Spis treści

Recenzenci 2015 – Podziękowania Recenzentom
Reviewers 2015 *– Editorial Acknowledgment* 5

Michał BOŁTRYK, Katarzyna KALINOWSKA-WICHROWSKA
The cement composites with modified recycled addition 7

Krzysztof BORYCZKO, Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK, Dawid SZPAK
Problemy bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę na obszarach zasilanych z małych ujęć
Water safety plans implementation problems in small water supply system 11

Radosław DUDA
Wpływ temperatury składowanego ośrodka sypkiego na wartości sił wewnętrznych w ścianach komory walcowej
The effect of temperature of the stored bulk material on the internal forces in the walls of the cylindrical chamber 19

Elena S. GOGINA
One-sludge denitri-nitrification system application in reconstruction of biological treatment plants in Russian Federation 29

Czesław MIEDZIAŁOWSKI, Marcin SZKOBODZIŃSKI
Stan techniczny i kierunki prac naprawczych zabytkowej konstrukcji budynku kościoła p.w. Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny w Białymstoku
Technical condition and remedial work directions of historic structure of the church of the assumption of the Blessed Virgin Mary in Białystok 33

Edyta PAWLUCZUK, Karolina KOZAK
Wpływ stosowania drobnego kruszywa z recyklingu na wybrane właściwości kompozytów cementowych
Influence of using fine recycled aggregate on selected properties of cement composites 39

Bożena PIĄTKOWSKA
Problemy gospodarowania środowiskiem na terenach rolniczych dotkniętych klęską powodzi
Environmental management problems on flooded agricultural areas 47

Natalia STANKIEWICZ, Małgorzata A. LELUSZ
Betony podkładowo-wyrównawcze – możliwości ograniczenia skurczu
Lean concretes – possibilities to reduce shrinkage 53

www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 7 (2016) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

Abstracts
Vol. 7 No. 1

Michał BOŁTRYK, Katarzyna KALINOWSKA-WICHROWSKA
The cement composites with modified recycled addition

In recent years, much emphasis is placed on environmental protection and respect for the resources which the Earth has given us. The paper presents the modern methods of recycling concrete. The outcomes of the authors' research on the cement composites with the supplement of old concrete added to the mixture are presented hereby.

Krzysztof BORYCZKO, Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK, Dawid SZPAK
Water Safety Plans implementation problems in small water supply system

Water Cycle Safety Plans aim is to assure consumers that water ingested by them is safe for their health and life. In the paper the operational conditionings of WCSP implementation in small water supply system in relation to consumer safety loss were presented. The paper includes specific characteristic of WCSP for small water supply system taking into account the water intake protection zone, and suggested method of risk assessment and proposed questionnaire for operators.

Radosław DUDA
The effect of temperature of the stored bulk material on the internal forces in the walls of the cylindrical chamber

Distribution of internal forces depends on many factors: permanent and variable loads, including often ignored in the calculation the effect of thermal loads. The purpose of the paper is to analyse the impact of high temperature on the internal forces in the walls of the cylindrical silo. The supporting structure has been modelled in Autodesk Robot Structural Analysis programme. Walls of the silo are loaded with the thrust of bulk material (filling and emptying) considering the temperature. The numerical analysis was conducted using the method specified in the European standards. The results showed a significant influence of temperature on the distribution of forces in the chamber of the cylindrical silo. Failure due to thermal influences can cause damage to supporting structure designed object.

Elena S. GOGINA
One-sludge denitri-nitrification system application in reconstruction of biological treatment plants in Russian Federation

The paper presents the main problems and their solutions in the reconstruction of treatment facilities in the Russian Federation. The results of research aimed the use of the stable system, which is based on nitrification activated sludge appliance, when the sludge contains bacteria-heterotrophic-nitrificators, are shown. The working process after the reconstruction was high effective (about 98% organic compounds removing, and about 99% ammonium nitrogen removing). Analysis of the treatment facilities after reconstruction proves theoretical assumptions about the system. These data confirm the stability of the developed technological schemes and give reasons to recommend it for further implementation of the reconstruction of treatment facilities.

Czesław MIEDZIAŁOWSKI, Marcin SZKOBODZIŃSKI
Technical condition and remedial work directions of historic structure of the church of the assumption of the Blessed Virgin Mary in Białystok

The introduction of the paper contains architectural description of the analysed object – a building of the historic church in Bialystok. Then technical condition of the building, its facades, vaults, roof truss, interior walls and pillars, was presented. The existing damages and destructive processes were described. Particular attention was paid to static durability processes, such as: corrosive process of wood and masonry structures. Time factors in discussed issues were

taken into account as well. In the second part of the paper recommended directions of remedial works, mainly focused on facades, vaults and roof truss, were presented. Remedial works should include load-bearing elements, roofing, facade and interior plasters. Summary contains conclusions regarding the relevance, urgency and order of repair work.

Edyta PAWLUCZUK, Karolina KOZAK
Influence of using fine recycled aggregate on selected properties of cement composites

The paper concerns the determination of the influence of using the fine recycled aggregates on selected properties of cement composites. Fine recycled aggregate was achieved as a result of crushing laboratory samples made of standardised cement mortar. To perform the test complete experiment consisting of 11 series was planned. Two different variables were: X_1 – content of fine recycled aggregate (0-60%) and X_2 – the temperature of mortar rubble roast (0-850°C). Based on the obtained results it was found that the fine recycled aggregate generally deteriorates the tested properties of cement composites. On the other hand this effect may be significantly limited by the use of thermal-mechanical treatment of recycled rubble.
.

Bożena PIĄTKOWSKA
Environmental management problems on flooded agricultural areas

The paper describes environmental management problems on flooded agricultural areas in Iłowsko-Dobrzykowska Valley in Plock county. Causes and results of flood in this area and points some actions that took place to bring proper environment quality back are presented. Results of wells water tests (amount of coli bacteria, Escherichia coli and Enterococci), air quality (mould on Sabouraud medium) and soil tests from agricultural areas (content of heavy metals indicated using atomic absorption spectrometry) are revealed. The results show very high amount of bacteria in wells water, air in buildings contaminated by mould, and the lack of danger for husbandry from heavy metals in soil. The content of the paper is a part of the monograph titled: „Życie z powodzią w tle – jakość środowiska na terenach popowodziowych" (printing in preparation). Authors popularize the education for the safety of environmental management on flooded areas which is more than only proper evacuation.
.

Natalia STANKIEWICZ, Małgorzata A. LELUSZ
Lean concretes – possibilities to reduce shrinkage

Lean concretes fulfil a secondary role in the whole building. However, their properties have a huge impact on the overall durability of the structure. These concretes are most often used as an equalising layer under the floor or as a base for the foundations. Shrinkage deformations of the lean concrete, which is an essential part of every construction site, may have a negative impact on the entire building. Despite the significance of the lean concrete shrinkage phenomenon, this issue has not been sufficiently recognised to this day. A study to determine the effect of water-cement ratio and the amount of aggregate on shrinkage cement mortars deformations is presented in the paper. It is shown that the increase of the aggregate-cement ratio from k/c = 4 to k/c = 18 decreases the shrinkage of tested samples of approximately 37.5%. The increase in water-cement ratio from 0.5 to 0.9 causes an increase in shrinkage deformations up to 96.5%.
.

www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 7 (2016) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

THE CEMENT COMPOSITES WITH MODIFIED RECYCLED ADDITION

Michał BOŁTRYK, Katarzyna KALINOWSKA-WICHROWSKA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351Białystok

Abstract: In recent years, much emphasis is placed on environmental protection and respect for the resources which the Earth has given us. The paper presents the modern methods of recycling concrete. The outcomes of the authors' research on the cement composites with the supplement of old concrete added to the mixture are presented hereby.

Key words: concrete, recycling of concrete, fine-grained concrete, cement recycling, recycled addition.

1. Introduction

The increase in popularity of concrete as a construction material triggers the fact that this material becomes, a waste which one should get rid of. Nowadays all matters related to natural resources and environment conservation are of high importance. Concrete waste usually appears in form of debris. After the reinforcing steel is recovered (if it is possible), the debris usually ends up as road construction or ground leveling material. However, one should remember that debris could still contain valuable and useful aggregate (Ferrari et al., 2014), which after relevant processes, could be used to prepare new concrete. Technology of aggregate retrieving has been long and widely known and it was started in the USA and Japan. Many researches connected with recycled aggregate were carried out in these countries. Methods of concrete recycling are based on the secondary usage and the retrieval of aggregate. The rest of mortar after the recovery of the aggregate value can also be reused as an ingredient in cement composites. The paper presents selected results of a research on the behaviour of cement composites when the composition is modified by adding old cement to the mixture (Ferrari et al., 2014; Fischer et al., 2009).

2. Materials and Methods

The effective recycling is based on such fragmentation of concrete debris that during successive steps it is possible to retrieve useful aggregate. The most problems are caused by the removal of old grout which is made of original aggregate. This can be achieved by one of four methods: Heating and Rubbing Method (HRM), Mechanical Grinding Method (MGM), Screw Mill Method (SMM) and Gravity Classification Method (GCM). HRM is connected with usage of thermal container which is heated to 300°C. When exposed to high temperature small pieces (with diameter of 40–50 mm) of concrete became more fragile (as a result of dehydration adhesion between grout and aggregate is no more maintained) enabling to separate grout from aggregate (Fischer et al., 2009; Zajac and Golebiowska, 2010).

The process is carried out in tube mills and results in 35% of coarse aggregate, 21% of fine aggregate and 44% of dust to be received as an outcome. In MGM pieces of concrete are placed inside the mill between internal and external cylinders, where cement grout is rubbed off. In SMM pieces of concrete are placed into a cylinder where grout is rubbed off by an axially mounted screw. The process is repeated a couple of times, depending on the required quality of aggregate. The GCM is based on wet attrition of concrete debris. The mill contains crusher and grinding wheel mechanism which repeatedly moves pieces of concrete in water up and down in order to separate heavy grains of coarse aggregate from the lighter pieces of the grout, wood, etc. Recycling rate (percentage of high quality aggregate retrieved) of HRM and MGM is high and equals to 56% and 50%, respectively. The SMM and GCM are used only to retrieve coarse aggregate and their recycling rate is equal to 34-45% and 20%, respectively. Dust is received as a by-product of recycling and it is used as soil stabiliser. It is considered that dust could be also used for the purposes other than construction material production. The highest quality aggregate is received by using HRM. Coarse and fine aggregate retrieved in such a way is very similar to original one in terms of its physical and mechanical properties. This meets Japanese standards of natural aggregate. Currently aggregate is not

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: katarzyna.wichrowska@op.pl

industrially produced by HRM, because it is very energy consuming and it is connected with higher CO_2 emissions (Ferrari et al., 2014).

It is expected that due to high costs of HRM and MGM, and the lack of advanced dust utilization methods, HRM will be implemented in Japan in 2020 and the MGM in 2030. Expected amount of the annual production by HRM and MGM in 2030 will be equal to 17 mln and 60 mln tons, respectively, that is 8.4% and 29.7% of the entirely produced debris (Gastaldi et al., 2015)

3. Results of research

3.1. In-house survey characteristic on cement composites using a binder with recycling concrete

Designed mortar bars (4×4×16 cm). The mixture consisted of CEM I 42.5 R cement, CEN sand and water, in the following mass proportions: 1:3:0.5. The 25% of the cement mass was replaced by the recycled binder powder. The total of twelve series containing the same proportions of aforementioned components were carried out. The cubes (2×2×2 cm) from cement grout formed in age of about 3 months before destruction and calcinating process were used as a recycled powder binder. The binder was crushed and ground to silt fraction 0.063 mm (Fig. 1).

In the following step of analysis an experiment was planned to examine how using recycled binder relates to compressive strength of concrete mortar after 28 days under laboratory conditions. Twelve series were carried out containing different proportions of aforementioned components. Experiment was designed in accordance to theory of experimental research, in which all 12 concrete mixtures were designed with three independent variables coded on three different levels: -1, 0, 1 (Tab. 1.), which:

- X_1 – time calcination of recycled binder powder (30, 60, 90) minutes,
- X_2 – temperature calcination of recycled binder powder(550°C, 650°C, 750°C),
- X_3 – ratio water - cement (0.35; 0.45; 0.55).

Examination of compressive strength after 28 days has been carried out randomly selected samples. The results of compressive strength of concrete, treated by ordinary and then maturing low-pressure infusion under test conditions during 28 days, are presented in Fig. 2.

The highest strength at the level of 48.20 MPa was obtained by series number 1. The recycled binder powder was calcinated in 750°C by 30 minutes. The lowest compressive strength rate equal to 23.6 MPa was obtained by series number 6 (calcinated in 550°C by 60 minutes). Addition of recycled binder cement/powder resulted (series 1) in small decrease in the compressive strength rate in relation to samples without addition of recycled powder/cement (the strength of control sample with new cement 42.5R is about 40 MPa).

Fig. 1. Material for the recycled binder powder during milling.

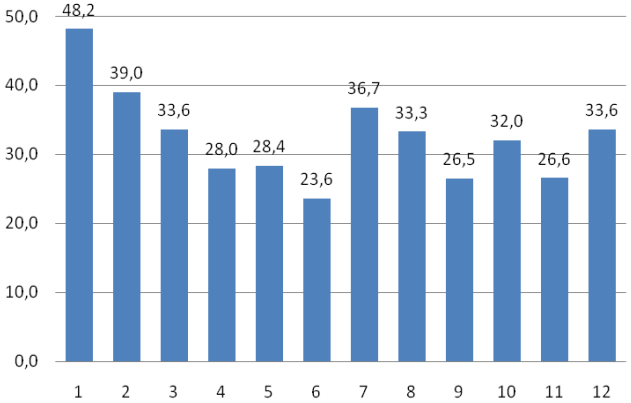


Fig. 2. Average test results of the compressive strength of concrete after 28 days of curing in the laboratory conditions, series: 1-12, in MPa.

Tab. 1. The plan of the experiment (coded and real value) for each series.

