

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO
I ARCHITEKTURA

Vol. 14(2) 2015

Politechnika Lubelska
Lublin, 2015

Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury

BUDOWNICTWO I ARCHITEKTURA



Vol. 14(2) 2015

Politechnika Lubelska
Lublin, 2015

Rada Naukowa

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

Kolegium Redakcyjne

Redaktor naczelny: **Wojciech Franus**

Redaktorzy Tematyczni:

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

Sekretariat: Lidia Bandura

Adres redakcji:

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

Strona czasopisma:

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

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

© Copyright by Politechnika Lubelska 2015

ISSN 1899-0665

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

SPIS TREŚCI
CONTENTS

Sławomir Biruk:

Dispatching concrete trucks using simulation method 5

Przemysław Brzyski, Stanisław Fic:

Charakterystyka kompozytu wapienno-konopnego i jego zastosowanie w budownictwie
Characteristics of lime-hemp composite and its use in construction industry 11

Alberto De Capua:

Towards global architecture. The project between technique and technology 21

Artur Duchaczek:

Wpływ liczby poprzecznic na rozkład naprężeń w przęsłach mostów niskowodnych
*The influence of number of the transverse connection on the distribution of stresses
in the low-water bridge spans* 27

Piotr Gleń, Aleksandra Jarocka-Mikrut:

Rola architektury w codziennym funkcjonowaniu osób niepełnosprawnych ze
szczególnym uwzględnieniem osób niewidomych i niedowidzących
Architecture in daily functioning of disabled people with special emphasis 37

Marzena Jaromińska:

Wskaźnik zmian przepuszczalności gruntów słabonośnych
Permeability change index for unstable basement 43

Piotr Jaśkowski:

Repetitive construction processes scheduling using mixed-integer linear programming 55

Beata Klimek:

Metody badań zapraw historycznych – problematyka konserwatorska
Mortar historical research methods – problems of restoration 63

Kovalchuk M., Tershak B., Cheliadyn L., Sobol Kh., Terlyha V.:

Trial of liquidation cementation of boreholes at Carpathians oil and gas deposits 71

Maria Semeniuk:

Aktywność architekta na tle społecznym
The social activity of the architects 81

Aleksander Serafin:

O zagadnieniach ekspresji wobec architektury symbolicznej
On the questions of an expression towards symbolical architecture 93

Bartosz Szostak, Maciej Trochonowicz:

Historyczne konstrukcje żelbetowe – stosowane materiały oraz algorytmy obliczeniowe
Historical reinforced concrete structures – used materials and calculating algorithms 105

Andrzej Szychowski:

Lokalne wyboczenie ścianki wspornikowej elementu cienkościennego przy
wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń
*Local buckling of cantilever wall of thin-walled member with longitudinal
and transverse stress variation* 113

Bartłomiej Zarzycki, Wojciech Piasta:

Wpływ objętości zaczynu cementowego na konsystencję mieszanek
do wysokowartościowych betonów samozagęszczalnych i masywnych

*Effect of the cement paste volume on the consistency of mixes for
high performance massive and self-compacting concretes* 123

Karolina Zuba:

Duch współczesnej architektury sakralnej

The spirit of modern sacral architecture 131

Dispatching concrete trucks using simulation method

Sławomir Biruk

*Katedra Inżynierii Procesów Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: s.biruk@pollub.pl*

Abstract: Ready mixed concrete (RMC) is the primary material required for buildings and public infrastructure work. RMC is produced to meet customer's demands and its deliveries must conform to construction site and technological operating constraints – the material cannot be prepared in advance and stored. Concrete production scheduling and truck dispatching is mainly handled manually by experienced RMC batching plants staff. The paper presents simulation model which can be used to assess alternative strategies for truck allocation and production planning in stochastic environment. The models' operation is illustrated by a notional case – the model prompted solutions of improved transshipment efficiency and reduced plant operating cost under assumed operating constraints.

Keywords: ready mixed concrete distribution, truck dispatching, simulation modeling

1. Introduction

Ready mixed concrete is a basic construction material used in all components from foundations to roofs, and therefore consumed in large quantities. As many as 60-70% of all contemporary built structures are made of this material. Due to growing quality requirements and development in concrete mix design aimed at obtaining special qualities of the product, it is manufactured by specialised batching plants in fully controlled environment. The mix is delivered to construction sites by means of ready mixed concrete trucks assuring that the mix keeps its qualities, but the time since mixing till placing is seriously limited: even with retarders, concrete mix sets within several hours. Moreover, concrete mix should be placed continuously to avoid cold joints that reduce strength and quality of concrete members.

This poses a challenge to the mix dispatchers who need to coordinate mix production, transport and placing processes. Most concrete batching plants dispose of advanced automatic production lines able to provide high quality mix in a very short time, but the dispatching process is still based on skills and knowledge of the experienced staff, with little use of computer-based planning [1].

The ready mixed concrete production is a competitive business in a well developed market. With similar material costs, the batching plants search for economies by means of better dispatch control: as the material is relatively cheap and of relatively high transport cost, an integrated system of mix manufacturing, scheduling deliveries and vehicle routing may seriously improve the plant's standing [3]. As the concrete mix expires quickly, a batching plant may serve only those clients who are located in the range that can be reached by trucks within about 1.5 hours. This fact seriously limits the number of potential clients and intensifies competition between plants operating in overlapping areas. Thus, the plants strive for low costs of their product and reliability of their service to stay in the market [2].

2. Ready mixed concrete transportation process

The time since mixing till placing should be no longer than concrete setting time in particular conditions. To deliver the mix within this “usability window”, one has to plan vehicle routes and schedule production so that at the moment that the substrates have been mixed, a truck was ready to collect the mix. Delays and breaks may lead to wasting the whole batch. Having too many trucks queuing for the mix is also not economical.

The mix is a custom-made product: each batch is prepared for a particular client. Therefore, as the batch is loaded into a truck, the truck must be directed to a particular construction site. The dispatcher is in no position to change its destination. Moreover, it is quite usual that the construction sites served by a plant are congested or of limited unloading capabilities and cannot receive more than one truck at a time. In this case, to assure continuity of concreting works, the mix production and deliveries need to be scheduled with utmost care.

Feng et al. [2] classify orders for concrete mix in two categories: those placed in advance – at least one day ahead of concrete works, or those placed at the day of concrete works. The latter orders may seriously affect operations of a batching plant, and the dispatcher needs to decide quickly whether accepting such orders is possible and how it affects operating schedules.

The daily demand for the mix is not uniformly distributed. Feng et al. [2] observed that peak hours occur between 9:30 and 11:30 and between 14:30 and 17:00, whereas Matsatsinis [5] and Naso et al. [6] maintain that the demand is clearly higher between 7:00 and 9:00 and later between 13:00 and 15:00. The peak hours are especially challenging for the production, dispatch and transport crews.

3. Optimisation models of concrete mix dispatching processes

The integrated system for production and dispatch scheduling is to allow for constraints specific for the concrete mix and fresh concrete. Time is the crucial factor, and this makes mathematical model complex, and optimisation process difficult.

Tommelein and Li [9] approach this problem as a *just-in-time* production system. They analyse the mix supply chains with regard to requirements of production process and material qualities, putting forward two models of supply chains. The first one assumes that the plant takes responsibility for the deliveries, the other one transfers all transport tasks to the client (used sometimes for sites located in city centres with strict constraints of noise emission or traffic disturbance – the works must be scheduled for particular hours).

Matsatsinis [5] developed a decision support system for managing two types of means of transport: truck mounted mix pumps and ready mixed concrete trucks. This model was formulated as a multi-depot multi-vehicle routing problem with time windows. The objective function minimizes operating costs of the system and increases service quality level.

Feng et al. [2] investigated in detail into the factors affecting truck routing and scheduling. They proposed a model based on a genetic algorithm and simulation aimed at minimizing truck queuing time. They provided also a user-friendly software facilitating the process of dispatching concrete trucks.

A metaheuristic algorithm for the mix dispatching problem was proposed also Naso et al. [6]. Their model is aimed at minimizing the cost of mix distribution. This cost includes loading, transport, unloading, and additional costs related e.g. with hiring trucks and crew overtime. The model was programmed in Matlab, and its applicability was illustrated by a case of a Dutch batching plant.

Asbach et al. [1] put forward a mixed linear programming model of mix deliveries with the objective function that minimizes the sum of transport costs and penalties for not fulfilling the order. Due to the model's complexity, it cannot be solved by means of popular solvers, so the authors resorted to their own metaheuristic algorithm and assessed its efficiency.

Park et al. [7] expanded the scope of modelling from production and dispatch of the mix by allowing for the batching plant supplies with cement and aggregates. The model was solved by means of a customized continuous dynamic simulation system, and a software facilitating operation of the plant was developed and tested in one of plants in Singapore.

Yan et al. [11] integrated scheduling of mix production and vehicle routing. The model is based on time-location diagram with five types of arches to represent operations of the plant and the trucks (truck idle time, truck work, loading or waiting for loading, unloading and returning to the plant, termination of work and returning to the base). The model was then enhanced by allowing for additional constraints: crew overtime cost [13] and traffic-related occurrences [12].

Yan et al. [10] considered that transport time is a random variable. Their dispatching model was formulated as a mixed integer network flow problem with side constraints. The model's applicability was tested by simulations.

Computer simulations were frequently used in the analysis of concrete mix batching plant operations. Wakefield and Sears [14] used Petri Nets, and Zayed and Halpin [15] – a Microcyclone network. In both these cases the models were simulated with various resource combination to evaluate productivity of a concrete plant and utilization of equipment. Sobotka et al. [8] used simulation method to reengineer operations of a batching plant. The aim of research was to improve production management by reducing activities that, from the customer's point of view, do not add value to the service. Lu and Lam [4] developed a special-purpose simulation tool for rapid modelling of a typical one-plant-multisite system of concrete production and delivery based on a simplified discrete-event simulation approach. All these attempts speak in favour of applying simulation to assessing and modelling operations of batching plants under a variety of conditions. However, a general model that allows for all identified constraints in random environment.

4. The simulation model for dispatching concrete trucks

The author puts forward a simulation model for dispatching concrete trucks aimed at assessing continuity of concreting works in construction sites and the time since mixing till placing concrete mix. It was programmed with *GPSS World* discrete simulation language by *Minuteman Software*. The programme comprises three modules: declaration of input, simulation engine, and collection of simulation data.

The first module requires that the following parameters are defined:

- number of destinations (construction sites) together with their demand for the mix expressed by the number of truckloads to be delivered,
- as-planned start of concrete placing (hour) at each site, given as a delay from the start of a work shift in the site,
- number of available concrete trucks,
- number of concrete mixers at the batching plant (which implies how many trucks can be potentially loaded at the same time),
- distribution type and parameters for truck loading time,
- distribution type and parameters for loaded trucks travel time at the route to each site,

- distribution type and parameters of truck unloading times in each site,
- distribution type and parameters of the time of empty truck return from each site.

Travelling times depend mostly on the distance between the plant and the site, and the number of crossroads (in urbanized areas). Unloading time depends mostly on the type of concrete member and methods of delivering the mix from the truck to the formworks (by means of pumps, crane skips, dumpers etc.).

The second module (Fig. 1) imitates operations of the concrete trucks and concrete plant. As the shift begins, the trucks (their number is a parameter of the simulation model) queue at the mixers to be loaded. At this point, destinations of the trucks are decided (as well as the product they are loaded with – each site may require a different mix); a variety of strategies may be adopted at this point. For instance, destination of a truck can be chosen in a random manner, or a truck is sent to a site with a shortest queue. Trucks are loaded (loading time) and travel to the sites (travel time), where they form a queue waiting to be unloaded. It was assumed that only one truck can be unloaded at a time. As the unloading process is completed, the truck returns to the plant and, if the demand of the sites was not satisfied yet, they queue for another batch of the mix. The procedure is repeated until all sites receive as much mix as was ordered.

5. Optimizing the allocation of concrete trucks – an example

In the analysed case, one batching plant serves five construction sites. Each site has a demand for the mix expressed by the number of truckloads (so the assumption was each batch delivered to each site is of the same volume). These demands are listed in Table 1. The concreting works at each site start at the same time.

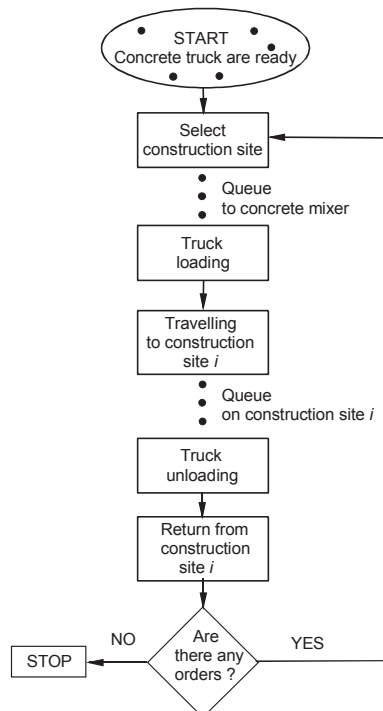


Fig. 1. Diagram of the “simulation engine”

The plant is equipped with only one mixer, so that only one truck can be loaded at a time. It was assumed that the loading time is a random variable of a triangular distribution defined by the optimistic ($t_a = 5$ min), the pessimistic ($t_b = 9$ min), and the most likely ($t_m = 6$ min) values. It was assumed that the components of the transport cycles are also of a triangular distribution with the optimistic, pessimistic and most likely values quoted in Table 1.

Table 1. Input for the example

Site ID	Demand for the mix, truckloads	Travel time, minutes	Unloading time, minutes	Return time, minutes
1	15	(12,20,15)	(8,12,9)	(10,17,12)
2	8	(28,45,33)	(6,9,7)	(26,43,31)
3	12	(22,35,26)	(12,18,14)	(19,30,24)
4	9	(15,22,17)	(9,15,11)	(12,20,15)
5	6	(15,25,18)	(8,14,10)	(14,23,17)

For this simulation, a following strategy was adopted: a loaded truck is directed to the construction site where the truck queue is the shortest. This strategy minimises the time since mixing till placing and assures continuity of concreting in particular sites. In the simulation process, the number of trucks serving the system was change in search for optimum that assures meeting constraints of concreting process with the least number of trucks employed. The simulation results are presented in Fig. 2.

If the maximum acceptable time since mixing till placing is 90 minutes (as for standard mixes at 15°C), the sites must be served by at least 7 trucks. In this case, the batching plant has to work for 558 minutes to cover the demand.

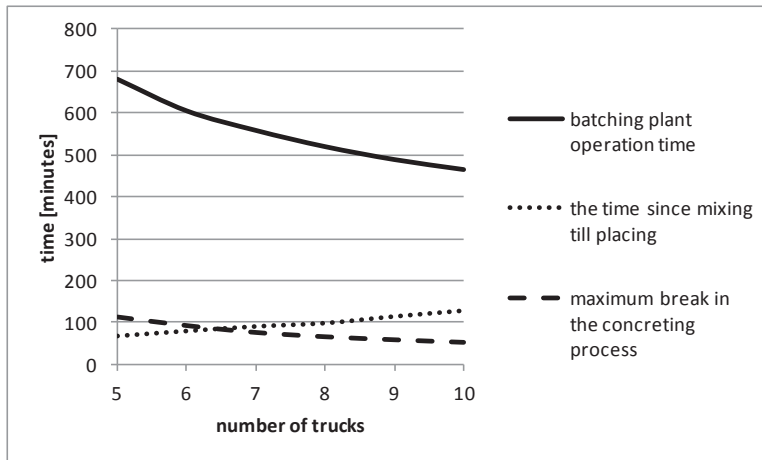


Fig. 2. The relationship between the number of trucks and batching plant operation time, maximum break in the concreting process, and the time since mixing till placing in the analysed case

6. Conclusions

Concrete batching plants are typically equipped with modern automated high-capacity systems and provide high quality products. The plants often dispose of fleets of concrete transport trucks. However, the plants rarely use decision support tools to plan transport routes and schedule production of the mix. The decisions in this respect base on experience

of the staff. The paper investigates into the problems of integrated production scheduling and vehicle routing. Implementing such systems may increase the number of fulfilled orders, improve plant and truck utilisation rates and client satisfaction and, as a result, help to achieve competitive advantage in the highly demanding market of ready mix production.

Further research will be aimed at increasing the number of real-life related constraints as e.g. changes in transport times during the day related with traffic conditions, allowing for availability of trucks and pumps of various capacity. This is aimed at increasing reliability of simulation results.

Acknowledgment

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

References

- 1 Asbach L., Dorndorf U., Pesh E. *Analysis, modeling and solution of concrete delivery problem*. European Journal of Operational Research 193 (2009) 820–835.
- 2 Feng Ch. W., Cheng T. M., Wu H. T. *Optimizing the schedule of dispatching RMC trucks through genetic algorithms*. Automation in Construction 13 (2004) 327–340.
- 3 Lin P. C., Wang J., Huang S. H., Wang Y. T. *Dispatching ready mixed concrete trucks under demand postponement and weight limit regulation*. Automation in Construction 19 (2010) 798–807.
- 4 Lu M., Lam H.-C. *Simulation – optimization integrated approach to planning ready mixed concrete production and delivery: validation and applications*. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference 2593–2604.
- 5 Matsatsinis N. F. *Towards a decision support system for the ready concrete distribution system: A case of a Greek company*. European Journal of Operational Research 152 (2004) 487–499.
- 6 Naso D., Surico M., Turchiano B., Kaymak U. *Genetic algorithms for supply-chain scheduling: A case study in the distribution of ready mixed concrete*. European Journal of Operational Research 177 (2007) 2069–2099.
- 7 Park M., Kim W. Y., Lee H. S., Han S. *Supply chain model for ready mixed concrete*. Automation in Construction 20 (2011) 44–55.
- 8 Sobotka A., Biruk S., Jaskowski P. *Process approach to production management in a construction company*. Proceeding of the Fourth European Conference on Product and Process Modelling in the Building and Related Industries, Portož, Slovenia, 19–11 September 2002.
- 9 Tommelein I. D., Li A. E. Y. *Just-in-time concrete delivery: mapping alternatives for vertical supply chain integration*. Proceedings of the Seventh Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC-7, California 1999, 97–108.
- 10 Yan S., Lin H. C., Jiang X. Y. *A planning model with a solution algorithm for ready mixed concrete production and truck dispatching under stochastic travel times*. Engineering Optimization 44 (2012) 427–447.
- 11 Yan S., Lai W., Chen M. *Production scheduling and truck dispatching of ready mixed concrete*. Transportation Research. Part E 44 (2008) 164–179.
- 12 Yan S., Lin H. Ch., Liu Y.-Ch. *Optimal schedule adjustments for supplying ready mixed concrete following incidents*. Automation in Construction 20 (2011) 1041–1050.
- 13 Yan S., Lai W. *An optimal scheduling model for ready mixed concrete supply with overtime considerations*. Automation in Construction 16 (2007) 734–744.
- 14 Wakefield R., Sears G. *Petri Nets for simulation and modeling of construction systems*. Journal of Construction Engineering and Management 123(2) (1997) 105–112.
- 15 Zayed T.M., Halpin D. *Simulation of concrete batch plant production*. Journal of Construction Engineering and Management 127(2) (2001) 132–141.

Charakterystyka kompozytu wapienno-konopnego i jego zastosowanie w budownictwie

Przemysław Brzyski, Stanisław Fic

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

Streszczenie: Jednym z rozwiązań zmniejszenia zużycia energii oraz emisji dwutlenku węgla w sektorze budownictwa jest wykorzystywanie materiałów budowlanych o korzystnym wpływie środowiskowym. Jest to możliwe do osiągnięcia wykorzystując materiały pochodzenia roślinnego, np. konopie przemysłowe, które w czasie wzrostu pochłaniają duże ilości dwutlenku węgla. Jako spoiwo zamiast cementu alternatywnie wykorzystywana jest glina lub wapno modyfikowane odpadami przemysłowymi w postaci pucolan. W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania konopi przemysłowych w produkcji kompozytu opartego na modyfikowanym wapień hydratyzowanym. Na podstawie przeglądu literatury scharakteryzowane zostały podstawowe właściwości przykładowych kompozytów takie jak wytrzymałość na ściskanie oraz przewodnictwo cieplne. Materiał jest przeznaczony głównie jako wypełnienie drewnianej konstrukcji szkieletowej ścian, ale również jako izolacja cieplna dachu i podłogi na gruncie. W artykule opisano możliwości zastosowania kompozytu przy budowie ścian w różnych technikach a także opisano sposób przygotowywania mieszanki.

Słowa kluczowe: paździerz konopne, wapno, wytrzymałość, przewodnictwo cieplne

1. Wprowadzenie

Zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju, pożądane jest zmniejszenie zużycia energii w sektorze budownictwa. Istotne jest zminimalizowanie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, rozpowszechnianie wykorzystywania odnawialnych źródeł energii oraz zagospodarowanie odpadów poprodukcyjnych. Dąży się do zmniejszenia wpływu środowiskowego materiałów budowlanych np. poprzez wykorzystanie półproduktów lub odpadów z rolnictwa – materiałów roślinnych takich jak słoma zbożowa, lniana, konopna. Alternatywą dla spoiwa cementowego natomiast może być glina, wapno hydrauliczne lub wapno hydratyzowane modyfikowane pucolanami, będącymi odpadami przemysłowymi lub materiałami naturalnymi. Prowadzone badania własne dowodzą, że łącząc słomę lnianą ze spoiwem wapiennym, otrzymać można kompozyt o dobrych parametrach termoizolacyjnych [1,2,3] Rośliny, które wykorzystuje się w materiałach budowlanych w trakcie wzrostu pochłaniają duże ilości dwutlenku węgla z atmosfery. Otrzymane materiały z reguły charakteryzują się dobrymi parametrami termoizolacyjnymi, a więc przyczyniają się również do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w fazie użytkowania, zmniejszając zapotrzebowanie na energię do ogrzewania budynku, w którym np. ściany zewnętrzne zostały wykonane z takiego materiału na bazie wypełniaczy roślinnych.

Na przełomie lat 80-tych i 90-tych, we Francji zaczęto wykorzystywać do renowacji starych budynków opartych na konstrukcji drewnianej, lokalnych konopi przemysłowych (włóknistych) w postaci paździerzy oraz spoiwa wapiennego, tworząc mieszankę do wypełniania ścian w miejsce ubytków. W kolejnych latach, po wielu modyfikacjach materiału

ten był stosowany przy wznoszeniu nowych budynków.

W artykule przedstawiono charakterystykę kompozytu wapienno-konopnego – sposób jego przygotowania, dokonano przeglądu podstawowych właściwości a także opisano możliwości wykorzystania kompozytu do budowy ścian różnymi technikami.

2. Charakterystyka konopi włóknistych

Uprawa konopi regulowana jest w Polsce ustawą o przeciwdziałaniu narkomanii, która weszła w życie 24 kwietnia 1997 roku. W myśl ustawy, uprawa konopi zawierających więcej niż 0,2% substancji wykazującej działanie narkotyczne – tetrahydrokanabinolu (THC) została zabroniona. Rośliny z gatunku konopie siewne (*Cannabis sativa* L.) zawierające mniej niż 0,2% THC w kwiatowych lub owocujących wierzchołkach roślin, z których nie usunięto żywicy, w przeliczeniu na suchą masę określone zostały w ustawie jako włókniste (wykorzystywane jest również określenie-przemysłowe) i są dopuszczone do uprawy po uzyskaniu pozwolenia z urzędu danej jednostki samorządu terytorialnego.



Rys. 1. Konopie włókniste – odmiana Białobrzezkie [archiwum autorów]



Rys. 2. Paździerz konopne [archiwum autorów]

W wyniku obróbki mechanicznej (dekortykacji) słomy konopnej możliwe jest do uzyskania średnio ok. 25÷30% włókna i ok. 70÷75% paździerzy objętościowo. Przy wydajności zbioru słomy konopnej w ilości ok. 10t/ha można więc uzyskać ok. 7 ton paździerzy.

Najbardziej popularną odmianą konopi przemysłowej w Polsce jest odmiana konopi Białobrzezskich (rys. 1). Została ona wyhodowana przez Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu w roku 1968 specjalnie dla polskich warunków klimatyczno-glebowych. Rośliny te są stosunkowo mało wymagające, odporne na choroby i szkodniki.

Półproduktem z upraw konopi, wykorzystywanym w budownictwie jest zarówno włókno konopne – do produkcji wełny konopnej, stosowanej jako termoizolacja, ale również półprodukt, uważany do niedawna jako odpad – zdrewniała część słomy konopnej, pocięta na kawałki zwane paździerzami (rys. 2.).

3. Paździerz konopne jako wypełniacz kompozytu na bazie wapna

Paździerz konopne jako wypełniacz kompozytu, stosowane są w zróżnicowanych frakcjach pod względem długości i grubości. Najbardziej odpowiednie są paździerz o długościach mieszczących się w przedziale 10-30 mm [3]. Choć nieunikniona jest obecność frakcji spoza podanego przedziału z przyczyn technologicznych – nie jest możliwe, a na pewno jest bardzo trudne, uzyskanie w procesie dekortykacji paździerzy o kon-

kretniej długości. Istotne jest ograniczenie do minimum frakcji pylastej, gdyż przyczyni się ona do zwiększenia zapotrzebowania mieszanki kompozytu na wodę. Należy również oczyścić mieszanke paździerzy z włókien konopnych. Duża zawartość włókien może wydłużyć czas wysychania kompozytu.

Paździerze charakteryzują się wysoką porowatością – około 60% ich objętości stanowi powietrze, co odpowiada za ich dobre parametry termoizolacyjne. Współczynnik przewodności cieplnej paździerzy jest porównywalny do tych, którymi cechują się konwencjonalne materiały termoizolacyjne. Wynosi około 0,04-0,06 W/mK [4].

Spoiwem kompozytu jest w przeważającej części wapno hydratyzowane. Proces wiązania i twardnienia spoiwa wapiennego jest długotrwały (proces karbonatyzacji). Z tego powodu przeważnie spoiwo jest modyfikowane dodatkami hydraulicznymi lub pucolanowymi. Materiały pucolanowe, których przeważającymi składnikami są reaktywne tlenki krzemu lub glinu, reagują w obecności wody z wodorotlenkiem wapnia obecnym w wapnie hydratyzowanym, tworząc związki o właściwościach hydraulicznych, analogiczne do tych będących produktami procesu hydratacji cementu.

4. Technologia wykonywania mieszanki wapienno-konopnej

Kolejność mieszania wszystkich składników nie jest ściśle określona. Mieszanie powinno trwać dotąd aż wypełniacz zostanie pokryty spoiwem wapiennym a mieszanka uzyska jednorodną konsystencję. Istotna jest ilość wody zarobowej. Powinna być ona wystarczająca aby spoiwo mogło w pełni związać. Należy mieć na uwadze wysoką nasiąkliwość paździerzy. Są one w stanie wchłonąć wodę w ilości trzykrotnej ich suchej masy. Zbyt duża ilość wody wprowadzonej do mieszanki spowoduje zwiększenie jej ciężaru co skutkować może zwiększeniem stopnia zagęszczeniem lub rozsegregowaniem składników (płynne spoiwo może wypłynąć przez szczeliny w deskowaniu, lub zgromadzić się na spodzie przegrody). Zwiększenie ilości wody przyczyni się również do opóźnień technologicznych związanych z wydłużonym czasem wysychania materiału.

Proporcje spoiwa do paździerzy stosowane są różne w zależności od przewidywanego zastosowania, miejsca aplikacji kompozytu. Chcąc otrzymać kompozyt o większej gęstości stosuje się większy stosunek wapna do wypełniacza. Ilość spoiwa jednak zawsze powinna zapewnić dokładne pokrycie paździerzy.

5. Zastosowania kompozytu wapienno-konopnego w ścianach zewnętrznych

Mieszanka może być stosowana do wykonywania przegród zewnętrznych jak i wewnętrznych. Możliwość modyfikowania proporcji paździerzy do spoiwa wapiennego daje możliwości uzyskania różnych parametrów fizyko-mechanicznych materiału. W zależności od przeznaczenia, miejsca aplikacji stosuje się różne receptury, różniące się przede wszystkim gęstością. W rozdziale omówione zostaną techniki wykonywania ścian.

Jedną z technik konstruowania ścian w technologii kompozytu wapienno-konopnego jest centralne ustawienie słupów względem grubości ściany (rys. 3). Do słupów mocowane jest deskowanie tymczasowe za pomocą wkręcanych stalowych łączników. Celem zachowania jednakowej grubości przegrody stosuje się dystanse z rurek z tworzywa sztucznego, które po zdjęciu płyt deskowania wyjmują się a pozostałe przestrzenie wypełniają się mieszanką. Mieszanke kompozytu układa się warstwowo w warstwach około 50-60 cm. Istotne jest dokładne rozprowadzenie mieszanki w deskowaniu oraz staranne wypełnienie trudno dostępnych miejsc. Ułożonego materiału nie należy zbyt mocno zagęszczać, gdyż skutkiem

tego będzie obniżenie izolacyjności termicznej przegrody. Ważne jest zagęszczenie stref przypowierzchniowych, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie zwartej, jednolitej faktury pod położenie warstw wykończeniowych. Po osiągnięciu stanu wstępnego związania płyty deskowania przesuwają się w górę i układają kolejne warstwy – wczesne wiązanie spoiwa odgrywa tutaj istotną rolę. Mieszanki nie należy zbyt mocno ubijać gdyż wpłynie to na obniżenie parametrów termoizolacyjnych. Wykonując ścianę w ten sposób - słup jest izolowany od środowiska zewnętrznego mieszanką wapienno-konopną a także obciążenie ze ściany jest rozłożone symetrycznie i równomiernie względem słupa. W technice tej nie jest konieczne stosowanie ukośnych wzmocnień (zastrzałów, wiatrownic) mających na celu usztywnienie konstrukcji w kierunku podłużnym ściany, gdyż zagęszczony i stwardniały kompozyt odpowiada również za usztywnienie konstrukcji.



Rys. 3. Mieszanka ułożona w tymczasowym deskowaniu ściennym [6]



Rys. 4. Technika wykonania ściany z jednostronnym traconym deskowaniem [6]

Kolejną metodą konstruowania ściany zewnętrznej jest lokalizacja ramy drewnianej od strony wewnętrznej z przymocowanym do niej deskowaniem traconym, stanowiącym okładzinę wewnętrzną (rys. 4). Mogą to być płyty z włókna drzewnego, płyty MgO ale również maty z wikliny będące podłożem pod tynk wewnętrzny. Płyta deskowania traconego powinna być odporna na uszkodzenia spowodowane długotrwałym oddziaływaniem wody, gdyż będzie ona miała bezpośredni kontakt z mokrym kompozytem wapienno-konopnym, którego wysychanie jest długotrwałe (w zależności od warunków otoczenia, ściana o grubości 300 mm może wysychać 2 miesiące). Płyty te powinny mieć zdolność do dyfuzji pary wodnej zbliżoną do kompozytu, aby nie stwarzały bariery dla swobodnego wysychania ściany. Materiały o niskiej zdolności przepuszczania pary wodnej mogą przyczynić się do pojawienia się pleśni od wewnętrznej strony ściany. To rozwiązanie jest odpowiednie dla natryskowej metody aplikacji mieszanki w deskowanie (rys. 5). W tej metodzie, przy użyciu sprężonego powietrza podawane są oddzielnie wszystkie składniki, osobnymi przewodami: paździerz, suche spoiwo oraz woda. Przy samym wylocie przewodów agregatu, mieszane są ze sobą, przez co kontakt mieszanki z wodą jest minimalny. W związku z tym proces wysychania jest krótszy niż w przypadku metody tradycyjnej. Podając mieszankę pod ciśnieniem na deskowanie ścienne, jest ona zagęszczana. W przypadku tego rodzaju konstrukcji, rozmieszczenia słupów od wewnątrz przegrody, obciążenie z kompozytu nie rozkłada się równomiernie względem słupa, dlatego istnieje ryzyko, że kompozyt odspoi się od słupa, ze względu na przesunięcie środka ciężkości kompozytu względem słupa na zewnątrz, zwłaszcza przy zastosowaniu ciężkiej warstwy tynku zewnętrznego. W tym celu stosuje się wzmocnienia w postaci łat przybitych poziomo, prostopadle do słupów, w pionowym rozstawie około 60 cm [4].



Rys. 5. Mechaniczny natrysk mieszanki wapienno-konopnej [archiwum autorów]



Rys. 6. Bloczek ścienny wykonany z kompozytu wapienno-konopnego [archiwum autorów]

Możliwe jest również wykonywanie ścian z bloczków uformowanych z kompozytu wapienno-konopnego (rys. 6). Zaletą wykorzystania suchych prefabrykatów jest wyeliminowanie przerw technologicznych przed położeniem tynku lub innych warstw wykończeniowych, które konieczne są w monolitycznej technologii wykonywania ścian z kompozytu. Bloczki z reguły charakteryzują się większym stopniem zagęszczenia niż kompozyt w postaci monolitycznej. W celu zwiększenia sztywności możliwe jest dodanie piasku do mieszanki, z której formowany jest bloczek. Z kolei w celu zmniejszenia ciężaru oraz zwiększenia izolacyjności termicznej, możliwe jest wykonanie w bloczkach drążeń, otworów, dzięki którym prefabrykat również szybciej wysycha. Wg literatury [7] receptura mieszanki przeznaczonej na produkcję bloczków często zawiera dodatek piasku w celu zwiększenia sztywności oraz pojemności cieplnej produktu.

Spotykane są również panele ścienne wykonane jako prefabrykat stanowiący segment ściany. Panele zawierają drewniany szkielet, który stanowi docelową konstrukcję, ale również na etapie produkcji panelu służy jako tracone deskowanie. W segmentach mogą być zawarte również otwory okienne oraz drzwiowe. Zaletą takiego rozwiązania jest szybki montaż, szybkie wykonanie budynku – brak przerw technologicznych, które są normą w monolitycznym układaniu mieszanki wapienno-konopnej.

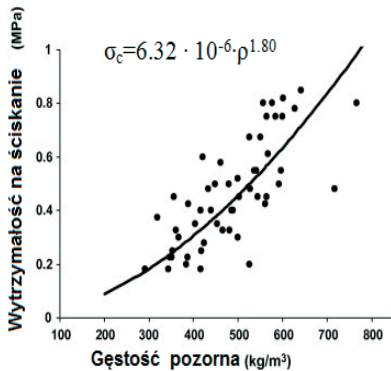
6. Wybrane właściwości kompozytów

6.1. Właściwości mechaniczne

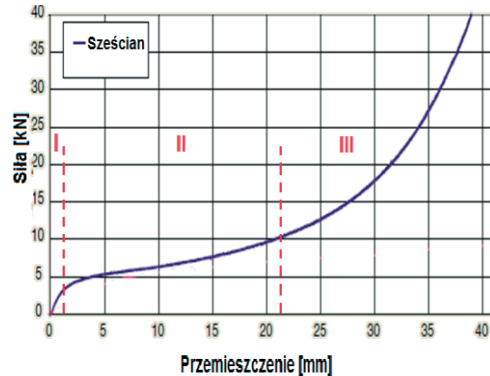
Podstawowym parametrem mechanicznym materiałów budowlanych jest jego wytrzymałość na ściskanie. Kompozyt wapienno-konopny przeznaczony jest jako wypełnienie drewnianej konstrukcji szkieletowej przenoszącej obciążenia działające ze stropów i dachu. Wobec tego materiał ten nie jest projektowany pod kątem osiągnięcia wysokich wytrzymałości, natomiast dąży się do uzyskania niskiej gęstości oraz przewodności cieplnej kompozytu. Wytrzymałość związana jest z gęstością. Wysoka zawartość wypełniacza a niska zawartość spoiwa przyczyniają się do otrzymania materiału ściennego o niskiej gęstości i wytrzymałości. O gęstości materiału może decydować również sposób zagęszczania mieszanki w deskowaniu.

Na rysunku 7 przedstawiono zależność wytrzymałości na ściskanie kompozytu od gęstości pozornej (σ_c – wytrzymałość na ściskanie [MPa], ρ – gęstość pozorna [kg/m^3]). Analizowany w literaturze [8] kompozyt posiadał następującą recepturę: 34% wagowych - spoiwo na bazie wapna (70% wagowych wapna hydratyzowanego, 15% wagowych materiału

pucolanowego i 15% wagowych spoiwa hydraulicznego), 16% wagowych - paździerze konopne i 50% wagowych – wody. Kompozyt formowano poprzez mechaniczny natrysk z różnych odległości, a próbki do badań pobrano poprzez wycięcie kostek z bloczka, stąd zróżnicowanie w gęstościach. Materiał osiągnął wytrzymałość w zakresie 0,18 do 0,85 MPa, przy gęstościach od 290 do 610 kg/m³. Sposób wykonania przy jednakowym składzie znacząco wpływa na możliwość uzyskania różnej charakterystyki stwardniałego kompozytu.

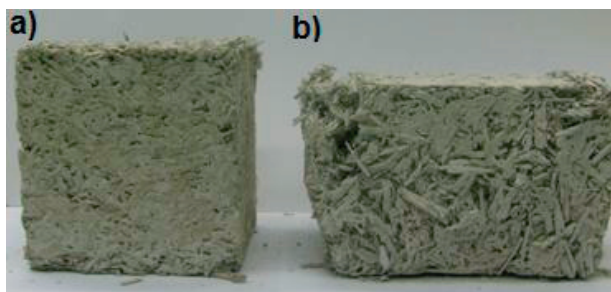


Rys. 7. Zależność wytrzymałości na ściskanie od gęstości objętościowej kompozytu [8]



Rys. 8. Przykładowe zachowanie próbki kompozytu o wymiarach 100 x 100 x 100 mm pod wzrastającym obciążeniem [7]

Zachowanie próbek kompozytu pod wzrastającym obciążeniem jest charakterystyczne dla materiałów budowlanych zawierających wypełniacz celulozowy. Krzywa obciążenie-przemieszczenie może być scharakteryzowana poprzez jej podział na 3 obszary (rys. 8 – I, II, III). W początkowej fazie obciążania wykres stanowi linia prosta, co oznacza, że zachowanie materiału jest sprężyste. W drugiej fazie próbka przestaje wykazywać zachowanie liniowe, wykres, przyrost siły jest niewielki natomiast poziom odkształcenia znaczny. Materiał ulega deformacji i przestaje stawiać opór obciążeniu. Podczas badania zaobserwować można pęknięcie paździerzy konopnych oraz ich odspajanie, odpadanie. Paździerze deformują się by stopniowo dopasować się do spękań spoiwa. Kolejnym etapem jest ustabilizowanie odkształceń, ze względu na nieodwracalne zagęszczenie materiału porowatego w badanej próbce. W tym etapie następuje szybki wzrost naprężeń prowadzący do całkowitego zniszczenia próbki. Na rys. 9 przedstawiono próbkę o wymiarach 150x150x150 mm przed i po badaniu wytrzymałości na ściskanie (badania własne).



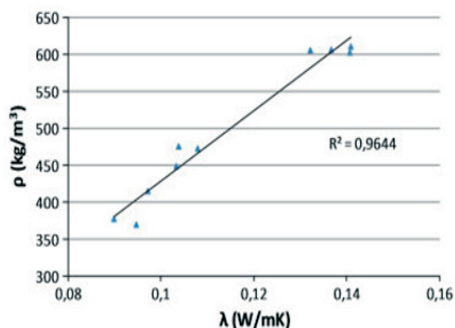
Rys. 9. Próbka poddana badaniu wytrzymałości na ściskanie: a) przed badaniem, b) po badaniu. Różnica wysokości 30 mm [archiwum autorów]

6.2. Właściwości cieplne

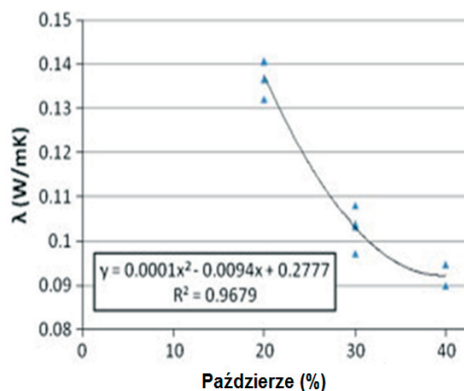
Wartość współczynnika przewodności cieplnej λ kompozytu wapienno-konopnego zależy od gęstości materiału, która z kolei związana jest ze sposobem układania i zagęszczenia mieszanki oraz z proporcją spoiwa do wypełniacza.

Dobre właściwości termozolacyjne materiału umożliwiają wykonanie przegród bez konieczności stosowania dodatkowych materiałów termozolacyjnych, przy zachowaniu rozsądnych grubości ścian (300–400 mm). O niskiej wartości współczynnika przewodności cieplnej decyduje wysoka porowatość kompozytu, rzędu 80% [9].

Zwiększenie przewodności cieplnej wraz ze zwiększeniem jego gęstości stwierdził na podstawie wyników swoich badań Benfratello [5] (rys. 10). Badał on kompozyty zawierające konopie o frakcji 2 mm lub 4 mm, a ich procentowy udział mieścił się w przedziale 20–40% w odniesieniu do masy mieszanki. Spoiwem było wapno hydratyzowane CL-70s oraz hydrauliczne NHL 5. Najniższą przewodność cieplną ($\lambda = 0,0899$ W/mK) wykazał kompozyt o gęstości 377 kg/m³, zawierający frakcje konopi o długości 2 mm, przy 40% udziale wagowym mieszanki, natomiast najwyższą przewodność cieplną ($\lambda = 0,1406$ W/mK) wykazał kompozyt o gęstości pozornej 603 kg/m³ – zawierał on frakcje paździerzy o długości 4 mm, w ilości 20% wagowo w odniesieniu do wszystkich składników mieszanki.



Rys 10. Wykres zależności wartości współczynnika przewodności cieplnej od gęstości pozornej kompozytu [5]



Rys 11. Wykres zależności wartości współczynnika przewodności cieplnej od zawartości paździerzy w kompozycie [5]

Benfratello potwierdził w badaniach również wpływ zawartości paździerzy w mieszance na wartość współczynnika przewodzenia ciepła (rys. 11). Wraz ze wzrostem zawartości paździerzy – z 20% do 40% objętości mieszanki wartość λ kompozytu spadła z około 0,135 W/mK do około 0,09 W/mK.

W badaniach własnych [3] zastosowano mieszankę paździerzy konopnych, szkła piankowego oraz wapna hydratyzowanego modyfikowanego cementem portlandzkim oraz pucolaną w postaci metakaolinitu. Proporcje objętościowe mieszanki wynosiły: spoiwo 24%, paździerze 36%, szkło piankowe 18%, woda 22%. Przy gęstości objętościowej równej 530 kg/m³, materiał charakteryzował się przewodnością cieplną równą 0,112 W/mK oraz 0,116 W/mK w zależności w zależności od zadanej temperatury po dwóch stronach próbki. Współczynnik przewodności cieplnej badano aparatem płytowym FOX300 na próbkach 250x250x50 mm, zadając średnią temperaturę pomiędzy płytami 12,5°C oraz 22,5°C. Wytrzymałość na ściskanie kompozytu wyniosła 1,18 MPa. Badania wykonano na próbkach 100x100x100 mm.

7. Podsumowanie

W chwili pisania artykułu, w warunkach polskich technologia ta nie była jeszcze rozpowszechniona. Główną przyczyną jest utrudniony dostęp do surowca w postaci paździerzki konopnych o jakości umożliwiającej wykorzystanie go w budownictwie. Trudności w dostępie wynikają z małych powierzchni upraw w skali kraju a także z deficytu linii technologicznych do obróbki słomy konopnej, wynikającego z ponad dwudziestoletniego przestoju w masowych uprawach konopi przemysłowych w Polsce.

Kompozyt wapienno-konopny jest alternatywą dla powszechniej stosowanych w Europie kostek słomy. Jego właściwości termoizolacyjne zapewniają spełnienie obecnych wymagań cieplnych stawianych ścianom zewnętrznym, przy zachowaniu odpowiedniej receptury i grubości ściany, jednak z reguły nie większej niż 400 mm. Właściwości kompozytu mogą być modyfikowane na etapie projektowania składu mieszanki oraz jej przygotowywania. Stosując jedną proporcję spoiwa do paździerzki można uzyskać również parametry za pomocą sposobu zagęszczania. Stosując różne proporcje spoiwa do wypełniacza możliwe jest również osiągnięcie pożądanej izolacyjności termicznej, odpowiedniej dla ścian, dachów oraz podłóg na gruncie. Istotny jest również fakt, iż przygotowanie mieszanki jak i również jej aplikacja w przegrodę są łatwe do wykonania samodzielnie, dzięki czemu możliwe jest obniżenie kosztów wykonawstwa budynku.

W Katedrze Budownictwa Ogólnego WBiA rozpoczęto szerokie badania mające na celu wykorzystanie odpadowych paździerzki do wykonywania ścian zewnętrznych i wewnętrznych w budownictwie, jako materiału kompozytowego spełniającego funkcję izolacji cieplnej wypełniającej drewniany szkielet.

Literatura

- 1 Fic S., Brzyski P., Szelaż M. *Composite based on foam lime mortar with flax fibers for use in the building industry*. Ecological and Chemistry Engineering A 7-8 (2013) 899-907.
- 2 Fic S., Brzyski P. *Badanie kompozytu opartego na lekkich wypełniaczach (len i perlit) do zastosowań w budownictwie jako materiał ścienny*. Przegląd Budowlany 2 (2015) 30-35.
- 3 Fic S., Brzyski P., Szewczak A., Hadam-Jarosz M. *Wybrane właściwości lekkich kompozytów na bazie wypełniaczy celulozowych do zastosowania w budownictwie ekologicznym*. Czasopismo Inżynierii Ładowej, Środowiska i Architektury JCEEA 62, 2/15 (2015) 61-70.
- 4 Stanwix W., Sparrow A. *The Hempcrete Book – Designing and building with hemp-lime*. Green Books, England, 2014.
- 5 Benfratello S., Capitano C., Peri G., Rizzo G., Scaccianocce G., Sorrentino G. *Thermal and structural properties of a hemp-lime biocomposite*. Construction and Building Materials 48 (2013) 745–754.
- 6 <http://limecrete.co.uk>
- 7 Bevan R., Woolley T. *Hemp Lime Construction: A Guide to Building with Hemp Lime Composites*, Bracknell, 2010.
- 8 Elfordy S., Lucas F., Tancret F., Scudeller Y., Goudet L. *Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“hempcrete”) manufactured by a projection process*. Construction and Building Materials 22/10 (2008) 2025-2152.
- 9 Collet F., Pretot S. *Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and water content*. Construction and Building Materials 65 (2014) 612–619

Characteristics of lime-hemp composite and its use in construction industry

Przemysław Brzyski, Stanisław Fic

*Department of General Building Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: p.brzyski@pollub.pl, s.fic@pollub.pl*

Abstract: One of the solutions for reducing energy consumption and carbon dioxide emissions in the construction sector is the use of building materials which have a favorable environmental impact. This is possible to achieve by using plant material, e.g., industrial hemp, which absorb large amounts of carbon dioxide during the growth. Instead of cement as a binder there are used alternatively clay or lime modified with industrial waste in the form of pozzolans. The paper presents the possibility of using industrial hemp in the production of composite based on modified hydrated lime. It describes the basic properties of the sample composites such as compressive strength and thermal conductivity based on literature review. The article describes the way of preparing the mixture and the possibility of using the composite for the construction of walls using different techniques.

