprostsza sonda składa się z niez izolowanego, nieosłoniętego drutu oporowego, który razem z termoelementami umieszczany jest bezpośrednio w badanym materiale [3]. Stosując sondę typu SB 2290-L z urządzeniem pomiarowym ALMEMO®2290-4 uzyskano szybką i nieskomplikowaną możliwość określania przewodności cieplnej materiału izolacyjnego. Urządzenie pracuje z gorącą sondą przewodności cieplnej, która zasilana jest stałym strumieniem ciepłym w trakcie testu, aż do uzyskania stanu równowagi pomiędzy energią cieplną wchodzącą i wychodzącą. Powstała różnica temperatur stanowi miarę dla przewodności cieplnej λ materiału, która jest wyświetlana bezpośrednio po zakończeniu pomiaru [3].



Rys. 9. Próbka umieszczona w komorze pomiarowej instrumentu Laser Comp FOX 314.



Rys. 10. Miernik ALMEMO®2290-4 wraz z sondą typu FP A437-1.

3.2.3. Wyniki badań

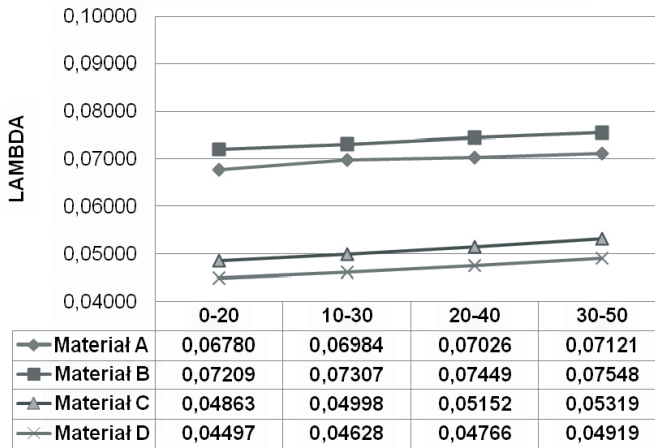
Badanie polegało na określeniu strumienia ciepła przewodzonego przez próbkę danego materiału w zależności od warunków wilgotności i temperatury w jakich przebywała. W tym celu próbkę materiału umieszczano w urządzeniu między płytą

dolną o temperaturze wyższej i płytą górną o temperaturze niższej. Po uruchomieniu instrument zapewniał stały przepływ strumienia ciepła wyłącznie przez badaną próbkę. Materiał A, B oraz D przebadano na próbkach o wymiarach 300x300x50 mm, natomiast materiał B na próbce o wymiarach 300x300x100 mm. Próbki do badań zostały przygotowane przez producentów.

3.2.4. Zależności współczynnika λ od temperatury – aparat płytowy

W przypadku badania wpływu temperatury na wartość współczynnika λ płyty przed umieszczeniem w aparacie płytowym suszono do momentu osiągnięcia przez nie stałej masy. Dla zbadania wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów w zależności od temperatury przyjęto następujące zakresy temperatur:

- U1=0[°C] L1=20[°C]
- U2=10[°C] L2=30[°C]
- U3=20[°C] L3=40[°C]
- U4=30[°C] L4=50[°C]



Rys. 11. Wykres zależności współczynnika λ od temperatury dla wszystkich materiałów.

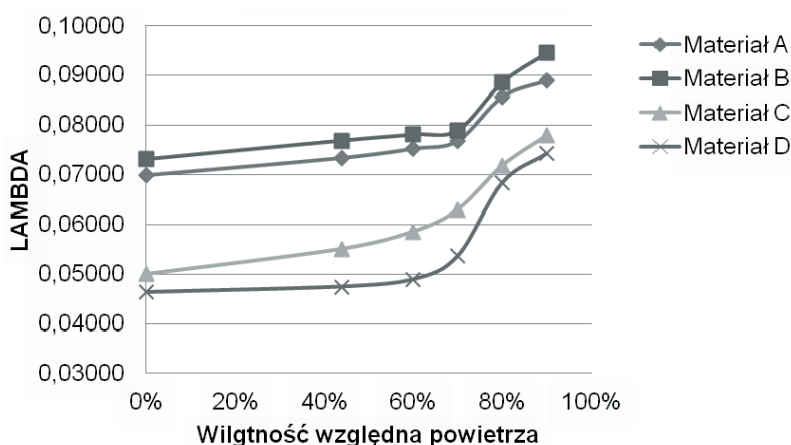
Po wykonaniu badań i sporządzeniu na ich podstawie wykresów obrazujących zależność współczynnika przewodności cieplnej od temperatury okazało się, iż wzrost temperatury wpływa w sposób liniowy na wzrost wartości współczynnika λ we wszystkich z badanych płyt. Aby móc wzajemnie porównywać wielkość wpływu temperatury na przewodność cieplną każdego z materiałów obliczono procentowy wzrost współczynnika λ przy założeniu, iż wartością bazową jest przewodność cieplna w średniej temperaturze 10°C. Jako temperaturę odniesienia przyjęto średnią temperaturę wynoszącą 40°C. Otrzymane wyniki obliczeń pozwoliły zauważyć, że w przypadku materiałów A i B wzrost wartości λ był podobny i wyniósł ok. 5%, zaś w przypadku materiałów C i D wzrost ten był również zbliżony, lecz wyniósł około 9,3%. Tak różne wartości wpływu temperatury na przewodność cieplną w zależności od rodzaju materiału (silikat i lekki beton komórkowy) wynikają z różnej porowatości tych materiałów. Materiały A i B o porowatości około 91,5% wykazały dwukrotnie mniejszy wzrost wartości współczynnika λ niż materiały C i D o porowatości około 96%.

3.2.5. Zależności współczynnika λ od temperatury– aparat płytowy

W celu zbadania zależności wartości współczynnika przewodzenia ciepła od wilgotności próbki umieszczano w komorze klimatycznej do momentu osiągnięcia przez nie stałej masy, a następnie przekładano do urządzenia Laser Comp FOX 314. Badanie przeprowadzono dla kolejnych wilgotności: 0, 60, 70, 80 i 90% oraz dla wilgotności laboratoryjnej powietrza 44% (zmierzonej przy użyciu termohigrometru). Badania prowadzono przy temperaturze dolnej płyty $L=30^{\circ}\text{C}$ i górnej płyty $U=10^{\circ}\text{C}$

Tabela 3. Wyniki badań zależności współczynnika λ od wilgotności dla wszystkich materiałów.

Materiał	Współczynnik λ w danej wilgotności					
	0%	44%	60%	70%	80%	90%
A	0,06984	0,07337	0,07524	0,07683	0,08571	0,08898
B	0,07307	0,07685	0,07807	0,07891	0,08858	0,09455
C	0,04998	0,05510	0,05859	0,06299	0,07185	0,07793
D	0,04628	0,04741	0,04889	0,05367	0,06840	0,07430



Rys. 12. Wykres zależności współczynnika λ od wilgotności powietrza dla wszystkich materiałów.

Po zakończeniu badań i wykonaniu na ich podstawie wykresów przedstawiających zależność współczynnika przewodności cieplnej od wilgotności okazało się, iż wzrost temperatury wpływa w sposób nieliniowy na wzrost wartości współczynnika λ w każdym z badanych materiałów, co widoczne jest na powyższym wykresie. W przypadku materiałów A, B i D największy wzrost współczynnika λ zaobserwowano przy wilgotności względnej powietrza wynoszącej 70%. Dla materiału C zmiana przewodności cieplnej w tej wilgotności nie jest tak duża, lecz zmiana ta w niższych wilgotnościach jest większa niż w pozostałych materiałach. Podobnie jak w przypadku badania zależności przewodności cieplnej od temperatury określono procentowy wzrost współczynnika λ dla każdego z materiałów. Wzrost ten dla materiałów A i B wyniósł odpowiednio około 27,5% i 29,3%, natomiast dla materiałów C i D wzrost wyniósł blisko 60%. Różne wielkości wzrostu współczynnika λ dla danego rodzaju materiału przy tej samej wilgotności wynikają bezpośrednio

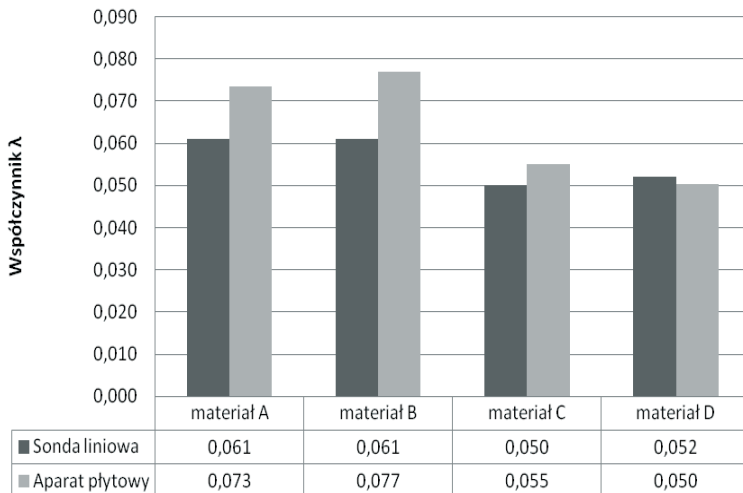
nio ze struktury i wielkości porów w danym materiale oraz sorpcyjności poszczególnych materiałów. Porównanie wielkości wpływu temperatury i wilgotności na przewodność cieplną pozwala stwierdzić, iż to wilgotność ma wiodący wpływ na wartość współczynnika λ , gdyż wzrost tego współczynnika spowodowany wzrostem wilgotności jest bardzo duży, kilkukrotnie większy niż wzrost spowodowany zmianą temperatury otoczenia.

3.2.6. Wartość współczynnika λ – sonda liniowa

Badanie polegało na umieszczeniu w badanym materiale sądy (drutu grzejnego), w taki sposób aby materiał ściśle przylegał do elementu pomiarowego. W przypadku materiałów A i B drut umieszczono w uprzednio wykonanych otworach, w materiałach C i D sondę umieszczano bezpośrednio w płycie. Po wykonaniu pomiaru miernik automatycznie wyświetlał wartość zmierzoną. Badanie przeprowadzono w warunkach wilgotności laboratoryjnej wynoszącej 44% i temperatury wynoszącej 27,0°C. Wyniki badań zamieszczono w tabeli 4.

3.2.7. Wartość współczynnika przewodności cieplnej λ w zależności od metody pomiaru

Różnice wartości współczynnika przewodności cieplnej wynikające ze sposobu jego pomiaru w przypadku materiałów C i D są minimalne, rzędu kilku tysięcznych. Natomiast w przypadku materiałów A i B różnice te są kilkukrotnie większe. Ma to związek ze sposobem zagłębienia sondy w dany materiał. W materiałach C i D sonda została umieszczona bez uprzedniego wykonywania otworu, dzięki czemu między drutem sondy a badanym materiałem nie występowała pustka powietrzna wpływająca na wynik badania. W przypadku materiałów A i B ze względu na budowę materiałów wbicie sądy pomiarowej było niemożliwe (możliwość uszkodzenia sądy). Przed rozpoczęciem pomiarów w materiałach wykonano otwory, w które wprowadzono drut sądy. Pomimo dość dobrego dopasowania elementu pomiarowego, pustka powietrzna pomiędzy materiałem i drutem wpłynęła niekorzystnie na wynik końcowy.



Rys. 13. Porównanie wyników badań współczynnika λ zależnie od metody badania.

3.2.8. Współczynnika przewodności cieplnej λ materiałów w stanie powietrzno-suchym.

Pomimo wielokrotnie powtarzanych badań próbek wysuszonych do stałej masy (w celu wyeliminowania wpływu wilgotności na przewodność cieplną), dla żadnego z badanych materiałów nie udało się uzyskać wartości współczynnika λ odpowiadającej wartości podawanej przez producenta. W wszystkich przypadkach pomierzona wartość współczynnika λ była wyższa w stosunku do deklarowanej. Najbardziej zbliżoną wartość osiągnięto dla materiału A w przypadku pozostałych różnice były znacznie większe (Tab. 4).

Tabela 4. Tabela zbiorcza wartości współczynnika λ badanych materiałów w zależności od warunków badania.

Warunki badania	Materiał			
	A	B	C	D
Badania stacjonarne – aparat płytowy Warunki laboratoryjne (próbki sezonowane 182 h) (wilgotność powietrza 44% temperatura powietrza 27 °C)	0,073	0,077	0,055	0,050
Badanie sondą liniową Warunki laboratoryjne (próbki sezonowane 182 h) (wilgotność powietrza 44% temperatura powietrza 27 °C)	0,061	0,061	0,050	0,052
Materiał suchy (wilgotność materiału 0%, temperatura badania 20°C)	0,070	0,073	0,050	0,046
λ deklarowana przez producenta (brak danych co do wilgotności materiału i temp. Badania)	0,067	0,060	0,043	0,042

4. Wnioski

- Poszczególne karty techniczne materiałów różnią się między sobą pod względem jakości i ilości informacji.
- Pomimo stosowania różnych definicji płyt (materiały A i B są określane mianem płyt klimatycznych, a C i D jako hydroaktywne płyty termoizolacyjne), producenci zakładają możliwość zastosowania ich w charakterze izolacji cieplnej.
- W kartach technicznych nie podano temperatury i wilgotności powietrza, w jakiej zostały przeprowadzone badania współczynnika λ .
- Wykresy sorpcji dla wszystkich materiałów są zbieżne z kształtem wykresów spotykanych w literaturze.
- Materiał D dla kolejnych wilgotności powietrza osiąga wyższe wartości sorpcji niż pozostałe materiały, co czyni go najlepszym materiałem zdolnym do regulacji mikroklimatu pomieszczeń.
- Przy wzroście podczas badań średniej temperatury próbki z 10°C do 40°C zmierzono wzrost wartości λ o ok. 5% dla materiałów silikatowych i o ok. 9% dla lekkich betonów komórkowych.
- Wraz ze wzrostem wilgotności próbek (sezonowanych w powietrzu o wilgotności od 0 do 90%) stwierdzono wyraźny wzrost wartości współczynnika λ . Dla materiałów A i B wzrost ten wynosi ok. 28%, dla C i D ok. 60%.

Literatura

- [1] Ickiewicz I., Sarosiek W., Ickiewicz J. *Fizyka budowli, wybrane zagadnienia*. Politechnika Białostocka, Białystok 2000.
- [2] *Instrukcja obsługi instrumentu Laser Comp FOX 314*
- [3] *Instrukcja obsługi miernika ALMEMO®2290-4*
- [4] PN-EN ISO 12571:2002 *Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie właściwości sorpcyjnych*.

Impact analysis of humidity and temperature on the value of thermal conductivity λ coefficient of insulating materials used inside buildings

Maciej Trochonowicz, Beata Witek, Marcin Chwiej

*Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Chair of Historic Buildings Preservation, m.trochonowicz@pollub.pl*

Summary: The aim of the article is to present the issues related to the use of climate panels as insulating materials used inside buildings. The study involved four materials, the two of them is a lightweight cellular concrete, the other two were produced on the basis of lime silicate. The main aim of the laboratory tests was to determine the coefficient of thermal conductivity λ depending on the changing temperature and humidity. Based on research the sorption materials curves were determined. The study allows you to specify the amount of moisture that can be accepted by the material in specific temperature and humidity conditions. In addition, the examined coefficients of thermal conductivity compared with the values declared by suppliers to assess compliance with the data contained in the data sheet.

Keywords: Interior thermal insulation, insulating materials sorption, climate panels, thermal conductivity λ coefficient.

Problems of protection and restoration of historical monuments of L'viv built using Roman cement

Mykola Bevz

*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: m.bevz@pollub.pl*

Abstract: In article are shown examples allow confirming that Roman cement was widely used in Lviv in the second part of the 19th century while erecting the public and residential buildings. The creating and develop a program on research, preservation and restoration of historical and architectural monuments, on which the architectural and ornamental finishing of facades was carried out with application of Roman cement is proposed.

Keywords: Roman cement, architectural monuments, preservation and restoration.

1. Introduction

In recent years, an international team of researchers implemented a special project to study monuments of architecture constructed using the so-called Roman cement (The EU-project ROCARE - Roman Cements for Architectural Restoration to New High Standards) under the promotion of prof. Johannes Weber [1]. That binder material was factory produced in Europe in the nineteenth and early twentieth century [2, p. 77-80]. According to our preliminary estimates, in Lviv was built hundreds of buildings with the use of this material. Roman cement - a material which is very well provided for decorating facades, allowing to perform complex and durable plastic composition. A rich plastic facade is typical for the historical architecture of the city of L'viv a long ago. For this reason, the use of Roman cement in buildings of L'viv had a good ground [3].

L'viv is a city that on the map of Central and East Europe in the 18th – beginning of 20th centuries – from 1772 to 1918 used to be included in the Austrian State. Therefore Austrian influences, architectural techniques and technology affected the architecture of Galicia especially in the nineteenth and early twentieth centuries. These influences according to the historians of arts came about yet much earlier than annexation of Galicia to Austria in 1772. One can observe the striking example of such influences in creative works of union of sculpture Johan Pinsel and architect Bernard Merderer (Meretyń), who are considered to be Austrians by origin or at least representatives of baroque artistic methods of the Austrian School (unfortunately, their origin and artistic biography have not been researched properly yet and only in recent years they arrested scientists' attention). Opulent baroque architecture and plastic arts carved in natural stone or wood have been creating till now the image, the face of the most eminent cities of Galicia – L'viv (St. Iura's Greec-Catholic Cathedral, the Liubomirski Palace, St. Martin Rom-Catholic Church), Horodenka

(Rom-Catholic Church), Buchach (Town Hall, the Greec-Catholic Church of the Intercession and Rom-Catholic Church), Rom-Catholic Church in Hodovytsia and other objects) [4]. It is worth mentioning that this tradition of abundant finishing of façades with décor and sculptures is even deeply rooted, in particular in L'viv (Gothic – 2 Ruska St.; the Renaissance – Chapel of the Boims, Three Saints Chapel, façade at 23 Rynok Square, Black Building on 3 Rynok Square; baroque – the church of Dominican monastery and other [4, 5]). These very abundant plastic arts of facades of residential building distinguish Galicia cities and L'viv from modest residential building in the centres of Italian cities (Udine, Perugia, Assisi, etc.), of Poland cities (Lublin, Chelm) and of Lithuanian cities (Kaunas, Panevėžys) etc.

In our opinion, this ancient Galician tradition of abundant plastic arts and décor of facades in residential buildings in the late 19th century favoured the use of Roman cement for producing the picturesque elements of buildings. Consummate characteristics of Roman cement, first and foremost, fast hardening and perfect resistance to weather impacts (being rather rigorous in Galicia) facilitated wide application of this material in the late 19th century while performing construction works at more significant architectural objects. These were most likely architects and entrepreneurs from Austria, Germany and Poland, who popularized this material.

2. Previous studies

Our interest in this topic arose after scientific contacts with Professor Johannes Weber, head of several research projects about Roman cement. In collaboration with Professor Weber has managed two scientific workshops in L'viv, that were declared to enhance the study of monuments built with using Roman cement and draw attention to the needs of their restoration [6,7,8,9,10].

Circle of scientists concerned themselves with this subject matter in L'viv is still very narrow: in there midst architect and restorer Kostiantyn Prysiashnyi (covered this subject matter in one of his publications and provides the description of the technology for students of Architecture delivering the lectures in historical construction techniques), and professor M.Sanytskyi (record of it in publications of Herald of L'viv Polytechnic University in construction and inclusion of the topic in lectures on construction material studies for students of construction department) [11]. One can also mention the report of “Balko” Company that came across Roman cement in the top tier of bell tower of Armenian Church (historical monument of the 14th century, restoration work of the top in 19th century).

No specialized inventory of L'viv buildings aimed at discovering the application of Roman cement has not been made yet. It still remains vague how was the Roman cement used in L'viv – for molding and sculpture, plastering? The buildings with Roman cement in other cities of Galicia have not been researched yet. However, one can find them in Ivano-Frankivsk (former Stanislav), Drohobych, Sambir, Uzhgorod, Stryi and other cities. Thus, we lack the overall picture of availability of objects with Roman cement; their number entered to the historical monuments register has not been found out yet.

Accordingly, in Ukraine the technical state of historical monuments with Roman cement has not been studied; scopes and reasons for their destruction and other important issues have not been detected. Correspondingly, methodical recom-

mendations on restoration of historical monuments, where the technologies with Roman cement were applied, have not been elaborated.

3. Presentation of study materials

We would like to corroborate these points and show several examples of L'viv historical monuments on which we managed to detect the application of Roman cement. We performed the inspections and probing on two presented objects. These objects belong to the building of L'viv Polytechnic University, so we can see the prospect for their professional restoration, though the state of these objects being very unsatisfactory today. Some more objects were included to my presentation on the basis of my visual examination. It would be reasonable to confirm the availability of Roman cement on them through profound researches.

The first object we would like to present is the building of the former *Palace of Arts* erected by the architect Fr. Skowron in collaboration with Gr. Peżański and M. Luzecki (sculptures by J. Markowski and A. Popel) at the upper terrace of Strytskyi Park [12, s. 112]. The building was projected as one of the objects of immense exhibit complex, so called Common Regional Exhibit, which was open in fall in 1894. It is a local architectural monument (fig. 1). After the World War II (when the Exhibit was liquidated and almost all pavilions were gradually dissembled) the inside of building was fully rebuilt to perform the sports function for L'viv Polytechnic University. In one wing there were gymnasiums arranged and in the other - a swimming pool. At present the technical state of the building is extremely poor. Our researches pursued in June 2009 determined that this building was erected with application of Roman cement (probing taken by M. Bevz, K. Prysiashnyi). On our side we have suggested the Rector of Polytechnics not to commence the repair works and perform diligent examination of the object in order to elaborate the correct method of repair and restoration works. Considering these data, previously developed design documentation of building repair is being revised (the project was performed by the planning and design office of Polytechnics). In our judgment, the project did not meet the restoration requirements and needed further elaboration.



Fig. 1. The elevation of former Palace of Arts. Foto: M.Bevz, 2009.



Fig. 2. The basis of pilaster made with using Roman cement. Foto: M.Bevz.

Roman cement was used by architect Franz Skowron while erecting the Palace of Arts to produce picturesque elements of facades (bases for pilasters and capitals, locking brackets, archivolt, cornices, railing posts, profiled components of window-ledge) and sculpture. Details of Roman cement were combined on facades with traditional limy plastering. We have ascertained two methods of producing the details from Roman cement at this object: a) use of Roman cement to produce compacted components at the very site; pulling method (cornice, bases of pilasters); this method is evidenced by the illustrating the transition of layer of roman cement from basis of pilasters over to level vertical surface of its body (fig. 2; b) mounting of prefabricated elements on façades (capitals, key brackets). Main reason for poor technical state of building is lack of repair of roofs and enduring blotting of walls and façade décor, inappropriate methods of previous repairs.

Second object is located in the very city centre at the beginning of Kniazia Romana St. (former name of Galytska St., at the end of the 19th century S. Batory). Regional Court used to be situated in this building (it was also called “Palace of Justice”). The building was erected in the place of north wing of building of Barefoot Carmelite Monastery. It was built according to the project of architect F. Skowron in collaboration with architect Jan Zawieyski from Krakow [13, p. 275] (fig. 3, 4). L’viv sculptors Anton Popel and Leonard Marconi were also engaged in work on finishing the facades and interiors [12, p. 116]. The construction was commenced in 1891 and lasted till 1895; it is believed that while planning the building Jan Zawieyski was the one to choose the decorating forms of façade, as well as materials and construction techniques. We have not managed yet to find out the very plan of facade finishing by Jan Zawieyski [11, p. 275]. Sculptural group “Justice” above the front of main entrance performed in 1893 by Leonard Marconi. There used to be an opulently decorated courtroom in the building. The stairs in the main lobby were decorated with the sculptures of two lions (made from alabaster by A. Popel). The sculpture of “Justice” in the lobby of the left wing of the building is also his creation.

From the previous materials of ROCEM meetings it has become known to me that architect Jan Zawieyski used Roman cement in decorating the facades in

Krakow (in particular while building the local schools) [14]. Building of the Regional Court in L'viv once again evidences the fact of architect's inclination towards the technologies with Roman cement. In this regard we would like to note that they are used in a very specific way here. Analysis shows that all plastic and sculptural decorations on façades are made from Roman cement, but besides massive rustication on parterre floor is performed in combination technique – profiled pulled frame of every plank of rustication is made from Roman cement and filled inside with a help of lime plaster, which provides the special “pecked” surface finish (fig. 5).



Fig. 3. The elevation of former “Palace of Justice”, built with using Roman cement. The architects: Franz Skowron and Jan Zawieyski, project 1891. Foto M.Bevz, 2011.



Fig. 4. The fragment of elevation of former “Palace of Justice” after the cleaning, made under promotion prof. J.Weber during the workshop in Lviv as the cooperation between the EU-FP7 project N226898 ROCARE. Aim was to demonstrate the possibility to recover the genuine appearance of the historic elevation by the use of Roman cement as historically authentic and compatible material. Executors were: Atelier Gurtner Wien (Austria) in cooperation with the restoration team of Department of Restoration of architectural Complexes of L'viv Polytechnic. August, 2011.



Fig. 5. The profiled pulled frame of every plank of rustication is made from Roman cement and filled inside with a help of lime plaster (on the elevation of former “Palace of Justice”). Foto M.Bevz, 2009.

The method of decoration of Provincial Court facade differs from the methods applied by Zawieyski in Krakow. In Krakow objects he often combines open brick wall with decorative elements of Roman cement - adding cornices, pilasters, window decorations [8,14,15]. In L’viv, we can see that technology of decoration was another and difficult.

After the World War II the building was used as educational establishment. The military service courses of L’viv Polytechnic University were conducted here. New function required significant reconstruction of building – since it was necessary to place training military equipment there. These reconstruction works were performed, and, unfortunately, they led to worsening of technical and aesthetic state of building. At present the state of building is unsatisfactory. Our pictures illustrate it. However, in the last year the military department managed to move from this historic monument and the space has been gradually occupied by civil departments of Polytechnic University. In particular, in May of the year 2008 the university administration resolved to provide the level wing of the building (basement and parterre floor) to meet the requirements of Restoration and Reconstruction of Architectural Complexes Department. Since June 2008, teachers and students have started the examination of the building and are preparing the documentation on its restoration. We are planning to establish and equip the scientific and restoration centre functioning along with the lecture halls in several restoration and educational directions, covering the problems of restoration from city planning level (regeneration of historical cities) to the level of restoration of works of art (from natural and artificial stone): Sculptures, architectural décor, from wood: art objects, including furniture; works of art from metal and so on.) Today, L’viv Polytechnic University is the only higher educational establishment in Ukraine developing the specialities of architectural restoration and restoration of works of arts.

Other objects in L’viv, where the Roman cement was applied:

Roman cement was used in 1890’s while repairing the bell tower of Armenian Church (object of 16th century) and fortifying the upper tier of the bell tower. As of today, the state of this part of the building is very good and there are no destructions of the building being observed (“Balko” Company investigation).

Décor and sculpture from Roman cement were used during the erection of one of the most prestigious L'viv buildings of the second part of the 19th century – building of Galician Parliament (plan by architect Juliusz Hohberger, 1877). The construction works lasted from 1877 to 1881. Central risalit with portico on the main façade is crowned with allegoric sculptural group “Galicia, Vistula and Dniester” by sculptor T. Riger [5, p. 143-144]. Allegoric sculptures of the upper part of the building are created by Z. Trembetskyi and F. Mykul'skyi. Façade is allied to Vienna Neorenaissance with opulent architectural décor. Self-disclosure of the paint on the sculpture and picturesque elements evidences the use of Roman cement (Fig. 6, 7). In particular, we can see in on the sculpture “Education” in the left wing of the risalit and on the sculpture “Labour” in its right wing. Both compositions are created by T. Riger.



Fig. 6. The building of Galician Parliament (project by architect Juliusz Hohberger, 1877). Foto: M.Bevez, 2009.



Fig. 7. The sculpture “Labour” in right wing. The composition is created by T. Riger. Foto: M.Bevez, 2009.

Artistic works of the Opera (City) Theatre erected parallel with construction of the very theatre in 1900-1901 are characterized by opulent and well-designed Neo Renaissance façade with sculpture. All picturesque elements and sculpture here are made using Roman cement. This fact can also evidence that a part of decor and sculpture on facades of the very theatre is also made using the Roman cement technology.

The extremely plastic solution of facades of Aristocratic Casino is the creation of authors from Vienna - union of "Hermann Gottlieb Helmer and Ferdinand Fellner". The building was raised in 1897-1898. Picturesque elements and sculpture are made using Roman cement.

In Sichovykh Striltsiv Street (former Mayer's, Third May) the development of which was formed in the second part of the 19th century, it is worth paying attention to the facades of series of building:

Neobaroque façade of building No11 by architect Karl Boublik has picturesque elements from Roman cement (fig. 8, 9). The building was raised in 1901.



Fig. 8. The neobaroque façade of building on Sichovykh Striltsiv St. 11, architect Karl Boublik. Built 1901. Foto: M.Bevz, 2009.



Fig. 9. The picturesque elements from Roman cement on the top part of façade of building. Foto: M.Bevz, 2009.

Next to it there is Building No 9 with can be allied to Florentine palazzo of early neo Renaissance, projected in Vienna by the union of "Hermann Gottlieb Helmer and Ferdinand Fellner" for the affiliate of Austrian-Hungarian bank. One can also observe the use of Roman cement for creation of sculptures and rustics. Authentic material is visible from the cracked modern painting.

The peculiar cracking of the surface of window frame of Building No. 13 (architect E. Keller, 1869) also evidences the probability of application of Roman cement here as well. Building No. 3 was erected in 1887 by architect V. Ravski in collaboration with L. Marconi for the Railway Directorate. Opulent décor of façade is made using Roman cement. Similar solution is implemented to the Building No. 14, which was owned by the Bank and projected in 1884 by Iulian Zakhariievych.

The application of Roman cement can be found also in many other buildings in L'viv, both public and residential. We can see the details from Roman cement on elevations of buildings in Shevchenka avenue (fig. 10-11), Virmenska Street, Kulisha St. (fig. 12-14), Hnatiuka St., Teatralna St., Lystopadovoho Chynu St. Can look for and serve the examples of it on other buildings of central part of L'viv.

The hypothetical full list of objects built using Roman cement in L'viv (made of prof. M.Bevz on the basis of visual inspection of objects):

1. Former Palace of Fine Arts in Stryisky Park (found and identified by K.Pry-syazhnyy);
2. Building of count Regional Court, on the Kniazia Romana street, 1;
3. Art Workshops Opera (the whole facade with the decoration in neo Renaissance style);
4. Bell tower of the Armenian Church: Roman cement was using during the early restoration at the beginning of Twentieth century;
5. Galician parliament building (1877, J.Hochberger, architect);
6. Building of Noble Casino, Lystopadovoho Chynu street, 6 (architects: H. G. Helmer and F. Fellner);
- 7-11. Buildings on the Sichovych Striltziv Street, 3 (the former Imperial Hotel); N 9 - the former Bank; N 11, 13 - Houses; N 16 - building of library
12. Bank on the corner of the T.Kostiushko street, 11 (the former Galician Regional Bank);
13. House on the Virmenska Street, 22;
14. House on the Kulisha Street, 23;
15. House on the Hnatiuka Street, 8;
16. School building on the Theatralna street, 15;
- 17-18. Houses on the Lystopadovoho Chynu street, 10 and 12;
18. National Museum old building, Drahomanova street, 32;
19. Greek-Catholic Cathedral of St. George (Roman cement was using during the early restoration at the beginning of Twentieth century);
20. Building of Craft School, Dudayeva street, 9;
- 21-35. Houses on the Str. S.Krushelnytska, N 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 17a, 19, 21, 23, 25, 29 (villa of Yulian Zacharievich, architect);
36. The building of the Palace of the Austrian army disabled, Kleparivs'ka street;
37. The building of the palace on the Chuprynky street, 52 (information from dr. M.Kotiv);
- 38-40. Houses on the Franko street, 93, 96 and 104;
41. Villa of Professor C.Tullier on the Ivana Rutkovycha street, 9;
42. Villa of professor S.Ramult on the Verbytskohoho street, 2;
43. House on the Kopernika street, 50;
44. Library of the L'viv Franko National University, on the Drahomanova street, 5;

- 45-46. Houses on the Shchepkina street, 3 (whole facade); 5 (ground floor , 1st floor);
 47-50. Houses on the Shchepkina street, 1, 2, 4 and 6;
 51. Potocki Palace on the Kopernika street, 15;
 52. House on the Kotlyarevskogo street, 24;
 53-54. Houses on the Brativ Rohatyntsyv street, 12 and 45;
 55. House on the Lychakivska street, 1.
 56-57. Houses on the Shevchenka avenue, 26 and 28;
 58. Building of Opera, Prospekt Svobody, 45a.

According information the J. Biriulow and director of the L'viv restoration-build company "Balko" (dr. M.Cotiv) in L'viv Roman cement was produced at the last years of XIX cent. by Ivan Lewinski factory [5, p. 118]. Products came true called "L'viv stone".



Fig. 10. The fragment of elevation of building on the Shevchenka avenue, 28. Foto: M.Bevz, 2012.



Fig. 11. The detail from Roman cement in destructive form. Foto: M.Bevz, 2012.



Fig. 12. The main elevation of building on Kulisha St. 6 (the art laboratory of opera). Foto: M.Bevz, 2009.



Fig. 13-14. The details from Roman cement on the elevation of the Opera art laboratory. Foto: M.Bevez, 2009.

4. Conclusions

1. Shown examples allow confirming that Roman cement was widely used in L'viv in the second part of the 19th century while erecting the public and residential buildings.

2. In L'viv, no inventory and research works have been conducted till now, which would let imagine the true picture of use of Roman cement in historical buildings and evaluate the entire condition of such buildings.

3. The examples of L'viv objects with Roman cement revealed by us make it possible to ascertain what consequences are the result of use of improper methods and materials while repairing and restoring historic buildings. Unsatisfactory technical state of the majority of objects has been caused by the irregular exploitation and inappropriate materials.

4. For L'viv it is of urgency to develop a program on research, preservation and restoration of historical monuments, on which the architectural and ornamental finishing of facades was carried out with application of Roman cement.

5. The application of Roman cement may be broader than just replacing the sights on those where it was used from the beginning. It can be used in some cases to replace lost stucco decoration or sculptures on the facades of buildings, as well as for lasting copies of works of Art in the restoration and museum practice.

6. It would also conduct research in other cities of Ukraine to identify buildings erected using Roman cement. We've found several buildings in the central part of the city, the sculptural decoration are made of Roman cement. Also Roman cement was used in the construction and decoration of the palace and park complex in the village of Sharivka (built in 1881 and next years for owners from Austria: L. and J. Koenigs) in the Kharkiv region in East Ukraine. Roman cement applied for restoration of baroque town hall in Buchach during the late nineteenth or the beginning of Twentieth century.

References

- [1] <http://www.rocare.eu/page/start.html>

- [2] Szelał H., Skorek A. *Przeszłość i przyszłość cementu romańskiego*. Wiadomości Konserwatorskie. 26/2009. http://www.zeriba.pl/wk/wk26_remo-2009_02_s077-s158.pdf.
- [3] Bevz M. *Architectural monuments of L'viv built using Roman cement*. Materials of End-user Advisory Panel of our EU-FP7 project ROCARE — Roman Cements for Architectural Restoration to New High Standards, Project Number 226898. September, 16-17, Wien, 2009.
- [4] Lubczenko W.F. *Lwiwska skulptura XVI-XVII stolit.* Naukowa Dumka, Kyiw, 1981, 215s.
- [5] Biriulow J. *Rzeźba Lwowska od połowy XVIII wieku do 1939 roku*. Wydawnictwo Neriton, Warszawa, 2007, 388s.
- [6] http://www.rocare.eu/page/imgt/file/8_Gurtner.pdf.
- [7] http://www.rocare.eu/page/imgt/file/9_Kozlowski.pdf.
- [8] <http://www.rocare.eu/page/imgt/ROCAREschoolWaskaKrakowPolandWebsite.pdf>.
- [9] Weber J., Gadermayr N., Bayer K., Hughes D.C., Kozłowski R., Stillhammerova M., Ullrich D., Vyskocilova R. *Roman cement mortars in Europe's architectural heritage of the 19th century*. Journal of ASTM International 4(8) (2007) Paper ID JAI100667.
- [10] Adamski G., Bratasz L., Mayr N., Mucha D., Kozłowski R., Stillhammerova M., Weber J. *Roman Cement – Key historic material to cover exteriors of buildings*. in: Repair mortars for historic masonry. Proceedings pro067 RILEM TC 203-RHM, 2009, pp. 2-11.
- [11] <http://lp.edu.ua/node/605>.
- [12] Lewicki J. *Między tradycją i nowoczesnością. Architektura Lwowa lat 1893-1918*. Wydawnictwo Neriton, Warszawa, 2005, 590s.
- [13] *Architektura Lwowa. Czas i styli*. Centr Europy, Lwiw, 2009, 760s.
- [14] http://www.rocare.eu/page/imgt/file/rocare-manual_low-res%20%282b%29.pdf.
- [15] Purchla J. *Jan Zawiejski – architekt przełomu XIX i XX wieku*. PWN, Warszawa, 1986.