Number of series	Real value			Coded value		
	Time of calcination	Temperature of calcination	Ratio w/c	X_1	X_2	X_3
1	30	750	0.45	-1	1	0
2	60	650	0.35	0	0	-1
3	90	750	0.35	1	1	-1
4	30	550	0.55	-1	-1	1
5	90	750	0.55	1	1	1
6	60	550	0.45	0	-1	0
7	30	750	0.55	-1	1	1
8	30	550	0.35	-1	-1	-1
9	90	550	0.55	1	-1	1
10	90	550	0.35	1	-1	-1
11	90	650	0.45	1	0	0
12	30	750	0.35	-1	1	-1

3.2. Research pozzolanic properties of the produced powder recycling

As pozzolans determine the siliceous material or silica-alumina, which is in particulate form and in the presence of moisture chemically reacts with calcium hydroxide to form a compound of binding properties. Technologically very important feature of the pozzolanic material is fragmented and the content of the vitreous – their reactivity increases with increasing fragmentation and the amount of amorphous silica. Pozzolans as a material of some latent binding properties alone does not harden when mixed with water, and finely ground, react with calcium hydroxide in an aqueous medium at ambient temperature. Hydrated calcium silicates, so-called "C-S-H phase" are the product of this reaction. It is the main product of hydration of Portland clinker minerals-calcium silicates.

To detect the pozzolanic properties of the recycled powder 3 samples (in two parts) concrete mortar bars were is designed (4×4×16 cm). The mixture of 3 samples consisted of CEM I 42.5 R cement, CEN sand and water, in the following mass proportions: 1:3:0.5. The next 3 samples consisted the 25% of the cement mass were replaced by the recycled binder powder.

In the following step an experiment was planned to examine compressive strength of concrete mortar after 28 days under laboratory conditions (one of method to checked the pozzolana effect in concrete). The tensile test results are shown in Table 2. The pozzolana index was calculated using the formula:

$$WAP = \frac{f_{cb}}{f_{ck}} \tag{1}$$

where: *WAP* is the pozzolana index in %, f_{cb} is the average of compressive strenght samples of test series (part -2) in MPa and f_{ck} is the average of compressive strenght samples of control series (part -1) in MPa.

If the WAP index is more than 75%, the material should be classified as a pozzolanic.

The results showed in Table 2 confirmed the thesis of established the pozzolanic properties in tested powder. The WAP index is about 82% and it is by 7% more than value required. The properly prepared recycled binder powder used an amount of 25% by weight mass *t* of cement can be successfully used as the pozzolanic addition. The fragmentation of the powder particles is influenced on the pozzolanic effect. Using the Blain Apparatus, the surface area surveyed powders was examined. The outcomes of the specific surface measures carried out with the Blain Apparatus for the particular concrete binders are shown in Fig. 3.

Tab. 2. The results of average compressive strenght and pozzolana index (WAP).

The number of series	The average compressive strength [MPa]	WAP (index of pozzolana effect) [%]
Part-1 (3 samples)	49.61	81.95
Part-2 (3 samples)	40.65	

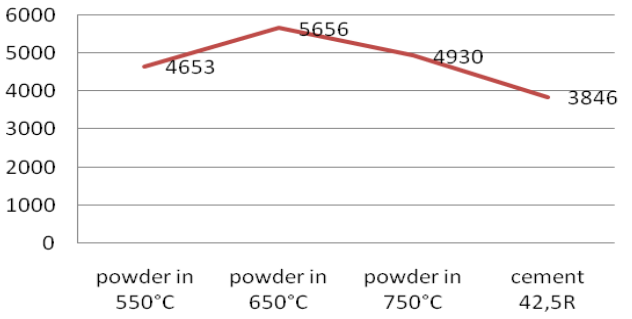


Fig. 3. The surface area of the different binders according to Blaine, in cm^2/g.

As is apparent from measurements, the calcination of recycled powder are affected on the growth of the specific surface area. The largest surface area of the calcined powder was achieved at a temperature of 650°C. It has been observed that the roasting process caused an increase in surface area in relation to the specific surface of the cement 42.5R (in 650°C – the best value – about the surface area about 1.5 times more than cement 42.5R). The all of remaining respondents binder does meet the standards, because the normalised value for cement 42.5R is about 4000 cm^2/g.

4. Conclusions

The results clearly leads to the conclusion that the compressive strength of mortars made strictly dependent on the type of binder recycled, that the temperature and time of calcination also *w*/*c* ratio. The greatest strength obtained for series 1 (roasting in 750°C by 30 min and *w*/*c* = 0.45) and amounted to 48.16 MPa. The lowest value of strength for the series 6 (calcined at 550°C by 60 min and *w*/*c* = 0.45). The difference amounted to 51.08%.

Grind size of the binder recycling was proved so effective and was observed high specific surface higher than the pure cement subjected to analysis. The highest average specific surface area was obtained for a series of calcined 650°C. The smallest surface area while was observed with calcination binder recycling in 550°C. All resulting surfaces were found to be higher than the cement surface 42.5, which binder recycling created and given by the manufacturer. The difference between the largest specific surface area obtained by the roasting binder 650°C for 60 min, and the surface area of the cement was 47%. It was also observed that increasing the temperature of 100°C was resulted in an apparent decrease in surface area of up to 13.40% and 24.30% reduction.

The selected of analysis of research shows that 25% of calcinated recycled powder content could be effective pozzolana addition in cement composites.

Due to aforementioned conclusions further research is recommended to test the application of recycling binder content in newly designed concretes. Whereas, the process of recycling of concrete certainly may be considered as the future and new direction in scope of modern construction.

References

Ferrari G., Miyamoto M., Ferrari A. (2014). New sustainable technology for recycling returned concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 67, part C, 353-359.

Fischer C., Werge M., Reichel A. (2009). EU as a Recycling Society. Present Recycling Levels of Municipal Waste and Construction & Demolition Waste in the EU. *European Topic Centre on Resource and Waste Management*, Copenhagen.

Gastaldi D., Canonico F., Capelli J., Buzzi L., Boccaleri E., Irico S. (2015). An investigation on the recycling of hydrated cement from concrete demolition waste. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 61, 29-35.

Zajac B., Golebiowska I. (20010). Technology evolution of concrete recycling (in Polish). *Inż. Ap. Chem.*, Vol. 49, No. 5, 134-135.

KOMPOZYTY CEMENTOWE Z MODYFIKOWANYM DODATKIEM RECYKLINGOWYM

Streszczenie: W ostatnich latach duży nacisk kładzie się na ochronę środowiska i poszanowania zasobów naturalnych, które daje nam Ziemia. W artykule omówiono technologie recyklingu betonu z naciskiem na jego potrzebę i znaczenie tego procesu w obecnych warunkach. W artykule przedstawiono rezultaty badań własnych nad kompozytami cementowymi, w których zastosowano dodatki odzyskane ze starego betonu.

www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 7 (2016) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

PROBLEMY BEZPIECZEŃSTWA ZAOPATRZENIA W WODĘ NA OBSZARACH ZASILANYCH Z MAŁYCH UJĘĆ

Krzysztof BORYCZKO*, Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK, Dawid SZPAK

Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

Streszczenie: Celem Planów Bezpieczeństwa Cyklu Wodnego (WCSP, ang. *Water Cycle Safety Plans*) jest zapewnienie konsumentów, że spożywana przez nich woda jest bezpieczna dla ich zdrowia i życia. W pracy przedstawiono problemy wdrażania WCSP na obszarach gminnych pod kątem utraty bezpieczeństwa konsumentów wody. Zakres pracy obejmuje charakterystykę specyfiki WCSP dla MSZZW wraz z uwzględnieniem stref ochronnych ujęć wody, propozycję metody analizy i oceny ryzyka oraz propozycję ankiety dla operatorów systemów..

Słowa kluczowe: plany bezpieczeństwa cyklu wodnego, wodociąg, gmina.

1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo, w odniesieniu do konsumentów wody do spożycia, rozumiane jest jako prawdopodobieństwo uniknięcia zagrożenia, wynikającego ze spożycia wody o jakości niezgodnej z obowiązującym normatywem lub brakiem wody. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2015 poz. 1989), woda jest bezpieczna dla zdrowia ludzkiego, jeżeli jest wolna od mikroorganizmów chorobotwórczych i pasożytów w liczbie stanowiącej potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego, wszelkich substancji w stężeniach stanowiących potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego oraz nie ma agresywnych właściwości korozyjnych i spełnia podstawowe wymagania mikrobiologiczne i chemiczne określone w załącznikach nr 1 i 2 Rozporządzenia.

W 2013 roku Światowa Organizacja przedstawiło wytyczne (WCSP, 2013) do opracowania tak zwanego Planu Bezpieczeństwa Cyklu Wodnego (WCSP, ang. *Water Cycle Safety Plans*), przeznaczone dla systemów zbiorowego zaopatrzenia ludności w wodę (SZZW), których głównym celem jest ochrona zdrowia konsumentów wody (Piegdoń i Tchórzewska-Cieślak, 2013; Rak, 2009; Szatkiewicz, 2009; Wichrowska i Mulik, 2013; WHO, 2011).

Zasadność wdrożenia WCSP w SZZW jest akceptowana przez większość operatorów systemów, choć pewne obawy budzi perspektywa ich wdrożenia w małych systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę (MSZZW).

Celem pracy jest scharakteryzowanie specyfiki WCSP dla MSZZW oraz podanie podstaw teoretycznych i problemów ich wdrażania do praktyki.

2. Wdrażanie Planów Bezpieczeństwa Cyklu Wodnego

Plan Bezpieczeństwa Cyklu Wodnego jest kluczowym elementem strategii zapobiegania zdarzeniom niepożądanym w SZZW. Składa się z części opisowej zawierającej syntezę wszystkich ważnych informacji o budowie SZZW, zasadach jego eksploatacji i obsługi oraz części analityczno-wdrożeniowej, w której przedstawia się ocenę funkcji systemu, które mają wpływ na prawidłowe jego funkcjonowanie pod kątem bezpieczeństwa konsumentów wody (Boryczko i in., 2014; Rosen i in., 2008). Plany Bezpieczeństwa Cyklu Wodnego powinny zawierać kompleksowe programy zarządzania bezpieczeństwem SZZW, a w szczególności zarządzania ryzykiem zdrowotnym odbiorców wody. Celem WCSP jest ciągłe zapewnienie bezpieczeństwa i akceptowalności dostaw wody do spożycia.

Zakres WCSP obejmuje:

– charakterystykę podstawnego celu WCSP jakim jest bezpieczeństwo konsumentów wody, tak zwane cele zdrowotne, bazujące na ocenie ryzyka zdrowotnego (Rak, 2009);
– całościową ocenę SZZW: ocenę czy system zaopatrzenia w wodę (od ujęcia wody poprzez uzdatnienie aż do jej spożycia) jest w stanie dostarczyć wodę spełniającą standardy zdrowotne,

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: kb@prz.edu.pl

zgodnie z obowiązującymi krajowymi i międzynarodowymi standardami jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (WHO, 2011; Dz. U. 2015 poz. 1989);
- plany zarządzania: dokumentację oceny systemu, plany monitoringu (rutynowe oraz w nagłych wypadkach), aktualizacje, ulepszenia i sposoby powiadamiania o sytuacjach zagrażających zdrowiu konsumentów wody;
- monitoring walidujący dla każdego podsystemu SZZW, w celu potwierdzenie, że wdrażane procedury WCSP prowadzą do zaplanowanych wyników. Niezależny system nadzoru weryfikuje prawidłowe i efektywne działanie w ramach WCSP.

Procedury zarządzania ryzykiem w ramach WCSP powinny zawierać (Tchórzewska-Cieślak, 2009):
- wykonanie oceny zagrożenia i hierarchizację ryzyka;
- analizę zidentyfikowanego ryzyka (wybór zdarzeń mogących wywołać ciąg zdarzeń niepożądanych, tak zwany efekt domina, opracowanie modeli scenariuszy awaryjnych, opracowanie modeli funkcjonalnych i systemowych ciągów zdarzeń: drzewa zdarzeń i drzewa uszkodzeń, analizę błędów operatora, oszacowanie prawdopodobieństwa występowania zagrożeń oraz prawdopodobnych przyczyn oraz skutków zdrowotnych dla konsumentów);
- ilościową ocenę ryzyka zdrowotnego konsumentów wody i na tej podstawie ocenę poziomu bezpieczeństwa konsumentów wody;
- identyfikację ścieżek, poprzez które zagrożenia mogą być przenoszone na konsumentów wody;
- identyfikację „krytycznych punktów kontrolnych";
- określenie sposobu monitorowania i procedur kontrolnych dla każdego zidentyfikowanego ryzyka, w tym określenie zakresu oraz częstości monitoringu (granice akceptowalności);
- opracowania scenariuszy awaryjnego zaopatrzenia ludności w wodę oraz planów reagowania na wypadek zaistnienia sytuacji kryzysowej, szkoleń operatorów SZZW;
- opracowania spójnej dokumentacji zdarzeń niepożądanych dla każdego podsystemu SZZW oraz informatycznej bazy danych;
- ustalenie opcji kontroli ryzyka (określenie w jaki sposób można redukować poziom ryzyka);
- ocenę kosztów i zysków (określenie efektywności poniesionych kosztów w celu redukcji ryzyka i w ten sposób dokonanie hierarchizacji różnych opcji kontroli ryzyka);
- przygotowanie zaleceń dla procesu decyzyjnego (zaproponowanie tych wariantów kontroli ryzyka, które według ekspertów są najbardziej efektywne pod względem spodziewanych korzyści oraz poniesionych kosztów);
- opracowanie procedury informowania konsumentów wody o ryzyku.