Keywords: hemp shives, lime, strength, thermal conductivity

Towards global architecture. The project between technique and technology

Alberto De Capua

*Department of Architecture and Territory, Mediterranean University of Reggio Calabria,
e-mail: adecapua@unirc.it*

Abstract: Environment, ecosystem, greenhouse effect emissions, public health, energy, sustainable development. This is an incomplete list of elements that are part of our daily lives, which show today's human footprint responsibility over the health of the planet. Although these issues have been for decades on all policy statements on development the situation is not improving. Indeed, constantly, we are called to change our lifestyle and our models of well-being that are causing an exaggerated and increasing waste of energy and resources, along with the increase of the overall impact of human species on natural systems. I do believe the environment is a resource that has been exploited and neglected for too long, however I am also convinced that excessive (ab)use of certain terms, such as the concept of sustainability, has weakened its driving force and innovation. There is no doubt that the thematic areas related to the monitoring of environmental quality and sustainable development dominate the cultural and socio-economic scenery for the articulation program design and governance of the territory, but the risk we are running today is to flatten themes of 'environment only for propaganda or even worse for the market. The report is a reasoning on innovation, technology and the complexity that now accompanies any work of transformation and that should lead to a "possible future".

Keywords: Sustainability, Technology, Project, Environment

1. Introduction

In today's overheated planet, where oil and gas reserves are not endless and where environmental emergencies/catastrophes can be found on our daily news, considering environmental issues should be the path to follow, but this seems to have lost its innovative impulse and is often subject to more economic reasons or category battles rather than a genuine will to improve the human condition. Especially if we see innovation as a technology transfer which is not aiming to solve today's problems, but follows a strategic perspective in relation to future scenarios.

In the construction industry, not immune to this global trend, the right tracks to innovation today are safety and sustainability. While on the first theme, recent dramatic news reports are an alarm bell that requires more attention and a new approach, where the share of responsibilities must be crystal clear, on the second theme, the right path to change the way we build and follow consistent approaches with sustainability models, is still unclear.

For several decades, themes related to sustainability have prevailed strongly in any discussion regarding the development models that our socially stigmatized society, on the brink of collapse, should follow. A debate that divides the good from the bad, judging individual behaviours, when speaking of people, and political strategies when speaking of nations or major business groups.

Constant media warnings about the environmental impact, and the "ungrateful users" of the planet, are just as tiring and exhausting as the dramatic consequences we are inevitably going to face.

In fact, we cannot remain indifferent to what is happening, nor to the fact that these results were caused by incorrect models of development undertaken for more than half a century. It is truly shocking to see how signs of climate chaos are increasing, and far more obvious is the effect of extreme events which, together with uncontrolled human activities, increase the disasters our daily news is filled with.

Concerns for an immediate response are coming from all sides: as the economics Nobel prize Joseph Stiglitz drastically affirms "(...) if we do not find a way to limit environmental damage, to preserve energy and other natural resources, as well as to slow down the global warming, we are doomed to disaster (...), " and the illustrious Lester Brown that is already suggesting a "Plan B" for the environment, to reverse the trend; however, it seems to me that this represents at least two alarming facts:

- Plan "A" has already come to an end and probably hasn't produced the desired effects. We therefore expect, in a few decades, phases C, D, ...,
- There will be other "fashionable" recurrent terms yet to find in the near future, which international attention will surely be drawn to in the coming years, focusing on their meaning and most appropriate strategies to achieve their objectives.

In the past few years, there have been several suggestions on measures to take, unfortunately, too often unheard: Enzo Manzini wrote in 1997: "We are faced with a challenge: if we are to achieve sustainability, we need to increase the productivity of natural resources or dematerialize processes, products and services. "He hoped for a leapfrog - a quick step or a jump - to define the strategy to be pursued.

Or Hermann Daly, one of the founders of ecological economics, who suggested a recipe for a sustainable economy, also dismissed by the current economic model:

- Exploit renewable resources at a rate that does not exceed the regenerative capacity of the ecosystem.
- Limit the use of all resources, in order to produce a level of waste that can be absorbed by the ecosystem.
- Exploit the non-renewable resources at a pace that, as far as possible, does not exceed the pace of introduction of renewable substitutes.

However, these precautionary environmental strategies to increase eco-efficiency and reduce risks for humans and the environment, have never been so effective, and too often behind these actions is an economic growth intent rather than people's welfare.

2. Sustainable society

Contemporary culture conditioned by the greater technical and economic availability and greater independence from natural resources, has carried out transformation actions that a lot more destructive to the to the environment and do not meet urban quality standards nor the well-being of its inhabitants. The consequences of the changes have not produced, except for isolated cases, new ways of being, new development perspectives nor new fields for activities where one can apply creativity and social entrepreneurship.

Long-term strategies, that involve large investments and, despite their importance, have great difficulties to be implemented because they clash with the culture of the immediate that characterizes contemporary society, for this reason are often ignored.

After years of implementing the strategy for sustainable development it is now time to reflect on the progress made and how to carry out future strategies.

Significant improvements have been made in all priority areas: incentives for energy efficiency buildings; measures for the greening of transport systems; improving the energy efficiency of buildings, revisions to the Directives on eco-design and ecolabelling, as well as progress has been made in research and funding. However, negative trends persist in several areas including the increasing demand for natural resources, the huge amount of waste the construction industry produces and the increasing consumption of energy in transport.

While, on the one hand it's clear that the international community's objective is to pursue sustainable development particularly focusing on global warming, on the other hand the market is shaping up around numerous investment initiatives by major financial and industrial corporations whose key is environmental performance of production processes and renewable energy sources. This is somewhat contradictory because we might find ecological battles on the same side of the barricade against the model of globalization together with the great empires who advocate production and financial sustainability concepts, by promoting choices and behaviours, despite the fact that there is no real control over the well-being of the planet and its people.

CO₂ emissions have been increasing for years. At every summit, from Rio to Kyoto or Copenhagen, further ambitious goals are announced without any hope for concrete results. Indeed, we must have the courage to admit that we have actually made little progress so far. Edgar Morin, however, shows a wave of optimism: "If I were guided only by the light of reason, I should say that the world is moving towards the catastrophe that we are on the brink of the abyss. All the elements that we have under our eyes show us apocalyptic scenarios. But in the history of 'humanity there is the unexpected that changes the course of things. That's why, in the end, I am optimistic".

We develop some of our deepest social conflicts in the field of Globalization, and if properly managed, this phenomenon that can do a lot to improve the living conditions of both industrialized and developing countries. Although globalization critics are right to assert that it has been used as a tool to benefit certain values, nevertheless things can also change. Just as Stiglitz says, it's not written“ (...) in fact anywhere that globalization must be detrimental to the environment, increase social inequality, weaken cultural diversity and promote the interests of big corporations at the expense of the welfare of the common citizen. Today, the intellectual defense of the fundamentalism of the market has almost entirely disappeared.

According to Jeremy Rifkin the Third Industrial Revolution, which we are approaching, and the new era of "distributed capitalism" allow us to create a different approach to globalization, which this time focuses on the "continentalization from below", that allows us to acquire a "biosphere consciousness" and "global empathy" in time to prevent planetary collapse.

I do believe the environment is a resource that has been exploited and neglected for too long, however I am also convinced that excessive (ab)use of certain terms, such as the concept of sustainability, has weakened its driving force and innovation. There is no doubt that the thematic areas related to the monitoring of environmental quality and sustainable development dominate the cultural and socio-economic scenery for the articulation program design and governance of the territory, but the risk we are running today is to flatten themes of 'environment only for propaganda or even worse for the market. This is not meant to provoke nor to make a stand as those who always take the opposite side, yet it's a reasoning on innovation, technology and the complexity that now accompanies any work of transformation and that, without fear, should lead to a "possible future".

3. Sustainable building

Our goal is to understand what is the complex system of principles that animates today's sustainable architecture. If only those addressed to a greater care and protection of the health of users or the environment and that also applies to social and economic issues at a time when change is proposed as a cultural, social, ecological and economic need for the protection of future generations. However, often, there is too little of this behind sustainable design, other than the adoption of eco-gadgets and market benefits. In fact, whilst the policy keeps following uncertain paths, the market is running fast: in the last five years, private investment in renewable and energy efficiency have been multiplied by ten. But there still is a big gap between the voluntary commitment of the market and that of the governments.

Our society is dominated by science and technology, however we only partly use these today to help us solve problems. It should be the obvious path to follow, rather than, as some may think, the practice by which the technique proceeds with greater freedom and becomes a form of careless handling of in-depth knowledge of the processes on which it operates.

In the building sector, increasing technical complexity of the product; the introduction of new technologies, too often poorly integrated with a structurally innovative production scenario; the lack of knowledge of building materials behaviours in relation to external actions and time; the hard measuring of the polluting effects of production also within our own buildings, should not lead us to a lack of confidence in the complexity produced by science and technology.

This should not be confused with the "technological optimism thesis", supported by traditional economists, according to which humanity will always be able to replace a resource shortage and increase the productivity of all kinds of energy and raw materials. I believe, in fact, unlike the supporters of this view, that complexity should not only be adapted to follow technological innovation in its most traditional means, but further explore suitability of clean technologies (eco-technologies and bio-compatible materials).

Another misunderstanding is that the supporters of the existing "techno-centeredness" are accused of disenchant and little attention to the local context, often "drunk on unlimited growth."

Sustainable development must be the result of a synthesis between techno-scientific actions and socio-oriented policies based on a system of values.

Apart from slogans, the extremely difficult to manage existing complexity, cannot lead us into abandoning the idea that the new basic guidelines for architectural design, should take into consideration both the environmental impact and the effects on health and safety of its occupants. The need for greater scientific transparency is fundamental to avoid environmentalism dissolving into propaganda, rhetoric, or conformity. The environmental challenge issue is very complex because it involves different and complementary approaches and, above all, it must be handled by political instruments and international institutions. Therefore a more efficient technology and inter-disciplinary cooperation, are necessary conditions.

Today, technology, because of its nature and its trends, can play a central role in reducing the impact of production on the environment, although it remains the essence of its adaptation and transfer. As is the concern of high environmental impact of industrialization in developing countries, both in terms of environmental pollution, and depletion of non-renewable natural resources.

Sooner or later, the world will have to consider introducing some changes before another series of global disasters. However changes, with no rules, that are implemented

quickly in the wake of a crisis, aren't always the best way to reform the global economic system. The natural resource curse is not inevitable, but a matter of choice. The exploitation of natural resources, today, is an important part of globalization, and in some ways, as Stiglitz says, the failures of developing countries, that are rich in natural resources, represents the failures of globalization itself.

Thomas Friedman asserts that globalization and technology have flattened the world. Indeed, I believe, globalization has allowed, only in very rare cases, to reduce the gap between industrialized countries and so called emerging ones, hence not always enabling extraordinary opportunities for all. But this "flattening", which forces us to run faster and faster to keep up, has perhaps made our planet too small and too rapid to allow, each of us and society as a whole, to adapt permanently.

Architecture must focus on the inhabitant again, the citizen, in order to prevent seeing any proposed innovation as a solution to a specific problem, instead of a contribution to increasing the complexity of managing a space, a workplace, a city.

Initiating the right processes of technology to promote sustainable development means considering the technology not only as a set of tools, methods, techniques that allow us to implement changes in the physical world, bring it to an element of innovation and building value on being able to act human. Technology is also the engine to social innovation. Our goal should not be to control all the variables involved, but to reflect on the major indicators, on which sustainable quality achievement may depend on, within more traditional realization processes. Investigate new thematic areas, integrate existing ones with new specific requirements, combine the new indicators with the areas of application and the different levels of the project. Show designers the way to improve the environmental efficiency performance of the building and promote the use of adaptive technologies.

We should provide the designer with information about new needs to be met, leading the individual design choices towards awareness of natural balance, towards efficient transformation interventions, using technologies and tools to control the bioclimatic system. In these concepts, the term "efficiency" refers to the extent of the amount and frequency of exchanges at various levels of relationship between the physical and biological systems. Precise indicators are built-in the term; "*Of contextuality*", understood as the ability to recognize the place adjusting it and strengthening it, also in terms of resources supplied by the system; "*Adaptability*", meaning the ability of the system to adapt to environmental conditions (decide on technical and material options, technological innovation, experimentation, physical-technical contribution); "*Duration*", or ability to maintain/preserve in time; "*Deconstruction*", meaning the ability of the system to use, produce and recover resources.

References

- 1 Carson R., *Silent Spring*, Mariner Books, 1962.
- 2 Beck U. *Risk Society: Towards a New Modernity*, 1992, Sage Publication.
- 3 Bateson G., *Mind and Nature: A Necessary Unity*, Aug 2002, Hampton Press.
- 4 Davis M. *Dead cities and other tales*, The new Press, 2002.
- 5 Rifkin J. *The Hydrogen Economy*, J.P.Tarcher / Penguin, 2003.
- 6 Singer P. *One World: The Ethics of Globalization*, Yale University Press 2004.
- 7 Stiglitz J. *Making Globalization Work*, 2007 W.W. Norton & Company.

Wpływ liczby poprzecznic na rozkład naprężeń w przęsłach mostów niskowodnych

Artur Duchaczek

Katedra Inżynierii Systemów, Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki, e-mail: aduchczek@poczta.wp.pl

Streszczenie: Celem niniejszej pracy było określenie wpływu liczby poprzecznic na rozkład naprężeń w przęsłach mostów niskowodnych. W pracy przeanalizowano przęsło mostu jednokierunkowego o szerokości 4 metrów. W obliczeniach uwzględniono przęsło z 6, 7 i 8 dźwigarami oraz 3, 4, 5 i 6 rzędami poprzecznic. Przeprowadzone analizy numeryczne (MES) wykazały, że zarówno liczba dźwigarów, jak i liczba poprzecznic ma znaczący wpływ na rozkład naprężeń w głównych elementach konstrukcyjnych mostów niskowodnych.

Słowa kluczowe: mosty stalowe, metoda elementów skończonych, wytrzymałość materiału

1. Wprowadzenie

Jednym z zadań wykonywanym przez pododdziały inżynierskie wojska polskiego jest urządzenie i utrzymanie przepraw, co wiąże się również z budową i odbudową mostów [1]. Zgodnie z normą obronną [2] ze względu na rodzaj konstrukcji wyróżniamy mosty zmechanizowane (zwane też towarzyszącymi), pływające, składane, prowizoryczne i kombinowane. Uwzględniając natomiast położenie nawierzchni mostu względem lustra wody możemy wyróżnić mosty wysokowodne, niskowodne, nawodne i podwodne. Biorąc pod uwagę aktualne wyposażenie pododdziałów wojsk inżynierskich można stwierdzić, że w warunkach wojennych lub sytuacjach kryzysowych pododdziały wojskowe dość często będą budować mosty niskowodne. Są to obiekty inżynierskie przeznaczone przede wszystkim do krótkotrwałego użytkowania, które z zasady uniemożliwiają prowadzenie żeglugi, spływu kry lodowej oraz przepływu wysokiej wody. Mosty niskowodne często są traktowane jako obiekty tymczasowe, tzn. obiekty przewidziane do przeniesienia w inne miejsce lub do rozbiórki. Przykłady mostów wykonanych w ostatnim czasie przez pododdziały inżynierskie wojska polskiego zaprezentowano na rys. 1.

a)



b)



Rys. 1. Widok mostu niskowodnego wykonanego przez żołnierzy 3. Batalionu Inżynierskiego w miejscowości: a) Raba Wyżna [3], b) Kasina Wielka [4]

W literaturze obcojęzycznej mosty niskowodne wykonywane z kształtowników stalowych określane są m.in. jako „*military nonstandard fixed bridges*” [5], [6], natomiast w nomenklaturze cywilnej częściej występują pod nazwą „*low-water bridge*” [7].

W podręcznikach dotyczących projektowania wojskowych mostów niskowodnych [8], [9], [10], [11] obliczenia wytrzymałościowe przęseł ograniczają się przede wszystkim do prawidłowego dobrania liczby i przekroju poprzecznego dźwigarów głównych. W pracach tych, będących instrukcjami do stosowania w siłach zbrojnych, nie podano konkretnych wytycznych do projektowania liczby poprzecznic (tzw. rozpórek), które wraz z dźwigarami głównymi tworzą konstrukcję nośną. Wydaje się, że liczba poprzecznic oraz ich jakość montażu ma istotny wpływ na rozkład naprężeń w głównych elementach konstrukcyjnych tego typu mostów. Dlatego też celem niniejszej pracy jest określenie wpływu przyjętej konstrukcji nośnej mostów niskowodnych na rozkład naprężeń w ich głównych elementach konstrukcyjnych.

Konstrukcja przęseł mostów niskowodnych bardzo często nie różni się znacząco od konstrukcji mostów wysokowodnych, nawodnych, czy też podwodnych, dlatego też rozważania zaprezentowane w niniejszej pracy można uogólnić na wszystkie rodzaje mostów wykonanych z ogólnodostępnych kształtowników stalowych.

2. Konstrukcja mostu niskowodnego przyjęta do analiz numerycznych i jej obciążenie

Do najcięższego sprzętu gąsienicowego będącego na wyposażeniu wojska polskiego można zaliczyć z całą pewnością czołgi. W tabeli nr 1 zaprezentowano podstawowe parametry określające gabaryty sprzętu będącego obecnie oraz już wycofanego (T-55) z polskiej armii.

Tabela 1. Podstawowe parametry określające gabaryty czołgów [12]

LP.	Parametry	Nazwa czołgu				
		T-55	T-72	PT-91	Leonard 2A4	Leonard 2A5
1.	Długość kadłuba [m]	9,00	9,53	10,30	9,67	9,67
2.	Szerokość [m]	3,27	3,72	3,72	3,70	3,70
3.	Wysokość [m]	2,35	2,19	2,19	2,48	2,60
4.	Szerokość gąsienicy [m]	0,58	0,58	0,58	0,635	0,635
5.	Masa bojowa [t]	36,50	41,00	45,90	55,15	59,50

Z analizy danych zaprezentowanych w tabeli 1 wynika, że masa bojowa tych pojazdów mieści się między 36,50 ÷ 59,50 tony. Aby porównać te pojazdy do obciążenia klasy MLC używanego w krajach członkowskich NATO należy przeanalizować dane zawarte w tabeli 2 przedstawiające wybrane normowe pojazdy gąsienicowe według STANAG-u 2021 [13].

Tabela 2. Parametry charakteryzujące wybrane pojazdy gąsienicowe [13]

LP.	Parametry	Klasa MLC obciążenia gąsienicowego				
		30	40	50	60	70
1.	Długość przylegania gąsienicy [m]	3,35	3,66	3,96	4,27	4,57
2.	Szerokość gąsienicy [m]	0,46	0,56	0,66	0,71	0,79
3.	Szerokość pojazdu na wysokości gąsienic [m]	2,54	2,84	3,25	3,35	3,51
4.	Masa [t]	27,22	36,29	45,36	54,43	63,50

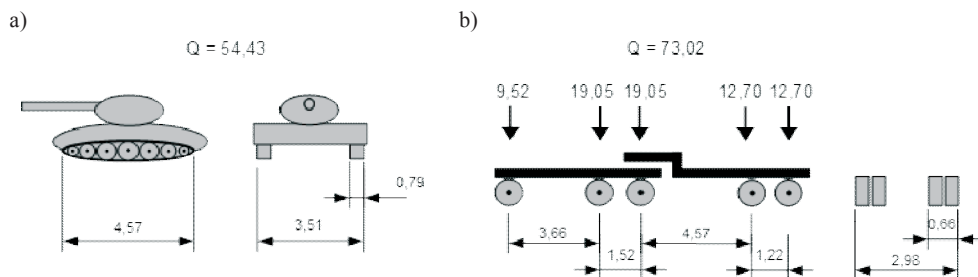
Analizując wartość masy bojowej pojazdów gaśnicowych (tabela 1) oraz masę pojazdów normowych (tabela 2) można stwierdzić, że pojazdy będące na wyposażeniu polskich sił zbrojnych mają zbliżone gabaryty do pojazdów klasy MLC40 ÷ MLC70.

Przeprawa tego typu pojazdów gaśnicowych po obiektach mostowych uregulowana jest również zapisami STANAG-u 2012, w którym określono minimalną wymaganą szerokość jezdni, po której mają się przeprawiać tej klasy pojazdy (tabela 3).

Tabela 3. Szerokość jezdni dla mostów w zależności od przewożonego obciążenia [13]

LP.	Klasa obciążenia MLC	Szerokość jezdni w [m] dla ruchu	
		w jednym kierunku	w dwóch kierunkach
1	4 – 12	2,75	5,50
2	13 – 30	3,35	5,50
3	31 – 70	4,00	7,30
4	71 – 100	4,50	8,20
5	powyżej 100	5,00	nie jest dozwolone

Uwzględniając fakt, że przeprawy ze względów zarówno militarnych, ale i konstrukcyjnych, lepiej wykonywać jako przejścia jednokierunkowe oraz biorąc pod uwagę występujące w polskiej armii pojazdy gaśnicowe (czołgi) wydaje się, że najczęściej wykonywanym obiektem mostowym w warunkach wojennych i sytuacjach kryzysowych będą mosty jednokierunkowe o szerokości 4,00 m. Z tego też względu do obliczeń numerycznych w dalszej części pracy przyjęto obciążenie klasy MLC70 (rys. 2), jako obciążenie maksymalnie dopuszczalne dla tej grupy konstrukcji mostowych (patrz tabela 3).

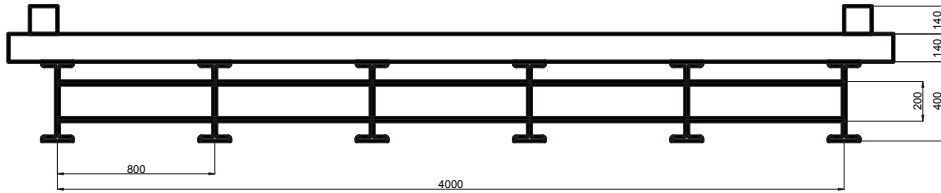


Rys. 2. Schemat obciążenia klasy MLC70: a) gaśnicowego (G), b) kołowego (K) [13] (masa w tonach, długości w metrach)

Zapisy STANAG-u 2021 w kwestii szerokości jezdni nie pokrywają się idealnie z zapisami polskich wytycznych prezentowanych w pracy [10], gdzie szerokość pasa ruchu dla mostu jednokierunkowego przewidziano jako równą 4,20 m, natomiast dla mostu dwukierunkowego 6,00 m. Podane szerokości pasa ruchu nie zależą zatem według pracy [10] od przemieszczającego się po nich obciążenia.

Za częstym stosowaniem pasa ruchu o szerokości 4,00 (ewentualnie 4,20) m, w tym przypadku przemawia również fakt istniejącego na wyposażeniu polskiej armii sprzętu wykorzystywanego do budowy mostów niskowodnych. Najbardziej rozpowszechnionym sprzętem jest urządzenie do bateryjnego wbijania podpór zainstalowane na blokach z parku PP-64 oraz zestaw do wbijania pali montowany na transporterze pływającym PTS-M [10]. Sprzęt ten umożliwia wbijanie podpór pod przęsła o szerokości jezdni 4,20 m.

Uwzględniając powyższe uwagi do dalszych analiz przyjęto przeszło 14 metrowe o szerokości jezdni równej 4,00 m, którego jeden z możliwych wariantów zaprezentowano na rys. 3.



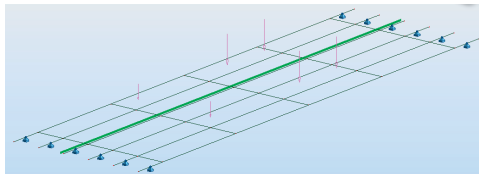
Rys. 3. Przekrój poprzeczny przęsła jednokierunkowego mostu niskowodnego (wymiary w [mm])

Aby dokonać analizy wpływu poprzecznic na wyężenie dźwigarów głównych mostów niskowodnych należy najpierw ustalić liczbę dźwigarów. Ustalając liczbę dźwigarów należy uwzględnić fakt, że nie może ich być zbyt mało, ponieważ wówczas zbyt duża odległość między nimi powodowałaby trudności z dobraniem wymiarów pokładu poprzecznego wykonywanego z drewnianych bali. Z drugiej zaś strony zbyt duża liczba dźwigarów powoduje wystąpienie dużej liczby poprzecznic co utrudnia i wydłuża czas trwania montażu takiej konstrukcji. Przyjmując, że dźwigary tego typu mostów powinny być wykonane z kształtowników o wysokości $300 \div 500$ mm, zaproponowano żeby w przypadku przęsła mostów niskowodnych o szerokości 4,00 m w analizach uwzględnić tylko przęsła o sześciu, siedmiu i ośmiu dźwigarach, co generuje odległości między poszczególnymi dźwigarami odpowiednio około 0,80, 0,67 i 0,57 m.

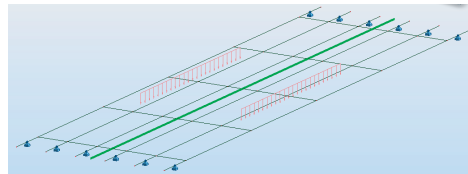
3. Modelowanie i obliczenia w programie Autodesk Robot

Przy wykorzystaniu 2-węzłowych prętowych elementów skończonych przęsło mostu niskowodnego zostało zamodelowane jako ruszt. W obliczeniach numerycznych wykorzystano zarówno pojazd kołowy, jak i gąsienicowy klasy MLC70 (rys. 2) uwzględniając je jako obciążenie symetryczne (K1 i G1) i niesymetryczne (K2 i G2) tzn. uwzględniając mimośród wynikający z różnicy szerokości jezdni i pojazdu. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe modele obliczeniowe przęsła mostu niskowodnego zarówno dla mimośrodowego obciążenia kołowego MLC70 (K2), jak i symetrycznego obciążenia gąsienicowego (G1). W pracy nie uwzględniono obciążeń środowiskowych, takich jak wiatr i śnieg.

a)



b)



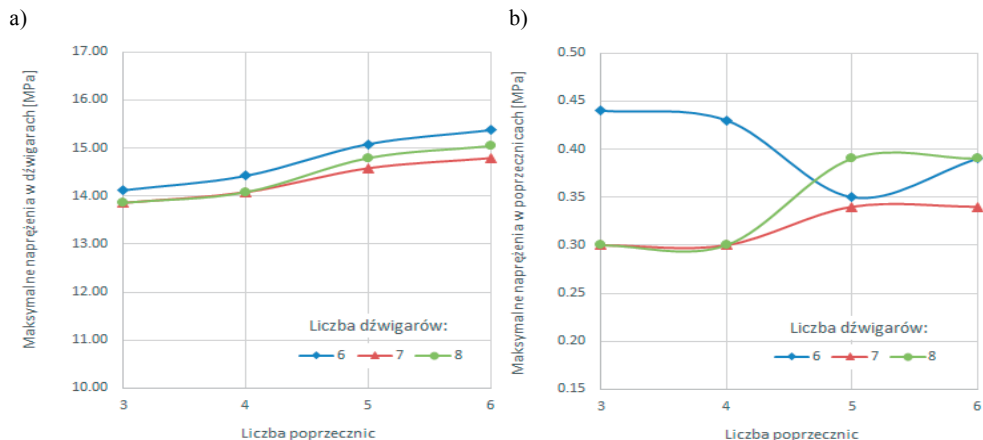
Rys. 4. Widok modelu obliczeniowego przęsła mostu niskowodnego przy obciążeniu: a) kołowym mimośrodowym (K2), b) gąsienicowym symetrycznym (G1)

W obliczeniach wytrzymałościowych wykorzystano opcję tzw. „obciążenia ruchomego”, w której określano parametry pojazdu oraz drogę jego przemieszczania się po analizowanej konstrukcji. Do konstrukcji prętowych typu ruszt można przykładać obciążenia pojazdem kołowym zdefiniowanym za pomocą sił skupionych lub pojazdem gąsienicowym zdefiniowanym jako obciążenie ciągłe. W przypadku sił skupionych przykładane są one jako tzw. „obciążenia prętowe”, tzn. użytkownik programu nie musi tworzyć dla nich dodatkowych węzłów. Przy czym jeżeli siła skupiona nie znajdowała się bezpośrednio nad prętem, wówczas stosowany był algorytm rozkładający ją na najbliższe pręty. W przypadku zaś obciążenia ciągłego musiało ono najpierw zostać zastąpione 10 siłami skupionymi na długości przyjętego obciążenia odpowiadającego długości przylegania gąsienicy [14].

Korzystając z opcji „obciążenia ruchomego” można uzyskać dodatkowe przypadki tego obciążenia oznaczone symbolami „+” i „-“, które określają wartości dla obwiedni odpowiednio górnej i dolnej. W niniejszych analizach uwzględniano tylko wartości naprężeń maksymalnych w dźwigarach głównych i poprzecznicach odczytywane z obwiedni górnej („+”) [14].

4. Analiza wyników obliczeń numerycznych

Uwzględniając jako obciążenie tylko ciężar własny użytych kształtowników stalowych należy stwierdzić, że bez względu na liczbę dźwigarów wraz ze wzrostem liczby poprzecznic rosną naprężenia w dźwigarach, co wynika ze wzrostu masy przęsła (rys. 5a). Dla przęseł z 7 i 8 dźwigarami stwierdzono, że wraz ze wzrostem liczby poprzecznic nieznacznie wzrastają naprężenia w samych poprzecznicach. Odwrotną sytuację stwierdzono natomiast w przęśle z 6 dźwigarami (rys. 5b).

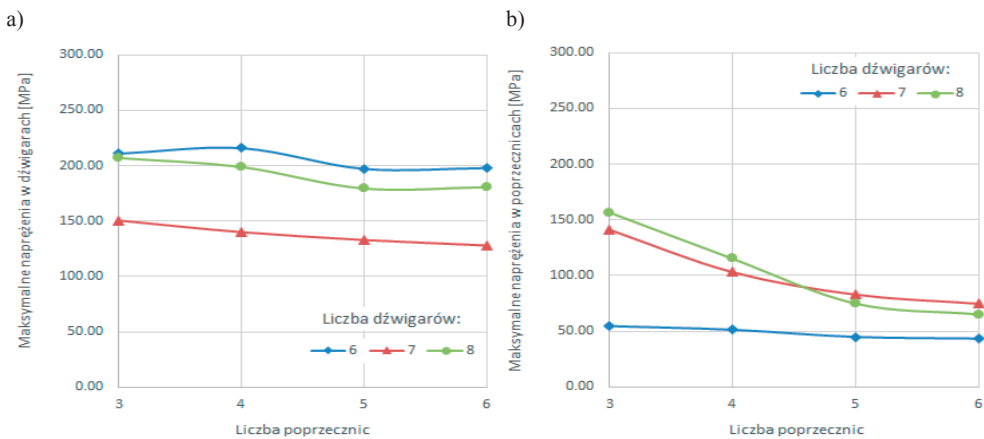


Rys. 5. Wartość maksymalnego naprężenia występującego w: a) dźwigarach, b) poprzecznicach, w zależności od liczby poprzecznic i dźwigarów w przęśle, przy obciążeniu ciężarem własnym konstrukcji

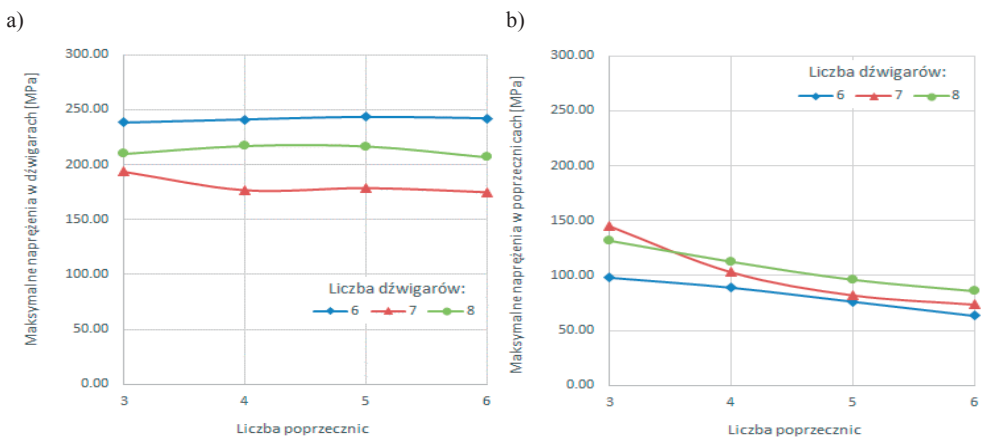
W przypadku uwzględnienia w obliczeniach obciążenia gąsienicowego ustawionego po środku przekroju poprzecznego przęsła (G1) stwierdzono, że generalnie wraz ze wzrostem liczby poprzecznic maleją naprężenia w dźwigarach głównych (rys. 6a), jak i w samych poprzecznicach (rys. 6b). Natomiast w przypadku uwzględnienia w obliczeniach obciążenia gąsienicowego ustawionego z maksymalnym mimośrodem (G2) nie można jednoznacznie

określić wpływu liczby poprzecznic na rozkład naprężenia w dźwigarach głównych (rys. 7a). W tym przypadku również stwierdzono, że wraz ze wzrostem liczby poprzecznic maleją w nich naprężenia (rys. 7b). Dla obu schematów obciążenia gąsienicowego (G1 i G2) można stwierdzić, że nieparzysta (7 sztuk) liczba dźwigarów wpływa korzystnie na wartość maksymalnych naprężeń w nich występujących (rys. 6a i 7a).

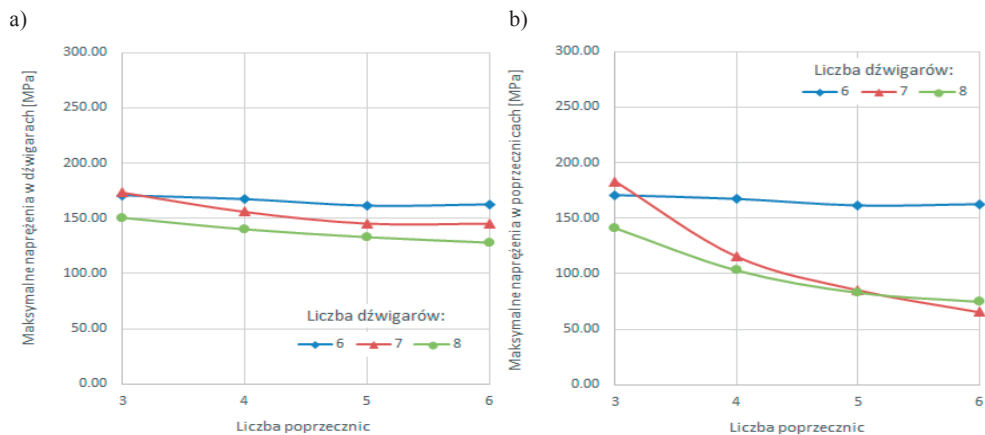
Podobne wnioski wyciągnięto analizując przypadek obliczeniowy gdzie wykorzystano obciążenie kołowe ustawione po środku przekroju poprzecznego przęsła (K1) (rys. 8), jak i z maksymalnym mimośrodem (K2) (rys. 9). Choć w tym przypadku nie stwierdzono korzystnego wpływu nieparzystej liczby dźwigarów (7 sztuk) na wartość naprężeń w nich występujących. Dla schematu K2 stwierdzono natomiast korzystny (choć nieznacznie tylko) wpływ czterech poprzecznic na wartość naprężenia w dźwigarach głównych (rys. 9a).



Rys. 6. Wartość maksymalnego naprężenia występującego w: a) dźwigarach, b) poprzecznicach, w zależności od liczby poprzecznic i dźwigarów w przęsle, przy uwzględnieniu obciążenia gąsienicowego rozmieszczonego symetrycznie (G1)

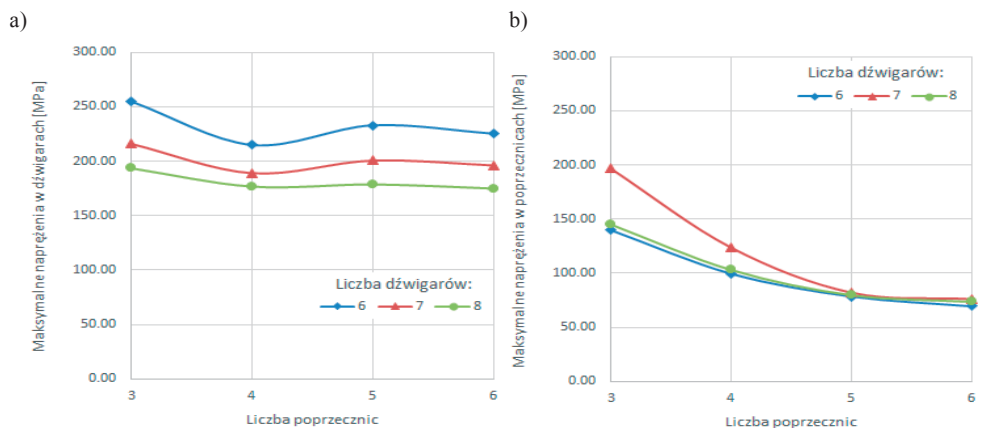


Rys. 7. Wartość maksymalnego naprężenia występującego w: a) dźwigarach, b) poprzecznicach, w zależności od liczby poprzecznic i dźwigarów w przęsle, przy uwzględnieniu mimośrodowego obciążenia gąsienicowego (G2)



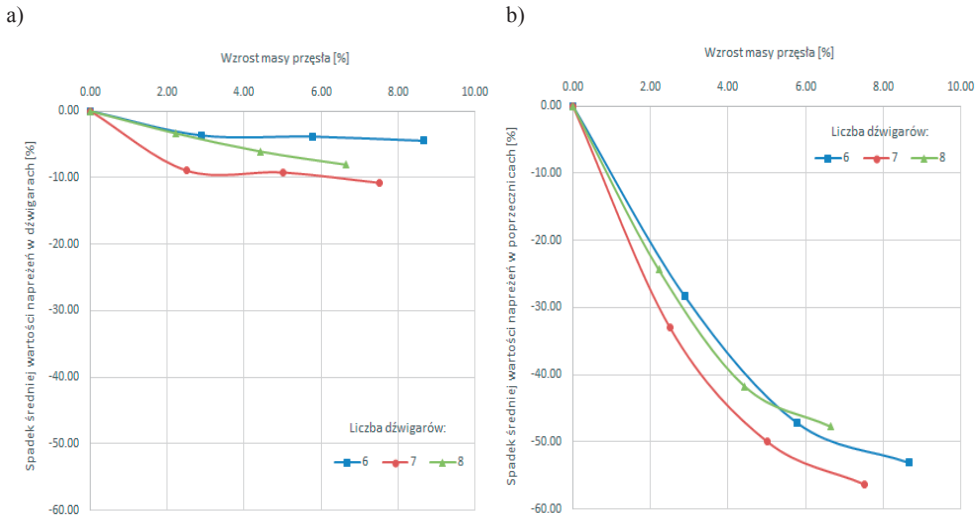
Rys. 8. Wartość maksymalnego naprężenia występującego w: a) dźwigarach, b) poprzecznicach, w zależności od liczby poprzecznic i dźwigarów w przęśle, przy uwzględnieniu obciążenia kołowego rozmieszczonego symetrycznie (K1)

Dla obu schematów obciążenia symetrycznego (G1 i K1) zaobserwowano fakt, że przy sześciu dźwigarach liczba poprzecznic nie wpływa znacząco na wartość maksymalnego naprężenia w poprzecznicach analizowanego przęsła (rys. 6b i 8b), choć wartości naprężeń uzyskane w obu przypadkach znacznie się od siebie różnią.



Rys. 9. Wartość maksymalnego naprężenia występującego w: a) dźwigarach, b) poprzecznicach, w zależności od liczby poprzecznic i dźwigarów w przęśle, przy uwzględnieniu mimośrodowego obciążenia kołowego (K2)

Zwiększając liczbę poprzecznic powodujemy wzrost masy przęsła, co wpływa niekorzystnie na koszty jego realizacji (koszt kształtowników stalowych). Na rys. 10 zaprezentowano wykresy przedstawiające procentowy spadek średniej wartości naprężeń w elementach konstrukcyjnych przęsła w zależności od procentowego wzrostu jego masy, podyktowanego zwiększającą się liczbą poprzecznic. Jako przęsło bazowe przyjęto przęsło z trzema poprzecznicami. Średnia wartość naprężeń w elementach konstrukcyjnych przęsła uwzględniała zarówno ciężar samej konstrukcji, jak i cztery warianty obciążenia (G1, G2, K1 i K2).



Rys. 10. Procentowy sadek średniej wartości naprężeń w dźwigarach (a) i przecznicach (b) przęsła w zależności od procentowego wzrostu jego masy podyktowanego zwiększającą się liczbą poprzecznic.

W analizowanym w pracy przykładzie wzrost liczby poprzecznic powyżej czterech w przypadku przęsła z parzystą liczbą dźwigarów nie wpływa znacząco na spadek średniej wartości naprężeń w tych dźwigarach (rys. 10a). Nie można już jednak takich wniosków wyciągnąć w stosunku do przęsła z 7 dźwigarami. Również analiza danych zaprezentowanych na rys. 10b uniemożliwia jednoznaczne stwierdzenie, w którym momencie wzrost liczby poprzecznic, powodujący zmniejszenie panujących w nich naprężeń, przestaje być opłacalny ze względów ekonomicznych.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone w pracy analizy wykazały, że zarówno liczba dźwigarów jak i liczba poprzecznic ma znaczący wpływ na rozkład naprężeń w głównych elementach konstrukcyjnych mostów niskowodnych. Oznacza to, że pomijanie liczby poprzecznic w procesie doboru dźwigarów mostów niskowodnych jest znacznym błędem i powinno zostać uwzględnione w aktualnie obowiązującym podręczniku przeznaczonym do projektowania mostów wojskowych [10].

Stosowanie przęsła mostowych z jezdnią szerszą od minimalnej określonej w tabeli 3 lub pojazdów węższych niż określone w tabeli 2 niesie za sobą niekorzystne skutki związane z ewentualnym wystąpieniem przeciążenia skrajnych dźwigarów. Zwiększenie różnicy między szerokością jezdni i pojazdu powoduje zwiększenie wartości mimośrod, która przekłada się bezpośrednio na zwiększenie wartości współczynnika poprzecznego ustawienia K_{pu} stosowanego w obliczeniach wytrzymałościowych dźwigarów głównych mostów niskowodnych [10]. Uwzględniając powyższy fakt należy zdawać sobie sprawę, że wnioski zaprezentowane w niniejszej pracy w przypadku uwzględniania w obliczeniach numerycznych rzeczywistych obciążeń (tabela 1) mogą się nieznacznie różnić.

W niniejszym artykule nie dokonano analizy stateczności konstrukcji nośnej przęsła mostów niskowodnych gdyż będzie ona tematem kolejnej publikacji.

Analizy zawarte w niniejszej pracy są efektem badań wykonanych w Wyższej Szkole Oficerskiej Wojsk Łądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki w ramach pracy pt. „Wpływ stężeń poprzecznych na trwałość dźwigarów mostów niskowodnych” realizowanej w ramach działalności statutowej.

Literatura

- 1 Regulamin działań wojsk inżynieryjnych wojsk lądowych (tymczasowy). Dowództwo Wojsk Łądowych, Warszawa 2011.
- 2 NO-54-A200. *Mosty wojskowe. Terminologia. Klasyfikacja. Wymagania.*
- 3 Uroczyste otwarcie mostu w Skawie, http://www.2pinz.wp.mil.pl/pl/59_53.html, online: 16.11.2014 r.
- 4 Uroczyste otwarcie mostu w Kasinie Wielkiej, http://www.2pinz.wp.mil.pl/pl/59_67.html, online: 16.11.2014 r.
- 5 Army U. S., *Military Nonstandard Fixed Bridging*. FM5-446, Washington, DC, 1991.
- 6 Ray J.C.; Seda-Sanabria Y., *Technical Commentary on FM3-34.343, "Military Nonstandard Fixed Bridging"*. Engineer Research and Development Center Vicksburg ms Geotechnical and Structures LAB, 2002.
- 7 McDonald T., Anderson-Wilk M., *Low Water Stream Crossings in Iowa. A Selection and Design Guide*. Iowa State University, 2003.
- 8 *Budowa i utrzymanie wojskowych mostów niskowodnych*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Szefostwo Wojsk Inżynieryjnych, Sygnatura Inż. 235/1968, Warszawa, 1969.
- 9 *Ustalanie nośności mostów za pomocą nomogramów*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Ministerstwo Obrony Narodowej, Sygnatura Inż. 217/1967, Warszawa, 1967.
- 10 *Mosty wojskowe*. Podręcznik, Ministerstwo Obrony Narodowej, Szefostwo Wojsk Inżynieryjnych, Sygnatura Inż. 563/92, Warszawa, 1994.
- 11 *Most pozorny opis i użytkowanie*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Szefostwo Wojsk Inżynieryjnych, Sygnatura Inż. 456/1980, Warszawa, 1981.
- 12 http://pl.wikipedia.org/wiki/Czo%C5%82gi_Wojska_Polskiego, online: 19.02.2015 r.
- 13 Stanag 2021. *Military Load Classification of Bridges*. Edition no. 6. 7 September 2006.
- 14 Autodesk Robot Structural Analysis 2010. Podręcznik Użytkownika. Autodesk Inc., Marzec 2009.

The influence of number of the transverse connection on the distribution of stresses in the low-water bridge spans

Artur Duchaczek

Department of System Engineering, Faculty of Management, General Tadeusz Kosciuszko Military Academy of Land Forces, e-mail: aduchaczek@poczta.wp.pl

Abstract: The aim of this study was to determine the influence of the transverse connections on the distribution of stresses in the span of low-water bridges. The paper analyzes one-way span bridge with a width of 4 meters. The calculations included a span of 6, 7 and 8 beams, and 3, 4, 5 and 6 rows transverse connections. The analyzes showed that both the number of beams and the number of the transverse connections has a significant impact on the distribution of stresses in the major construction elements of low-water bridges.

Keywords: steel bridges, finite element method, strength of the material

Rola architektury w codziennym funkcjonowaniu osób niepełnosprawnych ze szczególnym uwzględnieniem osób niewidomych i niedowidzących

Piotr Gleń, Aleksandra Jarocka-Mikrut

*Samodzielna Pracownia Architektoniczna, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: p.glen@pollub.pl, a.jarocka@pollub.pl*

Streszczenie: Niniejszy artykuł ma na celu poruszenie problemu przeszkód i niedogodności, na jakie narażone są osoby niepełnosprawne (w tym z ograniczoną możliwością poruszania się, starsze, niesłyszące, niedowidzące i niewidome). Celem jest zwrócenie uwagi na rolę jaką odgrywa projektant, zarówno architekt jak i twórca przedmiotów użytkowych w kształtowaniu przestrzeni wpływających na komfort współżycia w społeczeństwie osób o pełnej sprawności fizycznej i niepełnosprawnych. Potrzeba edukacji i propagowania większej świadomości w zakresie owych „*dysfunkcji*” winna być rozwijana za pomocą miejsc w których osoba pełnosprawna ma możliwość zmierzenia się z codziennymi barierami osoby niepełnosprawnej. Ważnym aspektem jest kształtowanie świadomości architekta w dziedzinie projektowania uniwersalnego już na etapie studiów. Większą uwagę należałoby skupić na projektowaniu przedmiotów codziennego użytku pod kątem osoby niepełnosprawnej tak aby nie musieć zmieniać ich później w sposób sztuczny. Artykuł skupia się na problemach oraz pozytywnych przykładach rozwiązań w procesie kształtowania architektury dostosowanej dla potrzeb takich osób. Celem jest również analiza urbanistycznych rozwiązań mogących sprzyjać ich funkcjonowaniu w codziennym życiu. Przedstawione są również przez autorów przykłady rozwiązań architektonicznych i urbanistycznych zarówno z Polski jak również świata. Ukazują również znaczenie oraz wkład architekta w kreowaniu przestrzeni prywatnych oraz publicznych, które otaczają nas na co dzień.