Problem ochrony i restauracji zabytków architektonicznych Lwowa, zbudowanych z użyciem cementu romańskiego

Mykola Bevz

*Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: m.bevz@pollub.pl*

Streszczenie: W artykule przedstawiono przykłady potwierdzające, powszechne zastosowanie cementu romańskiego we Lwowie w drugiej połowie 19 wieku podczas wznoszenia budynków użyteczności publicznej i mieszkalnych. Uzasadnia się konieczność tworzenia i rozwijania specjalnego programu skierowanego na inwentaryzacja i badania obiektów, sprecyzowanie metody konserwacji i restauracji architektonicznych zabytków, posiadających elementy architektoniczne i dekoracyjne wykonane z cementu romańskiego.

Słowa kluczowe: cement romański, zabytki architektury, konserwacja i restauracja.

Konkurs 1928 roku na projekty cerkwi prawosławnych w Drugiej Rzeczypospolitej: w poszukiwaniu nowej identyczności architektonicznej

Petro Rychkov¹, Olga Mykhaylyshyn²

¹ Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: p.rychkov@pollub.pl

² Katedra Architektury i Projektowania Środowiska, Wydział Budownictwa i Architektury,
Uniwersytet Narodowy Gospodarki Wodnej w Równem, e-mail: radistarch@gmail.com

Streszczenie: Przebywanie ziem polskich w Imperium Rosyjskim uwarunkowało intensywne budownictwo cerkiewne w stylu „moskiewsko-bizantyjskim”. Po odrodzeniu II Rzeczypospolitej w 1918 r. nowe władze podejmują próby sformułowania takich „terapeutycznych” trendów dla architektury cerkiewnej, które nie miałyby żadnych symbolicznych skojarzeń z imperialną sztuką budowaną. W tym celu, w r. 1927 ogłoszono konkurs na projekty przyszłych cerkwi prawosławnych z nowymi wymogami funkcjonalnymi i kompozycyjnymi. W artykule omówiono warunki tego konkursu i jego wyniki.

Słowa kluczowe: II Rzeczpospolita, architektura cerkiewna, style, identyczność sakralna, konkurs.

1. Wprowadzenie

Trwający na ponad sto lat zabór rosyjski pozostawił liczne dowody politycznej, kulturowej i religijnej dominacji caratu. Jednym z objawów tych rządów było celowe rozprzestrzenianie prawosławia na obszarach, które były włączone do Rosji po rozbiorach Polski w końcu XVIII wieku. W rezultacie, w XIX wieku z tych obszarów został prawie całkowicie usunięty kościół greckokatolicki (Unicki). Zamknięto znaczną liczbę katolickich klasztorów, szkół i kolegiów. Powszechnie przebudowywano były katolickie i greckokatolickie świątynie na prawosławne cerkwie, katedry, monastypy [1].

W ciągu XIX wieku wytworzył się obiegowy kanon, będący wyrazem symbolicznego związku represyjnej polityki carskiej i stylistyki Kościoła prawosławnego. Chodziło o wykorzystanie rosyjskiej prawosławnej architektury sakralnej w celu ujednoczenia tożsamości narodowej [2]. Otwarcie głoszono, że cerkwie w całym Imperium Rosyjskim „...powinny były stać namacalnym świadectwem władzy najwyższej oraz religii panującej” [3].

Charakterystyczną architekturą budynków cerkiewnych z tego okresu posiada w opracowaniach naukowych różne definicje: styl bizantyjski, rosyjsko-bizantyjski, moskiewski, moskiewsko-jarosławski, „synodalny”, „rządowy” i inne. Uwzględniając istniejące różnice, należy zgodzić się z R. Brykowskim, który zaproponował termin „cerkwi moskiewsko-prawosławnej” [4].

Po odrodzeniu Polski wszystkie cerkwie znalazły się w grupie obiektów którymi nikt nie był zainteresowany. Kościół katolicki jak i ówczesny rząd II Rzeczypospolitej dokonał rewindykacji majątku cerkiewnego. Pierwszy okres przypadł na lata 1918-1924. W tym czasie przeprowadzono akcję burzenia cerkwi prawosławnych i przejęcia majątku pod zarząd państwowy. Według udokumentowanych danych przyjęto wtedy około 80 % majątku cerkiewnego [5]. Pozostałe obiekty cerkiewne były masowo burzone albo poddane całkowitej przebudowie. Celem tych działań było uzyskanie zasadniczych zmian stylistycznych, a następnie przekazanie na użytkowanie Kościołowi katolickiemu. Okres międzywojenny był trudnym okresem dla prawosławia w Polsce. W wyniku tych działań w byłym Królestwie Polskim przetrwało tylko kilka obiektów architektury cerkiewnej.

Jednym z czynników, który miałby przyczynić się do budowy nowych cerkwi, to było nadanie autokefalii dla Cerkwi Prawosławnej w Polsce w czerwcu 1922 roku, a następnie we wrześniu 1925. Decyzję tę oficjalnie ogłoszono w Warszawie [6].

Nowa sytuacja społeczna i polityczna doprowadziły do określenia konkretnych zasad proceduralnych dotyczących pozwoleń na budowę nowych i remonty starych cerkwi. Komplet niezbędnych dokumentów przechodził określoną procedurę rozpatrzenia. Świadczy, o tym pismo z dnia 26 sierpnia 1924 r.: „*wznoszenie i gruntowna przebudowa świątyń i kaplic na obszarze b. zaboru rosyjskiego mają być dokonywane tylko na podstawie projektów, zatwierdzonych przez M. Rob. Publ. po uprzednim uzyskaniu zgody MWRiOP na podstawie orzeczenia właściwego biskupa diecezjalnego, stwierdzającego istotną potrzebę wzniesienia cerkwi w danej miejscowości*” (Dekret o zabytkach sztuki i kultury z dn. 31.X.1918 r., Dz. pr. Nr 16, poz.36) [7].

2. Problem stylu cerkiewnego

Potrzeba budowy nowych świątyń prawosławnych w II Rzeczypospolitej uaktualniała problem ich stylu architektonicznego. Zdecydowane zainteresowanie tym zagadnieniem wykazywało nie tylko wyższe duchowieństwo cerkiewne, ale także władza świecka, co dodawało tej sprawie aspektów politycznych.

Jednym z pierwszych przykładów „walki o styl” na szczeblu administracyjnym jest wieloletnia historia budowy nowej cerkwi we wsi Oryshkiwtsi w powiecie krzemienieckim na Wołyniu. 21 kwietnia 1920 społeczność wsi poprosiła rząd województwa o pozwolenie na budowę nowej cerkwi. Rozpatrzenie tego wniosku było opóźniane przez prawie dwa lata i dopiero 16 marca 1922 zarząd województwa Wołyńskiego poinformował, że Ministerstwo Robót Publicznych nie zatwierdziło tego projektu, uznając, że jest on wykonany w stylu cerkwi moskiewskich, a zatem nie nawiązuje do tradycji architektonicznych ziemi Wołyńskiej [8]. W związku z tym zaproponowano, aby opracować nowy projekt zgodnie z pewnymi założeniami.

Kontynuacją tej historii był list z Departamentu Sztuki Ministerstwa przyjęć do Wydziału Budownictwa 25 lipca 1923 r. o następującej treści: „*W związku z niezatwierdzeniem na Komisji Międzyministerialnej projektu cerkwi w Baranowiczach i Orzeszkowicach (pow. krzemieniecki) MWRiOP – Departament sztuki podaje do wiadomości, że zamówił sporządzenie szkiców typów cerkwi murowanej i dREW-*

nianej w charakterze budowli odpowiadających tradycjom budownictwa lokalnego na kresach. Typy rzeczonych cerkwi po wyrażeniu opinii przez Departament wyznań z punktu widzenia liturgii, dokąd zostały skierowane, będą rozesłane w odbitkach w najbliższych dniach do urzędów wojewódzkich na kresach” [9]. Bezpośrednie wskazanie przestrzegania „narodowych tradycji budownictwa lokalnego na kresach” pośrednio potwierdza przychylność do tamtej stylistyki budownictwa cerkiewnego, która wcześniej poprzedzała masową neorosyjską oraz neo-bizantyjską.

Pytanie o tożsamość stylu cerkiewnego uzyskało rozgłos publiczny i dlatego władze państwowe stale utrzymywały go pod swoją kontrolą. Korzystając z prawa do zatwierdzania projektów świątyń, władze chciały wyrazić swoją wizję architektury cerkiewnej, która była dość niejasna. Nie podlegało wątpliwości tylko jedno podstawowe wymaganie: w nowym budownictwie cerkiewnym niema miejsca dla „moskiewskiej” tradycji.

3. Program i warunki konkursowe

Do poszukiwania możliwych odpowiedzi na trudne pytanie odnośnie „właściwego” stylu cerkiewnego dołączył się Św. Synod Kościoła Prawosławnego w Polsce. W 1927 r. ogłoszono otwarty konkurs w celu określenia podstawowych zasad projektowania nowych cerkwi.

Już we wstępie do warunków konkursowych zaakcentowano, że wobec zagadnienia nowego budownictwa cerkiewnego w Polsce istnieją duże trudności spowodowane przede wszystkim przez dwa czynniki: „z jednej strony, brakiem własnych ustalonych tradycji budownictwa cerkiewnego, a z drugiej, zwłaszcza na prowincji, niemal zupełnym brakiem architektów, których... zastępują nieodpowiedni quasi budowniczo wie” [10]. W tym kontekście został sformułowany ostateczny cel konkursu, wyniki którego mogliby służyć «...jako wskaźniki przy wznoszeniu świątyń prowincjonalnych w miejscowościach przeważnie zupełnie pozbawionych sil architektonicznych” [10]. To znaczy, że to chodziło przede wszystkim o tzw. Kresy wschodnie. Istotnym warunkiem konkursu było również zapotrzebowanie na dostarczenie dwóch typów konstrukcyjnych - cerkwi murowanych i drewnianych.

W preambule do warunków konkursu organizatorzy podkreślają znaczące wyzwanie w formułowaniu podstaw koncepcyjnych wskutek prawie całkowitego braku własnych tradycji w budownictwie cerkiewnym, ponieważ oryginalna tradycja w Polsce się nie pojawiła. „Cerkwie zaś, popierane przez rząd rosyjski w drugiej połowie XIX w. i na początku XX w. były odbiciem... spaconego smaku, wzorującego się na kapryśnie dekoracyjnym zdobniczym stylu pseudo-bizantyjskim” [10, s.3]. A więc, piszą organizatorzy, należało się przeciwstawić dalszemu rozprzestrzenieniu tej architektury.

Organizatorzy konkursu nie sformułowali dla uczestników wytycznych architektonicznych, które zadowolilyby obie zainteresowane strony, czyli administrację państwową i Metropolię Prawosławną w Polsce.

Kierunki te okazały się dość nieoczekiwane. Odrzucając wcześniejsze doświadczenia budownictwa prawosławnego na zachodnich rubieżach Imperium Rosyjskiego, wskazano, że nowe trendy projektowe przewidywały „...nawiązanie do najszlachetniejszych dawnych tradycji budownictwa cerkiewnego, które przez powagę, prostotę i piękno i organiczne związanie z duchem Cerkwi Prawosławnej mogłyby

służyć za podwaliny, na których z biegiem czasu mogłaby się rozwinąć oryginalna twórczość miejscowa. Do takich źródeł najczystszych w pierwszej linii należały tradycje budownictwa cerkwi staroruskich, nowogrodzkich, pskowskich i innych oraz formy budownictwa drewnianego świątyń małopolskich” [10].

Podobne stylistyczne preferencje wśród źródeł architektoniczno-historycznych połączone były co najmniej z dwoma zasadniczymi podejściami.

Za pierwowzory nowych cerkwi murowanych uznano świątynie z Pskowa i Nowogrodu (XII-XIII w.). Wiadomo jednak, że architektura nowogrodzka i pskowska była zakorzeniona w architekturze Rusi Kijowskiej, a późniejszym czasie w decydujący sposób wpłynęła na główne cechy rosyjskiej architektury cerkiewnej. W drugiej połowie XIX wieku podstawy stylistycznego historyzmu w rosyjskich cerkwiach tworzyły nie tylko „bizantyjskie” elementy, które wyraźnie są widoczne w Polsce, ale również duża liczba elementów zabytkowej architektury świątyni w XII i XIII wieku. Ta orientacja nie wykluczała możliwości kojarzenia znaczeniowego z carską spuścizną architektoniczną.

Po drugie, skierowanie drewnianego budownictwa cerkiewnego na prawosławne dziedzictwo tylko Małopolski również wydawało się wątpliwe. W tym sensie widoczne jest bagatelizowanie oryginalnych tradycji budownictwa cerkiewnego na Wołyniu i Podolu. Tradycje te, przeszły znaczące zmiany po wejściu tamtych ziem do carskiej Rosji.

Oprócz ogólnych zasad stylistycznych potencjalnym oferentom sugerowano jeszcze „podstawowe wytyczne” (pkt.1-9), które określały funkcjonalne wymagania projektowe. Dotyczyły one: zalecanej kubatury świątyni (do 1200 wiernych w murowanych i do 900 w drewnianych cerkwiach); planu rzutu poziomego (centralny, bliski do okręgu, owalny, lub krzyżowy); liczby i układu kompozycyjnego kopuł (z zaleceniem stosowania jedno- albo pięcio-kopułowego schematu); zakazu używania szablonowych form architektonicznych z drugiej połowy XIX wieku i inne.

4. Wyróżnienia pokonkursowe

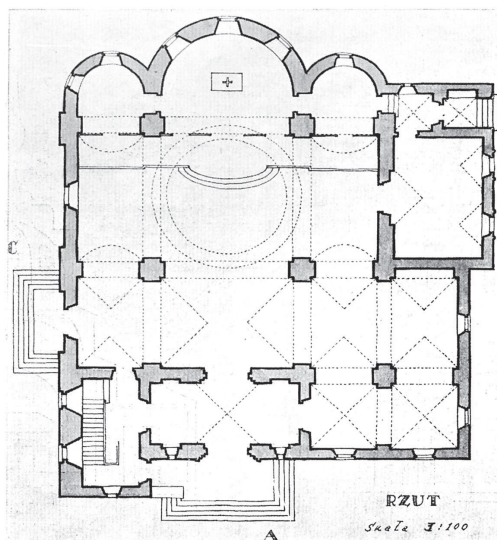
Komisji sędziowskiej zaprezentowano 44 projektów, nie tylko z Polski, ale także z zagranicy. W opublikowanym Katalogu jednak przedstawiono tylko 9 projektów [10]. Wśród nich były dwa narodzone (nagrodą I i II) w kategorii cerkwi murowanych i stosownie dwa w kategorii cerkwi drewnianych. Pozostałe 5 opublikowanych projektów były wskazane do realizacji. Łącznie Katalog zawierał 6 cerkwi murowanych i trzy drewniane. Brak informacji odnośnie pozostałych 35 projektów zgłoszonych do konkursu od pozostałych autorów, w związku z tym nie jest możliwe oszacowanie ich poziomu. Dostępne dziewięć projektów proponuje ciekawe rozwiązania i są wystarczającą podstawą dla analizy stylistycznej.

Pierwsze miejsce spośród cerkwi murowanych zdobył projekt architekta Borisa von Zinserlinga z Warszawy (Rys.1- 2). Autor wyraźnie nawiązał do stylu i kształtu przestrzennego świątyni murowanych ze minionego okresu Rosji Północno-Zachodniej. Układ kompozycyjny głównej jedno-kopułowej bryły budowli uzupełniała klatka schodowa prowadząca na chór oraz otwarta dzwonnica z dwoma otworami łukowymi dla dzwonów, oraz usytuowana od południa i zachodu niewysoka przybudowa. Typowym dla ruskich (nie rosyjskich !) cerkwi starożytnych jest

rzut poziomy cechujący się czterema filarami wewnętrznymi, trzema apsydami ze wschodu. Takie budowle często były przekryte jedną kopułą, rzadziej jeszcze kilkoma mniejszymi.



Rys. 1. Arch. Borys von Zinslerling. Projekt cerkwi murowanej. Nagroda 1. Widok perspektywiczny.



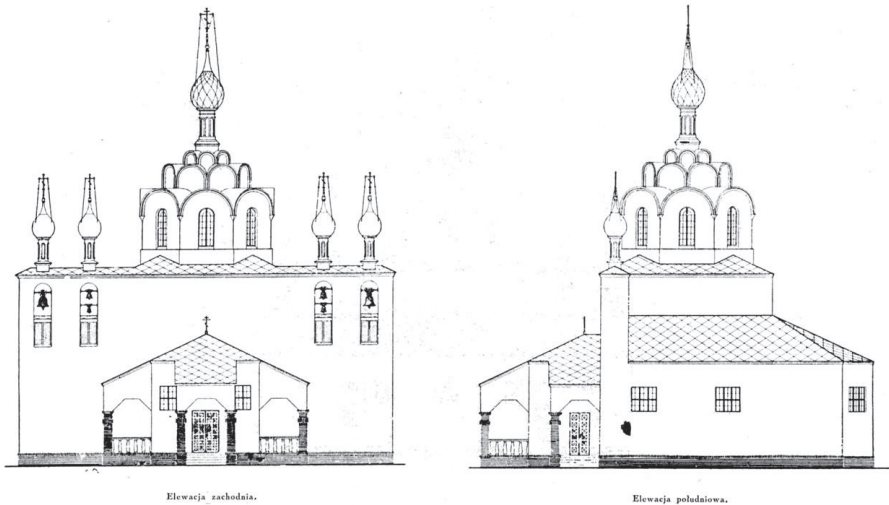
Rzut poziomy.

Rys. 2. Arch. Borys von Zinslerling. Projekt cerkwi murowanej. Nagroda 1. Rzut.

Nawet powierzchowna analiza projektu B. von Zinserlinga świadczy o tym, że architekt prawie dosłownie postrzegał wskazówki Komitetu Organizacyjnego co do stylistycznych wzorów. Zaproponowane bowiem przez niego rozwiązanie kubaturowej kompozycji wskazuje na bliskie analogie z starą cerkwią Pskowa - soborem Przemienienia Pańskiego w Mirożskim monasterze, zbudowanym jeszcze w 1156 roku. Chociaż plan i niektóre elementy zinserlingowskiej cerkwi istotnie różniły się od planu pierwowzoru (trochę większy wymiar dobudówek na poziomie pierwszej kondygnacji, inny rozkład okien, zmodyfikowana forma dachu), jego zewnętrzna stylistyczna forma i elementy plastyczne prawie dosłownie „nawiązują” do oryginału ze Pskowa.

Nagradzając projekt B. von Zinserlinga jako najlepszy w kategorii cerkwi murowanych, sąd konkursowy oczywiście, nie niepokoił się faktem takich prostoliniowych zapożyczeń, a także jego „bizantyjskim” pochodzeniem. Ważnym stało się chyba to, że projekt i jego pierwowzór nawoływały do dawnych chrześcijańskich cerkwi, kiedy jeszcze nie istniały takie głębokie przeciwieństwa między zachodnią i wschodnią gałęzią chrześcijaństwa. Nie jest przypadkiem, że w podtekście się chodziło o cerkwie Pskowa tzn. o świątynie z czasów, kiedy to miasto było potężnym politycznym konkurentem Moskwy. Tak czy inaczej w czasopiśmie „Architektura i budownictwo” projekt ten był określany jako *“bardzo dobre rozwiązanie, ekonomiczne w wykonaniu, odpowiednie dla wsi”* [14].

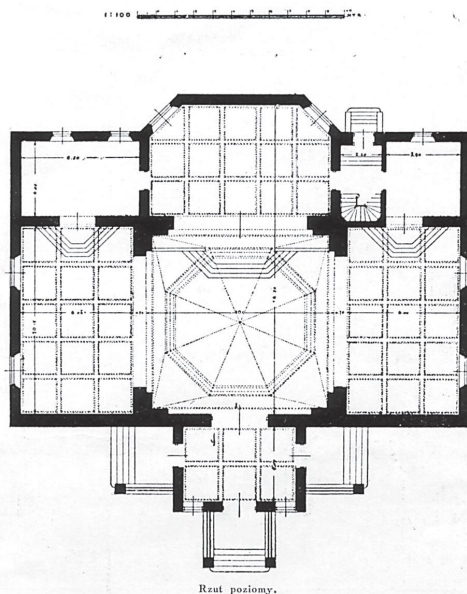
Drugie miejsce wśród projektów cerkwi murowanych zajął projekt w równej mierze oryginalny a jednocześnie niezwykle, paradoksalny i nawet dziwny przez swoje cechy amatorskie. Dla „pokonania” tradycyjnej centralnej pięcio-kopułowości („piatigławija”) architekt rozmieścił cztery z pięciu cebulastych kopuł w jednym szeregu nad gzymsem zachodniej ściany (Rys. 3).



Rys. 3. Arch. Aleksander Łuszipński (?). Projekt cerkwi murowanej. Nagroda 2. Elewacja zachodnia a południowa

Jednocześnie jednak widoczne są symboliczne powołania się na moskiewskie kokoszniki pod centralną kopułą o charakterystycznej cebulastej formie. W odróżnieniu od poprzedniego projektu proporcji odrębnych części cerkwi

wyraźnie uproszczono, a ogólna kompozycja zdaje się daleką od harmonii. I nawet rzut poziomy (Rys.4) świadczy o zlekceważeniu wymagań liturgii prawosławnej. Niestety plątanina w podpisach do tego projektu w różnych publikacjach [10, 14] nie pozwala z pewnością ustalić autora tej wersji (R. Pękalski albo A. Luszpiński).

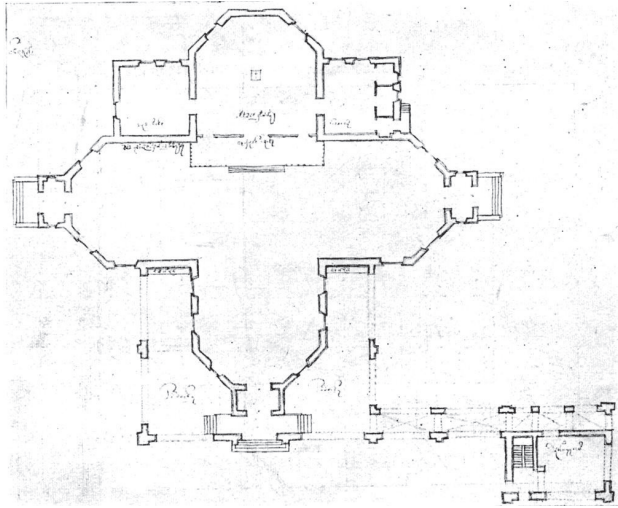


Rys. 4. Arch. Aleksander Łuszpiński (?).Projekt cerkwi murowanej. Nagroda 2.Plan.

Choć projekt Edgara Norwertha był tylko polecany do zakupu, w porównaniu z dwoma wyżej wspomnianymi, wyróżniał się on śmiałą ekspresją i głębokim poczuciem tradycji prawosławnej. Tradycji wykształtowanej głównie na ziemiach ukraińskich, a nie rosyjskich (Rys.5-6). Architekt ten najlepiej połączył starą cerkiewną tradycję i elementy współczesne z lat 1920-ch.

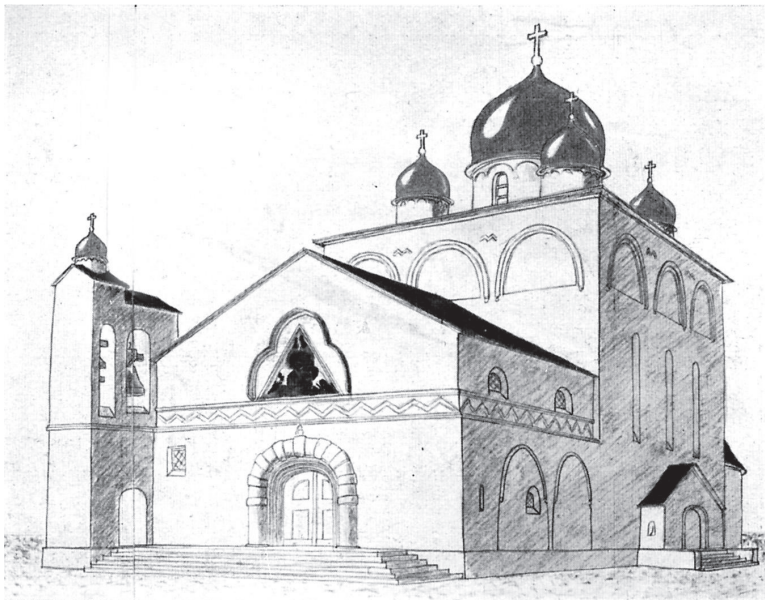


Rys. 5. Arch. Edgar Norwerth. Projekt cerkwi murowanej. Polecony do zakupu. Elewacja zachodnia.

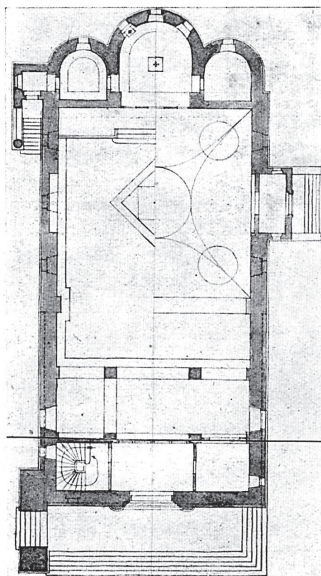


Rys. 6. Arch. Edgar Norwerth. Projekt cerkwi murowanej. Polecony do zakupu. Plan.

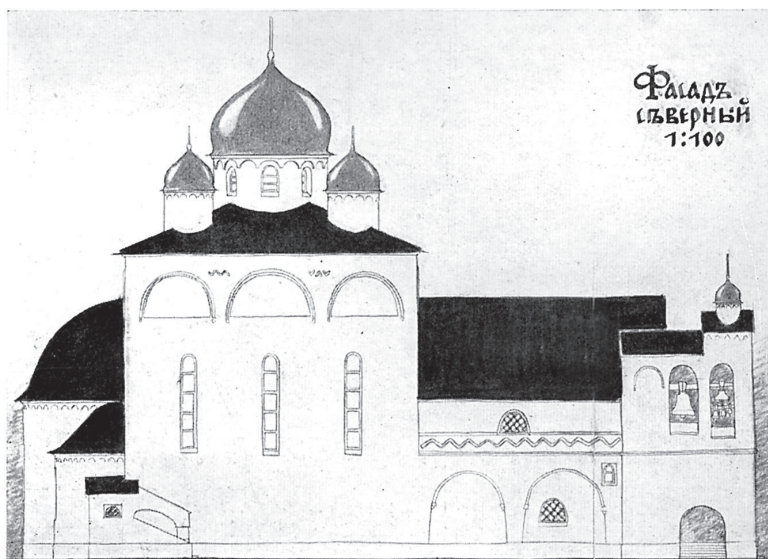
Również polecane do realizacji były jeszcze dwa archaizujących projekty: pierwszy dość uproszczony jedno-kopułowy na rzucie kwadratowym architekta z Rydzy Koblinsa i drugi wykonany przez dwóch młodych architektów rosyjskich S.G.Klodta i A.P.Paszkowskiego, mieszkających wtedy w Pradze. Oni podjęli próbę połączenia centralnej pięcio-kopułowej cerkwi z wydłużonym planem po osi „wschód – zachód” (Rys. 7-9). Podobnie do architekta B. von Zinserlinga ci dwaj młodzi architekci również skorzystali się z takiej symbolicznej starożytnej manieri jak dobudówka do kruchty ze strony północnej dzwonnicy ściennej z dwoma łukowymi przecięciami.



Rys. 7. Arch. S.G.Klodt i A.P.Paszkowski. Projekt cerkwi murowanej. Polecony do zakupu. Widok perspektywiczny.

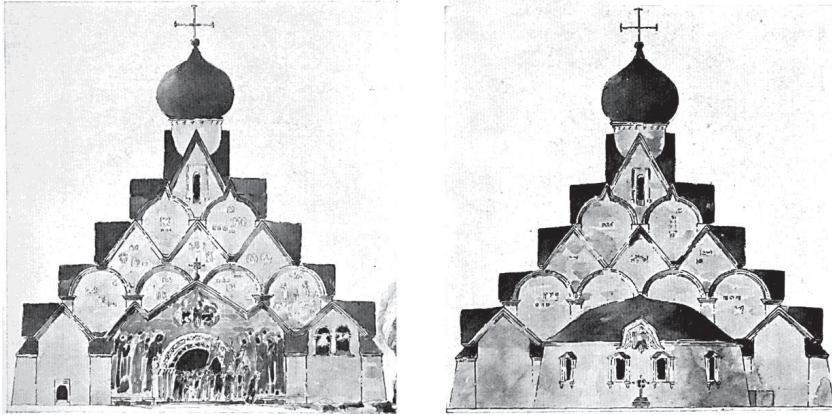


Rys. 8. Arch. S.G.Klodt i A.P.Paszowski. Projekt cerkwi murowanej. Polecony do zakupu. Plan.

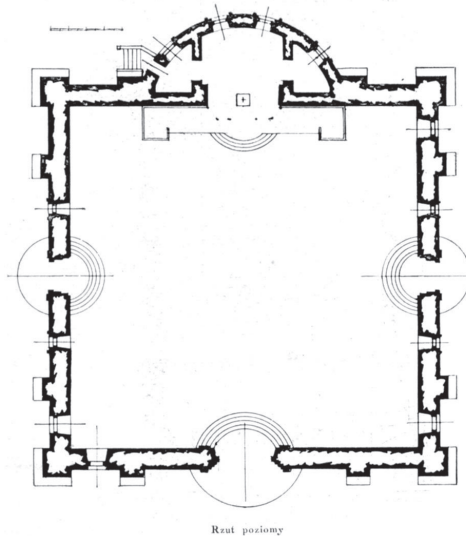


Rys. 9. Arch. S.G.Klodt i A.P.Paszowski. Projekt cerkwi murowanej. Polecony do zakupu. Elewacja północna.

Niezwykłym podejściem do kubaturowego kształtowania cerkwi wyróżnia się projekt przedstawiony przez architekta I.W. Pitlenko (?) ze Stambułu. Wskutek wyraźnej piramidalnej kompozycji z dopasowaniem do niej czterech kondygnacji dekoracyjnych kokoszników o zarysie „oślego grzbietu” ten projekt jawnie wyodrębniał się oryginalną monumentalnością i jednocześnie podobieństwem symbolicznym do tradycyjnej stylistyki cerkiewnej (Rys. 10-11). Ważną kwestię pozostaje tu tylko zgodność z potrzebami liturgii cerkiewnej jednej zjednoczonej przestrzeni wewnętrznej.



Rys. 10. Arch. I.W.Pitlenko. Projekt cerkwi murowanej. Polecony do zakupu. Elewacja zachodnia a wschodnia.



Rys. 11. Arch. I.W.Pitlenko. Projekt cerkwi murowanej. Polecony do zakupu. Rzut poziomy.

Pierwsze i drugie miejsca wśród projektów cerkwi drewnianych zdobyły prace wspomnianego już wyżej architekta Igora Pitlenka oraz Romana Penkalskiego z Łodzi [10].

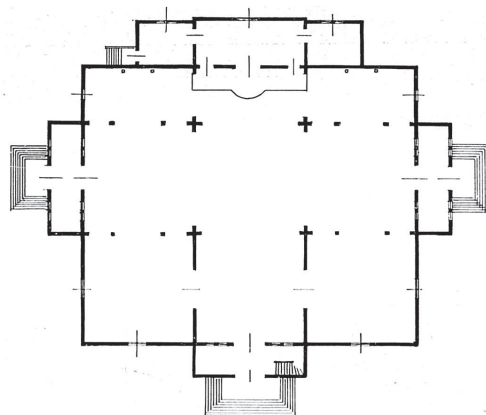
Projekt cerkwi drewnianej architekta I. Pitlenka reprezentuje niezwykle połączenie dziewięcio-polnego planu, zbliżonego do kwadratu, z rozwiniętym systemem zakończeń kopułowych (Rys. 12-14). Trzy wydłużone do góry wieże i trzy miniaturowe kopułki nad ołtarzem stwarzają wrażenie elementów, zapożyczonych z różnych budowli. Znaczna wysokość i wyciągnięte proporcje bebnów na planie ośmioboków wyraźnie świadczą o wpływie na te ludowej architektury cerkiewnej z lewobrzeżnej Ukrainy, a nie z Galicji. Syntetyczność obrazu podkreśla i niewielka dzwonnica nad zachodnią kruchtą, formy zakończenia której w kształcie sklepienia „beczkowego” są charakterystycznym elementem rosyjskiego drewnianego budownictwa XVII w. Należy przypuszczać, że pierwsze miejsce projekt uzyskał nie wskutek jakości architektonicznej, a nietradycyjnej kompozycji kopuł.



Rys. 12. Arch. I.W.Pitlenko. Projekt cerkwi drewnianej. Nagroda 1. Elewacja zachodnia.



Rys. 13. Arch. I.W.Pitlenko. Projekt cerkwi drewnianej. Nagroda 1. Elewacja zachodnia.



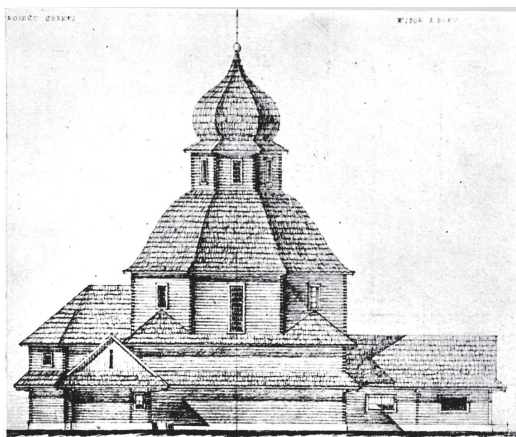
Rys. 14. Arch. I.W.Pitlenko. Projekt cerkwi drewnianej. Nagroda 1. Rzut poziomy.

Projekt R.M. Penkalskiego¹ (Rys.15) świadczy o istotnie głębszym rozumieniu ludowej architektury cerkiewnej „na kresach”. Podstawą rozwiązania przestrzennego dla autora był galicyjski typ cerkwi z planem w kształcie krzyża, z wyraźną dominacją centralnej kopuły, z niewielkimi oknami, z elewacjami pokrytymi gontem. Dynamiczność wielopoziomowej kompozycji wzmocniona jest potężnymi „kopułami” z uskokami na rzucie ośmioboków nad każdym zrębem, co spokrewnia ją z bojkowskimi cerkwiami. Galeria-daszek („opasannia”) wokół budowli uzupełniona ze strony głównego wejścia parą niewielkich kopulek. Trochę niższe kopułki namiotowe rozmieszczają się nad dwoma przybudowami obok ołtarza.



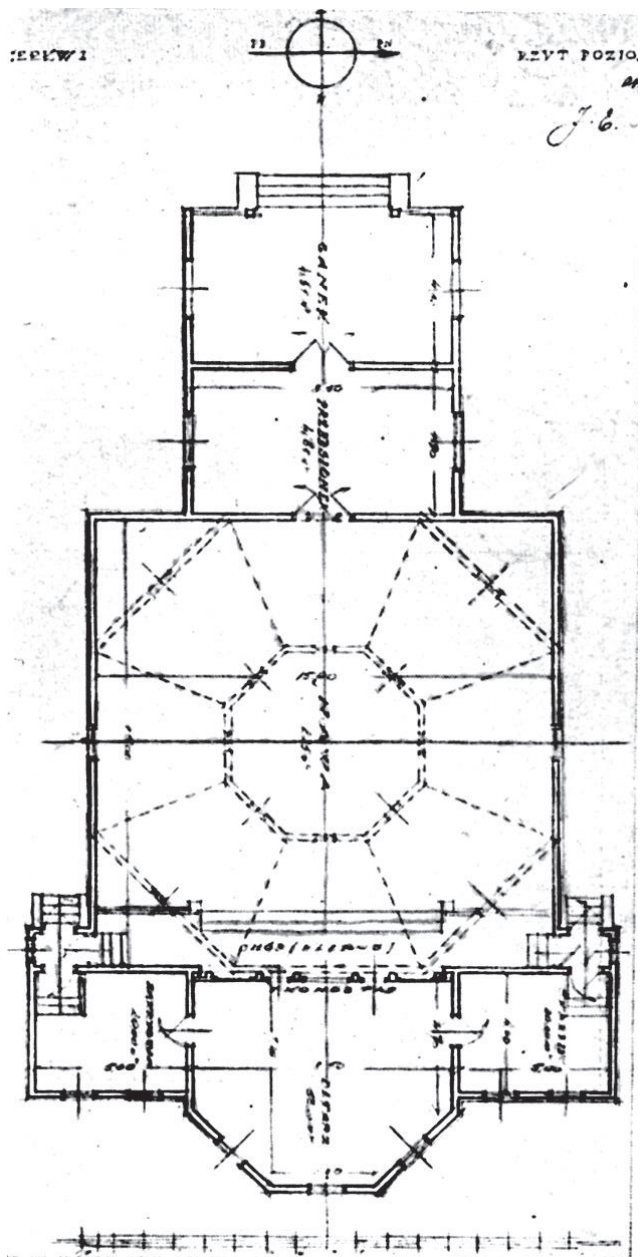
Rys. 15. Arch. R.M. Pękalski (?). Projekt cerkwi drewnianej. Nagroda 2. Widok perspektywiczny.

Wskazany do realizacji był projekt cerkwi drewnianej architekta Michała Popiela z Warszawy (Rys. 16, 17). Sąd konkursowy nie bez podstawy zarzucił mu to, że środkowa część cerkwi była nieproporcjonalna do przedsionka i ołtarza, a więc zbliżona do typu kaplicy. Być może, że właśnie odstępianie od tradycji pozwoliło temu architektowi stworzyć ciekawy wzór.