3. Plany Bezpieczeństwa Cyklu Wodnego w wodociągach na terenach gminnych

Międzynarodowa Sieć Małych Systemów Zbiorowego Zaopatrzenia (*International Small Comunnity Water Supply Network*) utworzona w styczniu 2005 roku to wielonarodowa grupa ekspertów z krajów całego świata działająca pod agendą WHO. Jest to forum otwarte, w którego skład wchodzą m.in. osoby zarządzające MSZZW, pracownicy uczelni wyższych zajmujący się opracowaniem technik zarządzania, rozwiązywaniem problemów związanych z eksploatacją MSZZW.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2015 poz. 1989), jasno określa, że przepisy rozporządzania stosuje się także dla ujęć wody zaopatrujących mniej niż 50 osób lub dostarczających mniej niż 10 m^3 na dobę, pod warunkiem, że woda dostarczana jest jako część działalności handlowej lub publicznej. W przeciwnym wypadku przepisów rozporządzenia nie stosuje się, ale na właścicielu lub zarządcy ujęcia wody spoczywa obowiązek udzielania konsumentom informacji o jakości wody (Dz. U. 2015 poz. 1989).

Specyfika wdrażania WCSP w MSZZW wymaga od eksploatatora zaangażowania i zrozumienia sensu ich stosowania. Światowa Organizacja Zdrowia w MSZZW zwraca szczególną uwagę na:
- mikrobiologiczną jakość wody, której pogorszenie najczęściej powodowane jest zanieczyszczeniem fekalnym;
- zagrożenia skażeniem chemicznym (między innymi: arsenem, fluorkami, pestycydami, azotanami) spowodowanym działalnością człowieka (na przykład działalnością rolniczą lub przemysłową).

Plany Bezpieczeństwa Cyklu Wodnego powinny zawierać wykaz zagrożeń jakie powinny być one określone dla konkretnego SZZW. Proponuje się także rozwiązania zwiększające bezpieczeństwo już na etapie projektowania (na przykład zwiększenie głębokości z jakiej studnie ujmują wodę), jako bardziej skuteczne i efektywne niż późniejsze kontrole jakości wody. Priorytetowo powinny być traktowane zagrożenia mikrobiologiczne jak potencjalnie najbardziej niebezpieczne.

4. Strefy ochronne ujęć wody

Strefy ochronne ujęć wody ustanawiane są w celu zapewnienia odpowiedniej jakości wody ujmowanej do zaopatrzenia w wodę ludzi oraz zaopatrzenia zakładów wymagających wody odpowiednio wysokiej jakości, a w celu ochrony zasobów wodnych.

Przepisy prawa polskiego, już w połowie lat 60-tych XX wieku, wprowadziły możliwość ustanowienia stref ochronnych ujęć wody. Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat strefy ochronne ustanawiane były głównie w drodze decyzji przez starostów bądź wojewodów:

- rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 marca 1965 roku w sprawie ustanowienia stref ochronnych ujęć i źródeł wody (Dz.U. 1965, Nr 13, poz. 93),
- rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 25 sierpnia 1970 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie ustanawiania stref ochronnych ujęć i źródeł wody (Dz.U. 1970, Nr 22, poz. 181),
- rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie zasad ustanawiania stref ochronnych źródeł i ujęć wody (Dz.U. 1991, Nr 116, poz. 504).

Aktualna ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku *Prawo wodne* (Dz. U. 2015 poz. 469) mówi że może być ustanowiona strefa ochronna bezpośrednia i pośrednia ujęcia wody, a decyzje o jej ustanowieniu podejmuje właściciel ujęcia wody.

Organem właściwym do ustanowienia stref ochronnych ujęć wody jest Dyrektor Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej, który ustanawia strefę wskazując zakazy, nakazy i ograniczenia dotyczące użytkowania gruntów oraz korzystania z wód, a także obszary, na których one obowiązują. W przypadku chęci wyznaczenia tylko terenu ochrony bezpośredniej, strefę ustanawia organ właściwy do wydania pozwolenia wodnoprawnego (starosta, a przypadkach szczególnych Marszałek Województwa lub Dyrektor Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej).

Zgodnie z art. 21 ust. 1 ustawy z dnia 5 stycznia 2011 roku o zmianie ustawy *Prawo wodne* oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2011, Nr 32, poz. 159) strefy ochronne ujęć wody ustanowione przed dniem 1 stycznia 2002 roku wygasają z dniem 31 grudnia 2012 roku. Skutkiem tej decyzji jest brak ciągłości w ochronie ujęć wody, gdyż wielu zarządców systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę, a zwłaszcza tych mniejszych, nie przypilnowała terminowego złożenia wniosku o ustanowienie stref. Wymaga to przygotowania wyników badań hydrologicznych, hydrograficznych, geomorfologicznych, opisu ujęć wody, uzasadnienie ustanowienia strefy, propozycja zasięgu i listy nakazów i zakazów. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na fakt użycia sformułowania, że strefy ochronne ujęć wody mogą, a nie muszą być ustanowione.

5. Metoda analizy ryzyka w ramach WCSP

Przed przystąpieniem do wprowadzenia procedur wdrożenia WCSP w wodociągach na obszarach gminnych proponuje się przeprowadzenie ankiet sondażowych wśród operatorów systemów, których celem będzie ustalenie na ile operatorzy tych systemów są przygotowani do wdrożenia PBW.

W tabeli 1 przedstawiono propozycję ankiety dla operatorów, mającą na celu określenie stopnia przygotowania operatora do wdrożenia WCSP.

Tab. 1. Propozycja ankiety dla operatorów MSZZW

Lp.	Pytanie	Odpowiedź		
1	Średnia dobowa produkcja wody w m^3/dobę:	Do 10	10-500	500-1000
2	Liczba zaopatrywanych w wodę mieszkańców:	Do 50	50-2500	2500-5000
3	Rodzaj ujęcia/ujęć wody:	Podziemne		Powierzchniowe
4	Czy są wyznaczone strefy ochronne ujęcia wody?	Tak		Nie
5	Czy wskazano grupy zagrożeń mających wpływ na utratę bezpieczeństwa funkcjonowania twojego SZZW?	Tak		Nie
6	Czy wiesz o wszystkich możliwych źródłach zagrożeń mikrobiologicznych dla wody do spożycia na terenie całego obszaru zasilania w wodę?	Tak		Nie
7	Czy wiesz o wszystkich możliwych źródłach zagrożeń chemicznych dla wody do spożycia na terenie całego obszaru zasilania w wodę?	Tak		Nie
8	Czy znasz zagrożenia dla utraty bezpieczeństwa twojego SZZW wynikające z awarii podsystemów lub pojedynczych elementów SZZW?	Tak		Nie
9	Czy znasz potencjalne drogi (ścieżki) rozprzestrzeniania się potencjalnych zagrożeń mikrobiologicznych?	Tak		Nie
10	Czy znasz potencjalne drogi (ścieżki) rozprzestrzeniania się potencjalnych zagrożeń chemicznych?	Tak		Nie
11	Czy prawdopodobieństwo/częstotliwość wystąpienia zagrożeń jest rejestrowana?	Tak		Nie
12	Czy potrafisz ocenić skutki poszczególnych zagrożeń?	Tak		Nie
13	Czy potrafisz ocenić ryzyko związane z wystąpieniem zagrożenia?	Tak		Nie
14	Czy wiesz jak reagować na wypadek przekroczenia norm jakościowych w wodzie do spożycia?	Tak		Nie
15	Czy w twoim SZZW istnieją źródła awaryjnego zaopatrzenia ludności w wodę?	Tak		Nie
16	Czy w twoim SZZW istnieją procedury reagowania na wypadek wystąpienia zewnętrznych sytuacji kryzysowych (na przykład: powódź, susza, incydentalne zanieczyszczenie źródła wody)?	Tak		Nie

Interpretacja ankiety: dla poszczególnych MSZZW sklasyfikowanych według pytań 1, 2, 3, określa się sumę punktów uzyskanych w odpowiedziach od pytania 4 do 16 według następującego schematu:

- odpowiedź „Tak" – 1 punkt,
- odpowiedź „Nie" – 0 punktów.

Wyniki ankiety interpretowane są:

- suma punktów 12-13 – system jest bardzo dobrze przygotowany do wdrożenia,
- suma punktów 8-11 – system jest dobrze przygotowany do wdrożenia, ale wymaga uzupełnienia niektórych procedur,
- suma punktów 6-8 – system jest średnio przygotowany do wdrożenia i wymaga bezwzględnego uzupełniania procedur wynikających z przeprowadzonej ankiety,
- suma punktów 0-5 – system nie jest przygotowany do wdrożenia i wymaga kompleksowego przeglądu pod kątem procedur eksploatacyjnych, a także przeprowadzenia szkoleń dla jego operatorów.

W celu analizy i oceny ryzyka utraty bezpieczeństwa w MSZZW proponuje się zastosowanie jakościowych metod matrycowych (Rak i Tchórzewska-Cieślak, 2005 i 2006). Założono że, ryzyko (r) jest funkcją trzech parametrów: prawdopodobieństwa P_i wystąpienia i-tego reprezentatywnego scenariusza awaryjnego S_i, wielkości strat C_i wywołanych przez i-ty reprezentatywny scenariusz awaryjny S_i i odporności systemu V_i przed i-tym reprezentatywnym scenariuszem awaryjnym S_i, $r = \mathrm{f}(P_i, C_i, V_i)$ (Rak i Tchórzewska-Cieślak, 2006). Ryzyko wyznacza się ze wzorów:

$$r = \sum_{i,j,m=1}^{n} \left(r_{ij} \cdot (V_k)^{-1} \right) \tag{1}$$

$$r_{ij} = P(A_i \mid j) \cdot C_j \tag{2}$$

gdzie: r jest indeksem ryzyka, A_i jest zdarzeniem niepożądanym w SZZW, i jest numerem kolejnego zdarzenia niepożądanego A, i = 1, …, 1-n, n, j są to konsekwencje (skutek) dla konsumentów wody w wyniku zajścia zdarzenia A_i, r_{ij} jest ryzykiem w wyniku zajścia zdarzenia A_i oraz skutków j, $P(A_i / j)$ jest wagą punktową związaną z prawdopodobieństwem zdarzenia A_i pod warunkiem, że wywołało ono skutek j, C_j jest wagą punktową przypisaną skutkom j, V_k jest wagą punktową przypisaną odporności systemu k, odpowiednią dla ochrony przed skutkami j w wyniku zajścia zdarzenia i, (na przykład monitoring jakości wody).

W tabeli 2 przedstawiono trójparametryczną matrycę ryzyka według formuły (1) dla pojedynczego zdarzenia A_i (i = 1).

Wartości wag punktowych dla parametru odporności przyjęto w następujący sposób:

- k = 1 – standardowy monitoring jakości wody, brak procedur wczesnego i późnego ostrzegania przed wodą o nieodpowiedniej jakości,
- k = 2 – standardowy monitoring jakości wody wodociągowej zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem (Dz. U. 2015 poz. 1989), istnieją procedury opóźnionego ostrzegania przed wodą o nieodpowiedniej jakości,
- k = 3 – ponadstandardowy monitoring jakości wody do spożycia oraz pracy całego SZZW, (w ramach systemu multibariery z biomonitoringiem wody surowej na podstawie organizmów wskaźnikowych i z wykorzystaniem telewizji przemysłowej z czujnikami ruchu oraz opracowany kompleksowy plan reagowania w zaistniałej sytuacji awaryjnej oraz informowania konsumentów o zagrożeniu).

Przyjęto trójstopniową skalę ryzyka:

- ryzyko tolerowane (r_T), r_{ij} = <0,33; 3>,
- ryzyko kontrolowane (r_K), r_{ij} = (3; 0>,
- ryzyko nieakceptowane (r_N), r_{ij} = <12; 25>.

W zależności od liczby zdarzeń niepożądanych branych pod uwagę w ocenie ryzyka konsumenta, poziomy ryzyka konsumenta r_{ko} (będącego z definicji (1) sumą wszystkich ryzyk r_{ij}) przyjmuje się proporcjonalnie jak dla pojedynczego ryzyka r_{ij}. Dla dużej liczby zdarzeń niepożądanych wartość ryzyka konsumenta można również przyjmować jako maksymalna wartość ryzyka ze zbioru wszystkich obliczonych wartości ryzyk r_{ij}. Dla ryzyka na poziomie tolerowanym przyjmuje się, że ryzyko konsumenta jest akceptowane (nie ma potrzeby jego redukcji). Dla ryzyka kontrolowanego stosuje się zasadę ALARP (ang. *as low as reasonably practicable*), pożądana jest redukcja ryzyka, ale do poziomu, w którym koszty podjętych działań przewyższają korzyści, wymagane jest natomiast stałe monitorowanie ryzyka. Dla ryzyka nieakceptowanego konieczna jest redukcja ryzyka bez względu na poniesione koszty (Tchórzewska-Cieślak, 2009). Proces identyfikacji potencjalnych zagrożeń oraz ryzyka powinien obejmować również charakterystykę ryzyka oraz jego hierarchizację, której propozycję przedstawiono w tabeli 3.

Potencjalny wpływ na zdrowie ludzi jest najważniejszym elementem branym pod uwagę, jednak uwzględnić należy również inne czynniki takie, jak skutki estetyczne, ciągłość i odpowiedniość dostaw oraz reputacja zakładu wodociągowego. Celem powinno być wprowadzenie rozróżnienia między ryzykami bardziej i mniej znaczącymi. Przykład dla wybranych zdarzeń niepożądanych przedstawiono w tabeli 4.