Słowa kluczowe: niepełnosprawność, przedmioty użytkowe, projektowanie uniwersalne

1. Wprowadzenie

Nie istnieje definicja niepełnosprawności, która by jednoznacznie określała i precyzowała stan zdrowotny kwalifikujący się do określenia danej osoby mianem niepełnosprawnej. Coraz częściej jednak w mediach można natrafić na informacje odnośnie takich właśnie osób. Świadomość społeczeństwa na temat obecności osób o różnego rodzaju ułomnościach fizycznych czy psychicznych zwiększa się z roku na rok. Osoby niepełnosprawne są wśród nas od zawsze. Na pewno, każdy z nas chociaż raz spotkał się z graficznym symbolem, który już chyba na stałe został przypisanym do słowa *niepełnosprawność* (Rys. 1.). Coraz bardziej zwiększa się świadomość obecności w społeczeństwie osób niepełnosprawnych. Mówimy tutaj zarówno o osobach z problemami natury fizycznej, poruszający się na wózkach inwalidzkich czy też o kulach, ale również o osobach starszych którzy często posiadają problemy ze sprawnym poruszaniem się w społeczeństwie. Dopiero od niedawna ułomność tychże ludzi została dostrzeżona jako coś co wcale nie powinno ich

ograniczać. Zaczęto pomagać im w przełamywaniu barier a szerszemu gronu uzmysławiać, iż człowiek z pewnymi ułomnościami nie powinien być wyjęty ze społeczeństwa. Stereotypowe myślenie o osobach z dysfunkcjami ruchowymi, słuchu czy wzroku sprawiły iż potencjalni pracodawcy postrzegają je jako osoby gorzej wykonujące swoje obowiązki. Ograniczeniami nie są natomiast te obowiązki którym mieliby poddać tacy pracownicy lecz środowisko, które nie jest przystosowane do ich poziomu sprawności fizycznej. World Health Organization (WHO), czyli Światowa Organizacja Zdrowia, która działa w ramach ONZ wyróżnia wynikające z siebie na wzajem zagrożnienia dotyczące niepełnosprawności człowieka na:

1. *Niesprawność* utratę sprawności organizmu zarówno pod względem fizycznym jak i psychicznym;
2. Niepełnosprawność nie pozwalającą na prowadzenie aktywnego trybu życia uznawanego za typowe dla przeciętnego człowieka;

Wszelkiego rodzaju *ograniczenia lub elementy całkowicie uniemożliwiające pełnienie funkcji społecznych* wynikająca zarówno z niesprawności jak również z niepełnosprawności [1].



Rys. 1. Graficzne oznaczenie miejsca przeznaczonego dla osoby niepełnosprawnej. (opracowanie: autor)

Przynależność Polski do Unii Europejskiej sprawiła iż standardy w niej panujące coraz silniej oddziałują na postrzeganie osób niepełnosprawnych w naszym społeczeństwie. Tym samym przekłada się to na dostosowywanie przestrzeni publicznych, półpublicznych czy półprywatnych pod takie właśnie osoby. Niepełnosprawność według ustawy z dnia 27 sierpnia 1997 r. o rehabilitacji zdrowotnej oznacza „...trwałą lub okresową niezdolność do wypełniania ról społecznych z powodu stałego lub długotrwałego naruszenia sprawności organizmu w szczególności powodującą niezdolność do pracy...” [2]. Według tej definicji osobą niepełnosprawną jest osoba, której ułomność fizyczna lub psychofizyczna powoduje jej niezdolność do pracy. Należy postawić więc pytanie czy i w jakim stopniu niesprawność stawia bariery do codziennego funkcjonowania w społeczeństwie.

2. Niepełnosprawność a projektowanie

Według Lucjana Kamionki architekt winien być kreatorem i koordynatorem procesu projektowania a jego rolą jest zapewnienie harmonii pomiędzy formą a treścią tworzonych przez niego budowli. Jak słusznie zauważa architekt pomimo złożonego z tak wielu czynników i skomplikowanego procesu projektowego powinien umieć nie tylko koordynować i pogodzić ze sobą owe aspekty ale przede wszystkim zawsze stać po stronie użytkownika przestrzeni przez niego tworzonej [3]. Należy więc pamiętać iż podstawowym zadaniem architekta w kreowanej przez niego przestrzeni jest tworzenie jej w sposób przyjazny dla odbiorcy. Jeżeli mówimy o odbiorcy należy pamiętać iż nie zawsze jest to człowiek sprawnie poruszający się w otaczającym nas świecie ale równie dobrze i coraz częściej są to osoby niepełnosprawne.

Obecnie w świecie architektonicznym pewnym standardem stało się tzw. projektowanie uniwersalne czyli projektowanie obiektów z myślą o użytkowaniu ich np. przez osoby sprawne fizycznie ale jednocześnie przez takie, które z tak rozumianą sprawnością mają problemy. Mowa tutaj o osobach poruszających się np. na wózkach inwalidzkich, niewidomych niedowidzących czy zwyczajnie osobach starszych, które również mogą być ograniczone fizycznymi ułomnościami. Niemal każdy nowoprojektowany obiekt usługowy czy też obiekt użyteczności publicznej posiada na swoim wyposażeniu łazienkę przeznaczoną dla osoby poruszającej się na wózku. Producenci wyposażenia do łazienek jak również producenci mebli mają już w swoim asortymencie różną gamę wyrobów swoimi wymiarami przygotowanymi dla osób z dysfunkcjami fizycznymi. Dotyczy to projektowania nowych obiektów, oraz adaptowania już istniejących pod nowe funkcje wymagające przebywania w nich osób o ograniczonej możliwości ruchowej. Przykładem takiego obiektu może być budynek Spichlerza w miejscowości Gardzienice w województwie lubelskim zaadoptowanego na jedną ze scen dla *Ośrodka Praktyk Teatralnych Gardzienice* wyposażonego w zewnętrzną przeszkloną winę doskonale współgrającą z zastaną architekturą (Rys. 2.). Nie można rozumieć odbiorcy architektury jako tylko i wyłącznie zdrowej i sprawnej fizycznie osoby. Rolą architekta w procesie projektowym jest przede wszystkim stworzenie jak najdogodniejszych warunków do użytkowania projektowanej przez niego przestrzeni. Ważnym zatem jest projektowanie obiektów dla jak największej ilości grup odbiorców. Tyczy się to również tworzenia przez architekta przestrzeni otaczających osoby z pewnymi dysfunkcjami nie pozwalającymi im w swobodny sposób korzystać z tych właśnie miejsc.



Rys. 2. Budynek Spichlerza w miejscowości Gardzienice. (zdjęcie: autor)

Świadomość architekta na temat projektowania bez barier czy też projektowania uniwersalnego kształtowana jest już obecnie na etapie studiów na kierunkach projektowych. Niemal każda uczelnia wyższa posiada w swoim repertuarze przedmioty projektowe dotyczące osób niepełnosprawnych. Dobrym przykładem może być tutaj kierunek Architektury na Politechnice Lubelskiej w której to murach studenci przygotowują się do projektowania uniwersalnego nie tylko w sposób teoretyczny ale również praktyczny. W ramach zajęć z przedmiotów dotyczących projektowania dla osób niepełnosprawnych młodzi architekci poznają ergonomię człowieka z dysfunkcjami fizycznymi, uczą się projektować przestrzeń dla takich osób a także adaptować już istniejące obiekty pod tym kątem. Skupiają się nie tylko na analizowaniu ale również poprzez praktyczne wcielanie się

w osoby niewidome, głuche czy poruszające się na wózkach inwalidzkich osobiście doświadczają różnic i problemów z jakimi na co dzień się one borykają. Dzięki tym właśnie ćwiczeniom młodzi architekci w lepszy sposób poprzez dokładniejsze wczucie się w niepełnosprawność mogą zaprojektować otaczającą nas przestrzeń. Sama bowiem znajomość przez projektanta sztuki budowlanej nie pozwoli mu na dobre projektowanie. Architekt powinien za każdym razem wzuwać się w odbiorcę. Budowanie zatem świadomości młodego projektanta na temat obecności w życiu osób nie sprawnych fizycznie jest niezwykle ważnym aspektem w ich późniejszej pracy zawodowej. Projektowanie uniwersalne, projektowanie dla osób niepełnosprawnych czy projektowanie bez barier to tylko niektóre hasła jakie towarzyszą studentom architektury na całym świecie. Dzięki członkostwu Polski w Unii Europejskiej również u nas stało się to swoistym standardem. Świat staje się coraz bardziej przyjazny ludziom z ułomnościami, które to jeszcze do nie dawna musiały głośno walczyć o swoją równość, przynależność do świata i codziennego funkcjonowania w nim na równych prawach co osoby w ogólnym rozumieniu zdrowe.

3. Niewidomi w grupie niepełnosprawnych

Myśląc o przykładowej osobie niepełnosprawnej przed oczami staje nam obraz człowieka poruszającego się na wózku inwalidzkim dla którego podstawowe elementy życia codziennego stają się niekiedy barierą nie do pokonania. Ale niepełnosprawność to nie tylko ludzie na wózkach. Są to również ludzie starsi, schorowani, ludzie poruszający się o kulach, niesłyszący czy na przykład ludzie niewidomi. To właśnie na tej ostatniej grupie pragną skupić się autorzy niniejszego tekstu. Nie można zapominać o problemach związanych z osobami z dysfunkcją wzrokową. Słowo najczęściej używane opisujące osobę posiadającą problemy z percepcją wzrokową to „*niewidomy*”. Można zastąpić je również stwierdzeniem „*bez wzroku*” [4]. Osoby niewidzące lub niedowidzące to grupa osób w pewien sposób wyróżniająca się ze zbioru osób niepełnosprawnych. To samo tyczy się miejsc przeznaczonych dla tego typu użytkowników. Struktura przestrzeni, które przeznaczone są dla ludzi z dysfunkcją wzrokową powinna być starannie przemyślana pod względem projektowanej formy czy materiałów z których zostaje ona wykonana. Zarówno niewidomi jak i niedowidzący odbierają otoczenie nie za pomocą wzroku lecz za pomocą pozostałych zmysłów a w szczególności zmysłu dotyku. Należy więc zapewnić takim użytkownikom jak najłatwiejszy sposób odbioru przestrzeni w której się poruszają. Grażyna Magnuszewska-Otulak w publikacji na temat osób niepełnosprawnych opisuje bariery jakie stają na drodze tychże ludzi ale również jakie one sami sobie stawiają. Poza zrozumieniem i akceptacją społeczeństwa ważny jest także aspekt samoakceptacji. Autorka zauważa iż obecny system bardzo dobrze wspiera osoby niepełnosprawne [5].

4. Wizualizacja architektury dla niewidomych

Odbiór architektury w sposób przyjęty dla zwykłego użytkownika przez osoby o zaburzonej percepcji wzrokowej jest niewątpliwie bardzo utrudniony. Jednak jak zauważa Agnieszka Kłopotowska autorka artykułu dotyczącego przyjaznych przestrzeni dla osób niewidomych i ociemniałych architektura nie tylko może ale i powinna stawać się elementem rehabilitacji tychże osób [6]. Celem rehabilitacji ludzi z wadami wzroku jest nauka prawidłowego i swobodnego funkcjonowania ich w społeczeństwie. Jeżeli weźmiemy pod uwagę aspekt architektoniczny to głównym celem architekta jest stworzenie przestrzeni na tyle przyjaznych dla ociemniałych aby mogły stawać się czynnikiem

pomagającym w ich rehabilitacji i przywracaniu lub w pewnych przypadkach wprowadzaniu do społeczeństwa.

Postęp cywilizacyjny jest tutaj sprzymierzeńcem dla projektanta. Dzięki coraz większej liczbie nowinek technologicznych. Do pokonania wysokości kondygnacji która kiedyś była barierą nie do przebrnięcia dla osoby na wózku służyć może obecnie winda, platforma schodowa czy zwykła pochylnia. Świat powoli staje się coraz bardziej świadomy obecności i przynależności do społeczeństwa osób niepełnosprawnych.

Jak zauważa Agnieszka Kłopotowska w swoim artykule zatytułowanym „*Niewidzialna Architektura*” otaczający nas świat tworzony jest dla osób widzących [7]. Postrzeganie przestrzeni dla osoby niewidomej jest niezwykle trudne. Oknem na świat zewnętrzny dla zdrowego fizycznie człowieka jest niewątpliwie wzrok. Często zapominamy jak ważnym dla nas jest on zmysłem przechodząc do korzystania z niego do porządku dziennego. Jednak są ludzie pozbawieni tego zmysłu dla których tym *oknem na świat* staje się wówczas zmysł dotyku. W przyrodzie naturalnym jest po utraceniu jednego zmysłu zastępowanie go innym. To samo dzieje się w przypadku ludzi ociemniałych. Przełomem dla osób niewidomych stał się alfabet Braille'a. To właśnie dzięki temu alfabetowi możliwe stało się np. przeczytanie książki czy gazety przez osobę niewidzącą. Takim „*alfabetem Braille'a*”, który powinien stosować architekt jest odbiór przestrzeni za pomocą innych zmysłów niż wzrok. Służą temu m.in. ścieżki dla niewidomych stosowane w celu wskazywania osobie używającej laski bezpiecznego i głównego traktu komunikacyjnego. Wykorzystuje się również specjalne wypukłości w podłożu mające na celu zasygnalizowanie użytkownikowi iż zbliża się on do ważnego lub niebezpiecznego miejsca w którym zachować powinien szczególną uwagę. W przypadku osób niedowidzących używa się również jaskrawych elementów sygnalizujących np. koniec drogi lub początek biegu schodów.

5. Podsumowanie

Podsumowując niniejsze rozważania na temat obecności osób niesprawnych, niedowidzących, niewidomych czy osób z innymi schorzeniami nie pozwalającymi im funkcjonować w sposób przyjęty za normalny dla zdrowego niewątpliwie człowieka potrzebna jest świadomość takich osób wśród nas. Projektując architekt powinien stawiać sobie za standard projektowanie uniwersalne, projektowanie bez barier. Tworząc nowe przestrzenie należy kierować się świadomością iż korzystać z nich będą zarówno osoby o pełnej sprawności fizycznej jak również te u których ta sprawność jest ograniczona. Nie zapominajmy iż odbiór architektury nie zawsze odbywa się przy pomocy zmysłu wzroku. O ile bardziej interesująca staje się przestrzeń przy której wykorzystać można więcej zmysłów niż tylko jeden. Architektura staje się swoistym mostem pomiędzy światami różnych zmysłów przenikającymi się. Dzięki temu doznania towarzyszące takiej właśnie architekturze są znacznie bardziej spotęgowane. Jednocześnie możliwy jest jej odbiór przez osoby pozbawione niektórych zmysłów a w kontekście niniejszego artykułu poprzez osoby niewidome lub niedowidzące.

Literatura

- 1 Źródło internetowe: www.who.int/en/, (02.12.2014)
- 2 Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 11 maja 2011 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o rehabilitacji zawodowej i społecznej oraz zatrudnianiu osób niepełnosprawnych (Dz.U. 2011 nr 127 poz. 721)

- 3 Kamionka L., *Architekt jako kreator i koordynator procesu projektowania architektury zrównoważonej – synergia projektowa*, Czasopismo Techniczne z. 15. Architektura z. 7-A2, s.156
- 4 Walter Natalia, *Nowe media dla niewidomych i słabowidzących*, Wydawnictwo Naukowe Poznań 2007, s. 18
- 5 Magnuszewska-Otulak G., *Bariery aktywności zawodowej osób niepełnosprawnych (w:) Osoby niepełnosprawne szanse i zagrożenia godnego funkcjonowania w nowoczesnym społeczeństwie*, pod redakcją Joanny Plak, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Pedagogicznej TWP w Warszawie, Warszawa 2011,
- 6 Kłopotowska A., *Przestrzeń do nauki przestrzeni. Sztuka projektowania przyjaznego osobom niewidomym i ociemniałym*. Czasopismo Techniczne. Architektura, z. 7-A2, Kraków 2010, s.168
- 7 Kłopotowska A., *Niewidzialna architektura - status piękna w pozawzrokowej percepcji przestrzeni architektonicznej*. Czasopismo Techniczne. Architektura, z. 6-A/2007, Kraków 2007, s. 269-269

Architecture in daily functioning of disabled people with special emphasis

Piotr Gleń, Aleksandra Jarocka-Mikrut

*Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin, Poland, Lublin University of Technology,
Nadbystrzycka Str. 40, 20-618 Lublin., e-mail: p.glen@pollub.pl, a.jarocka@pollub.pl*

Abstract: This article aims to stir the problem of obstacles and inconveniences faced by people with disabilities (including with reduced mobility, elderly, deaf, visually impaired and blind). The aim is to draw attention to the role played by the designer, both the architect and creator of utilitarian objects in shaping the impact on the comfort of living together in society of people with a complete physical and disabled. The need for education and promote greater awareness of these "dysfunctions" should be developed through places where non-disabled person is able to face the everyday barriers disabled person. An important aspect is to create awareness architect in the field of universal design at the stage of studies. More attention should focus on the design of everyday objects for the disabled so as not to have to change them later by artificial means. The article focuses on the problems and the positive examples of solutions in the process of shaping the architecture tailored to the needs of such people. The aim is also analysis of urban solutions that favor their functioning in everyday life. The authors are also examples of architectural and urban planning from both the Polish and the world. They show the importance and contribution of the architect in creating private and public spaces that surround us every day.

Key words: disability, everyday objects, universal design.

Wskaźnik zmian przepuszczalności gruntów słabonośnych

Marzena Jaromińska

*Zakład Geotechniki i Budownictwa Drogowego, Instytut Budownictwa,
Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski,
e-mail: marzena.jarominska@gmail.com*

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki analiz tendencji zmian przepuszczalności gruntów organicznych pod obciążeniem. Analizie poddano 10 próbek torfów oraz gytii pochodzących z terenu województwa warmińsko-mazurskiego. Opisano metodykę badań i przeanalizowano zależność $e - \log k$ przy pięciu stopniach obciążenia. Do analiz wykorzystano wyniki wieloletnich badań gruntów organicznych prowadzonych w laboratorium Zakładu Geotechniki i Budownictwa Drogowego na UWM w Olsztynie. W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono duży rozrzut wartości wskaźnika zmian przepuszczalności w zależności od rodzaju gruntu i stopnia obciążenia. Takie wyniki sugerują, poza błędami pomiarowymi, bardzo duży wpływ mikrostruktury gruntów organicznych na wartość współczynnika filtracji, a tym samym i tendencje zmian tego parametru w procesie konsolidacji. Dokładne rozpoznanie zależności współczynnika filtracji k od wskaźnika porowatości e oraz znajomość tendencji zmian przepuszczalności gruntu wraz ze zmianą wskaźnika porowatości lub porowatości pozwoli przewidywać wartość współczynnika filtracji k przy różnych wartościach osiadań, umożliwi określenie przepuszczalności na podstawie jego parametrów początkowych.

Słowa kluczowe: grunty organiczne, współczynnik filtracji, wskaźnik zmian przepuszczalności

1. Wprowadzenie

Rozwój miast wymusza poszerzanie ich granic, a tym samym, niejednokrotnie konieczność wkraczania na tereny o niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych. Obszary występowania gruntów słabonośnych coraz częściej są uwzględniane w procesie projektowania inwestycji budowlanych. Dzięki bardzo dużej dynamice rozwoju nauk technicznych, w tym geotechniki i geoinżynierii, już na etapie projektowania możemy zdecydować o sposobie stabilizacji i wzmocnienia gruntów słabonośnych. W konsekwencji jednak, musimy bardzo dokładnie poznać parametry słabego podłoża.

Grunty organiczne, takie jak torf czy różnego rodzaju gytie cechują bardzo niekorzystne parametry geotechniczne. Wykazują one duże zróżnicowanie cech fizyko-mechanicznych, zależnych od ilości i rodzaju części organicznych oraz mineralnych. Są bardzo ściśliwe, mało nośne, mają niską gęstość objętościową, szkielet gruntowy składa się z części mineralnych i organicznych a pory wypełnione są wodą i rozproszonymi w niej drobnymi cząstkami organicznymi. Cechuje je mała wytrzymałość, bardzo małe naprężenia efektywne, duża przepuszczalność początkowa, malejąca wraz z procesem ściśliwości. W gytii wapiennej dodatkowo mamy jeszcze do czynienia z wzajemnym oddziaływaniem fitoklastów, węgla wapnia i wody [1, 2, 3, 4, 5]. Tak szczególne cechy mają bardzo duży wpływ na wodoprzepuszczalność tych gruntów.

Tradycyjnie już grunty organiczne uznawane są za słabe podłoże, słabe bo słabonosiwe, bardzo ściśliwe. W jednej grupie znajdują się tak różne grunty, jak torfy i gytie. Z powodu tej wspólnej przynależności początkowo analizowano w podobny sposób torfy oraz gytie detrytusowe, wapienne oraz mineralno-organiczne. Z powodu jednak dużych różnic strukturalnych szczegółowej analizie przebiegu zmian przepuszczalności w czasie konsolidacji poddano tylko próby gytii mineralno-organiczej. Włóknista lub amorficzno-włóknista struktura torfu powoduje, że grunty te charakteryzują się zupełnie innymi współczynnikami filtracji, i inaczej wygląda przebieg zmian przepuszczalności tych gruntów w czasie ich konsolidacji. Bardzo duża ściśliwość powoduje, że już przy niewielkich obciążeniach osiadanie gruntu jest znaczne. Stosowane w badaniach edometrycznych naprężenia powodowały bardzo szybkie ściskanie próbek, co uniemożliwiło ich obserwację w sposób porównywalny do gytii mineralno-organiczej. Szybkie załamanie struktury powodowało bardzo dużą zmienność przepuszczalności, jednak krótki czas badania uniemożliwił ustabilizowanie się parametrów i określenie tendencji ich zmian.

Zgodnie z prawem Darcy'ego przepływ wody przez grunt uzależniony jest od spadku hydraulicznego, powierzchni przez którą przepływ się odbywa i od współczynnika filtracji. Spadek hydrauliczny i przekrój, przez który odbywa się przepływ są wielkościami niezależnymi od rodzaju gruntu. Wielkością charakterystyczną dla danego gruntu jest natomiast współczynnik filtracji k . Wyraża on sumę oporów napotykanym przez wodę w czasie jej przepływu przez grunt. Opory te zależą od wielkości powierzchni kontaktu cząstek wody z cząstkami gruntu i od wielkości porów w gruncie. Najczęściej w podejściu inżynierskim opory filtracji uzależnia się od objętości porów w gruncie, określoną porowatością n , lub wskaźnikiem porowatości e . Chcąc określić wpływ objętości porów gruntu na współczynnik filtracji przeanalizowano zależność współczynnika filtracji od wskaźnika porowatości, a więc wskaźnik zmian przepuszczalności badanych utworów organicznych. Analiza tych badań przedstawiona jest w postaci zamieszczonych dalej wykresów.

2. Podstawy teoretyczne

Analiza przepływu wody w gruntach opiera się na równaniu Darcy'ego, którym określa się liniową zależność między spadkiem hydraulicznym i a prędkością przepływu wody w gruncie v :

$$v = k \cdot i \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

gdzie: v – prędkość przepływu wody, rozumiana jako stosunek objętościowego natężenia przepływu Q do powierzchni przekroju poprzecznego A strumienia (powierzchni porów i ziaren):

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{V}{t \cdot A} \quad [\text{m/s}] \quad (2)$$

V – objętość wody przepływającej przez przekrój strumienia o powierzchni A [m²] w czasie t [s]; i – spadek hydrauliczny (liczba niemianowana), wyrażony stosunkiem $i = \Delta H/l$, tj. przyrost naporu hydrodynamicznego ΔH [m] do długości drogi przesączania l ; k – współczynnik filtracji (wodoprzepuszczalności), mający miano prędkości, np. [m/s].

Jest to zależność fenomenologiczna, którą ustalił Darcy, badając zjawisko przesączania wody przez rzeczne piaski średnioziarniste. Przepuszczalność w tym równaniu zależy nie tylko od właściwości porowatego ośrodka, ale również od właściwości przepływającej cieczy [6], tj.

$$k = \kappa \cdot \frac{\rho \cdot g}{\eta} \quad (3)$$

gdzie: κ – współczynnik przepuszczalności, uzależniony tylko od właściwości gruntu, [cm^2] lub [darcy] ($1 \text{ cm}^2 = 1,01 \cdot 10^8$ darcy)

$$\kappa = \frac{Q \cdot \eta}{A \cdot \frac{dp}{dl}} \quad (4)$$

ρ – gęstość wody, [g/cm^3], η – lepkość dynamiczna wody, [Pa·s], g – przyspieszenie ziemskie [$9,81 \text{ m/s}^2$], p – ciśnienie, [Pa], l – długość drogi filtracji, [m].

Przepływ wody w gruntach spoistych utrudnia woda błonkowata, która zwykle całkowicie wypełnia pory. W takich warunkach filtracja może nastąpić dopiero wtedy, gdy naprężenie ścinające, wywołane spadkiem hydraulicznym, w błonkach wody przekroczy jej opór na ścinanie. Opór na ścinanie wody błonkowej zależy od lepkości, która jest tym większa, im cieńsze są błonki wody. Początkowy spadek jest więc tym większy, im drobniejsze jest uziarnienie. Badania Dubin'a oraz Moulin'a [7] oraz później Hansbo [8, 9] dowodzą, że w gruntach bardzo drobnoziarnistych, przy małym spadku hydraulicznym, zależność między prędkością przepływu a gradientem hydraulicznym nie jest liniowa. Taką nieliniową zależność prędkości przepływu od gradientu hydraulicznego w gruntach słabo przepuszczalnych opisuje Hansbo [8, 9] równaniami:

$$v = \kappa i^n, \text{ gdy } i \leq i_1 \quad (5)$$

$$v = \kappa n i_1^{n-1} (i - i_0), \text{ gdy } i \geq i_1 \quad (6)$$

gdzie: κ – przepuszczalność gruntu opisana zależnością eksponentyjną, i_0, i_1 – gradienty hydrauliczne, i_0 – początkowy gradient hydrauliczny:

$$i_0 = i_1 (n-1) / n \quad (7)$$

przy czym $i_0 = 1/4$ dla $n = 1,5$

i_1 – wartość gradientu wymagana do całkowitego pokonania oporu lepkości wody:

$$i_1 = i_0 n / (n-1) \quad (8)$$

n – parametr obliczeniowy.

Matematyczna analiza przepływu przez ośrodek porowaty, podobnie jak wyniki doświadczalne badań gruntów organicznych, pozwalają stwierdzić, że wodoprzepuszczalność jest determinowana przede wszystkim przez wielkość poszczególnych porów, ich kształt oraz całkowitą objętość porów przypadającą na jednostkę objętości gruntu. Rozmiar cząstek gruntu (wynikający ze składu mineralnego) oraz zawartość części organicznych determinują kształt porów w gruncie. Rozmiar cząstek, ich kształt i rozmieszczenie oraz stopień rozłożenia materii organicznej razem determinują porowatość.

Wskaźnik porowatości e zmienia się wraz z naprężeniem efektywnym σ' , a współczynnik filtracji k zmienia się wraz z e , stąd i k zmienia się w zależności od σ' .

Im większy jest wskaźnik porowatości e tym szybszy jest przepływ wody przez grunt, współczynnik filtracji k ma wyższą wartość i zachodzą większe zmiany w przebiegu przepuszczalności. W miarę postępu konsolidacji e jest coraz mniejsze, przepuszczalność jest coraz mniejsza i coraz mniejsze są zmiany w przebiegu przepływu wody przez grunt.

Większość aproksymacji $e - \log k$ dla gruntów drobnoziarnistych, ilastych ma liniowy przebieg [10]. Również badania prowadzone przez Clarke'a i in. [11] dla gliny zwalowej i kaolinu wykazały, że istnieje liniowa zależność pomiędzy współczynnikiem filtracji i wskaźnikiem porowatości, a więc i naprężeniami efektywnymi (między ziarnami) i to zarówno podczas normalnego ściskania, jak i pęcznienia i wtórnego ściskania.

Wyniki badań doświadczalnych nie zawsze potwierdzają istnienie takiej zależności liniowej. W przypadku analizowanej gytii mineralno-organicznej znacznie lepsze dopasowanie daje funkcja wykładnicza. Nieliniowość zależności wskazuje, że o przebiegu zmian przepuszczalności decydują poza wskaźnikiem porowatości, a więc objętością porów, jeszcze inne czynniki. Wielu autorów wskazuje na dużą rolę nie tylko rozmiaru ale i kształtu ziaren, sposób połączeń mikroporów, zawartość minerałów pęczniących [12] a także skład chemiczny i zdolność kationów do wymiany [13, 14, 15]. Różnice pomiędzy wskaźnikiem zmian przepuszczalności C_k dla torfów i gytii świadczą o tym, że bardzo duże znaczenie ma struktura gruntu.

3. Badania własne

3.1. Metodyka badań laboratoryjnych

Celem badań było określenie współczynnika, który pozwoliłby na szybkie oszacowanie wskaźnika zmian przepuszczalności na podstawie początkowego wskaźnika porowatości gruntu e . Badania zostały przeprowadzone w klasycznych edometrach, przystosowanych do badań przepuszczalności gruntu. Metodę tę wybrano, ponieważ pozwala ona na śledzenie zmian wysokości próbki, a tym samym umożliwia ciągłą rejestrację zmiany wskaźnika porowatości. Do analizy wskaźnika zmian przepuszczalności gruntów organicznych użyto 10 prób gruntów, w tym trzy próbki torfów i siedem prób gytii. Wszystkie próby pochodzą z terenu województwa warmińsko-mazurskiego. Próby gytii pobierane były z głębokości 1,0-1,5 [m], a próby torfów z głębokości 2,0-5,0 [m].

Zastosowano pięć kolejnych stopni obciążenia: (1) 0-12,5 [kPa]; (2) 12,5-25,0 [kPa]; (3) 25,0-50,5 [kPa]; (4) 50,0-100,0 [kPa] i (5) 100,0-200,0 [kPa].

W laboratorium Zakładu Geotechniki i Budownictwa Drogowego (UWM Olsztyn) określono właściwości fizyczne analizowanych gruntów, których zestawienie przedstawiono w tabeli nr 1. Badania obejmowały doświadczalne określenie: gęstości objętościowej gruntu ρ , gęstości właściwej szkieletu gruntowego ρ_s , wilgotności naturalnej w oraz zawartości części organicznych C_{OM} na podstawie normy PN-88/B-04481. Porowatość n i wskaźnik porowatości e oraz stopień wilgotności S_r obliczono na podstawie ogólnie znanych zależności [16].

3.2. Przebieg badań

Badania filtracji przeprowadzone były w trakcie II etapu badań ściśliwości i konsolidacji. Badania wykonano w edometrach przy użyciu wody destylowanej, metodą o zmiennym naporze. Początkowy spadek hydrauliczny zmienił się od 30 do 120 w zależności od miąższości badanej próbki. Kierunek przepływu wody wymuszony był od dołu do góry. Obniżanie się poziomu wody w rurce pomiarowej rejestrowano w systemie 5/5, tzn. w pięciu seriach pomiarowych – w każdej serii 5 odczytów w stałych odstępach czasowych (co 2, 5 10, 20 i 40 minut) [16].

Obliczenia współczynnika filtracji przy danej temperaturze $k_{(t)}$ przeprowadzono wg wzoru, który uwzględnia parametry próbki oraz zmiany wysokości słupa wody na początku badania i na końcu:

$$k_{(t)} = \frac{al}{A(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad [\text{m/s}] \quad (9)$$

gdzie: a – pole przekroju rurki filtracyjnej, $[\text{m}^2]$, l – wysokość próbki gruntu, $[\text{m}]$, A – pole przekroju próbki gruntu, $[\text{m}^2]$, $t_2 - t_1 = t$ – przedział czasu, w którym obserwowany jest spadek poziomu wody, $[\text{s}]$, h_1 – początkowy poziom wody w rurce, $[\text{m}]$, h_2 – poziom wody w rurce po upływie czasu t , $[\text{m}]$.

Uzyskane wyniki uśredniono. Ostateczną, średnią wartość współczynnika filtracji przy danej temperaturze $k_{(t)}$ sprowadzono do warunków standardowych, obliczając $k_{(10)}$ wg wzoru:

$$k_{(10)} = \frac{k_{(t)}}{0,7 + 0,03T} \quad [\text{m/s}] \quad (10)$$

gdzie: $k_{(10)}$ – współczynnik filtracji obliczony dla temperatury $T = 10^\circ\text{C}$, $[\text{m/s}]$, $k_{(t)}$ – współczynnik filtracji obliczony przy danej temperaturze T , $[\text{m/s}]$, T – temperatura, w której badano przepuszczalność, $[\text{C}^\circ]$.

Badania ściśliwości i konsolidacji przeprowadzono zgodnie z normą PN-88/B-04481, w warunkach pod wodą i w temperaturze $12\text{--}15^\circ\text{C}$. Badania współczynnika filtracji przeprowadzono przed przyłożeniem obciążenia, po przyłożeniu obciążenia w trakcie procesu konsolidacji oraz po zakończeniu konsolidacji, przy każdym stopniu obciążenia. Badanie po zakończeniu konsolidacji przy danym stopniu obciążenia przeprowadzano przy zablokowanym obciążeniu, po upływie pięciu dób od momentu zablokowania. Celem było uzyskanie rozproszenia nadwyżki ciśnienia wody w porach, a więc pewność otrzymania w efekcie rzeczywistego współczynnika filtracji przy danej wysokości próbki, a co za tym idzie przy danym wskaźniku porowatości. Zwiększenie obciążenia nastąpiło po umownej stabilizacji osiadań ($\leq 0,003 \text{ mm}$). Wartość współczynnika filtracji określono w $[\text{m/s}]$.

4. Omówienie wyników badań

Analizowane grunty charakteryzują się diametralnie inną zawartością części organicznych (tabela 1). Torfy, gytia wapienna i detrytusowa składają się głównie ze szczątków roślinnych, przeważnie dobrze rozpoznawalnych, humusu i detrytusu. Części organiczne w ich składzie stanowią od 74 do 89% masy gruntu. Gytia mineralno-organiczna w podobnej proporcji składa się z części ilastych. Tylko średnio 25% jej składu to części organiczne. Taka budowa gruntu determinuje mazistą strukturę gytii mineralno-organicznej i zdecydowanie inny przebieg zmian przepuszczalności w czasie konsolidacji gruntu.

Badane torfy o strukturze włóknistej i amorficzno-włóknistej, o wyraźnej anizotropii strukturalnej charakteryzują się wysoką początkową przepuszczalnością. Pomimo zastosowania niewielkich naprężeń można zaobserwować, że współczynniki filtracji maleją wraz z postępem konsolidacji, a więc i wpływ struktury będzie mały. Gytie zbudowane z substancji organicznej znacznie bardziej rozłożonej wykazują znacznie niższą początkową przepuszczalność. Po przyłożeniu obciążenia przepuszczalność jest redukowana w sposób indywidualny dla każdej próby. Wyniki badań współczynnika filtracji przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Zestawienie właściwości fizycznych analizowanych gruntów.

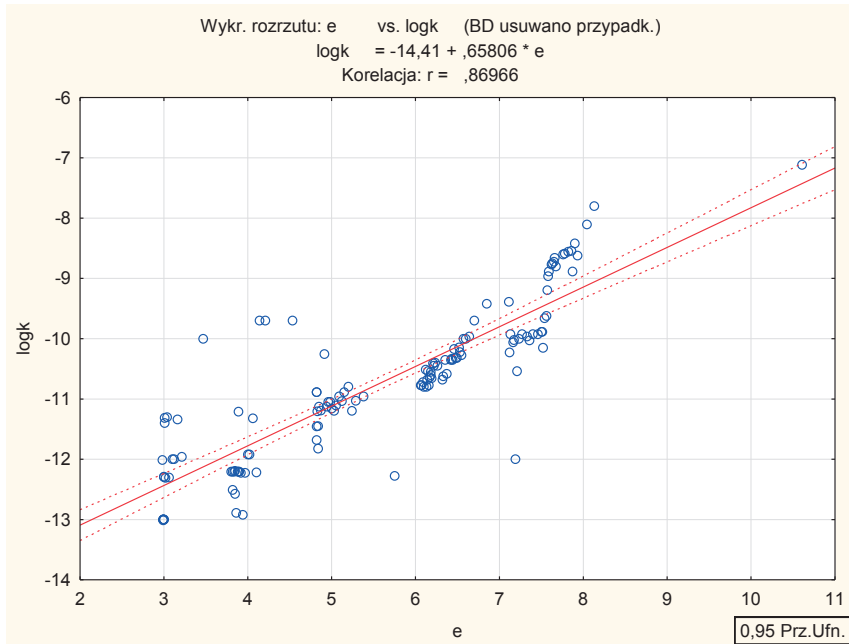
Nr próbki		ρ [g/cm ³]	ρ_s [g/cm ³]	ρ_d [g/cm ³]	w [%]	n [-]	e [-]	C_{OM} [%]	S_r [-]
P1	Torf (struktura włóknista i amorficzno-włóknista)	0,975	2,064	0,250	289,36	0,878	7,256	74,31	0,823
P2		0,994	1,507	0,140	608,24	0,907	9,764	85,88	0,938
P3		0,987	1,512	0,109	804,29	0,928	12,871	88,94	0,944
P4	Gytia wapienna (struktura łupkowa)	1,117	2,037	0,273	308,02	0,866	6,461	75,49	0,971
P5	Gytia detrytusowa (struktura galaretowata)	1,025	1,456	0,109	837,23	0,925	12,357	84,85	0,986
P6		1,009	1,483	0,140	616,32	0,905	9,592	88,51	0,952
P7	Gytia mineralno-organiczna (struktura mazista)	1,120	2,090	0,230	385,00	0,890	8,090	24,00	0,995
P8		1,070	1,990	0,190	459,80	0,900	9,470	27,10	0,966
P9		1,080	2,060	0,160	575,60	0,920	11,870	26,89	0,998
P10		1,090	2,090	0,180	500,60	0,910	10,610	30,41	0,986

Tabela 2. Zbiorcze zestawienie wyników badań współczynnika filtracji k [m/s].

Nr próby	Rodzaj gruntu	Obciążenie [kPa]					
		0	12.5	25	50	100	200
P1	Torf	8,8E-03	6,3E-03	1,0E-03			
P2		9,0E-03	6,4E-03	3,8E-03			
P3		5,9E-03	5,8E-03				
P4	Gytia wapienna	9,0E-04	2,0E-04	1,0E-05			
P5	Gytia detrytusowa	7,2E-03	1,0E-05				
P6		1,1E-04	1,0E-05	1,0E-06			
P7		1,37E-07	1,15E-07	5,4E-08	4,2E-08	3,1E-08	1,8E-08
P8	Gytia mineralno-organiczna	2,4E-08	5,9E-10	6,1E-11	7,9E-11	1,3E-12	2,6E-13
P9		6,9E-08	5,8E-11	1,3E-11	6,2E-12	1,0E-13	7,8E-14
P10		7,7E-08	5,9E-11	1,7E-11	1,3E-11	6,2E-13	9,8E-14

W początkowej fazie badania następuje odkształcenie próbki gruntu, tj. dopasowanie się próbki do pierścienia. Powoduje to wzrost porowatości efektywnej. W kolejnej fazie w związku z wzrostem ciśnienia wody w porach gruntu wartości współczynnika filtracji maleją. Dzieje się tak aż do rozproszenia nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu i zakończenia procesu konsolidacji filtracyjnej.

Dla każdej z analizowanych prób zbadano zależność $e - \log k$ przy każdym kolejnym obciążeniu. Na rysunku 1 przedstawiono tę zależność dla jednej z prób gytii mineralno-organiczej.

Rys. 1. Zależność $e - \log k$: gytia mineralno-organiczna, p.10

Wartość współczynnika korelacji na poziomie 0,87 świadczy o istnieniu stosunkowo silnej zależności liniowej pomiędzy badanymi cechami. Zmienność $\log k$, w tym przypadku, w 75% wyjaśniona jest zmiennością wskaźnika porowatości.

Największy rozrzut $e - \log k$ zaobserwowano dla dwóch stopni obciążenia, tj. 50 [kPa] i 200 [kPa]. Ze względu na dużą podatność współczynnika korelacji na skrajne obserwacje, przeanalizowano również siłę zależności liniowej $e - \log k$ osobno dla każdego obciążenia. Badania potwierdziły istnienie zależności liniowej pomiędzy wskaźnikiem porowatości e i logarytmem współczynnika filtracji przy obciążeniu 12,5 [kPa] oraz 25 [kPa]. Zmienność $\log k$ jest tu wyjaśniona zmiennością e w 53% na początku badania do 87% przy obciążeniu 25 [kPa]. Kolejny stopień obciążenia (50 kPa) to najprawdopodobniej czas niszczenia struktury. Po zakończeniu tego etapu o przepuszczalności decyduje już granulometria gruntu.

Tabela 3. Współczynniki korelacji $e - \log k$, gytia mineralno organiczna, p.10

Obciążenie [kPa]	Współczynnik korelacji Pearsona $r(X, Y)$	Współczynnik determinacji r^2
12,5	0,73	0,53
25	0,94	0,87
50	-0,007	0,000051
100	0,68	0,46
200	0,40	0,16

Konsekwencją relacji $e - \log k$, w której zmienna niezależna e jest wyrażona w zakresie zmiennej zależnej k , jest wartość wskaźnika zmian przepuszczalności C_k .

Wskaźnik zmian przepuszczalności rozumiany jako zależność pomiędzy przyrostem wskaźnika porowatości i przyrostem współczynnika filtracji opisuje równanie [17]:

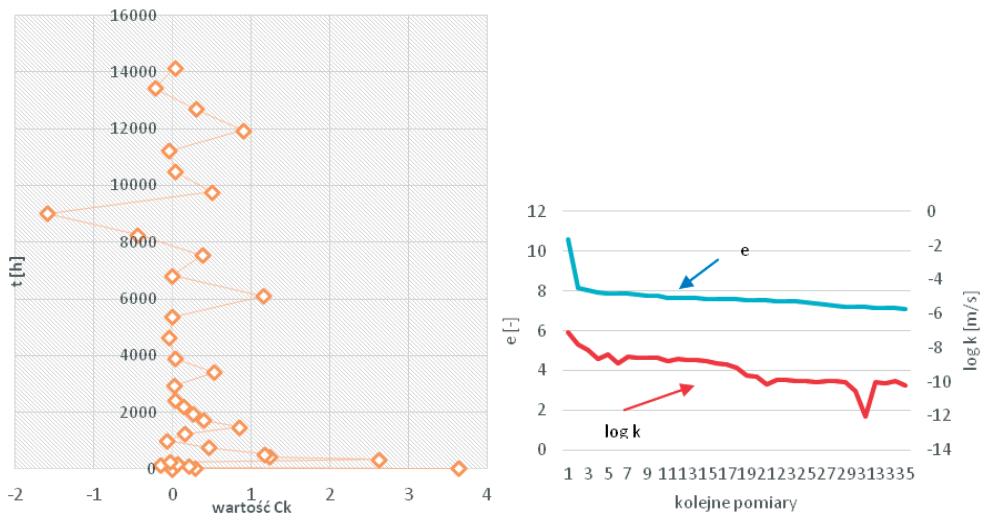
$$C_k = \frac{\Delta e}{\Delta \log k} \quad (11)$$

gdzie: e – wskaźnik porowatości [-], k – współczynnik filtracji [m/s].

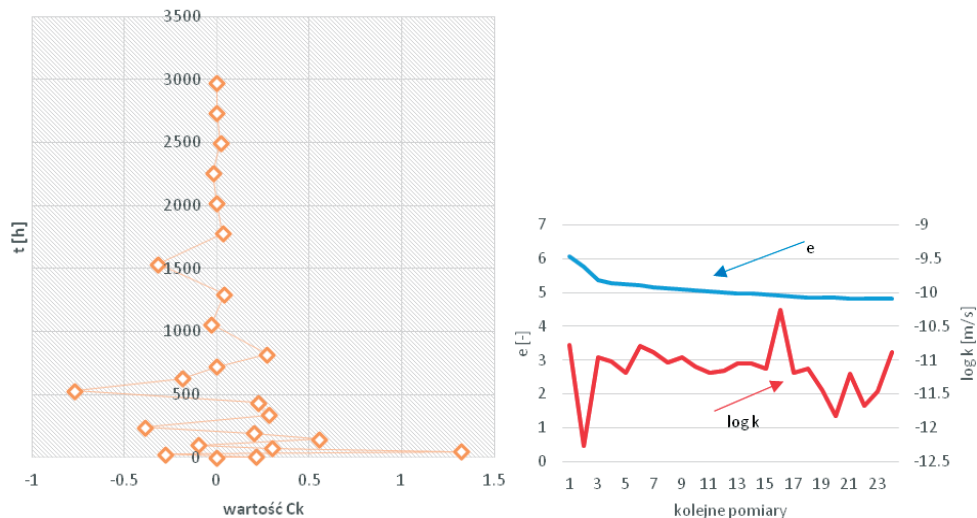
Uzyskane wskaźniki zmian przepuszczalności podano w tabeli 4 a przebieg zmian C_k w czasie na rysunkach 2-3.

Tabela 4 Zestawienie wskaźników zmian przepuszczalności C_k dla pięciu kolejnych stopni obciążenia.

Nr próbki	e_0	C_k				
		12,5 kPa	25,0 kPa	50,0 kPa	100,0 kPa	200,0 kPa
P1	7,26	0,82	8,09			
P2	9,76	7,79	5,34			
P3	12,87	4,33				
P4	6,46	1,45	9,96			
P5	12,54	2,22				
P6	9,59	2,61	2,44			
P7	8,09	0,37	0,63	0,95	1,37	0,94
P8	9,47	0,97	0,16	0,49	0,093	0,0025
P9	11,87	1,18	0,45	0,70	0,13	0,73
P10	10,61	0,47	0,32	0,24	0,12	0,07



Rys. 2. Zmiana przepuszczalności w czasie pod obciążeniem 12,5 [kPa] – P10



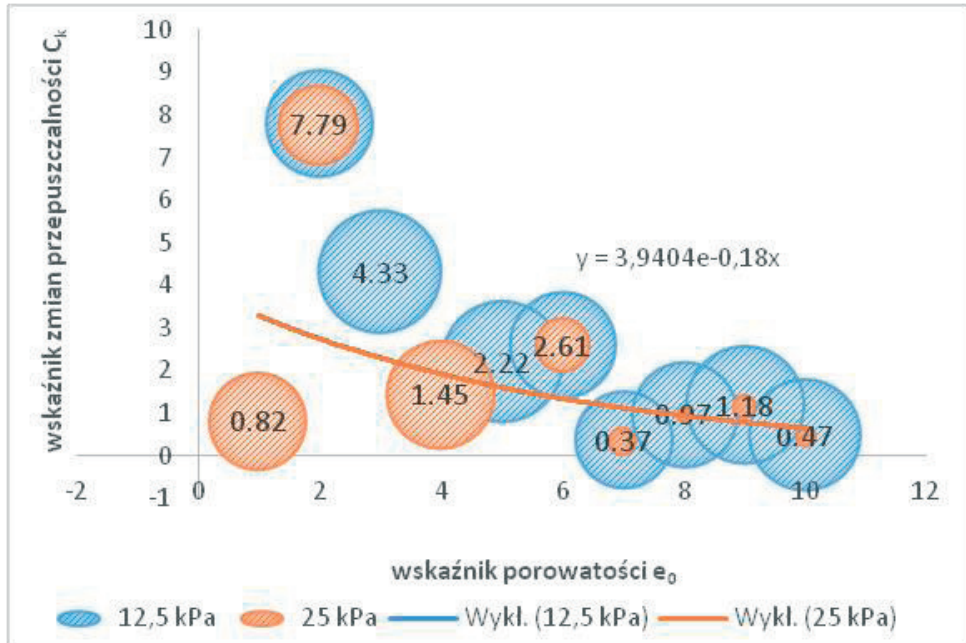
Rys. 3. Zmiana przepuszczalności w czasie pod obciążeniem 50 [kPa] – P10: $C_k = 0,24$; $k = 1,3e-11$ [m/s], $C_k = 0,47$; $k = 5,9e-11$ [m/s]

Największe zmiany w przepuszczalności zachodzą po przyłożeniu obciążeń 12,5 oraz 25 kPa. W tym czasie jeszcze o wielkości przepuszczalności decyduje struktura gruntu. W zależności od wielkości porów woda w gruncie krąży mniej lub bardziej swobodnie. Istnieje liniowa zależność pomiędzy wskaźnikiem porowatości e i $\log k$. Dopiero po przyłożeniu obciążenia 50 kPa struktura zostaje załamana i o przepuszczalności decyduje już granulometria gruntu. Jest to moment najmniej stabilnego przepływu, dużych zmian przepuszczalności niezależnych od stałego nieznacznego zmniejszania się wartości wskaźnika porowatości. Obciążenie 100 kPa powoduje ponowne ujawnienie się słabej zależności liniowej $e - \log k$. Zmienność $\log k$ wyjaśniona jest w 46% zmiennością wskaźnika porowatości. Przepływ jest już bardzo słaby, $k = 6,2e-13$ m/s. Duże zmiany przepuszczalności w czasie pod obciążeniem 200 kPa nie zależą już od niemal stałej wartości wskaźnika porowatości.