Rys. 16. Arch. M. Popiel. Projekt cerkwi drewnianej. Polecony do zakupu. Elewacja północna.

¹ Tak w Katalogu. Jesteśmy jednak przekonani że atrybucja ta jest mylna a prawdziwym autorem tego projektu jest architekt lwowski A. Łuszczyński.



Rys. 17. Arch. M. Popiel. Projekt cerkwi drewnianej. Polecony do zakupu. Rzut poziomy.

Problem stylistyki kościołów prawosławnych pozostawał aktualnym w Polsce do początku Drugiej Wojny Światowej. Jak wynika z listu wołyńskiego konserwatora Z. Rewskiego do Działu Sztuki Ministerstwa Wyznań od 14 listopada 1938 roku, pracownicy służb zabytkowych, również dołączyli do poszukiwania najbardziej przydatnych pierwowzorów z przeszłości. W liście czytamy, że „...w ubiegłym roku omawiana była w Ministerstwie sprawa opracowania wytycznych, a nawet pewnych wzorów i wskazówek dla projektujących nowe cerkwie. Wysłunięta została konieczność

zebrania pewnej ilości pomiarów bardziej charakterystycznych i lepiej zachowanych starych cerkwi. Obecnie mam możliwość przesłania pomiarów 5-ciu cerkwi wołyńskich wykonanych przez architekta Leonida Masłowa: w Tajkurach (pow. zdołbunowski) z r. 1731, w Mizowie (pow. kowelski) z r. 1737, w Górcie Połonce (pow. Łucki) z końca 17 w., dzwonnica dobudowana w Iiej połowie 19 w., na Kozackich Mogiłach p. Beresteckiem (z XVIII w.) przedstawione i przeniesione w XIX w. Ze wsi Ostrów (pow. horochowski), w Dubnie na Surmiczach z r. 1711” [11].

Warto zauważyć również, że wszystkie polecane obiekty, oprócz cerkwi w Tajkurach, przedstawiają trypolowe trzy-kopułowe cerkwie typu wołyńskiego z wyraźnie podłużnym układem („babiniec” – „nawa” – „ołtarz”). Spowodowało to istotne przemiany w rozmieszczeniu akcentów architektonicznych, ponieważ w warunkach konkursu 1927 roku wyraźnie utrwałała się wytyczna dotrzymująca się centrycznego rozplanowania cerkwi.

5. Podsumowanie

Oczywiście, głównym celem konkursu 1927 roku było wyznaczenie architektonicznych wzorców w budownictwie cerkiewnym, oficjalnie zaakceptowanych przez kościół prawosławny. Idee, wyrażone w nagrodzonych projektach, były zróżnicowane i jednocześnie konserwatywne. Tak jak wspomniano powyżej, tylko projekt A. Łuszipińskiego niewątpliwie wyodrębnił się swoją doskonałością, określając autora jako wybitnego przedstawiciela ukraińskiego koła architektów Galicji.

Wbrew optymistycznym oczekiwaniom wyniki konkursu 1927 roku ze swoimi twórczymi osiągnięciami okazały się dosyć skromne. Nagrodzone projekty i te, polecane do realizacji jako „pozytywne”, odznaczały się połączeniem różnych niejednorodnych elementów lub nadmiernym podkreśleniem kształtu zewnętrznego z wykorzystaniem tych elementów. Wszystko to świadczyło o rutynowym podejściu do rozwiązywania zadań, postawionych w warunkach konkursu. Być może właśnie dlatego nie udało się wyznaczyć przykładów nie tylko masowego stosowania zaproponowanych rozwiązań, ale i chociażby lokalnego budownictwa opartego na tych wzorcach.

Również zapotrzebowanie na nowe projekty cerkwi prawosławnych przede wszystkim było związane z praktyką budowlaną we wschodnich regionach drugiej Rzeczypospolitej, odwróconych od rosyjskiego imperium. Przede wszystkim to były zachodnie terytoria Wołynia i Białorusi. Takie zapotrzebowanie praktycznie nie dotyczyło wschodniej Galicji, ponieważ Cerkiew prawosławna na tych obszarach pod władzą Imperium Austro-Węgrów miała słabe przedstawicielstwo i nie mogła złożyć żadnej konkurencji Kościołowi Grekokatolickiemu. W rdzennej Polsce, w szczególności na Mazowszu, takiej potrzeby nie istniały w ogóle, ponieważ praktycznie wszystkie cerkwie zostały rozebrane, a cegła z prawosławnych cerkwi była uważana za dobry i niedrogi materiał budowlany do innych celów budowlanych [12].

Wiadomo też że kwestia budowy świątyń prawosławnych w Pierwszej Rzeczypospolitej, a później w zaborach rosyjskim i austriackim niejednokrotnie była sprawą wagi państwowej, dyskutowaną nawet podczas obrad sejmowych [13]. Przyczyny tego problemu, były zakorzenione w wielokulturowym, wielolet-

nicznym, wielowyznaniowym charakterze wszystkich poprzednich państwowych postanowień na tamtych ziemiach. Zatem każda z religii dążyła do wykorzystania sztuki architektonicznej jako potężnego środka etniczno-społecznej, wyznaniowej i architektonicznej tożsamości. Jednak ponieważ do tego procesu głęboko przenikały różnorodne czynniki i sprzeczności społeczne od czasów ubiegłych, poszukiwanie kompromisów z każdym razem stawało się czym bardziej skomplikowanym. Właśnie o tych problemach w sugestywny sposób przekonały wyniki architektonicznego konkursu 1927 roku, który okazał jak najbardziej wskazanym, jednak w ogóle i nie spełnił oczekiwań, pokładanych przez organizatorów.

Literatura

- [1] Ричков П. *Міжконфесійний трансморфізм в сакральній архітектурі Волині*. Między Wrocławem a Lwowem. Sztuka na Śląsku, w Małopolsce i na Rusi Koronnej od XVI do XVII wieku. Wrocław 2011.
- [2] Борщевич В. *Українське церковне відродження на Волині (20-40-ві рр. XX ст.)*. Луцьк 2000.
- [3] *Градостроительство России середины XIX - начала XX века*. Москва 2001, с.235.
- [4] Brykowski R. *Drewniana architektura cerkiewna na koronnych ziemiach Rzeczypospolitej*. Warszawa 1995.
- [5] *Cerkwie prawosławne Diecezji Lubelsko - Chełmskiej*. Balingen-Lublin 2008.
- [6] Купранець О.Ф. *Православна церква в міжвоєнній Польщі 1918-1939*. Рим 1974. 232 s.
- [7] Archiwum Akt Nowych (AAN) w Warszawie, Ministerstwo Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego (MWRiOP), sygn.1187.
- [8] Михайлишин О.Л. *Проблема стилю в архітектурі православних храмів на Волині в міжвоєнний період*. Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті. Вип. 1. Харків 2010.
- [9] AAN w Warszawie, MWRiOP, sygn.1186.
- [10] *Cerkwie prawosławne. Wyniki konkursu*. Warszawa: Wydawnictwo Św. Synodu Kościoła Prawosławnego w Polsce, 1928.
- [11] AAN w Warszawie, MWRiOP, sygn.1266.
- [12] Sienkiewicz H. *Cerkwie w krainie kościołów. Prawosławne świątynie na Mazowszu*. Warszawa 2006.
- [13] Krasny P. *Architektura cerkiewna na ziemiach ruskich Rzeczypospolitej. 1596 - 1914*. Kraków 2003.
- [14] *Cerkwie murowane i drewniane*, Architektura i budownictwo, 1928 Nr.1.

Anno 1928 competition for projects of Orthodox Churches in the Second Polish Republic: in searching new architectural identity

Petro Rychkov¹, Olga Mykhaylyshyn²

¹ *Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Department of Historic Building Preservation, e-mail: p.rychkov@pollub.pl*

² *National University of Water and Nature Resources in Rivne (Ukraine), Faculty of Civil Engineering and Architecture, Department of Architecture and Environmental Design,
e-mail: radistarch@gmail.com*

Abstract: Staying of Polish lands in the Russian Empire was accompanied by active construction of Orthodox churches in “Moscow-Byzantine” style. After regeneration of II Rzeczpospolita its authorities try to generate such new trends in church architecture, which would not have symbolic associations with imperial building art. With this purpose in 1927, it was announced competition for the projects of future Orthodox churches with new functional and compositional requirements. The article discusses the conditions of this competition and its results.

Keywords: II Polish Republic, Church architecture, style, sacral identity, competition.

Klasztor oo. Bernardynów w Dubnie w świetle mało znanych źródeł archiwalnych

Petro Rychkov

Katedra Konserwacji Zabytków, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: p.rychkov@pollub.pl

Streszczenie: Pierwsza poł. XVII w. odznacza się aktywnym budownictwem kościołów i klasztorów katolickich na „kresach” wschodnich Rzeczypospolitej. Jednym z nowo powstałych założeń był klasztor oo. Bernardynów w Dubnie na Wołyniu, fundowany przez ostatniego przedstawiciela ukraińskiego książęcego rodu Ostrogskich Janusza Ostrogskiego, nawróconego na obrządek łaciński. W związku z prowadzonymi remontami i przebudowami mającymi miejsce w XVII-XX wieku, klasztorny kompleks przetrwał do naszych czasów ze znacznymi stratami swej formy architektonicznej. Historyczne informacje dotyczące zabytku, uzupełniają mało znane źródła archiwalne, odnalezione przez autora w archiwach Petersburga i Kijowa. Pozwalają one pełniej odkryć i ocenić stylistykę tego zespołu i wykonać jego graficzną rekonstrukcję do stanu, w którym był przed początkiem wielostopniowej przebudowy na sobór prawosławny, wykonanej przez władze rosyjskie w końcu lat 1870-ch.

Słowa kluczowe: oo. Bernardynów, miasto Dubno, architektura kościelna, styl barokowy, rekonstrukcja graficzna.

1. Wprowadzenie

Znany podróżnik Ulryk Werdum przebywając w Dubnie około 1670 r. zanotował w swoim dzienniczku „*klasztor bernardynów z dużym pięknym kościołem*” [1]. Zespół ten tworzą kościół i zabudowania klasztorne. Nie był on obiektem częstych badań historycznych, a jeszcze rzadziej architektonicznych. Pierwsze, ogólne wzmianki o zabytku jako o soborze prawosławnym pojawiły się w „*Wołyńskich eparchialnych wiadomościach*” [2] Tematyki architektonicznej dotyczą dwie publikacje Piotra Bohdziewiczza. Pierwsza to krótki ogólny artykuł, napisany w 1959 roku [3]. Druga praca z 1973 roku jest publikacją bardziej obszerną z dużą ilością rzadkich materiałów ilustracyjnych i wiadomości źródłowych [4]. Badacz zebrał i opracował dosyć obszerny materiał ikonograficzny, piśmienniczy i archiwalny. Jeszcze w latach międzywojennych dokonał szczegółowej analizy zabytku w naturze, łącznie z wykonaniem samodzielnych pomiarów architektonicznych. Wnikliwą charakterystykę zespołu pobernardyńskiego zawiera przedwojenne vademecum M. Orłowicza [5], oraz katalog z czasów radzieckiej Ukrainy, gdzie obiekt wymieniono jako zabytek architektury o narodowym znaczeniu [6].

W ostatnich latach historii klasztoru pobernardyńskiego poświęciła kilka publikacji lwowska badaczka W. Gupało. Interesujące informacje znajdziemy w dwóch rozległych artykułach, opublikowanych przez nią w latach 2005 i 2007 [7]. W. Gupało jest też autorką publikacji z wynikami badań archeologicznych kościoła

pobernardyńskiego [8], zawierają one rysunki planu kościoła i elewacji południowej. Jednak informacje, dotyczące architektury zespołu klasztornego nie są głównym przedmiotem jej zainteresowań. Wśród nowszych publikacji należy wymienić prace H.E.Wyczawskiego [9] i M.Kurzeja [10].

Dzięki pisemnym źródłom i odkryciom archeologicznym ogólnie zbadana jest społeczna i liturgiczna historia oo. Bernardynów w Dubnie, niestety posiadamy dosyć ograniczoną informację ikonograficzną odnośnie pierwotnej morfologii architektonicznej samego kościoła i zespołu klasztornego. Najważniejszą przyczyną takiego stanu jest skomplikowana historia samego kompleksu, związana z licznymi przebudowami i stratami w przeszłości.

2. Szkic historyczno-architektoniczny

Klasztor oo. Bernardynów w Dubnie był jednym z wielu założeń tego zakonu w dawnej Polsce. W 1628 roku na całym obszarze państwa było 57 zespołów, z których 15 znajdowało się na ziemiach ruskich [11]. Na Wołyniu zakon posiadał kilka klasztorów, w takich miastach i miasteczkach jako Łuck, Dubno, Żytomierz, Warkowicze, Czudnów, Krystynopól, Zasław, Kustyń. Wśród nich klasztor w Dubnie jest najstarszy, fundowany jeszcze na początku XVII w.

O samych początkach osiedlania się zakonników posiadamy dosyć skromne informacje. Jak wnioskuje P. Bohdziewicz, właściciel miasta Janusz Ostrogski, kasztelan krakowski, zaprosił przedstawicieli tego zakonu do Dubna, wydał im w r. 1614 przywilej na założenie klasztoru. Działka do zabudowy była wybrana obok starego drewnianego kościoła w zachodniej strefie starego miasta w pobliżu miejskiej bramy (Łuckiej), wówczas jeszcze drewnianej. Wbudowana w wysoki masyw obronny ziemny wał, broniła jedyny dostęp do miasta po łądzie.

Zauważalny jest brak jednomyślności w kwestii początku budowy kościoła. Istnieje hipoteza, że prace przy fundamentach kościoła rozpoczęło się w r.1617 za pierwszego przeora Franciszka Ostrzeszowicza [12]. Inna data rozpoczęcia prac przy fundamentach to rok - 1627 [4]. Należy zwrócić uwagę na archiwalne materiały odnalezione przez S. Jurczenka, według do których budowa kościoła była połączona w czasie z budową nowej murowanej bramy Łuckiej. Z materiałów tych wynika, że w r.1623 w czasie jednego sezonu budowlanego mistrz Jakub Medleni wybudował bramę, na zamówienie księcia Aleksandra Zasławskiego, księcia na Ostrogu i Zasławiu [13]. Informacja podważa tezę o początku budowy kościoła w r. 1627, ale nie daje jednoznacznej odpowiedzi na główne pytanie. Ponieważ Janusz Ostrogski w ostatnich latach swego życia (zm. w r. 1620) ufundował kilka obiektów sakralnych, a Dubno zostawało jego miastem rodzinnym, dlatego prawdopodobnie był świadkiem wmurowania kamienia węgielnego.

Mniej wątpliwości wzbudza datowanie zakończenia „pierwszej” fazy budowy kościoła, a mianowicie jego prezbiterium, które było już gotowe w r. 1629 w czasie zwierzchnictwa o. Malchera. W tym samym roku świątynia została oddana do użytku z poświęceniem Niepokalanemu Poczęciu Najświętszej Maryi Panny [4] Mieszkalny korpus klasztoru zbudowany był później w 1658 roku za przeora o. K. Godlewskiego [14]. Kościół i klasztor w kolejnym stuleciu kilkakrotnie były remontowane co wiązało się z różnymi zmianami w ich formie architektonicznej. Jedną z przyczyn tych koniecznych przekształceń i remontów były niszczące pożary, zwłaszcza te które zdarzyły się w latach 1720 i 1764 [4].

Osiedlenie się oo. Bernardynów w Dubnie wpłynęło na zabudowę miasta. Obronne właściwości, założone w strukturę przestrzenną klasztornego kompleksu w połączeniu z bramą Łucką, ziemnym wałem i zewnętrznym rowem przekształciły ten fragment miejskich murów w potężny węzeł fortyfikacyjny. Monumentalna architektura klasztoru bernardyńskiego nie tylko urozmaicała oblicze miasta, ale zbliżała je do charakterystycznych europejskich wzorów [15].

W jednym z rosyjskich dokumentów archiwalnych wskazano, że klasztor to jednopiętrowy, murowany, pokryty gontem budynek będący w posiadaniu zakonników do r. 1855 [16]. Do tego zespołu należały również zabudowania: pierwsze - kamienne z jednym pokojem i kuźnią, drugi - kamienny z trzema pokojami, trzeci - drewniany z trzema pokojami. Wskazywało na to, że „ściany i sklepienia były w dosyć dobrym stanie” [17].

Kościół zbudowany został jako trójnawowa bazylika z wydłużonym wielobocznym prezbiterium tej samej wysokości co nawy boczne. Nawa główna prawie dwukrotnie wyższa od naw bocznych, jest oddzielona od nich czterema potężnymi słupami. Głównym elementem kompozycji przestrzennej jest wysoka wieża przybudowana do prezbiterium ze strony północnej. Na całej szerokości elewacji od strony zachodniej, dobudowano kruchtę, niemal trzykrotnie niższą od wysokości samego kościoła. Wejście do kruchtę jest od strony południowej. Nawa główna ma sklepienie kolebkowe z lunetami, podczas gdy sklepienia bocznych naw mają profil zbliżony do ostrołuku, co może wskazywać na wpływ tradycji gotyckiej. Nawiązaniem do stylu gotyckiego jest ogólny schemat rzutu pionowego z prostokątnym rzutem bryły głównej z wydłużonym prezbiterium zakończonym wieloboczną absydą. Nie przypadkowo badacze nie jednokrotnie wskazywali na pewne podobieństwo z kościołem oo. Bernardynów we Lwowie [4].

Wśród opublikowanych dotychczas źródeł ikonograficznych większość dotyczy okresu z 2 poł. XIX w. Przeważają materiały, które ukazują stan kościoła i części mieszkalnej już po znaczących przebudowach, zrealizowanych przez władze rosyjskie w końcu XIX w. Celem tych prac była adaptacja kościoła do formy soboru prawosławnego, a cel zakonnych dla różnych potrzeb administracji miejskiej. Opublikowano tylko kilka fotografii i rysunków z lat „przed przebudową” (do r. 1873), zwłaszcza w pracach P. Bohdziewicza [4, il.2, 13, 15, 28].

Wskutek ograniczenia informacji, w większości współczesnych opracowań obraz cerkwi nie odzwierciedla jej pierwotne architektoniczne cechy. Zwłaszcza - nadmierna, „masywność” architektonicznej kompozycji, skromność i ubóstwo dekoracyjnego wyposażenia. Tak jest do dzisiaj jednak z pewnym zastrzeżeniem, iż obecny stan w dużej mierze jest wynikiem szeregu architektonicznych transformacji (dokładniej mówiąc nawet dewastacji) końca XIX w i pierwszej połowy XX w.

Analizując odnalezione dokumenty archiwalne można przypuszczać, że dawna architektura tego zespołu klasztornego w porównaniu z obecnie istniejącymi zabudowaniami istotnie różniła się bogactwem i nasyceniem form architektonicznych. Swoją stylistyką zespół ten należał do najlepszych wzorów pierwszej fazy barokowego sakralnego budownictwa na terytorium Wołynia, (powstałych w 1 poł. XVII w.) Podstawą dla tej tezy są dwa jeszcze nie publikowane (wskutek różnych okoliczności) dokumenty ikonograficzne, odnalezione przez autora w zbiorach archiwalnych Petersburga i Kijowa.

3. Archiwalia

Pierwszy dokument archiwalny pt „*Elewacja, rzut a przekrój soboru mурowego w m. Dubnach, tymczasowo przekształcony od kościoła katolickiego bernardynów w m. Dubnie do r. 1865 na potrzeby skarbu państwa. Sporządzono z natury 15 października 1865 roku*” [18]. Dokument podpisał wykonawca - technik Wołyńskiego gubernialnego cerkiewno-budowlanego urzędu Parchomenko. Mimo dosyć skromnego stanowiska służbowego poziom wykonanej przez niego pracy kreślarskiej był kompetentny i rzeczywiście odtwarzał architektoniczną stylistykę kościoła.

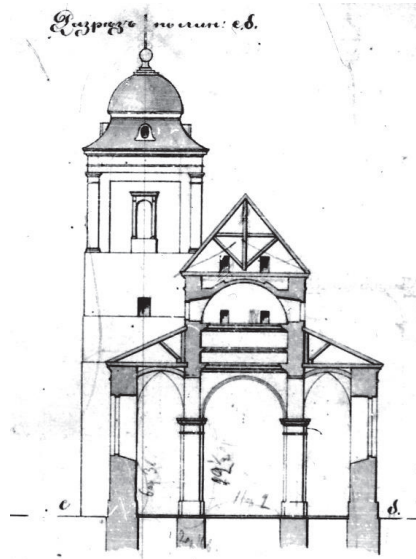
Na jednym arkuszu autor umieścił osiem rysunków pomiarowych, przedstawiających: elewację zachodnią kościoła (rys.1); elewację południową (rys. 2); przekrój poprzeczny po głównej i bocznych nawach z odtworzeniem na tylnym planie wieży kościelnej (rys.3); rzut poziomy (rys.4); rzut na poziomie drugiej kondygnacji (rys.5); elewację i dwa plany dzwonnicy zatytułowane „zadaszenie dla dzwonów” (rys. 6).



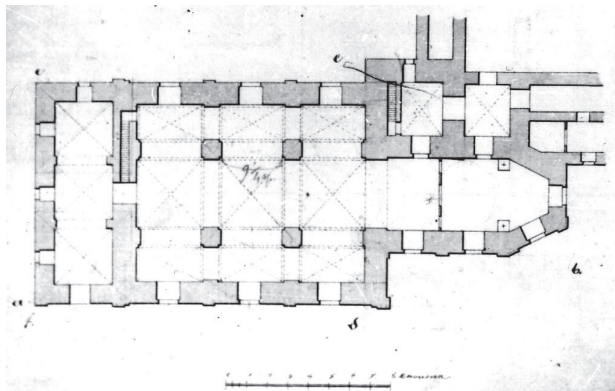
Rys. 1. Kościół pobernardyński. Elewacja zachodnia.1865. Wg. zbiorów РГИА.



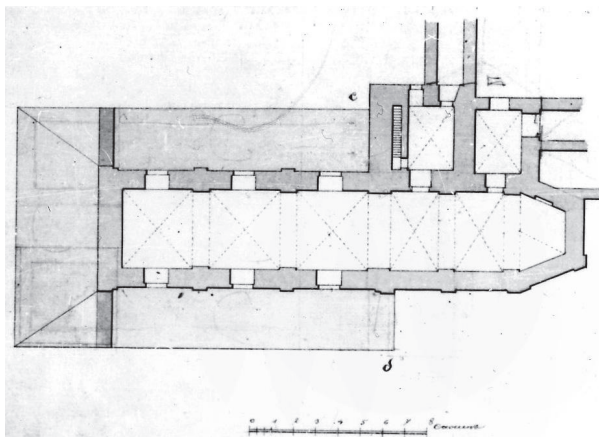
Rys. 2. Kościół pobernardyński. Elewacja kościoła południowa.1865. Wg. zbiorów РГИА.



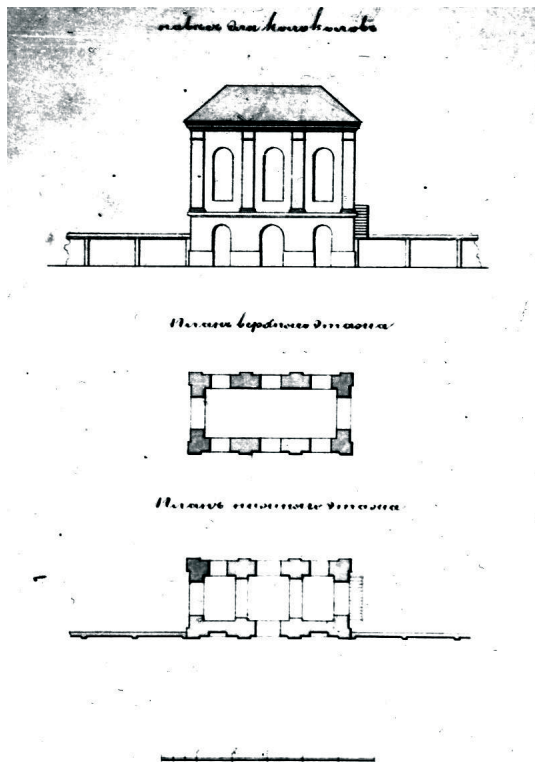
Rys. 3. Kościół. Przekrój poprzeczny z wieżą od tyłu. 1865. Wg. Zbiorów РГИА.



Rys. 4. Kościół. Rzut poziomy. 1865. Wg. zbiorów РГИА.



Rys. 5. Kościół. Rzut na poziomie górnej kondygnacji. 1865. Wg. zbiorów РГИА.



Rys. 6. Dzwonnica. Elewacja i dwa rzuty. 1865. Wg. Zbiorów РГИА.

Najważniejszy dla architektonicznej oceny tego obiektu, jest rysunek zachodniej (głównej) elewacji. Elementy architektoniczne były później prawie w całości zniszczone w czasie adaptacji kościoła na sobór prawosławny pw. Św. Mikołaja. Elewacja frontowa, jaką widzimy, była podzielona na dwie części. Dolną część tworzy przybudowa kruchty, której wysokość sięga w przybliżeniu na jednej trzeciej ogólnej wysokości budynku (bez wieży). Ciekawą właściwością narteksu jest to, że wejście doń wykonano w południowej ścianie, co oczywiście było podyktowano sytuacją urbanistyczną.

Mimo mniejszej grubości ścian zewnętrzna szerokość kruchty jest dostosowana do głównej bryły kościoła. Stąd wniosek, że kruchta była dobudowana do głównej części kościoła nieco później. W ścianie zachodniej kruchty zwracają uwagę dwa rzędy otworów okiennych. Forma i niewielkie rozmiary okien pierwszej kondygnacji są bardzo podobne do strzelnic zabudowań fortyfikacyjnych, więc możemy sugerować iż dawny kościół spełniał pewne funkcje obronne. Strzelnice te są skierowane w kierunku zachodnim, na strefę bezpośredniego dostępu do jednej z najważniejszych pozycji obronnych przed bramą Łucką.

Górna część elewacji zachodniej to rozwinięty trzykondygnacyjny przyczółek z pionowym i poziomym członkowaniem. Pierwsze dwie kondygnacje obramione są z obu stron potężnymi wolutami, trzecia to niewielki trójkątny fronton, zwieńczony niewielką figurą NMP. Zewnętrzne naroża pierwszej kondygnacji i trójkątnego frontonu są zaakcentowane wazonami. Ruch pionowy zamarkowano czterema równomiernie rozlokowanymi pilastrami.

Rysunek elewacji południowej przedstawia układ ogólny (kruchty, kościoła, prezbiterium, wieży). Zauważalna jest oszczędność w stosowaniu środków dekoracyjnych – rozmieszczenie rzędem płaskich pilastrów na zewnętrznych powierzchniach ścian. Na tej elewacji nad dachem można dostrzec ledwie widoczny kontur cebulastej kopuły, co jest ewentualną pozostałością poszukiwania nowego obrazu symbolicznego dla cerkwi prawosławnej. Zresztą później ten zamiar był zrealizowany w naturze.

Przekrój poprzeczny trzech naw pokazuje kontrast i współzależność między wysoką nawą centralną z sklepieniami krzyżowymi i znacząco niższymi nawami bocznymi.

Wykonana dokumentacja dwóch planów kościoła przedstawia nie odnotowane w późniejszej ikonografii połączenie kościoła z budynkiem klasztornym – na poziomie pierwszej i drugiej kondygnacji. Późniejsze pomiary korpusu klasztornego, w szczególności dokonane przez P. Bohdziewicza, odnotowują już odrębne rozmieszczenie klasztoru [4, il.1].

Ten zbiór archiwalnych rysunków pomiarowych istotnie uzupełnia naszą wiedzę o prawdziwej architekturze kościoła bernardyńskiego w Dubnie. Daje możliwość przedstawienia pełniejszego obrazu pierwotnej architektury tego kościoła do czasu jego przebudowy na prawosławny sobór i pokazuje różnice po przebudowach.

Znane są tylko dwie fotografie, na których przedstawiono stan zespołu klasztornego przed pracami renowacyjnymi. Dotyczy to zdjęcia w kierunku południowo-zachodnim [19] (rys. 7), oraz zdjęcia z północnego wschodu, opublikowanego wcześniej przez P. Bohdziewicza [4, il.15].



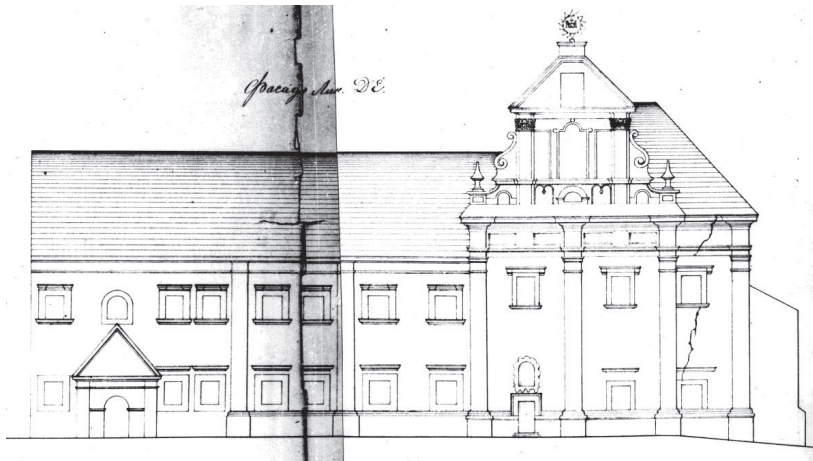
Rys. 7. Widok ogólny klasztoru pobernardyńskiego. Foto z lat 1870-ch (?). Wg. zbiorów PHB.

Na tym arkuszu przedstawiono elewacje i dwa plany dzwonnicy pod nazwą „zadaszenie dzwonów”, obecnie już nie istniejącej. Jak odnotowano na starych fotografiach, to była dosyć wysoka (około 8 metrów) dwukondygnacyjna dzwonnica, wbudowana w mur ogrodzenia klasztornego ze strony południowej. Wyższa

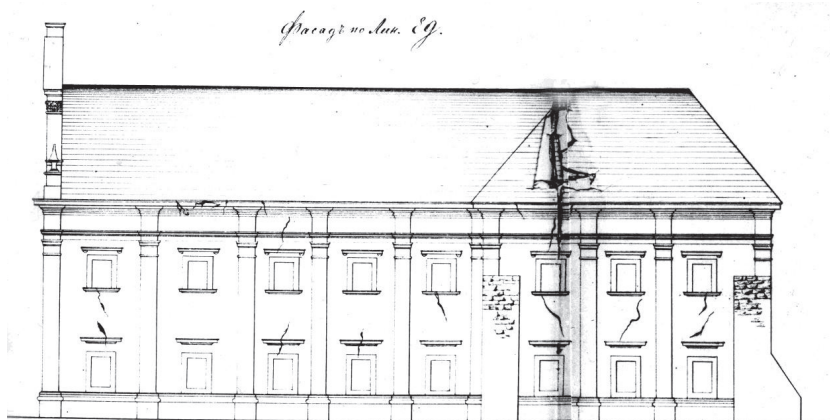
druga kondygnacja, podzielona pilastrami na trzy równe wielkie części z trzema otworami łukowymi na dzwony, nakryta prostym czterospadowym dachem. Pierwotnie wykorzystywana ona jako „kostnica”, do tymczasowego przechowywania nieboszczyków. Na starym rysunku przedstawiona jako bogato zdobiony barokowy budynek z wytwornym frontonem i wazonami [4, il.28].

Inny odnaleziony archiwalny dokument, przedstawiający widok jednopiętrowego klasztoru, powstał w związku z projektami administracji rosyjskiej adaptowania byłych cel zakonnych do potrzeb świeckich. Zbiór dokumentów datowany jest 20 lutego r. 1870 [20]. Jest to również komplet rysunków w formie oddzielnego arkusza pod ogólną nazwą „Rysunek skasowanego klasztoru bernardyńskiego w m. Dubno Wołyńskiej gubernii” [21]. .

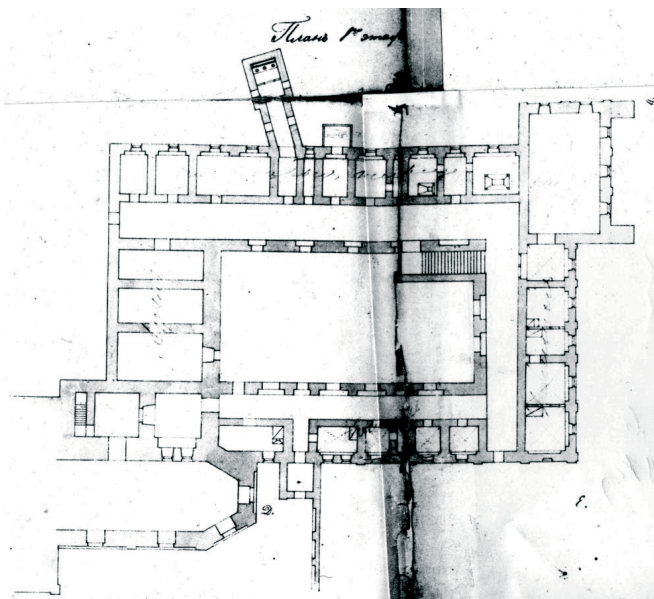
Na arkuszu umieszczono cztery rysunki pomiarowe klasztornej części zespołu: elewację południową (rys. 8); elewację wschodnią (rys. 9); plan parteru (rys. 10) i plan piętra (rys.11). W prawym górnym rogu arkusza innym charakterem pisma dopisano: „Przewiduje się umieszczenie urzędów powiatowych”. Zamiar ten jednak nie był zrealizowany.



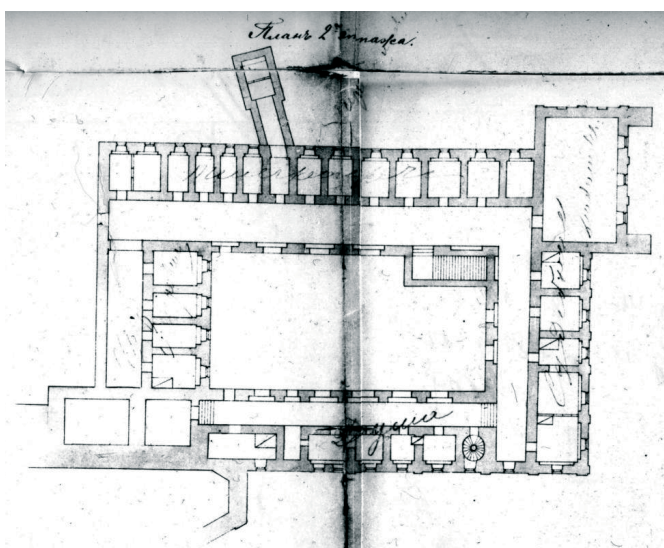
Rys. 8. Budynek klasztorny. Elewacja południowa 1870 r. Wg. zbiorów ЦДІАУК.



Rys. 9. Budynek klasztorny. Elewacja wschodnia 1870 r. Wg. zbiorów ЦДІАУК.



Rys. 10. Budynek klasztorny. Plan parteru 1870 r. Wg. Zbiorów ЦДІАУК.



Rys. 11. Budynek klasztorny. Plan piętra 1870 r. Wg. zbiorów ЦДІАУК.

Pośród tych czterech rysunków niewątpliwie najciekawsza jest południowa fasada gmachu klasztornego, skierowanego na przestrzeń głównej ulicy miejskiej, która biegła od placu rynkowego do Bramy Łuckiej. Należy zwrócić uwagę że prawą narożną część elewacji frontowej podkreśla fałszywy ryzalit z wysokim szczytem barokowym. Widoczny jest schemat pomiarowy w kreślarskim traktowaniu różnych detali architektonicznych, oraz kompozycyjne i stylistyczne doświadczenie nieznanego architekta. Jak się wydaje, przedstawiony fragment był efektem przebudów z XVIII w., gdyż wyraźnie odróżnia się od późnobarokowej formy i jednocześnie kojarzy się ze głównym szczytem kościoła oo. Bernardynów we Lwowie.

Wschodnia elewacja klasztoru (rys.9) w formie architektonicznej jest bardziej neutralna. Pewnego kubaturowo-przestrzennego wyglądu nadaje jej nieco występująca bryła salowego pomieszczenia (refektarza) w północno-wschodnim narożniku budowli. Przez obniżenie gruntu w tej części budowli brakowało pełnej stateczności fundamentów, dlatego z czasem w tej strefie pojawiły się dwie potężne przypory. Nie są one dopasowane do pozostałych form architektonicznych, jednak są „korzystne” z punktu widzenia nadania budowli pewnej monumentalności.

Istotne informacje wnoszą dwa plany klasztornej budowy. Przedstawiają sposób połączenia klasztoru i kościoła od wschodu i od północy, zabezpieczając w ten sposób cały klasztorny kompleks i stwarzając zamknięty dziedziniec. To istotna informacja, ponieważ po przekazaniu klasztoru cerkwi prawosławnej w 1875 roku oddzielono korpus z celami od byłego kościoła, ze strony północnej i wschodu [22].

Podział ten odbył się z dwóch powodów. Po pierwsze, nowo poświęcony sobór prawosławny pw. Św. Mikołaja musiał odpowiadać cerkiewnej tradycji autonomicznego położenia w otaczającej przestrzeni. Po drugie, wynikało to z zamiarów władz rosyjskich aby zaadaptować były klasztor na potrzeby urzędów publicznych. Zamiarów tych nie realizowano i na rok 1900 w byłych pomieszczeniach klasztornych znajdowali się tylko przedstawiciele duchowieństwa prawosławnego. Jednak według wiadomości O. Fotinskiego budowla wtedy była już na wpół zniszczona [23].