6. Wyniki ankiety dla wybranych małych systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę

Ankietę przeprowadzono dla trzech MZZSW z terenu województwa Podkarpackiego:

- MSZZW A:
  - średnia dobowa produkcja wody w m^3/dobę: 10-500,
  - liczba zaopatrywanych w wodę mieszkańców: 50-2500,
  - rodzaj ujęcia/ujęć wody: podziemne,

Tab. 2. Matryca ryzyka

		Skutki C_j				
		Nieznaczące $j = 1$	Niewielkie naruszenie przepisów $j = 2$	Średni wpływ na cechy estetyczne $j = 3$	Poważne naruszenie przepisów $j = 4$	Katastrofalny wpływ na zdrowie publiczne $j = 5$
		V_k, $k = 1$				
$P(A_i \mid j)$	Rzadkie / raz na 5 lat 1	1	2	3	4	5
	Mało prawdopodobne / raz na rok 2	2	4	6	8	10
	Umiarkowane / raz na miesiąc 3	3	6	9	12	15
	Prawdopodobne / raz w tygodniu 4	4	8	12	16	20
	Prawie pewne / raz dziennie 5	5	10	15	20	25
		V_k, $k = 2$				
$P(A_i \mid j)$	Rzadkie / raz na 5 lat 1	0,5	1	1,5	2	2,5
	Mało prawdopodobne / raz na rok 2	1	2	3	4	5
	Umiarkowane / raz na miesiąc 3	1,5	3	4,5	6	7,5
	Prawdopodobne / raz w tygodniu 4	2	4	6	8	10
	Prawie pewne / raz dziennie 5	2,5	5	7,5	10	12,5
		V_k, $k = 3$				
$P(A_i \mid j)$	Rzadkie / raz na 5 lat 1	0,33	0,67	1,00	1,33	1,67
	Mało prawdopodobne / raz na rok 2	0,67	1,33	2,00	2,67	3,33
	Umiarkowane / raz na miesiąc 3	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
	Prawdopodobne / raz w tygodniu 4	1,33	2,67	4,00	5,33	6,67
	Prawie pewne / raz dziennie 5	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33

Tab. 3. Hierarchizacja zdarzeń niepożądanych

Priorytet	Znaczenie	Opis
Istotne dla oceny ryzyka	z pewnością priorytetowe	istnieją udokumentowane dowody, że dane zagrożenie stanowi ryzyko zdrowotne dla konsumentów wody
Niepewne dla przydatności w ocenie ryzyka	niepewność czy sytuacja stanowi istotne ryzyko	ryzyko może wymagać dalszego monitorowania w celu określenia jego rangi
Nieistotne dla oceny ryzyka	z pewnością nie stanowi priorytetu	brak udokumentowanych dowodów, że zidentyfikowane zagrożenie stanowi ryzyko dla konsumentów wody, ryzyko powinno być monitorowane w ramach PBW w kolejnych latach eksploatacji SZZW

Tab. 4. Miary i kategorie ryzyka dla przykładowych zdarzeń awaryjnych w MSZZW

Miejsce wystąpienia zdarzenia	Opis zdarzenia A_i	Typ zdarzenia	Waga punktowa prawdopodobieństwa	Waga punktowa skutków	Waga punktowa podatności	Miara i kategoria ryzyka
Ujęcie	zanieczyszczenie pestycydami	chemiczne	2	4	1	8 – kontrolowane
Uzdatnianie	brak zasilania awaryjnego	mikrobiologiczne i chemiczne	2	5	1	10 – kontrolowane
Dystrybucja	wyciek	mikrobiologiczne	3	5	1	15 – nieakcentowane

- MSZZW B:
  - średnia dobowa produkcja wody w m^3/dobę: 500-1000,
  - liczba zaopatrywanych w wodę mieszkańców: 2500-5000,
  - rodzaj ujęcia/ujęć wody: powierzchniowe,
- MSZZW C:
  - średnia dobowa produkcja wody w m^3/dobę: 10-500,
  - liczba zaopatrywanych w wodę mieszkańców: 50-2500,
  - rodzaj ujęcia/ujęć wody: podziemne.

Wyniki ankiety dla operatorów MSZZW przedstawiono w tabeli 5. Wyniki ankiety wskazują że:

- MSZZW A i B – systemy są średnio przygotowane do wdrożenia i wymagają bezwzględnego uzupełniania procedur wynikających z przeprowadzonej ankiety,
- MSZZW C – system nie jest przygotowany do wdrożenia i wymaga kompleksowego przeglądu pod kątem procedur eksploatacyjnych, a także przeprowadzenia szkoleń dla jego operatorów.

Tab. 5. Wyniki ankiety dla operatorów MSZZW

Lp.	MSZZW A	MSZZW B	MSZZW C
4	TAK	NIE	NIE
5	NIE	NIE	NIE
6	NIE	NIE	NIE
7	NIE	NIE	NIE
8	TAK	TAK	TAK
9	NIE	NIE	NIE
10	NIE	NIE	NIE
11	NIE	NIE	NIE
12	TAK	TAK	TAK
13	TAK	TAK	NIE
14	TAK	TAK	TAK
15	TAK	TAK	NIE
16	TAK	TAK	TAK
Suma punktów	7	6	4

Nierozwiązaną kwestią w badanych MSZZW pozostaje archiwizowanie danych eksploatacyjnych związanych z występowaniem zdarzeń niepożądanych. Brak tych danych aktualnie uniemożliwia przeprowadzenia w nich analiz ryzyka na danych rzeczywistych.

7. Wnioski

Znaczącą rolę w prawidłowym wdrażania WCSP w MSZZW ma operator, który powinien posiadać pełną wiedzę o zarządzanym przez siebie MSZZW, możliwych zagrożeniach, skutkach tych zagrożeń i procedurach postępowania na wypadek wystąpienia zagrożenia.

Podsumowując:

- Małe systemy zbiorowego zaopatrzenia w wodę posiadają swoją specyfikę i w każdym przypadku procedury wdrażania WCSP powinny być analizowane indywidualnie.
- Brak obligatoryjnego ustalenia stref ochronnych ujęć wody stwarza ciągłe zagrożenie dla bezpieczeństwa konsumentów wody. Wygaśnięcie stref ochronnych ustanowionych przed dniem 1 stycznia 2002 roku nie zmobilizowało wszystkich właścicieli ujęć wody do złożenia wniosku o ponowne ustalenie zasięgu ochrony.
- Dla wodociągów na terenach gminnych proponuje się wprowadzenie uproszczonych procedur WCSP, ustalonych indywidualnie dla konkretnego MSZZW.
- Przedstawiona w pracy propozycja analizy i oceny ryzyka powinna być stosowana dla każdego MSZZW w celu identyfikacji i oceny ryzyka zagrożeń konsumentów wody.
- Zaleca się wdrażanie w MSZZW strategii archiwizacji danych eksploatacyjnych, co pozwoli na wykonanie rzetelnych analiz ryzyka w danym systemie.

Literatura

Boryczko K., Piegdoń I., Eid M. (2014). Collective water supply systems risk analysis model by means of RENO software. W: Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon. P.H.A.J.M. Van Gelder, R.D.J.M. Steenbergen, S. Miraglia, A.C.W.M. Vrouwenvelder (eds.), *Taylor & Francis Group*, London, 1987-1992.

Piegdoń I., Tchórzewska-Cieślak B. (2013). Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwach wodociągowych z wykorzystaniem nowoczesnych systemów informatycznych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 10/2013, 401-404.

Rak J. (2009). Bezpieczna woda wodociągowa. Zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*, Rzeszów.

Rak J., Tchórzewska-Cieślak B. (2005). Czteroparametryczna matryca szacowania ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Sigma-NOT, 2/2005, 6-9.

Rak J., Tchórzewska-Cieślak B. (2006). Five-parametric matrix to estimate the risk connected with water supply system operation. *Environment Protection Engineering*, Vol. 2, 37-46.

Rosen L., Lindhe A., Hokstad P., Sklet S., Rostum J., Pettersson T.J.R. (2008). Generic Framework for Integrated Risk Management in Water Safety Plans. W: *Proc. of 6th Nordic Drinking Water Conference*, Oslo.

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie zasad ustanawiania stref ochronnych źródeł i ujęć wody (Dz.U. 1991, Nr 116, poz. 504).

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2015 poz. 1989).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 marca 1965 roku w sprawie ustanowienia stref ochronnych ujęć i źródeł wody (Dz.U. 1965, Nr 13, poz. 93).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 25 sierpnia 1970 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie ustanawiania stref ochronnych ujęć i źródeł wody (Dz.U. 1970, Nr 22, poz. 181).

Szatkiewicz K. (2009). Rewizja dyrektywy 98/83/We w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, dotycząca oceny zagrożeń i zarządzania ryzykiem. *Ochrona Środowiska*, 3/2009, 41-44.

Tchórzewska-Cieślak B. (2009). Zarządzanie ryzykiem w ramach planów bezpieczeństwa wody. *Ochrona Środowiska*, 4/2009, 57-60.

Wichrowska B., Mulik B. (2013). Zintensyfikowanie działań Głównego Inspektora Sanitarnego na rzecz wdrożenia Dyrektywy 98/83/WE. *Technologia Wody*, 2/2013, 26-29.

WHO (2011). Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition. *World Health Organization*, Geneva.

WCSP (2013). Water cycle safety plan framework. Final. (http://www.prepared-fp7.eu/viewer/file.aspx?FileInfoID=423)

Ustawa z dnia 5 stycznia 2011 roku o zmianie ustawy – Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2011, Nr 32, poz. 159).

Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku *Prawo wodne* (Dz. U. 2015, poz. 469).

WATER SAFETY PLANS IMPLEMENTATION PROBLEMS IN SMALL WATER SUPPLY SYSTEM

Abstract: Water Cycle Safety Plans aim is to assure consumers that water ingested by them is safe for their health and life. In the paper the operational conditionings of WCSP implementation in small water supply system in relation to consumer safety loss were presented. The paper includes specific characteristic of WCSP for small water supply system taking into account the water intake protection zone, and suggested method of risk assessment and proposed questionnaire for operators.

www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 7 (2016) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

WPŁYW TEMPERATURY SKŁADOWANEGO OŚRODKA SYPKIEGO NA WARTOŚCI SIŁ WEWNĘTRZNYCH W ŚCIANACH KOMORY WALCOWEJ

Radosław DUDA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Artykuł dotyczy oceny wartości sił wewnętrznych w walcowej komorze silosu, przeznaczonej do składowania materiału sypkiego w stanie podwyższonej temperatury. Przeprowadzono analizę numeryczną komory poddanej oddziaływaniu sił zewnętrznych oraz obciążeń termicznych. Analizę sił wewnętrznych wykonano na podstawie norm europejskich. Wyniki wskazują znaczący wpływ temperatury ośrodka sypkiego na pracę konstrukcji powłokowych.

Słowa kluczowe: silos żelbetowy, obciążenia termiczne, siły wewnętrzne.

1. Wprowadzenie

Artykuł przedstawia tok postępowania przy określaniu wartości parcia ośrodka sypkiego na ściany analizowanej komory silosu, a także opisuje możliwy sposób uwzględnienia obciążeń termicznych oraz zjawiska skurczu. Ponadto praca prezentuje analizę porównawczą sił wewnętrznych w konstrukcji powłokowej bez uwzględnienia obciążeń termicznych i z uwzględnieniem tych obciążeń.

Obciążenia działające na silos to głównie: ciężar własny, ciężar urządzeń technologicznych, ciężar izolacji, a także obciążenia środowiskowe – wiatr oraz śnieg zalegający na przekryciu.

Należy pamiętać że podstawowym obciążeniem komory silosu jest parcie materiału sypkiego wywierane na dno i ściany. W wyniku działania sił parcia powstają poziome siły rozciągające w ścianach komory. W przypadku zbiorników prostopadłościennych, a także w miejscu działania parcia lokalnego w silosach walcowych, powstają znaczące poziome momenty zginające. Silosy na materiały sypkie zaliczają się do drugiej lub trzeciej kategorii geotechnicznej. Należy bezwzględnie przeprowadzić ich analizę jako obiektów współpracujących z podłożem gruntowym, zgodnie z normą PN-EN 1997-1:2008. *Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część I: Zasady ogólne*. Ze względu na znaczące gabaryty oraz obciążenia przenoszone na grunt należy koniecznie uwzględnić możliwość wystąpienia nierównomiernego osiadania konstrukcji.

Poza wyżej wymienionymi obciążeniami występują jeszcze inne obciążenia i oddziaływania, których pominięcie na etapie analizy statycznej może doprowadzić do niedoszacowania wartości sił wewnętrznych konstrukcji. Do grupy takich oddziaływań należy zaliczyć obciążenia termiczne, zjawiska skurczu i pełzania oraz obciążenia wyjątkowe, takie jak: pożary w strefach przyległych, eksplozje i uderzenia.

Obciążenia termiczne są szczególnie istotne w przypadku składowania materiałów w stanie podwyższonej temperatury (na przykład klinkier cementowy). Szczególną uwagę należy zwrócić na efekty termiczne (odkształcenia) wywołane różnicą temperatur zachodzącą pomiędzy konstrukcją silosu, a składowanym materiałem sypkim. Rzeczywiste rozkłady temperatur w ścianie i gorącym ośrodku sypkim w eksploatowanych silosach są zagadnieniem złożonym (Prusiel i Tomczuk, 2012). Zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1991-1-5. *Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5. Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne* należy obliczyć ΔT_M – różnicę temperatur na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni ściany oraz ΔT – różnicę temperatur miedzy średnią temperaturą ściany a temperaturą, w której konstrukcja była wzniesiona. Obydwie wartości występują, gdy temperatura materiału sypkiego jest różna od temperatury zewnętrznej.

Dla obciążeń termicznych współczynnik obciążenia γ_Q = 1,5, a współczynnik kombinacyjny wynosi 0,6 według tablicy A.2. normy PN EN 1991-4:2006 *Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 4: Silosy i zbiorniki*.

Ponadto, w ścianach mogą także występować różnice temperatur na wysokości komory spowodowane zróżnicowaniem nasłonecznienia (Buczkowski i in., 1995), bądź różnicą temperatur składowanego materiału na wysokości.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: radek.avo@gmail.com

Istotny wpływ na wartości sił wewnętrznych w silosach żelbetowych mają także odkształcenia wymuszone – skurcz i odkształcenia termiczne związane z samoocieplaniem betonu w czasie hydratacji cementu. Zjawisko samoocieplenia betonu zachodzi w ciągu jednego do trzech dni po rozpoczęciu hydratacji, później mamy do czynienia ze stopniowym obniżeniem temperatury do temperatury otoczenia, a efekt tego ochłodzenia sumuje się z efektami skurczu. Zjawiska te są niekorzystne, ponieważ zachodzą, gdy beton nie osiągnął pełnej wytrzymałości na rozciąganie (Halicka, 2014).

Całkowite odkształcenie skurczowe ε_{cs}, określone zgodnie z *PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*, stanowi suma dwóch składowych, odkształcenia skurczowego będącego wynikiem autogenicznego (samorodnego) odkształcenia skurczowego oraz skurczu wysychania.