Mesri [17] w swoich badaniach dotyczących iłłów określił empiryczną zależność pomiędzy C_k i e_0 jako $C_k = 0,5 e_0$. W przypadku analizowanych gruntów organicznych dla wszystkich gytii oraz torfu o strukturze amorficznej możemy tę zależność określić jako $C_k = 0,2 e_0$ (rys. 4).

Zależność ta jednak jest prawdziwa tylko dla pierwszego obciążenia 12,5 [kPa]. Każde kolejne obciążenie powoduje zmniejszanie się zmian w przebiegu przepuszczalności gruntu.

Ostatecznie, w przypadku gytii mineralno-organiczej, po uśrednieniu początkowych wskaźników porowatości i uzyskanych wskaźników zmian przepuszczalności, uzyskano zależność $C_k = 0,1e_0$. Zależność ta opisuje zmiany przepuszczalności gruntu w czasie konsolidacji aż do ustabilizowania osiadań. Zastosowanie poniższej formuły dla wszystkich analizowanych gruntów organicznych o podobnych strukturach okazało się być zbliżonym z wartością, którą uzyskano dla gytii mineralno-organiczej już przy pierwszym obciążeniu. Może to oznaczać, że badanie większej ilości prób o bardzo zbliżonych cechach pozwoli na określenie stałej tendencji zmian C_k pod obciążeniem i umożliwi przewidywanie wartości współczynnika filtracji gruntu pod obciążeniem na podstawie jego parametrów początkowych.



Rys. 4. Empiryczna zależność wskaźnika zmian przepuszczalności C_k od wskaźnika porowatości e_0 dla gytii i amorficznego torfu.

5. Wnioski

1. Struktura gruntu organicznego determinuje przebieg zmian przepuszczalności gruntu w czasie konsolidacji.
2. Torfy o strukturze włóknistej lub amorficzno-włóknistej charakteryzują się wysokimi współczynnikami filtracji i dużą zmiennością przepuszczalności w czasie. Zmiany te zależą tylko od struktury gruntu.
3. Zależność pomiędzy e i $\log k$ jest zależnością liniową dla obciążenia 12,5 oraz 25 [kPa]. Wskaźnik zmian przepuszczalności obniża się wraz z konsolidacją.
4. Największe zmiany w przepuszczalności gytii mineralno-organiczej zachodzą po przyłożeniu obciążeń 12,5 oraz 25 [kPa]. W tym czasie o przepuszczalności decyduje struktura gruntu.
5. Obciążenie na poziomie 50 [kPa] powoduje załamanie struktury. O przepuszczalności decyduje już granulometria gruntu.
6. Zmiana przepuszczalności analizowanych gytii oraz torfu o strukturze amorficznej może być opisana stałą zależnością $C_k = 0,2e_0$. Zależność ta jest prawdziwa dla obciążeń 0-12,5 [kPa].
7. W przypadku gytii mineralno organicznej ustalono stałą zależność $C_k = 0,1e_0$. Jest to stała tendencja zmian przepuszczalności od 0 do 200 kPa.
8. Badania C_k na większej liczbie prób pozwolą na określenie empirycznych zależności $e - \log k$ w poszczególnych grupach gruntów.
9. Znajomość tendencji zmian przepuszczalności gruntu pod obciążeniem umożliwi przewidywanie cech gruntu po ustabilizowaniu osiadań, na podstawie jego parametrów początkowych

Literatura

- 1 Dobak P., Wyrwicki R. *Hydroizolacyjne właściwości kredy jeziornej*. Przegląd Geologiczny 5:4 (2000).
- 2 Dobak P., Kowalczyk S. *Geologiczno-inżynierska analiza występowania gruntów organicznych w podłożu wybranego odcinka autostrady A2*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 446 (2011) 257-264.
- 3 Malinowska E. *Analiza odkształceń wybranych gruntów organicznych z uwzględnieniem nieliniowych charakterystyk przepływu*. Wyd. SGGW, Warszawa 2005.
- 4 Sas W. *Modelowanie odkształceń gruntów organicznych z uwzględnieniem zmian właściwości ośrodka*. Rozprawa doktorska, SGGW, Warszawa 2001.
- 5 Szymański A. *Czynniki warunkujące analizę odkształcenia gruntów organicznych obciążonych nasypem*. Rozprawa habilitacyjna, SGGW, Warszawa 1991.
- 6 Strzelecki T., Kostecki S., Żak S. *Modelowanie przepływów przez ośrodki porowate*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2008.
- 7 Dubin B., Moulin G. *Influence of a critical gradient on the consolidation of clays*. In: *Consolidation of soils: testing and evolution* (STP 892) ASTM (1985) 354-77.
- 8 Hansbo S. *Consolidation equation valid for both Darcian and non-Darcian flow*. Geotechnique. Vol. 51, No. 1 (2001) 51-54.
- 9 Hansbo S. *Deviation from Darcy's law observed in one dimensional consolidation*. Geotechnique. Vol. 53, No. 6 (2003) 601-605.
- 10 Samarasinghe A. M., Huang H., Yang F. ASCE & Drnevich V. P., M. ASCE. 1982. *Permeability and consolidation of normally consolidated soils*. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, ASCE, vol. 108, No GT 6 (1982) 835-850.
- 11 Clarke B.G., Chen C.C. *Intrinsic properties of permeability*. Proceedings of the 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 6-12 September, Hamburg, Germany, 1 (1987) 259-262.
- 12 Pająk R., Dobak P. *Określanie parametrów filtracyjnych ilów krakowieckich z badań w konsolidometrze Rowe'a*. Geologia, Tom 34, Zeszyt 4 (2008) 677-689.
- 13 Mitchell J.K. *Fundamentals of soil behavior*. 2nd ed., John Wiley, New York 1993, 1-437
- 14 Olphen H. von. *An Introduction to clay colloid chemistry*. 2nd ed., John Wiley, New York 1977, 1-318.
- 15 Young R.N., Warkentin B.P. *Soil properties and behavior*. 2nd ed., Elsevier Scientific, New York 1975, 1-463.
- 16 Wiłun Z. *Zarys geotechniki*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.
- 17 Mesri G., Feng T.W., Ali S., Hayat T. M. *Permeability characteristics of soft clays*. Proceedings of the 13th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi, India 1994, 187-192.
- 18 Polska Norma (PN-88/B-04481). *Grunty budowlane. Badania próbek gruntu*.

Permeability change index for unstable basement

Marzena Jaromińska

*Chair of Geotechnics and Road Engineering, Faculty of Geodesy, Geospatial and Civil Engineering,
University of Warmia and Mazury, ul. Heweliusza 4, 10-724 Olsztyn, Poland*

Abstract: This paper presents the results of analyses of the tendencies in the changes of organic soil permeability under load. Ten samples of peats and gyttyjas from the Warmia and Mazury Province were analyzed. The research methodology was described and the $e -$

log k relationship at five load degrees was analyzed. The results of multi-year research on organic soils conducted at the laboratory of the Chair of Geotechnics and Road Engineering at the Faculty of Geodesy, Geospatial and Civil Engineering of UWM (Olsztyn) were used for the analyses. A large spread in the permeability change index value, depending on the soil type and the load degree, was found as a result of the performed analysis. Such results suggest, apart from measuring errors, a very high effect of the microstructure of organic soils on the filtration coefficient value and thus also on the tendencies in the changes of this parameter in the consolidation process. The precise identification of the dependence of the filtration coefficient k on the void ratio e and knowledge of the tendencies in soil permeability changes with changes in the void ratio or porosity will allow the value of the filtration coefficient k at different settlement values to be predicted. It will also enable the determination of permeability based on the initial soil parameters.

Keywords: organic soil, filtration coefficient, permeability change index

Repetitive construction processes scheduling using mixed-integer linear programming

Piotr Jaśkowski

*Katedra Inżynierii Procesów Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika
Lubelska, e-mail: p.jaskowski@pollub.pl*

Abstract: Many construction projects contain several identical or similar units, such as floors in multistory buildings, houses in housing developments, sections of pipelines or highways. Repetitive processes arise from the subdivision of a generalized construction process into specific activities associated with particular units. In many cases it is possible to perform individual processes (repeated in each units) in alternative ways (modes). Regardless of the construction project procurement system, duration and cost are the key factors determining project's economic efficiency and fulfillment of the owner's needs and requirements. Minimizing project duration and cost are the most important criteria for schedule optimization. Processes that repeat from unit to unit are realized by specialized crews. Uninterrupted resource utilization becomes an extremely important issue for scheduling repetitive processes to minimize employment costs. In this paper, the problem of selecting appropriate modes and minimizing the total project cost and with a constraint on project duration is presented with respect to the continuity of the crews' work. The paper uses the mixed integer linear programming to model this problem and uses a case study to illustrate it.

Keywords: construction project, project scheduling, repetitive processes, time–cost optimization, work continuity constraints.

1. Introduction

Repetitive construction projects are projects with activities that are repeated in similar or identical units. Typical examples of repetitive projects are: construction of high-rise buildings (repeatable floors with the same works to be conducted in each of them), finishing works in typical floors or in apartment complex etc. For this kind of processes, the construction crew is required to repeat the same operations in a defined number of units (floors, houses, apartments, etc.). As repetitive projects represent a large portion of the construction industry, it is important to develop efficient scheduling methods of this type of projects.

The Critical Path Method (CPM), probably the most popular planning and scheduling method, does not suit the needs of repetitive projects: it does not facilitate handling large numbers of repetitive activities and modeling continuity constraints. Several alternative approaches have been developed over the recent decades to cope with the requirements of construction projects either composed of repetitive activities or have a linear development. A variety of approaches were developed, for instance, the Line of Balance (LOB), Construction Planning Technique (CPT), Vertical Production Method (VPM), Time–Location Matrix Model, Time Space Scheduling Method, Disturbance Scheduling, Horizontal and Vertical Logic Scheduling for Multistory Projects (HVLS), and Repetitive Project Model (RPM).

However, in the literature on the subject, there are few records of attempts to allow for the whole set of requirements and constraints of repetitive projects, such as optimization of the total project duration with respect to efficient resource usage and assuring continuity of work. Ammar [2] integrated CPM and LOB model to schedule repetitive projects in an easy non-graphical way considering both logic dependency and resource continuity constraints. Overlapping activities of a single typical unit are used to model duration and logical relationships of repetitive activities. The integrated CPM–LOB model allows the user to minimize the total duration of repetitive projects with uninterrupted usage of resources. Kang et al. [8] developed an optimization model about repetitive project scheduling with resource use efficiency. Khailed and Khaled [9] designed a multi-objective optimization model based on a genetic algorithm, which helped planners to reduce duration of the project and improve work continuity. Alexandros and Sergios [1] pointed out that the critical path determined by LSM was different than its counterpart defined by means of CPM network diagram with resource continuity constraints, and the critical path determined by CPM compromised resource continuity in search of optimal total duration. Wang et al. [10] analyzed the optimization of total duration with resource constraint and resource share. Fan et al. [4] presented a genetic-algorithm-based cost minimization model for repetitive projects that allowed for soft logic and changing sequence of units.

The repetitive construction projects scheduling problem involves three conflicting objectives: minimizing project duration, project total cost, and project total interruption time (El-Kholy [3]). Several models were developed for time–cost trade-off. They were aimed at finding optimum crew formation and optimum output rate. Hegazy and Wassef [5] developed a model to minimize total construction cost (the sum of direct cost, indirect cost, interruption cost, as well as incentives and liquidated damages), integrating LOB and CPM methodology. Their model enabled performing time–cost trade-off analysis considering a specified deadline and alternative construction methods with associated time, cost, and crew options. Hyari and El-Rayes [6] constructed a multi objective optimization model based on a genetic algorithm. This model helps planners to evaluate optimum plans by minimizing project duration and maximizing work continuity at the same time. Ipsilandis [7] presented a multi objective linear programming model for scheduling linear repetitive projects, which considers cost elements regarding the project's duration, the idle time of resources, and the delivery time of the project's units.

In many practical projects in construction it is possible to perform individual activities in alternative ways (modes). In addition to changing the crew formation modes, also the substitution of construction methods or materials can be profitable for contractor and owner. The modes differ in processing time, lags between activities, and resource requirements, so they affect the project's outcomes. Therefore, project scheduling problems with multi technological modes aims at finding the optimal order of activities, the start times of each activity, and the execution modes for all activities in a project while verifying a set of precedence and resource constraints.

This paper is aimed at modeling a repetitive project scheduling problem under the following assumptions:

1. A single project consists of a number of succeeding activities with several execution modes. The activities are executed by specialized crews moving from unit to unit. The sequence of activities and units is determined and unchangeable.
2. Each crew can start their work in a succeeding unit after completion of their activities in the current unit. The start time of each activity in each unit is also dependent upon the completion of preceding activities in this unit (precedence constraints of activities must hold).

3. Activities cannot be interrupted.
4. Each activity must be performed in one mode common to all units. Switching modes of the same activity from unit to unit is not allowed.
5. The objectives are to minimize the project cost under project duration limit with respect to the continuity of the crews' work.

2. Problem formulation

In each of the j units the project was divided into ($j \in J, J = \{1, 2, \dots, m\}$), there are processes i to be conducted by crews assigned specifically to them ($i \in I, I = \{1, 2, \dots, n\}$). Thus, (i, j) means process i conducted in unit j . The sequence of processes of all kinds to be conducted in a unit is defined by a graph $G = \langle I, A \rangle$ directed, with one initial node and one final node, where I is the set of nodes (identical with the set of process types), and $A = I \times I$ is the set of arches connecting the nodes and representing relationships between processes. The sequence of processes is the same for each unit. The sequence of units is fixed and in accordance with their numbering.

For each process type, i , a set W_i of technological modes can be defined. Selection of the mode to be applied is modeled by means of a binary $x_{i,w} \in \{0, 1\}$. This variable, $x_{i,w}$, equals 1 if the process i is to be executed in the mode $w \in W_i$, otherwise $x_{i,w}$ equals 0.

To provide input for the analysis, the time $t_{i,j,w}$ and cost $k_{i,j,w}$ of conducting a process i in unit j in the mode $w \in W_i$ need to be assessed separately – on the basis of data on crews' productivity, quantities of work, process-specific resource consumption rates and resource prices. The decision variable representing the time of work in unit j conducted by the crew i is $t_{i,j}$.

Optimal set of modes and start times $s_{i,j}$ of processes (i, j) with the constraint of allowable project duration not exceeding the deadline, T , can be obtained by solving the following basic mixed integer linear program:

$$\min z : z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{w \in W_i} k_{i,j,w} \cdot x_{i,w} + \rho \cdot \sum_{i \in I} \left(s_{i,m} - s_{i,1} - \sum_{j=1}^{m-1} t_{i,j} \right), \quad (1)$$

$$s_{i,1} = 0, \quad (2)$$

$$t_{i,j} = \sum_{w \in W_i} t_{i,j,w} \cdot x_{i,w}, \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J, \quad (3)$$

$$s_{n,m} + t_{n,m} \leq T, \quad (4)$$

$$s_{b,j} \geq s_{a,j} + t_{a,j}, \quad \forall (a, b) \in A, \quad \forall j \in J, \quad (5)$$

$$s_{i,j+1} \geq s_{i,j} + t_{i,j}, \quad \forall i \in I, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m-1, \quad (6)$$

$$\sum_{w \in W_i} x_{i,w} = 1, \quad \forall i \in I, \quad (7)$$

$$x_{i,w} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in I, \quad \forall w \in W_i, \quad (8)$$

$$s_{i,j} \geq 0, \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J, \quad (9)$$

where ρ is a sufficiently small number.

The objective function (1) minimizes the total project cost together with the total idle time of the crews – at the optimally selected execution modes and within allowed duration. For each process, the crew's idle time is calculated as a difference between:

- the scheduled period of a particular process being underway reduced by the duration of this process in the last unit – established as the time span between the start date of the process in the last unit and the start of this process in the first unit,
- and the sum of times of conducting the works in particular units.

The project starts at the moment $s_{1,1} = 0$, so as the first process is initiated in the first unit (2). Equation (3) defines the time of conducting a process in a particular unit. The project must be completed no later than the deadline, which is described by relationship (4). Starting dates of processes other than the first one are defined by means of relationships (5) and (6) – considering the sequence defined by the graph G and those related with the sequence of units. For each process, only one execution mode can be selected, which is described by condition (7). The variables must fulfill boundary conditions (8) and (9).

The above model should be supplemented with additional conditions that result from construction methods, such as lags due to concrete hardening or insulation drying times. These may differ depending on modes. For instance, if traditional plaster would be selected, there should be a lag for the render to set and dry before it can be painted; if the wall finished by drylining, painting may start practically immediately.

If a process p can be conducted in mode s that requires a lag before a succeeding process r may start, and the duration of the lag is t_p^l , so the starting dates of this succeeding process can be calculated according to formula (10) – a modified version of formula (5):

$$s_{r,j} \geq s_{p,j} + t_{p,j} + t_p^l \cdot x_{p,s}, \quad \forall j \in J \quad (10)$$

Selection of particular modes may imply that the processes to follow are conducted by a certain mode. For instance, masonry partition walls can be finished with wet plaster or dry lined, whereas drywall partitions will only need to be skimmed and primed.

Let's assume that, for a process u , there is a choice between modes c and d that imply, consecutively, selection of modes e or f of the succeeding process v . Therefore, the variables representing these decisions are to fulfill the following condition:

$$x_{u,c} + x_{u,d} = x_{v,e} + x_{v,f}. \quad (11)$$

3. Example

To prove the validity of the model, it was applied to scheduling the finishing works for a new-built apartment block. It was assumed that there were ten units (apartments) and five processes: erection of partition walls, plastering, laying floor screeds, wall painting and floor covering. The processes were to be executed in sequence, as listed. Additionally, sequence-related relationships were introduced between plastering and painting and between laying screeds and floor covering to enable introducing lags required by certain modes. Following modes were considered:

- Partition walls made of 1) light concrete blocks with a traditional mortar, 2) gypsum blocks laid in a thin-layered adhesive, 3) precision ceramic hollow blocks joined by adhesive (the wall can be erected to its full height in one day and there is no lag before plastering).
- Plastering 1) traditional cement-lime plaster on walls and ceilings, 2) gypsum plaster of walls and ceilings, 3) skimming the partition walls and putting traditional

cement-lime plaster on structural walls and ceilings; if modes 1) or 3) of erection of partition walls were chosen, this implies that only 1) or 2) plaster modes could be selected. If mode 2) of walls is picked, the only possibility of plastering is by mode 3).

- Screeds 1) monolithic screed on insulation (needs to harden and dry before floor covering), 2) dry prefabricated screed.

It was assumed that painting and floor covering come in one mode (decision of the client), and they are also excluded from cost analysis. Input on process durations and costs per particular unit and per mode are listed in Table 1.

Table 1. Example data

<i>i</i>	Process	Prede- cessors	Mode w	t_i' [days]	Process duration [days] on unit:										Total cost [€]	
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Partition walls	-	1	7	6	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	11770
			2	7	8	3	4	4	3	4	5	3	4	4	18590	
			3	0	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	11500
2	Plastering	1	1	15	7	4	6	6	4	6	7	6	6	6	33900	
			2	15	6	4	4	5	4	5	6	5	4	4	15000	
			3	15	5	3	4	4	3	4	5	4	4	4	12300	
3	Screeds	2	1	28	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	13950	
			2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17700
4	Painting	2, 3		-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	
5	Flooring	3, 4		-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	

Solutions of the mathematical model based on the above input values were found by means of LINGO 12.0 Optimization Modeling Software by Lingo Systems Inc. The model was solved for a series of acceptable project duration values, *T*. This way, two non-dominated solutions for the time-cost optimization problem were found. With the first solution, project duration was 82 days at a cost of 40400 €. The other solution scheduled the project to last 69 days, and the cost was 44200 €. In both these solutions the idle time of crews is 0. For both solutions, the optimal mode for partition walls was precision ceramic hollow blocks joined by adhesive, and for plastering – gypsum plaster. However, the first non-dominated solution preferred monolithic screeds, whereas the other one – prefabricated ones. Time-location schedules of the non-dominated solutions are presented in figures 1 and 2.

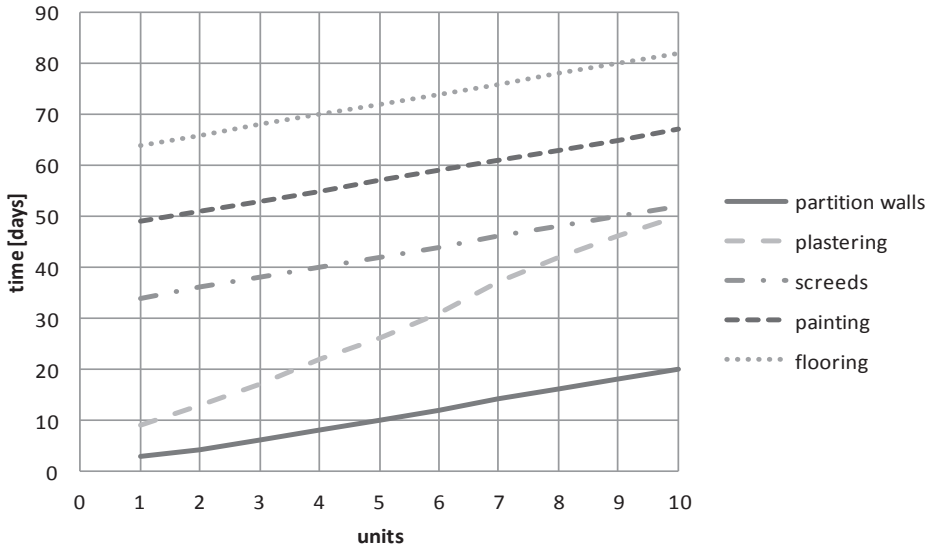


Fig. 1. Project schedule for the solution with project duration of 82 days and project cost 40400 €

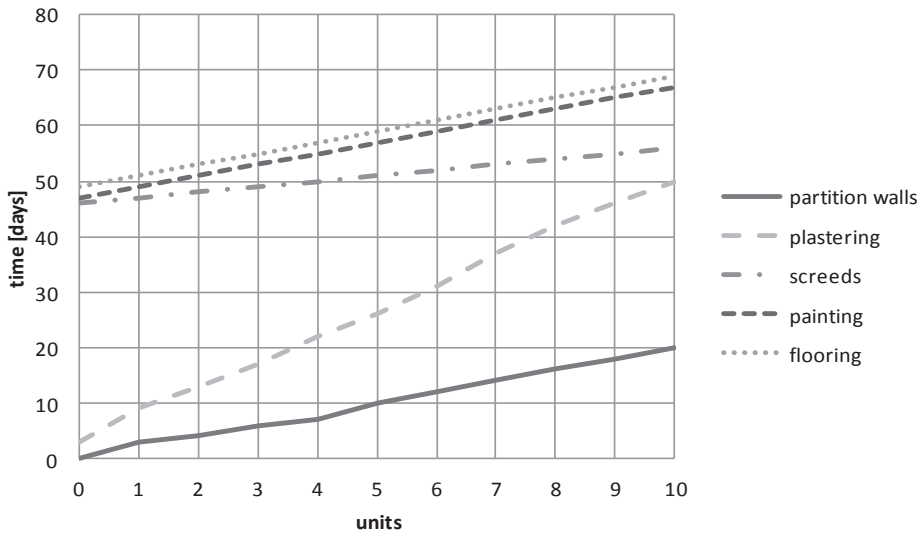


Fig. 2. Project schedule for the solution with project duration of 69 days and project cost 44200 €

To select the best schedule, one should resort to economics: consider the cost of reduction of project duration, and allow for the decision-makers preferences towards process modes.

4. Conclusions

From the practical point, the methods that facilitate considering various options of project execution and their effect on duration and cost are useful. The relationship between time and cost of processes is usually of a discrete character. This study put forward

a scheduling model for repetitive construction processes that enables choosing optimal processes modes assuring project cost minimization and effective resources utilization.

The approach adopted by the author for planning process times at predefined project duration is aimed at improving efficiency of operations. Striving for continuity of crews' work is important specifically to the contractor. Minimizing idle time reduces cost. The proposed model enables the planner to find solutions that satisfy both the contractor and the client.

To solve the model, the author used a general purpose software. However, it seems reasonable to develop a dedicated application to make the implementation of such models to practical construction problems easier and user-friendly.

Acknowledgment

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

References

- 1 Alexandros K., Sergios L. *Correspondence of activity relationships and critical path between time–location diagrams and CPM*. Operational Research 4(3) (2004) 277–290.
- 2 Ammar M.A. *LOB and CPM integrated method for scheduling repetitive project*. Journal of Construction Engineering and Management 139(1) (2013) 44–50.
- 3 El-Kholy A.M. *Scheduling repetitive construction projects using fuzzy linear programming*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering 4(2) (2012) 13–22.
- 4 Fan S.L., Sun K.S., Wang Y.R. *GA optimization model for repetitive projects with soft logic*. Automation in Construction 21 (2012) 253–261.
- 5 Hegazy T., Wassef N. *Cost optimization in projects with repetitive nonserial activities*. Journal of Construction Engineering and Management 127(3) (2001) 183–191.
- 6 Hyari K., El-Rayes K. *Optimal planning and scheduling for repetitive construction projects*. Journal of Management in Engineering 22(1) (2006) 11–19.
- 7 Ispilandis P.G. *Multi-objective linear programming model for scheduling linear repetitive projects*. Journal of Construction Engineering and Management 133(6) (2007) 417–424.
- 8 Kang L.S., Park I.C., Lee B.H. *Optimal schedule planning for multiple, repetitive construction process*. Journal of Construction Engineering and Management 127(5) (2001) 382–390.
- 9 Khalied H., Khaled E. *Optimal planning and scheduling for repetitive construction projects*. Journal of Management in Engineering 22(1) (2006) 11–19.
- 10 Wang W., Wang X., Ge X., He Y. *Resource continuity constraints in repetitive project scheduling*. Journal of Information & Computational Science 10:17 (2013) 5619–5628.

Metody badań zapraw historycznych – problematyka konserwatorska

Beata Klimek

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

Streszczenie: Historyczne zaprawy są cennym źródłem informacji o technikach budowlanych stosowanych w przeszłości. Są one interesujące dla architektów, technologów i archeologów, którzy wykorzystują zaprawy jako dodatkowe kryterium dla ustalenia chronologii budowy muru w zabytkowych budynkach. Zgodnie z celem badań, stosowane są określone metody analityczne w zależności od wybranego programu badań i prac. Podstawowym problemem jest niewielki zasób opracowanych materiałów mogących służyć do porównań, drugi problem wynika z braku właściwej oceny materiałów stosowanych do napraw i konserwacji w przeszłości. Obecnie w praktyce dla prowadzonych prac badawczych przyjęte i mierzone parametry określone są indywidualnie dla obiektu, lub wynikają ze specyfiki badań prowadzonych przez architektów, archeologów, konserwatorów. Niestety przy braku określonego schematu postępowania uzyskanych wyników nie można porównać

Słowa kluczowe: badania zapraw historycznych, metody badań, schemat postępowania

1. Wprowadzenie

Badania zapraw z zabytkach architektury i budownictwie mają długoletnią tradycję, wyniki tych analiz traktowane były często jako źródło wiedzy o charakterze uzupełniającym i pomocniczym.

Z dotychczasowych danych wynika, że w badaniach technologicznych dawnych zapraw stosowane były głównie metody chemiczne H. Jabłoczyńska-Jędrzejewska [1], T. Ciach, S. Osler [2], Z. Brochwicz [3], S. Skibiński [4,5].

Makroskopowe badania świeżych przełomów zapraw i ich zglądów oraz mikroskopowa analiza preparatów mikroskopowych A. Oberc [6], Z. Brochwicz [7], C. Wójcik, S. Skibiński [8], M. Poksińska [9]. Jedynie sporadycznie stosowano dawniej metody badań składu fazowego takie jak: dyfraktometria rentgenowska, mikroskopia elektronowa, termiczna analiza różnicowa, spektralna analiza wibracyjna w podczerwieni D. Penkala, T. Ciach [10], A. Wawrzeńczak, S. Skibiński [11], S. Skibiński [12], M. Poksińska, A.M. Wyrwa, M. Kęsy-Lewandowska [13].

Określone metody postępowania w badaniach zabytkowych zapraw ułatwiają analizę porównawczą, a także umożliwiają odtworzenie dawnych składów do celów konserwacji zabytków i technologii materiałów budowlanych. Zwłaszcza, że w przekazach archiwalnych brak dokładnych wskazówek technologicznych, a próby odtworzenia starych składów sprawiają niekiedy duże trudności. Z tego względu metody przygotowania tych zapraw są wciąż dla współczesnej technologii interesujące. Również architektki i archeolodzy zaczęli

się interesować dawnymi zaprawami, używając zapraw jako kryterium pomocniczego w badaniu chronologii i współzależności poszczególnych partii murów w obiektach zabytkowych.

Konserwatora interesuje skład chemiczny, charakterystyka mineralogiczna i petrograficzna, właściwości fizyczne i mechaniczne itp. Architekta i archeologa nie interesują tak szczegółowe informacje o samym składzie i cechach zaprawy, ich zainteresowania skupiają się tylko na tych cechach, które umożliwiają porównania i klasyfikację na zbiory o wspólnym pochodzeniu.

Dlatego cel badań i poszukiwane informacje bezpośrednio wpływają na zastosowane działania analityczne.

W trakcie badań należy starać się wskazać nie tylko skład i budowę zapraw w nawiązaniu do historii obiektu, ale określić również przyczyny zniszczeń i pogorszenia ich stanu technicznego. Istnieje konieczność wprowadzenia standardów badań i analiz, które powinny obowiązywać powszechnie i które pozwalają na porównanie wyników badań przeprowadzonych w różnych laboratoriach.

Zaprezentowana metoda, może być stosowana w ocenie analizy tradycyjnych zapraw i tynków [14]. Składa się z czterech podstawowych etapów. Etap I – analiza wizualna i analiza dokumentacji historycznej, Faza II – badania eksperymentalne, Faza III – ocena, klasyfikacja zapraw na podstawie badań wykonanych w fazie II, (Rys. 1).

1.1. Faza I: Analiza i dokumentacja wizualna

Pierwszym krokiem postępowania w badaniach zapraw jest zebranie dokumentacji i analiza wizualna obiektu, w którym należy zidentyfikować oryginalne zaprawy. Zakładając, że prawdopodobnie obiekt przeszedł więcej niż jedną przebudowę, w trakcie wykonywania odkrywek odsłaniamy różne materiały. Dlatego oryginalne zaprawy powinny być wskazane przez usuwanie późniejszych nawarstwień. Przed przystąpieniem do wykonania odkrywek, wskazane jest, aby odnaleźć i wykorzystać dokumenty, które były związane z budynkiem (Tab. 1).

Tabela. 1. Ogólne dane uzyskane o obiekcie

Miejscowość, miejsce	nazwa miejscowości, opis miejsca badań
Rodzaj badanego obiektu	budynek istniejący (fortyfikacja, kościół, itp.) relikty archeologiczne, fragmenty dekoracji ze sztucznego kamienia
Zarys historii obiektu	znane lub prawdopodobne datowanie, ogólna historia obiektu, właściciele lub zarządcy
Informacje o naprawach	informacje o naprawach, przeróbkach, przebudowach i innych zmianach w strukturze budynku lub w jego fragmentach
Cel badań	porównanie z innymi datowanymi obiektami chronologia murów w badanym budynku przypuszczalni budowniczowie rozdzielenie partii oryginalnych od późniejszych nawarstwień określenie technologii określenie składu i techniki przygotowania zabytkowych zapraw badania właściwości zapraw opracowanie programu prac konserwatorskich dla obiektu

1.2. Faza II: Badania (metodologia- postępowanie badawcze)

Ta faza dotyczy kompleksowych badań, na które składają się: badania nieniszczące in-situ, laboratoryjne - badania niszczące. Badania nieniszczące są prowadzone między innymi, na zaprawach, które już w pierwszym etapie są na tyle zniszczone, że nie możliwe jest prawidłowe pobranie próbki do badań laboratoryjnych lub pobranie próbek może przyczynić się do pogorszenia stanu technicznego budynku.

1.2.1. Metody niszczące badań (w badaniach laboratoryjnych)

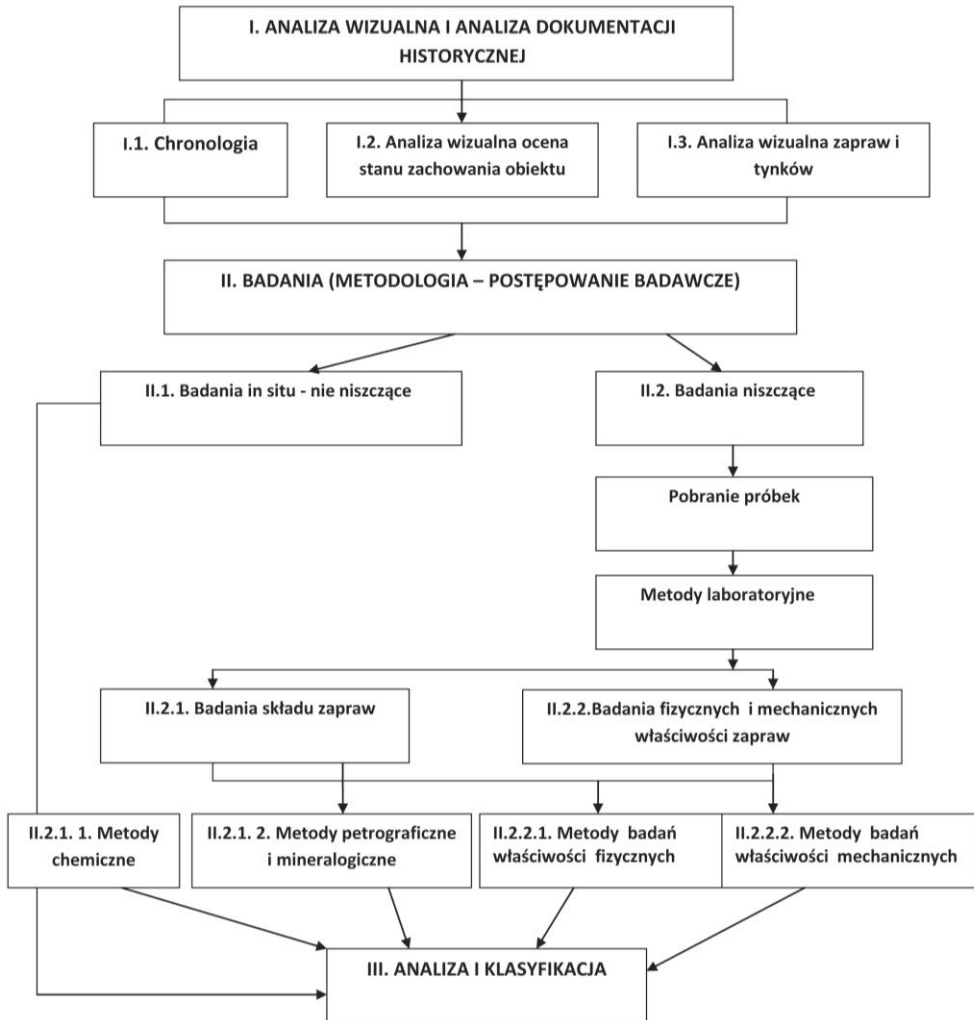
Metody niszczące stosowane są w celu określenia składu zaprawy oryginalnej i jej właściwości fizyko-mechanicznych. Te informacje są pomocne w opracowaniu odpowiednich mieszanek naprawczych. Dlatego tak ważne jest pobieranie próbek z określonych części budynku, w odpowiednich ilościach i rozmiarach, za pomocą profesjonalnego urządzenia, w bardzo delikatny sposób. W trakcie pobierania próbek, opracowywane są rysunki, które pokazują miejsce pobrania materiału, uzupełniane są karty informacyjne, zawierające inne szczegółowe dane dotyczące zapraw (Tab. 2).

Tabela. 2. Informacja o próbce

Nr próbki (zależy od przejętego systemu)	inwentarzowy laboratoryjny identyfikacja wykopaliska
Rodzaj próbki	zaprawa tynk sztuczny kamień
Cześć budynku, z której pobrano próbkę	fundament ściana zewnętrzna ściana wewnętrzna sklepienie podłoga
Chronologia, datowanie	partia oryginalna późniejsze uzupełnienie
Dokładna lokalizacja próbki	poziome i pionowe współrzędne w odniesieniu do punktu zerowego lub zidentyfikowanego elementu architektonicznego głębokość pobrania rysunek lub fotografia ściany z dokładnym miejscem pobrania
Budulec ściany	rodzaj kamienia sposób obrobienia kamienia cegła wymiary kolor inne materiały
Ogólny stan techniczny ściany	stan ściany, jej materiału, spoin,
Ogólny stan badanej próbki	mocna związana słaba krucha bardzo twarda
Cel pobrania próbki	badania składu i właściwości zaprawy, jako wzorzec do datowania dla ustalenia chronologii murów

1.2.2. Określenie składników oryginalnej zaprawy

Wykonanie analizy i określenie składu oryginalnej zaprawy posłuży do przygotowania zaprawy naprawczej. Wykonywane są analizy mineralogiczno-petrograficzne, analizy chemiczne, badania własności fizycznych i mechanicznych (Rys. 1). Badania służą określeniu proporcji spoiwa do kruszywa, rodzaju spoiwa, struktury i tekstury zaprawy, jej porowatości, mineralogicznego składu kruszywa, obecność dodatków organicznych i inne.



Rys. 1. Schemat blokowy, który pokazuje metodę stosowaną w procesie badania zapraw – do celów konserwacji i rekonstrukcji

Zasadniczym warunkiem jest ściśle przestrzeganie norm ustalonych dla działań porównawczych. Związane jest to z:

- zapewnieniem prawidłowości danych analitycznych. Obejmuje to dokładne określenie celu badania, ogólnego programu analitycznego, niezbędnych czynności ana-

litycznych, reprezentatywności próbek, krytycznej oceny uzyskanych wyników oraz właściwego przedstawienia wyników (klasyfikacja i wnioski),

- zebraniem informacji o badanym obiekcie. Opracowanie danych dotyczących obiektu, które pozwolą na łączenie uzyskanych danych o zaprawach z problematyką zabytku (Tab. 2),
- prawidłowym połączeniem danych analitycznych z problematyką badanego obiektu. Analiza współzależności między zaprawą, a obiektem (należy pamiętać, że zaprawa jest jedynie dodatkiem do innych argumentów w badaniu obiektu zabytkowego).

W podstawowej metodzie analizy porównawczej jako cel badań ustalono klasyfikację dawnych zapraw na podstawie różnic w oryginalnych recepturach. Badania ograniczają się wówczas jedynie do związanych z tym problemem właściwości (rodzaj składników, ich proporcje). Badane są tylko historycznych, charakterystyczne próbek. Gdy próbka jest nieprawidłowo pobrana i opisana, to nawet najlepsze metody badawcze nie pomogą, a uzyskane wyniki będą bezwartościowe. Stąd też już samo pobieranie próbek musi być wykonane przez osobę przeszkoloną.

Kolejny etap badań dotyczy technik pomiarowych, ich dokładności i możliwych odchylen wpływających na jakość i rzetelność uzyskanych wyników. Należy jednak pamiętać, że w przypadku badań zapraw istnieją jeszcze dwa niezależne czynniki mające wpływ na ostateczną dokładność uzyskanych wyników: dokładność wynikająca z aparatury pomiarowej i dokładność uzależniona od właściwości badanego materiału. Ostateczny wynik jest sumą obu tych czynników. Zaprawy są materiałem niejednorodnym, stąd zgodność uzyskanych wyników może się wahać w poszczególnych próbkach.

Jednym z ważniejszych działań już w fazie wstępnej badania zapraw jest zebranie informacji o obiekcie i próba rozwarstwienia chronologicznego murów. Te analizy są konieczne w celu właściwego wyboru miejsc do pobrania próbek, dla uniknięcia przypadkowości. Na tym etapie ustala się dokładne miejsca pobrania, wielkość i liczbę próbek, niezbędną do późniejszych analiz i klasyfikacji.

Ostatnim etapem jest powiązanie wyników badań zapraw z problematyką budynku. Dokonuje się analizy porównawczej hipotez na temat chronologii i klasyfikacji murów z wynikami analiz i klasyfikacją zapraw. Zgodność lub rozbieżność zmusza do poszukiwania innych wskaźników i parametrów, które należy wziąć pod uwagę.

2. Wnioski końcowe

Dawne zaprawy są źródłem wartościowych informacji dla różnych specjalistów. Brak jednak znormalizowanej metodyki badawczej często uniemożliwia porównania danych uzyskanych przez różne grupy badawcze. Z reguły prowadzone badania analityczne na potrzeby prac konserwatorskich nie są publikowane i stanowią tylko marginesowy wycinek całości.

Zaproponowany schemat, wskazuje metodykę stosowaną w procesie badania zapraw do celów konserwacji i rekonstrukcji. Proponowany sposób może być stosowany do każdego rodzaju zapraw. Przedstawiony diagram określa w praktyce badania, które mogą stanowić normę dla uzyskania informacji o zaprawach zgodnie z okresem czasu, w którym zostały wykonane.

Literatura

- 1 Jabłończyńska-Jędrzejewska H., *Dawne zaprawy budowlane*. Kwartalnik Architektury i Urbanistyki.3(1958) 85-94.
- 2 Ciach T., Osler S., *Badania nad wczesnośredniowiecznymi zaprawami występującymi w posadzkach zabytkowych reliktyw w Wiślicy*. Ochrona Zabytków. 3 (1970) 197-209.
- 3 Brochwicz Z., *Badania wczesnośredniowiecznych zapraw budowlanych – integralną częścią badań archeologicznych*. Materiały Zachodniopomorskie. 22 (1975) 95-245.
- 4 Skibiński S., *Wyniki badań nad zaprawami pochodzącymi z pierwszej przebudowy kościoła oraz najwcześniejszych obwarowań klasztornych*. Materiały sprawozdawcze z badań zespołu pobenedyktyńskiego w Mogilnie, BMiOZ, Seria B, z. 2, Warszawa(1980)76-83.
- 5 Skibiński S., *Wyniki badań próbek zapraw budowlanych*. Materiały sprawozdawcze z badań zespołu pobenedyktyńskiego w Mogilnie, BMiOZ, Seria B, z. 3, Warszawa (1983) 37-43,
- 6 Oberc A., *Mikroskopowe badania petrograficzne tworzyw architektonicznych*, Kraków (1972) 7.
- 7 Brochwicz Z., *Badania składu mineralnego sztucznego kamienia w XIV-wiecznych rzeźbach i elementach architektonicznych na zamku w Malborku*, PP Pracownie Konserwacji Zabytków, Ośrodek Informacji Konserwatorskiej, Warszawa (1984) 5-79.
- 8 Wójcik C., Skibiński S., *Próba rozpoznania surowców skalnych zastosowanych w sklepieniach krypt romańskich w Moginie*. Materiały sprawozdawcze z badań zespołu pobenedyktyńskiego w Mogilnie. BMiOZ Seria B z.2 (1980) 52-71.
- 9 Poksińska M., *Materiały i technika dolnośląskich sztukaterii z drugiej połowy XVII wieku*, praca doktorska przygotowana pod kierunkiem prof. Zbigniewa Brochwicza na Wydziale Sztuk Pięknych, Uniwersytet im. Mikołaja Kopernika [mps], Toruń (1982).
- 10 Penkała D., Ciach T., *Problemy konserwacji rytowanej posadzki gipsowej odkrytej w krypcie pierwszego kościoła romańskiego w podziemiach gotyckiej kolegiaty w Wiślicy*. Ochrona Zabytków. 2 (1965) 35-48.
- 11 Wawrzeńczak A., Skibiński S., *Przyczynek do badań technologii budowlanej świątyń wieżowych Czamów (Wietnam)*. Ochrona Zabytków. 2 (1982) 201-207.
- 12 Skibiński S., *Badania składu fazowego i struktury kamiennych obiektów zabytkowych w ekspertyzie konserwatorskiej*. w: Chemia w konserwacji zabytków. Materiały konferencyjne. (1982), s.160- 170.
- 13 Poksińska M., Wyrwa A. M., Kęsy-Lewandowska M., *Technologia dawnych zapraw jako przyczynek do poznania chronologii faz budowy rotundy i kościoła cysterskiego w Łeknie*. w: Studia i materiały do dziejów Pałuk. t. 3. Środowisko naturalne i osadnictwo w łeknieńskim kompleksie osadniczym. (red. A. M. Wyrwy) 2000, 368-390.
- 14 N. Arioglu, Acun S., *A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach*. Building and Environment. 41 (2006) 1223-1230.

Mortar historical research methods – problems of restoration

Beata Klimek

Department of Conservation of Built Heritage, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: b.klimek@pollub.pl

Abstract: Depending on various factors like time, increasing air pollution due to technological improvements of the present era together with insufficiency of inspection leads to the formation of damages on these buildings which are part of our historical

heritage. Conservation of such buildings which are as important as historical documents should be the first and foremost target of any project. Plaster used in former time are a valuable source of information of building techniques used in the past. They are of interest to technologists and archaeologists, who use plasters as an additional criterion for establishing the chronology of the construction of walling in historic buildings. In accordance with the purpose of the investigations, appropriate analytical methods of a defined precision and specially chosen program are applied.

The first dimension of the current problem is the insufficiency of resources while the second dimension stems from the lack of proper evaluation of the material to be used in conservation and restoration. This study defines the importance of mortars and plasters along with their history and the reasons of deterioration. In addition, it sets up the information flow of mortar and plaster within a systematic decision making process. The necessary experimental methods for the production of new repair mortar or plaster that can be used in determining the character analysis of original mortar and deterioration morphology are also analyzed.

The necessity has been emphasized for the introduction of investigation standards to be universally binding, which would make it possible to compare the results of investigations carried out in different laboratories. The practice has been for analytical programs adopted and parameters measured to be individually chosen by the particular investigators and cannot be compare.