Nie zważając na liczne przebudowy i remonty, spowodowane przez pożary, a także społeczno-polityczne i religijne czynniki, kompleks klasztoru pobernardyńskiego w większości zachował się do naszych czasów, choć widoczne są liczne ubytki.

4. Podsumowanie

Scharakteryzowana powyżej mało znana ikonografia razem z innymi istniejącymi źródłami stwarza dostateczną podstawę teoretyczną do ogólnego przestrzennego odtworzenia pierwotnego wyglądu tego wyjątkowego architektonicznego zespołu (rys. 12, 13). Wszystko to razem, zdaniem autora, pozwala znacznie pełniej przedstawić utraconą architektoniczną tożsamość tego swoistego zabytku w Dubnie i w ten sposób jeszcze „szczelniej” integrować go do architektonicznej historiografii Wołynia w jakości swoistego dzieła sztuki budowlanej.

Około 1870 roku dokonano przeróbek w architekturze i wystroju wnętrza obiektu, by przystosować go do liturgii prawosławnej. Wskutek takiego „antykatolickiego” działania zlikwidowano dawne rzeźby i niemal całą ornamentykę. Na dachu wniesiono pięć cebulastych kopulek, które miały „*maskować pierwotny styl świątyni i nadać jej piętno architektury bizantyjskiej*” [24].

W 1921 roku monaster został zrewindykowany na rzecz Kościoła katolickiego. W sprawozdaniu z 1937 roku pojawiła się informacja, że stary kościół bernardyński pochodzi z poł. XVII w., odrestaurowany w 2.poł. XVIII w., przebudowany na cerkiew w 2. poł. XIX w. W latach 30-ch XX w. wykonane były prace konserwatorskie wg. projektu arch. R. Gürtlera na podstawie pomiarów i badań arch. P. Bohdziewiczza. Przy czym korzystano z rysunków inż. A. Pawłowskiego z lat 1872 i 1874, wykonanych jeszcze przed adaptacją kościoła na cerkiew. Dzięki nim

udało się odtworzyć architektoniczną formę dawnej kopuły dominującej w panoramie całego miasta. Wtedy to wskazano na konieczność przeprowadzenia prac restauratorskich przy elewacji głównej, które nie zostały wykonane. W sprawozdaniu wnioskowano również o prace konserwatorskie przy barokowym malarstwie wewnątrz kościoła. Jednak prace te przed r.1939 nie były ukończone [25].

W roku 1979 władze radzieckie poleciły adaptację klasztoru na cele świeckie. Od 1979 w kościele mieścił się zakład wyrobów artystycznych[2]. W 1990 obiekty zostały ponownie przekazane Kościołowi prawosławnemu. Ponownie urządzono w nich żeński monaster św. Mikołaja. Dawny kościół pobernardyński został zaadaptowany znowu na sobór św. Mikołaja. W przyszłości nie wykluczona jest kolejna zmiana jego formy architektonicznej. Przedstawiona rekonstrukcja będzie swoistą dokumentacją przepychu i okazałości tej wielowiekowej świątyni.



Rys. 12. Klasztor pobernardyński przed przebudową. Widok od południowego zachodu. Koncepcja autorki, wizualizacja komputerowa D. Kotlarowa.



Rys. 13. Klasztor pobernardyński przed przebudową. Widok od południowego wschodu. Koncepcja autorki, wizualizacja komputerowa D. Kotlarowa.

Literatura

- [1] Liske K. *Cudzoziemcy w Polsce*. Lwów, 1876, s.167.
- [2] Киевлянин. *Дубенский православный собор. Волынские епархиальные ведомости*, 1876, №10; Лучицкий М. О Дубенском соборе, ВЕВ, 1876, nr 14.
- [3] Bohdziewicz P. *Kościół i klasztor pobernardyński w Dubnie*. Biuletyn Historii Sztuki, R.XXI, 1959, N 3/4.
- [4] Bohdziewicz P. *Kościół i klasztor oo. Bernardynów w Dubnie*. Studia z dziejów sztuki polskiej w okresie baroku i rokoka. Lublin, 1973.
- [5] Orłowicz M. *Ilustrowany przewodnik po Wołyniu*. Łuck, 1929.
- [6] *Памятники градостроительства и архитектуры Украинской ССР*. Т.3. К. 1985.
- [7] Гупало В. *Монастир бернардинів у Дубні. Там, де Ікви срібні хвилі плинуть*. Дубно, 2005, с.16; Гупало В. *Історія монастиря оо. Бернардинів у Дубні на Волині. Магдебурзькому праву у місті Дубні – 500 років*. Дубно, 2007, с. 102 -120.
- [8] Гупало В. *До проблеми дослідження крипових поховань. Археологічні дослідження Львівського ун-ту*, Львів 2005, вип.8, с.388 - 399; Гупало В. *Дослідження крипти 2 у бернардинському костелі в Дубні. Археологічні дослідження Львівського ун-ту*, Львів 2007, вип.10, с. 228-247.
- [9] Wyczawski H.E. *Dubno. Klasztory bernardyńskie w Polsce w jej granicach historycznych*. Kalwaria Zebrzydowska, 1985.
- [10] Kurzej M. *Nowożytna architektura kościelna na Wołyniu do czasów wojen kozackich*. W kręgu Gadiacza A.D. 1658. Od historii do literatury, Kraków, 2006.
- [11] Głoger Z. *Encyklopedia staropolska ilustrowana*. Т.1, Warszawa 1900.
- [12] Гупало В. *Історія монастиря*.
- [13] Юрченко С. *Про час будівництва Луцької брами в Дубні*. Записки НТШ, Львів, 2001.
- [14] Гупало В. *Історія монастиря*. С.104.
- [15] Гупало В. *Монастир бернардинів*. С.16.
- [16] *Центральний державний історичний архів України у Києві (ЦДІАУК)*, ф. 442, о. 57, сп. 207 *Ведомость о зданиях древних замков, монастырей, церквей и других строениях, поступивших по разным случаям в казну и состоящих в ведении местного начальства по Волынской губернии (а.10 зв.)*.
- [17] Ibidem.
- [18] *Российский государственный исторический архив (РГИА)*, ф.1293, о.166 Вол., д.115, л.1: *Фасад, план и разрезы каменного собора в г.Дубнах, временно преобразованного из католического костела бернардинов в г. Дубне в 1865 г. на еждевание казны, снят с натуры 15 октября 1869 года. Подпис: Волынского губернского церковно-строительного присутствия техник Пархоменко*.
- [19] *Российская национальная библиотека (РНБ). Собрание Отдела рукописей и эстампов*.
- [20] ЦДІАУК, ф.442, о.102, сп.185, *О перестройке бывшего бернардинского костела в г.Дубно под православный собор. Из распоряжения Министерства внутренних дел от 20 февраля 1870 г.*
- [21] ЦДІАУК, ф.442, о.102, сп.185, а.80. *Чертеж упраздненного бернардинского монастыря в г. Дубне Волынской губернии*.
- [22] Лучицкий М. *О Дубенском соборе*. с.493.
- [23] Фотинский О.А. *Экскурсия О.А.Фотинского по Волынской губернии для описания памятников старины*. Киевская старина, 1900, №12, с.199.
- [24] *Słownik geograficzny królestwa Polskiego i innych krajów słowiańskich*. Т.II. Warszawa 1881, s.195.

[25] Rewski Z. *Kronika. Województwo Wołyńskie*. Biuletyn Historii Sztuki i Kultury. R.VI. Nr.2, Warszawa 1938.

The monastery of the Bernadines at Dubno in the light of little-known archival sources

Petro Rychkov

*Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Department of Historic Building Preservation, e-mail: p.rychkov@pollub.pl*

The first half of the 17th century is characterized by active building of new catholic churches and monasteries on the east territories ("kresach") of the Polish Commonwealth. One of the most noticeable foundlings, Bernardine monastery in Dubno town in Volhynia, was initiated by Janusz Ostrogski, the last representative of this Ukrainian princely family, which was turned to the catholic faith. Unfortunately after a few repairs and alterations during 18 – 20th centuries this monastery complex reached to our time with the considerable losses of its architectural image. Available historical information on this known architectural monument is substantially supplemented by the little-known sources, which was opened by author in the archive's collections of Petersburg and Kyiv. They allow completer to imagine and to estimate style of this architectural complex and than to prepare its graphic reconstruction in that state, in which he existed before the beginning of its scale alteration on the Orthodox church carried out by Russian power in 1875-1876.

Key words: Bernardines monastery, city Dubno, church architecture, barock style, graphic reconstruction.

Praktyczne aspekty wymiarowania belek żelbetowych podwójnie zbrojonych w świetle PN-EN 1992-1-1

Tadeusz Ciężak

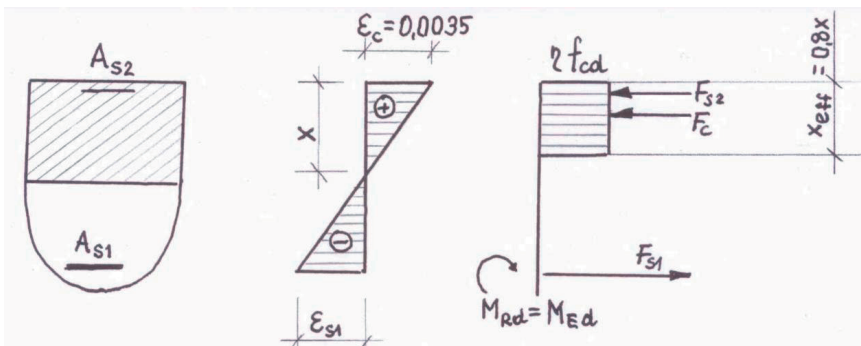
Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury,
Katedra Inżynierii Procesów Budowlanych, e-mail:t.ciezak@pollub.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodykę wymiarowania belek żelbetowych podwójnie zbrojonych w świetle wymagań zawartych w EC2 [1] w dwóch wariantach. W pierwszym wariantcie graniczną wartość strefy ściskanej określono na podstawie odkształceń granicznych betonu i stali, natomiast w drugim przypadku do wyznaczenia tej wartości przyjęto maksymalny stopień zbrojenia elementów zginanych. Rozważany problem zilustrowano przykładami liczbowymi w odniesieniu do betonów klas C30/37 i C70/85 Wyniki obliczeń nie mogą być podstawą do uogólnień, jednakże różnice przekroju zbrojenia wyznaczonego w obu przypadkach są niewielkie i nie przekraczają 6%.

Słowa kluczowe: belki podwójnie zbrojone, wymiarowanie.

1. Informacje ogólne

Nośność elementów żelbetowych podwójnie zbrojonych można w świetle wymagań zawartych w EC2 wyznaczać metodą uproszczoną, polegającą m.in. na przyjęciu ekwiwalentnego prostokątnego wykresu naprężeń w strefie ściskanej betonu, co przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Założenia do analizy przekrojów zginanych metodą uproszczoną wg EC2 [1].

Jak wykazali m.in. A. Łapko i B.C. Jansen [2] takie założenie pozwala wyeliminować konieczność analizy stanu naprężenia w różnych zakresach odkształceniowych, analizowanych w metodzie ogólnej.

W obliczeniach inżynierskich graniczną wartość bezwymiarowego współczynnika określającego zasięg strefy ściskanej $\xi_{eff,lim}$ uzależniano początkowo od klasy

betonu i stali [3] lub też wyłącznie od klasy stali [4]. W EC2 nie podano informacji dotyczących przyjmowania $\xi_{eff,lim}$. Należy podkreślić, że zasady EC2 są właściwe wyłącznie przy stosowaniu stali zbrojeniowych, których charakterystyczna granica plastyczności wynosi od 400 do 600 MPa, co dyskwalifikuje niektóre jeszcze obecnie stosowane stale klasy od A-0 do A-II. Przyjęto zupełnie nową kwalifikację stali zbrojeniowych, w której parametrem decydującym jest tzw. ciągliwość.

Przyjęcie wysokości strefy ściskanej określonej zależnością $\xi_{eff} \geq \xi_{eff,lim}$ oznacza, że wyczerpana została nośność strefy ściskanej poprzez osiągnięcie granicznej wartości odkształceń betonu i w związku z tym wymagane jest zaprojektowanie dodatkowego zbrojenia w strefie ściskanej, czyli występuje tu przypadek tzw. przekroju podwójnie zbrojonego. Wartość tę w praktyce przyjmuje się na podstawie wzoru:

$$\xi_{eff,lim} = 0,8 \left(\frac{0,0035}{0,0035 + \frac{f_{yd}}{E_s}} \right) \quad (1)$$

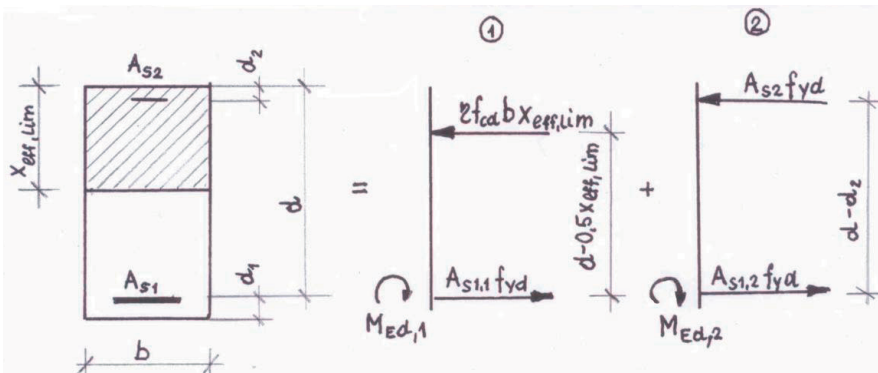
natomiast graniczną wysokość strefy ściskanej określa znana zależność:

$$x_{eff,lim} = \xi_{eff,lim} d \quad (2)$$

Należy zaznaczyć, że zależność wyznaczona na podstawie wzoru (1) ważna jest w przypadku betonów klas C12/15 do C50/60, w których graniczne odkształcenia betonu w strefie ściskanej przyjmuje się zgodnie z EC-2 $\epsilon_{cu1} = 3,5\%$. Przy wyższych klasach betonu wartość odkształceń granicznych należy obliczyć na podstawie wzorów podanych w EC2, co zostało również przedstawione w postaci tablicowej przez M. Knauffa [5].

2. Alternatywne sposoby wyznaczania granicznej wysokości strefy ściskanej przekroju zbrojenia

Wykresy sił wewnętrznych ze względu na pełną nośność przekroju pojedynczo zbrojonego (schemat 1) i nośność z uwagi na przekrój zbrojenia ściskanego (schemat 2) przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wykresy sił wewnętrznych w przekroju podwójnie zbrojonym.

2.1. Wyznaczenie $\xi_{\text{eff,lim}}$ na podstawie odkształceń granicznych

$$\text{Beton: C30/37} \quad f_{cd} = 30/1,4 = 21,43 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu1} = 3,5\text{‰}$$

$$\text{Stal B 500 SP} \quad f_{yd} = 400/1,15 = 347,83 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0,8$$

$$M_{Ed} = 950,00 \text{ kNm}$$

$$\eta = 1,0$$

Przekrój betonowy o wymiarach: $b = 30,0 \text{ cm}$, $h = 60 \text{ cm}$, $d = 56,0 \text{ cm}$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = 0,8 \left(\frac{0,0035}{0,0035 + \frac{347,83}{200000}} \right) = 0,54$$

$$x_{\text{eff,lim}} = 0,54 \cdot 56 = 30,24 \text{ cm}$$

Przekrój zbrojenia rozciąganego przypadający na 1 schemat sił wewnętrznych wynosi:

$$A_{s1,1} = \frac{\eta f_{cd} b x_{\text{eff,lim}}}{f_{yd}} = \frac{1,0 \cdot 21,43 \cdot 30,00 \cdot 32,24}{347,83} = 55,89 \text{ cm}^2$$

natomiast moment, jaki może przenieść schemat 1 ma wartość:

$$M_{Ed,1} = \eta f_{cd} b x_{\text{eff,lim}} (d - 0,5 x_{\text{eff,lim}}) = 1,0 \cdot 21,43 \cdot 10^6 \cdot 0,30 \cdot 0,3024 \cdot (0,56 - 0,3024) = 794760 \text{ Nm} = 794,76 \text{ kNm}$$

Na schemat 2 przypada moment $M_{ed,2}$:

$$M_{Ed,2} = M_{Ed} - M_{Ed,1} = 950,00 - 794,76 = 155,24 \text{ kNm}$$

Z równań równowagi sił wewnętrznych schematu 2 wyznacza się przekrój zbrojenia rozciąganego $A_{s1,2}$, który jest równy przekrojowi zbrojenia ściskanego A_{s2} :

$$A_{s1,2} = A_{s2} = \frac{M_{Ed,2}}{F_{yd} (d - d_2)} = \frac{155,24 \cdot 10^3}{347,83 \cdot 10^6 \cdot 0,53} = 0,000842 \text{ m}^2 = 8,42 \text{ cm}^2$$

Łączny przekrój zbrojenia rozciąganego wynosi

$$A_{s1} = A_{s1,1} + A_{s1,2} = 55,89 + 8,42 = 64,31 \text{ cm}^2$$

natomiast zbrojenia ściskanego

$$A_{s2} = 8,42 \text{ cm}^2$$

2.2. Wyznaczenie $\xi_{\text{eff,lim}}$ przy wykorzystaniu warunku maksymalnego stopnia zbrojenia

W EC2 podano zalecenie określające maksymalny stopień zbrojenia w przekrojach pojedynczo zbrojonych $\rho_{\text{max}} = 0,04A_c$, gdzie A_c jest przekrojem betonowym. Można zatem nośność schematu 1 opisanego w p.2.1. wyznaczyć następująco:

$$A_{s1,1} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 30,00 \cdot 56,00 = 67,20 \text{ cm}^2$$

$$x_{\text{lim}} = \frac{A_{s1,1} f_{yd}}{\eta f_{cd} b} = \frac{67,20 \cdot 347,83}{1,0 \cdot 21,43 \cdot 30,00} = 36,35 \text{ cm}$$

$$M_{Ed,1} = 883,95 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,2} = 66,05 \text{ kNm}$$

natomiast przekrój zbrojenia rozciąganego w schemacie 2-gim a także zbrojenia ściskanego wynosi:

$$A_{s1,2} = A_{s2} = 3,58 \text{ cm}^2$$

Łączny przekrój zbrojenia rozciąganego:

$$A_{s1} = 70,78 \text{ cm}^2$$

Przedstawiony sposób postępowania dotyczy w zasadzie betonów klas od C12/16 do C50/60 W przypadku betonów klas wyższych tj. C55/67 do C90/105 należy uwzględnić odpowiednie wartości współczynników λ i η .

2.3. Przykład liczbowy reprezentujący klasy betonów od C55/67 do C90/105

Beton C70/85 $f_{cd} = 70/1,4 = 50 \text{ MPa}$

$$\varepsilon_{cu1} = 2,8\text{‰}$$

Stal $f_{yd} = 500/1,15 = 347,83 \text{ MPa,}$

$$\lambda = 0,8(f_{ck} - 50)/400 = 0,8(70 - 50)/400 = 0,75$$

$$M_{ed} = 1800,00 \text{ kNm}$$

$$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200 = 1 - (70 - 50)/200 = 0,9$$

$$\xi_{\text{eff,lim}} = 0,75 \left(\frac{0,0028}{0,0028 + \frac{347,83}{200000}} \right) = 0,47$$

Przekrój betonowy: $b = 30,0 \text{ cm}$, $h = 60,0 \text{ cm}$.

Przyjmując podobny tok postępowania jak w p. 2.1 otrzymuje się odpowiednio:

$$x_{\text{eff,lim}} = 26,32 \text{ cm}$$

$$A_{s1,1} = 117,25 \text{ cm}^2$$

$$M_{Ed,1} = 1522,00 \text{ kNm}$$

$$A_{s1,2} = 15,10 \text{ cm}^2$$

$$M_{Ed,2} = 278,00 \text{ kNm}$$

Przy wyznaczaniu $\xi_{eff,lim}$ na podstawie warunku określającego maksymalny stopień zbrojenia (p.2.2) otrzymuje się następujące wyniki:

$$\xi_{eff,lim} = 18,56 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = 72,00 \text{ cm}^2$$

$$M_{Ed,1} = 1170,60 \text{ kNm}$$

$$A_{s2} = 34,14 \text{ cm}^2$$

$$M_{Ed,2} = 629,40 \text{ kNm.}$$

3. Zestawienie wyników obliczeń i wnioski

Wyniki obliczeń przekroju zbrojenia w belkach podwójnie zbrojonych, przy alternatywnych sposobach wyznaczania granicznej wysokości strefy ściskanej opisanych w p. 2.1-2.3 przedstawiono w Tablicy 1.

Tablica 1. Wyniki obliczeń przekroju zbrojenia.

Klasa betonu	Wyznaczenie $\xi_{eff,lim}$ według odkształceń granicznych			Wyznaczenie $\xi_{eff,lim}$ według maksymalnego stopnia zbrojenia		
	A_{s1}	A_{s2}	ΣA_s	A_{s1}	A_{s2}	ΣA_s
	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]
C 30/37	64,31	8,42	72,73	70,78	3,58	74,36
C 70/85	117,25	15,10	132,35	106,14	34,14	140,28

Zaprezentowane przykładowe wyniki obliczeń nie mogą stanowić wystarczającej podstawy do sformułowania uogólnionych wniosków. Suma przekroju zbrojenia umieszczonego w strefie ściskanej i rozciąganej jest większa w przypadku wyznaczania $\xi_{eff,lim}$ na podstawie maksymalnego stopnia zbrojenia podanego w EC2. Różnice jednak są niewielkie tj. 1,66% (beton C30/37) i 5,99% (beton C70/85).

Literatura

- [1] PN-EN 1992-1-1:2008. *Eurokod 2, Projektowanie konstrukcji z betonu. Część1. Reguły ogólne i reguły dla budynków.*
- [2] Łapko A., Jansen B.C. *Podstawy projektowania i algorytmy obliczeń konstrukcji żelbetowych.* Arkady, Warszawa, 2005.
- [3] PN-84/B-03264. *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.* Wydawnictwa Normalizacyjne „Alfa”, Warszawa, 1985.
- [4] PN-B-03264:2002. *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone.* Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002.
- [5] Knauff M. *Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012.

Practical aspects of dimensioning of reinforced concrete beams, double reinforced in the light of PN-EN 1992-1-1

Tadeusz Ciężak

*Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Department of Construction Management, e-mail:t.ciezak@pollub.pl*

Abstract: This paper presents a methodology of dimensioning of double reinforced concrete beams which are reinforced in the light of the requirements of the EC2 [1] in two variants. In the first variant, the limiting value of the compression zone was determined on the basis of limiting strains of concrete and steel. The maximum degree of concrete reinforcement of bending elements are assumed in the second case. The considered problem is illustrated by computational examples in relation to the concrete classes C30/37 and C70/85. Results of the calculations cannot be the basis for generalizations, however, differences in the section of the reinforcement determined in both cases are small and do not exceed 6%.

Keywords: double reinforced concrete beams, dimensioning.

Metoda wielostrzałowa w analizie stateczności niepryzmatycznych słupów wielosegmentowych

Ryszard Hołubowski¹, Andrzej Merena²

¹ *Instytut Inżynierii Lądowej, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, e-mail: ryszard.holubowski@pwr.wroc.pl*

² *Biuro projektowe AQ7 sp. z o.o., e-mail: andrzej.merena@o2.pl*

Streszczenie: W pracy omówiono zastosowanie metody wielostrzałowej pod kątem użycia jej do analizy stateczności niepryzmatycznych słupów przegubowo-przegubowych o skokowo zmiennej sztywności, obciążonych siłą skupioną przyłożoną do górnego węzła. Przedstawiono wyniki analiz numerycznych dla przykładowego trzysegmentowego słupa, rozwiązując układ równań różniczkowych o zmiennych współczynnikach z parametrem. Otrzymane wyniki porównano z rozwiązaniem uzyskanym za pomocą programu SOFiSTiK bazującego na metodzie elementów skończonych. Z przeprowadzonych analiz wynika, że uwzględnienie zmian sztywności na długości może w istotny sposób wpłynąć na wartości obciążeń krytycznych i w konsekwencji zmienić nośność słupa. Zaletą zaproponowanej metody jest jej wysoka efektywność oraz łatwość opisu zmian sztywności.

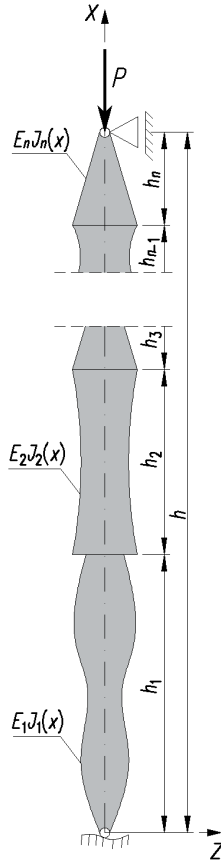
Słowa kluczowe: analiza stateczności, niepryzmatyczne słupy wielosegmentowe, metoda strzałów.

1. Wprowadzenie

Współczesne tendencje projektowe do poszukiwania oryginalnych form architektonicznych w połączeniu z nowoczesnymi metodami wytwarzania powodują, iż konstrukcje przybierają coraz to bardziej wyszukane kształty. Również materiał nie jest ograniczeniem, a wręcz stosuje się różne jego kombinacje, tworząc elementy hybrydowe. Czynniki te komplikują niekiedy projektowanie, utrudniając racjonalne wymiarowanie konstrukcji. Problemów nastręcza określenie realnych wartości współczynników długości wyboeczeniowej i zwichrzeniowej.

Trudności w uzyskaniu ścisłych rozwiązań wymuszają korzystanie z metod przybliżonych. Powszechnie w rozwiązaniach zagadnień stateczności wykorzystuje się metodę elementów skończonych, która w przypadku wielosegmentowego pręta o silnie zmieniającym się na długości przekroju poprzecznym, wymusza gęsty podział na elementy skończone. W pracy zaproponowano alternatywne podejście bazujące na rozwiązaniu układu równań różniczkowych osi odkształconej pręta z wykorzystaniem metody wielostrzałowej. Umożliwia ona rozwiązywanie układów zwyczajnych równań różniczkowych na drodze numerycznego całkowania. Jej dobra efektywność pozwala na analizowanie szerokiego zakresu problemów spotykanych w budownictwie. Pai i Palazotto [1], analizując duże przemieszczenia elastycznych belek, wykorzystali metodę wielostrzałową, podając rozwiązania statyczne dla różnych warunków podparcia i obciążenia. Uproszczoną wersję metody strzałów

zastosował Chen [2] do rozwiązania równania różniczkowego opisującego drgania własne ściskanego pręta niepryzmatycznego. Li i Zhou [3] zastosowali metodę strzałów do analizy nieliniowych drgań kołowych płyt ortotropowych. Ribeiro [4] opisał drgania wymuszone harmonicznymi belek i płyt z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznych. Ibrahim i in. [5] zaproponowali zmodyfikowaną metodę strzałów do wyznaczenia odpowiedzi dynamicznych izotropowych i kompozytowych belek zakrzywionych wzbudzanych okresowo zmienną siłą skupioną. W pracy [6] Glabisz przedstawił rozwiązania problemu stateczności oraz drgań własnych prętów niepryzmatycznych za pomocą metody jednostrzałowej z wykorzystaniem programu Mathematica. Razem z Hołubowskim w [7] opisał wpływ wypukłości niepryzmatycznych słupów drewnianych na wartości obciążeń krytycznych i ich nośności.



Rys. 1. Schemat analizowanych słupów.

2. Sformułowanie problemu

Omawiane w artykule słupy (rys. 1) przeanalizowano jako podparte obustronnie przegubowo, zakładając, w ogólnym przypadku, dowolną liczbę segmentów, z których każdy może być wykonany z innego materiału (stal, aluminium, drewno, żelbet). Poszczególne części słupa mogą się łączyć ze sobą w sposób ciągły lub skokowy, a moment bezwładności każdej z nich opisany jest dowolną funkcją

ciągłą zależną od zmiennej geometrycznej x . Założono, że oś podłużna pręta przebiega przez środki ciężkości przekrojów poprzecznych. Obciążenie stanowi pionowa siła skupiona przyłożona osiowo do górnego węzła słupa. Przyjęto, że kierunek tej siły pozostaje pionowy również po wyboczeniu się słupa. Ze względu na niewielki wpływ na wartość siły krytycznej, ciężar własny pominięto.

3. Analiza stateczności z wykorzystaniem metody wielostrzałowej

Równania różniczkowe opisujące oś odkształconą słupa w poszczególnych segmentach mają następującą postać [8]

$$\begin{aligned} E_1 I_1(x) z_1''(x) + P z_1(x) &= 0, \quad \text{dla } x \in [x_1, x_2] \\ E_2 I_2(x) z_2''(x) + P z_2(x) &= 0, \quad \text{dla } x \in [x_2, x_3] \\ &\dots \\ E_n I_n(x) z_n''(x) + P z_n(x) &= 0, \quad \text{dla } x \in [x_n, x_{n+1}] \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie n jest liczbą segmentów, E_n modułem Younga, $I_n(x)$ funkcją opisującą przebieg zmienności momentu bezwładności na długości segmentu, zaś P siłą ściskającą. Ciągłość słupa w punktach styku segmentów zapewniają warunki

$$\begin{aligned} z_1(x_2) &= z_2(x_2) \quad \text{oraz} \quad z_1'(x_2) = z_2'(x_2), \\ z_2(x_3) &= z_3(x_3) \quad \text{oraz} \quad z_2'(x_3) = z_3'(x_3), \\ &\dots \\ z_{n-1}(x_n) &= z_n(x_n) \quad \text{oraz} \quad z_{n-1}'(x_n) = z_n'(x_n). \end{aligned} \quad (2)$$

W zagadnieniach stateczności warunki brzegowe wynikające ze sposobu podparcia pręta, są zwykle określone w różnych punktach dziedziny rozwiązania, co uniemożliwia bezpośrednie numeryczne całkowanie równań (1). Podobna sytuacja występuje w przypadku analizowanego przegubowo-przegubowego słupa pokazanego na rys. 1, dla którego możemy zapisać dwa warunki kinematyczne

$$z_1(0) = 0 \quad (3.1)$$

$$z_n(h) = 0 \quad (3.2)$$

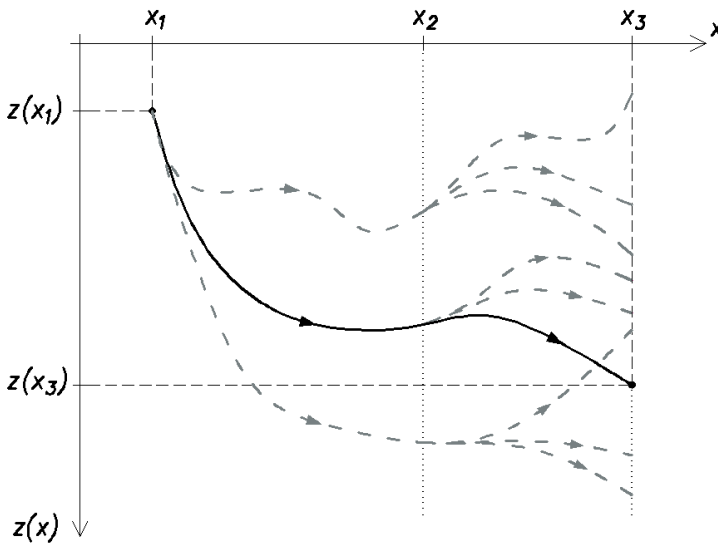
określone w dwóch różnych punktach – w węźle początkowym i końcowym słupa. Aby umożliwić rozpoczęcie procedury numerycznego całkowania przyjęto, że kąt obrotu słupa u jego podstawy jest znany i wynosi

$$z_1'(0) = 1 \quad (4)$$

Założenie to w żaden sposób nie wpływa na wartość siły krytycznej, stanowi jedynie pewną szczególną normalizację postaci wyboczenia. Uzyskanie nietrywialnego rozwiązania któregośkolwiek z równań (1) przy jednoczesnym zachowa-

niu warunków ciągłości (2) jest równoznaczne z wybočeniem się słupa lub jego części. Formę utraty stateczności opisuje zbiór funkcji $z_1(x)$, $z_2(x)$, ..., $z_n(x)$. Niezerowe rozwiązania równań (1) można uzyskać wykorzystując wielostrzałową wersję metody strzałów.

Idea metody strzałów [6], [9], [10] polega na zastąpieniu zagadnienia brzegowego przez zagadnienie początkowe. W analizowanym przypadku, po wprowadzeniu warunku normalizacji, zagadnienie początkowe opisują warunki (3.1) i (4). Procedura poszukiwania obciążenia krytycznego (pierwszego i kolejnych) będzie zatem polegać na takim doborze wartości siły P , aby spełniony był warunek (3.2). Ponieważ funkcja opisująca sztywność giętną słupa nie jest ciągła na długości rozpatrywanego przedziału całkowania, wyodrębniono podprzedziały o długościach odpowiadających długościom segmentów słupa, w których moment bezwładności zmienia się w sposób ciągły. Następnie wyznaczono szereg rozwiązań równań różniczkowych (1) – strzałów – dla różnych wartości parametru P w obrębie każdego z podprzedziałów, zachowując jednocześnie warunki ciągłości (2) na granicach. Wartości współczynnika P , dla których spełniony jest warunek (3.2), są poszukiwanymi obciążeniami krytycznymi. Opisany schemat procedury wyznaczania sił krytycznych zilustrowano na rys. 2, gdzie liniami przerywanymi oznaczono nieudane – z uwagi na niespełnienie warunku końcowego – próby doboru parametru P .



Rys. 2. Graficzna interpretacja metody wielostrzałowej.

4. Analizy numeryczne

Za obiekt badań posłuży trzysegmentowy, przegubowo-przegubowy słup pokazany na rys. 3 obciążony siłą skupioną przyłożoną do górnego węzła. Zmienny na wysokości przekrój poprzeczny słupa jest kołowy. Funkcje opisujące zmiany promienia w dolnym i górnym segmencie są wielomianami czwartego stopnia, natomiast segment środkowy jest pryzmatyczny. Przyjęto, że cały słup jest wykonany z drewna klasy C22, zatem moduł sprężystości w każdym segmencie jest stały i zgodnie z postanowieniami norm PN-EN 1995-1-1:2010 [11] i PN-EN 338:2011

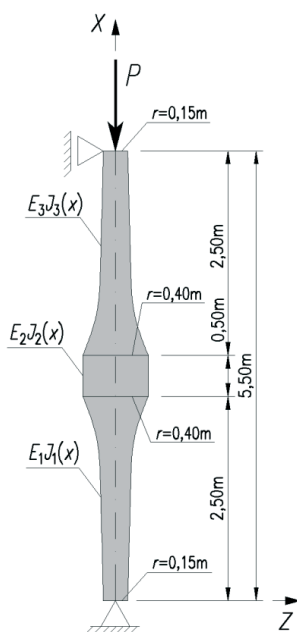
[12] wynosi $E_{0,05} = 6,7$ GPa. Biorąc pod uwagę, że moment bezwładności przekroju kołowego jest określony wzorem: $I(x) = \pi r^4(x)/4$, funkcje opisujące przebieg zmian sztywności giętej w skrajnych segmentach są wielomianami szesnastego stopnia, natomiast w strefie centralnej sztywność słupa jest stała

$$E_1 I_1(x) = 1675\pi (0,1500 - 0,0155x + 0,1161x^2 - 0,1071x^3 + 0,0317x^4)^4 \text{ [MNm}^2\text{]}$$

$$E_2 I_2(x) = 134,7115 \text{ [MNm}^2\text{]} \quad (5)$$

$$E_3 I_3(x) = 1675\pi (14,7283 - 12,6125x + 4,0957x^2 - 0,5895x^3 + 0,0317x^4)^4 \text{ [MNm}^2\text{]}$$

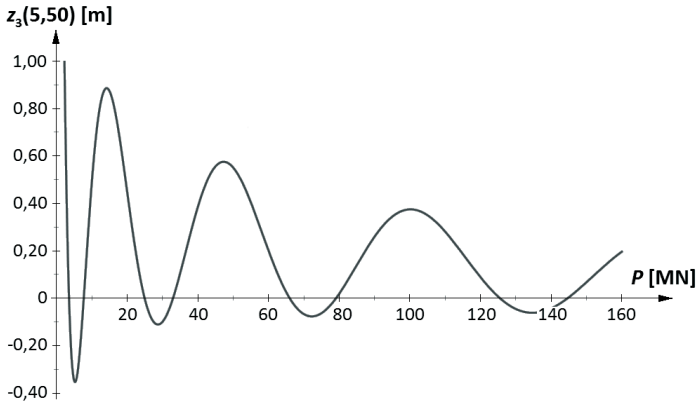
Po podstawieniu relacji (5) do równań (1) i uwzględnieniu warunków ciągłości w punktach styku segmentów (2) oraz warunków brzegowych (3.1) i (3.2) wynikających ze sposobu podparcia słupa, otrzymuje się układ trzech równań różniczkowych o zmiennych współczynnikach z parametrem P . Wartości parametru P , będące kolejnymi poziomami obciążeń krytycznych, wyznaczono na podstawie sformułowanego w poprzednim punkcie algorytmu metody wielostrzałowej, przy czym numeryczne całkowanie równań różniczkowych przeprowadzono za pomocą programu Mathematica.