2. Walcowy silos żelbetowy na klinkier cementowy – założenia obliczeniowe

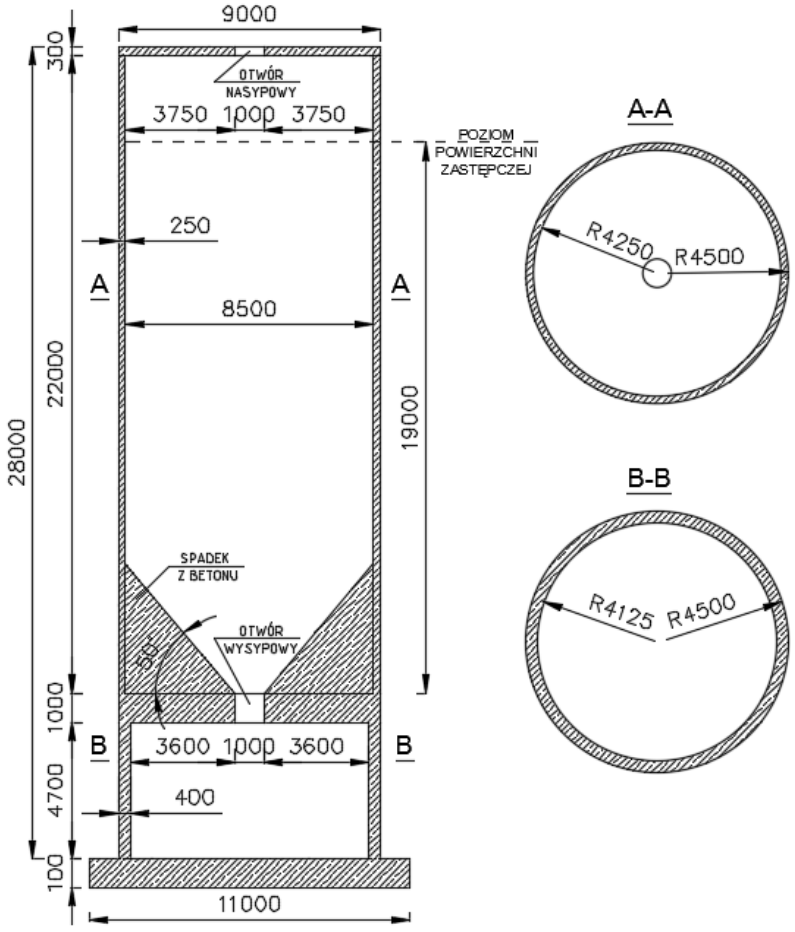
2.1. Charakterystyka obiektu

Silos na klinkier cementowy stanowi obiekt przeładunkowy przy istniejącym zakładzie wytwórczym cementu (rys. 1). Parametry charakteryzujące obiekt:

- wysokość komory h = 22,00 m,
- średnica komory w osiach d = 8,75 m,
- rodzaj materiału sypkiego – klinkier cementowy, właściwości według tablicy E1 w PN-EN 1991-4:2008 *Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 4: Silosy i zbiorniki*,
- temperatura składowanego materiału t = 100°C,
- podłoże: na głębokości do 6,00 m poniżej poziomu terenu występuje piasek średni, mało wilgotny o I_D = 0,40; poniżej 6,00 m znajduje się glina zwięzła o I_L= 0,35. Wody gruntowej nie stwierdzono.

Wypalony klinkier (w temperaturze około 1450°C) przechodzi do chłodnika klinkieru, gdzie jest schładzany do temperatury rzędu 100°C. Tak przygotowany materiał trafia taśmociągiem do stacji przeładunkowej (komora silosu), skąd następnie transportowany jest do dalszej obróbki (przemiału) oraz procesów technologicznych. W projektowanej komorze silosu załadunek odbywa się w sposób grawitacyjny poprzez centralnie umieszczony otwór w płycie przekrycia. Opróżnianie komory silosu zaprojektowano jako centryczne przez otwór wysypowy o średnicy 100 cm, natomiast spadek w kierunku otworu wysypowego zaprojektowano z betonu.

Konstrukcję przekrycia stanowi monolityczna płyta kolista, swobodnie oparta na ścianach żelbetowych sprowadzonych do płyty fundamentowej o rzucie kwadratu. Ponadto, na poziomie 6 metrów powyżej płyty



Rys. 1. Przekrój pionowy oraz rzut silosu poddanego analizie

fundamentowej zaprojektowano dno komory silosu w postaci kolistej monolitycznej płyty żelbetowej, sztywno połączonej z konstrukcją ściany. W poziomie płyty dna komory występuje skokowa zmiana grubości ściany silosu z 25 cm na 40 cm, ze względu na konieczność zapewnienia odpowiedniej sztywności połączenia oraz przeniesienia obciążeń (rys. 1).

Na podstawie punktu 5.1(2) normy PN-EN 1991-4 stwierdzono, że rozpatrywany silos zalicza się do silosów smukłych. Według punktu 2.5(5) normy klasa oceny oddziaływań dla silosów powinna być określona z warunków pojedynczej jednostki składowania, stąd też na podstawie tablicy 2.1 normy przyjęto klasę oceny oddziaływań 2 (AAC 2).

Rodzaj przepływu określa się uwzględniając kąt połówkowy u wierzchołka leja β oraz współczynnik tarcia o ścianę leja μ_h (μ_{hd} = 0,414). Według rysunku 4.1a PN-EN 1991-4 stwierdzono, że w rozpatrywanym przypadku jest zagwarantowany przepływ rdzeniowy.

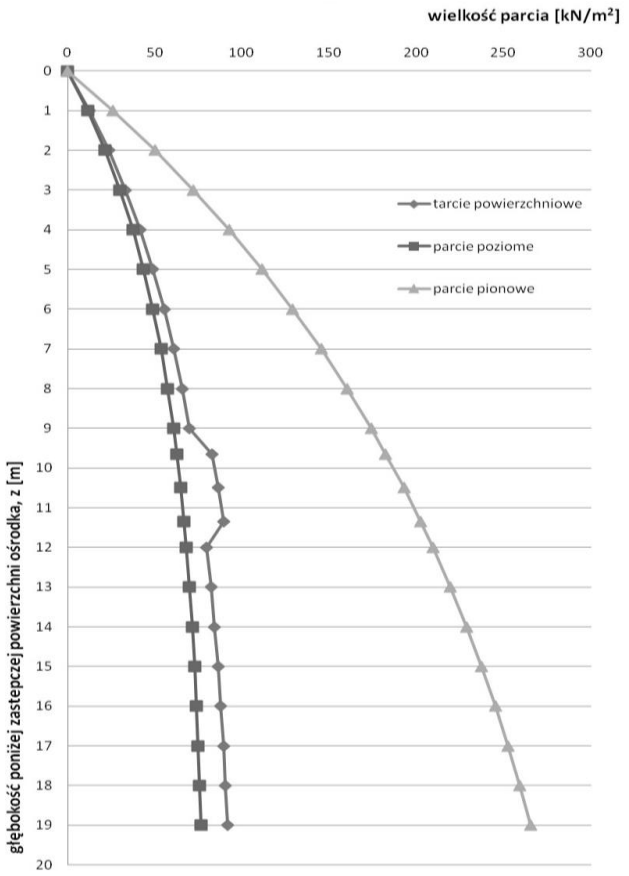
2.2. Parcie ośrodka sypkiego

Wyznaczenie oddziaływań na walcową komorę silosu przeprowadzono na podstawie normy PN-EN 1991-4. Oddziaływania na silosy zależne są od fazy eksploatacji zbiornika, to jest napełnianie (ośrodek sypki w ruchu), składowanie (ośrodek sypki w spoczynku) lub opróżnianie (ośrodek sypki częściowo/całkowicie w ruchu). Podczas określania wartości parcia na ściany silosu należy uwzględniać geometrię i konstrukcję silosu, właściwości składowanego ośrodka, rodzaje przepływu podczas procesu opróżniania, oraz wpływ mimośrodów usytuowania otworu nasypowego i wysypowego.

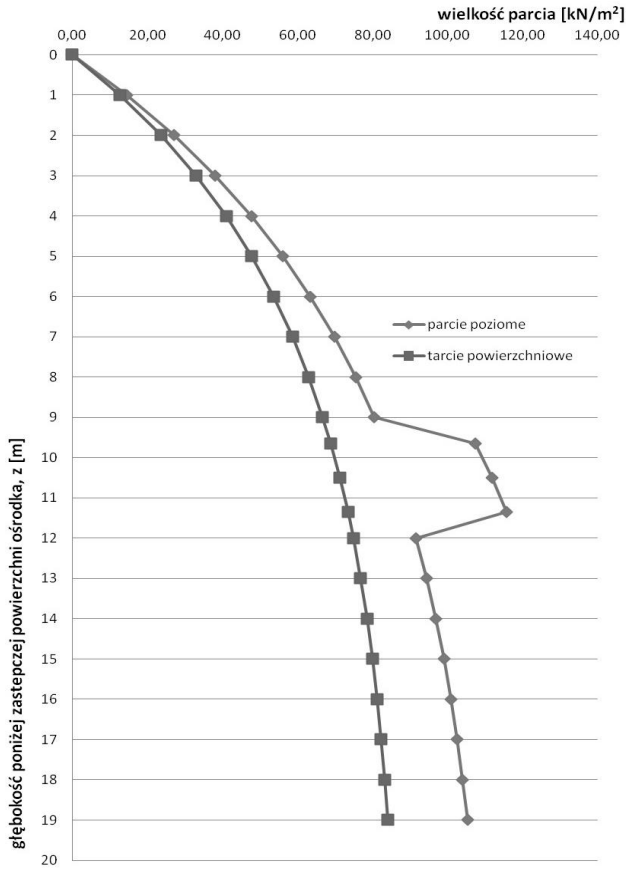
Zgodnie z zasadą z punktu 2.1(3) w PN-EN 1991-4 obciążenia na pionową ścianę silosu przy napełnianiu i opróżnianiu przez otwory na małych mimośrodach ($e \leq 0{,}25 \cdot d_c$) należy ustalać jako symetryczne, z uzupełnieniem o obciążenia lokalne. Natomiast w przypadku dużego mimośrodu ($e > 0{,}25 \cdot d_c$), obciążenia należy traktować jako parcia rozłożone niesymetrycznie. Obliczenie obciążeń działających na ściany silosu po napełnieniu przeprowadza się według punktu 5.2.1 normy. Parcie symetryczne obliczane jest przy założeniach teorii Janssena.

W obliczeniach uwzględniono układ parcia lokalnego zależny od rodzaju konstrukcji silosu. Analizowana komora należy do silosów grubościennych (silosy betonowe), w których składową bazową parcia lokalnego po napełnieniu p_{pf} należy przyjąć za skierowaną na zewnątrz, przyłożoną na dwóch przeciwległych kwadratowych polach o boku $s \approx 0{,}2d_c$.

Na podstawie punktu 5.2.1.3(4) w PN-EN 1991-4 w kołowych silosach grubościennych zaliczanych do klasy oceny oddziaływań 2, zastosowano podejście uproszczone. Najbardziej niekorzystne ustawienie obciążenia założono w taki sposób, że będzie ono przypisane do strefy działania znajdującej w połowie wysokości komory silosu. Wartości parcia w analizowanym silosie przedstawiają rysunki 2 i 3.



Rys. 2. Wykres parcia klinkieru w analizowanej komorze silosu podczas napełnienia



Rys. 3. Wykres parcia klinkieru w analizowanej komorze silosu podczas opróżniania

2.3. Wyznaczenie obciążeń termicznych

W analizie uwzględniono efekty termiczne spowodowane różnicą temperatur pomiędzy składowanym ośrodkiem sypkim i konstrukcją silosu, a także wpływy skurczu zachodzącego w konstrukcji betonowej.

Rozkład temperatury w ścianie komory silosu określono stosując teorię przewodności cieplnej przytoczonej przez Halicką i Franczak (2011).

Temperaturę T_x na odcinku x od wewnętrznej powierzchni przekroju wyraża się wzorem:

$$T_x = T_{in} - \frac{R_X}{R_{tot}} \cdot (T_{in} - T_{out}) \tag{1}$$

gdzie: T_x jest temperaturą wewnętrzną (składowanego materiału, T_{in} = 100°C, natomiast R_{tot} jest całkowitym oporem cieplnym elementu z uwzględnieniem oporu obu powierzchni, wyrażonym wzorem:

$$R_{tot} = R_{in} + \sum_i \frac{h_i}{\lambda_i} + R_{out} \tag{2}$$

gdzie: T_{out} jest temperaturą środowiska zewnętrznego, T_{out} = -28,6°C według rysunku NB.2 oraz NB.3 PN-EN 1991-4, R_{in} jest oporem przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej, R_{in} = 0,13 m^2·K/W, h_i jest grubością warstwy i, h_i = 25 cm, λ_i jest współczynnikiem przewodzenia ciepła dla betonu o ciężarze objętościowym 25 kN/m^3, λ_i = 1,71 W/(m·K), R_{out} jest oporem przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej, R_{out} = 0,04 m^2·K/W, a R_x jest oporem cieplnym na powierzchni wewnętrznej i elementu od powierzchni wewnętrznej powyżej punktu x, wyrażonym wzorem:

$$R_x = R_{in} + \sum_i \frac{h_i}{\lambda_i} \tag{3}$$

Zatem różnica temperatur na grubości ściany jest równa:

$$\Delta T_M = |T_1 - T_2| \tag{4}$$

a jej wartość kombinacyjna:

$$\Delta T_{M,d} = 0{,}6 \cdot \Delta T_M \tag{5}$$

Średnia temperatura ściany jest równa:

$$\Delta \overline{T}_d = T_1 - \frac{\Delta T_M}{2} \tag{6}$$

Założono temperaturę początkową T_0 = 15°C. W tej sytuacji różnica między temperaturą pracy konstrukcji, a temperaturą początkową wynosi:

$$\Delta T = \Delta \overline{T}_d - T_0 \tag{7}$$

a jej wartość kombinacyjna:

$$\Delta T_d = 0{,}6 \cdot \Delta T \tag{8}$$

Obliczenia przeprowadzono dla warunków zimowych oraz letnich. Przeanalizowano przypadki bez uwzględnienia warstwy tłumiącej.