Keywords: experimental method, evaluation of restoration materials, lime plasters, experimental techniques of materials

Trial of liquidation cementation of boreholes at Carpathians oil and gas deposits

Kovalchuk M.¹, Tershak B.¹, Cheliadyn L.¹, Sobol Kh.², Terlyha V.²

¹ *Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

² *Lviv Polytechnic National University*

Abstract: Complex geological structure as well as long-term intensive operation of oil and gas deposits in Borislav-Pokutska zone of Carpathians leads to changes in thermodynamical parameters of pools, rock deformation and, as a result, to crippling of the boreholes and creasing and damaging of boring casing. The abovementioned actions not only complicate extraction of oil and gas but increase the technological charge on the environment. In this study 3 types of materials were investigated: PCT-I-100 – traditional tamping cement, CREA and CREA-LF tamping mixes produced by dry mixing technology that were designed by authors. Dry mixes are characterized by higher level of SiO₂ because of addition of milled sand and provide better cementation quality. Developed materials are characterized by lower dehydration and water reduction, thanks to clearly chosen composition and modern chemical admixtures usage. The method of borehole eliminative cementation is also presented by authors.

Key words: borehole, dry plugging mixes, cementation, dehydration, chemical admixtures, boring casing

1. Problem statement

Long-term intensive exploitation of petroleum and gas deposits of Carpathian, where during XIX - XXI centuries thousands of oil and gas boreholes have been built, the change of deposit thermodynamic characteristics intensified by deformation of mountain beds, not only complicates the production of oil and gas but increases the technogenic influence on an environment [1], first of all through breaking of timbering integrity, damaging of casing and out-of-control fluidizing. The problem of reliable liquidation cementation of old boreholes is a burning issue for the deposits of hydrocarbons of Boryslavsky, Dolynsky and Nadvirniansky oil industry districts that are situated near resorts Truskavets, Skhidnytsia, Morshin, Bukovel and create the real threat to the environment in a cross-border region.

The great majority of old boreholes are characterized by multistring well program construction. One of them (Stateland- 19), drilled in 1932 at a depth of 1278 meters, has 11-columnar construction (22” – 0-13,7 m; 20” – 0-47,4 m; 18” – 0-59,7 m; 16” – 0-248,6 m; 14” – 0-426,0 m; 12” – 0-545,0 m; 10” – 503-734,6 m; 9” – 679-1070,8 m; 7” – 0-1243,0 m; 6” – 1065-1530 m; 5” – 1420-1536 m.). The other – (Bank-1), drilled in 1930 at a depth of 830 m has 12- columnar construction of borehole (23” – 0-18,0 m; 22,5” – 0-30,0 m; 21” – 27-49,6 m; 17” – 42-70,7 m; 16” – 104-136,6 m; 15” – 131-157,3 m; 14” – 155,9-180 m; 13” – 172,6-205 m; 12” – 195-224,2 m; 10” – 219-266,5 m; 9” – 0-299 m; 7” – 299-452,0 m). As a rule, casing has not been cementating, but rather has been tamping by clay, therefore some cases of depressurization of a mouth followed by the out-of-control periodic discharges of bed fluids on a daily surface with further spontaneous combustion (Fig.1).



Fig. 1. Actual state of the mouth of the borehole 131 Old Mine

To ensure the necessary level of reliability of the borehole casing, as an engineering structure, it is required to develop plugging material which is able to form durable corrosion-resistant cement stone, methods, by which the technological properties can be regulated, and process control of the mix structure formation; and, besides, unconventional approaches to the technology of barrier installation must be designed.

2. Analysis of the recent investigations and publications

The standard technology of liquidation works stipulates isolation of production horizons and the sources of fluidic-flow appearing, that can causes interstratal crossflows or migration on a daily surface, and also equipment of a heel of a borehole according to a previously considered chart. Such order of the work realization, as a rule, provides warning of crossflows of fluid and gryphon creating. At the same time, the problem of repeated borehole isolation can be arisen, as the quantity of them, as for example in Boryslav NPR, amounts to 151. Formation pressure in such boreholes is essentially lower than hydrostatic, boring casing is incoronated and, according to geophysical data, has through defects (fig. 2).

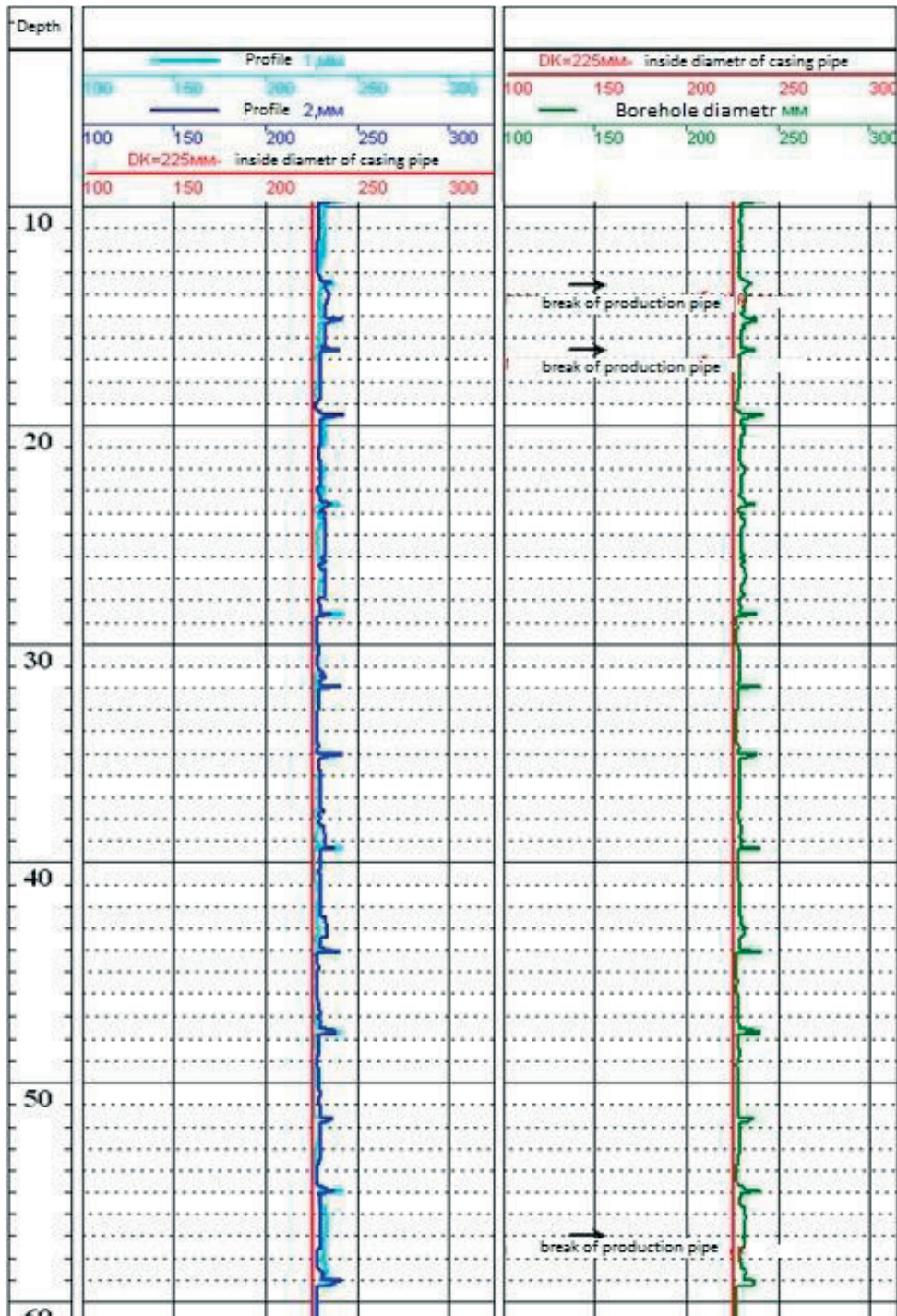


Fig. 2. State of the flow tubing borehole № 699 Boryslav according to GDC data

3. Purpose of the work

Development of current trend plugging materials and improvement of technology of isolation works with the aim to provide repeated liquidation plugging of the old boreholes at oil and gas deposits of Carpathians region.

4. Methods of investigation and materials

In the research, the plugging cement PCT-I-100 produced by JSC „Volyncement” of the following composition: CaO – 66,4%, SiO₂ – 21,4 %, Fe₂O₃ – 3,5 %, Al₂O₃ – 5,25 %, others – 3,45 % with specific surface 295 m²/kg, produced in accordance with DSTU B.V.2.7-88-99 (ГОСТ 1581-96); complex expanding plugging mortar CREA i CREA-LF produced by Ltd. «Gelios» (Lviv) of the following composition – CaO – 57,71%, SiO₂ – 26,4 %, Fe₂O₃ – 2,35 %, Al₂O₃ – 5,89 %, others – 7,65 % with specific surface 335 m²/kg; Carpathians zeolitic tuff – a group of aluminosilicates of the following composition: clinoptilolite (Na₂O* Al₂O₃* 10SiO₂* 8H₂O) 60-82 mas.%, quartz 10-20 mas.%; mica and feldspar 5-20 mas.%; thermographinite – thermo expanding inflated graphite produced by Ltd. «TMSpecmash» (Kyiv). Kneading liquid – water. The properties of plugging mortars and cement stone were determined in accordance with DSTU B V.2.7-88-99 «Plugging cements. Technical specifications», DSTU B V.2.7-86-99 “Plugging cements. Methods of testing”, and SOU 11.2-0013590: 2012 “Boreholes for oil and gas. The order of receipt and storage of cement. Batching and preparing of plugging mortar”.

The structure of cement stone was studied by the method of electronic scanning microscopy, X-ray diffraction method, method of mercury pore meter. The studies of the dynamics of strength characteristics of cement stone in thermo baric conditions were implemented by non-damaging method according to API using ultrasonic cement analyzer (UCA) from the company OFI Testing Equipment Inc. (№120-50).

5. Results of research

Microstructure of the Portland cement stone PCT-I-100 at W/C=0,48 – 0,5 has been characterized by diversified morphology. Alongside with fine-grain lamellar hydrates on the surface of cement grains, the system of pores, which are connected to each other and create the capillary-porous structure, has been observed. Quite high value of W/C ratio increases the role of the cement stone crystalline component which disposes in the pore space. The hydrated products are presented by ettringite, hexagonal AF_m-phases, calcium hydroxide and fibrous hydrosilicates. Water-cement ratio exerts large influence on early hydration process of Portland cement, especially determining kinetics of calcium hydrosulphoaluminate formation. Increasing of the ettringite content at increasing values of W/C is caused by enhancing of speed of Ca²⁺ and SO₄²⁻ ions movement in the liquid. High concentration of sulphate ions was holding during certain time depending on the alkali content in the cement, that is the higher alkali content in the cement and the earlier dissolution begins, the faster decrease supersaturation of the solution by calcium ions. Liquid phase composition in the hardening system “cement – water” has been changing steadily. That results in recrystallization of hydrated compounds during all the period of cement stone operating. To improve operational characteristics of cement stone it is expedient to decrease in its microstructure the quantities and sizes of largely crystallized hydrated formations (calcium hydroxide, hydroaluminoferrite, hydrosulphoaluminoferrite), alongside with increase of metamict content of hydrated compounds.

Composites CREA and CREA-LF, despite the larger specific surface, that promote binding of excess water, and lower water-cement ratio, are characterized by better stability, and structurally rheological and filtration properties. Therefore, dehydration of the CREA mixture has been decreased by 64,7 %, and for the mixture with CREA-LF – it came to zero, that is especially important for the casing of boreholes with complicated space architecture. Bending strength of the stone increased by 44,9 % for CREA and by 55,1 % for CREA-LF. At the same time the structure formation incubation period was shorter. This ensure formation of the stone with denser structure, closing of larger quantity of hydrate surface active centers in contact interactions in comparison with the reference specimen based on PCT-I-100.

Addition of clinker minerals of calcium sulphoferites, as crents, to the base composite cement promote and provide the possibility of directed synthesis of materials with improved properties (linear expansion of cement stone, minimum heat release, increase of structure density, durability and corrosion resistance, and also ability to self-reinforcing and self-healing of structure defects, that arise up as a result of the dynamic loading during exploitation) [3].

Table 1. Results of comparative tests PCT I-100, CREA and CREA-LF

No.	Item	Index value				
		Acc. to DSTU	PCT-I-100	Composite mortars		
				CREA	CREA-LF	
1	Grinding fineness - sieve residue with grid №.008 according to GOST 6613, not more than, %	15	11,8	3,4	4,8	
2	Specific surface, m ² /kg, no less than	-	285	315	320	
3	Density of cement suspension, g/cm ³	-	1,82	1,86	1,85	
4	Water-cement ratio	0,5	0,48	0,45	0,45	
5	Dehydration, ml, not more	8,7	7,0	1,5	0	
6	Spreadability of cement past, mm, not less than	200	195	230	225	
7	Thickening time to 30 Berden units, min. not less than	90	90	>100	>100	
8	Setting time, hour-min.	initial	-	1-30	1-45	2-00
		final	-	2-10	2-25	2-15
9	Strength of cement stone, MN/m ² , not less than, after 1 day	bending tensile	3,5	4,9	7,1	7,6
		compressive	-	18,1	17,6	18,4
10	Linear expansion of cement stone, %	-	-	1,5	1,2	
11	Water reduction, cm ³ /30 min	-	640	170	15,5	
Rheological characteristics at 27o C according to FAN35 at						
	600 rpm		120	150	170	
	300 rpm		80	95	105	
	200 rpm	-	55	60	90	
	100 rpm		40	45	70	
	60 rpm		35	35	55	
	30 rpm		20	25	45	

Character of formation of crystallization structure of composition materials modified by crents differs slightly from this of Portland cement and begins, when the size of hard phase nuclei, that arise up on the coagulative stage of solidification, exceeds the critical one, and directly depends on chemical nature of phases of the solidifying system,

saturation degree of solutions hydrated new formations and surface tension coefficient on the interphase boundary. Speed of crystallizational framework formation is regulated by the diffusion coefficient of colloid particles from oversaturated solutions of hydrated new formations to the hard phase nuclei. As crystals of hydrated composition minerals are different by form and size of elementary cells, then in the process of their development the linear defects of structure are intensively created – distributions of disparity and point defects-vacancies. Crystals develop athwart to the surface of matrix in direction to the nearest aquated particles of the binder, and serve as the centers of nucleation and crystallizations, on which further hydrated products are besieging (Fig. 3). Composition materials are characterized by more even distribution of hydrates in gel mass of hydrosilicates, better ordering of coalescence contact zones and increase of amount of coalescenced fibres in the hydrosilicates blocks. The above mentioned provides formation of denser structure of the stone and closing of greater number of active hydrate surface centers in the contact interaction in comparison with a reference specimen on the base of cement of PCT-I-100; that ensure the improvement of strength characteristics and deformation properties of the cement stone formed from the composition materials. Therefore, optimal combination of polymineral components of different genesis provides the directed synthesis of cement stone with the improved operating properties at thermobaric conditions.

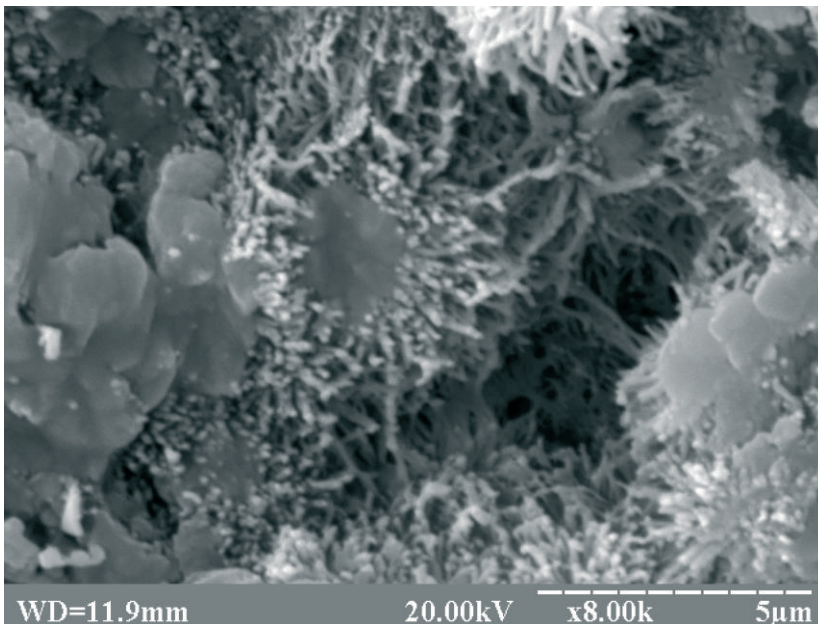


Fig. 3. Structure of cement stone CREA

The distinguishing characteristic of microstructure provided the matrices, on the basis of the modified composition cement, with increasing viscosity of destruction of cracks of the normal tearing away, higher indicators of durability and resiliency at a bending through the mechanism of breaking of development and confluence of microcracks by structural heterogenities – microreinforcing fibres, gel pores, microcapillars, by the surfaces of phases division, by grains of mineral additives and clinker, that were not used in the process of

hydratation, as well as by crystals. It means that phases, that appear during hydratation of composition cement, are identical with those that appear during hydratation of PCT-I-100. The difference consists in a quantitative relationship between the low-basic and high-basic calcium hydrosilicates.

The improvement of cement stone characteristics of CREA and CREA-LF composition mixtures is promoted by application of polyfunctional modifiers. It is known that, physic-mineralogical composition of cement, nature of additions-modifiers, solidification conditions stipulate such qualificatory descriptions of microstructure, as composition and basicity of new formations, crystal morphology, type of bonds, character of porosity, correlation of gel-like and crystalline phases, and also intensity of structure formation and destruction processes of the stone. On the basis of the research results optimal correlations of compositions binders capable to self-reinforcing, phase composition of hardened products and kinetics of expansion were determined and technological properties were studied. It is stated that increase of efficiency of cements can be achieved by introducing complex additives of polyfunctional action, that, complementing each other, allow to get additive, and occasionally synergistic effects [4].

A plasticizer of new generation has been applied as a modifier on the basis of polycarboxylates, alongside with additives-stabilizers and micro reinforcing fibres of polypropylene. Plasticizers are synthetic, water-soluble surface-active chain or reticulated polymers and copolymers, that differ from traditional ones by the type and considerably less ionic groups (quite weak polyelectrolyte), as well as by the constrained spatial structure of present lateral chains that prevent the particles of cement drawing together. In this case, except electrostatic, steric effect of pushing away of lateral chains of adsorbable macromols is realized. In the process of co-operating of cement particles with water lateral chains are slower shrouded by the products of hydratation that predetermines their longterm plasticizing action. Except it, separate lateral chains in colloid solution can be slabbed from cement particles, settle on the hydratated products and continue plasticizing effect. Ethers of cellulose – derivatives of cellulose, that can be described by a general formula $/C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OR)_n/$, where: n is a degree of polymerization, x is a number of the OH groups, kneaded in one link of macromol of cellulose (degree of substitution or etherification); R - CH₃ is methyl, C₂H₅ is ethyl, C₃H₇ – propyl, are used as stabilizing additives. Stereoregular structure of macromolecule and firmness of confirmatory form of its elementary link distinguishes cellulose from all row of polysaccharides, including the most firmness to chemical influences. In the mixture CREA-LF methylhydroxyethylcellulose is applied, the basic property of which is a high level of water-retaining ability. The molecules of dissolved cellulose form aqua – complexes. Ethers of cellulose as non-ionogenic surface-active material own high stabilizing ability, providing sedimentation stability of suspensions. Application of ethers of cellulose promotes the increase of adhesive behaviors of the plugging systems and decline of permeability of cement stone, as there is colmatation and ceiling of capillary pores of stone structure by cellulose gel. With the aim of increasing of deformation properties of stone composition plugging mixtures contain microreinforced fibres. Ability to microplastic deformations of composition matrix is increased by microreinforcement stipulates the higher values of energy consumptions on destruction of the stone.

It should be noted that development and application of modern plugging composite materials to which belong CREA and CREA-LF can not find out the solution for the existent problem of ensuring the required level of reliability (first of all durability) of isolating baffle. In accordance with principles of physical and chemical mechanics

(academician P.A. Rebinder and his school), production of binding materials with the predetermined properties requires ensuring of the directed structure formation of the suspension. In industrial practice of longhole building two basic methods of improvement of the quality of plugging mortars and the stone have been widely applied. The first is based on the various methods of clinker activation (disintegrating treatment of cements; ultrasonic, hydroacoustic, hydrodynamics, electric, or magnetic activating of mixture). The second is based on the principles of water content regulation, as for example by application of packer-filters which ensure force filtration of surplus amount of mixing water from plugging suspension after completing of cementation operation [2].

As the technical state of casing (fig.2) does not allow to use traditional packer devices the authors has investigated possibility of operating the processes of structure formation of plugging-mortars by zeolite tuff application. This is implemented through dehydration of zeolite tuff which is characterized by tough crystalline aluminosilicates skeleton with the cavities united to one another by open channels – windows, that are very important for the processes related to adsorption and mass transfer.

It has been found that addition of finely grounded zeolitic tuffs to the kneaded plugging suspension promotes structure formation. The process of hardening is determined by a chemisorption, which occurs on the surface of zeolite grains, and is followed by formation of crystallohydrates that strengthen a hardening structure. Depending on the concentration of the additive, the structure and operational properties of cement stone are improved due to binding of surplus water and increase of dispersible phase concentration; the setting terms at that can be shortened by 40 - 70%.

The achievement of necessary level of reliability of isolating baffle can ensure the effective protecting of cement stone from corrosive destruction under the action of aggressive bed waters. The researches have been confirmed high sorption ability of fibres of thermographenite in relation to hydrocarbons including oils of Carpathian deposits. It was ascertained that depending on a type and properties of fluid and thermo baric conditions, one mass part of thermographenite can absorb on itself from 65 to 73 mass parts of unrefined oil. Thus the highviscous impenetrable for water thixotropic composition appears. Examinations of cement stone corrosion resistance were carried out in basic bed waters of oil and gas deposits of Carpathians showed that the cement stone covered by the layer of such composition did not give evidence of destruction.

The results of the researches has allowed the authors to develop the new method of liquidating cementation for old oil and gas bore holes, essence of which consists in the following. After decompression of the mouth of the borehole, a level of the formation fluid inside the production string (that can make from a few ten to a few hundred meters) is determined by one of well-known methods. The specimens are taken away from the surface of liquid and study. Mostly it is petroleum emulsion that threatens the environment. Inside the columns 50-70 kg of thermographenite is filling up, which absorbs oil and forms a highly viscous layer of 30-50 m thick on a fluid surface. On the formed layer, 70-100 kg of finely dispersed zeolite tuff is poured, which further is grown by the plugging suspension of composition mixture of CREA or CREA-LF. After the cement mixture get on a dry zeolite, filtration of the surplus kneading water happens and formation of stone structure with high operating properties speeds-up. Thus baffles of petrolized thermographenite and zeolite protect the cement stone from destruction. So, it is possible to create in boreholes the combined isolating baffles with high reliability (fig. 4).

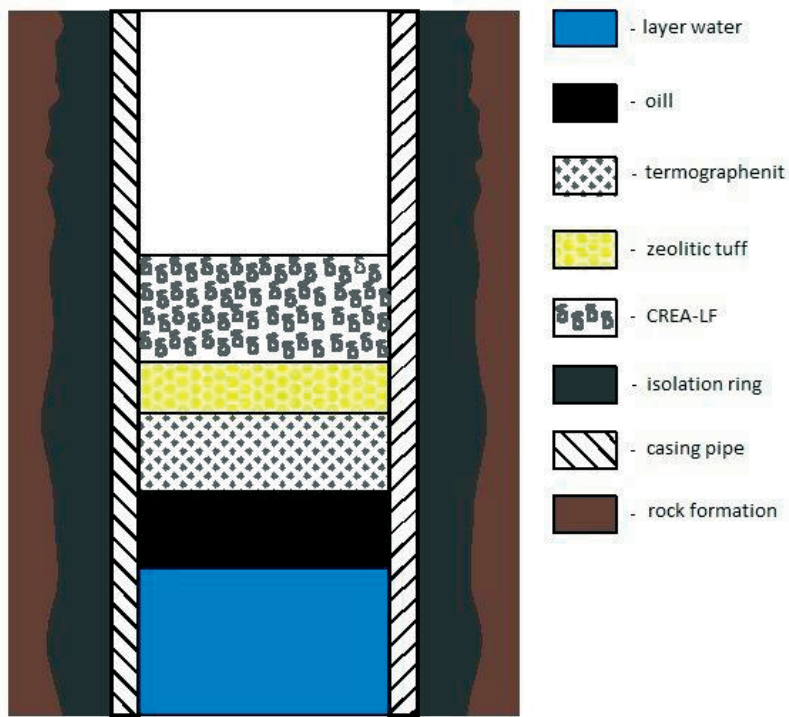


Fig. 4. Scheme of isolation screen construction in liquidation borehole

The developed materials and technology are successfully approved during implementation of isolating works in the boreholes of oil and gas deposits of Carpathians.

6. Conclusion

The oil and gas deposits of Carpathians are characterized by its unique mining-and-geological properties and plenty of old mining holes which require high-efficiency liquidating cementation. Summarising of results of researches in the direction of solving this problem, evidences the experience of application of the modern plugging composition materials produced by technology of dry building mixture preparation and high-efficiency sorbents such as zeolite tuff and thermographenite.

References

- 1 *Nafta i gaz Podkarpacia. Zarys Historii*. Instytut Nafty i Gazu (Krakow), Naukowa Dumka (Kijow), 2004, pp. 570.
- 2 Bulatov A.I., Proselkov Yu. M., Shamanov S.A., *Technika i tehnologiya bureniya neftiannyh i gazovyh skvagin*. M.: OOO "Nedra-Biznescentr". 2003, pp. 1007.
- 3 Tershak B.A., Sobol Kh.S., Kovalchuk M.B. *Struktura tamponagnyh cementiv modyfikovanyh crentamy*. NAN Ukrainy. – Fizyko-mechanichniy instytut im. G.V. Karpenka. – *Mechanika I fizyka ruinuvannia budivel'nyh materialiv ta konstrukciy*. Zbirnyk naukovykh prac'. Vypusk №10., Lviv, „Kameniar”, 2014. pp.551-561.

- 4 Sanytskyy M.A., Sobol Kh.S., Markiv T.Ye. *Modyfikovani kompozyzinyi cement*. NU "Lvivs'ka polytechnica". 2010, pp.130.
- 5 Terlyha V., Sobol Kh., Tershak B. *Modified oil-well cements for casing boreholes with abnormally low stratum pressure*. 18-th international conference on building materials "18.Ibausi". 12-15 September 2012. Weimar.

Aktywność architekta na tle społecznym

Maria Semeniuk

*Katedra Architektury, Urbanistyki i Planowania Przestrzennego,
Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, email: m_semeniuk@o2.pl*

Streszczenie: Partycypacja, tworzenie warunków na zaistnienie relacji międzyludzkich, działania w przestrzeni miejskiej czy dawanie ludziom szansy na rozwój to nie zawsze oczywiste skojarzenia w patrzeniu na pracę architekta. Treść artykułu dotyczy wpływu zagadnień społecznych w proces projektowania. Omawia różne sposoby stymulacji użytkowników architektury i przedstawia sylwetki poszczególnych architektów-aktywistów.

Słowa kluczowe: partycypacja, społeczeństwo, przestrzeń życia, aktywność

1. Wprowadzenie

Architekci oraz inne osoby zawodowo zajmujące się projektowaniem muszą sprostać wielu zadaniom (...) od architekta wymaga się zarówno wrażliwości artysty, jak i praktycznych umiejętności inżyniera (...). Wiąż pomiędzy projektowaniem, a naukami o zachowaniu opiera się na zainteresowaniu ludzkim zachowaniem¹. Ważny staje się szeroki horyzont działania architekta, zawierający wspomniane kwestie techniczne i estetyczne, ale również działania na płaszczyźnie społecznej. W projekcie ważną rolę zajmuje wpływ projektowanego otoczenia na człowieka, na mogące zaistnieć tam sytuacje i relacje między ludźmi, udogodnienia, które wpłyną na psychikę i komfort użytkownika. Kolejną rzeczą jest rozwiązywanie problemów przez działania architektoniczne powiązane z wiedzą psychologiczną i socjologiczną. Często może ono przybrać formę akcji, pobudzenia miejsca i społeczności, manifestu, poprawy warunków, zmiany sposobu myślenia. W niektórych przypadkach sam taki proces odgrywa dużą rolę, jest tak samo ważny dla środowiska jak zrealizowany już projekt. Zwrócenie uwagi na społeczność, powiązanie zastanych warunków z możliwościami zmiany, obserwacja, dokładne poznanie miejsca i współpraca przekładają się na dobór odpowiednich rozwiązań.

2. Struktura społeczna

W 1945 roku Jacob Bakema odniósł się do architekta jako osoby działającej w społeczeństwie słowami: *"Prawdziwą architekturę może dziś robić tylko ten kto zechce twórczo współpracować z nowym porządkiem społecznym"*. Wspomina też o idei partycypacji, mówi że: *"Masy społeczne wyzwalały się stopniowo ze swej anonimowości i chcą same być twórcami, (...) kiedyś ludzie byli dumni, gdy zrobili w swym domu coś własnoręcznie. Potem pojawiła się spółdzielczość mieszkaniowa i każdy dostał swoją betonową klatkę, otoczenie stało się martwe i monotonne."*² Jego manifesty znalazły odzwierciedlenie w poczynaniach kształtującego się na przełomie lat 50 i 60 strukturalizmu oraz grupy Team 10, której był jednym z głównych organizatorów. Postulaty odnosiły się do *stworzenia nowego*

¹ Cytat z książki *Psychologia społeczna* [1] Cialdini

² Cytat z książki *Przygody architektury XX wiek* (Trzeciak [2])

typu myślenia architektonicznego, odcinającego się od idei gropiusowskiego funkcjonalizmu i miesowskiej przestrzeni i jej strukturalizowania, (...) partycypacji społecznej (...) znalezienia właściwej relacji pomiędzy strukturą budowlaną obiektu i jego strukturą społeczną (...) tradycją miejsca i form archetypicznych.³ Przykładem, gdzie struktura tworzy przestrzenie sprzyjające kontaktom społecznym, może być Central Beheer w Apeldoorn czyli budynek biurowy dla agencji ubezpieczeniowej, autorstwa Hermana Hertzberga. Budynek jest głęboką, przestrzenną macierzą z betonu i gipsu (...) Poodsuwane od siebie platformy, pozwalają światłu sływać w głąb budynku. Surowość z powtarzającymi się małymi platformami zostały przywłaszczone i zorganizowane przez małe 8-10 osobowe grupy, które czują się zachęczone do spersonalizowania i udekorowania miejsca. Takie działania doprowadziły do wytworzenia się w firmie rodzinnej atmosfery, do tego stopnia, że pracownicy przychodzą do biura z członkami swojej rodziny, a także przynoszą meble z własnych domów. Budynek tworzy społeczność pracowników, określaną jako "workers village."⁴



Fot. 1. Biuro w Apeldoorn, Herman Hertzberger, 1972, Jedząca lunch rodzina w Central Beheer – przykład wpływu struktury budynku na zachodzące wewnątrz aktywności ludzi. Źródło: (Caruso, St John [4])

Podobnie Aldo van Eyck w Domu Dziecka w Amsterdamie stworzył "miasto dzieci", które opisywał jako "Mały świat w wielkim, wielki w małym, dom jak miasto, miasto jak dom."⁵ Zróżnicowane wiekiem dzieci poprzez strukturę założenia mogą odnaleźć w budynku swoje miejsce, swój własny mikroklimat, w którym będą czuły się bezpiecznie.[2]

³ Cytat z artykułu *Nowa struktura, Ewolucja strukturalizmu holenderskiego* (Bizio [3])

⁴ Cytat ze strony internetowej www.carusostjohn.com (Caruso, St John [4])

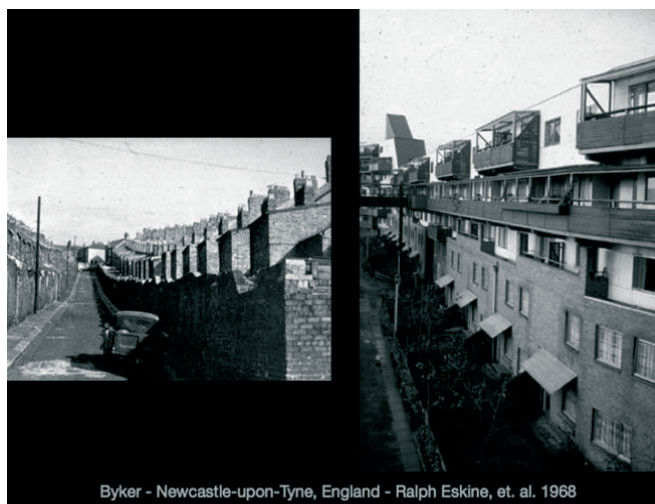
⁵ Cytat z książki *Przygody architektury XX wieku* [2]



Fot. 2. Miejski Dom Dziecka w Amsterdamie , Aldo van Eyck, 1960. Źródło: www.team10assignment.blogspot.com. Na przykładzie dwóch wybitnych architektów – Hertzbergera i van Eycka można zaobserwować umiejętność projektowania budynków z rozwiązaniem ewentualnych przyszłych problemów w określonej grupie społecznej.

3. Partycypacja

Zagadnienia skierowane w stronę projektowania architektury "ludzkiej skali", tworzenia ram przestrzennych dla społeczeństwa, zostały rozwinięte do projektowania dla określonej społeczności, konkretnego użytkownika. Umożliwiła to partycypacja. W latach 60 architekt Ralph Erskine wprowadzał teorie o współuczestniczeniu użytkownika w procesie projektowym w dyskusjach Team 10, a w 1968 roku zaprojektował osiedle Byker Wall. Założenie osiedli robotniczych w Newcastle w Anglii dotyczyło przebudowy istniejącej zabudowy szeregowej.



Fot. 3. Osiedle Byker Wall, Ralph Erskine, 1968, Widok na osiedle z zabudową szeregową i po przebudowie w 1968, Źródło: www.studyblue.com

Erskine zaproponował długi, blok mieszkalny, który poprzez swój kształt i położenie miał również chronić od zachodnich wiatrów i biegnącej nieopodal autostrady. Jednak oprócz ogólnych założeń osiedla *każdy swój pomysł poddawał krytycznemu osądowi przyszłych mieszkańców. Uznał również, że mają oni prawo wybrać sobie lokalizację, plan mieszkania i sąsiadów. Dzięki temu dziewięcioletnia społeczność osób zmuszona do przeprowadzki nie rozpadła się, co więcej zorganizowała własny samorząd.(...) Bardzo istotnym etapem było wybudowanie na początku małego fragmentu osiedla, Janet Squere (1971-72) według ustalonych z mieszkańcami założeń i poddanie go wspólnej, publicznej ocenie i dyskusji.*⁶ Przez czas projektowania Erskine stał się lokalnym aktywistą, który zachęcał ludzi do współuczestnictwa, do organizowania się i działania. Poprzez dyskusje i rozmowy architekt zapobiegł konfliktom mogącym wyniknąć ze zmiany oraz zaprojektował przyjazną przestrzeń. Sam budynek charakteryzuje się ciekawymi rozwiązaniami: wbudowane części starych budynków, mozaikowe kompozycje, różnorodne balkony, galerie i przejścia, kompozycje roślinne, do tego dalszy ciąg osiedla złożony z domów jednorodzinnych, również zaprojektowanych indywidualnie z przestrzeniami prywatnymi i półprywatnymi.



Fot. 4. Osiedle Byker Wall, Ralph Erskine, 1968, Wykorzystanie elementów, które zostały po zburzeniu dawnych zabudowań. Źródło: www.architecture.knoji.com

Ikona architektury partycypacyjnej jest akademik Katolickiego Uniwersytetu Lovańskiego w Brukseli. Architekt Lucien Kroll przed rozrysowaniem rzutów i przekrojów budynku, prowadził dyskusje i warsztaty z przyszłymi użytkownikami - studentami. Budynek projektowali studenci, a architekt stał się animatorem. Kroll w swoich realizacjach odwoływał się do architektury otwartej, dopasowującej się do społeczeństwa. Bardzo mocno podkreślał rolę architekta, jako narzędzie do wytworzenia architektury przez użytkowników. W swoich teoriach i wypowiedziach punktował metody udanego projektowania: "(...) obiektywne przeanalizowanie złożoności użytkowników (przy poszanowaniu czynnika etnicznego) (...) zwrócenie się w stronę rzeczywistych mieszkańców, nie zaś abstrakcyjnych, jak to się dzieje zazwyczaj. Można odnieść wrażenie Krolla jako architekta przyjmującego postawę wrażliwego na warunki życia mieszkańców, (...) otwartego na szereg poglądów poprzez empatię (...) prowadzącą do (...) odgadywania form zgodnych z efektami sponta-

⁶ Cytat ze strony internetowej www.teoriaarchitektury.blogspot.com (Górski[5])

nicznych działań mieszkańców, sprzeciwiającego się tworzeniu architektury zawłaszczającej sobie człowieka." Jak podkreśla sam Kroll: "W ten sposób unika się redukcji ludzi do nieistotnej przeciętności."⁸



Fot. 5. Akademi w Brukseli, Lucien Kroll, 1970-1982. Źródło: <http://hadrianestou.tumblr.com>

4. Problem społeczny

Zainteresowanie architektów społeczeństwem i jego problemami współcześnie idzie jeszcze dalej. Zagadnieniami, z którymi chcą się zmierzyć projektanci w sposób świadomy staje się budownictwo socjalne, brak wystarczających funduszy na dom oraz nierówności społeczne, wynikające z podziału na biednych i bogatych. Chilijski architekt Alejandro Aravena jest przeciwnikiem takiego rozdziału. Uważa, że miasto i architektura są idealnym tworzywem właśnie do zacierania tych granic. Takie podejście wykorzystuje w mieszkalnictwie socjalnym. Chce jak najbardziej odejść od pojmowania tego typu budownictwa, jako stref nędzy, zamkniętego getta na obrzeżach miasta. Stłoczenie ludzi w przestrzeni zaprojektowanej najniższymi kosztami, przez niewykwalifikowanych pracowników, bez względu na ludzi, a jedynie na szybkie rozwiązanie problemu, ma współmierne skutki w przyszłości. To co dla wielu architektów staje się barierą w projektowaniu socjalnym, dla Araveny stało się rozwiązaniem. Aravena pracuje z małą stawką 10000 \$, które ma wystarczyć na budowę domu i działkę, sam architekt twierdzi że małe środki i jedyne możliwe warunki budowy pozwalają mu stworzyć klarowną wizję. Proces twórczy również opisuje krótko i zwięźle: "Zostaw to co nie jest istotne, bądź precyzyjny, unikaj bezwzględności".⁹ Projektuje małe założenia o surowym charakterze. Tym samym udaje mu się uruchomić proces projektowania u użytkowników. Daje im możliwość bycia aktywnym i zadbania o własną przestrzeń, związania się z nią, a co za tym idzie - dbania. [7]

⁷ Cytat z artykułu *Anarchitektura* [5]

⁸ Cytat z artykułu *Architektura złożoności* (Kroll [6])

⁹ Cytat z artykułu *Alejandro Aravena: architect, equaliser, el visionario* (Watson [7])



Fot. 6. Domy socjalne w wersji przed wprowadzeniem się mieszkańców. Wąskie jednostki mieszkalne pozwalają na różne możliwości rozbudowy, zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz. Źródło: www.moma.org



Fot. 7. Quinta Monroy, Alejandro Aravena, 2008, Proces konsultacji z mieszkańcami. Źródło: www.moma.org



Fot. 8. Quinta Monroy, Alejandro Aravena, 2008 Przykład zagospodarowania domu, Źródło: www.moma.org

Grupa Rural Studio również postawiła sobie za cel zmieszczenie się w kwocie tym razem 20000\$. To wartość kredytu, na który może sobie pozwolić przeciętny mieszkaniec Hale County(zachodnia Alabama, Stany Zjednoczone). 30 % ludzi w miasteczku żyje w biedzie, a jedynym rozwiązaniem jest mieszkanie w przyczepie. Projekt "20 K House" skupia się na problemie lokalnej społeczności, opracowując model taniego, ale racjonalnie zaprojektowanego, dostosowanego do miejscowych warunków domu. Grupa dąży do zminimalizowania kosztów budowy, ograniczeniu szczegółów, skrócenia czasu budowy. Mimo że co roku powstaje jak na razie tylko jeden dom, jest to krok naprzód do zmiany warunków zamieszkania. Oprócz tego Rural Studio projektuje, muzea, kaplice, place zabaw, skateparki, kluby sportowe. Członkami Rural Studio są głównie studenci z Uniwersytetu w Auburn, działający pod opieką profesjonalnych architektów. Grupa powstała w 1993 roku z inicjatywy Samuela Mockbee, który chciał połączyć umożliwienie studentom nauki w praktyce z pracą na rzecz społeczeństwa. Mockbee był architektem, nauczycielem, który chciał podnieść standardy mieszkalne wiejskiego, biednego społeczeństwa, ale też jak sam mówił, aby "stworzyć schronienie dla duszy". W projektowaniu zwracał uwagę przede wszystkim na drugiego człowieka, mówił o architekturze jako o "sztuce społecznej", ważna dla niego była ekologia. Rural Studio z powodzeniem kontynuuje jego filozofię.(ruralstudio.org[8])



Fot. 9. Jeden z domów - Projekt Frank's House, Rural Studio, Hale County, 2005. Źródło: www.moma.org



Fot. 10. Plac zabaw - Lyon Park Playscape, Rural Studio, Greensboro, 2007. Źródło: www.ruralstudio.org

Na podobnej zasadzie, jak domy "20 K", o wiele wcześniej powstała metoda budowy domów Waltera Segala. Polegała na stworzeniu prototypu domu, stypizowanego projektu, odznaczającego się niskimi kosztami, odpowiednim doбором materiałów, przy respektowaniu ekologii i lokalnych surowców, krótkiego czasu pracy. Co najważniejsze architekt dążył do aktywizacji samych przyszłych mieszkańców. Było to możliwe, ponieważ *domy planowane były tak, by wybudowali je niewyszkoleni ludzie (często po prostu rodziny) bez użycie nowoczesnych maszyn i tak by zużyć na nie minimalną ilość materiału*.¹⁰ Tak powstały dwa osiedla mieszkaniowe w Londynie Segal Close i Walters Way. Proces powstawania osiedli polegał na początkowej konsultacji ze społeczeństwem, a następnie pod nadzorem wykwalifikowanego robotnika – konstruowania i budowy własnych domów. Z czasem mieszkańcy – dostatecznie wyszkoleni – wszystkie prace umieli wykonać już sami. Pomysł domów Segala to nie tylko technologia, to jednocześnie świadomy plan architekta dla zbiorowości ludzi. Jak opisuje autor artykułu odnoszącego się do Segala: *Zakodowany w projekcie niedobór środków i możliwości w pewien sposób wymuszał na przyszłych mieszkańcach współpracę. Mieszkańcy pomagali sobie zarówno na budowie, jak i poza nią, np. opiekując się nawzajem swoimi dziećmi. Wspólne problemy, realny i namacalny wpływ na realizację budowy i wzajemna pomoc skutkowały rozwojem relacji, które silnie integrowały lokalną społeczność. (...) W analizach metody Segala tworzenie wspólnoty i rozwój predyspozycji zawodowych mieszkańców przywoływane są jako korzyści niemal równorzędne z budową domu*¹¹. Podsumowując, Walter Segal dotknął tu trzech istotnych kwestii: tanich, ogólnodostępnych mieszkań, budowaniu wspólnoty poprzez prace i aktywność mieszkańców, ekologicznego, racjonalnego budownictwa.



Fot. 11. Typowa zabudowa "domów Segala". Źródło: www.spatialagency.net

5. Działanie

Obecnie, kiedy dyskusji na temat miast zorientowanych na człowieka poświęca się dużo czasu, powstają kolejne inicjatywy i działania mające na celu poprawę sytuacji lub uświadomienie problemu. Organizowane często przez architektów i urbanistów, potrafią

¹⁰ Cytat z artykułu *Brak - metoda budowy domów Waltera Segala*. (Górski [7])

¹¹ Cytat z artykułu *Budując wartości. Regionalne pogranicza modernizmu* (Gierszon [10])

realnie wpłynąć na otoczenie. Monika Komorowska ze stowarzyszenia "Odblokuj" zakłada że "architekt może jako ekspert katalizować pewne procesy, wpływać na środowisko życia ludzi, sprawiać, że jest ono lepsze."¹² Dotychczasowe projekty stowarzyszenia to m. in. stworzenie letniego pawilonu w niewykorzystanym parku na osiedlu Służew - projektM3, cykl działań przestrzennych i artystycznych "M4 Rakowiec", wystawy, interwencje przestrzenne oraz renowacje podwórek w Warszawie - "odNowa". Architekci Marlena Happach, Marek Happach i Rafał Jedliński stworzyli projekt aranżacji placu przy ul. Równej. Inspiracją stało się puste miejsce, na którym kiedyś znajdowała się kamienica. Pojawiła się koncepcja zaprojektowania przestrzeni - ogródka, w podziale przypominającym rozkład mieszkania. Całość opracowania została szczegółowo skonsultowana z mieszkańcami w różnym wieku, organizatorzy przeprowadzili warsztaty i spotkania, dzięki którym ustalili plan działania. Mieszkańcy kamienic aktywnie uczestniczyli również w samym tworzeniu podwórka. Modernizacja podwórka, nie tylko, stworzyła im nową, lepszą, a może nawet jedyną przestrzeń rekreacji, lecz również pogłębiła poczucie wspólnoty. Akcja została rozszerzona o kolejne warszawskie podwórka. Tym razem do pomocy przy projekcie zostali zaproszeni architekci z Wielkiej Brytanii, Australii, Hiszpanii i Holandii. Następnym krokiem była organizacja projektu "Żółta Linia", który koncentrował się na działaniach artystyczno-architektonicznych w przestrzeni i miejskiej, a także na wystawach i prezentacji projektów realizowanych w ramach "odNowa" i nie tylko. Głównym przekazem "Żółtej Linii" było przypomnienie o potrzebie przyjemnych miejsc w mieście oraz stref gdzie użytkownik może pobudzać swoją kreatywność i sam organizować inne formy aktywności. Przykładowo: "Mega Mobilne Donice" umożliwiały wykreowanie własnej przestrzeni – małego ogrodu, parku czy placu, a mobilne donice stanowiły manifest braku miejsc, gdzie człowiek mógłby zatrzymać się i zrelaksować. (Hajok[12])

Jak można przeczytać na stronie internetowej stowarzyszenia "Odblokuj": *Procesy społeczne nierozłącznie związane są z przestrzenią życia mieszkańców a architektura i design mają moc katalizowania pozytywnych zmian. Zadanie współczesnego projektanta nie kończy się na wykreśleniu projektu zza biurka.*¹³



Fot. 12. Podwórze ul. Środkowa 12. Źródło: [13]

¹² Cytat z wywiadu-dyskusji *Aktywizm kontra legalizm – jak powstaje miasto obywateli* (Buczek [11])

¹³ Cytat z opisu projektu *OdNowa* (Happach [13])



Fot. 13. Projekt Żółta Linia, Mobilna Fontanna, Plac Konstytucji 4. Źródło:[13]

Holenderskie biuro architektoniczne "DUS Architecture" również propaguje tworzenie okresowych budowli, na podobnej zasadzie jak "OdBlokuj", twierdzą że "jednodniowe wydarzenie może trwać w pamięci użytkowników przez całe życia." Zgodnie ze swoim postulatem zorganizowali w centrum Rotterdamu tymczasowy bar z parasolek, który stał się przyczyną organizacji spotkań, gier, imprez w przestrzeni miejskiej. Podobnie zaprojektowali przestrzeń kempingową na osiedlu mieszkaniowym. Pomimo nieatrakcyjności samego miejsca, zainteresowanie było na tyle duże, że obowiązywały wcześniejsze zapisy. Oprócz działań w mieście, biuro zajmuje się również projektowaniem osiedli mieszkaniowych, opartych na zasadzie partycypacji, a także odzyskiwaniem alternatywnych miejsc w mieście pod budowę osiedli. Architekturę traktują jako "stół do rozwiązania problemów", do dyskusji pomiędzy ludźmi, która wprowadza wzajemne zrozumienie i prowadzi do szybszego procesu projektowania.(dusarchitects.org[14])



Fot. 14. Miejski Camping, Castricum, Holandia, DUS Architecture. Źródło: [14]



Fot. 15. Bucky Bar, Rotterdam, DUS Architecture. Źródło: [14]

Opisywani architekci przyjmują zasadę, że architektura nie może być traktowana jedynie jako cel, z pominięciem procesów przed samym projektowaniem i po wybudowaniu. Dążą do pobudzenia użytkownika i akceptują zmiany, procesy dostosowywania budynku do użytkownika. Przeciwwstawiają się tym samym architekturze ikonicznej. Współpracują z ludźmi, ponieważ wierzą, że jest to ważny czynnik udanego projektu. Inicjują działania, aby można było pobudzić kolejne, wśród zwyczajnych ludzi, jak również przez inne organizacje czy też przez władze. Zwracają uwagę na człowieka, od projektowania, analizując potrzeby poszczególnych grup użytkowników, po rozwiązywanie problemów społecznych. Często angażują się w sprawy lokalne, traktujące architekturę jako przyczynę do pozytywnych w skutkach zmian.