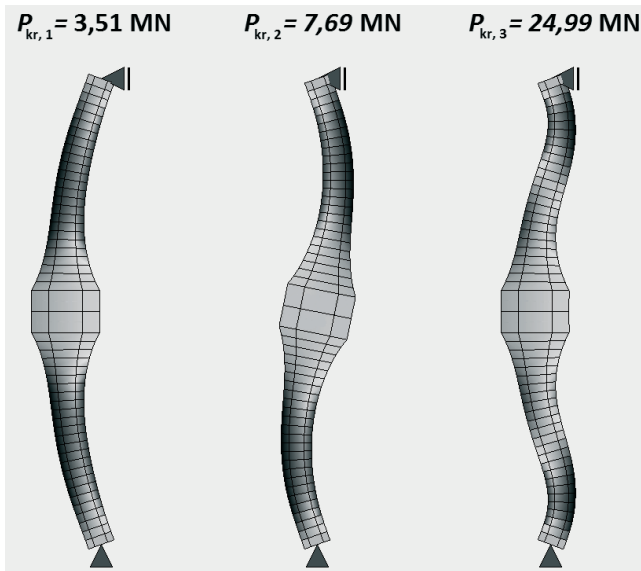
Rys. 3. Schemat statyczny rozpatrywanego słupa.

Na rys. 4 przedstawiono wykres funkcji $z_3(x = 5,50\text{ m})$ zależnej od parametru P , opisującej przemieszczenie górnego węzła słupa w miejscu jego podparcia. Ponieważ, zgodnie z warunkiem (3.2), przemieszczenie w tym punkcie musi być równe zero, dlatego też pierwiastki funkcji $z_3(x = 5,50\text{ m})$ są poszukiwanymi wartościami obciążeń krytycznych. Przebieg funkcji $z_3(x = 5,50\text{ m})$ ma charakter zanikający z pulsacją, co powoduje, że przyrosty kolejnych sił krytycznych są coraz to większe, przy czym

przesunięcie wykresu ku górze sprawia, że dwie kolejne wartości obciążeń krytycznych są zbliżone. W tab. 1 zestawiono osiem pierwszych sił krytycznych analizowanego słupa, podając w kolumnie 3 wartości obliczone za pomocą programu SOFiSTiK, bazującego na metodzie elementów skończonych. Błąd względny pomiędzy uzyskanymi wynikami nie przekracza 0,5%. Tak dobrą zbieżność obu rozwiązań otrzymano dopiero przy podziale słupa na 52 płaskie, prętowe elementy skończone o trzech stopniach swobody w węźle. Czas obliczeń w obu modelach jest zbliżony i wynosi kilka sekund. Na rys. 5 pokazano trzy pierwsze formy utraty stateczności analizowanego słupa, o kształcie zbliżonym do postaci wyboczeń przegubowo-przegubowego pręta pryzmatycznego. Zwiększenie sztywności słupa w strefie centralnej, skutkuje znacznym (w przypadku pierwszej postaci ponad czterokrotnym) zwiększeniem wartości obciążenia krytycznego, w stosunku do pręta o stałym promieniu przekroju poprzecznego $r = 0,15$ m, stanowiącego rdzeń analizowanego słupa – patrz tab. 1.



Rys. 4. Wykres funkcji przedstawiającej punkty trafień ostatniej serii strzałów.



Rys. 5. Trzy pierwsze postaci wyboczenia i odpowiadające im siły krytyczne.

Tabela 1. Wartości sił krytycznych w [MN].

Nr	Rozpatrywany słupek		Rdzeń słupa
	$P_{kr}^{\text{Mathematica}}$	P_{kr}^{SOFiSTiK}	P_{kr}
1	3,498	3,510	0,869
2	7,675	7,686	3,477
3	24,901	24,994	7,823
4	32,944	33,043	13,907
5	65,972	66,222	21,729
6	79,099	79,360	31,290
7	125,504	125,981	42,589
8	144,663	145,181	55,627

5. Wnioski

Zaproponowana wielostrzałowa metoda analizy stateczności prętów niepryzmatycznych o skokowo zmiennej sztywności pozwala wyznaczać wartości obciążeń krytycznych dowolnie ukształtowanych słupów przegubowo-przegubowych, obciążonych siłą skupioną przyłożoną do górnego węzła. W rozważanym przykładzie przyjęto, że cały słupek wykonany jest z tego samego materiału, lecz przedstawiona metoda umożliwia efektywne badanie znacznie bardziej złożonych przypadków, gdy nie tylko moment bezwładności, ale także moduł sprężystości zmienia się w sposób funkcyjny w obrębie poszczególnych segmentów. Z przeprowadzonych analiz numerycznych wynika, że uwzględnienie zmian sztywności na długości może w istotny sposób wpłynąć na wartość siły krytycznej, co w konsekwencji może zwiększyć nośność słupa [7]. Bardzo dobra zgodność otrzymanych wyników z wartościami uzyskanymi w programie SOFiSTiK potwierdza poprawność sformułowanego algorytmu. Zaletą metody wielostrzałowej, w stosunku do powszechnie stosowanej metody elementów skończonych, jest łatwość opisu zmian sztywności oraz uniknięcie konieczności gęstego podziału układu na elementy, niezbędnego w przypadku, gdy funkcja określająca przebieg zmian sztywności jest szybkozmienna. Możliwe jest również wykorzystanie metody strzałów do rozwiązywania zagadnień stateczności słupów o innych, niż przyjęto w przykładzie, warunkach podparcia, co pokazano w pracy [6].

Literatura

- [1] Pai P.F., Palazotto A.N. *Large-deformation analysis of flexible beams*. International Journal of Solids and Structures 33(9) (1996) 1335-1353.
- [2] Chen R.S. *Evaluation of natural vibration frequency of a compression bar with varying cross-section by using the shooting method*. Journal of Sound and Vibration 201(4) (1997) 520-527.
- [3] Li S.R., Zhou Y.H. *Shooting method for non-linear vibration and thermal buckling of heated orthotropic circular plates*. Journal of Sound and Vibration 248(2) (2001) 379-386.
- [4] Ribeiro P. *Non-linear forced vibrations of thin/thick beams and plates by the finite element and shooting methods*. Computers and Structures 82 (2004) 1413-1423.
- [5] Ibrahim S.M., Patel B.P., Nath Y. *Modified shooting approach to the non-linear periodic forced response of isotropic/composite curved beams*. International Journal of Non-Linear Mechanics 44 (2009) 1073-1084.

- [6] Glabisz W. *Mathematica w zagadnieniach mechaniki konstrukcji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [7] Hołubowski R., Glabisz W. *Analiza stateczności drewnianych niepryzmatycznych słupów o przekroju kołowym*. Inżynieria i Budownictwo 10 (2012) 549-551.
- [8] Życzkowski M. *Stateczność prętów i ustrojów prętowych*, w: *Mechanika techniczna t. 9. Wytrzymałość elementów konstrukcyjnych*. (red. Życzkowski M.) PWN, Warszawa 1988, s. 242-368.
- [9] Zwillinger D. *Handbook of Differential Equations*. Academic Press, 1997.
- [10] Stoer J., Bulirsch R. *Introduction to Numerical Analysis*. Springer-Verlag, New York 1993.
- [11] PN-EN 1995-1-1:2010 *Eurokod 5 – Projektowanie konstrukcji drewnianych – Część 1-1: Postanowienia ogólne – Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków*.
- [12] PN-EN 338:2011 *Drewno konstrukcyjne – Klasy wytrzymałości*.

Multiple shooting method in stability analysis of non-prismatic multi-segment columns

Ryszard Hołubowski¹, Andrzej Merena²

¹ *Institute of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Wrocław University of Technology, e-mail: ryszard.holubowski@pwr.wroc.pl*

² *AQ7 Design Office, e-mail: andrzej.merena@o2.pl*

Abstract: The application of multiple shooting method in stability analysis of non-prismatic multi-segment columns with pinned ends loaded with a concentrated force applied to the upper node has been presented. Numerical analyses were carried out for an exemplary three-segment column by solving the system of differential equations with variable coefficients and parameter. The results were compared with the solution obtained by using SOFiSTiK software based on the finite element method. The analyses show that considering the stiffness changes along the length can have a significant influence on the values of critical loads and thus change the resistance of the column. The advantage of the proposed method is its high efficiency and easy description of stiffness changes.

Keywords: stability analysis, non-prismatic multi-segment columns, shooting method.

Dobór zestawu maszyn do robót ziemnych w aspekcie minimalizacji emisyjności CO₂

Magdalena Rogalska

¹*Katedra Inżynierii Procesów Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: m.rogalska@o2.pl*

Streszczenie: Celem opracowania algorytmu obliczeń jest umożliwienie doboru zestawu maszyn do robót ziemnych w aspekcie minimalizacji emisyjności CO₂. W pracy prognozowano wydajność koparek oraz emisyjność CO₂ zestawów maszyn. Wykorzystano metody prognozowania regresji wielorakiej i sieci neuronowych. Przeprowadzono analizę autokorelacji i autokorelacji cząstkowej reszt oraz analizę wrażliwości. Obliczono błędy MAPE prognoz. Na podstawie otrzymanych modeli prognostycznych wykonano przykład obliczeniowy doboru maszyn w aspekcie emisyjności dwutlenku węgla.

Słowa kluczowe: zrównoważony rozwój, wydajność koparek, emisja CO₂, regresja wieloraka, sieci neuronowe.

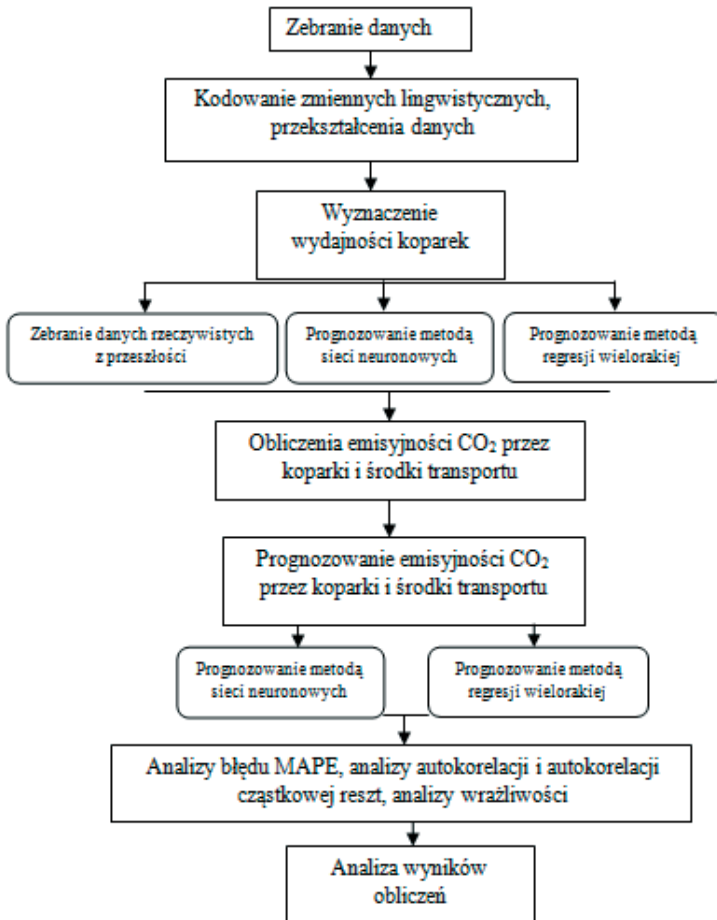
1. Wstęp

Zapotrzebowanie budynków i budowli na energię należy rozpatrywać w całym cyklu życia obiektu. Energia całkowita wznoszenia obiektów [5] składa się z energii materiałowej (niezbędnej do wyprodukowania i utylizacji materiałów budowlanych), energii procesowej (energii niezbędnej do realizacji procesów budowlanych) i energii transportowej. Należy dążyć do minimalizacji zużycia energii na każdym etapie życia budynku: podczas budowy, eksploatacji i utylizacji obiektu. Celem pracy jest opracowanie metodologii obliczeń i oceny emisyjności CO₂ podczas wykonywania procesów budowlanych. Analizę przeprowadzono na przykładzie wykonywania wykopów z wykorzystaniem koparek gąsiennicowych i samochodów samowyładowczych. Opisana metodologia umożliwi wybór zestawu maszyn do realizacji procesu w aspekcie minimalizacji emisji dwutlenku węgla. Zastosowano metody prognozowania: regresji wielorakiej [1,2,3] i sieci neuronowych. Obliczenia wykonano przy zastosowaniu programu STATISTICA. Metodologię obliczeń przedstawiono na rysunku 1 [4].

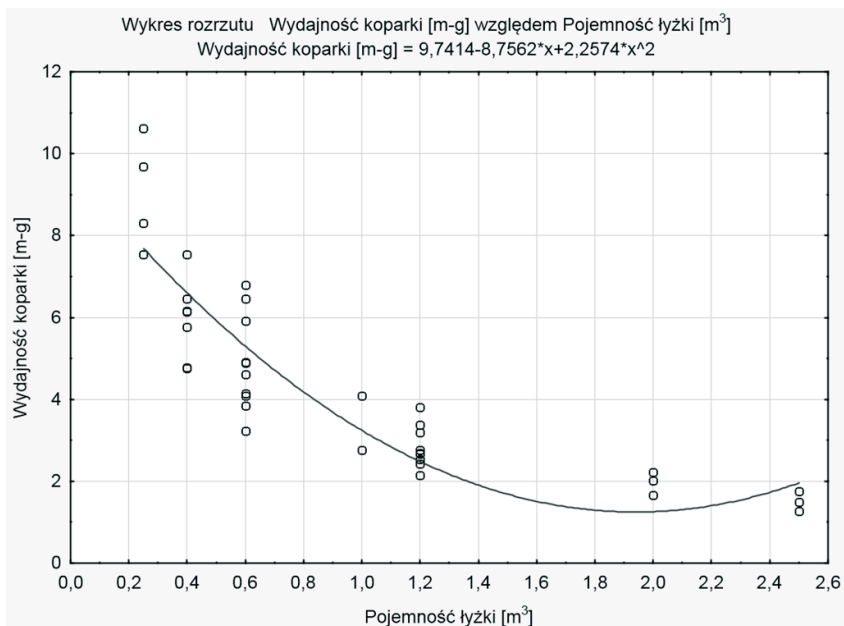
2. Dane

Dane dotyczące koparek pozyskano z Katalogu Norm Robocizny 2-01. Analizowano koparki gąsiennicowe przedsiębiorne, podsięberne, zgarniarkowe i chwytakowe. Zebrano dane mające hipotetyczny wpływ na wydajność koparek: pojemność łyżki, rodzaj narzędzia roboczego i kategorię gruntu. Wydajność koparek jest kluczową daną do obliczeń. Wiadomo, że zależy ona od umiejętności operatora, podobnie jak ilość zużytego paliwa. Ilość zużywanego paliwa oszacowano na podstawie danych z firmy Skanska S.A. Przy stosowaniu modeli prognostycznych

uzyskuje się wyniki najbardziej zbliżone do rzeczywistych wówczas gdy wykorzystuje się dane pomierzone w przeszłości. Często metodą wykorzystywaną do określania wydajności koparek jest interpolacja danych z KNR. Nie jest to metoda prawidłowa, ponieważ nie ma prostej zależności liniowej lub też wielomianowej pomiędzy pojemnością łyżki koparki a jej wydajnością rys.2. Na rysunku 2 widać wyraźnie bardzo duży rozrzut pomierzonych wartości. Zatem metoda interpolacji nie jest wystarczająco dokładna.



Rys. 1. Schemat blokowy obliczania emisyjności CO₂ przez koparki i środki transportu.



Rys. 2. Wykres rozrzutu wydajności koparek względem pojemności łyżki koparki.

Tabela 1. Zestawienie danych do arkusza kalkulacyjnego programu STATISTICA wraz z opisem.

Zmienna	Opis zmiennej	Uwagi
v1	Emisja CO ₂ koparka i samochód do 5t , transport urobku na odległość 1km	
v2	Emisja CO ₂ koparka i samochód do 10t, transport urobku na odległość 1km	
v3	Pojemność łyżki koparki [m ³]	
v4	Rodzaj koparki (dana lingwistyczna)	Nadane kody : przedsiębiorna 101, podsiębierna 102, zgarniakowa 103, chwytakowa 104
v5	Kategoria gruntu (dana lingwistyczna)	Nadane kody : kategoria pierwsza 101, druga 102, trzecia 103, czwarta 104 Współczynniki spalchnienia : 1,11 dla kategorii 101 i 102 oraz 1,25 dla kategorii 103 i 104
v6	Wydajność koparki [m-g]	Dane dla wykopu 100 m ³ kopanego urobku w stanie rodzimym , przy jednakowych danych dla dwóch kategorii , wydajność dla wyższej kategorii powiększono o 0,001[m-g] w celach obliczeniowych
v7	Samochód samowładowczy do 5t [m-g]	Dane do wykopu 100 m ³
v8	Samochód samowładowczy od 5 do 10t [m-g]	Dane do wykopu 100 m ³
v9	Zużycie paliwa koparki [dm ³]/m-g	Dane uzyskane z budowy autostrady A8
v10	Zużycie paliwa samochód samowładowczy do 5t [dm ³]/100km	Określano uwzględniając: współczynnik spalchnienia, ilość kursów potrzebnych do przewiezienia 100 m ³ urobku oraz gęstość gruntu odpowiednio przyjmując: 1,65 t/m ³ dla kategorii 101, 1,8 t/m ³ dla 102, 1,9 t/m ³ dla 103 i 2,05 t/m ³ dla 104

Zmienna	Opis zmiennej	Uwagi
v11	Zużycie paliwa samochód samowładowczy od 5 do 10t [dm ³]/100km	Jw.
v12	Emisja CO ₂ koparka [kg]	Ze spalania 1 dm ³ oleju napędowego powstaje 1,49 kg CO ₂
v13	Emisja CO ₂ samochód samowładowczy do 5t [kg]	jw.
v14	Emisja CO ₂ samochód samowładowczy od 5 do 10t [kg]	jw.
v15	Log(v3)	Logarytm naturalny wartości pojemności łyżki
v16	Log(v4)	Logarytm naturalny kodu koparki odpowiednio: 4,615121 dla 101, 4,62497281 dla 102, 4,63472899 dla 103 i 4,6443909 dla 104
v17	Log(v5)	Logarytm naturalny kodu kategorii gruntu, wartości jak wyżej
v18	v15 ²	
v19	MR1(v6; v3,v15,v16,v17)	Prognoza wydajności koparek określona metodą regresji wielorakiej. Oznaczenia: MR Multiple Regression model 1, zmienna zależna v6, zmienne niezależne – predyktory równania v3,v15,v16,v17,v18
v20	RMR1	Reszty modelu regresji wielorakiej MR1
v21	SN1(v6;v3,v4,v5,v15,v16,v17,v18) MLP 13-4-1	Prognoza wydajności koparek określona metodą sieci neuronowych, model 1, sieć typu perceptron wielowarstwowy o 13 warstwach wejściowych, 4 ukrytych i jednej wyjściowej.
v22	RSN1	Reszty modelu SN1
v23	MR2(v1; v15,v17,v18)	Prognoza emisji CO ₂ przez koparkę i samochód samowładowczy do 5t określona metodą regresji wielorakiej. Oznaczenia: MR Multiple Regression model 2, zmienna zależna v1, zmienne niezależne – predyktory równania v15,v17,v18
v24	RMR2	Reszty modelu regresji wielorakiej MR2
v25	SN2(v1; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 13-9-1	Prognoza emisji CO ₂ przez koparkę i samochód samowładowczy do 5t określona metodą sieci neuronowych, model 1, sieć typu perceptron wielowarstwowy o 13 warstwach wejściowych, 9 ukrytych i jednej wyjściowej.
v26	RSN2	Reszty modelu SN2
v23	MR3(v2; v15,v17,v18)	Prognoza emisji CO ₂ przez koparkę i samochód samowładowczy od 5t do 10t określona metodą regresji wielorakiej. Oznaczenia: MR Multiple Regression model 3, zmienna zależna v2, zmienne niezależne – predyktory równania v15,v17,v18
v24	RMR3	Reszty modelu regresji wielorakiej MR3
v25	SN3(v2; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 13-4-1	Prognoza emisji CO ₂ przez koparkę i samochód samowładowczy od 5t do 10t określona metodą sieci neuronowych, model 3, sieć typu perceptron wielowarstwowy o 13 warstwach wejściowych, 4 ukrytych i jednej wyjściowej.
v26	RSN3	Reszty modelu SN3

3. Prognozowanie wydajności koparek

W pracy zaproponowano prognozowanie wydajności koparek dwoma metodami: regresji wielorakiej i przy wykorzystaniu sieci neuronowych..

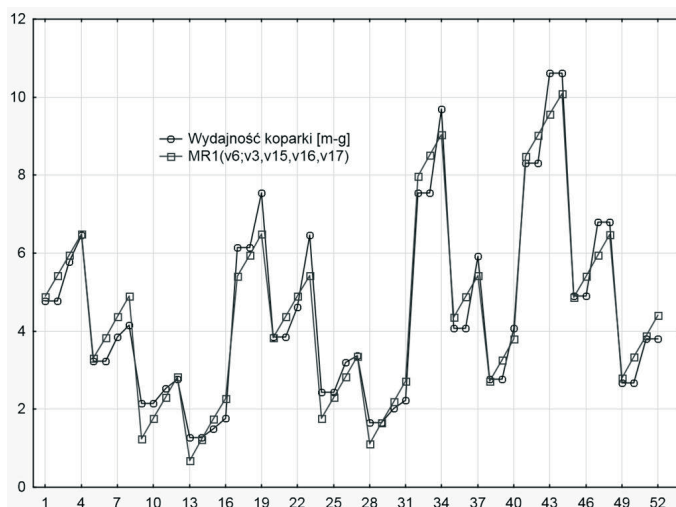
3.1. Metoda regresji wielorakiej MR1(v6;v3,v15,v16,v17)

Do obliczeń zastosowano metodę regresji wielorakiej wstecznej. Zmienną zależną jest v6 wydajność koparek. Jako zmienne niezależne przyjęto v3,v15,v16,v17,v18 (tabela 1). W toku obliczeń uzyskano 4 predyktory v3,v15,v16,v17. Otrzymano równanie regresyjne postaci (1), podsumowanie regresji zmiennej zależnej v6 zamieszczono w tabeli 2, wykres zależności zmiennej zależnej v6 i prognozy przedstawiono na rysunku 3. Celem sprawdzenia prawidłowości modelu wykonano wykresy autokorelacji i autokorelacji reszt, rysunek 4. Stwierdzono występowanie autokorelacji reszt przy 12 opóźnieniu szeregu, nie jest to zatem rozwiązanie idealne ale dopuszczalne. Można przyjąć, że szereg resztowy modelu jest białym szumem. Obliczono błąd MAPE %, wynosi on dla analizowanego modelu 11,57297 %. Wynik można uznać za dostatecznie dobry.

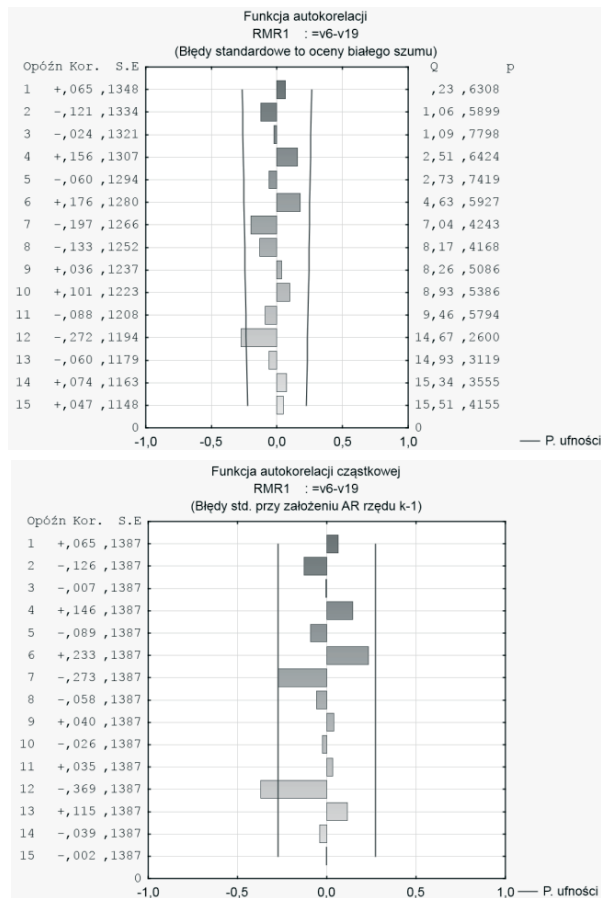
Tabela 2. Podsumowanie regresji modelu MR1(v6;v3,v15,v16,v17)

N=52		Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: Wydajność koparki [m-g] R= ,97565245 R ² = ,95189771 Skorygowane R ² = ,94780390 F(4,47)=232,52 p<0,0000 Błąd std. estymacji: ,55345				
	b*	Bł. std. z b*	b	Bł. std. z b	t(47)	p
W. wolny			-500,122	48,43319	-10,3260	0,000000
Pojemność łyżki [m3]	0,66869	0,097791	2,458	0,35939	6,8380	0,000000
Log(v3)	-1,46250	0,097466	-5,111	0,34061	-15,0052	0,000000
Log(v4)	0,24812	0,033944	53,561	7,32751	7,3096	0,000000
Log(v5)	0,23942	0,032064	54,636	7,31712	7,4669	0,000000

$$v6 = -500,122 + 2,458 * v3 - 5,111 * v15 + 53,561 * v16 + 54,636 * v17 \quad (1)$$



Rys. 3. Wykres zależności zmiennej zależnej v6 i prognozy otrzymanej z modelu MR1(v6;v3,v15,v16,v17).



Rys. 4. Funkcja autokorelacji i autokorelacji cząstkowej reszt modelu MR1(v6;v3,v15,v16,v17).

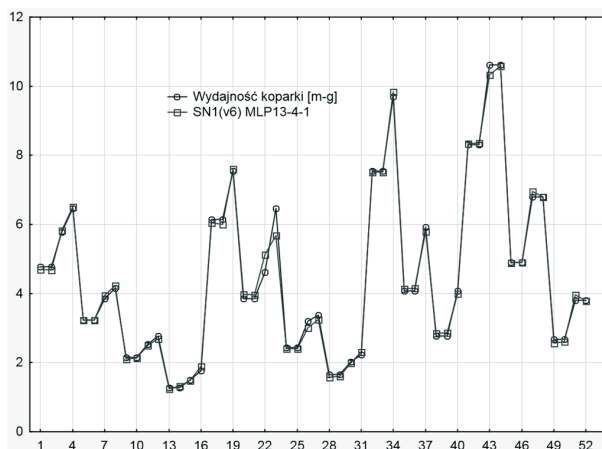
3.2. Metoda sieci neuronowych SN1 MLP 13-4-1

Do obliczeń zastosowano metodę sieci neuronowych. Zmienną zależną jest v6 wydajność koparek, tak jak poprzednio. Jako zmienne niezależne przyjęto v3,v4,v5,v15,v16,v17,v18 (w metodzie sieci neuronowych można wprowadzać bezpośrednio do obliczeń również dane lingwistyczne). Wprowadzając zmienne niezależne w liczbie 7, z których dwie są zmiennymi lingwistycznymi (po 4 rodzaje), otrzymujemy w omawianej metodzie $(7-2)+2*4=13$ zmiennych niezależnych. W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano model sieci neuronowej o parametrach zestawionych w tabeli 3.

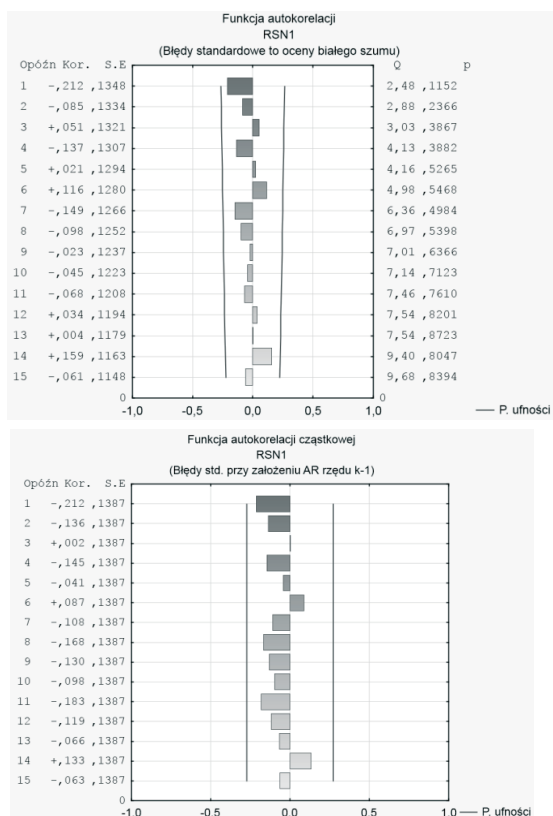
Tabela 3. Parametry sieci SN1(v6; v3,v4,v5,v15,v16,v17,v18) MLP 13-4-1.

Podsumowanie najlepszej sieci					
Id sieci	Nazwa sieci	Jakość (uczenie)	Jakość (testowanie)	Jakość (walidacja)	Błąd (uczenie)
1	MLP 13-4-1	0,999305	0,999387	0,983714	0,004506
Podsumowanie najlepszej sieci					
Id sieci	Nazwa sieci	Jakość (uczenie)	Jakość (testowanie)	Jakość (walidacja)	Błąd (uczenie)
1	MLP 13-4-1	0,999305	0,999387	0,983714	0,004506

Wykres zależności zmiennej zależnej v_6 i prognozy przedstawiono na rysunku 5. Celem sprawdzenia prawidłowości modelu wykonano wykresy autokorelacji i autokorelacji reszt, rysunek 6. Można przyjąć, że szereg resztowy modelu jest białym szumem. Obliczony błąd MAPE wynosi 2,414899 % - wynik bardzo dobry.



Rys. 5. Wykres zależności zmiennej zależnej v_6 i prognozy otrzymanej z modelu $SN1(v_6; v_3, v_4, v_5, v_{15}, v_{16}, v_{17}, v_{18})$ MLP 13-4-1



Rys. 6. Funkcja autokorelacji i autokorelacji cząstkowej reszt modelu $SN1(v_6; v_3, v_4, v_5, v_{15}, v_{16}, v_{17}, v_{18})$ MLP 13-4-1

Wniosek: Model prognozowania wydajności koparki SN1(v6; v3,v4,v5,v15, v16,v17,v18) MLP 13-4-1 może być przyjęty do dalszych obliczeń, spełnia on wszystkie wymagania. Model MR1(v6;v3,v15,v16,v17) jest dopuszczalny do stosowania lecz nie polecamy ze względu na dokładność.

4. Prognozowanie emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowyładowczego do 5t, transport urobku 100 m³ na odległość 1 km

W pracy zaproponowano prognozowanie emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowyładowczego do 5t (transport urobku 100 m³ na odległość 1 m), dwoma metodami : regresji wielorakiej i przy wykorzystaniu sieci neuronowych. Metoda regresji generuje wzór obliczeniowy łatwy do interpretacji i zastosowania. Druga z proponowanych metod jest bardzo dokładna, lecz wymaga arkusza kalkulacyjnego z danymi zamieszczonymi w tabeli 1.

4.1. Metoda regresji wielorakiej MR2(v1;v15,v17,v18)

Do obliczeń zastosowano metodę regresji wielorakiej wstecznej. Zmienną zależną jest v1 zgodnie z opisem tab.1. Jako zmienne niezależne przyjęto v3,v6,v15,v16,v17,v18. W toku obliczeń uzyskano 3 predyktory v15,v17,v18. Otrzymano równanie regresyjne postaci (2). Celem sprawdzenia prawidłowości modelu wykonano wykresy autokorelacji i autokorelacji reszt. Stwierdzono występowanie autokorelacji reszt przy 1 opóźnieniu szeregu, oraz występowanie autokorelacji cząstkowej reszt przy 1, 3 i 4 opóźnieniu. Szereg resztowy modelu nie jest białym szumem. Obliczono błąd MAPE %, wynosi on dla analizowanego modelu 0,970509 %.

$$v1 = -784,025 + 16,141 \cdot v15 - 179,703 \cdot v17 + 7,183 \cdot v18 \quad (2)$$

Wniosek: model MR2(v1;v15,v17,v18) nie może być przyjęty jako model regresji wielorakiej, ponieważ nie spełnia podstawowego warunku równania regresyjnego – szereg resztowy modelu nie jest białym szumem (występują autokorelacje i autokorelacje cząstkowe reszt). Pomimo bardzo wysokiej wartości skorygowanego współczynnika regresji $R^2 = 0,99396121$ oraz bardzo niskiego błędu MAPE = 0,970509 %, model nie może być stosowany. Zależności pomiędzy zmienną zależną a predyktorami nie są liniowe.

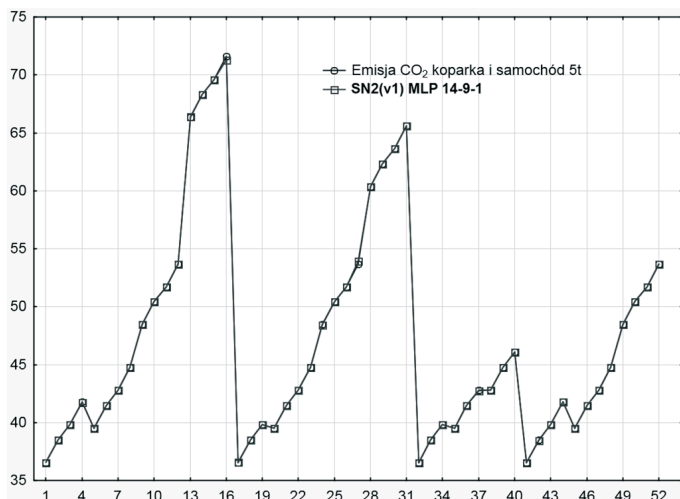
4.2. Metoda sieci neuronowych model SN2 MLP 14-9-1

Do obliczeń zastosowano metodę sieci neuronowych. Zmienną zależną jest v1 zgodnie z opisem w tabeli 1. Jako zmienne zależne przyjęto v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18. W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano model sieci neuronowej o parametrach zestawionych w tabeli 4.

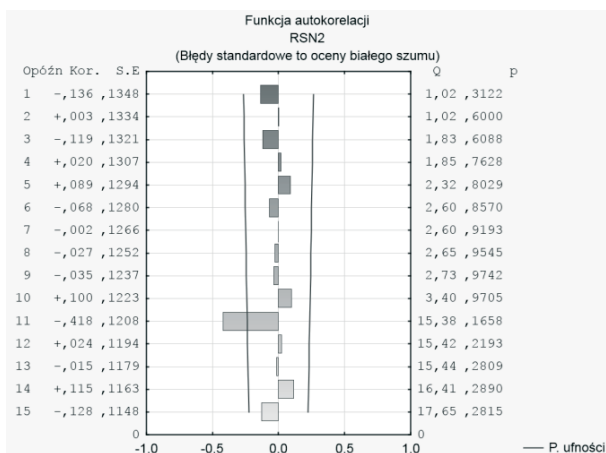
Tabela 4. Parametry sieci SN2(v1; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-9-1.

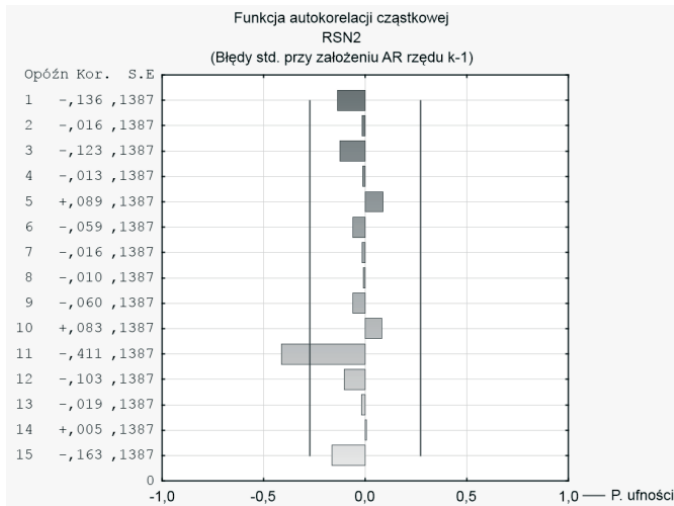
Podsumowanie najlepszej sieci					
Id sieci	Nazwa sieci	Jakość (uczenie)	Jakość (testowanie)	Jakość (walidacja)	Błąd (uczenie)
1	MLP 14-9-1	1,000000	0,999978	0,999935	0,000017
Podsumowanie najlepszej sieci					
Błąd (testowanie)	Błąd (walidacja)	Algorytm uczenia	Funkcja błędu	Aktywacja (ukryte)	Aktywacja (wyjściowe)
0,000548	0,009926	BFGS 170	SOS	Tanh	Liniowa

Wykres zależności zmiennej zależnej $v1$ i prognozy przedstawiono na rysunku 7. Celem sprawdzenia prawidłowości modelu wykonano wykresy autokorelacji i autokorelacji reszt, rysunek 8. Można przyjąć, że szereg resztowy modelu jest białym szumem (autokorelacje przy 11 opóźnieniu są statystycznie nieistotne). Obliczony błąd MAPE wynosi 0,039633 % - wynik znakomity.



Rys. 7. Wykres zależności zmiennej zależnej $v1$ i prognozy otrzymanej z modelu SN2(v1; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-9-1, bardzo dobre dopasowanie.