2.4. Skurcz betonu

Obliczenie odkształceń skurczowych przeprowadzono według punktu 3.1.4. PN-EN 1992-1-1. Końcowa wartość odkształcenia skurczowego spowodowana wysychaniem wynosi zatem:

$$\varepsilon_{cd,\infty} = \varepsilon_{cd,0} \cdot k_h \tag{9}$$

gdzie: $\varepsilon_{cd,0}$ jest nominalną wartością skurczu swobodnego spowodowaną wysychaniem, $\varepsilon_{cd,0}$ = 0,027%, a k_h jest współczynnikiem zależnym do miarodajnego wymiaru h_0, k_h = 0,80.

Wartość odkształcenie skurczu autogenicznego wyrażona jest wzorem:

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) \tag{10}$$

gdzie:

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0{,}2 \cdot t^{0{,}5}) \tag{11}$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \tag{12}$$

t = 28 dni, f_{ck} = 30 MPa.

Zatem wartość sumarycznego odkształcenia końcowego wywołanego skurczem wynosi:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd,\infty} + \varepsilon_{ca} \tag{13}$$

Współczynnik obliczeniowy skurczu wynosi 1,0 według PN-EN 1992-1-1, natomiast wartość współczynnika kombinacyjnego dla skurczu wynosi 0,7.

Efekt skurczu został zamodelowany w konstrukcji poprzez spadek temperatury w stosunku do temperatury początkowej. Równoważną różnicę temperatur obliczono według wzoru:

$$\varepsilon_{cs} = \alpha_t \cdot \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{\varepsilon_{cs}}{\alpha_t} \tag{14}$$

gdzie α_t jest współczynnikiem rozszerzalności termicznej betonu, $\alpha_t = 1 \cdot 10^{-5}$ 1/deg.

Obliczone oraz przyjęte do analizy wartości obciążeń termicznych oraz odkształceń skurczowych zawiera tabela 1.

Tab. 1. Zestawienie wartości kombinacyjnych oddziaływań termicznych i skurczowych

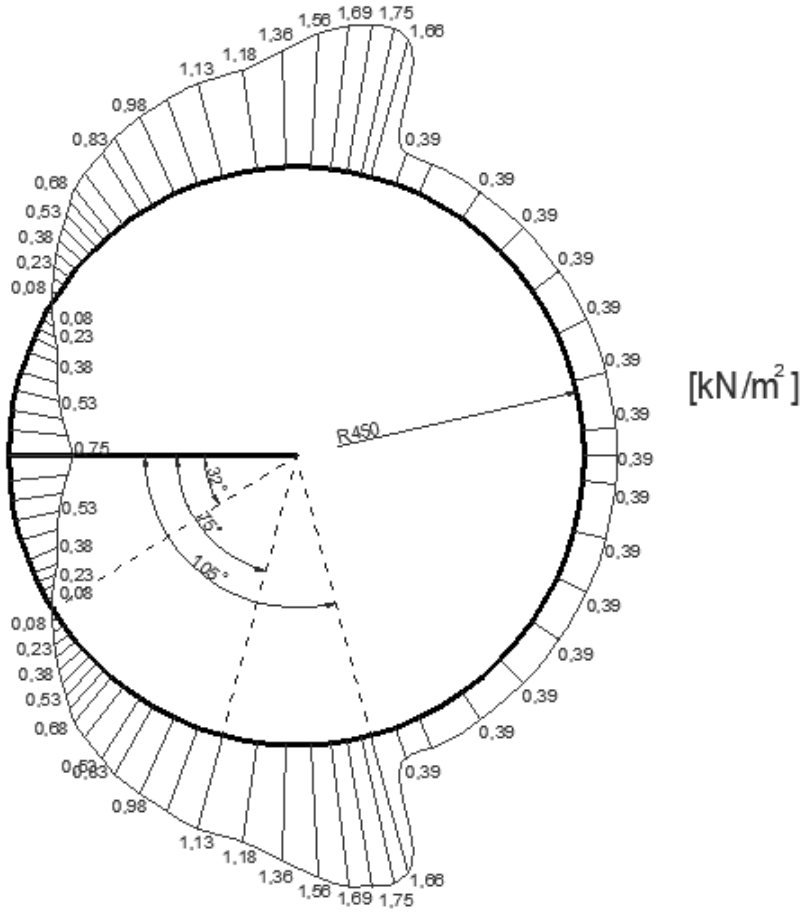
Oddziaływania	Zima	Lato
Różnica temperatur wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni ściany $\Delta T_{m,d}$ bez uwzględnienia warstwy tłumiącej	36,2°C	12,4°C
Różnica między temperaturą pracy konstrukcji a temperaturą początkową + różnica temperatur wynikająca ze skurczu betonu	1,6 + (-17,5) = -15,9°C	33,5 + (-17,5) = 16°C

2.5. Wyznaczenie pozostałych obciążeń.

Obciążenie śniegiem ustalono na podstawie normy PN-EN 1991-1-3 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem* z uwzględnieniem stref obciążeń śniegiem w Polsce. Wartość obciążenia wiatrem na ściany komory silosu (rys. 4) obliczono dla liczby Reynoldsa $Re = 2{,}08 \cdot 10^7$, zgodnie z zasadami zawartymi w punkcie 7.9 normy PN-EN 1991-1-4 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru*. Oddziaływania użytkowe określono na podstawie PN-EN 1991-1-2 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru*. Obciążenia zewnętrzne oddziaływujące na konstrukcję przedstawiono w formie tabeli 2.

Tab. 2. Zestawienie obciążeń

Obciążenia	Nazwa obciążenia
1	Ciężar własny
2	Obciążenia stałe
3	Obciążenie śniegiem
4	Obciążenie użytkowe
5	Obciążenie wiatrem
6	Obciążenie termiczne– zima
7	Napełnienie – parcie poziome
8	Napełnienie – parcie styczne
9	Napełnienie - parcie pionowe
10	Opróżnianie – parcie poziome
11	Opróżnianie – parcie styczne
12	Obciążenie termiczne – lato
13	Skurcz



Rys. 4. Rozkład parcia wiatru na ściany komory silosu

3. Przestrzenny model konstrukcji

3.1. Model obliczeniowy

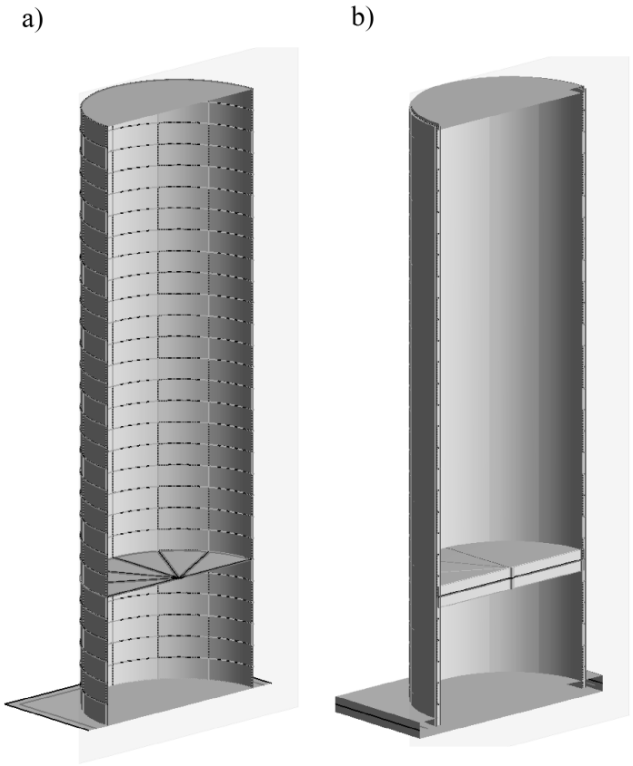
W celu przedstawienia wpływu obciążeń termicznych przeprowadzono analizę rozkładu sił wewnętrznych w ścianach komory silosu walcowego.

Siły wewnętrzne w komorze silosu wyznaczono przy użyciu programu numerycznego Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014. Ściany zamodelowano jako elementy powłokowe rodzaju „panel". W celu odzwierciedlenia rzeczywistego rozkładu obciążenia od parcia materiału sypkiego oraz obciążenia wiatrem ściany silosu podzielono na 28 segmentów – pierścieni o wysokości 1,00 m i grubości 25 cm lub 40 cm, które składają się z 12 zakrzywionych paneli (rys. 5). Dokonano dyskretyzacji modelu obliczeniowego otrzymując elementy skończone o wymiarach 0,25 m × 0,50 m. Dogęszczono siatkę MES w obszarach istotnych według autora – miejsce przyłożenia obciążenia lokalnego, połączenie ścian z płytą dna komory oraz z płytą fundamentową (rys. 6). Siły wewnętrzne obliczono wykorzystując Metodę Elementów Skończonych (MES). Ze względu na monolityczne połączenie ścian komory silosu z dnem mamy do czynienia ze stanem zgięciowym (spowodowany brakiem swobody odkształceń), co determinuje powstanie znacznych wartości momentów zginających w walcowych ścianach komory. Warto pamiętać, że w przypadku obliczeniowego umieszczenia parcia lokalnego w połowie wysokości ścian silosu i obliczeniu wartości momentów zginających, należy następnie proporcjonalnie do wartości tych momentów obliczyć momenty na pozostałych poziomach. Uzyska się wtedy obwiednię sił wewnętrznych – wartości ekstremalne (nie można takiego uproszczenia zastosować w strefie dolnej, gdzie dominują momenty zamocowania). Przedstawiony na rysunkach 7 i 8 wykres nie stanowi obwiedni momentów zginających, niemniej jednak jest podstawą do jej wyznaczenia.

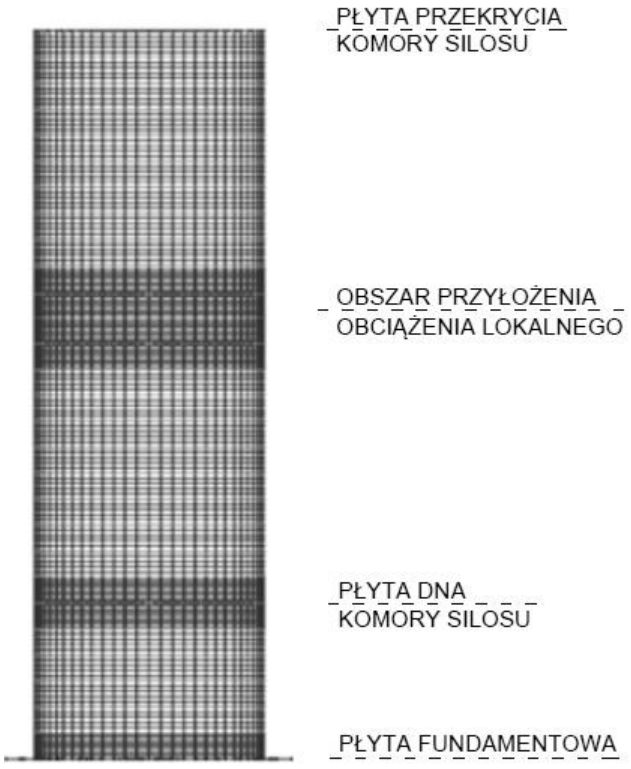
3.2. Kombinacje oddziaływań

W analizie stałe kombinacje oddziaływań zostały przyjęte na podstawie reguły kombinacji oddziaływań zawartych w PN-EN 1991-4. Jako wiodące obciążenie zmienne uwzględniono parcie przy opróżnianiu lub napełnieniu. Należy zauważyć, iż zgodnie z punktem 3.3 (4) normy jeśli jest zagwarantowany wypływ rdzeniowy, wtedy można w ogóle nie rozważać parcia przy opróżnianiu. Zatem autor uzyskał nieco zawyżone wartości, które są miarodajne do wymiarowania (PN EN 1991-4, tab. A.2 oraz tab. A.5).

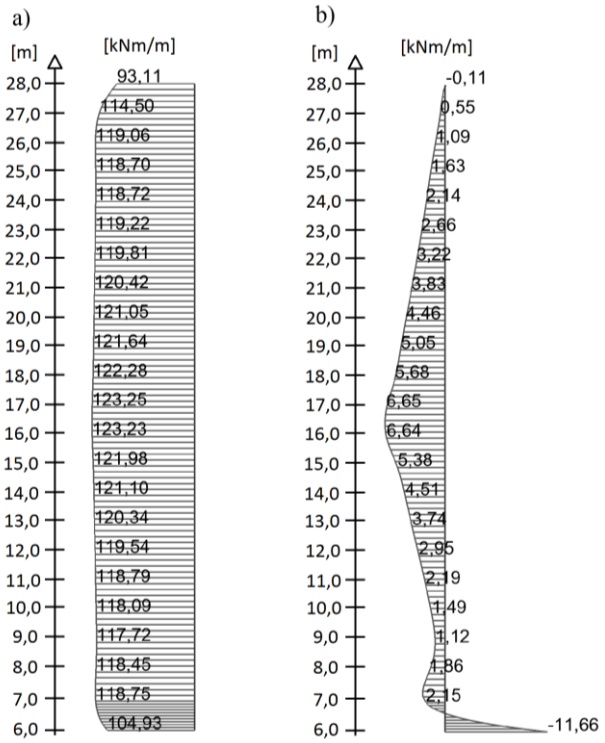
Przyjęte kombinacje w stanach granicznych nośności (SGN) oraz użytkowalności (SGU) przedstawia tabela 3. Nazwa kombinacji odpowiada towarzyszącemu obciążeniu zmiennemu. Na podstawie analizy sił wewnętrznych w komorze silosu stwierdzono, że najbardziej niekorzystną kombinacją w stanie granicznym nośności jest kombinacja numer 1, natomiast w stanie granicznym użytkowalności kombinacja numer 6.