Literatura

- 1 Cialdini R.B., Kenrick D., Neuberg S., *Psychologia społeczna, Perspektywa projektanta*, Gdańsk, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, 2005, rozdz. 11.3.
- 2 Trzeciak P., *Przygody architektury XX wieku*, Warszawa: Nasza Księgarnia, 1974.
- 3 Bizio K., *Nowa struktura, Ewolucja strukturalizmu holenderskiego*, Przestrzeń i forma, 2014.
- 4 Caruso A., St John P., www.carusostjohn.com, *History of the Office-The Structuralist Office*.
- 5 Górski R., www.teoriaarchitektury.blogspot.com, *Anarchitektura*.
- 6 Kroll L., www.wieloryp.wordpress.com, *Architektura złożoności, magazyn 'Mać pariadka'*, nr 1(2005) - za.; oryginał w *'An Architecture of Complexity'*, 1987, wyd. MIT Press.
- 7 Watson B., www.theguardian.com, *Alejandro Aravena: architect, equaliser, el visionaro*, "The Guardian" 2014.
- 8 Rural Studio, www.ruralstudio.org, *Rural Studio Project*.
- 9 Górski R., www.wieloryp.wordpress.com, *Brak - metoda budowy domów Waltera Segala*.
- 10 Gierszon M., Budując wartości. Regionalne pogranicza modernizmu, "Rzut" 2013 nr 2, s.63-69
- 11 Buczek G., Herbst K., Komorowska M., Tokarski D., *Aktywizm kontra legalizm - jak powstaje miasto obywateli*, rozmowę przeprowadziła Małgorzata Mycielska, Agnieszka Rasmus-Zgorzelska, "Architektura-murator" 2011 nr 8, s. 58-63.
- 12 Hajok D., *Rewolucję zaczyna się od własnego podwórka*, "Architektura-murator" 2011 nr 8, s.10-15.
- 13 Happach M., www.odblokuje.org/odNOWA/kontekst.html, *Wstęp. Opis kontekstu projektu OdNowa*.
- 14 DUSarchitects., www.dusarchitects.com, *Manifesto, City Camp, Bucky Bar*.

The social activity of the architects

Maria Semeniuk

*Chair of Architecture Urban Design and Spatial Planning,
Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology,
email: m_semeniuk@o2.pl*

Abstract: Social participation, giving an opportunity for developing relationships, actions in cities or creating conditions resulting in people's advancement are not always obvious associations when we think about architects' work. The article is about connections between the design process and the social issues. It also presents how different architects-activists work with architecture's users.

Keywords: Social participation, society, life space, activity

O zagadnieniach ekspresji wobec architektury symbolicznej

Aleksander Serafin

*Instytut Architektury i Urbanistyki, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska,
Politechnika Łódzka, e-mail: aleksander.serafin@p.lodz.pl*

Streszczenie: Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na dwa pozornie odmienne podejścia do problematyki kształtowania formy architektonicznej: symboliczne i ekspresyjne, zarówno w kontekście ich konfrontacji, jak i symbiozy. Zastosowany symbol w sposób oczywisty sprzyja wytwarzaniu komunikatów wizualnych, natomiast eskalacja wyrazu zapobiega ucieczce w dosłowność i wzbogaca twórczość o pierwiastek indywidualny. Oba nurty komplementarnie tworzą mechanizm rozwoju języka nowoczesnej architektury, która naturalnie wymaga rozważania w szerszym kontekście kulturowym.

Słowa kluczowe: architektura, symbol, ekspresja, twórczość

1. Wprowadzenie

Ścieranie się w architekturze warstwy symbolicznej z ekspresyjną wymaga pogłębionej refleksji, która jednocześnie powinna objąć dyscypliny pokrewne, takie jak malarstwo i rzeźba [1]. Należy jednak zaznaczyć, że jednolity pogląd mówiący o tym, że w wielu systemach estetycznych architektura przygotowywała miejsce dla innych sztuk, takich jak malarstwo i rzeźba, domaga się osobnego kontekstu w przypadku każdej z tych dziedzin twórczości. Problemy architektury są najbliższe zagadnieniom rzeźby [2]. Sztuka może bowiem uzupełniać kompozycję architektoniczną, tak jak ma to miejsce w przypadku kampusu Instytutu Matematyki Uniwersytetu w Karlsruhe. W tym przypadku rzeźby Maxa Billa, stanowiące stały element zagospodarowania terenu, wyrażają triumf geometrii, będącej jednocześnie w kręgu zainteresowania artysty, tym samym symbolicznie wzmacniają znaczenie architektury funkcjonalnie związanej z rozwojem nauk ścisłych. Z drugiej strony budynek może być traktowany jako rzeźba per se. Takim przykładem jest kaplica Notre Dame du Haut w Ronchamp autorstwa Charlesa Édouarda Jeannereta (Le Corbusiera). W tej sytuacji pozostawienie malarstwa na marginesie rozważań na temat organizacji przestrzeni, wynika z jego wirtualnego charakteru. Jednakże w wielu przypadkach kamienie milowe rozwoju kultury zachodniej nie mają swoich odpowiedników we wszystkich dyscyplinach twórczych. Mowa tutaj o sytuacjach, w których architektura z malarstwem koresponduje bezpośrednio z wyłączeniem rzeźby, co ma swoje przełożenie właśnie między innymi na problematykę ekspresji i symbolu.

2. Symbol - znak – alegoria, a ekspresja

Zagadnienia symbolu dotyczą w twórczości problematyki znaczenia. Charles Jencks przyjmuje założenie, że "najbardziej fundamentalną ideą semiologii i znaczenia w architekturze jest przekonanie, że każda forma w środowisku albo znak w języku są umotywowane bądź możliwe do umotywowania" [3]. Sugeruje on tym samym alternatywę dla architektury symbolicznej. Nasuwa się zatem wniosek, że jeżeli istnieją znaki niemożliwe do kulturowego umotywowania, to budują one znaczenie architektury

odmiennej, powstającej w oparciu o inne zasady. Jej podstawą nie będzie już kod znaczeniowy, lecz sam w sobie twórczy wyraz. Powyższe spostrzeżenie można więc skonfrontować z myślą Benedetto Crocego, która stanowiła kanwę narodzin ekspresjonizmu. Croce twierdził, że "to nie idea, ale uczucie nadaje sztuce zwierną lekkość symbolu" [4]. Można zatem wnioskować że architektura symboliczna nie musi być ekspresji przeciwstawiana, lecz może być z nią powiązana.

Zagadnienie symbolu w naturalny sposób kojarzy się z symbolizmem, jako zdefiniowanym kierunkiem w sztuce i literaturze, dlatego w kontekście symbolizmu Umberto Eco powtarza za Charlesem Baudelairem słowa: „Natura jest lasem symboli. Barwy i dźwięki, obrazy i rzeczy odwołują się do siebie wzajemnie, objawiając nam swoje pokrewieństwa i tajemnicze współbrzmienia” [5]. Rozważania polegające na konfrontacji symbolu z ekspresją wymagają jednak znacznie szerszego i ogólnego poglądu na temat pierwszego z dwóch wymienionych. Symbolizm, który narzucił określoną wizję sztuki i rzeczywistości, był ruchem powstałym na bazie dekadentyzmu [5]. W tym przypadku natomiast spojrzenie na symbol nie jest równoznaczne z koncepcją sztuki budowanej w oparciu o podświadomość i mistykę. Tym razem na symbol należałoby bowiem spojrzeć jako na „kod wizualny”, który za pośrednictwem twórczości jest zdolny przekazywać określone znaczenie przy względnej jednoznaczności społecznego odczytu tego znaczenia. Oczywiście symbol w takim rozumieniu może także wkraczać w sferę duchową, wyrażając tajemnicę nieobjawionego. Ta sytuacja wymaga jednak zaistnienia tego symbolu na tle określonego kultu. Stąd wynika wysoka ranga symbolu w architekturze epok, opartych na społecznych systemach absolutystycznych.

Pojęcia alegorii i znaku w architekturze domagają się natomiast odrębnego ujęcia. Alegoria, jak zakłada Croce, w odróżnieniu od symbolu "polega na zewnętrznym połączeniu, czyli na arbitralnym, dowolnym zestawieniu dwóch zjawisk duchowych, pojęcia lub myśli i obrazu, [...] w tym zestawieniu myśl pozostaje myślą, a obraz obrazem, i nie ma między nimi żadnego związku" [4]. Wobec alegorii zatem nie ma zastosowania pierwiastek emocjonalny, który z kolei charakteryzuje twórczą ekspresję. Alegoria sprowadza dzieło do roli znaku. Powyższe odnosi się do styku zagadnień praktyki architektonicznej z interpretacją metod poznawczych, bowiem „realizm percepcyjny i sensualizm akcentując formę jako stronę oznaczającą symbolu, eliminuje zarazem jej esencję i sens, jako jego stronę oznaczaną. Zamienia symbol w znak. Wyobraźnia poznawcza przestaje pracować, a poprzez uaktywniony zbytnio naturalizm sztuka przestaje być wyrazem innego świata. Nie może być już wyrazem transcendencji” [6]. Dlatego też, jak mówi Croce, jego rozważania zmierzają do wykreowania „teorii intuicji rozumianej jako alegoria idei i do przejścia do teorii ujmującej intuicję jako symbol. W symbolu bowiem idea nie istnieje już samodzielnie, tak by można ją było pomyśleć niezależnie od symbolizującego ją przedstawienia, ani też to przedstawienie nie istnieje samoistnie, jak by można je było przedstawić w sposób żywy bez symbolizowanej idei” . Omawiając temat symbolu w twórczości, poruszamy się zatem w szerszym obszarze aniżeli tylko w zakresie zagadnień znaku i alegorii. Kwestie symbolu z zagadnieniami ekspresji łączy bowiem pierwiastek emocjonalny.

3. Symbol - znak – alegoria, a ekspresja

Zagadnienia symbolu dotyczą w twórczości problematyki znaczenia. Charles Jencks przyjmuje założenie, że "najbardziej fundamentalną ideą semiologii i znaczenia w architekturze jest przekonanie, że każda forma w środowisku albo znak w języku są umotywowane bądź możliwe do umotywowania" . Sugeruje on tym samym alternatywę dla

architektury symbolicznej. Nasuwa się zatem wniosek, że jeżeli istnieją znaki niemożliwe do kulturowego umotywowania, to budują one znaczenie architektury odmiennej, powstającej w oparciu o inne zasady. Jej podstawą nie będzie już kod znaczeniowy, lecz sam w sobie twórczy wyraz. Powyższe spostrzeżenie można więc skonfrontować z myślą Benedetto Crocego, która stanowiła kanwę narodzin ekspresjonizmu. Croce twierdził, że "to nie idea, ale uczucie nadaje sztuce zwiewną lekkość symbolu". Można zatem wnioskować że architektura symboliczna nie musi być ekspresji przeciwstawiana, lecz może być z nią powiązana.

Zagadnienie symbolu w naturalny sposób kojarzy się z symbolizmem, jako zdefiniowanym kierunkiem w sztuce i literaturze, dlatego w kontekście symbolizmu Umberto Eco powtarza za Charlesem Baudelairem słowa: „Natura jest lasem symboli. Barwy i dźwięki, obrazy i rzeczy odwołują się do siebie wzajemnie, objawiając nam swoje pokrewieństwa i tajemnicze współbrzmienia”. Rozważania polegające na konfrontacji symbolu z ekspresją wymagają jednak znacznie szerszego i ogólnego poglądu na temat pierwszego z dwóch wymienionych. Symbolizm, który narzucił określoną wizję sztuki i rzeczywistości, był ruchem powstałym na bazie dekadentyzmu. W tym przypadku natomiast spojrzenie na symbol nie jest równoznaczne z koncepcją sztuki budowanej w oparciu o podświadomość i mistykę. Tym razem na symbol należałoby bowiem spojrzeć jako na „kod wizualny”, który za pośrednictwem twórczości jest zdolny przekazywać określone znaczenie przy względnej jednoznaczności społecznego odczytu tego znaczenia. Oczywiście symbol w takim rozumieniu może także wkraczać w sferę duchową, wyrażając tajemnicę nieobjawionego. Ta sytuacja wymaga jednak zaistnienia tego symbolu na tle określonego kultu. Stąd wynika wysoka ranga symbolu w architekturze epok, opartych na społecznych systemach absolutystycznych.

Pojęcia alegorii i znaku w architekturze domagają się natomiast odrębnego ujęcia. Alegoria, jak zakłada Croce, w odróżnieniu od symbolu "polega na zewnętrznym połączeniu, czyli na arbitralnym, dowolnym zestawieniu dwóch zjawisk duchowych, pojęcia lub myśli i obrazu, [...] w tym zestawieniu myśl pozostaje myślą, a obraz obrazem, i nie ma między nimi żadnego związku". Wobec alegorii zatem nie ma zastosowania pierwiastek emocjonalny, który z kolei charakteryzuje twórczą ekspresję. Alegoria sprowadza dzieło do roli znaku. Powyższe odnosi się do styku zagadnień praktyki architektonicznej z interpretacją metod poznawczych, bowiem „realizm percepcyjny i sensualizm akcentując formę jako stronę oznaczającą symbolu, eliminuje zarazem jej esencję i sens, jako jego stronę oznaczaną. Zamienia symbol w znak. Wyobraźnia poznawcza przestaje pracować, a poprzez uaktywniony zbytnio naturalizm sztuka przestaje być wyrazem innego świata. Nie może być już wyrazem transcendencji". Dlatego też, jak mówi Croce, jego rozważania zmierzają do wykreowania „teorii intuicji rozumianej jako alegoria idei i do przejścia do teorii ujmującej intuicję jako symbol. W symbolu bowiem idea nie istnieje już samodzielnie, tak by można ją było pomyśleć niezależnie od symbolizującego ją przedstawienia, ani też to przedstawienie nie istnieje samoistnie, jak by można je było przedstawić w sposób żywy bez symbolizowanej idei" [4]. Omawiając temat symbolu w twórczości, poruszamy się zatem w szerszym obszarze aniżeli tylko w zakresie zagadnień znaku i alegorii. Kwestie symbolu z zagadnieniami ekspresji łączy bowiem pierwiastek emocjonalny.

4. Obecność symbolu w architekturze współczesnej



Fot. 1. Różne postacie symbolu w kompozycji architektonicznej, kolejno: witraż w kościele p.w. św. Józefa w Zabrze; fragment elewacji kościoła p.w. Serca Jezusowego w Monachium; detal Centrum Dominikańskiego w Monachium, rzeźba fasadowa Sprinkenhof w Hamburgu (fot. Aleksander Serafin)

Architektura jest zdominowana poprzez symbole na przestrzeni całych swoich dzieł (Fot. 1). Otwarcie rozdziału architektury symbolicznej we współczesnym świecie zachodnim wydaje się budowa Wiedeńskiego Pawilonu Secesji (Wiener Secessionsgebäude) według projektu Josepha Marii Olbricha (Fot. 2). Detal odwołujący się do mitologii greckiej, przedstawiający trzy Gorgony symbolizujące malarstwo, rzeźbę i architekturę, manifestował integrację tych dziedzin twórczych, ale jednocześnie umacniał rolę alegorii na tle kompozycji architektonicznej.

W kontekście współczesności, warta omówienia wydaje się też specyfika symbolicznego wymiaru ruchu nowoczesnego w architekturze. Modernistyczna estetyka maszyny nie pozostaje niczym innym, jak właśnie symbolem triumfu mechanizacji życia. Wprawdzie tę konwencję promowały już wieki ubiegłe. Jak pisze Eco, „Pierwsza myśl o symbolicznej wartości mechanicznego cudu pojawia się może w XV wieku u Marsilia Ficina; Leonardo rysował swoje mechanizmy z taką miłością i wyrafinowaniem jak twarze i ciała ludzkie oraz elementy świata roślin. [...] Maszyna zdaje się żyć gratia sui, po to tylko, aby popisać się swą cudowną wewnętrzną strukturą. Podziwia się ją za kształt, niezależnie od jej użyteczności; ma ona już wiele cech wspólnych z tymi wytworami (natury lub sztuki), które tradycyjnie osądzano jako piękne” [5]. Następnie era przemysłowa osadziła maszynę w roli znaczącego symbolu estetycznego, dlatego „[...] lokomotywa, straszne i «piękne» monstrum, staje się symbolem triumfu rozumu nad obskurantyzmem przeszłości” [5]. Le Corbusier natomiast tworząc podwaliny modernizmu, w „Vers une architecture” pisał: „Mechanizacja – nowe zjawisko w ludzkiej historii – zrodziła nowego ducha. Każda epoka tworzy architekturę stanowiącą jasny obraz jej systemu myślenia” [7]. Stąd też wynika popularność budynków nawiązujących formą do okrętów, samolotów i innych maszyn charakterystycznych dla epoki funkcjonalizmu. Le Corbusier manifestował: „Samolot jest z pewnością jednym z najlepiej wyselekcjonowanych produktów w dzisiejszym przemyśle.

[...] Można zatem powiedzieć, że samolot wymagał pomysłowości, inteligencji i odwagi: wyobraźni i chłodnej kalkulacji. W tym samym duchu budowano Partenon. Z architektonicznego punktu widzenia bliski jest mi stan ducha wynalazcy samolotów” [7]. Louisa Kahna należy uznać za jednego z architektów, którzy swoją twórczością płynnie przekształcili dorobek rdzennej awangardy modernistycznej w tradycję postmodernizmu. Kahn udowodnił tym samym, że znaczenie symbolu osadzonego w nowym kontekście nie musi zanikać nawet w momencie, gdy nie jest on już poparty tradycją, która wcześniej nadała mu powszechnie zrozumiane znaczenie [8].



Fot. 2. Joseph M. Olbrich, Wiener Secessionsgebäude, detal, Wiedeń, Austria, 1898 (fot. Aleksander Serafin)

Za jednego z czołowych obrońców symbolicznego wymiaru architektury można uznać Michaela Gravesa, który uważa wręcz, że „postulat symbolicznej konieczności dotyczy zarówno poszczególnych elementów budynku, jak i architektury jako całości.” [9]. Architekt uzasadnia sens projektowanych przez siebie budynków następująco: „Argumentując za architekturą symboliczną, zakładamy, że tematyczny charakter budynków ma uzasadnienie w naturze i jednocześnie może być odczytywany w sposób totemiczny lub antropomorficzny” [9]. Architekt postrzega swoją dziedzinę poprzez pryzmat określonej organizacji kulturowej. Projekty takie jak ukończony w 1982 roku biurowiec w amerykańskim Portland, czy też późniejsza twórczość, do której można zaliczyć osadzony w całkowicie odmiennych uwarunkowaniach kulturowych, pochodzący z 1997 roku, hotel w miejscowości El Gouna w Egipcie, zdają się świadczyć o wysokiej pozycji warstwy znaczeniowej w twórczości Gravesa. Zdaje się to potwierdzać jedna z deklaracji autorskich Gravesa, której słowa brzmią: „Jako architekci musimy być świadomi trudności z potencjałem treściowych i symbolicznych aspektów budynku” [9]. Różnorodność lokalizacji jego projektów przemawia z kolei za indywidualnym charakterem takiej architektury i za jej dopasowaniem do różnorodnych kontekstów kulturowych. Graves bowiem obarcza modernizm winą za "wyjałowienie" architektury, twierdząc że "niektóre, kluczowe dzieła modernizmu wprowadzały nowe konfiguracje przestrzenne, ostatecznym efektem tej antysymbolicznej architektury było rozbitcie naszego wcześniejszego, kulturowego języka. Jest to problem nie tyle historyczny, ile dotyczący ciągłości kultury. Nasuwa się więc myśl, że ruch modernistyczny nie jest historycznym przełomem, a tylko dodatkiem do podstawowego i ciągłego, symbolicznego sposobu ekspresji” [9].

Zasady i dokonania ruchu postmodernistycznego, do którego jednoznacznie można przypisać twórczość Gravesa, podsumowuje Jencks. Jako uznany w świecie teoretyk architektury przedstawia on swoje stanowisko następująco: "Cała architektura powstaje i jest postrzegana poprzez kody, stąd języki i style architektoniczne oraz symbolizm architektury [...]. Architektura potrzebuje ornamentu, który powinien być symboliczny [...]. Architektura potrzebuje metafory i powinna odsyłać nas do zagadnień naturalnych i kulturowych" [10]. Jencks wyraża ten pogląd z perspektywy świadka ruchu architektonicznego, który jest wciąż żywy, jednak już ugruntowany w historii architektury. Naukowa ikonografia stanowiąca swoiste "opakowanie" dla architektury, zastąpiła według Jencksa nużące odwołania modernistycznej architektury do symboliki maszyny.

5. Ekspresja, a niezależność dzieła

Opozycję wobec dominacji symbolu w architekturze stanowi więc jej warstwa ekspresyjna, rozumiana w kategoriach wyrazistości i sugestywności emocjonalnej (Fot. 3). Według Luigiego Pareysona ekspresja, odpowiedzialna za komunikatywność dzieła jest wyznacznikiem jego niezależności, ewentualnie jego potencjału duchowego [11]. Niezależność w tym przypadku należy rozumieć, jako brak odniesień formy do czynników zewnętrznych. Forma jest ekspresyjna w odniesieniu do samej siebie [11]. Jencks z kolei opisuje swą „teorię ekspresji” następująco: „Jeżeli kontrast czy zbiór alternatyw jest niezbędny do przekazania informacji, wydawałoby się, że wszystkie wizualne znaczenia muszą być przekazywane poprzez alternatywy. Ale to jest właśnie to twierdzenie, któremu zaprzeczają ekspresjoniści, zwolennicy gestaltyzmu – psychologii postaci. Twierdzą oni, że niektóre znaczenia zawarte w samej formie objawiają się bezpośrednio niezależnie od kontekstu” [12]. W ślad za tą teorią Jencks wskazuje kościół autorstwa Alvara Aalto w fińskiej Imatrze jako przykład formy ekspresyjnej, która z punktu widzenia kompozycji plastycznej jest formą neutralną.



Fot. 3. Różne przejawy ekspresji w kompozycji architektonicznej, kolejno: Sobór Świętej Trójcy w Hajnówce; Uniwersytet w Coimbrze, Uniwersytet w Stuttgarcie; centrum komercyjne Europark w Salzburgu (fot. Aleksander Serafin)

Sięgając głębiej w istotę problemu, należy zauważyć, że nadrzędnej roli ekspresji w akcie twórczym, jako jedno z pierwszych zdaje się bronić intuicjonistyczne stanowisko Henriego Bergsona, który balansuje pomiędzy realistycznym, a idealistycznym pojęciem rzeczywistości. Bergson pisze: „zarówno idealizm, jak i realizm, są za daleko posunięte, że błędem jest redukować materię do wyobrażenia, które o niej mamy, błędem również czynić z niej rzecz, która by wytwarzała w nas wyobrażenia, ale była czymś innym w swojej naturze aniżeli one. Materia jest dla nas całokształtem «obrazów». Przez «obraz» rozumiemy pewne istnienie, które jest czymś więcej niż to, co realista nazywa rzeczą, – istnienie umieszczone w połowie drogi pomiędzy «rzeczą» a «wyobrażeniem»” [13]. Myśl bergsonowska poprzez promocję intuicjonizmu, tworzy podwaliny architektonicznej ekspresji nie bezpośrednio, lecz przy udziale ekspresjonistycznego malarstwa. Nowatorstwo ostatniego z wymienionych polegało między innymi na tym, że w równym stopniu uznawało wartość piękna, jak i brzydoty, jako że to właśnie wyraz miał być wartością samą w sobie. Sztuka ta nie dystansowała się wobec dorobku kulturowego, lecz poszukiwała bezpośrednich inspiracji na przykład w gotyku. Dlatego też Mieczysław Wallis pisał, że „ekspresjonizm [...] lubujący się w ekspresyjnej brzydocie, uczynił nas również wrażliwymi na wartości estetyczne ekspresyjnej brzydoty w dziełach sztuki dawnej” [14]. Wprawdzie bezwarunkowe utożsamianie pojęcia ekspresjonizmu ze sztuką ekspresyjną nie ma racji bytu [15], należy jednak mieć na względzie, że jednoznaczna definicja architektury ekspresjonistycznej w zasadzie w ogóle nie jest możliwa [16]. Zagadnienia ekspresji w architekturze wykraczają dalece poza granice ekspresjonizmu. Przedstawiciele „nowego klasycyzmu”, będącego niejako w opozycji do „nowej ekspresji”, także odnoszą się do zagadnień ekspresji, jednak stanowi ona dla nich jedno z narzędzi, a nie kluczowy element koncepcji architektonicznej. Robert Stern na przykład deklaruje: „Klasycyzm jest dla mnie formalną ekspresją nowoczesnej (to jest postgotyckiej), instytucji Zachodu” [17]. Widoczne jest zatem, że ekspresja jako zjawisko w architekturze wykracza poza akademicką systematykę epok.



Fot. 4. Günther Domenig, Zentralsparkasse / Kommerzbank Wien, Wiedeń, Austria, 1979 (fot. Aleksander Serafin)

Wśród licznych obiektów, które współcześnie opierają się na motywach ekspresyjnych można wymienić wiedeńską siedzibę banku zaprojektowaną przez Günthera Domeniga (Fot. 4). Ta forma ulokowana wśród zwartej zabudowy Favoritenstraße buduje swój wyraz w oparciu o dwa czynniki. Pierwszym z nich jest wykończenie fasady metalem w jego naturalnym kolorze. Drugim jest natomiast krzywoliniowe ukształtowanie elewacji frontowej, tak aby w dolnej części sprawiała efekt „zadartej” ku górze. Należy też zwrócić uwagę na czytelny brak odniesienia do wysokości sąsiadujących budynków, co dodatkowo wzmacnia wyrazisty charakter obiektu. Neutralny anturaż staje się w tym przypadku elementem wzmagającym ekspresję budowli w skali pierzei. Budynek Domeniga nie konkuruje zatem z otoczeniem w kategorii wartościowania piękna i brzydoty, lecz w kategorii wyrazistości i potencjalnej zdolności wywołania emocji u odbiorcy. Emocjonalna sfera architektury zdaje się bronić poglądu, mówiącego o tym, że „stany i dyspozycje psychiczne twórcy wyrażają się również w upodobaniu do pewnych określonych rodzajów pierwiastków ekspresyjno-nastrojowych - barw, linii wartości fakturowych, rytmów, tonacji itd. Zwłaszcza w architekturze i muzyce przeważa ten rodzaj ekspresji” [14]. Budynki autorstwa Domeniga nie tylko w tym przypadku, ale także na tle jego architektury dekonstruktywistycznej, poprzez kwestionowanie kanonów klasycznie rozumianego piękna umacniają znaczenia ekspresji w architekturze współczesnej.

6. Nurt „Nowej Ekspresji”

Widoczny zarówno w sztuce, jak i w architekturze nurt "nowej ekspresji" sprzyja przekazowi emocjonalnemu i ideowemu [18]. Odpowiada on więc zarówno refleksji estetycznej, jak i refleksji nad rzeczywistością społeczną. O ile aspekt socjologiczny zostaje poza obszarem dociekań niniejszego tekstu, tak zagadnienia ideowo-plastyczne nurtu „nowej ekspresji” wymagają w tym miejscu omówienia. Nurt ten wymaga jednak odróżnienia od ściśle związanego z malarstwem neoekspresjonizmu. Podobnie jak secesja wydobywająca w przeszłości „nowe wartości dekoratywne i ekspresyjne z żelaza oraz z połączenia żelaza i stali ze szkłem” [19], tak „nowa ekspresja” wydobywa je za pomocą ekspozycji paradoksów konstrukcyjnych i zaburzania tradycyjnie ustanowionego porządku estetycznego. Efektem takiego działania jest na przykład zrealizowany według projektu Daniela Libeskinda gmach Militärhistorisches Museum der Bundeswehr w Dreźnie (Fot. 5). Wyrazista klinowo ukształtowana dominanta wizualnie „rozbijając” historyczną bryłę budynku, wprowadza pewnego rodzaju dramatyzm formy. Jednak nie sam poststrukturalizm przesądza o przynależności do stylu „nowej ekspresji”. Ten swoisty „dramatyzm plastyczny” odnajduje poparcie w funkcji budynku. Ekspozycja muzeum w znacznej części bowiem przedstawia dramatyzm światowych konfliktów i okrucieństwo wojny. Libeskind zakłada, że jednym ze sposobów nadania projektowanemu obiektowi wyrazistości jest zastosowanie podstawowych materiałów. Architekt mówi o budulcach, takich jak kamień, metal, beton, drewno i szkło, za pomocą których dąży do stworzenia ekspresyjnych budowli, które będą opowiadać ludzkie historie [20]. Dla architekta ekspresja jest bowiem jedną z podstawowych wartości architektury. Twórczość Libeskinda polemizuje z conceptualną neutralnością modernistycznej formy. Architekt twierdzi bowiem, że „od czasu modernizmu budynki projektowane są tak, by pokazywały światu oblicza neutralne, niepodatne na ekspresję. Celem było stworzenie nie subiektywnych, a obiektywnych konstrukcji. Ale prawda jest następująca: nie ma budynku, [...], który pozostanie neutralny po wybudowaniu. Le Corbusier może się upierać, że «budynek jest maszyną do mieszkania», ale nawet gdy się mieszka w perfekcyjnym minimalistycznym, perfekcyjnie białym łocie, wyraża on osobowość lokatora, czyli przestaje być przestrzenią neutralną” [20]. Ten

wywód wprowadza do rozważań na temat ekspresji kolejne zagadnienie, jakim jest konfrontacja konceptualnego obiektywizmu z subiektywnym i indywidualnym wymiarem architektury. Stanowi on tym samym przedpole dla rozwoju architektury fenomenologicznej, która staje w opozycji do konceptualizmu.



Fot. 5. Daniel Libeskind, Militärhistorisches Museum der Bundeswehr, detal, Drezno, Niemcy, 2011 (fot. Aleksander Serafin)

"Nowa ekspresja" często zmierza ku destrukcji ustanowionego kanonu, co jest widoczne między innymi w architekturze Libeskinda. Podobnie jak kod pisma zostaje zdekonstruowany przez Jacquesa Derridę, tak samo klasycznie pojmowany porządek formy podlega przenicowaniu w architekturze "nowych ekspresjonistów". O ile reprezentują oni twórczość, która jest pokłosiem abstrakcyjnego w swym wyrazie ekspresjonizmu początku ubiegłego wieku, to jednak budynki Libeskinda charakteryzują się tym, że noszą jednocześnie znamiona symbolizmu. Poprzez konkretne rozwiązania funkcjonalne, materiałowe oraz aranżację wnętrz, opowiadają one określoną historię i bezpośrednio dotyczą szerokiego kontekstu kulturowego.

7. Symbioza czy antagonizm: współlistnienie symbolu i ekspresji

Ukonstytuowanie symbolu w sztukach wizualnych, a między innymi do takich należy zaliczyć architekturę, nie jest następstwem tendencji konceptualnych i nastąpiło w sposób naturalny. Jean Paul Sartre twierdzi, że „obraz jest z istoty symboliczny w samej swojej strukturze i nie da się usunąć jego symbolicznej funkcji bez utraty jego samego” [21]. Symbol tkwi więc u podstaw każdego dzieła. Podobnie rzecz się ma z ekspresją. Croce dowodził w przeszłości między innymi tego, że pozbawienie sztuki oznak ekspresji jest w gruncie rzeczy niemożliwe [4]. Z tego punktu widzenia trafne wydają się sądy Gravesa, który podkreślał, że „ważne jest by w parze z ekspresją techniczną szła równorzędna i dopełniająca ją ekspresja rytuału oraz symbolu. [...] Architektura znacząca musi obejmować zarówno wewnętrzną, jak i zewnętrzną ekspresję. Język zewnętrzny, który włącza osiągnięcia całej kultury, jest zakorzeniony w postawie symbolicznej, skojarzeniowej i antropomorficznej” [9]. Należy też zwrócić uwagę, że zarówno nadanie, jak i odbiór

„kodu wizualnego” charakteryzującego dane dzieło architektoniczne są zmienne, jeżeli podlegają rozpatrzeniu w szerszym horyzoncie czasowym. Wraz z upływem czasu zmieniają się przyzwyczajenia, percepcja rzeczywistości i relacje społeczne. Następująca w ten sposób modyfikacja konwencji, powoduje ewolucję całej sfery kulturowej, a w konsekwencji zmienia się też znaczenie symbolu.



Fot. 6. Różne postacie przenikania się symbolu i ekspresji w architekturze, kolejno: zegar w stylu ekspresjonistycznym - detal wieży ratusza w Stuttgarcie; ekspresjonistyczne rzeźby fasadowe Chocoversum w Hamburgu; liczne alegorie plastyczne w zabudowie Böttcherstraße w Bremie; detal symbolizujący egzotyczny rodowód Chilehaus w Hamburgu - kluczowego dzieła architektury ekspresjonistycznej; (fot. Aleksander Serafin)

8. Résumé

Refleksja nad ścieraniem się ze sobą w architekturze warstwy symbolicznej z ekspresyjną prowadzi do wniosku, że bardziej uzasadnione wydaje się rozważanie kwestii ekspresji jako zjawiska na tle architektury symbolicznej, aniżeli równoprawna konfrontacja dwóch omawianych (Fot. 6). Adam Szymski i Stanisław Latour przedstawiają następujący pogląd: "Ekspresja formy – jako główny środek działania plastycznego - narzucona stopniem użyteczności i programem może się charakteryzować dynamiką lub statyką wzajemnego powiązania płaszczyzn i brył w przestrzeni [...]" [22]. Autorzy zaznaczają przy tym, że „każda epoka kulturowa narzucała architektom pewne istotne ograniczenia, stanowiące swoiście pojęty kodeks postępowania w ramach dostępnych środków wyrazu w określonym kodzie znaczeniowo-symbolicznym" [22]. Akceptując to stanowisko, należy więc przyjąć, że poprzez różnorodne uwarunkowania ekspresja w sferze środków plastycznych dopuszcza znaczną dowolność formalną. W konsekwencji jej identyfikacja

pozostaje umowna. Ograniczenia wynikające z poruszania się w obrębie wspomnianego „kodu znaczeniowo symbolicznego” wydają się z kolei uzasadnione w kontekście stosowania klasycznego kanonu architektonicznego, czy też symboli określonego kultu. Należy jednak mieć na uwadze, że ekspresja najczęściej mimowolnie obiera kierunek w stronę abstrakcji, która charakteryzuje się wyjściem poza ograniczenia znaczeniowe. Zjawiska te domagają się zatem ich rozpatrywania nie tylko w ujęciu technicznym spraw architektury, ale w szerokim kontekście kulturowym.

Literatura

- 1 Świtek G. *Gry sztuki z architekturą: nowoczesne powinowactwa i współczesne integracje*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2013.
- 2 Giedion S. *Przestrzeń, czas i architektura: narodziny nowej tradycji*. PWN, Warszawa 1968.
- 3 Jencks C. *Semiologia i architektura*, w: *Teorie i manifesty architektury współczesnej*. (ed. Jencks C., Kropf K.) Grupa Sztuka Architektury, Warszawa 2013.
- 4 Croce B. *Zarys estetyki*. PWN, Kraków 1962.
- 5 Eco U. *Historia piękna*. Rebis, Poznań 2005.
- 6 Uścińowicz J. *Dialektyka znaku i symbolu w architekturze – powrót do przeszłości?* Czasopismo techniczne, Zeszyt 14. Architektura 4-A1 (2011).
- 7 Le Corbusier. *W stronę architektury*. Fundacja Centrum Architektury, Warszawa 2012.
- 8 Harries K. *The ethical function of architecture*. MIT Press, 2000.
- 9 Graves M. *Głos za architekturą symboliczną*, w: *Teorie i manifesty architektury współczesnej*. (ed. Jencks C., Kropf K.) Grupa Sztuka Architektury, Warszawa 2013.
- 10 Jencks C., *13 propozycji architektury postmodernistycznej*, w: *Teorie i manifesty architektury współczesnej*. (ed. Jencks C., Kropf K.) Grupa Sztuka Architektury, Warszawa 2013.
- 11 Pareyson L. *Estetyka. Teoria formatywności*. Universitas, Kraków 2009.
- 12 Jencks C. *Ruch nowoczesny w architekturze*. Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1987.
- 13 Bergson H. *Materia i pamięć. O stosunku ciała do ducha*. Vis-à-vis/Etiuda, Kraków 2012.
- 14 Wallis M. *O przedmiotach estetycznie brzydkich*, w: *Przeżycie i wartość*. Pisma z estetyki i nauki o sztuce (1931-1949). Wydawnictwo Literackie, Kraków 1968.
- 15 Willet J. *Ekspresjonizm*. Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1976.
- 16 Banham R. *Revolucja w architekturze. Teoria i projektowanie w pierwszym wieku maszyny*. Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1979.
- 17 Stern R. *O stylu, klasycyzmie i pedagogice*, w: *Teorie i manifesty architektury współczesnej*. (ed. Jencks C., Kropf K.) Grupa Sztuka Architektury, Warszawa 2013.
- 18 Bator M. *Ekspresja i dekonstrukcjonizm. O możliwości zastosowania teorii Harolda Blooma w interpretacji dzieła sztuki*. Dyskurs 16(2013).
- 19 Wallis M. *Secesja*, w: Mieczysław Wallis. *Wybór pism estetycznych* (ed. Pękala T.) Universitas, Kraków 2004.
- 20 Libeskind D. *Przełom: przygody w życiu i architekturze*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
- 21 Sartre J. P. *Wyobrażenie. Fenomenologiczna psychologia wyobraźni*, Wydawnictwo Alatheia, Warszawa 2012.
- 22 Latour S., Szymski A., *Rozwój współczesnej myśli architektonicznej*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1985.

On the questions of an expression towards symbolical architecture

Aleksander Serafin

Institute of Architecture and Urban Planning, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering, Lodz University of Technology, e-mail: aleksander.serafin@p.lodz.pl

Abstract: The article draws attention to two seemingly different approaches to the creation of an architectural form: the symbolic and the expressive, both in the context of their confrontation, and symbiosis. Symbol clearly supports the generation of the visual communication, while the escalation of the expression prevents a creativity from escaping in the literality and also it enriches the work of an individual element. Both those trends complementary creates the mechanism of modern architecture development, which obviously requires a consideration in the background of the extensive cultural context.

Keywords: architecture, symbol, expression, creation

Historyczne konstrukcje żelbetowe – stosowane materiały oraz algorytmy obliczeniowe

Bartosz Szostak, Maciej Trochonowicz

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

Streszczenie: Podczas projektowania w obiektach zabytkowych spotykamy się z elementami wykonanymi w technologii monolitu. Wielu projektantów od razu klasyfikuje takie elementy jako wtórne lub jako elementy o domyślnie niewielkiej wartości konstrukcyjnej, które mogą co najwyżej pozostać pomnikiem historii w adaptowanym, remontowanym lub modernizowanym obiekcie lub zostać zastąpione elementami nowoprojektowanymi. W celu zachowania w takich obiektach maksymalnej ilości substancji historycznej oraz sprawdzenia możliwości wykorzystania tych elementów jako elementów konstrukcyjnych, dokonano przeglądu literatury, która była przewodnikiem podczas ich projektowania oraz wykonywania. Na tej podstawie określono zakres parametrów wytrzymałościowych materiałów niegdyś stosowanych oraz przeanalizowano algorytmy obliczeniowe do wymiarowania elementów żelbetowych. Na podstawie porównania dawniej stosowanych algorytmów obliczeniowych oraz parametrów fizyko-mechanicznych dawnych materiałów z algorytmami i materiałami stosowanymi współcześnie, jesteśmy w stanie oszacować nośność takich elementów, a co za tym idzie, wykorzystać je wtórnie jako pełnoprawne elementy konstrukcyjne.

Słowa kluczowe: zabytkowe historyczne elementy żelbetowe, algorytmy obliczeniowe konstrukcji żelbetowych.

1. Wprowadzenie

Obecnie w budownictwie coraz częściej spotykamy się z próbami adaptacji, modernizacji czy remontu obiektów zabytkowych, które zostały wybudowane z początkiem XX wieku. Podczas takich prac doktryna konserwatorska zakłada maksymalne poszanowanie dla substancji historycznej, co niejednokrotnie „utrudnia” pracę projektanta konstrukcji. Znacznie prostszym rozwiązaniem jest zaprojektowanie konstrukcji nowej, zamiast wykorzystania istniejącej. W przypadku elementów drewnianych lub murowych, jesteśmy w stanie oszacować ich potencjalną nośność lub chociaż w prosty sposób, często nawet przy minimalnej w nie ingerencji, wzmocnić te elementy, tak aby dostosować je do obecnych wytycznych projektowych. Problem zaczyna się w przypadku napotkania elementów żelbetowych. Wielu projektantów odgórnie traktuje takie elementy w budynkach z okresu przed 1939 roku, jako wtórne, lub z założenia jako elementy o niskiej nośności. Po głębszej analizie piśmiennictwa oraz zakresu wiedzy z tamtego okresu można wysnuć nieco inne wnioski.

Powstaje zatem pytanie – co z takimi elementami robić? Czy powinny one zostać zachowane jedynie w celu utrwalenia substancji zabytkowej w obiekcie (jako zabytek techniki) czy też można je jeszcze wykorzystywać, jako elementy konstrukcyjne? Aby można było jednoznacznie odpowiedzieć na to pytanie należy zgłębić wiedzę na temat początków konstrukcji żelbetowych na terenie współczesnej i dawnej Polski, przeanalizować

wać pozycje literatury technicznej tamtego okresu, a następnie opracować i porównać algorytmy obliczeniowe stosowane dawniej i współcześnie.

1.1. Początki konstrukcji żelbetowych na świecie i w Polsce

Pierwsze opracowania oraz patenty dotyczące konstrukcji żelbetowych pojawiły się we Francji już na początku drugiej połowy XIX wieku. Epokowe znaczenie w rozwoju żelbetnictwa miały budowle, które po roku 1890 wykonywał i na światowej wystawie w Paryżu szerszemu ogółowi przedstawił Hennebique. Główną cechą jego sposobu konstruowania był monolityczny charakter całej budowli. Hennebique po raz pierwszy użył belek żelbetowych. Nad podporami belek ciągłych przeprowadzał pręty uzyskane przez ukośne odgięcie wkładek dolnych. Podobnie stosował wkładki ukośne w pobliżu podpór belek wolnopodpartych, co zgadza się z obowiązującymi dziś zasadami projektowania oraz wykonywania konstrukcji monolitycznych żelbetowych. W belkach żelbetowych stosowano również strzemiona, które wykonywane były początkowo z prętów płaskich. W Polsce system Hennebique'a na większą skalę wprowadziła firma „J. Sosnowski i A. Zachariewicz”, która w przeciągu dziesięciu lat przed I wojną światową, oprócz znacznej ilości budowli lądowych i wodnych wykonała ponad 200 mostów żelbetowych. W 1903 roku założyli Pierwsze Krajowe Przedsiębiorstwo Robót Żelazobetonowych. Przedsiębiorstwo zaprojektowało i zbudowało wiele hal fabrycznych i około 280 mostów i wiaduktów drogowych oraz kolejowych.

Pierwsza książka poświęcona konstrukcjom żelbetowym w Polsce ukazała się w roku 1915 [1]. Napisana została przez doktora Maksymiliana Thullie. Doktor Thullie zebrał i spisał znaczną część wiedzy o technologii monolitu z tamtego okresu.

W roku 1925 doktor inżynier Adam Kuryło wydał dwutomowe opracowanie [2] z zakresu wiedzy o konstrukcjach żelbetowych. Opisał wraz z podaniem przykładów algorytmy do obliczania konstrukcji żelbetowych.

Analizując literaturę oraz biorąc pod uwagę czas powstania pierwszych obiektów żelbetowych należy podkreślić bardzo szybki, jak na ówczesne czasy, przepływ nowatorskich wtedy technologii z Zachodu na tereny Polski. Pierwsze rozwiązania Hennebique'a pojawiają się prawie równocześnie we Francji jak i w Polsce.

2. Materiały budowlane wchodzące w skład monolitu dawnych obiektów żelbetowych

2.1. Cement oraz beton

Już od końca XIX wieku techniczna literatura polska dość obszernie opisuje główny budulec betonu jakim jest cement. Informacje o cemencie prawdopodobnie po raz pierwszy w przekazie pisemnym pojawiają się w książce autorstwa Władysława Hirszela [3]. Autor opisuje podstawowe, znane w tym okresie rodzaje cementu oraz zaprawy cementowe. Monografie tego okresu zdecydowanie częściej kojarzą cement z zaprawami stosowanymi w mularstwie a niżeli z mniej powszechnymi w tamtym okresie konstrukcjami betonowymi bądź żelbetowymi. Niezależnie jednak od sposobu wznoszenia używano tego samego rodzaju spoiwa. W książce Konstantego Hallera [4] znajdujemy podział na dwa podstawowe niegdyś rodzaje cementu – cement rzymski (romański, zwany również szybkowiązającym) oraz cement portlandzki. Dość obszernie opisana jest również technologia wykonywania obu rodzajów cementu wraz z wykazem surowców, z których się je wykonuje. Opisane są również podstawowe właściwości fizyczne zapraw wykonanych na poszczególnych cementach oraz właściwości chemiczne samych cementów. Konstanty Haller w dość

szczegółowy sposób opisuje technologię uzyskania poszczególnych rodzajów spoiwa, co świadczy o wysokim stopniu zaawansowania wiedzy technicznej o tym materiale. Bardzo obszerną analizę dostępnej literatury obcojęzycznej dotyczącej składu betonu, podstawowych właściwości fizycznych oraz chemicznych przeprowadził już w 1915 roku doktor Maksymilian Thullie [1]. W książce „Teoria żelbetu” znajdują się wyniki przeprowadzonych do tamtej pory badań na mieszankach betonowych. Beton charakteryzowano poprzez stosunek użytego spoiwa, kruszywa oraz wody. Na przykład beton 1:1:3, oznacza 1 miarę wody, 1 miarę cementu oraz 3 miary piasku i żwiru dla mieszanki betonowej. Zauważono zależność przyrostu wytrzymałości betonu wraz z jego wiekiem. Wielu inżynierów i naukowców przeprowadzało badania różnego rodzaju mieszanek betonowych w zależności od czasu dojrzewania oraz składu mieszanki. Na podstawie doświadczeń Amerykanina Kimball’a uzyskano największą wytrzymałość mieszanki betonowej na poziomie 29,5 MPa. Świadczy to o tym, że już wtedy wykonywano mieszanki betonowe o właściwościach, które i dziś moglibyśmy klasyfikować jako betony konstrukcyjne.