Rys. 8. Funkcja autokorelacji i autokorelacji cząstkowej reszt modelu SN2(v1; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-9-1.

Przeprowadzono analizę wrażliwości modelu, wyniki zamieszczono w tabeli 5. Największy wpływ w modelu na emisję CO₂ ma pojemność łyżki koparki. Wpływ wszystkich predyktorów jest istotny. Nie przewiduje się rezygnacji z któregoś z nich i opracowywania nowego modelu predykcyjnego.

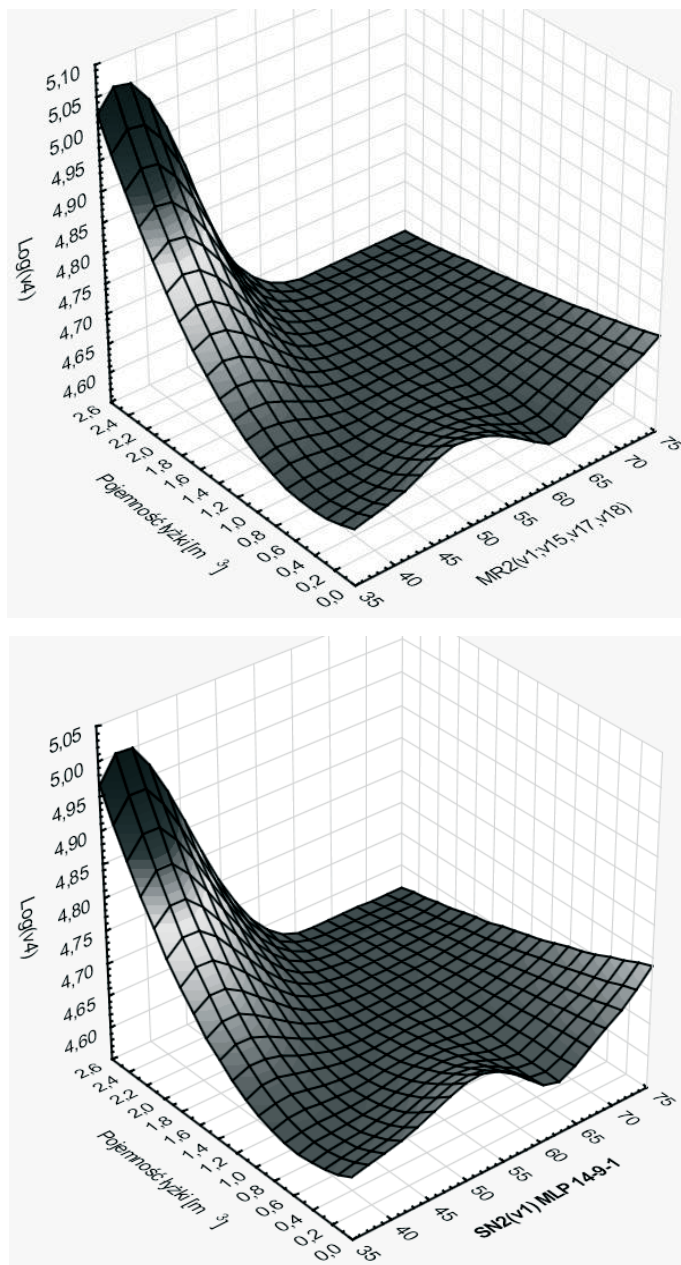
Tabela 5. Analiza wrażliwości modelu SN2.

Analiza wrażliwości Próby: Uczenie, Test, Walidacja MLP 14-9-1							
Pojemność łyżki [m ³]	Rodzaj koparki	Kategoria gruntu	Log(v3)	Log(v3) ²	Log(v4)	Log(v5)	Wydajność koparki
13265,04	3103,926	2822,291	2249,36	571,1774	444,176	59,2803	47,73744

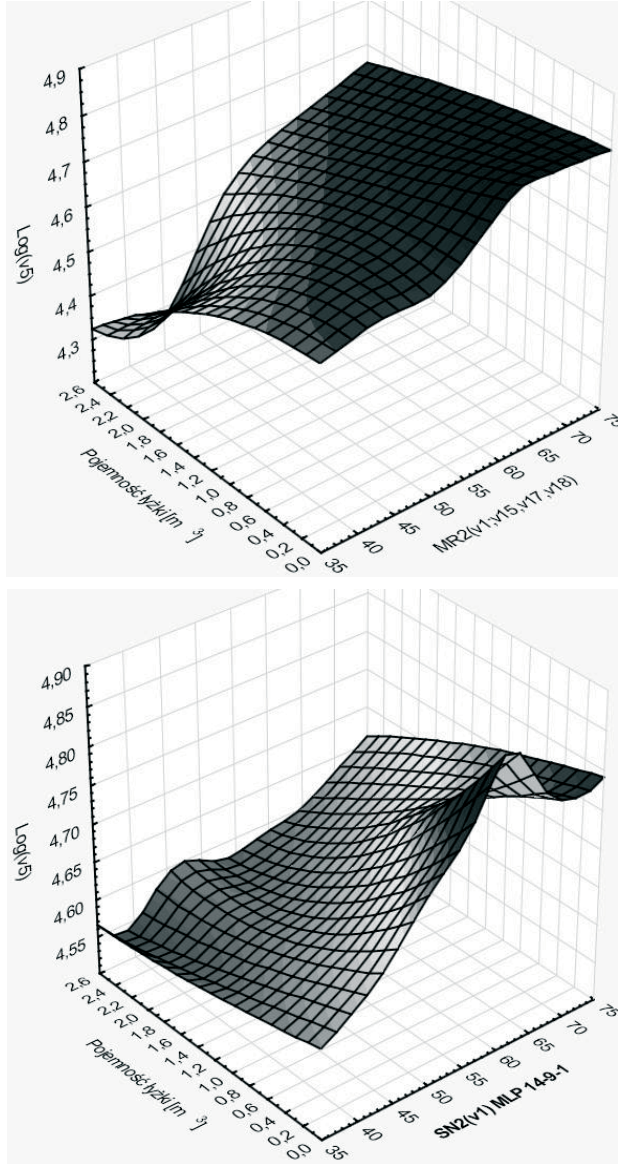
4.3. Analiza wyników prognozowania emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowładowczego do 5t, transport urobku 100 m³ na odległość 1 km metodami regresji wielorakiej i sieci neuronowych

Istnieje możliwość prognozowania emisji CO₂ powstającego w wyniku pracy koparek i samochodów wyładowczych metodą sieci neuronowych. Pomimo pozornie bardzo dobrych wyników prognozy otrzymanej metodą regresji wielorakiej, metoda ta nie może być stosowana. Celem zobrazowania wyników obu metod wykonano wykresy trójwymiarowe (rysunek 9) zależności pojemności łyżek koparek, logarytmu naturalnego kodu koparek oraz prognoz metodą regresji wielorakiej MR2(v1;v15,v17,v18) i sieci neuronowej SN2(v1; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-9-1. Wykresy wykonane metodą wygładzania najmniejszych kwadratów ważonych odległościami. Jak widać na wykresach modelowane powierzchnie są bardzo podobne. Model regresji wielorakiej w tym przypadku jest zgodny z modelem sieci neuronowych. Sytuacja się diametralnie zmienia gdy porównywane są wykresy trójwymiarowe zależności pojemności łyżek koparek, logarytmu naturalnego kodu kategorii gruntu oraz prognoz metodą regresji wielorakiej MR2(v1;v15,v17,v18) i sieci neuronowej SN2(v1; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-9-1 (rysu-

nek 10). Model regresji wielorakiej w sposób istotny niweluje minima i maksima lokalne. Właśnie z tego powodu wykresy autokorelacji i autokorelacji cząstkowej były nieprawidłowe, pomimo doskonałego skorygowanego współczynnika regresji równego 0,99396121 oraz bardzo niskiego błędu MAPE = 0,970509 %.



Rys. 9. Wykresy trójwymiarowe zależności pojemności łyżek koparek, logarytmu naturalnego kodu koparek oraz prognoz metodą regresji wielorakiej MR2(v1;v15,v17,v18) i sieci neurokowej SN2(v1; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-9-1, wykresy wykonane metodą wygładzania najmniejszych kwadratów ważonych odległościami.



Rys. 10. Wykresy trójwymiarowe zależności pojemności łyżek koparek, logarytmu naturalnego kodu kategorii gruntu oraz prognoz metodą regresji wielorakiej MR2(v1;v15,v17,v18) i sieci neuronowej SN2(v1; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-9-1, wykresy wykonane metodą wygładzania najmniejszych kwadratów ważonych odległościami.

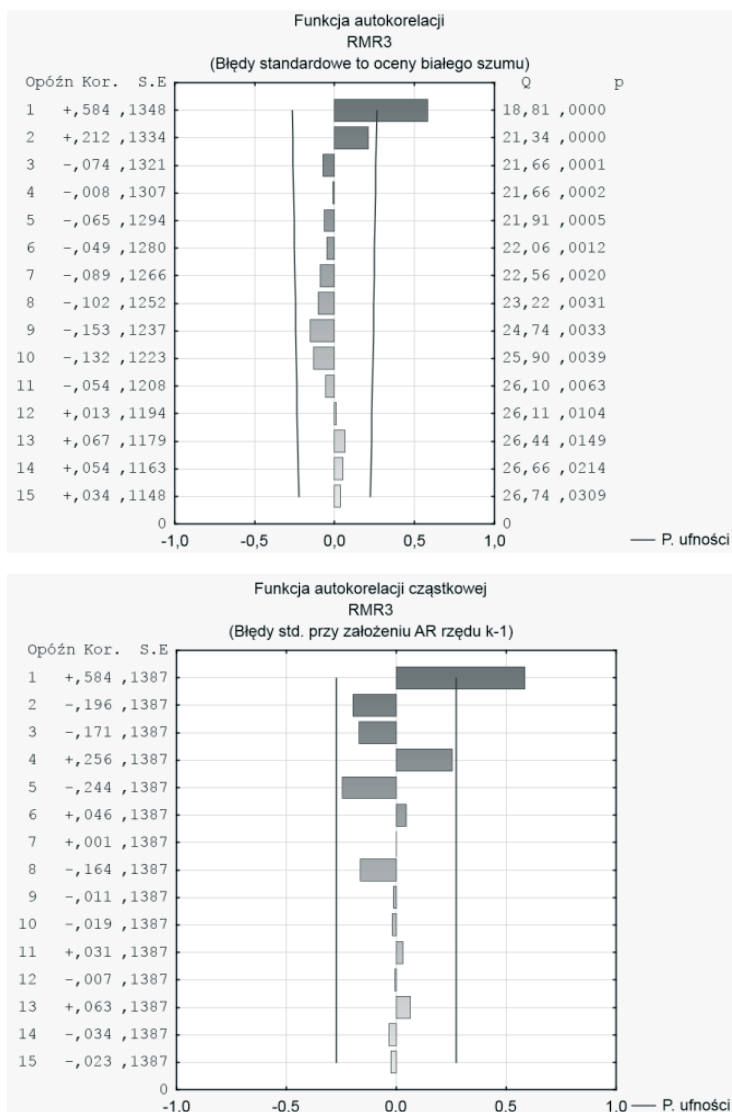
5. Prognozowanie emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowyładowczego do 10t, transport urobku 100 m³ na odległość 1 km

Zaproponowano prognozowanie emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowyładowczego do 10t (transport urobku 100 m³ na odległość 1km), dwoma metodami: regresji wielorakiej i przy wykorzystaniu sieci neuronowych.

5.1. Metoda regresji wielorakiej MR3(v2;v15,v17,v18)

Do obliczeń zastosowano metodę regresji wielorakiej wstecznej. Zmienną zależną jest v2 zgodnie z opisem tabeli 1. Jako zmienne niezależne przyjęto v3,v6,v15,v16,v17,v18. W toku obliczeń uzyskano 3 predyktory v15,v17,v18. Otrzymano równanie regresyjne postaci (3), Celem sprawdzenia prawidłowości modelu wykonano wykresy autokorelacji i autokorelacji reszt, rysunek 11. Stwierdzono występowanie autokorelacji reszt i autokorelacji reszt przy pierwszym opóźnieniu szeregu. Szereg resztowy modelu nie jest białym szumem. Obliczono błąd MAPE %, wynosi on dla analizowanego modelu 1,061148 %.

$$v2 = -590,659 + 16,149 \cdot v15 - 137,252 \cdot v17 + 7,184 \cdot v18 \quad (3)$$



Rys. 11. Funkcja autokorelacji i autokorelacji cząstkowej reszt modelu MR3(v2;v15,v17,v18).

Wniosek: Model MR3(v2;v15,v17,v18) nie może być przyjęty jako model regresji wielorakiej, ponieważ nie spełnia podstawowego warunku równania regresyjnego – szereg resztowy modelu nie jest białym szumem (występują autokorelacje i autokorelacje częściowe reszt). Pomimo bardzo wysokiej wartości skorygowanego współczynnika regresji $R^2 = 0,99367929$ oraz bardzo niskiego błęd MAPE = 1,061148 %, model nie może być stosowany. Zależności pomiędzy zmienną zależną a predyktorami nie są liniowe.

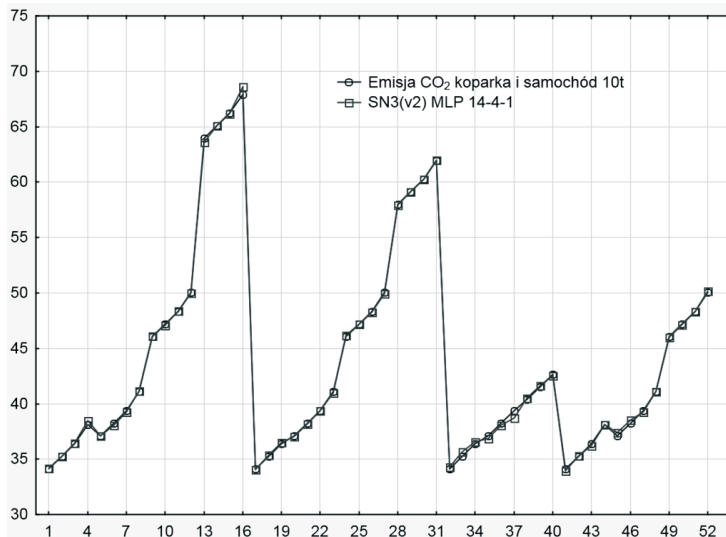
5.2. Metoda sieci neuronowych model SN3 MLP 14-4-1

Do obliczeń zastosowano metodę sieci neuronowych. Zmienną zależną jest v2 zgodnie z opisem w tabeli 1. Jako zmienne zależne przyjęto v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18. W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano model sieci neuronowej o parametrach zestawionych w tabeli 6.

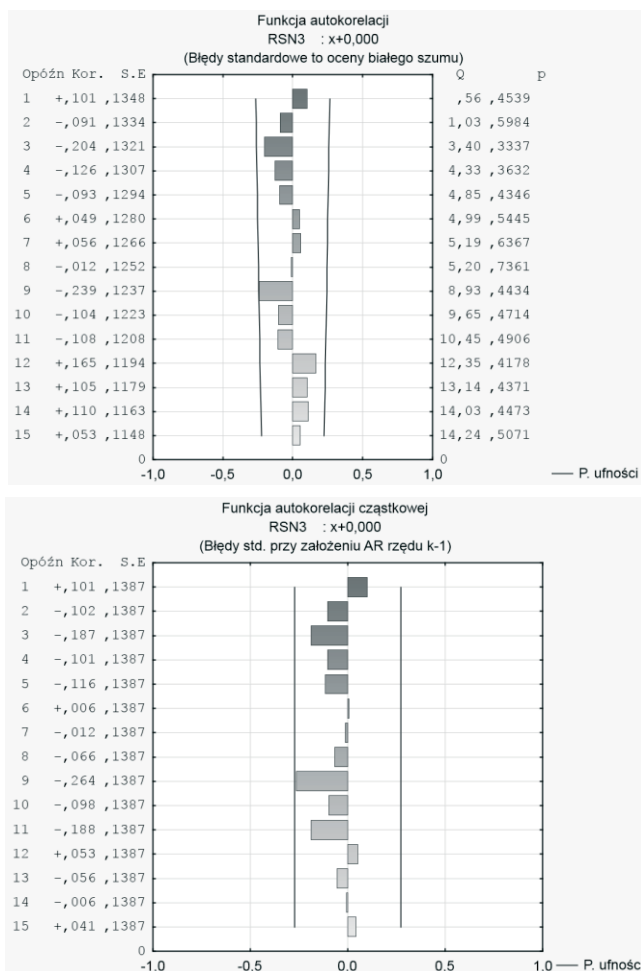
Tabela 6. Parametry sieci SN3(v2; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-4-1

Podsumowanie najlepszej sieci					
Id sieci	Nazwa sieci	Jakość (uczenie)	Jakość (testowanie)	Jakość (walidacja)	Błąd (uczenie)
1	MLP 14-4-1	0,999913	0,999887	0,999312	0,007195
Podsumowanie najlepszej sieci					
Błąd (testowanie)	Błąd (walidacja)	Algorytm uczenia	Funkcja błędu	Aktywacja (ukryte)	Aktywacja (wyjściowe)
0,006265	0,103071	BFGS 124	SOS	Wykładnicza	Liniowa

Wykres zależności zmiennej zależnej v2 i prognozy przedstawiono na rysunku 12. Celem sprawdzenia prawidłowości modelu wykonano wykresy autokorelacji i autokorelacji reszt, rysunek 13. Można przyjąć, że szereg resztowy modelu jest białym szumem. Obliczony błąd MAPE wynosi 0,320443 % - wynik znakomity.



Rys. 12. Wykres zależności zmiennej zależnej v2 i prognozy otrzymanej z modelu. SN3(v2; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-4-1, bardzo dobre dopasowanie.



Rys. 13. Funkcja autokorelacji i autokorelacji cząstkowej reszt modelu SN3(v2; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-4-1

Przeprowadzono analizę wrażliwości modelu, wyniki zamieszczono w tabeli 7. Największy wpływ w modelu na emisję CO₂ ma pojemność łyżki koparki (zmienna w postaci logarytmu naturalnego z nadanego kodu). Wpływ wszystkich predyktorów jest istotny. Nie przewiduje się rezygnacji z któregoś z nich i opracowywania nowego modelu predykcyjnego.

Tabela 7. Analiza wrażliwości modelu SN3

Analiza wrażliwości Próby: Uczenie, Test, Walidacja MLP 14-4-1							
Log(v3)	Kategoria gruntu	Pojemność łyżki [m ³]	Rodzaj koparki	Log(v3)^2	Wydajność koparki	Log(v5)	Log(v4)
3819,808	243,7286	146,3180	137,655	135,5025	121,314	53,7949	20,07061

Wniosek: Model prognozowania SN3(v2;v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-4-1 emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowładowczego do 10t (transport urobku 100 m³ na odległość 1km) może być przyjęty do dalszych obliczeń, spełnia on wszystkie wymagania.

6. Przykład obliczeniowy

Wykop, wielkości 5000 m³, należy wykonać w gruncie kategorii trzeciej. Należy ustalić, która z wytypowanych koparek A czy B, będzie powodowała mniejszą emisję CO₂ i przy jakiej pojemności skrzyni samochodu samowładawczego emisja dwutlenku węgla będzie mniejsza. Transport urobku przewidziano na odległość 1 km. Dane koparek podano poniżej:

Koparka A – Komatsu HB215 LC Hybrid, pojemność łyżki 1,36 m³, podsiębierna.

Koparka B – Komatsu PC 210 LC/NLC-8, pojemność łyżki 1,68 m³, przedsiębiorna.

Rozwiązanie:

Wyznaczenie wydajności koparek A i B przy wykorzystaniu modelu prognostycznego sieci neuronowych SN1(v6; v3,v4,v5,v15,v16,v17,v18) MLP 13-4-1.

Tabela 8. Wyznaczenie wydajności koparek A i B – sieć neuronowa.

Nazwa koparki	Wydajność koparki [m-g]	Pojemność łyżki [m ³]	Log(v3)	Log(v4)	Log(v5)	Log(v3) ²
Komatsu HB215 LC Hybrid	2,770706	1,360000	0,30748	4,62500	4,63500	0,094544
Komatsu PC 210 LC/NLC-8	2,114217	1,680000	0,51879	4,61500	4,63500	0,269143

Nazwa koparki	Kategoria gruntu	Rodzaj łyżki koparki
Komatsu HB215 LC Hybrid	trzecia	podsiębierna
Komatsu PC 210 LC/NLC-8	trzecia	przedsiębierna

Wyznaczenie emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowładawczego do 5t, transport urobku 100 m³ na odległość 1 km przy wykorzystaniu modelu prognostycznego sieci neuronowych SN2(v1; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-9-1

Tabela 9. Wyznaczenie emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowładawczego do 5t.

Nazwa koparki	Emisja CO ₂ koparka i samochód 5t [kg]	Pojemność łyżki [m ³]	Wydajność koparki [m-g]	Log(v3)	Log(v4)
Komatsu HB215 LC Hybrid	54,21870	1,360000	2,770706	0,30748	4,62500
Komatsu PC 210 LC/NLC-8	58,64021	1,680000	2,114217	0,51879	4,61500

Nazwa koparki	Log(v5)	Log(v3) ²	Rodzaj koparki	Kategoria gruntu
Komatsu HB215 LC Hybrid	4,635000	0,094544	podsiębierna	trzecia
Komatsu PC 210 LC/NLC-8	4,635000	0,269143	przedsiębierna	trzecia

Wyznaczenie emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowładawczego do 10t, transport urobku 100 m³ na odległość 1 km przy wykorzystaniu modelu prognostycznego sieci neuronowych SN3(v2; v3,v4,v5,v6,v15,v16,v17,v18) MLP 14-4-1

Tabela 10. Wyznaczenie emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowyładowczego do 10t.

Nazwa koparki	Emisja CO ₂ koparka i samochód 10t [kg]	Pojemność łyżki [m ³]	Wydajność koparki [m-g]	Log(v3)	Log(v4)
Komatsu HB215 LC Hybrid	50,91911	1,360000	2,770706	0,30748	4,625000
Komatsu PC 210 LC/NLC-8	53,75219	1,680000	2,114217	0,51879	4,625000

Nazwa koparki	Log(v5)	Log(v3)^2	Rodzaj koparki	Kategoria gruntu
Komatsu HB215 LC Hybrid	4,635000	0,094544	podsiębierna	trzecia
Komatsu PC 210 LC/NLC-8	4,635000	0,269143	przedsiębierna	trzecia

Wyznaczenie emisji CO₂ podczas pracy koparki i samochodu samowyładowczego – wykop 1450 m³.

Tabela 11. Wyznaczenie emisji CO₂ podczas pracy zespołu maszyn.

Koparka	Samochód samowyładowczy	Emisja CO ₂ [kg] 100 m ³	Emisja CO ₂ [kg] 5000 m ³	Ranking
Komatsu HB215 LC Hybrid	do 5t	54,21870	2710,935	3
	od 5t do 10t	50,91911	2545,955	1
Komatsu PC 210 LC/NLC-8	do 5t	58,64021	2932,011	4
	od 5t do 10t	53,75219	2687,610	2

Odpowiedź: Najmniejszą emisyjność CO₂ (w określonych zadaniem warunkach) wykazuje zestaw maszyn koparka Komatsu HB215 LC Hybrid i samochód samowyładowczy o pojemności skrzyni od 5 do 10 t.

7. Podsumowanie

Istnieje możliwość prognozowania emisji dwutlenku węgla zestawu maszyn do robót ziemnych przy zastosowaniu metody sieci neuronowych. Na podstawie prognozy w sposób analityczny można dobrać odpowiedni zespół maszyn tak by spełniał kryteria zrównoważonego rozwoju. Z przeprowadzonych analiz wynika, że kryterium minimalizacji emisji dwutlenku węgla jest wprost proporcjonalne do pojemności łyżki koparki i ładowności środka transportowego. Zatem im koparka ma większą pojemność łyżki a samochód samowyładowczy większą nośność, tym z punktu widzenia minimalizacji CO₂, rozwiązanie jest lepsze. Nie zaleca się określania wydajności koparek poprzez liniową interpolację.

Literatura

- [1] Cieślak M. *Prognozowanie gospodarcze : metody i zastosowanie*. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN, 2001.
- [2] Kot S., Jakubowski J., Sokołowski A. *Statystyka*. Difin, Warszawa 2007.
- [3] Martyniak Z. *Wstęp do inwentyki*. Wydawnictwo Uczelniane, Kraków, 1997 s.32.

- [4] Rogalska M., Hejducki Z. *Prognozowanie emisyjności CO₂ koparek gąsiennicowych i samochodów samowładawczych metodami regresji wielorakiej i sieci neuronowych*. *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* 13 (2012) 293-298.
- [5] Rogalska M., Hejducki Z. *Analiza doboru materiałów budowlanych w aspekcie zrównoważonego rozwoju*. *Przegląd Budowlany* 2/2007

Selection of a set of earthmoving equipment in the aspect minimizing the emission of CO₂

Magdalena Rogalska

*Department of Production Engineering and Construction Management,
Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology ,
e-mail: m.rogalska@o2.pl*

Abstract: The aim of the calculation is to allow the selection of a set of earthmoving machinery in terms of minimizing the emission of CO₂. The capacity of excavators and CO₂ emission of set of machines was predicted. The forecasting methods: multiple regression and neural networks were used. The analysis of autocorrelation and partial autocorrelation residuals and sensitivity analysis were performed. The MAPE errors of forecasts were calculated. The calculation example in terms of selection of machines emission of carbon dioxide on the basis of forecasting models was performed.

Keywords: sustainable development, the performance of excavators, CO₂ emissions, multiple regression, neural networks.

Wpływ długości sesji pomiarowej na dokładność wyznaczania pozycji w pomiarach statycznych GPS

Łukasz Borowski

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

Streszczenie: W publikacji zaprezentowano wyniki badań wpływu długości sesji pomiarowej na dokładność wyznaczania współrzędnych w pomiarach statycznych GPS. Przebadano sesję 1, 2, 4 i 8 godziną dla wektorów 18,5 i 26 km. Do analiz wykorzystano obserwację satelitarne gromadzone przez system ASG-EUPOS.

Słowa kluczowe: geodezja satelitarna, pomiary GPS, pomiary statyczne, ASG-EUPOS.

1. Wprowadzenie

Jedną z satelitarnych metod wyznaczania pozycji są pomiary statyczne, nawiązujące do osnowy geodezyjnej. Są one wykorzystywane m.in. do zakładania różnych typów osnów geodezyjnych lub monitoringu obiektów inżynierskich (mosty, wiadukty, zapory). Wykorzystywane są także do wyznaczania wartości undulacji, czyli odstępu quasi-geoidy od elipsoidy.

W tej metodzie pozycja punktu jest wyznaczana w trakcie synchronicznych pomiarów. Wymaga to zastosowania co najmniej dwóch odbiorników GPS jednocześnie. Jeden z nich znajduje się na wyznaczanym punkcie. Drugi natomiast znajduje się na punkcie osnowy geodezyjnej. Odbiornik na punkcie osnowy służy do obliczenia różnicy pomiędzy pozycją wyznaczoną w trakcie pomiaru, a pobraną z katalogu osnów geodezyjnych. Różnicę tą wykorzystujemy się do poprawienia pozycji odbiornika na wyznaczanym punkcie. Takie rozwiązanie jest konieczne, gdyż w opisywanych pomiarach statycznych wyznaczanie pozycji jest wykonywane z dokładnością do kilkudziesięciu centymetrów. Natomiast znacznie bardziej dokładnie można określić współrzędne wektora między dwoma odbiornikami.

Ostateczna dokładność współrzędnych wyznaczanego punktu jest zależna od wielu czynników, z których największy wpływ ma długość sesji pomiarowej. Ten czynnik był przedmiotem eksperymentu pomiarowego, zaprezentowanego w niniejszej publikacji.

2. Ustalenie długości sesji pomiarowej

Do celów naukowych związanych np. badaniami z zakresu geodezji wyższej stosowane są najczęściej 24 godzinne sesje obserwacyjne. Zapewniają one równomierny rozkład satelitów, dzięki czemu możliwa jest minimalizacja błędów systematycznego powodowanego określonym układem satelitów. Dodatkowo pomiar dobowy umożliwia zastosowanie metody absolutnej PPP (*Precise Point Positioning*),

służącej do wyznaczenia pozycji z wysoką dokładnością. Kilkukrotne sesje dobowe są wykorzystywane także do zakładania podstawowej osnowy bazowej zakładania podstawowej osnowy bazowej np. sieci POLREF czy EUVN. Osnowa ta jest dowiązywana do osnowy ASG-EUPOS za pomocą 20-50 kilometrowych wektorów.

Zakładanie osnów szczegółowych jest wykonywane ze znacznie krótszym okresem obserwacyjnym. W przypadku pomiarów statycznych są to najczęściej 1 lub 2 godzinne sesje na każdym punkcie. Jest to związane z redukcją kosztów jej zakładania, przy zachowaniu odpowiednich wymagań dokładnościowych. Osnowa tego typu jest nawiązywana do osnowy podstawowej wektorami o długościach nawet do 40 km.

Pomiar służące np. do lokalnego modelowania quasi-geoidy, kontrolnego badania osiadania obiektów inżynierskich czy badania rozkładu sił i naprężeń w obiektach inżynierskich są wykonywane z zastosowaniem kilkugodzinnej sesji obserwacyjnej. Jako przykład można podać pracę na modelu quasi-geoidy, w której zastosowano pomiary statyczne GPS na punktach trawersu przebiegającego przez cały kraj. W trawersie tylko na co czwartym punkcie wykonywano obserwację 24 godzinne, natomiast większość punktów wyznaczono 4 godzinną sesją pomiarową [1]. Długości mierzonych wektorów trawersu nie przekraczały 25 km.

3. Główne założenia eksperymentu

W związku z powyższym w eksperymencie pomiarowym pierwotnie rozważano przebadanie sesji 1, 2 i 4 godzinnych. Postanowiono także włączyć do opracowania sesję 8 godzinną, jako alternatywę dla sesji 12 godzinnych. Sesje 12 godzinne mają niewątpliwą zaletę - umożliwiają wykonanie pomiarów w okresie pełnego obiegu satelitów GPS wokół ziemi. Jednocześnie korzyści z tak długiego pomiaru są wyraźnie widoczne w trakcie jakościowej analizy obserwacji wykonywanej za pomocą wysoce specjalistycznego oprogramowania np. *Bernese*. Sesje krótsze, kilkugodzinne, mogą być z powodzeniem opracowywane za pomocą oprogramowania bardziej powszechnego, co oznacza mniejszy koszt wykonanych prac. Dodatkowo pomiary nieprzekraczające 8 godzin nie wymagają przekraczania dziennego czasu pracy, co także nie wymaga dodatkowych nakładów finansowych.

Drugim przeanalizowanym czynnikiem mającym wpływ na dokładność określania pozycji jest długość wektora nawiązania. W eksperymencie planowano przebadać krótkie wektory do ok. 20 km. Znaczna ilość pomiarów terenowych jest nawiązywana do najbliższej stacji ASG-EUPOS wektorem nieprzekraczającym tej wartości. Dodatkowo dla tak krótkiego wektora oraz krótkich sesji pomiarowych, wystarczy jedna metoda wyznaczania nieoznaczoności. Minimalny jest także niekorzystny wpływ jonosfery, a obliczenia można zrealizować za pomocą powszechnie stosowanego oprogramowania inżynierskiego, bez konieczności wstępnej walidacji danych (*preprocessingu*). Po analizie podobnych opracowań opisanych w literaturze postanowiono długość wektora wydłużyć do ok. 27 km. Na tą decyzję wpłynął eksperyment przeprowadzony na terenach USA, w którym rozpatrywano wektory o długościach od 27 do 300 km [2]. Dzięki temu zaistniała możliwość chociaż częściowego porównania uzyskanych wyników.

Ostatecznie pytanie badawcze, dotyczące eksperymentu pomiarowego, można sformułować następująco:

Jaka jest dokładność wyznaczania współrzędnych elipsoidalnych w pomiarach GPS dla sesji 1, 2, 4 i 8 godzinnych dla wektorów nieprzekraczających 27km?

4. Dodatkowy cel eksperymentu

Obecne geodezyjne odbiorniki GPS umożliwiają wykonywanie obserwacji z częstotliwością nawet do 20 na sekundę. Standardem jest jednak wykorzystywanie interwału 1 sekundy oraz jego wielokrotności. Przykładowo sieć stacji EPN udostępnia obserwację satelitarne co 30 s, gdyż dla tej sieci podstawową długością sesji jest doba. Natomiast w polskiej sieci ASG-EUPOS obserwacje wykonywane i udostępniane są z interwałem 1s przez dwa tygodnie od dnia ich wykonania. Po tym terminie następuje zmniejszenie interwału do 5 s, co umożliwia redukcję objętości przechowywanych danych.

Część oprogramowania do *postprocessingu* wykorzystuje maksymalnie 3600 obserwacji z jednej sesji obserwacyjnej. W przypadku zaimportowania pliku z większą ich liczbą następuje automatyczne rozrzedzenie danych, poprzez usunięcie np. co 2 obserwacji. Redukcja taka realizowana jest np. w dość powszechnie wykorzystywanym oprogramowaniu Geonet [3].

Dla sesji 4 i 8 godzinnej archiwum ASG-EUPOS zapewnia 80% obserwacji z maksymalnej ilości stosowanej w *postprocessingu* (interwał co 5 i 10 s, zamiast co 4 i 8 s). Zbadanie czy zredukowana liczba obserwacji ma istotny wpływ na dokładność wyznaczania pozycji w sesji 4 i 8 godzinnej jest celem dodatkowym eksperymentu pomiarowego. Jego realizacja umożliwi odpowiedź na następujące pytanie:

Czy wykorzystanie 2 880 obserwacji dla sesji 4 i 8 godzinnych wpływa na dokładność określenia współrzędnych elipsoidalnych?

5. Metodologia przeprowadzonych badań

Pomiary statyczne od 2008 r. w na terenie całego kraju można wykonywać w nawiązaniu do sieci stacji permanentnych ASG-EUPOS. Stacje te są wyposażone w odbiorniki GNSS (lub tylko GPS), które przez całą dobę gromadzą obserwacje satelitarne. Ze względu na zgromadzoną ilość danych, złożony proces ich przetworzenia uwzględniający wiele czynników oraz nieustanny monitoring systemu, sieć stacji ASG-EUPOS stanowi najdokładniejszą krajową osnowę geodezyjną w zakresie współrzędnych elipsoidalnych.

Zatem różnica pomiędzy wartością uzyskaną z pomiarów a zaczerpniętą z katalogu osnów można przyjąć za błąd rzeczywisty. Z tego powodu eksperyment ograniczono wyłącznie do stacji ASG-EUPOS. Ich pozycję katalogową w układzie ETRF2000 (epoka 2011) pobrano z publikacji internetowej serwisu [4].

Do eksperymentu wybrano dwie niezależne pary wektorów o długościach ok. 18,5 i 26 km. Dla każdego okresu pomiarowego pobrano 9 zestawów danych (prób). Dla sesji głównej – 8 godzinnej – każdy zestaw obserwacji rozpoczynał się o 8 a kończył o 16 godzinie czasu UTC. Dane dla krótszych sesji wybrano losowo z zestawów sesji głównej. Wpływ redukcji liczby obserwacji do 2880 na dokładność wyznaczania pozycji badano w podobny sposób, zmniejszając próbkę do 3 zestawów danych. Obliczenia wykonywano w programie Trimble Business Center 2.70 z wykorzystaniem orbit precyzyjnych.



Rys. 1. Plan rozmieszczenia stacji ASG-EUPOS wykorzystanych w eksperymencie.

Tabela 1. Wektory wybrane do eksperymentu.

Lp.	Wektor	Długość [km]
1	OLST-LAMA	17,6
2	WAT1-JOZ2	19,5
3	KATO-TAR1	25,4
4	WAT1-BOGI	26,2

6. Uzyskane dokładności położenia punktów

Podstawowym kryterium zastosowanym do oceny dokładności jest średni błąd każdej stacji reprezentowany przez odchylenie standardowe z wartości błędów rzeczywistych współrzędnych elipsoidalnych φ , λ , h punktów. Za błąd rzeczywisty uznano różnicę pomiędzy wartościami obliczanymi a pobranymi z katalogu współrzędnych osnowy ASG-EUPOS.

W tabeli 2 zaprezentowano uzyskane wyniki, średnie błędy, wraz z oceną ich powtarzalności, w postaci odchylenia standardowego. Odchylenie standardowe błędów średniego zostało wykorzystane do oceny powtarzalności uzyskanych dokładności dla każdej z 9 prób. Jej wysoka wartość zauważalna jest dla sesji 1 h. Na skutek losowania sesji 1 godzinnej z sesji 8 h do obliczeń przyjęte zostały także próby z okresów o niekorzystnym układzie stelliów (wysoki współczynnik PDOP), co powodują pojawienie się znacznych różnic pomiędzy poszczególnymi próbami. Zauważalne są także większe błędy wysokości dla stacji TAR1 w zakresie sesji od 2 do 8 godzin. Dla tej stacji winna być przeprowadzona oddzielna analiza z dłuższego okresu czasu.

Tabela 2. Średni błąd współrzędnych elipsoidalnych dla każdej stacji.