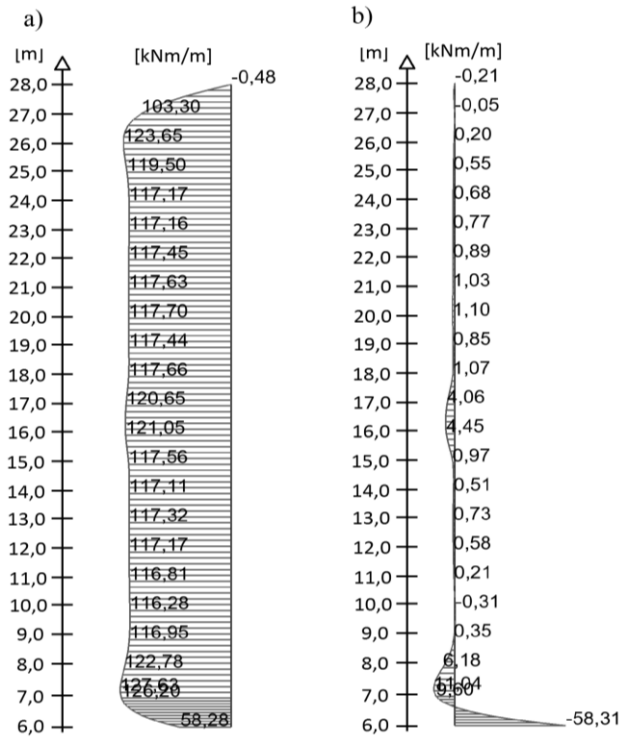
Rys. 5. Model silosu zaprojektowany w programie Robot Structural Analysis Professional 2014: a) przekrój konstrukcji z podziałem na „panele", b) przekrój konstrukcji z uwzględnieniem grubości „paneli"



Rys. 6. Siatka metody elementów skończonych – ściany silosu walcowego



Rys. 7. Rozkład równoleżnikowych momentów zginających w ścianie komory silosu, w przypadku działania obciążenia lokalnego w połowie wysokości silosu: a) z uwzględnieniem wpływu obciążeń termicznych, b) bez uwzględnienia wpływu obciążeń termicznych



Rys. 8. Rozkład południkowych momentów zginających w ścianie komory silosu, w przypadku działania obciążenia lokalnego w połowie wysokości silosu: a) z uwzględnieniem wpływu obciążeń termicznych, b) bez uwzględnienia wpływu obciążeń termicznych

Tabela 3. Zestawienie kombinacji obciążeń dla stanów granicznych nośności oraz użytkowalności

Numer	Nazwa	Typ	Kombinacja obciążeń
1	D – opróżnianie	SGN	(1+2)·1.35+(10+11+9)·1.50+(3+5+6)·1,50·0,60
1*	D – opróżnianie bez obciążeń termicznych	SGN	(1+2)·1.35+(10+11+9)·1.50+(3+5)·1,50·0,60
2	S – śnieg	SGN	(1+2)·1.35+(7+8+9)·1.50+3·1,50·0.60+13·1.50·0,70
3	WF – wiatr i silos pełny	SGN	(1+2)·1.35+(7+8+9)·1,50+5·1,50·0.60+13·1,50·0,70
4	WE –wiatr i silos pusty	SGN	(1+2)·1.35·0,9+5·1,50·0.60+13·1.50·0,70
5	T – termiczne	SGN	(1+2)·1,35+(7+9+8)·1.50+6·1,50·0.60+13·1,50·0,70
6	D – opróżnianie	SGU	(1+2)·1.00+(9+10+11)·0.90+(3+5+6)·0.60+13·0.70
7	S – śnieg	SGU	(7+8+9)·0.90+3·0.60+13·0.70+(1+2)·1.00
8	WF – wiatr i silos pełny	SGU	(7+8+9)·0.90+5·0.60+13·0.70+(1+2)·1.00
9	WE – wiatr i silos pusty	SGU	5·0.60+13·0.70+(1+2)·1.00
10	T – termiczne	SGU	(7+8+9)·0.90+6·0.60+13·0.70+(1+2)·1.00

4. Analiza sił wewnętrznych w ścianie silosu

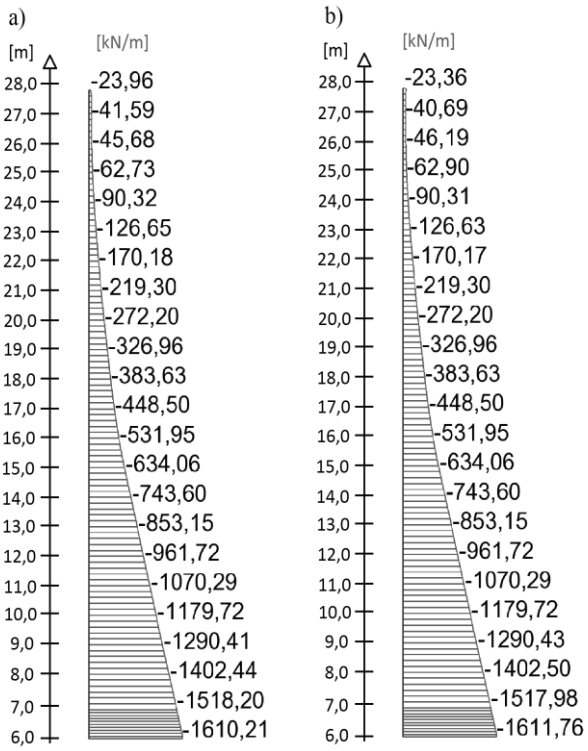
W celu określenia wpływu działania obciążenia termicznego przeprowadzono analizę porównawczą wartości sił wewnętrznych w konstrukcji z uwzględnieniem wpływu działania wysokiej temperatury oraz w sytuacji bez jej uwzględniania. Wyniki analizy przedstawiono poniżej.

W przypadku porównania wartości sił południkowych (rys. 9) nie zauważono znaczącego wpływu obciążeń termicznych na rozkład sił wewnętrznych, różnice procentowe wartości nie przekraczały 0,5%. Analiza rozkładu sił równoleżnikowych (rys. 10) wykazuje znaczny wpływ obciążeń termicznych, głównie w obszarach połączenia z płytą dna komory. Uwzględnienie wpływu podwyższonej temperatury materiału sypkiego spowodowało zwiększenie równoleżnikowej siły ściskającej w obrębie zamocowania ścian komory (rys. 10a) oraz w okolicach oparcia płyty przekrycia, w miejscu niewystępowania parcia materiału sypkiego. Jednakże najistotniejsze zmiany są zauważalne w rozkładzie sił wewnętrznych konstrukcji powłokowej w przypadku analizy momentów zginających na wysokości komory.

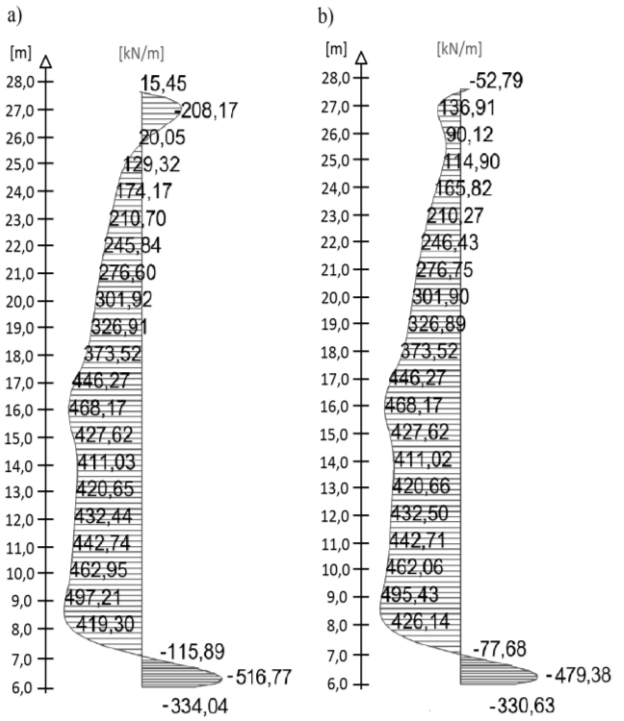
Przy nieuwzględnieniu obciążeń termicznych (rys. 7b i 8b) otrzymujemy rozkład momentów zginających (równoleżnikowych oraz południkowych) charakterystyczne dla stanu zgięciowego w powłokach walcowych. Obserwujemy znaczne wartości momentów w strefie połączenia ścian z dnem komory, wynikające z zaburzeń warunków brzegowych, oraz wygaszanie momentów zginających na wysokości komory z uwzględnieniem parcia lokalnego. Obciążenia termiczne prowadzą do powstania znaczących wartości momentów zginających na wysokości komory silosu (rys. 7a i 8a) powodując dodatkowe zginanie w płaszczyźnie równoleżnikowej i południkowej.

5. Wnioski

- Przedstawiona analiza rozkładu wartości sił wewnętrznych wskazała wpływ działania obciążeń termicznych na rozkład sił wewnętrznych w komorze silosu walcowego. Oddziaływania termiczne zwiększają w znaczącym stopniu wartość momentów zginających zarówno południkowych, jak i równoleżnikowych powodując stan zgięciowy na całej wysokości ścian komory.
- Oddziaływania termiczne nie wpływają na wartości sił południkowych występujących w powłoce, jednakże mają znaczenie na wartość sił równoleżnikowych – szczególnie w obszarze połączenia ścian komory z płytą dna.
- Nieuwzględnienie na etapie projektowania oddziaływań termicznych skutkuje istotnym z punktu widzenia pracy konstrukcji niedoszacowaniem wartości momentów zginających oraz sił równoleżnikowych i może prowadzić do jej zniszczenia,



Rys. 9. Rozkład sił południkowych w ścianie komory silosu, w przypadku działania obciążenia lokalnego w połowie wysokości silosu: a) z uwzględnieniem wpływu obciążeń termicznych, b) bez uwzględnienia wpływu obciążeń termicznych



Rys. 10. Rozkład sił równoleżnikowych w ścianie komory silosu, w przypadku działania obciążenia lokalnego w połowie wysokości silosu: a) z uwzględnieniem wpływu obciążeń termicznych, b) bez uwzględnienia wpływu obciążeń termicznych

bądź też przekroczenia stanu granicznego użytkowalności.

- W przypadku konstrukcji powłokowych obciążenia termiczne mają decydujący wpływ na wartości sił wewnętrznych, a w konsekwencji na grubość elementów oraz przekrój zbrojenia.

Literatura

Buczkowski W., Czwójdziński Z., Staszewski R. (1995). Wpływ nasłonecznienia na pracę statyczną konstrukcji skrzyniowych. *Inżynieria i Budownictwo*, 7-8/1995.

Halicka A. (2014). Specyfika projektowania zbiorników na ciecze. *Inżynier Budownictwa*, 12/2014, s. 8.

Halicka A., Franczak D. (2011). Projektowanie zbiorników żelbetowych. T.1, zbiorniki na materiały sypkie. *Wydawnictwo naukowe PWN*, Warszawa.

Prusiel J.A., Tomczuk K. (2012). Efekty sprężania parcia statycznego i pól temperatury w żelbetowych silosach na gorący ośrodek sypki. *Przegląd budowlany*, 4/2012, 53-57.

THE EFFECT OF TEMPERATURE OF THE STORED BULK MATERIAL ON THE INTERNAL FORCES IN THE WALLS OF THE CYLINDRICAL CHAMBER

Abstract: Distribution of internal forces depends on many factors: permanent and variable loads, including often ignored in the calculation the effect of thermal loads. The purpose of the paper is to analyse the impact of high temperature on the internal forces in the walls of the cylindrical silo. The supporting structure has been modelled in Autodesk Robot Structural Analysis programme. Walls of the silo are loaded with the thrust of bulk material (filling and emptying) considering the temperature. The numerical analysis was conducted using the method specified in the European standards. The results showed a significant influence of temperature on the distribution of forces in the chamber of the cylindrical silo. Failure due to thermal influences can cause damage to supporting structure designed object.

www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 7 (2016) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

ONE-SLUDGE DENITRI-NITRIFICATION SYSTEM APPLICATION IN RECONSTRUCTION OF BIOLOGICAL TREATMENT PLANTS IN RUSSIAN FEDERATION

Elena S. GOGINA*

Federal State Educational Institution of High Education, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Yaroslavskoe shosse, 26, 129337, Moscow, Russia

Abstract: The paper presents the main problems and their solutions in the reconstruction of treatment facilities in the Russian Federation. The results of research aimed the use of the stable system, which is based on nitrification activated sludge appliance, when the sludge contains bacteria-heterotrophic-nitrificators, are shown. The working process after the reconstruction was high effective (about 98% organic compounds removing, and about 99% ammonium nitrogen removing). Analysis of the treatment facilities after reconstruction proves theoretical assumptions about the system. These data confirm the stability of the developed technological schemes and give reasons to recommend it for further implementation of the reconstruction of treatment facilities.

Keywords: wastewater, facilities, reconstruction, biological treatment, nitrogen, biogenic elements.

1. Introduction

Problems of removing biogenic compounds from wastewater are of great concern among scientists from all over the world. In our country commonly used to divide nitrogen compounds norms into three groups: ammonium, nitrites and nitrates. Boundary values for phosphorous content also create a special difficulty in wastewater treatment and discharging into the receiver (Gogina et al., 2014; Salomeyev et al., 2010; Wang and Shammas, 2009). One of the ways to solve the problem is the modernization of WWTPs. Modernization serves to restore or to increase the effective work of WWTPs without involving great investments. About 3 mln m^3/d of sewage are run off from Moscow region to wastewater treatment plants. The majority (2.4 mln m^3/d) are treated amongst 880 WWTPs in the surrounding Moscow region while only 0.6 mln m^3/d are treated in WWTPs situated in Moscow. Moreover, biological technologies being used in waste water treatment facilities in Russian Federation do not meet the effective nitrogen and phosphorous compound's removal standard parameters for sewage discharged to the receivers. In particular, ammonium nitrogen removing accounts for 20-40%, while scientists have proved effectiveness not less than for 80-90%. There are similar solutions for phosphorous concentration decreasing in wastewater as well. With the use of modern technologies, the existed facilities may take part in sewage treatment intensification process. For more than 10 years scientists from Water Disposal Department of Moscow State Construction University have been making experiments on developing and practices different technologies in modernization of WWTPs. Experiments with high efficiency removal of nitrogen and phosphorus were carried out in the science laboratory called "Water disposal systems – reconstruction and renovation". An example of Kolomna WWTP (Moscow region) modernization is presented in this paper.