2.2. Wkładki zbrojeniuowe

Kolejnym niezwykle istotnym elementem podczas analizowania konstrukcji żelbetowych jest element żelazny lub stalowy. Dawniej, tak samo jak dziś zakładano, że elementy stalowe przenoszą naprężenia w strefie rozciąganej betonu. W podręczniku [1] doktor Thullie nazywa to, co obecnie nazywamy prętami zbrojeniowymi, wkładkami żelbetowymi lub uzbrojeniem. Jako wkładek używano prętów okrągłych oraz prętów kształtowych. Stal dzielono na spawalniczą lub zlewaną (wytrzymalszą). Z uwagi na dostępność materiałów najbardziej rozpowszechnione było użycie prętów żelaznych. Używano również stali zbrojeniowej o parametrach fizycznych zbliżonych do współcześnie lub jeszcze niedawno używanych wkładek zbrojeniowych.

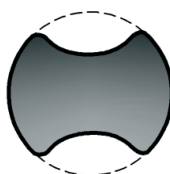
Na podstawie analizy dawnych monografii udało się określić dwa główne rodzaje stali stosowane niegdyś w technologii monolitu [6][7]:

- Stal ISTEK – była stalą wysokowartościową o specjalnym kształcie, pokazanym na Rys 1. Kształt ten uzyskiwano w hucie przez skręcenie na zimno dwóch prętów na specjalnych maszynach. Na budowę dostarczano gotowy wyrób. Granica plastyczności takich prętów wynosiła do 3600-4200 kg/cm² (353-412 MPa). Kształt tej stali nazywano guszowatym.



Rys. 1. Widok stali zbrojeniowej ISTEK

- Stal GRIFFEL – stal o kształcie pokazanym na Rys. 2. Specjalny gatunek wyborowej stali, przeznaczonej do zbrojenia zespołów żelbetowych. Wytrzymałość na rozciąganie wynosiła do 5200-6200 kg/cm² (510-608 MPa), granica plastyczności natomiast nie wynosiła mniej niż 3600 kg/cm² (353 MPa)



Rys. 2. Przekrój przez pręt zbrojeniowy ze stali GRIFFEL

Powyższe wyroby stalowe produkowano powszechnie już w latach 30' XX wieku. Analizując parametry wytrzymałościowe można zauważyć, iż nie odbiegają one znacząco od parametrów stali, których używało się w budownictwie monolitycznym jeszcze w latach 80' i 90' (nawet współcześnie można napotkać jeszcze konstrukcje zbrojone stalą niskich klas – A-0 – AII). Na tej podstawie można doszukiwać się sensowności wykorzystania historycznych elementów żelbetowych, jako elementów konstrukcyjnych.

3. Analiza i porównanie algorytmów obliczeniowych

W celu porównania wykonano obliczenia według dwóch algorytmów. Pierwszy z początku lat 20' XX wieku (zwany dalej algorytmem pierwotnym) oraz drugi, którym posługujemy się współcześnie. Zestawiono wyniki analizy nośności belki prostokątnej o zmiennej wysokości oraz płyty o zmiennej grubości. Porównanie wyników z obu algorytmów może być podstawą do analizy zabytkowych konstrukcji żelbetowych oraz ewentualnego wykorzystania takich konstrukcji podczas prac projektowych w obiektach historycznych, w których niezwykle istotne jest poszanowanie substancji zabytkowej.

Jako algorytmu współczesnego, użyto algorytmu zawartego w normie PN-EN 1992 [5]. Z uwagi na powszechność algorytmu obliczeniowego z Eurokodu [5], przedstawiono jedynie algorytm obliczeniowy wykorzystywany na początku XX wieku, a opisany dokładnie w pracy Adama Kuryłło [2].

3.1. Analiza algorytmu z początku XX wieku

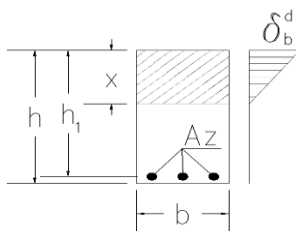
Założenia do obliczeń konstrukcji żelbetowych były bardzo zbliżone do tych dzisiejszych. Główne trzy założenia brzmiały następująco [1]:

- Przekroje płaskie przed ugięciem pozostają po ugięciu również płaskie (przyjęcie Bernoulli'ego), a położenie osi obojętnej nie ulega zmianie.
- Natężenia są proporcjonalne do odkształceń (prawo Hooke'a).
- Natężenia normalne w przekroju są proporcjonalne do odstępów osi obojętnej (przyjęcie Navier'a).

Poniżej przedstawiono algorytm obliczeniowy, na podstawie którego dokonywano obliczeń konstrukcji żelbetowych na początku XX wieku. Nie rozgraniczono wtedy obliczeń na stany graniczne. Wymiarowano jedynie elementy w taki sposób, by nie przekroczyć granicznych naprężeń użytych materiałów. Jednym z założeń upraszczających algorytmu obliczeniowego, było założenie wysnute na podstawie porównania współczynników sprężystości materiałów. Zakładano, że wartość „ciśnienia” żelaza jest równa 15-to krotnej wartości „ciśnienia” warstwy betonu w wysokości osi ciężkości [2].

Algorytm pierwotny do obliczenia ustroju płytowego lub belkowego, ze zbrojeniem jedynie w strefie rozciąganej miał następującą formę:

- Na początku obliczeń należy przyjąć parametry wytrzymałościowe materiałów:
 - δ_z^d – graniczna wytrzymałość wkładek na rozciąganie – w kg/cm^2 ;
 - δ_b^d – graniczna wytrzymałość betonu na ściskanie – w kg/cm^2 .
- Należy przyjąć podstawowe dane geometryczne:
 - b – szerokość wymiarowanego elementu;
 - h – wysokość wymiarowanego elementu;
 - h_1 – wysokość użyteczna przekroju;
 - d – wielkość otuliny betonowej;
 - x – wysokość strefy ściskanej przekroju betonowego.
- M ($\text{kg} \cdot \text{cm}$) – maksymalny moment zginający w przekroju.



Rys. 3. Przekrój elementu żelbetowego, zbrojenie w strefie rozciąganej

Uproszczony algorytm obliczeniowy, po uprzednim przekształceniu wzorów miał formę:

$$\delta_z^d = 15\delta_b^d \times \frac{h_1 - x}{x}, \text{ a stąd } x = \frac{15\delta_b^d}{\delta_z^d + 15\delta_b^d} h_1 \quad (1)$$

Na podstawie powyższej zależności określano wysokość strefy ściskanej, zależną od dopuszczalnych naprężeń materiałowych oraz wysokości użytecznej przekroju elementu.

Dla uproszczenia zapisu obliczeń przyjęto:

$$s = \frac{15\delta_b^d}{\delta_z^d + 15\delta_b^d} \quad (2)$$

$$x = sh_1 \quad (3)$$

Niezbędne pole przekroju wkładek żelaznych wyznaczano z następującego wzoru:

$$A_z = c_2 \sqrt{Mb} \quad (4)$$

gdzie: A_z – wymagane pole zbrojenia w cm^2

$$c_1 = \sqrt{\frac{2}{(1 - \frac{s}{3})s\delta_b^d}} \quad (5)$$

$$c_2 = \frac{1}{c_1 \delta_z^d (1 - \frac{s}{3})} \quad (6)$$

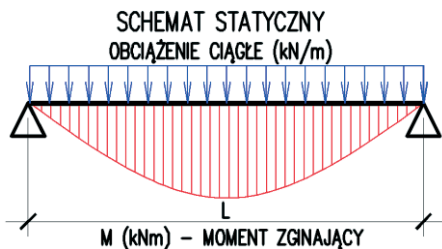
Wartości c_1 oraz c_2 są wyznaczane ze wzorów lub dobierane z tablic załączonych w dwutomowym opracowaniu Adama Kuryłło [2]. Na podstawie tych współczynników wyznacza się odpowiednią ilość zbrojenia w przekroju oraz określa się wysokość przekroju w taki sposób by spełnić wymagania przekroju idealnego. Przekrojem idealnym nazywano przekrój, w którym wykorzystanie nośności betonu oraz wkładek zbrojeniowych było zbliżone do 100%.

3.2. Porównanie wyników na podstawie analiz przeprowadzonych algorytmem z początku XX wieku oraz algorytmem współczesnym

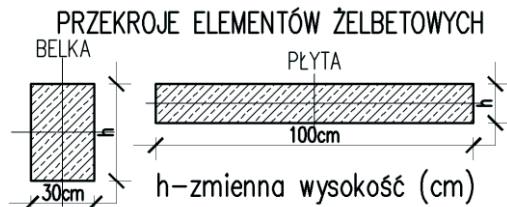
Na podstawie powyższych wzorów przeprowadzono analizę wymaganej ilości zbrojenia dla spełnienia stanu granicznego nośności belki żelbetowej o zmiennej wysokości oraz wycinka płyty stropowej pracującej w jednym kierunku o zmiennej grubości. Z uwagi

na nie uwzględnianie współczynników obciążenia w algorytmach pierwotnych, pominięto również współczynnik obciążenia w algorytmie współczesnym. Analizy przeprowadzono dla konkretnych wartości obciążeń w celu sprawdzenia minimalnej wymaganej ilości stali zbrojeniowej dla każdego z zakładanych przekrojów. Do obliczenia tego elementu przyjęto następujące założenia:

- Dane materiałowe:
 - $\delta_z^d = 254,93 \text{ kg/cm}^2 - 25 \text{ MPa}$,
 - $\delta_b^d = 4996,61 \text{ kg/cm}^2 - 490 \text{ MPa}$.
- Zakładamy również podstawowe dane geometryczne:
 - b - szerokość elementu:
 - $b = 0,30 \text{ m}$ – dla belki żelbetowej,
 - $b = 1,00 \text{ m}$ – dla płyty żelbetowej,
 - h – zmienna wysokość elementu,
 - h_1 – zmienna wysokość użyteczna – $h_1 = h - d$,
 - $d = 25 \text{ mm}$ – otulina zbrojenia.
- M (kNm) – maksymalny moment zginający w elemencie, zmienny z uwagi na ciężar własny elementu.
- Belka wolnopodparta, rozpiętości $L = 4,0 \text{ m}$, obciążona obciążeniem równomiernie rozłożonym – ciągłym – wartości 60 kN/m oraz ciężarem własnym.
- Płyta w schemacie płyty wolnopodpartej, pracującej w jednym kierunku, rozpiętości $L = 5,0 \text{ m}$, obciążenie równomiernie rozłożone – ciągłe – wartości 15 kN/m^2 oraz ciężar własny.
- Schemat statyczny oraz przekroje elementów:



Rys. 4. Schemat statyczny oraz schemat obciążenia dla płyty oraz belki żelbetowej



Rys. 5. Przekroje analizowanych elementów żelbetowych

Tablica 1. Zestawienie wyników dla algorytmów obliczeniowych – porównanie dla belki żelbetowej.

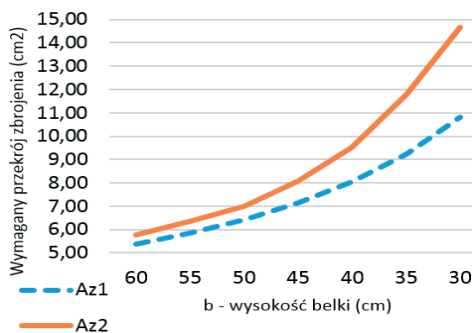
h (cm)	h_1 (cm)	s	c_1	c_2	M (kNm)	Az_1 (cm ²)	Az_2 (cm ²)	$Az_1:Az_2$
60	57,5	0,4327	0,2741	0,0009	129,504	5,37	5,77	93,1%
55	52,5	0,4327	0,2510	0,0009	128,712	5,85	6,36	91,9%
50	47,5	0,4327	0,2278	0,0010	127,92	6,42	7,01	91,6%
45	42,5	0,4327	0,2045	0,0011	127,128	7,13	8,09	88,2%
40	37,5	0,4327	0,1810	0,0013	126,336	8,04	9,5	84,6%
35	32,5	0,4327	0,1573	0,0015	125,544	9,21	11,77	78,3%
30	27,5	0,4327	0,1335	0,0018	124,752	10,82	14,66	73,8%

Tablica 2. Zestawienie wyników dla algorytmów obliczeniowych – porównanie dla płyty żelbetowej.

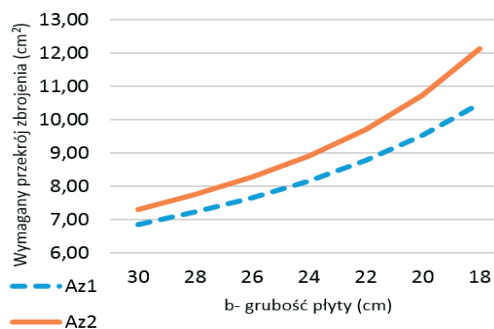
h (cm)	h_1 (cm)	s	c_1	c_2	M (kNm)	Az_1 (cm ²)	Az_2 (cm ²)	$Az_1:Az_2$
30	27,5	0,4327	0,3065	0,0008	78,967	6,85	7,30	93,8%
28	25,5	0,4327	0,2875	0,0008	77,147	7,22	7,74	93,2%
26	23,5	0,4327	0,2681	0,0009	75,327	7,65	8,26	92,6%
24	21,5	0,4327	0,2483	0,0009	73,507	8,15	8,89	91,7%
22	19,5	0,4327	0,2281	0,0010	71,687	8,77	9,69	90,5%
20	17,5	0,4327	0,2073	0,0011	69,867	9,52	10,73	88,7%
18	15,5	0,4327	0,1861	0,0013	68,047	10,47	12,12	86,4%

Az_1 – minimalne wymagane pole przekroju zbrojenia w strefie rozciąganej według algorytmu pierwotnego [2] w cm².

Az_2 – minimalne wymagane pole przekroju zbrojenia w strefie rozciąganej według Eurokodu [5] w cm².



Rys. 6. Porównanie minimalnej wymaganej ilości zbrojenia dla belki



Rys. 7. Porównanie minimalnej wymaganej ilości zbrojenia dla płyty

Wymagane minimalne pola przekroju zbrojenia obliczone według algorytmu pierwotnego oraz według najnowszych zaleceń normowych [5] różnią się. Różnicę są na poziomie od około 7%, do nawet blisko 30%. Największe różnice odnotowano dla elementów niższych, ze znacznie większą strefą rozciąganą w przekroju. Większe ilości minimalnego wymaganego zbrojenia są wynikiem analizy zgodnej z algorytmem zawartym w Eurokodzie [5]. Zbrojenie wyznaczone z algorytmem opisanym przez Adama Kuryłło [2], zgodnie z dzisiejszymi wymaganiami normowymi byłoby nie wystarczające.

4. Podsumowanie i wnioski przeglądu literatury oraz analizy algorytmów

Analizując monografie oraz zapisy dotyczące monolitu z początku XX wieku, okazuje się, iż parametry wytrzymałościowe materiałów takich jak wkładki stalowe oraz beton mogą być zbliżone do tych, które stosowano całkiem niedawno (do lat 90') lub nawet stosowanych do dziś. Analiza oraz porównanie algorytmów: pierwotnego oraz współczesnego, wykazują znaczące różnice w wynikach. Różnice w minimalnej wymaganej ilości zbrojenia dla analizowanych przypadków są na poziomie od blisko 7% do nawet 30%. Po przeprowadzonej analizie stwierdzono, że przy tych samych założeniach obliczeniowych i warunkach brzegowych historyczne konstrukcje żelbetowe nie spełniałyby wymagań podstawowego stanu granicznego nośności zgodnie z dzisiejszymi wymogami oraz normami. Jednak nie dyskwalifikuje ich to z funkcji użytkowej. Przeprowadzanie takich

analiz powinno być podstawowym i jednym z pierwszych kroków podczas rozważań nad sposobem wykorzystywania tego typu elementów w obiektach zabytkowych. Oprócz analizy obliczeniowej oraz rozpoznania materiałowego, w tego typu elementach konstrukcyjnych, należy przeprowadzić również badania, których efektem będzie określenie stopnia zachowania elementu. Będzie on głównie decydował o dalszych losach elementu monolitycznego, który z uwagi na swoją wartość próbujemy zachować.

Pokutujące wśród projektantów konstrukcji przeświadczenie o miernej jakości historycznych elementów żelbetowych lub wręcz negowanie ich zabytkowego charakteru prowadzić może do uszczuplania niezmiernie istotnej substancji zabytkowej jaką są zabytkowe konstrukcje żelbetowe.

Literatura

- 1 Thullie M. *Teoria żelbetu*, Nakładem komisji biblioteki politechnicznej i związkową drukarnią we Lwowie, Lwów 1915.
- 2 Kuryłło A. *Żelbetownictwo – Teoria i ustrój zeskładów żelbetowych*, Nakładem komisji wydawniczej kół naukowych i towarzystwa bratniej pomocy studentów Politechniki Lwowskiej, Lwów 1932.
- 3 Hirszel W. *Przewodnik dla mularzy*, Warszawa 1876.
- 4 Haller K. *Poradnik budowniczego*, Nakład autora 1924.
- 5 PN-EN 1992-1-1:2008/A1:2015-03 - Eurokod 2. *Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- 6 *Kalendarz ze zbiorem wzorów i tabel budownictw żelbetowego, stalowego, drewnianego i ziemnego*, Huta Bankowa, 1937.
- 7 *Przegląd techniczny*, J. Falkiewicz, M. Thugutt, Warszawa 1937.
- 8 Knauff M. *Obliczanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- 9 Starosolski W. *Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych T. 1-4*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.

Historical reinforced concrete structures – used materials and calculating algorithms

Bartosz Szostak, Maciej Trochonowicz

*Department of Conservation of Built Heritage, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: b.szostak@pollub.pl, m.trochonowicz@pollub.pl*

Abstract: During designing in historical object we can have a problem with historical reinforced concrete elements. Many designers, classifies this elements as low strength. They are convicted that this type of elements in historical building can be only a monument and cannot be used in this construction as an structural element. It is very important in this type of buildings to keep as many historical material as it is possible. Authors researched the literature which has been a guide in the design and execution of these elements. By comprising used algorithms and physico-mechanical properties of old materials with algorithms and materials, which are using today, we are able to estimate the strength of such elements.

Keywords: historical reinforced concrete structures, historical materials, historical calculating algorithms for concrete structures

Lokalne wyboczenie ścianki wspornikowej elementu cienkościennego przy wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń

Andrzej Szychowski

*Katedra Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych,
Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska, e-mail: aszychow@tu.kielce.pl*

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań stateczności sprężystości zamocowanych ścianek (płyt) wspornikowych przy wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń. Przyjęto liniowy rozkład naprężeń w kierunku szerokości ścianki (płyty) oraz liniowy lub nieliniowy (wg paraboli 2. stopnia) rozkład naprężeń na jej długości. Wyznaczono wykresy współczynników wyboczeniowych (k) dla różnie podpartych i różnie obciążonych płyt wspornikowych, których nie znaleziono w literaturze.

Słowa kluczowe: pręty cienkościenne, przekrój otwarty, ścianki wspornikowe, sprężyste zamocowanie, wzdłużna i poprzeczna zmienność naprężeń

1. Wprowadzenie

Pręty cienkościenne o przekroju otwartym należą do grupy elementów, których nośność graniczna jest warunkowana zjawiskami lokalnymi zachodzącymi na długości segmentu pręta. Segment pręta cienkościennego zdefiniowano w [1] jako odcinek pręta pomiędzy usztywnieniami poprzecznymi (żebry, przeponami itp.) zapewniającymi sztywny kontur przekroju. W złożonych stanach obciążenia (np. przy dwukierunkowym zginaniu poprzecznym) w płaskich ściankach wspornikowych może występować wzdłużna (po długości segmentu) i poprzeczna (po szerokości ścianki) zmienność naprężeń normalnych. Ścianka wspornikowa jest na ogół sprężystości zamocowana w tzw. ścianie przęsłowej (np. w środniku), dla której obie krawędzie wzdłużne są podparte. Należy tutaj podkreślić, że pod względem stateczności lokalnej, ścianki wspornikowe charakteryzują się znacznie mniejszą odpornością na naprężenia ściskające w stosunku do ścianek przęsłowych. Takie ścianki można w praktyce traktować jak płyty wspornikowe (półki) sprężystości zamocowane w płytach przęsłowych (środnikach).

W przypadku ścianki wspornikowej, naprężenia krytyczne wyboczenia lokalnego zależą od jej smukłości, wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń oraz stopnia sprężystego zamocowania „na obrót” krawędzi podpartej.

W normie [2] do analizy wyboczenia lokalnego pręta cienkościennego zbudowanego z płaskich ścianek przyjęto model separacji ścianek (płyt składowych) swobodnie podpartych na wzdłużnych krawędziach łączenia płyt. W tym modelu obliczeniowym, o nośności krytycznej z warunku lokalnego wyboczenia decyduje najsłabsza ścianka. W rzeczywistości wyboczenie lokalne elementu cienkościennego występuje jednocześnie dla wszystkich ścianek, przy czym ścianka najsłabsza, np. wspornikowa jest sprężystości zamocowana „na obrót” w ścianie sąsiedniej (przęsłowej) co podnosi jej naprężenia krytyczne.

Lokalne wyboczenie elementu cienkościennego o przekroju otwartym można w praktyce analizować w oparciu o separację ścianek składowych z uwzględnieniem sprężystego

zamocowania „na obrót” płyty słabszej (usztywnianej) w płycie mocniejszej (usztywniającej). Poprawne wyznaczenie naprężeń krytycznych dla tak podpartych i obciążonych ścianek (płyt) składowych pręta cienkościennego służy do dokładniejszego szacowania nośności granicznej w oparciu o teorię szerokości efektywnej.

Statecznością płyt wspornikowych zajmowało się wielu autorów wymienionych w [3]. W tej znakomitej monografii podano m.in. wykresy i wzory aproksymacyjne płytowych współczynników wybozeniowych (k) dla osiowo ściskanych płyt wspornikowych, sprężyste zamocowanych na krawędzi podłużnej, przy stałej intensywności naprężeń na długości płyty. Korzystając z tych wzorów należy jednak pamiętać, że opisują one pierwszą półfalę wybożenia płyty. Dla dłuższych płyt (np. stanowiących ścianki składowe prętów cienkościennych) postać wybożenia charakteryzuje się wieloma półfalami tworzącymi się na ich długości. W celu wyznaczenia współczynników k z uwzględnieniem kolejnych półfal wybożenia należy wyznaczyć kolejne „gałęzie” wykresu np. wg procedury zamieszczonej w [4]. Jednak najczęściej stosowanym w praktyce sposobem jest przyjęcie $k = k_{min}$ dla pierwszej półfali wybożenia, co jednocześnie odpowiada wartości współczynnika dla nieskończonej długości płyty.

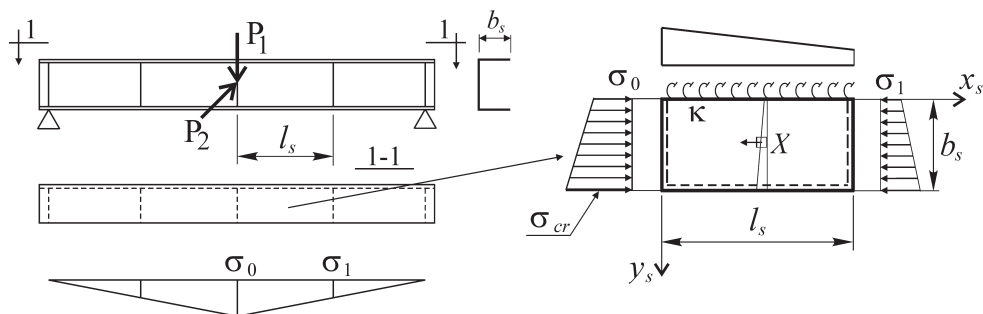
W pracach [5, 6] analizowano m.in. wpływ wzdłużnej zmienności naprężeń na stateczność i nośność graniczną osiowo ściskanych płyt wspornikowych dla granicznych warunków brzegowych (przegub, utwierdzenie) na krawędzi podpartej. Zaproponowano przybliżoną formułę obliczania płytowego współczynnika wybozeniowego (k).

W pracy [1] przedstawiono wyniki badań stateczności mimośrodowo ściskanych płyt wspornikowych przy wzdłużnej zmienności naprężeń dla granicznych przypadków podparcia krawędzi podłużnej (podparcie przegubowe lub pełne utwierdzenie). Wyprowadzono wzory na pracę sił zewnętrznych przy obciążeniu wywołującym wzdłużny rozkład naprężeń wg funkcji liniowej oraz wg paraboli 2. stopnia. Wyznaczono wykresy współczynników wybozeniowych (k) dla różnie obciążonych płyt wspornikowych. Z kolei w pracy [7] przedstawiono wyniki badań teoretycznych jednostronnie sprężyste zamocowanych i osiowo ściskanych płyt wspornikowych przy wzdłużnej zmienności naprężeń.

Do technicznego rozwiązania wielu zagadnień wybożenia lokalnego oraz nośności granicznej (szacowanej wg metody szerokości efektywnej) otwartych prętów cienkościennych w złożonych stanach naprężenia brakuje rozwiązań stanu krytycznego sprężyste zamocowanych płyt wspornikowych przy wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń.

2. Wybożenie lokalne płyty wspornikowej

Na rys. 1 pokazano przykładowy schemat statyczny elementu cienkościennego przy dwukierunkowym zginaniu poprzecznym. W takim przypadku naprężenia normalne zmieniają się na długości segmentu oraz na szerokości półki ściskanej.



Rys. 1. Wydzielona płyta wspornikowa przy wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń

2.1. Warunki brzegowe

Założono, że ściskana półka przekroju zachowuje się jak płyta wspornikowa, sprężysto zamocowana „na obrót” w środku (płyce przeszłowej). Druga, równoległa krawędź jest swobodna (nie podparta) i nie zawiera odgięcia usztywniającego. Poprzeczne krawędzie płyty na końcach segmentu przyjęto jako swobodnie podparte. Stopień sprężystego zamocowania „na obrót” podłużnej krawędzi płyty ($y_s = 0$) opisano za pomocą współczynnika ε wg [3] oraz wskaźnika κ wg [8] w następującej postaci:

$$\varepsilon = C_\theta \cdot b_s / D \quad (1)$$

$$\kappa = (1 + 2D / (b_s C_\theta))^{-1} \quad (2)$$

gdzie: C_θ – sztywność obrotowa krawędzi podpartej równa momentowi zginającemu powstałemu podczas obrotu o kąt jednostkowy, b – szerokość płyty, D – płytowa sztywność zginania.

Współczynnik ε wg wzoru (1) zmienia się od $\varepsilon = 0$ dla podparcia przegubowego do $\varepsilon = \infty$ dla pełnego utwierdzenia, natomiast wskaźnik κ wg wzoru (2), od $\kappa = 0$ (przegub) do $\kappa = 1$ (pełne utwierdzenie). Pomiędzy wskaźnikiem κ a współczynnikiem ε zachodzi następująca zależność [7]:

$$\kappa = \varepsilon / (2 + \varepsilon) \quad (3)$$

Przybliżone wzory do szacowania sztywności obrotowej C_θ krawędzi podłużnej półki ściskanej sprężysto zamocowanej „na obrót” w środku zginanego pręta cienkościennego o przekroju otwartym podano m.in. w pracach [9, 10]. Sztywność obrotową uzależniono od geometrii ścianki podpierającej (średnika) oraz jej stanu obciążenia. Przy korzystaniu z tych wzorów należy jednak pamiętać, że podczas analizy lokalnej utraty stateczności przekroju cienkościennego, za długość wyboczeniową (λ_d) należy podstawić przewidywaną długość półfali wyboczenia lokalnego półki, a nie długość wyboczenia dystorsyjnego.

2.2. Funkcja ugięcia

Do aproksymacji postaci wyboczenia sprężysto zamocowanej płyty wspornikowej przy wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń przyjęto funkcję postaci (4):

$$w_s(x_s, y_s) = t_s \sum_{i=1}^{i_0} \left[f_{i2} \cdot \left((1 - \kappa) \frac{y_s}{b_s} + \kappa \left(\frac{y_s}{b_s} \right)^2 \right) + \sum_{p=3}^{p_0} f_{ip} \cdot \left(\frac{y_s}{b_s} \right)^p \right] \cdot \sin \left(\frac{i\pi x_s}{l_s} \right) \quad (4)$$

gdzie: t_s , l_s , b_s – grubość, długość, szerokość płyty (ścianki s), f_{ip} – bezwymiarowe, swobodne parametry funkcji ugięcia.

Funkcja ugięcia (4) spełnia warunki brzegowe na wzdłużnej krawędzi podpartej, natomiast warunki brzegowe na krawędzi swobodnej nie są spełnione tożsamościowo. W pracy [1] wykazano jednak, iż ze wzrostem stopnia p_0 wielomianu funkcji (4), moment zginający M_y oraz zastępcza siła Kirchhoffa Q_{ky} na swobodnej krawędzi płyty dążą do zera, minimalizując tym samym całkowitą energię potencjalną układu.

2.3. Stan naprężenia

W przypadku analizy stateczności płyty (ścianki) wspornikowej stanowiącej część składową pręta cienkościennego o przekroju otwartym, w której akceptuje się hipotezę

płaskich przekrojów lub hipotezę deplanacji przekroju (w zależności od stanu obciążenia pręta), rozkład naprężeń normalnych (rys. 1) można przedstawić w postaci:

$$\sigma_x = \sigma_o \left(1 - \alpha_s \frac{y_s}{b_s} \right) \left(1 - m \frac{x_s}{l_s} \right) \quad (5)$$

dla liniowego rozkładu naprężeń na długości płyty, oraz:

$$\sigma_x = \sigma_o \left(1 - \alpha_s \frac{y_s}{b_s} \right) \left(1 - m \frac{x_s^2}{l_s^2} \right) \quad (6)$$

dla nieliniowego rozkładu naprężeń na długości płyty, gdzie:

$$m = 1 - \sigma_1 / \sigma_o \quad (7)$$

Zmienność rozkładu naprężeń normalnych na długości płyty wspornikowej wg wzorów (5, 6) można uzyskać przez wprowadzenie naprężeń stycznych lub wzdłużnych sił masowych (rys. 1) o rozkładzie dobranym w zależności od sposobu obciążenia pręta cienkościennego. Sposób zastąpienia naprężeń stycznych odpowiednim rozkładem sił masowych w płytach wspornikowych opisano w pracy [1].

2.4. Naprężenia krytyczne

Naprężenia krytyczne (σ_{cr}) wyboczenia lokalnego płyty wspornikowej przy wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń odniesiono do najbardziej ściskanej krawędzi płyty (por.rys.1) i wyrażono w postaci klasycznego wzoru:

$$\sigma_{cr} = k \sigma_E \quad (8)$$

gdzie: σ_E – naprężenia Eulera dla płyty wg [3].

Płytowe współczynniki wyboczeniowe (k) do wzoru (8) wyznaczono metodą energetyczną. Całkowita energia potencjalna układu wynosi:

$$U_s = V_{s,1} + V_{s,2} - L_s \quad (9)$$

gdzie: $V_{s,1}$ – energia sprężysta zginania płyty, $V_{s,2}$ – energia sprężystego zamocowania krawędzi podłużnej ($y_s = 0$), L_s – praca sił zewnętrznych.

Z uwagi na fakt, że funkcję ugięcia płyty zapisano szeregiem sinusowo – wielomianowym postaci (4), energię sprężystą ($V_{s,1}$) wyznaczono w sposób zaproponowany w pracy [11], a funkcję pracy sił zewnętrznych (L_s) przy obciążeniu płyty wg rys. 1 wyznaczono z sekwencji wzorów wyprowadzonych w pracy [1]. Natomiast energię sprężystego zamocowania ($V_{s,2}$) krawędzi podłużnej wyznaczono ze wzoru (10) wg [3]:

$$V_{s,2} = \frac{C_\theta}{2} \int_0^{l_s} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y_s=0} \right]^2 dx \quad (10)$$

Płytowe naprężenia krytyczne obliczono z układu równań:

$$\partial U_s / \partial f_{ip} = 0 \quad (11)$$

sprowadzając zagadnienie do problemu wyznaczania wartości i wektorów własnych.

Do obliczenia współczynników (k) naprężeń krytycznych jednostronnie sprężyste zamocowanej płyty wspornikowej przy wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń

opracowano w środowisku pakietu *Mathematica*[®] [12] program obliczeniowy "Ncr_plyta_sw-spręż-(2).nb". Program umożliwia tablicowanie współczynników oraz graficzną prezentację wyników obliczeń (wykresy, postacie wyboczenia). Funkcję ugięcia płyty aproksymowano szeregiem (4), przy narzuceniu wartości początkowych wskaźnika utwierdzenia wg wzoru (2) od $\kappa = 0$ dla krawędzi podłużnej swobodnie podpartej do $\kappa = 1$ dla krawędzi utwierdzonej. Parametr i_0 określający ilość „półfal” funkcji sinus w kierunku osi x_s szeregu (4) dobierano w zależności od stosunku wymiarów płyty (l_s/b_s), rozkładu naprężeń działających w jej płaszczyźnie oraz wskaźnika κ . Na podstawie analizy zbieżności wyników (analogicznej do przedstawionej w pracy [1]), do obliczeń współczynników k jednostronnie sprężycie zamocowanych płyt przęsłowych o $l_s/b_s \leq 8$ oraz wartości parametrów: $0 \leq m \leq 1$ oraz $0 \leq \kappa \leq 1$ przyjęto w praktyce $i_0 = 10$ co daje wystarczającą dokładność z technicznego punktu widzenia przy jednoczesnej redukcji ilości obliczeń.

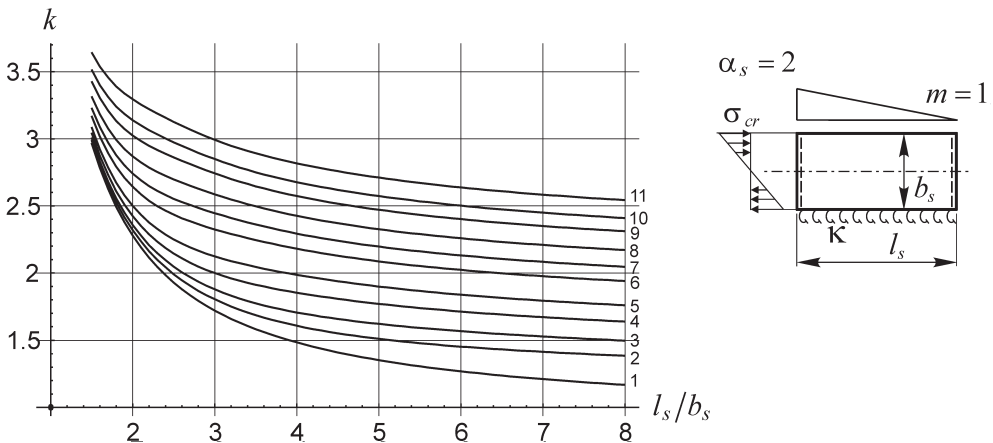
Prezentowane w dalszej części pracy wykresy współczynników k wyznaczono dla wartości parametrów $E = 205$ GPa oraz $\nu = 0,3$. W tabeli 1 podano przyporządkowanie numeru krzywej na poszczególnych wykresach (rys. 2–7) do współczynnika ε oraz wskaźnika κ wg wzorów (1, 2).

Tabela 1. Przyporządkowanie numeru krzywej na rys. 2–7 do współczynnika ε oraz wskaźnika κ .

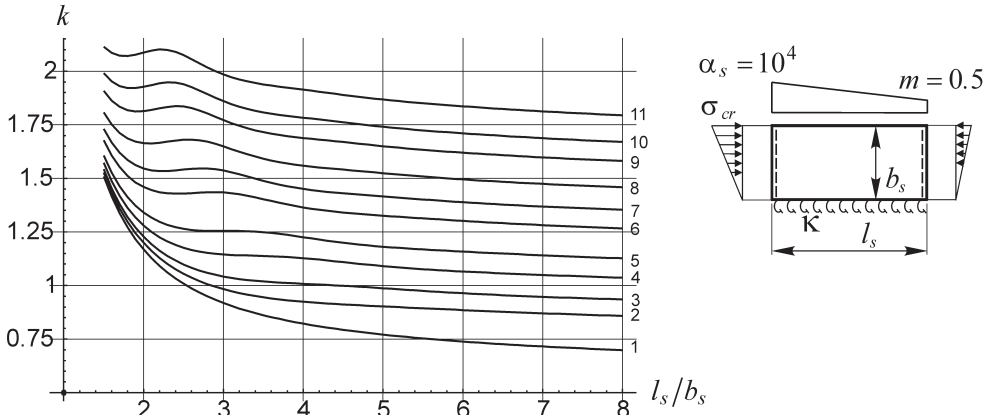
Nr krzywej	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ε	0	0,15	0,3	0,6	1	2	3	5	10	20	10^4
κ	0	0,07	0,13	0,231	0,33	0,5	0,6	0,714	0,83	0,909	1

3. Wykresy płytowego współczynnika wyboczeniowego k

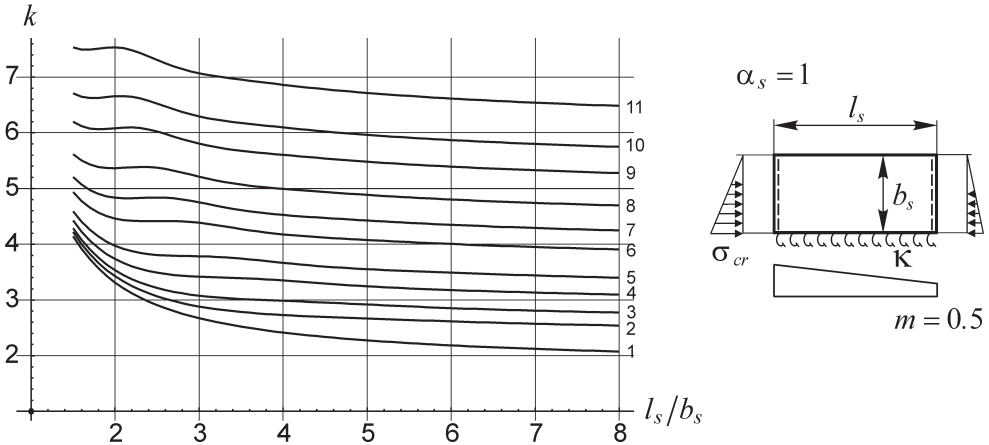
Na rys. 2 do rys. 7 pokazano wykresy współczynnika k dla wybranych (poprzecznych i podłużnych) rozkładów naprężeń w funkcji l_s/b_s oraz wskaźnika κ wg Tabeli 1. Rozkład naprężeń w płycie wspornikowej pokazano na schematach na każdym z wykresów.



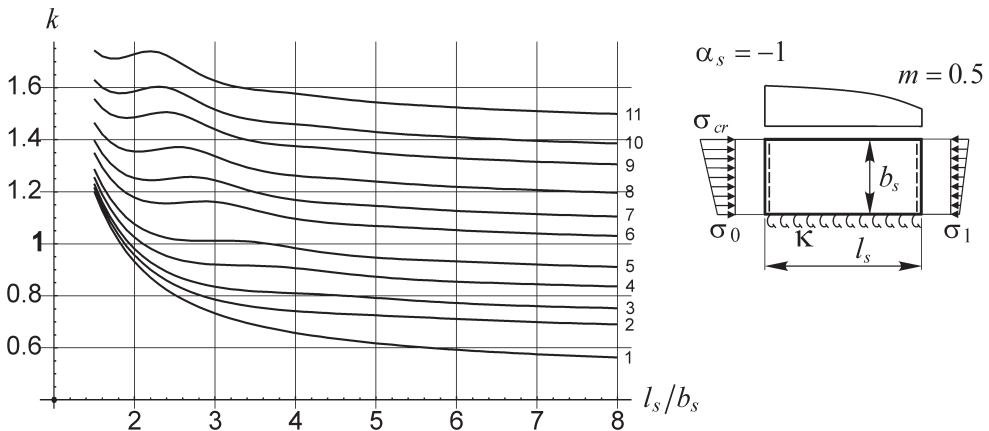
Rys. 2. Współczynnik k dla liniowego w kierunku poprzecznym ($\alpha_s = 2$) i liniowego w kierunku podłużnym ($m = 1$) rozkładu naprężeń w funkcji l_s/b_s oraz κ wg tab. 1.



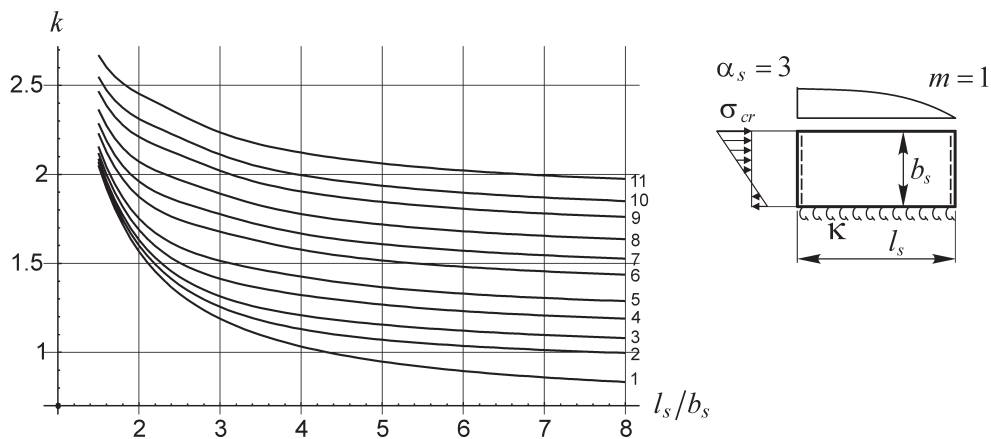
Rys. 3. Współczynnik k dla liniowego w kierunku poprzecznym ($\alpha_s = 10^4$) i liniowego w kierunku podłużnym ($m = 0,5$) rozkładu naprężeń w funkcji l_s/b_s oraz κ wg tab. 1.



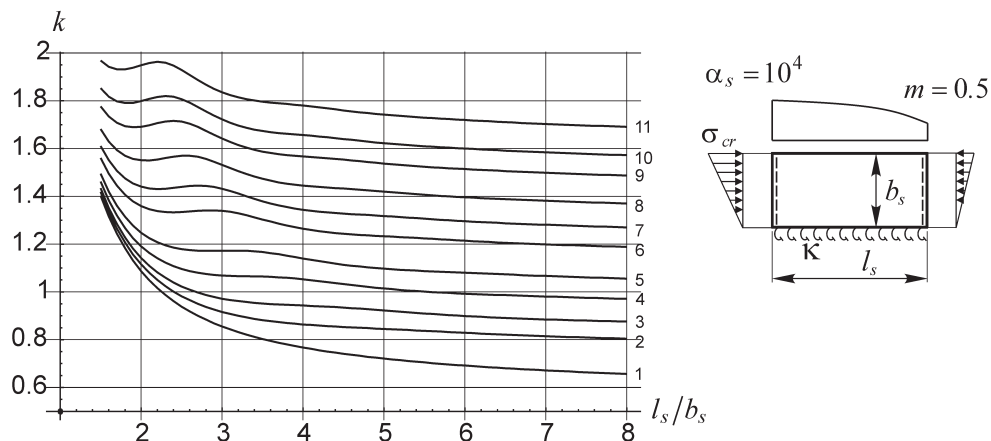
Rys. 4. Współczynnik k dla liniowego w kierunku poprzecznym ($\alpha_s = 1$) i liniowego w kierunku podłużnym ($m = 0,5$) rozkładu naprężeń w funkcji l_s/b_s oraz κ wg tab. 1



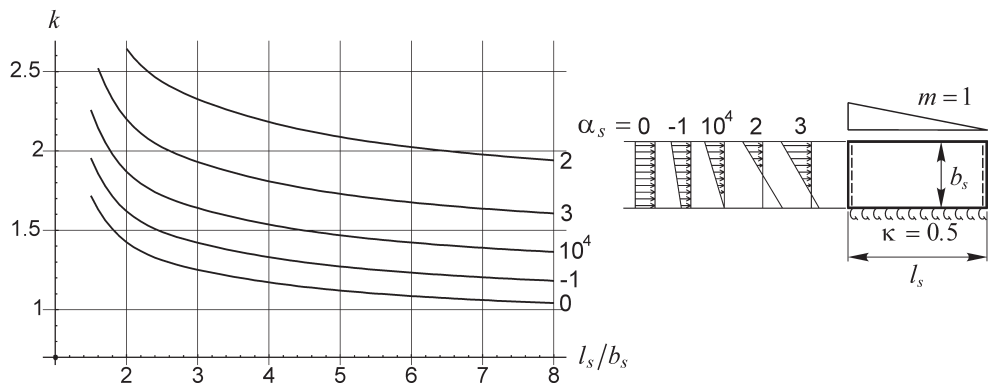
Rys. 5. Współczynnik k dla liniowego w kierunku poprzecznym ($\alpha_s = -1$) i nieliniowego w kierunku podłużnym ($m = 0,5$) rozkładu naprężeń w funkcji l_s/b_s oraz κ wg tab. 1



Rys. 6. Współczynnik k dla liniowego w kierunku poprzecznym ($\alpha_s = 3$) i nieliniowego w kierunku podłużnym ($m = 1$) rozkładu naprężeń w funkcji l_s/b_s oraz κ wg tab. 1



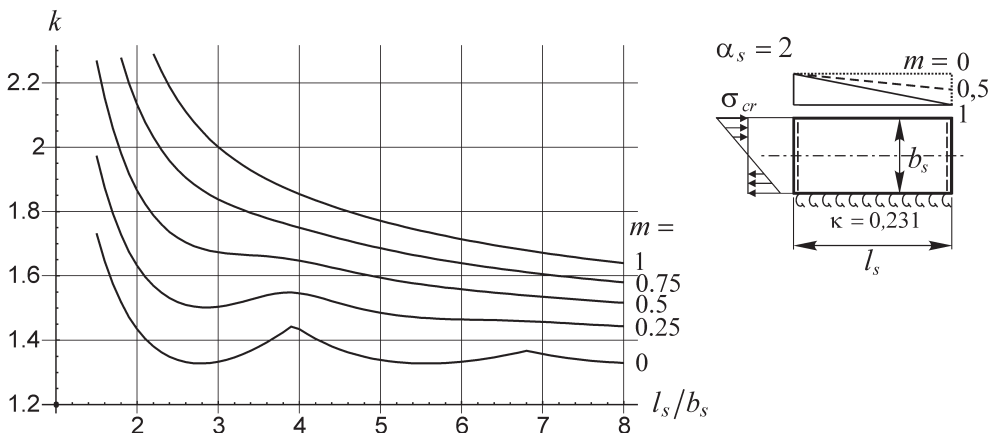
Rys. 7. Współczynnik k dla liniowego w kierunku poprzecznym ($\alpha_s = 10^4$) i nieliniowego w kierunku podłużnym ($m = 0,5$) rozkładu naprężeń w funkcji l_s/b_s oraz κ wg tab. 1



Rys. 8. Współczynnik k dla liniowego rozkładu naprężeń w kierunku podłużnym ($m = 1$) oraz różnych rozkładach naprężeń (w kierunku poprzecznym) w funkcji l_s/b_s .