Długość sesji [h]	Stacja	Średni błąd [mm]			Odchylenie średniego błędu [mm]		
		φ	λ	h	φ	λ	h
1	LAMA	6.4	8.4	47.8	4.4	36.9	21.6
	JOZ2	5.9	14.3	49.7	4.3	1.2	9.7
	TAR1	7.0	40.3	37.7	4.1	3.4	15.3
	BOGI	6.3	2.1	39.0	3.4	12.9	17.6
2	LAMA	7.2	6.7	8.2	0.9	0.5	10.6
	JOZ2	3.4	2.3	12.4	2.0	1.5	4.8
	TAR1	2.3	1.1	19.4	4.0	1.8	3.3
	BOGI	3.7	2.3	8.3	2.3	1.5	7.9
4	LAMA	7.7	7.3	8.1	0.9	0.7	8.3
	JOZ2	4.6	2.8	10.7	1.1	0.7	4.2
	TAR1	3.4	1.2	16.5	2.6	1.0	4.8
	BOGI	2.4	1.6	7.4	1.9	2.0	3.3
8	LAMA	6.8	6.4	5.8	0.9	0.4	4.6
	JOZ2	4.2	2.9	8.2	0.9	0.8	4.1
	TAR1	3.6	1.1	13.1	0.8	0.7	3.4
	BOGI	2.1	1.9	6.7	1.5	2.0	4.3

Ostatecznie błędy obserwacji obliczono jako średnia ze wszystkich wektorów, przy założeniu równych wag (tabela 3). Wyniki te dobrze ilustrują wpływ długości sesji pomiarowej na uzyskane dokładności, zwłaszcza dotyczące wysokości. Przedstawione wyniki są podobne do uzyskanych w badaniach przeprowadzonych na obszarze USA, w zakresie sesji 4 i 8 godzinnej [2]. W tamtej pracy nie badano krótszych sesji.

Tabela 3. Średni błąd współrzędnych dla całego badanego zakresu danych.

Długość sesji [h]	Uśredniony błąd wszystkich stacji [mm]		
	φ	λ	h
1	6.4	16.3	43.5
2	4.1	3.1	12.1
4	4.5	3.2	10.7
8	4.2	3.1	8.4

Wpływ ograniczenia liczby obserwacji do 80% badano w inny sposób. Analizowano różnicę pomiędzy współrzędnymi określonymi ze zredukowanej ilości obserwacji, a wyznaczonym z pełnej sesji (3600). Nie dostrzeżono wpływu na szerokość (φ) i długość (λ) elipsoidalną. Natomiast w przypadku wysokości (h) zauważalne jest występowanie różnicy na poziomie 1 mm, a dla stacji TAR1 nawet do 4 mm.

7. Podsumowanie i wnioski

W pracy przebadano wpływ długości sesji pomiarowej na dokładność wyznaczenia pozycji w pomiarach statycznych GPS. Badanie przeprowadzono dla wektorów o długości ok. 18,5 i 26 km.

Wyniki wskazują na silną losowość pomiarów o długość jednej godziny, co przekłada się na ich relatywnie niską dokładność. Dokładność uzyskana w eksperymencie jest porównywalna do metody VRS RTK w systemie ASG-EUPOS [4]. Stoso-

wanie sesji 1 godzinnej powinno być poprzedzone wstępną analizą (planowaniem) pomiarów, w zakresie doboru odpowiedniego okna pomiarowego charakteryzującego się korzystnym układem satelitów.

Niezauważalna jest istotna różnica pomiędzy pomiarami 2, 4 i 8 godzinnymi. Jest to korzystny czynnik, potencjalnie obniżający koszty wykonywanych pomiarów. W opinii autora dokładność uzyskana dla sesji 2 h jest bardzo wysoka. Dla tej sesji powinny być wykonane dodatkowe badania.

Obliczone wartości dla stacji TAR1 odstają od innych stacji. Należałoby powtórzyć eksperyment, zwiększając liczbę stacji. Ilość wykorzystanych zbiorów danych – 9 niezależnych sesji pomiarowych – w świetle uzyskanych wyników wydaje się być wystarczająca.

Uzyskane dokładności autor uważa za bardzo wysokie, co jest spowodowane korzystną lokalizacją anten ASG-EUPOS. Umieszczenie ich na dachach budynków umożliwia maksymalny dostęp do sygnałów od satelitów. Pomiary statyczne wykonywane na powierzchni terenu, czy na obszarach zurbanizowanych, mogą charakteryzować się niższymi dokładnościami.

Nie zauważono istotnego wpływu redukcji obserwacji do 2880 w sesjach 4 i 8 godzinnych na dokładność pozycji punktu.

Literatura

- [1] Kryński J. *Utworzenie modelu „centymetrowej” geoidy na obszarze Polski w oparciu o dane geodezyjne, grawimetryczne, astronomiczne, geologiczne i satelitarne*. Raport końcowy z prac wykonanych w ramach projektu zamawianego PZB-KBN-081/T12/2002, Warszawa, 2006.
- [2] Eckl M.C., Snay R.A., Soler T., Cline M.W., Mader G.L. *Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration*. *Journal of Geodesy* 75(12) (2001) 633–40.
- [3] *Instrukcja programu Geonet*. <http://www.geonet.net.pl/> (15.11.2013).
- [4] <http://www.asgeupos.pl/> (15.11.2013).

Duration of static GPS measurements and its influence on the coordinates accuracy

Lukasz Borowski

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

Abstract: The author of the paper presents the results of the research concerning the influence of the duration of observation session on coordinates accuracy in static GPS measurements. The 1-, 2-, 4- and 8-hour measurements were made for 19 and 26 km vectors. Satellite observations gathered by ASG-EUPOS system were used to the analyses.

Keywords: satellite geodesy, GPS measurements, static, ASG-EUPOS.

Powłoki hydrofobowe na bazie SiO₂ wytwarzane metodą zol-żel

Katarzyna Porębska

*Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka,
e-mail: katka.porebska@gmail.com*

Streszczenie: W artykule przedstawiono sposób wytwarzania, właściwości i zastosowanie powłok hydrofobowych na bazie krzemionki. Warstwy te wytwarza się wykorzystując niereagujące z wodą silany. Co więcej powłoki te mogą zapewnić nie tylko dużą odporność na działanie cząsteczek wody, lecz także lepszą odporność na ścieranie i twardość oraz zachowują wysoki stopień przejrzystości. Do osadzenia tych powłok wykorzystuje się nieskomplikowane metody zol-żel. Są to metody nakładania na różne powierzchnie, bez konieczności stosowania specjalnych i wyszukanych rozwiązań technologicznych. Powłoki te nadają się jako przezroczyste i łatwe do utrzymania czystości powierzchnie dla wielu dziedzin zastosowań, w tym m. in. sporcie, motoryzacji, przemyśle budowlanym, optyce czy w naszych domach.

Słowa kluczowe: Powłoki krzemianowe, krzemionka, zol-żel, kąta zwilżania, hydrofobowość, zwilżalność.

1. Wprowadzenie

Modyfikacja powierzchni różnorodnymi metodami prowadzi do poprawy własności wyrobów oraz rozszerzenia ich funkcjonalności. Najczęstszym sposobem modyfikacji jest naniesienie na powierzchnię cienkich warstw o różnych składach i właściwościach. Mogą to być warstwy metaliczne lub z tlenków metali, a także powłoki amorficzne nieorganiczne lub modyfikowane związkami organicznymi [1]. Przykładem modyfikacji mogą być powłoki, które nadają powierzchni właściwości hydrofobowe. Powłoki hydrofobowe to powłoki odpychające cząsteczki wody. Powodują one, że woda bardzo łatwo spływa z powierzchni materiału nie pozostawiając śladów. Dzięki temu zanieczyszczenia wykazują mniejszą tendencję przylegania do powierzchni. Warstwa o właściwościach hydrofobowych powoduje, że woda nie tworzy warstwy ciągłej, lecz tworzy pojedyncze krople i jest łatwo usuwana z powierzchni [2]. Powłoki hydrofobowe mają bardzo dobre właściwości użytkowe i powodują, że struktura zewnętrzna materiału jest lepsza niż nieuszlachetnionego podłoża. Dodatkową zaletą tego typu powłok jest to, że ze względu na niewielką grubość warstwy i prostotę nakładania ich za pomocą metody zol-żel są one pod względem ekonomicznym bardzo korzystnym rozwiązaniem. Metoda zol-żel zawiera duży potencjał do wytwarzania nieorganicznych jak i organicznych hybrydowych powłok [3]. Poprzez zmianę składu chemicznego składników zolu możemy doprowadzić do tzw. multi-funkcjonalności np. uzyskać wysoką hydrofobowość przy dostatecznie wysokich parametrach wytrzymałościowych [3].

Ponadto powłoki hydrofobowe mogą hamować pewne interakcje drobnoustrojów z powierzchnią [4].

Wytwarzając powłoki hydrofobowe skupiamy się przede wszystkim na kwestii zwilżalności warstwy wierzchniej przyszłych materiałów aplikacyjnych wykorzystywanych w bardzo różnych gałęziach przemysłu m.in. w budownictwie, gdzie woda jest jednym z bardziej destruktywnych czynników wpływających na trwałość wszystkich powierzchni budowlanych. Powłoki hydrofobowe są szeroko stosowane na powierzchnie betonowe, z cegły, plastikowe czy na powierzchnie malowane w celu utworzenia powierzchni niezwilżalnej, aby uniemożliwić przenikanie wody oraz zwiększyć ochronę przed szkodami mrozowymi. Innym typowym zastosowaniem są okna z powłoką hydrofobową. Powierzchnia „powleczonej” szyby jest czysta, woda nie tworzy plam, lecz łatwe do usunięcia krople, brud i kurz znacznie wolniej się osadzają. Dzięki działaniu hydrofobowemu woda oraz cząsteczki substancji tłustych i oleistych, wapna, alg, jak również substancji powstających w wyniku negatywnych wpływów atmosferycznych – wykazują niewielką przyczepność z substratami i dają się łatwo usunąć z powłoki.

2. Metoda zol-żel

Metoda zol-żel stanowi sposób syntezy chemicznej, opartej na reakcjach chemicznych zachodzących w roztworach oraz na przemianach roztworu wyjściowego w zol, zolu w żel, a następnie żelu w ciało stałe, najczęściej o budowie amorficznej[5].

Z punktu widzenia technologii szkła największym zainteresowaniem cieszy się metoda alkoholowa, zastosowana do wytwarzania szkieł krzemianowych, modyfikowanych różnymi dodatkami, otrzymywanych zazwyczaj w postaci cienkich powłok amorficznych na różnych podłożach [1].

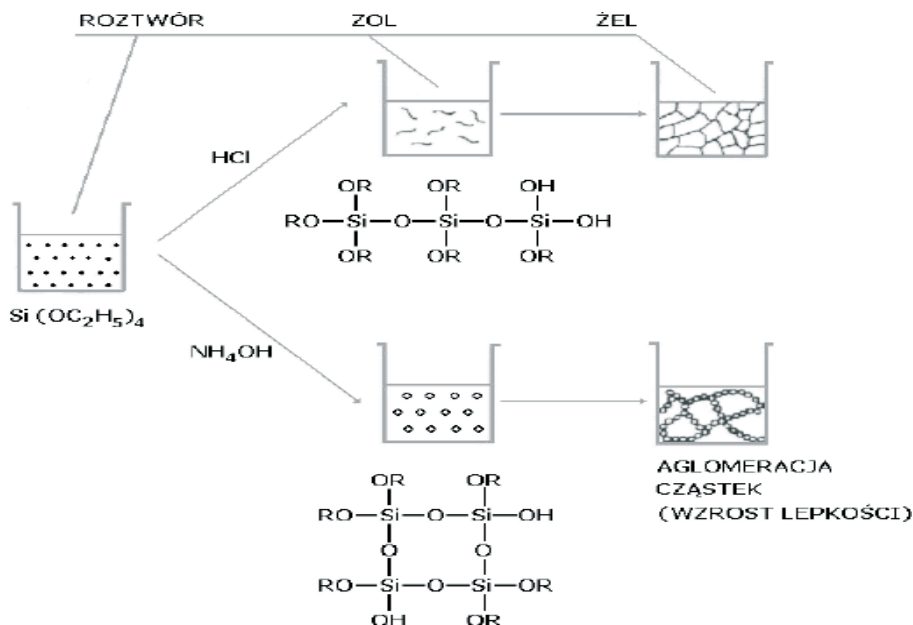
W alkoholowej metodzie zol-żel, jako materiały wyjściowe, stosuje się zazwyczaj alkoholany krzemu i innych pierwiastków. Nie ma w tym przypadku potrzeby wprowadzania do syntezy związków, spełniających rolę topników, środków klarujących, czy innych surowców pomocniczych [1].

Podstawowymi reakcjami, zachodzącymi podczas syntezy zol-żel są reakcje hydrolizy i jednoczesnej polikondensacji, prowadzącej do utworzenia sieci tlenkowej:

- hydroliza prekursora, najczęściej czteroetyloortokrzemian (TEOS), [6]
- kondensacja produktów hydrolizy prowadzącej do wytworzenia wiązań Si-O-Si. [6]

Warunkiem powodzenia syntezy jest bardzo dokładne wymieszanie wszystkich składników. Ze względu na brak mieszalności w układzie TEOS – woda, do przeprowadzenia hydrolizy konieczny jest dodatek rozpuszczalnika. Jest nim najczęściej alkohol etylowy. Proces hydrolizy przebiega stosunkowo szybko w obecności katalizatora. Katalizator może mieć charakter kwasowy (stosuje się kwasy organiczne i nieorganiczne) lub zasadowy (najczęściej zasada amonowa).

Reakcjom tym towarzyszy przemiana roztworu w zol, a następnie w żel [6]. Proces ten przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat przemian zachodzących przy przejściu: roztwór -> zol -> żel. [6]

Po naniesieniu zolu na podłoże prowadzi się proces zagęszczania struktury polegający na stosunkowo wolnym suszeniu. Prowadzi to do usunięcia (odparowania) rozpuszczalnika oraz zmniejszenia stopnia porowatości warstwy. Otrzymany w warunkach otoczenia żel może być suszony, a następnie często jest wygrzewany. W czasie obróbki termicznej następuje kontynuacja reakcji polikondensacji, wydzielanie wody i rozpuszczalnika, utlenianie części organicznych oraz zagęszczanie żelu [1]. Temperatura wypalania zależy od zastosowania warstwy. Jeżeli nie są to warstwy narażone na działanie czynników korozyjnych i oddziaływań mechanicznych można ograniczyć się do niskotemperaturowej obróbki w zakresie 150-250°C [1]. Wypalanie w zakresie 500-900°C stosuje się dla uzyskania warstw o wysokiej odporności mechanicznej i chemicznej [6].

Największe trudności w syntezie zol-żel sprawia prawidłowe przeprowadzenie obróbki termicznej tak, żeby podczas ogrzewania żel nie pękał pomimo wielkiego skurczu [6]. Kontrolowaniu tego procesu sprzyja dodatek do roztworu odpowiednich związków, np. formamidu [6]. Należy podkreślić, że w przypadku grubszych warstw lub procesu zagęszczania prowadzonego zbyt szybko mogą wystąpić pęknięcia warstwy. Przyczynami powstawania pęknięć są np. naprężenia powstające podczas schnięcia warstwy z powodu kurczenia się materiału, niedopasowanie rozszerzalności cieplnej lub plastyczne odkształcenie podłoża. Możemy temu przeciwdziałać np. poprzez użycie wypełniaczy do redukcji zjawiska skurczu.

Zole mogą również posłużyć do nakładania warstw na różne podłoża. Konieczne jest kontrolowanie lepkości zoli, ponieważ ten parametr determinuje proces nakładania warstw i ma bezpośredni wpływ na grubość i jakość nanoszonych warstw [6].

Właściwości fizykochemiczne otrzymanych warstw istotnie zależą od parametrów prowadzenia procesu hydrolizy a następnie kondensacji takich jak:

- pH roztworu,
- stosunku TEOS/woda,
- rodzaju i stężenia katalizatora,
- rodzaju i zawartości rozpuszczalnika,
- polarności rozpuszczalnika,
- temperatury.

Z jednej strony stwarza to duże możliwości wpływania na właściwości otrzymanych warstw, a z drugiej stwarza konieczność monitorowania wszystkich parametrów dla uzyskania wyników powtarzalnych, co w praktyce przemysłowej jest bardzo ważne.

Zalety metody:

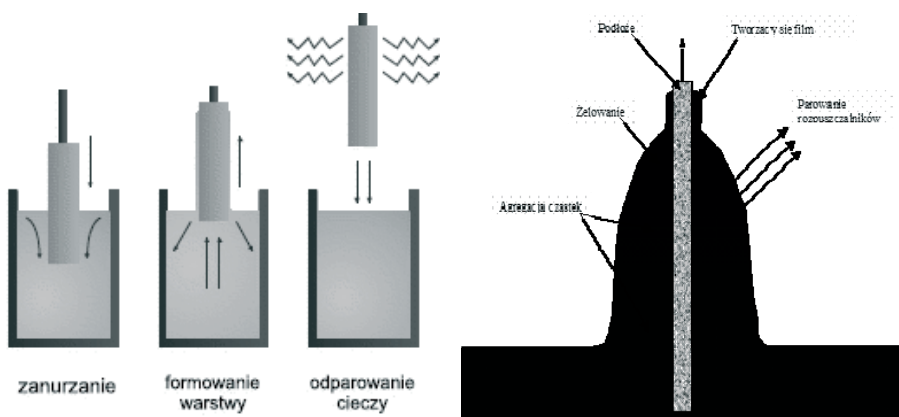
- prostota techniki i niski koszt wyposażenia,
- duża jednorodność składu chemicznego,
- dobra jakość powierzchni warstwy,
- duże możliwości modyfikacji niektórych parametrów (np. współczynnik załamania światła),
- możliwość otrzymania warstw barwnych,
- brak toksycznych odpadów lub niski ich udział.

Wady metody:

- stosunkowo wysoki koszt odczynników,
- niezadawalająca jednorodność grubości w przypadku warstw do zastosowań optycznych,
- duże wymagania co do stałości parametrów technologicznych.

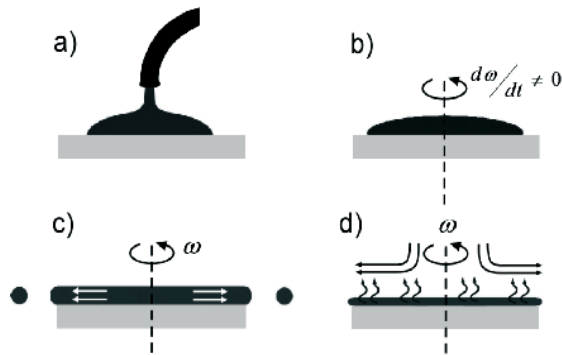
Opracowano szereg metod formowania cienkich warstw z zoli otrzymanych techniką zol-żel:

- Przez zanurzenie (dipcoating). Pokrywanie powierzchni metodą „dip coating” polega na zanurzeniu podłoża do roztworu i wyciągnięciu go z określoną szybkością.



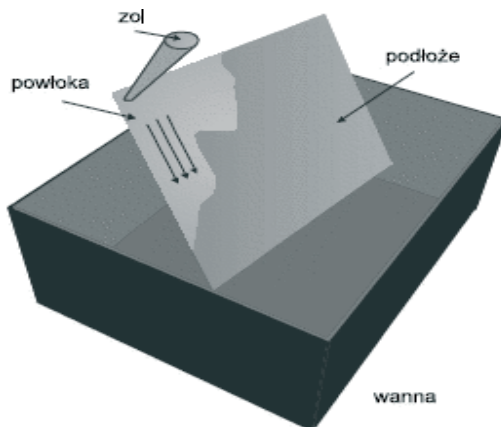
Rys. 2. Nakładanie powłoki za pomocą Dip Coating. [6, 2]

- Przez odwirowanie (spincoating). Procedura nakładania powłok poprzez nałożenie małej ilości materiału powłokowego na środku podłoża, a następnie obracając uzyskujemy równomiernie rozłożoną powłokę.



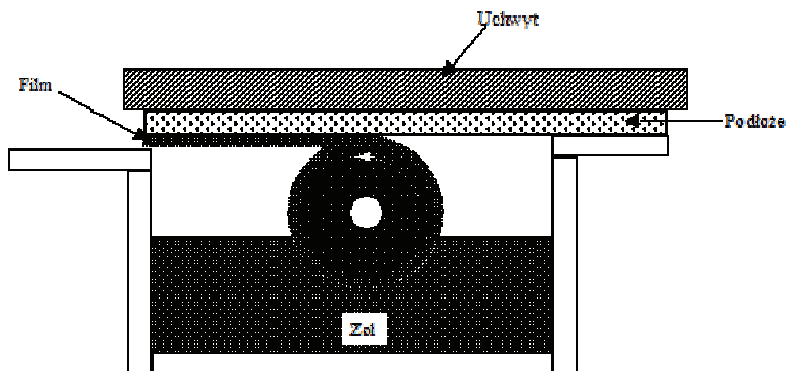
Rys. 3. Nakładanie warstwy za pomocą Spin Coating. [7]

- Polewanie. Polewanie jest stosunkowo prostą techniką i polega na równomiernym wylewaniu zolu na pochylone podłoże.



Rys. 4. Nakładanie warstwy przez polewanie. [6]

- Pokrywanie kapilarne.



Rys. 5. Nakładanie warstwy za pomocą pokrywania kapilarnego. [2]

- Pokrywanie natryskowe (spray coating).
- Rozprowadzanie rolkowe. Jest to technika polegająca na nakładaniu zolu na powierzchnię za pomocą rolki polimerowej zanurzonej w roztworze.
- Malowanie.
- Technika sedymentacyjna. Sedymentacją określamy opadanie (osadzanie się) cząstek w płynie.
- Sitodruk. Technika wykorzystująca „drukowanie” na powierzchni materiału.

Szczególne znaczenie ma wstępne przygotowanie, czyszczenie powierzchni podłoża. Powierzchnia musi być idealnie czysta. Wszelkie zanieczyszczenia mogą prowadzić do niedostatecznego rozprowadzenia zolu lub nawet do miejscowych niedoskonałości powłoki.

Powłoki, otrzymywane metodą zol-żel na szkle bez obróbki termicznej lub po obróbce niskotemperaturowej są zwykle powłokami amorficznymi, przy czym mogą to być powłoki amorficzne nieorganiczne, lub modyfikowane związkami organicznymi (hybrydy organiczno-nieorganiczne)[6]. W tej drugiej grupie powłok znajduje się powłoka hydrofobowa na bazie SiO_2 .

3. Efekt hydrofobowy

Hydrofobowość (z gr. Hydro – woda, phobos – strach) to skłonność pierwiastków i związków chemicznych do odpychania od siebie cząsteczek wody. Jest to szczególnie przypadek solwofobowości, gdy rozpuszczalnikiem jest woda. W ujęciu makroskopowym hydrofobowość to właściwość powierzchni materiału polegająca na niezwilżalności przez wodę np. zachowanie oleju wobec wody. Solwofobowość to zdolność do odpychania cząsteczek rozpuszczalnika [8].

4. Powłoka hydrofobowa na bazie SiO_2 otrzymywana metodą zol-żel

Najprostszym przykładem powłoki ochronnej na różnego rodzaju szklach, w tym przede wszystkim na szkle alkaliczno-krzemianowym, jest warstwa SiO_2 , nakładana metodą zol-żel (najczęściej sposobem dip-coating) i utwardzana termicznie w temperaturze około 500°C [9].

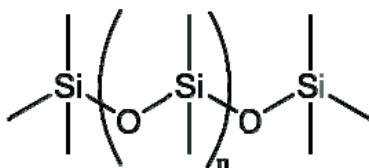
Podczas syntezy zol-żel tj. hydrolizy alkoholanów i jednoczesnej polikondensacji, tworzą się sieci tlenkowe i rodniki węglowodorowe w łańcuchach bocznych. Tego typu warstwy bazują na hydrofobowych właściwościach siloksanów (polidimetylsiloksany) i związków z grupami fluorowymi (fluoroalkilsilany) [2].

Wytworzone cząstki krzemionkowe powodują powstawanie zarówno reaktywnych (Si-OH) jak i niereaktywnych (Si=O) grup na powierzchni. Reaktywne grupy dostarczają miejsce dla dalszego chemicznego procesu modyfikacji powierzchni, który pozwoli zmienić własności powierzchni[10].

Tworzenie powierzchni hydrofobowych prowadzi do ogólnych zmian w ich zwilżalności i w znacznym stopniu zwiększa kąt zwilżania. Morfologia tych hydrofobowych powierzchni powinna być kontrolowana przez zmianę zawartości cząstek krzemionkowych, ich rozmiaru, stopnia agregacji i koncentracji. Zwilżal-

ność powierzchni zależy od chropowatości powierzchni i od napięcia powierzchniowego.

Najczęściej spotykanym dodatkiem jest PMDS (polidimetylosiloksan). Jest on polimerem z grupy siloksanów. Jego główny łańcuch składa się z połączonych na przemian atomów tlenu i krzemu, przy czym większość z atomów krzemu jest podstawionych dwiema grupami metylowymi. PDMS jest polimerem silnie hydrofobowym, przepuszczalnym dla gazów i przezroczystym w stosunkowo szerokim zakresie UV-VIS (230 - 700 nm)[11]. Na rysunku 6 przedstawiono wzór strukturalny PDMS.

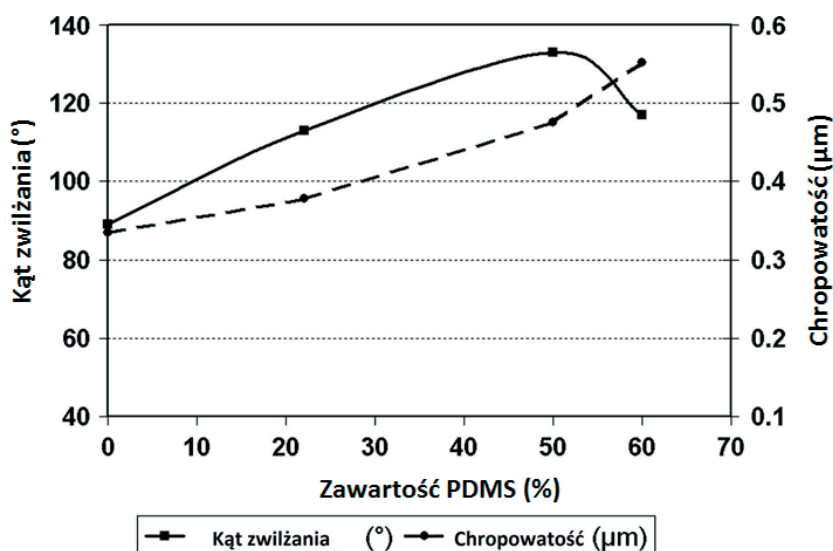


Rys. 6. Wzór strukturalny PDMS. [11]

Jest on stosowany jako dodatek do tetraetoksylanu (TEOS) w procesie uszlachetniania szyb samochodowych. Powłoki hydrofobowe na szybach samochodowych powodują ulepszoną widoczność w deszczu, znacząco łatwiejsze usunięcie brudu, lodu i kurzu.

Związek ten w swoich badaniach wykorzystali także Y.L. Wua, Z. Chen, X.T. Zeng. Wysoki stopień hydrofobowości otrzymujemy już przy 10% obj. PDMS. Im większa zawartość PDMS to kąt zwilżania wyższy[12]. Kąt zwilżania został zwiększony do 133° przy dodatku 50% obj. PDMS.

Ponadto wzrost ilości PDMS, oprócz zwiększania kąta zwilżania, powoduje wzrost chropowatości powłoki. Gdy nierówności są wystarczająco duże to może nastąpić ograniczenie dostępu kropeł wody do powierzchni[12]. Zależność kąta zwilżania i chropowatości od ilości PDMS przedstawia rysunek 7.



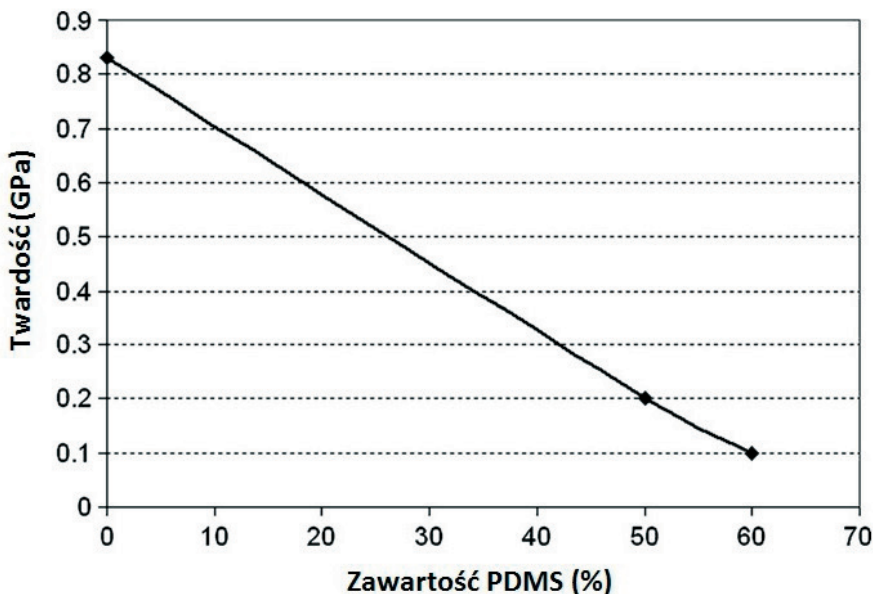
Rys. 7. Wpływ zawartości PDMS na kąt zwilżania i chropowatość. [13]

Stosuje się także inne dodatki takie jak heksametyldisilazan (HMDS) $[(\text{CH}_3)_3\text{Si}]_2\text{NH}$ lub/i metylotrimetoksysilan (MTMS) $\text{C}_4\text{H}_{12}\text{O}_3\text{Si}$. Związki te mają wysoką aktywność chemiczną i ulegają kondensacji z wolnymi grupami $-\text{OH}$ i czynią podłoże bardziej hydrofobowym.

Połączenie tych dwóch składników powoduje wzrost kąta zwilżania do około 100° . Jest to hydrofobowość wyższa niż hydrofobowość w przypadku, gdy dodamy je do zolu oddzielnie.

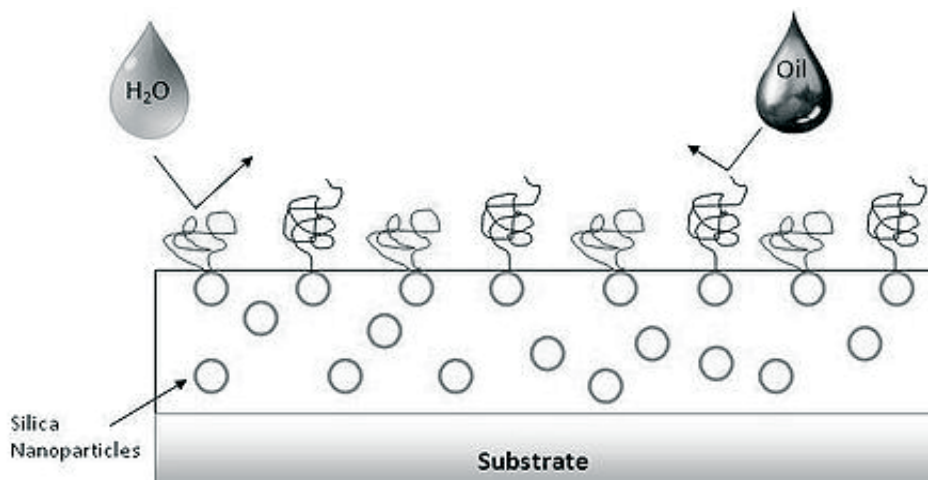
Hydrofobizatorem może być także atom pierwiastka silnie elektroujemnego (np. fluoru, tlenu, azotu). W przypadku hydrofobowości często używa się atomu fluoru. Fluor zmniejsza powinowactwo do wody. Fluor jest najbardziej elektroujemny, co oznacza, że wykazuje bardzo niewielkie powinowactwo do elektronów innych elementów, czyli także cząsteczek wody [14]. Gdy atom fluoru jest przyłączony do powierzchni będzie zmniejszał energię powierzchniową na powierzchni, minimalizując kontakt z wodą.

Wzrost zawartości PDMS (50-60%) znacznie zmniejsza twardość [13, 15]. Wpływ zawartości hydrofobizatora na twardość przedstawia rysunek 8. Często by poprawić właściwości mechaniczne np. twardość danej powłoki dodaje się także, oprócz bazowej krzemionki i PDMS, inne związki. Takim związkiem jest np. alkohol metalu, jako łącznik dla PDMS, którym jest np. tetraisopropoxide tytanu (TIP) [12, 13]. W tym celu wykorzystuje się także twarde wypełniacze jak np. nano-krzemionkowy wypełniacz koloidalnie zawieszony w izobutanolu (pH 7). Tym zagadnieniem zajęli się L. Y. L. Wu, G. H. Tan, M. Qian and T. H. Li, którzy wykazali, że twardość powłoki jest proporcjonalna do zawartości wypełniacza krzemionkowego i temperatury utwardzania, i odwrotnie proporcjonalna do % obj. PDMS [13]. Najwyższą twardość oraz dobrą odporność na ścieranie uzyskano dla 30% obj. wypełniacza krzemionkowego i temperatury utwardzania 300°C [13].



Rys. 8. Wpływ zawartości PDMS na twardość powłoki utwardzonej w temp. 250°C przez 90 min. [15]

Powłoki hydrofobowe można wykorzystać do modyfikowania podłoża w innym celu. Przykładem może być dodanie ligandy oleofobowej, dzięki której powierzchnia jest także odporna na olej. Związki hydrofobowe są niepolarne, tak jak cząsteczki łańcuchów węglowodorowych. Związki oleofobowe składają się z cząsteczek polarnych. Są to dwa typy związków chemicznych, które się ze sobą nie łączą, z tego samego powodu woda i olej nie mieszają się. Powłoka hydrofobowo-oleofobowa jest szczepiona za pomocą nanocząsteczek krzemionki. Poprzez połączenie tych związków za pomocą nanocząsteczek krzemionki zjawisko rozdzielności jest ograniczone do minimum. W ten sposób uzyskujemy powłokę, która wykazuje niechęć do wody i oleju [10]. Na rysunku 9 przedstawiono zachowanie powłoki hydrofobowej na działanie oleju i wody.



Rys. 9. Zachowanie powłoki hydrofobowej pod wpływem wody i oleju. [10]

5. Właściwości powłok hydrofobowych otrzymywanych metodą zol-żel

- Pomocne w utrzymaniu w czystości, łatwe do czyszczenia, zapobiegające odciskom palców, samoczyszczące a co za tym idzie bardziej higieniczne.
- Nie podatne na zarysowania
- Antykorozyjne
- Przeciwmgielne np. powłoki w szybach samochodowych
- Antyadhezyjne

6. Przykłady zastosowań powłok hydrofobowych

Medycyna:

- Cewniki, powierzchnie higieniczne.

Sport i motoryzacja:

- Syntetyczne szyby, glazura, okulary do pływania oraz do skakania ze spadochronem, osłony na głowę, elementy kasków, okulary narciarskie, rurki i okulary do nurkowania, elementy motocyklowe.

Konstrukcje:

- Powierzchnie plenerowe, przede wszystkim takie elementy jak samoczyszczące fasady (beton, plastik, metal, powierzchnie malowane), okna, drzwi, bramy, ogniwa słoneczne, panele słoneczne.

Gospodarstwo domowe:

- Elementy kuchenne, meble, drzwi, klamki. Powłoki na naczyniach kuchennych. Sanitarne wyposażenie takie jak kafelki, wanny, natryski, umywalki, trudno płamiąca armatura, półki prysznicowe, toaleta, panele szklane, lustra, kabiny prysznicowe, elementy w sedesach.

Motoryzacja:

- Reflektory, okna samochodowe, karoseria, szyby w motocyklu.

Optyka:

- Soczewki kontaktowe, okulary.

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiono sposób wytwarzania, właściwości i zastosowanie powłok hydrofobowych na bazie krzemionki. Warstwy te wytwarza się wykorzystując niereagujące z wodą silany. Co więcej powłoki te mogą zapewnić nie tylko dużą odporność na działanie cząsteczek wody, lecz także lepszą odporność na ścieranie i twardość oraz zachowują wysoki stopień przejrzystości. Do osadzenia tych powłok wykorzystuje się nieskomplikowane metody zol-żel. Są to metody nakładania na różne powierzchnie, bez konieczności stosowania specjalnych i wyszukanych rozwiązań technologicznych. Powłoki te nadają się, jako przezroczyste i łatwe do utrzymania czystości powierzchnie dla wielu dziedzin zastosowań m. in. w wymagającym przemyśle budowlanym. Długowieczność budynków zależy od mnóstwa czynników, z których pierwszorzędą rolę odgrywa to, na ile wysoki jest poziom organizacji ochrony konstrukcji budowlanych przed takimi agresywnymi wpływami środowiskowymi jak np. zanieczyszczenia powietrza, i najważniejsze – wilgocią. Zawilgocenie, będąc samo w sobie czynnikiem destrukcyjnym dla budownictwa, dodatkowo potęguje wpływ innych szkodliwych czynników. Wykorzystanie krzemianowych hydrofobizatorów ma dodatkowo cały szereg efektów korzystnych, m.in. znaczne zwiększenie wytrzymałości na korozję, mróz; zwiększenie trwałości mechanicznej, materiały mniej psują się w trakcie transportu i mogą być znacznie dłużej magazynowane. Elementy pokryte powłoką hydrofobową gwarantuje większą trwałość i żywotność materiałów budowlanych.

Literatura

- [1] Łączka M., Terczyńska A., Cholewa-Kowalska K. *Powłoki żelowe na szkłe cz 2*. Świat Szkła 11 (2008) 40-43.
- [2] Nocuń M. *Powłoki funkcyjne na szkłe – rodzaje, właściwości, perspektywy rozwoju*. Świat Szkła 1 (2010) 44-49.
- [3] Subasri R., Malathi R., Jyothirmayi A., Hebalkar N.Y. *Synthesis and characterization of CuO-hybrid silica nanocomposite coatings on SS 304*. *Ceramics International* 38 (2012) 5731-5740.

- [4] Jaiswal S., McHale P., Duffy B., *Preparation and rapid analysis of antibacterial silver, copper and zinc doped sol-gel surfaces*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 94 (2012) 170–176.
- [5] Brinker C.J., Scherer G.W. *Sol-Gel Science. The physics and chemistry of sol-gel processing*. San Diego 1990.
- [6] Łączka M., Terczyńska A., Cholewa-Kowalska K. *Powłoki żelowe na szkłe cz 1*. Świat Szkła 9 (2008) 52-55.
- [7] <http://large.stanford.edu/courses/2007/ph210/hellstrom1/> [28.07.2013]
- [8] <http://encyklopedia.naukowy.pl/Hydrofobowo%C5%9B%C4%87> [12.07.2013]
- [9] Bąk A. *Techniki wytwarzania powłok na szkłe: metoda zol- żel*. Świat Szkła 17 (2012) 40-41.
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-graffiti_coating [25.06.2013]
- [11] [http://encyklopedia.naukowy.pl/Poli\(dimetylosiloksan\)](http://encyklopedia.naukowy.pl/Poli(dimetylosiloksan)) [12.07.2013]
- [12] Wua Y.L., Chen Z., Zeng X.T. *Nanoscale morphology for high hydrophobicity of a hard sol-gel thin film*. Applied Surface Science 254 (2008) 6952–6958.
- [13] Wu L. Y. L., Tan G. H., Qian M., Li T. H. *Formulation of transparent hydrophobic sol-gel hard coatings*. SIMTech technical reports Volume 6(2) (2005).
- [14] Scheeder J., Visscher N., Nabuurs T., Overbeek A. *Water-based fluorinated polymers with excellent antigraffiti properties*. Journal of Coatings Technology and Research Oct (2005) 617-625.
- [15] Wu L.Y.L., Tan G.H., Zeng X.T., Li T.H., Chen Z. *Synthesis and characterization of transparent hydrophobic sol-gel hard coatings*. Journal of Sol-Gel Science and Technology 38 (2006) 85–89.

Hydrophobic coatings based on SiO₂

Katarzyna Porębska

*Institute of Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
Technical University of Łódź, e-mail: katka.porebska@gmail.com*

Abstract: The method of conversion, properties and usage of hydrophobic coatings on the bases of silicon dioxide is presented in the article. These layers are formed by use the silanes which are not react with water. What is more, these layers could provide not only great resistance to the effect of water molecules, but also better resistance to the effect of abrasive action and hardness as well as keeping the top stair of the transparency. Uncomplicated methods such as zol-żel are used to settling these layers. There are methods of putting on the various surfaces, without necessity of usage specific and sophisticated technological solutions. As a transparent and simple to keep in the cleanness surfaces these layers found application in various field such as sport, motorization, building industry, optical system whether in our houses.

Keywords: Hydrophobic coatings, silica, sol-gel, contact angle, hydrophobicity, wettability.

Errata do artykułu: *Budownictwo i Architektura* 12(3) (2013) 169-176

Hydrofilowość miarą efektywności działania superplastyfikatora

Elżbieta Janowska-Renkas

*Katedra Inżynierii Materiałów Budowlanych, Wydział Budownictwa, Politechnika Opolska,
e-mail: e.janowska-renkas@po.opole.pl*

strona 170 w czasopiśmie *Budownictwo i Architektura* (strona internetowa)

wiersz	42	jest	24,57	powinno być	21,57
wiersz	50	jest	42,1	powinno być	61,8
wiersz	51	jest	38,7	powinno być	15,2
wiersz	52	jest	8,1	powinno być	7,7
wiersz	53	jest	7,7	powinno być	8,1

Errata do artykułu: *Budownictwo i Architektura* 12(3) (2013) 271-278

Nowa szansa dla obiektów zabytkowych poprzez przeprowadzenie rewitalizacji i wprowadzenie funkcji użytkowych”

Jan Wrana, Aleksandra Jarocka-Mikrut

*Samodzielna Pracownia Architektoniczna, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: janwrana@architekci.pl, a.jarocka@pollub.pl*

strony 271-272 w czasopiśmie *Budownictwo i Architektura* (strona internetowa)

45-46 (s.271) 1-3 (s.272) (tekst ciągły):

jest:

W 1618 r. budynek zostaje uwieczniony na miedziorycie Abrahama Hogenberga i Georga Brauna – najbardziej znanego widoku miasta Lublina pochodzącego z sześciotomowego dzieła pt.: „Theatrum praecipuarum totius mundi urbiurti (Przedstawienie wyróżniających się miast całego świata)”, znanym pod nazwą „Civitates orbis terrarum” [2].

powinno być:

„W 1618 r. budynek zostaje uwieczniony na miedziorycie Abrahama Hogenberga i Georga Brauna – najbardziej znanego widoku miasta Lublina pochodzącego z sześciotomowego dzieła pt.: „Theatrum praecipuarum totius mundi urbiurti (Przedstawienie wyróżniających się miast całego świata)”, znanym pod nazwą „Civitates orbis terrarum” [22]

7-19 (s.272) (tekst ciągły)

jest:

kiedy to J. Strochociński decyduje się podwyższyć budynek o dwie kondygnacje oraz dodał dwie jego skrajne części. Wybudowano wtenczas symetryczne oficyny i kordegardy, dodano ogrodowy budynek na słupach z wozownią i ustępami. W 1895 r., kiedy to właścicielem budowli jest Bronisława Vetterowa, pałac zostaje podwyższony o oficynę, przez co zyskuje bardziej symetryczny wygląd.

W 1905 r. w murach budowli rozpoczyna działalność Prywatne Gimnazjum Żeńskie Heleny Czarneckiej, które funkcjonuje tam aż do wybuchu II wojny światowej. Poza wyżej wymienionymi rolami, budynki te przez lata pełniły także inne funkcje – mieszkania, sklepy, szpital wojskowy. W latach 1959-1963 miał miej-

sce remont na potrzeby WSI (Wieczorowa Szkoła Inżynierska, dziś Politechnika Lubelska), kiedy to zmieniono układ wewnątrz oraz usunięto budynek z dziedzińca ogrodowego. W 1970 r. odnowiona została elewacja, zaś w 1986 r. wykonano inne roboty elewacyjne, dekarско-blaharskie oraz instalacyjne [3].

powinno być:

„(...) kiedy to J. Strohociński zdecydował się podwyższyć budynek o dwie kondygnacje oraz dodał dwie skrajne jego części. Wybudowano wtenczas symetryczne oficyny i kordegardy, dodano ogrodowy budynek na słupach z wozownią i ustępami.”[22] W 1895 r. oficynę podwyższono, przez co pałac zyskuje bardziej symetryczny wygląd. [3]

„W 1905 r. w murach budowli rozpoczyna działalność Prywatne Gimnazjum Żeńskie Heleny Czarneckiej, które funkcjonuje tam aż do wybuchu II wojny światowej. Poza wyżej wymienionymi rolami, budynki te przez lata pełniły także inne funkcje – mieszkania, sklepy, szpital wojskowy. W latach 1959-1963 miał miejsce remont na potrzeby WSI (Wieczorowa Szkoła Inżynierska, dziś Politechnika Lubelska), kiedy to zmieniono układ wewnątrz oraz usunięto budynek z dziedzińca ogrodowego. W 1970 r. odnowiona została elewacja, zaś w 1986 r. wykonano inne roboty elewacyjne, dekarско-blaharskie oraz instalacyjne”. [22]

32-38 (tekst ciągły)

jest:

Kolejny, często spotykany w obiektach zabytkowych fakt, to płytkie posadowienie fundamentów. Brak izolacji przeciwwilgociowej i przeciwwodnej dodatkowo pogarsza ich stan. Niektóre fragmenty fundamentów są na tyle skorodowane, że kwalifikują się do wymiany.

powinno być:

Na stan obiektu ma również wpływ płytkie posadowienie fundamentów oraz brak izolacji przeciwwodnej i przeciwwilgociowej. Korozja spowodowała, iż fragmenty fundamentów wymagają wymiany.

Wpływ zeolitów na proces hydratacji spoiw mineralnych

Jan Małolepszy¹, Ewelina Grabowska²

¹ e-mail: j.malo@agh.edu.pl

² Katedra Technologii Materiałów Budowlanych, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, AGH,
e-mail: evelyn@agh.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości fizycznych i chemicznych zeolitu - klinoptilolitu (Z), na podstawie których została oceniona jego przydatność do zastosowania w produkcji materiałów budowlanych. Analizowano wpływ zeolitu na proces hydratacji mieszanin z wapnem, cementem portlandzkim oraz wapnem, cementem i rozdrobnionym piaskiem. W celu identyfikacji produktów reakcji hydratacji w warunkach naturalnych, niskoprężnego naparzenia (80°C) i autoklawizacji (180°C) posłużono się metodą XRD, DTA/TG oraz SEM. Wyniki badań wskazują, że klinoptilolit odznacza się umiarkowaną aktywnością pucolanową oraz można go z powodzeniem stosować jako dodatek pucolanowy do cementu, a także do spoiwa w produkcji betonu komórkowego.

Słowa kluczowe: klinoptilolit, Ca(OH)₂, aktywność pucolanowa, warunki hydrotermalne, C-S-H, hydrogranaty

1. Wprowadzenie

Historia stosowania pucolan w technologii jest znana od dawna i sięga swoimi korzeniami starożytności [1,2]. Długoletnią tradycję stosowania jako pucolany mają popioły i tufy wulkaniczne, krzemionkowe i wapniowe popioły lotne, następnie ziemia krzemionkowa, diatomity i geza [3-5]. W ostatnim okresie czasu stosowany jest pył krzemionkowy, metakaolinit i popioły fluidalne [6-9]. Do pucolan można także zaliczyć zeolity [10-12].

Pierwsza wzmianka na temat zeolitów sięga roku 1756, kiedy to w szwedzki uczyony Axel Fryderyk von Cronstedt badał minerały odznaczające się specyficzną właściwością. Zauważył wtedy, że pod wpływem ogrzewania zeolity sprawiają wrażenie wrzenia – pokrywają się pęcherzykami, uwalniając zawartą w nich wodę. Dzięki temu odkryciu zyskały one nazwę „*dzeolitos*” - zeolity, czyli „wrzące kamienie” (od greckiego: *dzeo* – wrzeć, *lithos* – kamień). Badanym przez Cronstedta minerałem był stilbit, zaliczany obecnie do zeolitów naturalnych [13].

Dodatki pucolanowe zajmują szczególne miejsce we współczesnej technologii cementu i betonu. Modyfikują bowiem wiele właściwości użytkowych cementu i betonu m. in. ciepło hydratacji, czas wiązania, wytrzymałość na ściskanie, wodoszczelność i odporność korozyjną [14,15]. Choć pucolany znane są od stuleci, dopiero postęp w zakresie metod badawczych na przełomie XX i XXI wieku pozwolił wyjaśnić szczegółowo ich rolę w kształtowaniu właściwości spoiw i betonu. W ostatnim okresie czasu pojawia się coraz więcej publikacji dotyczących wykorzystania zeolitów naturalnych do produkcji cementów i betonów [16,17].

Znanych jest ponad 100 różnych typów zeolitów, z których wszystkie można otrzymać syntetycznie, a ponad 40 występuje w przyrodzie w sposób naturalny. Zeolity naturalne to grupa uwodnionych tektoglinokrzemianów, o specyficznej, bardzo zróżnicowanej strukturze zawierającej wolne przestrzenie wypełnione jonami oraz cząsteczkami wody, mającymi dużą swobodę ruchu. Jednym z głównych przedstawicieli zeolitów naturalnych jest klinoptilolit. Nieustannie prowadzone badania nad specyficznymi właściwościami zeolitów (do których zalicza się właściwości pucolanowe, katalityczne, jonowymienne i adsorpcyjne), wskazują wszechstronne możliwości wykorzystania tych materiałów, stąd często określa się je często mianem surowców XXI wieku [18-23].

Mimo interesujących eksperymentów wielu polskich i zagranicznych autorów, poruszających tematykę pucolan (w tym zeolitów), brak jest dotychczas szczegółowych badań na temat wpływu tych materiałów na proces hydratacji cementu i spoiw w warunkach naturalnych, niskoprężnego napażania i hydrotermalnych. Dlatego też niniejsza praca poświęcona jest temu zagadnieniu na przykładzie klinoptilolitu. Dla wyjaśnienia zjawisk związanych z procesem hydratacji oraz składu fazowego stwardniałych spoiw i cementu zawierającego zeolit, zastosowano SEM, XRD, DTA/TG i mikrokalorymetrię. Wykonano także wstępne badania właściwości wytrzymałościowych.

2. Wprowadzenie

2.1. Charakterystyka fizykochemiczna surowców

Do badań zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R, zeolit naturalny, wodorotlenek wapnia oraz mielony piasek kwarcowy.

2.1.1. Cement

W badaniach użyto cement portlandzki CEM I 42,5R [24]. Właściwości tego cementu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości fizyko – chemiczne CEM I 42,5R

Właściwość	Wartość	Właściwość	Wartość
Powierzchnia właściwa	3500 cm ² /g	Zawartość alkaliów (eq Na ₂ O)	0,8%
Początek czasu wiązania	202 min	Wodoządnność	28,7%
Koniec czasu wiązania	257 min	Wytrzymałość na ścisk. po 2 dniach	29,3±0,86 MPa
Gęstość właściwa	3,11 g/cm ³	Wytrzymałość na ścisk. po 7 dniach	48,1±2,17 MPa
Zawartość siarczanów SO ₃	3,06%	Wytrzymałość na ścisk. po 28 dniach	58,5±0,88 MPa
Zawartość chlorków Cl ⁻	0,03%		

2.1.2. Zeolit

Materiał badawczy stanowił zeolit naturalny klinoptilolit pochodzący ze Słowacji. Przeprowadzono badania zeolitu metodą analizy rentgenograficznej, termicznej oraz spektroskopii w podczerwieni. Właściwości fizyczne, skład chemiczny i fazowy oraz analizę sitową zestawiono w tabelach 2 i 3. Największy udział frakcji w zeolicie stanowią ziarna od 0-16µm i 16-32µm bo ok. 90%.

Tabela 2. Właściwości fizyko – chemiczne klinoptilolitu naturalnego

Właściwość	Wartość	Związek chemiczny	Zawartość związku [%]	
Punkt pięknienia [°C]	1260	SiO ₂	Skład chemiczny 65-71,3	
Temperatura topnienia [°C]	1340	Al ₂ O ₃		11,5-13,2
Stabilność termiczna do [°C]	400	CaO		2,7-5,2
barwa	szarozielony	MgO		0,6-1,2
zapach	bezwonny	K ₂ O		2,2-3,4
Stopień białości [%]	70	Na ₂ O		0,2-1,3
Twardość w skali Mohs'a	1,5-2,5	Fe ₂ O ₃		0,7-1,9
pH	6,8-7,2	klinoptilolit	Skł. fazowy 84	
Gęstość objętościowa [kg/m ³]	550-700	krystobalit		8
Porowatość [%]	24-32	mika		4
Rzeczywista średnica porów [Å]	4	plagioklaz		3-4
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	33	kwarc		ślady

Tabela 3. Analiza ziarnowa klinoptilolitu

Wielkość cząstek [µm]	0-4	4-8	8-16	16-32	32-63	63-125	>125
Zawartość frakcji [%]	0	0,01	41,5	48,5	8,9	1,0	0

Określono także aktywność pucolanową klinoptilolitu wg ASTM C379-65T oraz PN-EN 450-1:2009. Wyniki badań zestawiono w tabeli 4. Zeolit ten wykazuje znaczną aktywność pucolanową szczególnie do krzemionkowych popiołów lotnych.

Tabela 4. Wskaźnik aktywności pucolanowej klinoptilolitu

Metoda	Parametr	Wartość		
		uzyskana	zalecana	
ASTM C379-65T	Aktywny składnik chemiczny [%mas.]	SiO ₂	48,96±1,39	-
		Al ₂ O ₃	7,05±0,09	-
		SiO ₂ + Al ₂ O ₃	56,00±1,48	>20
PN-EN 450-1:2009	Wskaźnik aktywności pucolanowej [%]	po 28 dniach	84,8	≥75

2.1.3. Piasek

Do przygotowania spoiwa stosowanego w technologii betonu komórkowego - CWPZ0, CWPZ10 i CWPZ20 użyto piasku normowego zmielonego do powierzchni 3700cm²/g. Analizę ziarnową piasku prezentuje tabela 5. Największy udział frakcji w piasku przypadał na uziarnienie 52µm, aż 5,2 %.

Tabela 5. Rozkład wielkości cząstek piasku mielonego mierzony za pomocą dyfrakcji laserowej (Malvern)

Wielkość cząstek [µm]	<1	1-10	10-100	100-1000
Zawartość frakcji [%]	3,8	25,9	64,1	6,2

2.1.4. Wapno hydratyzowane

Właściwości tego spoiwa są spełnione przez normę PN-EN 459-1:2003 [25].

3. Program badań

Autorzy podzielili tematykę badań na następujące etapy:

- pierwszy etap dotyczył badań wpływu zeolitu na proces hydratacji i skład fazowy stwardniałych zaczynów cementowych i spoiwowych z udziałem piasku mielonego
- drugi etap badań dotyczył wpływu zeolitu na właściwości wytrzymałościowe stwardniałych zaczynów cementowych, cementowo-wapiennych i spoiwowych.

Każda próbka dojrzewała w trzech różnych warunkach – naturalnych (20°C), niskopięznego naparzenia: 80°C i autoklawizacji: 180°C. Do określenia produktów hydratacji, posłużono się metodami XRD, DTA/TG oraz SEM/EDS. W tabeli 6 przedstawiono procentowy skład zaczynów i spoiw z udziałem zeolitu. Wyniki badań wytrzymałościowych zestawiono w tabeli 8. Z uwagi na zdolność zeolitu do pochłaniania wody zastosowano korektę wskaźnika w/s w celu utrzymania jednakowej konsystencji zaczynów i zapraw jak w próbce odniesienia (bez dodatku zeolitu).

Tabela 6. Skład receptur użytych w badaniach

	Nr receptury	Oznaczenie	w/s	CEM I 42,5R	Ca(OH) ₂	zeolit	piasek
zaczyny	1	WZ85	0,60	-	15%	85%	-
	2	CZ0	0,30	100%	-	-	-
	3	CZ25	0,35	75%	-	25%	-
	4	CZ40	0,40	60%	-	40%	-
	5	CWZ0	0,60	50%	50%	-	-
	6	CWZ10	0,60	45%	45%	10%	-
	7	CWZ20	0,60	40%	40%	20%	-
zaprawy	8	CWPZ0	0,80	30%	30%	-	40%
	9	CWPZ10	0,80	25%	25%	10%	40%
	10	CWPZ20	0,80	25%	25%	20%	30%

4. Wyniki badań

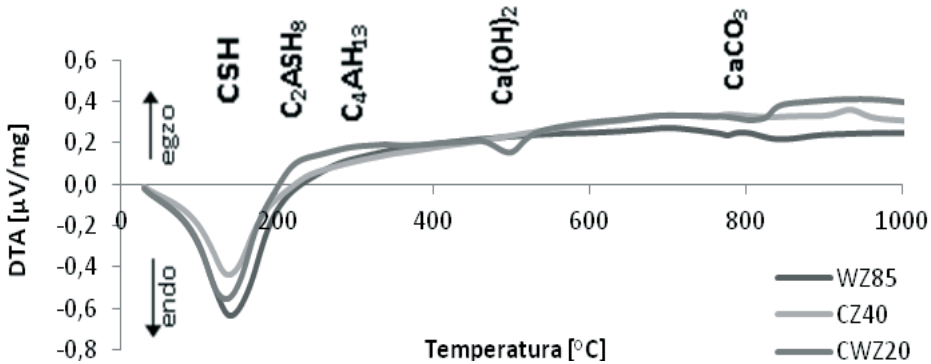
Badania składu fazowego zaczynów i zapraw cementowych, cementowo-wapiennych i spoiwowych wykazały, że istotny wpływ na ilość i rodzaj powstałych produktów hydratacji mają warunki dojrzewania i zawartość zeolitu. W przypadku naturalnego dojrzewania zaczynów głównymi produktami są: C-S-H, niewielka ilość hydrogranatu [C₂ASH₈] oraz uwodniony glinian wapnia [C₄AH₁₃] (rys.3a,b). Wydłużenie czasu

dojrzwania i wzrost temperatury zwiększa ilość produktów hydratacji (rys.3c-f). Badania DTA wykazały również zwiększoną aktywność pucolanową w miarę wzrostu ilości zeolitu w zaczynie cementowym (maleje ilość portlandytu). Analiza SEM/EDS potwierdziła wyniki badań XRD i DTA (rys.2,4).

Badania mikrokalorymetryczne (rys.5,6, i tabela 7) wykazały, że wraz z dodatkiem zeolitu zmniejsza się ilość ciepła w początkowym okresie hydratacji i wydłuża się okres indukcji. Jest on jednak mniejszy od efektu „rozcieńczenia” cementu w miarę dodawania zeolitu. Świadczy to o efekcie pucolanowym w pierwszym okresie hydratacji cementu.

W przypadku badania hydratacji spoiwa cementowo – wapiennego i mielonego piasku kwarcowego w warunkach hydrotermalnych stwierdzono już różnicę w jakości i ilości produktów hydratacji. Zaobserwowano, że oprócz C-S-H, tobermorytu (rys.3c) wystąpiły niewielkie ilości ksonotlitu (rys.3d) oraz pojawiły się już znaczne ilości hydrogranatów z grupy katoitu [CASH] (rys.3e) oraz scawtytu [$\text{Ca}_7\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{CO}_3(\text{H}_2\text{O})_2$] (rys.3f).

Analiza badań wytrzymałościowych zaczynów cementowo-wapiennych oraz zapraw cementowych po 28 dniach (tab.8) wykazała, że wytrzymałość próbek poddanych zarówno procesowi naporzania jak i autoklawizacji wzrosła o 27% przy 10% dodatku zeolitu w stosunku do matrycy bez zeolitu i o 20% przy 20% dodatku zeolitu. Wyjątek stanowiły zaczyny cementowo-zeolitytowe, w których dodatek zeolitu powodował spadek wytrzymałości. Ponadto zaobserwowano, że wytrzymałość próbek CWPZ poddanych procesowi autoklawizacji jest o 10% większa niż wytrzymałość tych samych próbek po niskoprężnym naporzaniu. Oznacza to, że autoklawizacja jest korzystnym procesem kształtującym trwałość próbki, a zeolit stanowi jeden z czynników poprawiających właściwości wytrzymałościowe materiałów, spełniając tym samym doskonale rolę surowca do produkcji betonu komórkowego.



Rysunek 2. Krzywe termiczne wybranych próbek po autoklawizacji

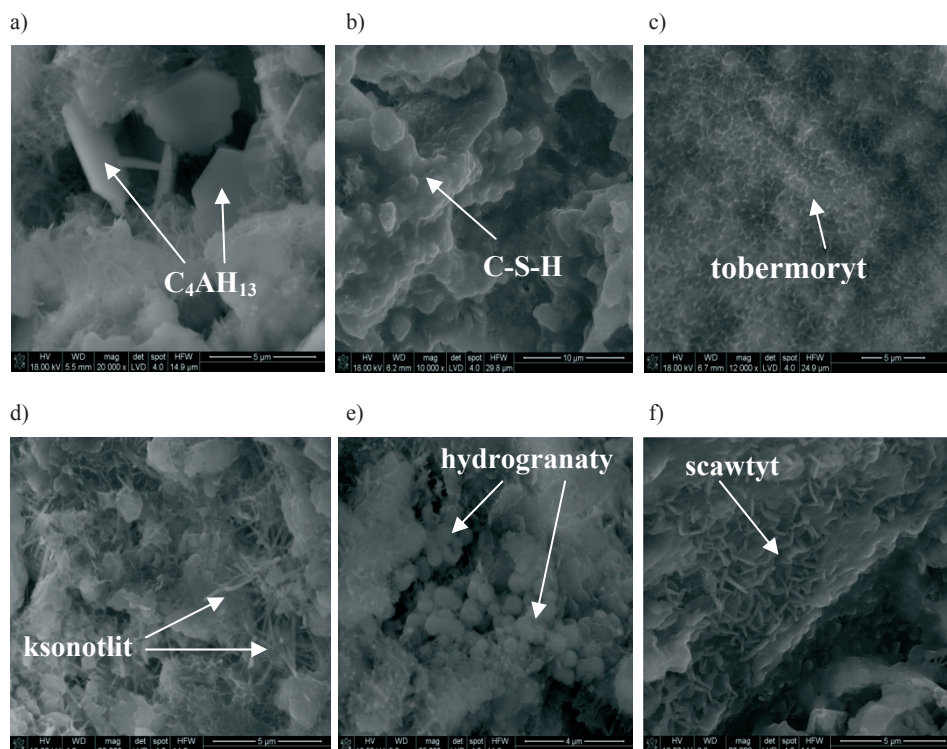
Tabela 7. Ciepło hydratacji i szybkość wydzielania ciepła cementu CEM I 42,5R z dodatkiem zeolitu

	100% CEM I	75% C + 25% Z	60% C + 40% Z
Całkowite ciepło hydratacji po 72h [kJ/g]	324,5	289,8	269,3
Szybkość wydzielania ciepła po 13h [J/g·h]	8,6	6,5	5,9

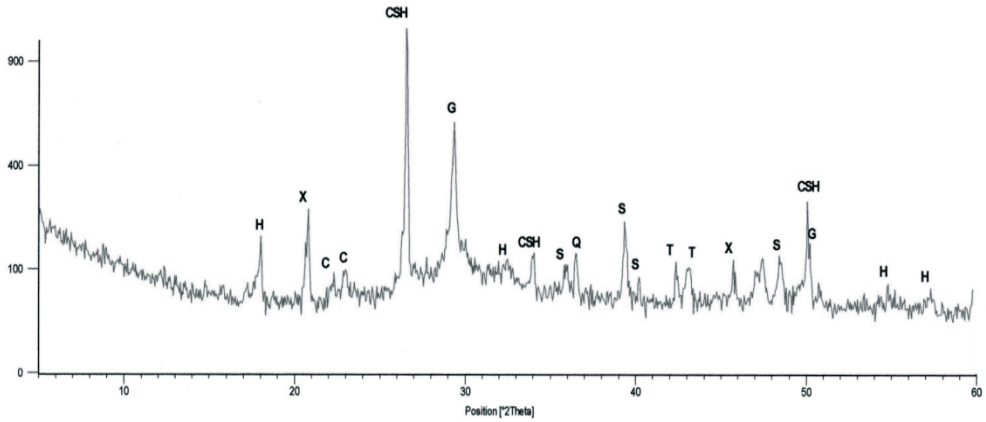
Tabela 8. Wytrzymałość na ściskanie zaczynów i zapraw cementowych, cementowo-wapiennych i spoiwowych dojrzewających w warunkach naturalnych (NAT), po naporzaniu (N) i autoklawizacji (A) po 28 dniach

receptura	cykl	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		
		NAT	N	A
WZ85		5,2±0,1	5,9±0,3	6,6±0,2
CZ0		24,3±0,4	25,8±0,9	28,4±0,5
CZ25		20,5±0,6	22,3±0,4	25,1±0,7
CZ40		16,5±0,7	18,2±0,1	21,7±0,4

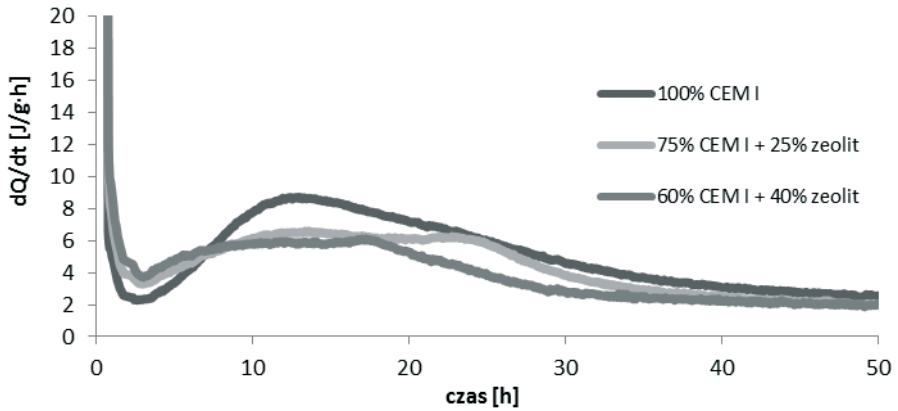
receptura	cykl	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	
		N	A
CWZ0		7,48±0,1	8,6±0,4
CWZ10		10,24±0,3	11,4±0,3
CWZ20		11,56±0,2	12,2±0,1
CWPZ0		24,32±0,8	26,47±0,7
CWPZ10		25,19±0,4	27,22±1,1
CWPZ20		28,67±0,3	30,36±0,9



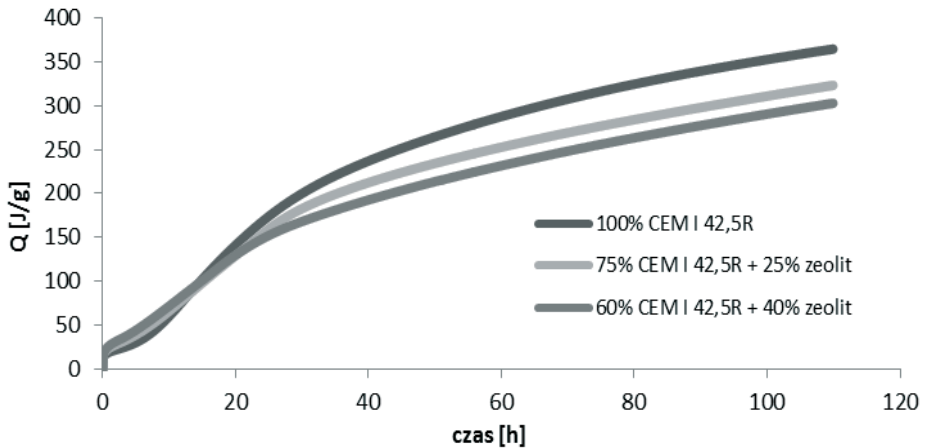
Rysunek 3. Obserwacje mikroskopowe SEM wybranych próbek z różnym dodatkiem zeolitu
a) CWZ20 – warunki naturalne (pow. 20000x) b) CWPZ20 – warunki naturalne (pow. 10000x)
c) CWZ20 – po autoklawizacji (pow. 20000x) d) CWPZ20 – po autoklawizacji (pow. 20000x)
e) CWZ20 – po autoklawizacji (pow. 25000x) f) CWPZ20 – po autoklawizacji (pow. 20000x)



Rysunek 4. Dyfraktoqram zaprawy CWPZ20 po autoklawizacji (faza CSH, G-girolit, S-sawcwyt, H-hydrogrossular, X-xonotlit, C-clinoptilolit, T-tobermoryt)



Rysunek 5. Krzywe szybkości wydzielania ciepła dla CEM I 42,5R hydratyzującego z dodatkiem zeolitu
Całkowite ciepło hydratacji CEM I 42,5R z dodatkiem zeolitu



Rysunek 6. Całkowite ciepło hydratacji CEM I 42,5R z dodatkiem zeolitu.

5. Podsumowanie

Naturalny zeolit klinoptilolityowy może być wykorzystywany jako dodatek mineralny do cementu. Należy jednak dokonać badań składu fazy ciekłej co do zawartości wolnych jonów sodowych. Interesujące są wyniki badań składu fazowego autoklawizowanych spoiw cementowo – wapienno – krzemionkowych, które wskazały na to, że zeolity te można by wykorzystać w produkcji autoklawizowanych materiałów budowlanych takich jak cegła wapienno – piaskowa i beton komórkowy.

Literatura

- 1 Tkaczewska E. Metody badań aktywności puculanowej dodatków mineralnych, *Materiały Ceramiczne*, 63, 3, (2011), 536-541
- 2 Burton T. *Wind Energy*. John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
- 3 Massazza F. Pozzolana and Pozzolanic Cement, *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, Arnold, London, 1998, 471.
- 3 Kosior-Kazberuk M., Nowe dodatki mineralne do betonu, *Civil and Environmental Engineering / Budownictwo i Inżynieria Środowiska 2* (2011) 47-55
- 4 Stoleriu S., Teoreanu I., Chemical and hardening processes in cementitious material - pozzolana - activator binding systems, *International Conference of Building Materials*, Weimar, 2009, P.154
- 5 Giergiczny Z., Rola popiołów lotnych wapienno-krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych, *Wydawnictwo PK*, Kraków 2006
- 6 Nocuń-Wczelik W., Pył krzemionkowy – podstawy stosowania w technologii betonu, *Materiały Ceramiczne 2/2007*, tom LIX
- 7 Wang H., Li H., Yan F., Synthesis and mechanical properties of metakaolinite-based geopolymer, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 268, Issues 1–3, (2005), 1-6
- 8 Gosh S.N. (ed.), *Progress in Cement and Concrete. Cement and Concrete Science & Technology*, ABI Books Private Limited, Vol. 1, cz.1, 2, New Delhi 1991
- 9 Kurdowski W., *Chemia cementu i betonu*, Polski Cement, Warszawa, 2010.
- 10 Skipkiūnas G., Sasnauskas V., Vaičiukynienė D., Daukšys M., Ivanauskas E., Hydration of cement paste with addition of modified zeolite, *International Conference of Building Materials*, Weimar, 2009, P.1.19
- 11 Tokushige H., Kawakami M. and Bier T. A., Physical and mechanical properties of mortar and porous concrete using natural zeolite, *International Conference of Building Materials*, Weimar, 2009, P.2.07
- 12 Snellings R., Mertens G., Elsen J., Evaluation of the pozzolanic activity of natural zeolite tuffs, XIII ICCI International Congress On the Chemistry Of Cement, Madrid, 3-8 July, 2011, Area: 2, p.101
- 13 Handke M., *Krzystalochemia krzemianów*, UWND AGH, Kraków, 2008.
- 14 Mertens G., Snellings R., Van Balen K., Bicer-Simsir B., Verlooy P., Elsen J. Pozzolanic reactions of common natural zeolites with lime and parameters affecting their reactivity, *Cement and Concrete Research* 39 (2009) 233-240
- 15 Ahmadi B., Shekarchi M. Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material, *Cement and Concrete Composites* 32 (2010) 134-141
- 16 Grutzeck M., Kwan S., DiCola M. Zeolite formation in alkali-activated cementitious systems, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 949-955
- 17 Canpolat F., Yilmaz K., Köse M.M., Sümer M., Yurdusev M.A. Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 731-735
- 18 Król M., Mozgawa W., Pichór W., K.Barczyk *Materiały autoklawizowane z zeolitu naturalnego*, CWB-1/2013, 1-9
- 19 Arcoya A., González A., Travieso N., Seoane X.L. Physicochemical and catalytic properties of a modified natural clinoptilolite, *Clay Minerals* (1994) 29, 123-131
- 20 Karakurt C., Kurama H., Topçu İ.B., Utilization of natural zeolite in areated concrete production, *Cement and Concrete Composites* 32 (2010) 1-8
- 21 Siemaszko-Lotkowska D., Gajewski R., *Właściwości zeolitu w aspekcie zastosowania w betonie*, *Ceramika* vol. 103, 2008

- 22 Bundyra-Oracz G., Siemaszko-Lotkowska D., Zeolit – dodatek pucolanowy do betonu, Budownictwo Technologie Architektura nr 4(52)/2010
- 23 Bogdanov B., Georgiev D., Angelova K., Yaneva K. Natural zeolites: clinoptilolite. Review, Natural&Mathematical science, Volume IV, s.6-11
- 24 http://www.lafarge.pl/Karta_produkowa_cementu_CEM_I_42_5_R.pdf
- 25 http://www.trzuskawica.pl/wpcontent/uploads/2012/nowe/karty_produkow_wapnia/wapno%20hydratyzowane%2017.08.2012..pdf

The influence of zeolites on hydration process of mineral binders

Jan Malolepszy¹, Ewelina Grabowska²

¹ *e-mail: jmalo@agh.edu.pl*

² *Department of Building Materials Technology, Faculty of Material Science and Ceramics, AGH University of Science and Technology, e-mail: evelyn@agh.edu.pl*

Abstract: This paper presents the results of physical and chemical properties of zeolite - clinoptilolite (*Z*), on the basis of which its usefulness in different terms and applications was assessed. Same pozzolan was also investigated and analyzed in term of the changes that it causes in the system pozzolan - cement – lime - sand - water with different content of ingredients. In order to identify the hydration products in the natural conditions, infusion (80°C) and autoclaving (180°C) XRD, DTA / TG and SEM was used.

The results indicate that clinoptilolite is characterized by moderate pozzolanic activity and can be successfully used as a pozzolanic additive for cement, and a binder in the production of aerated concrete.

Keywords: clinoptilolite, Ca(OH)₂, pozzolanic activity, hydrothermal conditions, C-S-H, hydrogarnets