Na rys. 8 porównano współczynnik k dla sprężysto zamocowanej ($\varepsilon = 2$, $\kappa = 0,5$) płyty wspornikowej przy liniowym rozkładzie naprężeń w kierunku podłużnym ($m = 1$) oraz różnych (liniowych) rozkładach w kierunku poprzecznym ($\alpha_s = -1, 0, 2, 3, 10^4$).

Na rys. 9 porównano współczynnik k dla sprężysto zamocowanej ($\varepsilon = 0,6$, $\kappa = 0,231$) płyty wspornikowej przy liniowym rozkładzie naprężeń w kierunku poprzecznym ($\alpha_s = 2$) oraz liniowym rozkładzie naprężeń w kierunku podłużnym dla parametru $m = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1$.



Rys. 9. Współczynnik k dla liniowego w kierunku poprzecznym ($\alpha_s = 2$) i liniowego w kierunku podłużnym ($m = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1$) rozkładu naprężeń w funkcji l_s/b_s .

4. Podsumowanie

Funkcja ugięcia płyty wspornikowej w postaci szeregu wielomianowo – sinusowego (4) umożliwia modelowanie warunków brzegowych na wzdłużnej krawędzi podpartej oraz aproksymację postaci wybočenja przy wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń.

Uwzględnienie sprężystego zamocowania krawędzi płyty (ścianki) w segmencie pręta cienkościennego oraz wzdłużnej i poprzecznej zmienności naprężeń prowadzi do dokładniejszego oszacowania naprężeń krytycznych wybočenja lokalnego. Dotyczy to zwłaszcza płyt wspornikowych (pólek), dla których zapasy lokalnej nośności krytycznej wynikające ze sprężystego zamocowania wzdłużnej krawędzi podpartej są większe niż dla obustronnie sprężysto zamocowanych płyt przęsłowych (średników).

Ze wzrostem wskaźnika utwierdzenia krawędzi płyty κ wg wzoru (2) oraz parametru wzdłużnego rozkładu naprężeń m wg (7) rosną naprężenia krytyczne sprężysto zamocowanych płyt wspornikowych. Mniejsze współczynniki k przy tych samych wartościach parametrów κ , α_s , m oraz l_s/b_s uzyskano dla nieliniowego rozkładu naprężeń normalnych na długości płyty (por. rys. 3 i 7).

Literatura

- 1 Szychowski A. *The stability of eccentrically compressed thin plates with a longitudinal free edge and with stress variation in the longitudinal direction*. Thin-Walled Structures 46(5) (2008) 494-505.
- 2 PN-EN 1993-1-3. Eurokod 3. *Projektowanie konstrukcji stalowych*. Część 1-3: *Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno*.

- 3 Bulson P.S. *The stability of flat plates*. Chatto and Windus, London 1970.
- 4 Timoshenko S.P., Gere J.M. *Theory of elastic stability. Part II*. McGraw-Hill, New York, N.Y. 1961.
- 5 Yu C, Schafer BW. *Effect of longitudinal stress gradients on elastic buckling of thin plates*. J Eng Mech ASCE 133(4) (2007) 452-63.
- 6 Yu C, Schafer BW. *Effect of longitudinal stress gradient on the ultimate strength of thin plates*. Thin-Walled Structures 44 (2006) 787-799.
- 7 Szychowski A. *Stateczność sprężyste zamocowanych płyt wspornikowych przy wzdłużnej zmienności naprężeń*. 56 KN KILiW PAN i KN PZITB, Kielce - Krynica 2010.
- 8 Rykaluk K. *Pozostające naprężenia spawalnicze w wybranych stanach granicznych nośności*. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, 29, seria: Monografie 11, Wrocław 1981.
- 9 Hancock G.J. *Design for distortional buckling of flexural members*. Thin-Walled Structures 27(1) (1997) 3-12
- 10 Rogers C.A., Schuster R.M. *Flange/web distortional buckling of cold-formed steel sections in bending*. Thin-Walled Structures 27(1) (1997) 13-29
- 11 Jakubowski S. *Macierzowa analiza stateczności i drgań własnych ścian dźwigarów cienkościennych*. Archiwum Budowy Maszyn XXXIII(4) (1986) 357-375.
- 12 Wolfram S. *Mathematica*. Cambridge University Press.

Local buckling of cantilever wall of thin-walled member with longitudinal and transverse stress variation

Andrzej Szychowski

*Department of Mechanics, Metal Structures and Computer Methods,
Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology,
e-mail: aszychow@tu.kielce.pl*

Abstract: The paper presents results of the investigation into the stability of elastically restrained cantilever walls (plates) with longitudinal and transverse stress variation. A linear distribution of stresses in the direction of the wall (plate) width and the linear or nonlinear (in accordance with parabola 2^0) distribution of stresses along the wall length were assumed. Plots of plate buckling coefficients (k) for variously supported and variously loaded cantilever plates, which are not found in the literature, were determined.

Keywords: thin-walled bars, open cross-section, cantilever walls, elastically restrained, longitudinal and transverse stress variation.

Wpływ objętości zaczynu cementowego na konsystencję mieszanek do wysokowartościowych betonów samozagęszczalnych i masywnych

Bartłomiej Zarzycki¹, Wojciech Piasta²

¹ *bzarzycki@tu.kielce.pl*

² *Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Świętokrzyska, e-mail: wpiasta@tu.kielce.pl*

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu objętości zaczynu cementowego i stosunku w/c na konsystencję mieszanek betonowych stosowanych do wykonywania wysokowartościowych betonów samozagęszczalnych i masywnych. Badaniom poddano sześć mieszanek zawierających zaczyn cementowy w ilości od 220 do 420 dm³/m³, z których trzy projektowane były jako betony wysokowartościowe oraz dla porównania trzy betony zwykłe. Badania konsystencji mieszanek betonowych przeprowadzono metodą stolika rozplywowego oraz opadu stożka, a także przeprowadzono dodatkowe testy samozagęszczalności. Wykonano także badania wytrzymałości na ściskanie, aby wykazać, że betony są wysokowartościowe. Stwierdzono silny wpływ objętości zaczynu na urabialność i konsystencję mieszanki betonowej, natomiast wpływ stosunku w/c jest zdecydowanie mniejszy dzięki zastosowaniu superplastyfikatora wysokiej sprawności.

Słowa kluczowe: zaczyn, konsystencja, mieszanka betonowa, beton wysokowartościowy, beton samozagęszczalny, beton masywny

1. Wprowadzenie

Beton zwykły, pomimo swojej bardzo dużej uniwersalności nie zapewnia wystarczających właściwości z punktu widzenia wymagań technologicznych w przypadku specjalnych konstrukcji betonowych. Elementy gęsto zbrojone, obliczane do przenoszenia dużych naprężeń czy elementy o dużych przekrojach wykraczają poza właściwości betonu zwykłego. Z tego względu konieczne jest stosowanie betonów nowej generacji lub specjalnych o szczególnym składzie, które charakteryzują się wyraźnie lepszymi właściwościami użytkowymi. Szczególnymi rodzajami betonu wysokowartościowego są beton wysokowartościowy masywny oraz beton wysokowartościowy samozagęszczalny, na których skład nie ma opracowanych teoretycznych metod projektowania.

Przyjęto, że beton wysokowartościowy to taki, który charakteryzuje się wytrzymałością na ściskanie powyżej 60 MPa, niekiedy przekraczając nawet 100 MPa i więcej. Wskaźnik w/c betonów wysokowartościowych wynosi nie więcej niż 0,38, co wpływa na ograniczenie ilości wody, przy jednoczesnym zastosowaniu cementów wysokiej jakości (klasy 42,5 lub 52,5) [1, 2]. Najczęściej wykorzystuje się cementy z dodatkiem pyłów krzemionkowych, a od niedawna granulowanego żużla wielkopieczowego, ale o dużej powierzchni właściwej. Beton wysokowartościowy charakteryzuje się również wysoką

trwałością, wynikającą zasadniczo z małej porowatości osiąganą za pomocą niskiego wskaźnika w/c oraz dzięki zastosowaniu dodatków mineralnych, które uszczelniają strukturę zaczynu [3].

Mieszanki samozagęszczalne cechują się wysoką objętością zaczynu, a więc także spoiwa. Bardzo istotne w przypadku betonów samozagęszczalnych jest, aby świeża mieszanka miała nie tylko możliwe wysoką płynność, ale jednocześnie była stabilna i odporna na segregację oraz wytrącanie się zaczynu. Z punktu widzenia urabialności takiej mieszanki kluczowe znaczenie ma lepkość plastyczna oraz granica płynięcia. Im mniejszą granicę płynięcia ma mieszanka, tym jest ona lepiej urabialna. Lepkość plastyczna wpływa nie tylko na urabialność mieszanki, ale także na jej stabilność i zdolność do samoodpowietrzania [4]. Właściwości te mieszanka przeznaczona do betonów wysokowartościowych może osiągnąć tylko dzięki stosowaniu specjalnego wysokosprawnego superplastyfikatora kompatybilnego z cementem oraz stosowanymi dodatkami mineralnymi, zachowując niski stosunek w/c.

Skład mieszanki betonu masywnego jest zdeterminowany przez kryterium najniższego ciepła twardnienia i powolny przyrost temperatury poprzez wydłużony czas hydratacji. Należy zatem stosować cementy niskokaloryczne, ograniczające wzrost temperatury wewnątrz twardniejącej mieszanki. Zmniejsza to naprężenia własne wywołane niejednorodnym polem temperatury wewnątrz betonowanego elementu [5]. Z tego też powodu zaleca się stosowanie cementów hutniczych CEM III lub pułcanowych CEM IV zaliczanych do grupy cementów o niskim cieple hydratacji (LH) wynoszącym poniżej 270 J/g [6, 7].

Przy wykonywaniu mieszanek do betonów wysokowartościowych samozagęszczalnych duże utrudnienia może stworzyć, szczególnie w praktyce, nie tyle osiągnięcie wysokiej wytrzymałości, ale uzyskanie właściwej urabialności i zagęszczalności rozumianej jako ilość energii potrzebnej do skutecznego zagęszczenia. W badaniach laboratoryjnych zagadnienie to zostało w znacznym stopniu rozwiązane [8, 9, 10]. Nerozpoznane jest natomiast zagadnienie właściwej zagęszczalności i urabialności betonów masywnych wysokowartościowych.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu objętości zaczynu i wskaźnika w/c na konsystencję mieszanek betonów wysokowartościowych masywnych i samozagęszczalnych.

2. Metody i materiały

Zagadnienie utrudnionej zagęszczalności i urabialności betonów samozagęszczalnych i masywnych wysokowartościowych podjęto się rozwiązać przyjmując w sposób arbitralny stosunek w/c = 0,3 jako wystarczający do osiągnięcia wysokiej wytrzymałości. Jako główną zmienną w badaniu przyjęto objętość zaczynu cementowego.

Badaniami objęto sześć mieszanek betonowych: trzy z nich projektowane jako betony wysokowartościowe – masywny z najniższą objętością zaczynu, typowy beton wysokowartościowy oraz beton samozagęszczalny z najwyższą objętością zaczynu – a także, dla porównania, trzy mieszanki do betonów zwykłych również zróżnicowane pod względem objętości zaczynu. Czynniki zmienne w badaniu pokazano w tabeli nr 1.

Tabela 1. Czynniki zmienne w badaniu

Stosunek w/c		Objętość zaczynu [dm ³ /m ³]		
0,3	0,6	220	320	420

Na podstawie badań wstępnych przyjęto za właściwe stosowanie wskaźnika $w/c = 0,3$ w przypadku betonów wysokowartościowych oraz $w/c = 0,6$ w przypadku betonów zwykłych. Wszystkie betony zostały wykonane z cementu hutniczego CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA, piasku naturalnego 0/2 mm oraz łamanego grubego kruszywa bazaltowego o uziarnieniu 2/8 oraz 8/16 mm. Wybór kruszywa grubego bazaltowego wiąże się z jego wysoką wytrzymałością na ściskanie, która ma znaczenie przy wykonywaniu betonów wysokowartościowych. Użyty w badaniach cement został wybrany z powodu jego niskiego ciepła hydratacji, a więc przydatności do wykonywania betonów o dużej zawartości cementu, a także betonów masywnych. Cementy zawierające zmielony granulowany żużel wielkopieczowy z powodzeniem mogą być stosowane również do betonów samozagęszczalnych, a także, ze względu na osiągnięte przez nie wysokie wytrzymałości w późniejszym okresie dojrzewania, do betonów wysokowartościowych. Jako domieszki upłynniającej użyto wysokiej jakości superplastyfikatora polimerowego na bazie eteru polikarboksylowego. W przypadku betonów zwykłych ($w/c = 0,6$) nie było konieczności stosowania superplastyfikatora. Ilość tej domieszki w składzie mieszanki samozagęszczalnej została określona za pomocą zarobów próbnych, tak aby zapewnić odpowiednie parametry konsystencji i urabialności wymagane dla tego typu mieszanki przy jej jednoczesnej stabilności. Domieszka upłynniająca dozowana była wagowo wraz z wodą zarobową. W celu zachowania niezmiennych proporcji pomiędzy objętością zaczynu, zaprawy oraz kruszywa grubego dla poszczególnych rodzajów mieszanek, przyjęto stałe wartości punktu piaskowego wynoszące 28, 34 oraz 40% dla objętości zaczynu równych odpowiednio 220, 320 i 420 dm³. Składy mieszanek betonowych poddanych badaniom podano w tabeli 2.

Tabela 2. Składy mieszanek betonowych wykorzystanych w badaniu

	w/c = 0,30			w/c = 0,60		
V_z	220	320	420	220	320	420
W	103,8	151	195,8	141,1	205,2	269,4
C	346,2	503,5	660,8	235,2	342	448,9
P	631,8	663	661,1	631,8	663,8	661,1
K_{2-8}	812,4	644,3	495,8	812,4	644,3	495,8
K_{8-16}	812,4	644,3	495,8	812,4	644,3	495,8
SP	3,46	1,98	5,67	-	-	-

V_z – objętość zaczynu w mieszance betonowej [dm³/m³], W – ilość wody [kg/m³], C – ilość cementu CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA [kg/m³], P – ilość piasku frakcji 0/2 [kg/m³], K_{2-8} – ilość kruszywa bazaltowego frakcji 2/8 mm [kg/m³], K_{8-16} – ilość kruszywa bazaltowego frakcji 8/16 mm [kg/m³], SP – ilość domieszki upłynniającej [dm³/m³].

Poddane badaniom mieszanki betonowe oraz betony obejmują pod względem wskaźnika w/c oraz objętości zaczynu niemal cały zakres stosowanych powszechnie betonów, dzięki czemu otrzymane wyniki mogą być wykorzystywane przy projektowaniu mieszanek.

Mieszanki betonowe bezpośrednio po zarobieniu poddano testom mającym określić ich parametry konsystencji. Do testów podstawowych wykonanych dla każdej mieszanki należało badanie opadu stożka oraz rozplywu mieszanki na stoliku rozplywowym wykonane zgodnie z normami [11, 12]. Dodatkowo, w przypadku mieszanki betonu wysokowartościowego samozagęszczalnego wykonano testy mające określić parametry takie jak płynność i czas rozplywu do średnicy 500 mm (Slump-flow test), zdolność

przepływu przez przeszkody symulujące pręty zbrojeniowe (L-Box test) oraz lepkość i zdolność mieszanki do wypełniania (V-funnel test). Wszystkie testy techniczne wykonane dla mieszanki betonu samozagęszczalnego pozwalają na wizualną ocenę odporności mieszanki na segregację i wydzielanie się zaczynu.

W przypadku wszystkich mieszanek pobrano również po pięć próbek sześciennych o krawędzi 10 cm do badania wytrzymałościowego po 28 dniach dojrzewania. Badania te były konieczne w przypadku betonów wysokowartościowych w celu potwierdzenia, że spełniają one wymagania wytrzymałościowe stawiane dla tego typu betonów. Próbkę zostały rozformowane po 24 godzinach, a następnie dojrzewały przez 24 dni całkowicie zanurzone w wodzie. Przed badaniem próbki były suszone przez 3 dni w warunkach powietrzno-suchych. Wytrzymałość na ściskanie zbadano w maszynie wytrzymałościowej Tecnotest Modena.

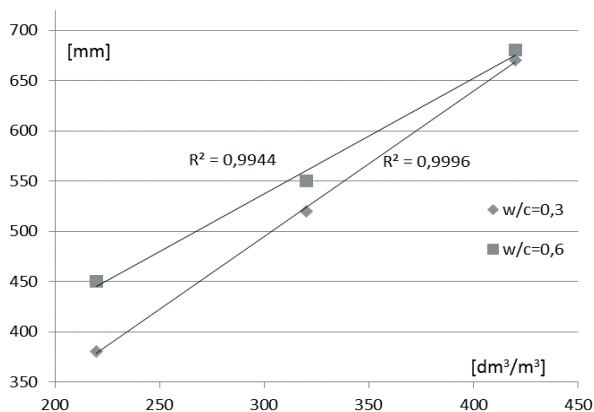
3. Wyniki badań i ich analiza

W tabeli nr 3 przedstawiono wyniki badania konsystencji metodą stolika rozpliwowego. Pokazują one wyraźnie, że bez względu na wskaźnik w/c, wpływ ilości zaczynu na średnicę rozpliwu mieszanki jest silny. Na rysunku nr 1 porównano wyniki badania konsystencji metodą stolika rozpliwowego. W przypadku mieszanki betonu wysokowartościowego samozagęszczalnego ($w/c = 0,3$, $V_z = 420 \text{ dm}^3/\text{m}^3$) zanotowano rozpliw swobodny, bez wymuszania ruchu płyty stolika, natomiast w przypadku mieszanki betonu zwykłego o objętości zaczynu wynoszącej $420 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ stwierdzono umiarkowaną segregację polegającą na niewielkim opadaniu ziaren kruszywa grubego, jednak bez wytrącania się zaczynu. Jest to spowodowane przede wszystkim względnie dużą ilością wody w zaczynie i małą ilością kruszywa grubego, co łącznie powoduje zbyt dużą płynność mieszanki oraz zbyt niską lepkość.

Tabela 3. Wyniki badania konsystencji metodą stolika rozpliwowego

	w/c = 0,3			w/c = 0,6		
objętość zaczynu [dm^3/m^3]	220	320	420	220	320	420
rozpliw [mm]	380	520	670*	450	550	680

*rozpliw swobodny, bez wymuszania ruchu płyty stolika



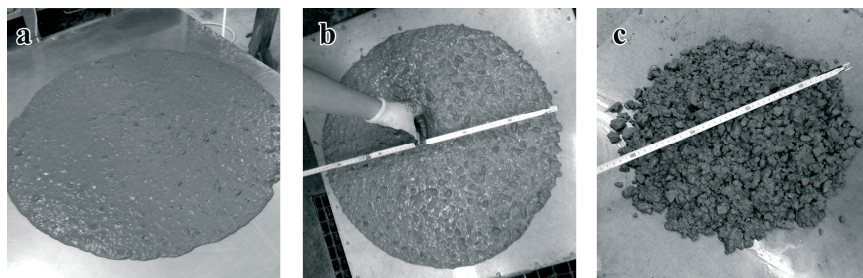
Rys. 1. Zależność średnicy rozpliwu od objętości zaczynu

Na rysunku nr 1 zauważyć można, iż średnica rozplywu rośnie proporcjonalnie z ilością zaczynu. Średnica ta jest jednocześnie większa w przypadku wskaźnika $w/c = 0,6$, jednak różnice w stosunku do mieszanek z $w/c = 0,3$ są niewielkie, a jest to spowodowane użyciem superplastyfikatora, który znacząco poprawił urabialność świeżych mieszanek. Nadmienić należy, że w przypadku betonu wysokowartościowego masywnego zwiększanie ilości domieszki powyżej tej określonej w tabeli nr 2 nie wpływało na poprawę urabialności, więc z technologicznego i ekonomicznego punktu widzenia było bezcelowe. Osiągnięto w tym przypadku granicę przesylenia mieszanki superplastyfikatorem.

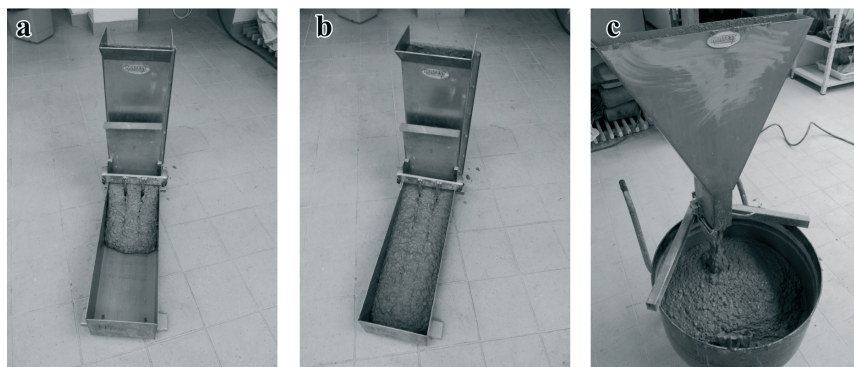
W tablicy nr 4 umieszczono wyniki testów technicznych przeprowadzonych dla mieszanki betonu wysokowartościowego samozagęszczalnego. Potwierdziły one, że mieszanka ta spełnia wymagania samozagęszczalności oraz zdolności do samoodpowietrzania, przy jednoczesnym zachowaniu jej stabilności, bez oznak segregacji.

Tabela 4. Wyniki badania konsystencji metodą stolika rozplywowego

	slump-flow test	czas rozplywu T500	V-funnel	L-box
wynik testu technicznego	670 mm	1,8 s	5,7 s	PL = 0,80
interpretacja wyniku	klasa rozplywu SF2	klasa lepkości VS1	klasa lepkości VF1	klasa zdolności przepływu PL1 (2 pręty)
krótka charakterystyka testu	średnica swobodnego rozplywu	czas rozplywu mieszanki do średnicy 500 mm	czas wypływu z lejka V-kształtnego	zdolność do przepływu pomiędzy przeszkodami bez segregacji

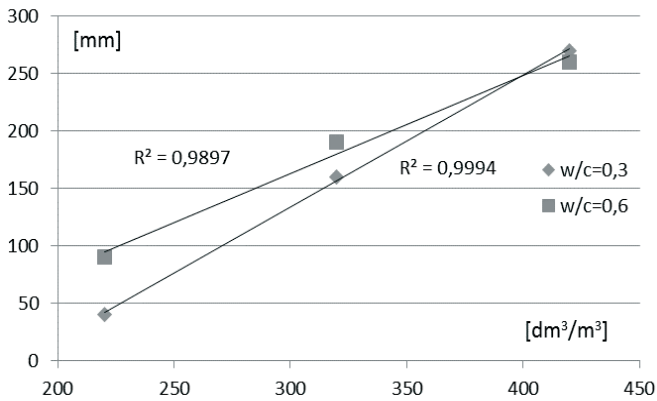


Rys. 2. Widok po teście rozplywu mieszanek do betonów wysokowartościowych: a) samozagęszczalnych, b) typowych BWW, c) masywnych



Rys. 3. Widok testów technicznych mieszanki betonu wysokowartościowego samozagęszczalnego: a), b) L-Box, c) V-funnel

Na rysunku nr 4 oraz w tablicy nr 5 pokazano wyniki badania konsystencji metodą opadu stożka. Metoda ta nie jest zalecana dla mieszanek ciekłych, jednak dla celów porównawczych wykorzystano ją także w badaniu mieszanki samozagęszczalnej.



Rys. 4. Zależność opadu stożka od objętości zaczynu

Tabela 5. Wyniki badania konsystencji metodą opadu stożka

	w/c = 0,3			w/c = 0,6		
objętość zaczynu [dm ³ /m ³]	220	320	420	220	320	420
opad [mm]	40	160	270	90	190	260

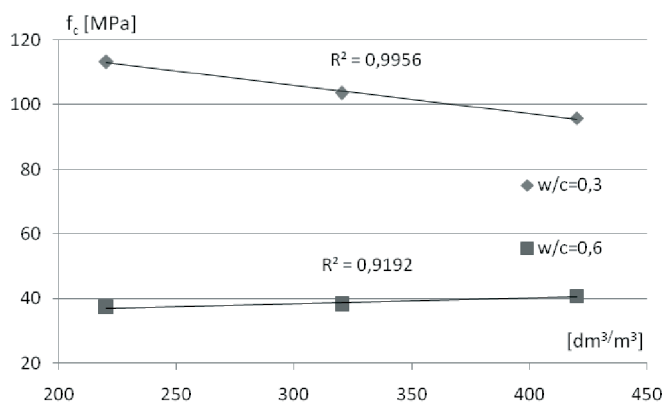
Badanie metodą opadu stożka potwierdziło, że konsystencja mieszanki jest zależna nie tylko od wskaźnika w/c, ale w znacznym stopniu od objętości zaczynu. Zauważyć należy jednak, że wraz ze wzrostem objętości zaczynu zmniejsza się różnica wielkości opadu stożka pomiędzy mieszankami z różnym wskaźnikiem wodno-cementowym. Świadczy to o wysokiej skuteczności domieszki upłynniającej, która pozwoliła uzyskać w przypadku mieszanki samozagęszczalnej (w/c = 0,3, $V_z = 420 \text{ dm}^3/\text{m}^3$) opad stożka większy niż ten zanotowany dla mieszanki z taką samą objętością zaczynu, ale dużo wyższą zawartością wody (w/c = 0,6).

Zarówno badanie na stoliku rozplywowym, jak i metoda opadu stożka wykazały zależność płynności mieszanki betonowej od objętości zaczynu. Ponadto, w przypadku mieszanek ze wskaźnikiem w/c = 0,3 zaobserwować można silniejszy wpływ zmiany objętości zaczynu na badane parametry. Może się to wiązać ze stosowaniem domieszki upłynniającej, której wpływ na płynność mieszanki jest również zależny od objętości zaczynu. Powyższe wyniki pokazują jednocześnie, że można przygotować mieszanki o zbliżonej konsystencji i płynności nawet wtedy, gdy ich wskaźniki wodno-cementowe znacznie się różnią. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu superplastyfikatorów wysokiej jakości, pozwalających znacznie zredukować ilość wody i utrzymujących właściwe parametry reologiczne przez kilkadziesiąt minut.

Współczynnik determinacji określający dopasowanie zmierzonych w badaniu wartości do wyznaczonych równań jest w każdym przypadku bliski jedności.

Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie potwierdziły, że z trzech mieszanek o wskaźniku w/c = 0,3 uzyskano betony o wytrzymałości powyżej 90 MPa, a w przypadku

betonu wysokowartościowego masywnego ze względnie niską ilością cementu wynoszącą 346 kg/m^3 wytrzymałość ta wyniosła aż 113 MPa. Badanie to pokazało również, że wytrzymałość na ściskanie betonów wysokowartościowych i zwykłych ma różną zależność i spada wraz ze wzrostem objętości zaczynu w przypadku betonów wysokowartościowych, natomiast w przypadku betonów zwykłych wytrzymałość ta nieznacznie rośnie. Zależność wytrzymałości na ściskanie od objętości zaczynu pokazano na rysunku nr 5.



Rys. 5. Zależność wytrzymałości na ściskanie od objętości zaczynu

4. Wnioski

Zaprezentowane powyżej wyniki badań pozwalają na wyciągnięcie kilku wniosków:

1. Konsystencja mieszanki betonowej bardzo istotnie zależy od objętości zaczynu, wpływ wskaźnika wodno-cementowego można zredukować stosując wysoko sprawne superplastyfikatory.
2. Rozplływ oraz opad mieszanki betonowej wzrastają proporcjonalnie do objętości zaczynu. Pomiędzy objętością zaczynu a opadem i rozplływem mieszanki zachodzi silna korelacja liniowa.
3. Mieszanka samozagęszczalna, mimo niskiego wskaźnika $w/c=0,3$, spełniła wymagania testów technicznych samozagęszczalności (L-Box, V-funnel) i osiągnęła rozplływ swobodny 670 mm, a wytrzymałość na ściskanie tego betonu ponad 95 MPa.
4. Mimo stosowania superplastyfikatora polimerowego o bardzo wysokiej sprawności i przekroczenia granicy przesylenia, nie osiągnięto mieszanki betonowej o zadowalającej konsystencji i zagęszczalności do betonu masywnego wysokowartościowego. Główną tego przyczyną jest bardzo mała objętość zaczynu, a nie zbyt mała ilość superplastyfikatora lub jego niewystarczająca sprawność. Wytrzymałość tego betonu wyniosła ponad 110 MPa.

Literatura

- 1 Neville A.M. *Właściwości betonu*, Polski Cement, Kraków 2000.
- 2 Zieliński K. *Podstawy Technologii Betonu*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012.

- 3 Gołaszewski J. *Betony Nowej Generacji*. Inżynier Budownictwa 3 (2014) 58–60.
- 4 Gołaszewski J. *Technologia betonu samozagęszczalnego a betonu zagęszczalnego w sposób tradycyjny*, Przegląd Budowlany 6 (2009) 28–36.
- 5 Kiernożycki W. *Betonowe konstrukcje masywne: teoria, wymiarowanie, realizacja*, Polski Cement, Kraków 2003.
- 6 PN-EN 197-1:2012 *Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*.
- 7 PN-B-19707:2013-10 *Cement – Cement specjalny – Skład, wymagania i kryteria zgodności*.
- 8 Gołaszewski J., Kostrzanowska A. *Wpływ właściwości i ilości zaczynu na reologię betonów samozagęszczalnych wysokowartościowych*. Czasopismo Techniczne 1-B(2) (2010) 99–109.
- 9 Kostrzanowska A. *Kształtowanie samozagęszczalności betonów wysokowartościowych*, rozprawa doktorska, Gliwice 2011.
- 10 Szwabowski J., Gołaszewski J. *Technologia betonu samozagęszczalnego*, Polski Cement, Kraków 2010.
- 11 PN-EN 12350-2:2011 *Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka*.
- 12 PN-EN 12350-5:2011 *Badania mieszanki betonowej – Część 5: Badanie konsystencji metodą stolika rozplywowego*.

Effect of the cement paste volume on the consistency of mixes for high performance massive and self-compacting concretes

Bartłomiej Zarzycki¹, Wojciech Piasta²

¹ e-mail: bzarzycki@tu.kielce.pl

² Department of Building Engineering Technologies and Organization, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, e-mail: wpiasta@tu.kielce.pl

Abstract: The article presents the results of research concerning the influence of the volume of cement paste and the w/c ratio on the consistency of concrete mixes for high-performance massive and self-compacting concrete. The research covered six types of concrete mixes containing from 220 to 420 dm³ of cement paste in a cubic meter. Three of them were designed as high-performance concrete and for comparison three conventional ones. The consistency was tested with two methods: concrete slump test and flow table test, also additional tests of self-compacting mix were made. Compressive strength test were conducted to prove that concretes are high-performance. A high influence of the volume of cement paste on the workability and consistency of fresh concrete mix has been found, while the influence of the w/c ratio is considerably lower due to the dosage of high-quality superplasticizer.

Keywords: cement paste, consistency, concrete mix, high-performance concrete, self-compacting concrete, massive concrete

Duch współczesnej architektury sakralnej

Karolina Zuba

*Katedra Architektury Urbanistyki i Planowania Przestrzennego,
Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: karolaz3@o2.pl*

Streszczenie: Architektura sakralna, ze względu na swą wyjątkową funkcję, jest zdolna wywierać ogromny wpływ na społeczeństwo. Od wieków stanowiąca fenomen, ulegała jednak licznym przemianom, podobnie jak zmieniała się rządząca poniekąd jej budową kościelna liturgia. We współczesnej architekturze sakralnej dostrzec można zasadniczo dwie wyróżniające się tendencje kształtowania obiektów świątynnych. Jedną z nich jest zupełna prostota – ubóstwo formy i wnętrza. Kolejna, rzec można – antagonistyczna, to monumentalizm połączony zazwyczaj z bogatą symboliką. We współczesnych świątyniach widać także nawiązania do form historycznych. Wpływ na formę i funkcję obiektu sakralnego mogą mieć również przekonania religijne autora projektu.

Słowa kluczowe: architektura, świątynia, sacrum, duch, spotkanie

1. Wprowadzenie

*„Tam będę się spotykał z tobą i (...) będę z tobą rozmawiał o wszystkich nakazach”
Wj 25,22*

„Architektura to skrzydła duszy” mówił architekt Imre Makovecz. Co dopiero architektura sakralna..! Z definicji stanowią ją obiekty poświęcone bóstwu, miejsca kultu, odprawiania religijnych obrzędów. Można zatem zaklasyfikować je de facto do obiektów usługowych... ubogaconych specyficzną formą i symboliką, z dość specyficzną funkcją: oddania czci bóstwu, kontemplacji, wyciszenia... Czy tak? Od nowoczesnego architekta wymaga się sprostanania wymaganiom każdego klienta – spełnienia wszystkich jego projektowych zachcianek; pewnego uniwersalizmu, jednak z zachowaniem własnego stylu. Dodatkowo – w galopującym dookoła Wszechświecie – oczekuje się szybkiego działania, tworzenia na potrzeby trwającego w pędzie, niemogącego czekać klienta. "Cierpliwość jest taką siłą, że wszyscy ludzie jej pozbawieni są słabi" – powiedział Antonio Gaudi. To właśnie on tworząc największy projekt swego życia, kościół Sagrada Familia, zarzuty zbyt długiego rozciągania w czasie realizacji odpierał zdaniem „Mój Klient się nie spieszy”.

„TAM będę się SPOTYKAŁ z tobą” mówi Pan do Mojżesza – Inwestor do twórcy. Nie: „tam będziesz mnie czcił, składał ofiary, odprawiał rytuały”, a „tam będę się SPOTYKAŁ z tobą”! Świątynia jest więc miejscem szczególnym, wyjątkowym, NIESAMOWITYM. Miejscem SPOTKANIA – nie głębokiej kontemplacji. Pomostem Ziemia-Niebo – nie służącym wyciszeniu azyłem... Niepojętym sacrum pośrodku miejskiego profanum.

Jakże wielka odpowiedzialność ciąży zatem na projektancie świątyni, by – zgodnie z zamysłem Inwestora – poruszała ona dusze! I... czy jest to konieczne, skoro spotkać Go można w każdym miejscu?

Architektura ma OGROMNY wpływ na swych użytkowników. Piękno zaś potrafi zbliżać człowieka do Stwórcy.

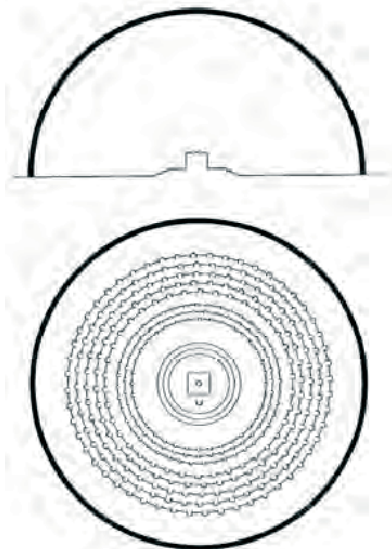
„Kościół potrzebuje sztuki. Musi bowiem sprawiać, aby rzeczywistość duchowa, niewidzialna, Boża, stawała się postrzegalna... Musi zatem wyrażać w zrozumiałych formułach to, co samo w sobie jest niewyraźne.”

*Papież Jan Paweł II List apostolski do artystów,
Watykan, dnia 4 kwietnia 1999r.*

Podobne wnioski wysnuć można z wypowiedzi tomisty Josepha Piepera, argumentującego, że „gdyby nam przyszło żyć w świecie, w którym wszystko jest jedynie użyteczne i nie ma nic, z czego można się cieszyć bez uprzedniego wiązania tego z określonym celem, gdzie jest nauka, a nie ma śladu filozoficznego pojmowania całości życia, gdzie jest dzień powszedni zaledwie, a wcale poezji i muzyki, wtedy można by już tylko rozpaczać.”[1] – człowiek POTRZEBUJE sacrum, potrzebuje świątyni jako miejsca wyjątkowego nie tyle formą a przeznaczeniem.

2. Przemiany w architekturze sakralnej

Architektura sakralna, wciąż wierna swej wyjątkowej misji, ulegała wielu przemianom odbijającym niejako przemiany wprowadzane w liturgii. To „liturgia rządzi budową kościoła”[2] twierdził Cornelius Gurlitt. Na układ i formę świątyni znacznie wpłynął pojawiający się po I wojnie światowej kult wspólnoty. Punktem wyjścia, kształtującym świątynne wnętrza stał się wówczas ołtarz, wokół którego zbierają się oczekujący na spotkanie wierni. Schemat ten, narzucający często centralny plan kościoła, szerzej scharakteryzował architekt Rudolf Schwarz w swej koncepcji „siedmiu planów”[3].



Fot. 1. Rudolf Schwarz, plan pierwszy, „święty krąg”. Źródło: Cezary Wąs, Antynomie współczesnej architektury sakralnej [5]

Projektując świątynię dąży się zatem do zwiększenia poczucia wspólnoty, uczynienia zeń miejsca działania, nie – jak pisał Peter Hammond – „przydobionej jaskini do kontemplacji”[4]. Czy nie prowadzi to jednak do kształtowania formy kościoła wyłącznie jako obrazu ziemskiej wspólnoty wiernych?

Współczesna architektura sakralna staje przed trudnym zadaniem. Wychodząc na przeciw potrzebom żyjącego w nieustannym pędzie społeczeństwa, świątynia staje się często „aneksem” do galerii handlowej czy wręcz pawilonem służącym „utrzymaniu się kościołów na rynku dóbr duchowych”[5], jak choćby Pawilon Chrystusa projektu Meinharda von Gerkana.



Fot. 2. Meinhard von Gerkan, Pawilon Chrystusa, Expo 2000, Hanower. Źródło: Cezary Wąs, Antynomie współczesnej architektury sakralnej [5]

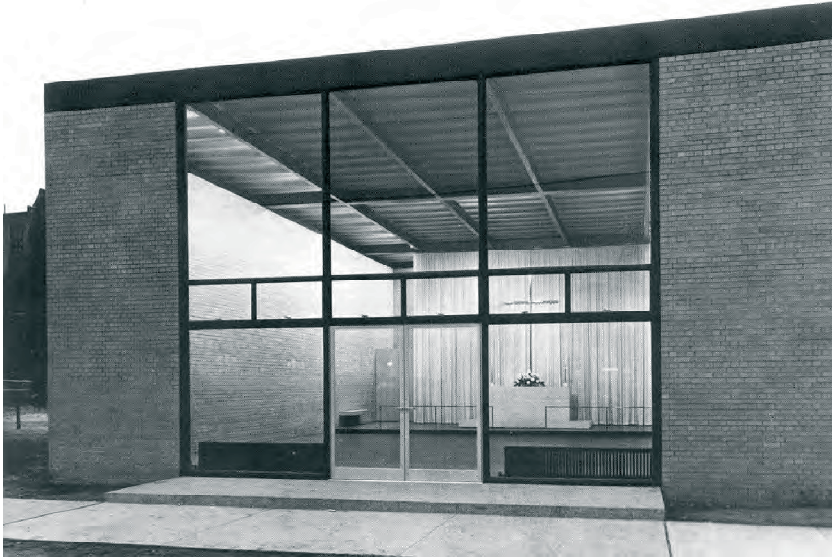
2.1.1. Tendencje we współczesnej architekturze sakralnej

We współczesnej architekturze sakralnej dostrzec można zasadniczo dwa odrębne kierunki kształtowania przestrzeni świątyni. Jednym z nich jest, nie bez powodu, zupełna prostota.

*„Stół, przestrzeń i ściany tworzą najprostszy kościół” [6]
Rudolf Schwarz*

Jak pisał Władysław Stróżewski „Zbliżenie do tajemnicy, tego co nieodgadnione, nie-realne, łatwiej czasami osiągnąć przez pustkę. To pomaga wywołać wrażenie nicości.”[7]

Założenia te widać na przykładzie kaplicy na zamku Rothenfels projektu Schwarza, czy wielu innych współczesnych kościołów (minimalistyczne projekty Ludwiga Mies van der Rohego, czy Tadao Ando).



Fot. 3. Ludwig Mies van der Rohe, kaplica Najświętszego Zbawiciela, 1949–1952, Chicago. Źródło: Cezary Wąs, Antynomie współczesnej architektury sakralnej [5]



Fot. 4. Tadao Ando, Kościół Światła, 1989, Ibaraki. Źródło: Cezary Wąs, Antynomie współczesnej architektury sakralnej [5]



Fot. 5. Anna Rosinke, projekt polnej kaplicy w Chwaszczynie, 2010. Źródło: <http://chmararosinke.com>

Wnętrze emanuje prostotą i ubóstwem wspólnoty pragnącej przeżyć wiczerzę z Panem. Pozbawiona „zagłuszcaczy” przestrzeń SPOTKANIA... gdzie tylko On i ja. Cóż więcej?

Tak „domus ecclesiae” wypiera niejako „domus Dei” – kościół staje się jakby domem mieszkalnym, sacrum przenika się z profanum.

Inną tendencją widoczną we współczesnych świątyniach jest monumentalizm, połączony często z bogatą symboliką. Symbolika ma za zadanie krzewić prawdę wiary, monumentalizm zakłada nastawienie na wielkie przeżycia. Weźmy choćby budzący wiele kontrowersji, przykład z własnego, narodowego podwórka – projekt Świątyni Opatrzności Bożej autorstwa Marka Budzyńskiego.



Fot. 6. Marek Budzyński, projekt Świątyni Opatrzności Bożej, 2000. Źródło: Cezary Wąs, Antynomie współczesnej architektury sakralnej [5]

Monumentalizm przejawia się tu w samych gabarytach świątyni, jak i zagospodarowaniu rozległego przyległego do niej terenu. Obszerna symbolika wytwarza wokół miejsca aurę tajemniczej boskości – ogród przypomina nieco cudowny biblijny Eden, bryła świątyni w kształcie kryształu, świetlik w dachu, przez który sączy się światło dając poczucie Opieki i Obecności. Sama lokalizacja świątyni na kopcu, jako górze spotkania z Panem, nadaje miejscu wyjątkowy charakter. Ta jakże rozwinięta koncepcja nie zasłużyła jednak na realizację. Dlaczego? Zarzucono jej gnostycką, pogańską symbolikę, przerost formy. W zamian powstaje tam obiekt nawiązujący do dawnych, klasycznych, rzecz można „sprawdzonych i pewnych” form. Podobne tendencje zaobserwować można także w wielu innych współczesnych realizacjach, jak choćby kaplica Dziękczynienia Philipa Johnsona, nawiązująca kształtem do spiralnego minaretu w Samarze.

Kwestią z pewnego punktu widzenia fundamentalną dla tematu architektury sakralnej są przekonania religijne architekta. Twórcy o głębokiej wierze byli często spychani na margines – dla Antoniego Gaudi brakło miejsca na kartach „Historii architektury europejskiej” Nicolasa Pevsnera. Nie sposób tu nie wziąć pod uwagę postaci genialnego Le Corbusiera – projektanta przelomowej w historii architektury sakralnej kaplicy w Ronchamp. Zapytany o wiarę Corbusier zwykł odpowiadać „futez-moi le camp”, czego tłumaczyć w tym miejscu... nie wypada. Jego słynna kaplica jest jednak wybitnym przykładem współczesnej architektury sakralnej – nie tyle przyciąga turystów, którzy są de facto poddani ewangelizacji przez sztukę, ale i stwarza nastrój do modlitwy i kontemplacji...



Fot. 7. Le Corbusier, kaplica w Ronchamp, elewacja wschodnia, 1950–1954. Źródło: Cezary Wąs, Antynomie współczesnej architektury sakralnej [5]



Fot. 8. Le Corbusier, kaplica w Ronchamp, wnętrze, 1950–1954. Źródło: Cezary Wąs, *Antynomie współczesnej architektury sakralnej* [5]

... „Duch tchnie, kędy chce”? Czy jednak kaplica w Ronchamp jest miejscem SPO-TKANIA?

Świątynia ta (niezdefiniowana czy ekumeniczna?) nie jest dedykowana żadnemu wyznaniu. Białe i czyste wnętrza przywodzą na myśl starożytne greckie świątynie. To wyrafinowane dzieło genialnego architekta, jednak „to, co się w niej czci, to nie chwala Boża, lecz ludzki geniusz” [8]. Wyjątkowa bryła kaplicy przypomina według niektórych złożone do modlitwy dłonie. Jednak, jak pisał wspomniany wyżej Peter Hammond: „co to ma wspólnego z wyjątkowym przeznaczeniem kościoła?”. „Jedynie ze świętej rzeczywistości mogą wyrosnąć święte budynki” [9], zatem to wiara – żywy kościół – jest ich twórcywem.

Lecz przecież... „Duch tchnie, kędy chce”, a cierpliwy Inwestor czuwa nad pracą twórców, by – w czasach, gdy dom staje się „maszyną do mieszkania”, a kościół „naczyniem do kontemplacji” – w każdej świątyni dało się odczuć, że...

„Prawdziwie Pan jest na tym miejscu”

Rdz 28, 16

Literatura

- 1 Pieper J. *Sakralität und „Entsakralisierung”*, „Hochland”, 61, 1961, 6, s. 496.
- 2 Schnell H., *Kirchenbau im Wandel*. „Was ist eine Kirche?”, „Das Münster. Zeitschrift für christliche Kunst und Kunstwissenschaft”, 25, 1, 1972, s. 5.
- 3 Schwarz R., *Vom Bau der Kirche*, Verlag Anton Pustet, Salzburg 1998 [wydanie I: Werkbund Verlag, Würzburg 1938; wydanie II: Schneider, Heidelberg 1947].
- 4 Hammond P., *A Radical Approach to Church Architecture*, [w:] Hammond 1962a, s. 28.

- 5 Wąs C., *Antynomie współczesnej architektury sakralnej*, w: *Antynomie artystyczne*. Muzeum Architektury we Wrocławiu, Wrocław 2008, s. 259.
- 6 Schwarz R., *The Church Incarnate, the Sacred Function of Christian Architecture*, przeł. Cynthia Harris, Henry Regnery Company, Chicago 1958, s. 35-36.
- 7 Stróżewski W., *O możliwości sacrum w sztuce*, w: Nawojka Cieslińska (red.), op. cit., Kraków 1989, s. 31.
- 8 Wąs C., *Antynomie współczesnej architektury sakralnej*, w: *Antynomie artystyczne*. Muzeum Architektury we Wrocławiu, Wrocław 2008, s. 60.
- 9 Hammond P., *A Radical Approach to Church Architecture*, [w:] Hammond 1962a, s. 18.

The spirit of modern sacral architecture

Karolina Zuba

*Chair of Architecture Urban Design and Spatial Planning,
Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology,
e-mail: karolaz3@o2.pl*

Abstract: Sacral architecture, due to its special function, is able to tremendously influence the society. Being a phenomenon for ages, it has undergone many changes alike the church liturgy, which to some extent impacts the church architecture. In the modern sacral architecture it is possible to distinguish two main tendencies in creating objects of temples. The first one is entirely modest – simplicity of form and interior. The second tendency, which may be described as the opposite of the former, presents monumentalism usually connected with rich symbolism. Modern temples also show references to historical forms. Another factor which may influence the form and function of the sacral object is the religious beliefs of its author.

Keywords: architecture, temple, spirit, meeting