2. Methods and description of research object

Active use of bacteria-heterotrophic-nitrificators began at the end of the last century (Hao et al., 1996; Hu et al., 2002; Krishna et al., 1999; Spanjers and Vanrolleghem, 1995; Surmacz-Górska et al, 1996). In a basic technological scheme of Kolomna WWTP the special biological process was applied for modernization. For this purpose, the existing traditional aeration chamber was divided into four zones (anoxic and aerobic) to obtain high efficiency of nitrogen removal. After biological treatment secondary sedimentation tank was applied to achieve recirculation of return sludge and discharge sewage after biological treatment (Salomeyev et al., 2010). Parameters of activated sludge treatment may be changed due to requirements. It's possible to change the amount of zones (aerobic and anaerobic) and treatment time in each zone. Such a scheme was applied in Kolomna

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: GoginaES@mgsu.ru

WWTP.

The sewage flow to biological treatment was in average 60000 m^3/d. The quality of sewage to be treated in aeration tank is mostly homogeneous. Due to own research basic parameters were: BOD – 72 mg O_2/dm^3, ammonia nitrogen 18 mg $N\text{-}NH_4/dm^3$ and phosphorous – 2.7 mg P/dm^3. Average value of BOD was low and ammonium nitrogen concentration was high. The modernization was based on one-sludge system with denitri-nitrification in one chamber. An existing aeration tank was divided into aerobic and anoxic zones. The first zone contains dissolved and chemical bounded oxygen, and the second one contains only chemical bounded oxygen. Basic parameters (parameters after biological treatment and limits) are presented in Table 1.

3. Results and discussion

It is not correct to estimate nitrogen compounds removal without taking into account two inorganic nitrogen contaminants: nitrites and nitrates. In the regard system the concentration of nitrites nitrogen was close to zero while concentration of nitrates was high. This fact stamps that two stages of nitrification processes in the aeration tank are flowing correctly when denitrification is not carried out fully. It also happens for the second nitrification stage to flow back. This means that secondary nitrite formation may happen because of the high concentration of nitrates nitrogen and low denitrification process. In regard with the data obtained during research it became possible to make calculations and conclusions about the biochemical system.

According to the calculations the treatment period for sewage in aeration tank was about 8 hours. The sludge concentration in aeration tank was about 3.5 g/l in average, ash content was about 0.3. The oxidation velocity was calculated as for heterotrophic one-sludge system. According to the data obtained an average oxidation velocity for the particular treatment period was 6.9 mg BOD/gh. The activated sludge load for the regarded system amounted to 167 mg BOD/gd. These parameters' values obtained due to calculations were too small for biological treatment process to be carried out.

According to the literally data and a great experience in working with the biological systems for wastewater treatment it is known that for the effective working of the biological system and for the activated sludge to be maintained in a working condition those two parameters should reach: the oxidation velocity more than 10 mg BOD/gh, and the activated sludge load about 300 mg BOD/gd. According to the actual standards (building standards and limits) for the aeration tank with long aeration the oxidation velocity amounted 6 mg/gh (while the sludge concentration was 3 g/l and ash content was 0.35). A comparison of the parameters of the regard system to these data reveals that the oxidation velocity, which is the basic factor to show the sludge working, is extremely low. The data obtained reveals the fact that activated sludge in this system has a load-illness (it is so called "hungry" sludge). Such conditions may result in activated sludge flocs destruction, activated sludge bacteria colonies destruction, which leads to microorganism's dysfunction in biological treatment process. Also systems are characterized by normal wastewater efficiency (BOD) due to heterotrophic bacteria and by ammonium nitrogen treatment due to bacteria-autotrophy-nitrificators. This system operating in the regard WWTP works stable only with parameters to be constant: hydraulic load, inclusions quality, sludge concentration, and others. Therefore, with the use of all basic aeration tank parameters, it becomes possible to determine nitrification and denitrification velocity. For this purpose a calculation method recommended by the reference book to the actual Building Norms and Standards for the systems with nitrification heterotrophic-bacteria was used.

The results obtained revealed the fact that nitrification and denitrification velocities were very small – 3.8 and 3.5 mg/gh, consequently. This fact speaks about nitrification process coming through not deep enough, in spite of the high sludge age in the system. This may be caused by lack of carbon feeding, which is very important for nitrification-autotrophy bacteria taking part in nitrification process. Low nitrification velocity may also cause the reverse process, which was partly confirmed by sanitary and chemical analyses. Backward nitrification makes denitrification reaction low down,

Tab. 1. Basic parameters of research installation- Kolomna WWTP.

Parameters	Parameters of treated sewage with a new technology (mg/dm^3)	Limits for sewage discharged to fishery water (mg/dm^3)
Ammonium nitrogen	0.06-0.2	0.39
Nitrates nitrogen	0,0	0.01
Nitrites nitrogen	7.5-9.1	9.1
Total phosphorous	1.0-1.3	0.2
BOD_5	1.5 to 3.0	3.0
COD	20-65	No limits

Own research

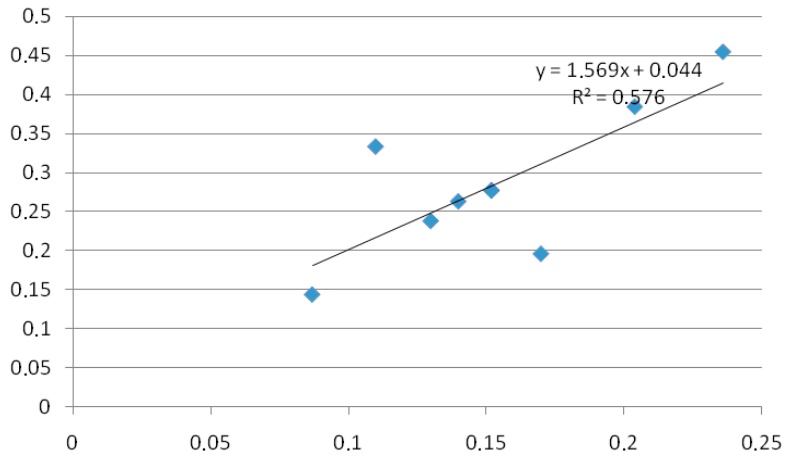


Fig. 1. Double opposite magnitudes relation $1/\rho = f(1/Lex)$; (ρ – specific oxidation velocity, mg/h, *Lex* – BOD of purified waste water, mg/l).

which was also confirmed by obtained data. Moreover, the effective denitrification coming over also requires carbon feeding for heterotrophic bacteria. Lack of carbon feeding occurs even at the stage of denitrification process in spite of the wastewater addition into three corridor of the aeration tank. This fact was also caused by a lack of BOD load and a large sludge concentration. In order to confirm the calculation results graphic relations were performed, for characterizing the biological treatment process with nitrification and denitrification carrying out. Recently this and other similar methods have been observed by other authors (Daigger et al., 2014; Fernandez-Fontaina et al., 2014, Harun et al., 2014; Ikumi et al., 2014; Janeczko et al., 2014; Su et al., 2014; Jemaat et al., 2014; Jenni et al., 2014; Ofiţeru et al., 2014). Figure 1 presents points field for double opposite magnitudes relation design: $1/\rho = f(1/Lex)$; (ρ – specific oxidation velocity, mg/h, *Lex* – BOD of purified waste water, mg/l). Evidently, the point's field looks rather organized and may be subjected to a mathematical description. This fact proves this biological systems stability, which has prevalence in regard to biological foaling oxidation.

4. Conclusions

Relying on the analyses carried out for the biological system working in the Kolomna WWTP we can make a conclusion about the successful experiment carried out with the use of the stable system, which is based on nitrification activated sludge appliance, when the sludge contains bacteria-heterotrophic-nitrificators. Therefore, treatment stations reconstruction and new methods of deep wastewater treatment methods may solve the problem of waste water discharged into the receivers of Russian Federation without treatment. WWTP reconstruction must be based on the state-of-the-art science achievements with the use of hi-tech solutions, building materials, reagents in condition of using the existing volume of a treatment plant with minimum investments in new construction and with reaching the maximum treatment effect. This way we can decrease pollutants load discharged to the environment.

References

Daigger G.T., Littleton H.X. (2014). Simultaneous biological nutrient removal: A state-of-the-art review. *Water Environment Research*, Vol. 86, No. 3, 245-257.

Fernandez-Fontaina E., Carballa M., Omil F., Lema J.M. (2014). Modelling cometabolic biotransformation of organic micropollutants in nitrifying reactors. *Water Research*, Vol. 65, 371-383.

Gogina E.S., Ruzhitskaya O.A., Yantsen O.V. (2014). Investigation of the processes of nitrification and denitrification in wastewater treatment. *Advanced Materials Research*, Vol. 919-921, 2145-2148.

Hao O.J., Huang J. (1996). Alternating aerobic-anoxic process for nitrogen removal: process evaluation. *Water Environment Research*, Vol. 68, No. 1, 83-93.

Harun H., Anuar A.N., Ujang Z., Rosman N.H., Othman I. (2014). Performance of aerobic granular sludge at variable circulation rate in anaerobic-aerobic conditions. *Water Science and Technology*, Vol. 69, No. 11, 2252-2257.

Hu Z.-R., Wentzel M.C., Ekama G.A. (2002). Anoxic growth of phosphate-accumulating organisms (PAOs) in biological nutrient removal activated sludge systems. *Water Research*, Vol. 36, No. 19, 4927-4937.

Ikumi D.S., Harding T.H., Ekama G.A. (2014). Biodegradability of wastewater and activated sludge organics in anaerobic digestion. *Water Research*, Vol. 56, 267-279.

Janeczko A.K., Walters E.B., Schuldt S.J., Magnuson M.L., Willison S.A., Brown L.M., Ruiz O.N., Felker D.L., Racz L. (2014). Fate of malathion and a phosphoric acid in activated sludge with varying solids retention times. *Water Research*, Vol. 57, 127-139.

Jemaat Z., Suárez-Ojeda M.E., Pérez J., Carrera J. (2014). Partial nitritation and *o*-cresol removal with aerobic granular biomass in a continuous airlift reactor. *Water Research*, Vol. 48, 354-362.

Jenni S., Vlaeminck S.E., Morgenroth E., Udert K.M. (2014). Successful application of nitritation/anammox to wastewater with elevated organic carbon to ammonia ratios. *Water Research*, Vol. 49, 316-326.

Krishna Ch., Van Loosdrecht M.C.M. (1999). Substrate flux into storage and growth in relation to activated sludge modeling. *Water Research*, Vol. 33, No. 14, 3149-3161.

Ofiţeru I.D., Bellucci M., Picioreanu C., Lavric V., Curtis T.P. (2014). Multi-scale modelling of bioreactor-separator system for wastewater treatment with two-dimensional activated sludge floc dynamics. *Water Research*, Vol. 50, 382-395.

Salomeyev V.P., Pobegaylo Yu.P., Gogina E.S., Ruzhitskaya O.A., Ryzhkov A.D., Shipitsin M.N. (2010). Patent napoleznuyu model: "Ustanovka dlya biologicheskoy ochistki stochnykh vod ot organicheskikh zagryazneniy i ammoniynogo azota", Nomer patenta: 91715, Strana: Rossiya; Data registratsii: 03.03.2009, Nomer zayavki: 2009107450/22.

Spanjers H., Vanrolleghem P. (1995). Respirometry as a tool for rapid characterization of wastewater and activated sludge. *Water Science and Technology*, Vol. 31, No. 2, 105-114.

Su J.-J., Chang Y.-Ch., Huang S.-M. (2014). Ammonium reduction from piggery wastewater using immobilized ammonium-reducing bacteria with a full-scale sequencing batch reactor on farm. *Water Science and Technology*, Vol. 69, No. 4, 840-846.

Surmacz-Gorska J., Gernaey K., Demuynck C., Vanrolleghem P., Verstraete W. (1996). Nitrification monitoring in activated sludge by oxygen uptake rate (OUR) measurements. *Water Research*, Vol. 30, No. 5, 1228-1236.

Wang L.K., Shammas N.K. (2009). Single-Sludge Biological Systems for Nutrients Removal. W: *Advanced Biological Treatment Processes, Series: Handbook of Environmental Engineering, L.K. Wang, N.K. Shammas, Y-T Hung (eds.)*, Vol. 9, 209-270.

www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 7 (2016) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

STAN TECHNICZNY I KIERUNKI PRAC NAPRAWCZYCH ZABYTKOWEJ KONSTRUKCJI BUDYNKU KOŚCIOŁA p.w. WNIEBOWZIĘCIA NAJŚWIĘTSZEJ MARYI PANNY W BIAŁYMSTOKU

Czesław MIEDZIAŁOWSKI*, Marcin SZKOBODZIŃSKI

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

Streszczenie: Na wstępie pracy opisano analizowany zabytkowy obiekt to jest budynek kościoła p.w. Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny w Białymstoku. Następnie przedstawiono stan techniczny budynku tzn. elewacji, sklepień, filarów i murów wewnętrznych oraz więźby dachowej. Podano występujące uszkodzenia oraz procesy destrukcyjne głównych elementów. Zwrócono uwagę zarówno na procesy typu statyczno-wytrzymałościowego jak korozyjne w drewnie oraz w konstrukcjach murowych. Uwzględniono przy tym czynniki czasu w omawianych zagadnieniach. W drugiej części pracy podano zalecane kierunki prac naprawczych głównie elewacji, sklepień i więźby dachowej. Prace naprawcze powinny objąć konstrukcje nośne, pokrycie oraz elewację i tynki wewnętrzne. Na zakończenie załączono podsumowanie i wnioski co do istotności, pilności i kolejności prac naprawczych.

Słowa kluczowe: obiekty zabytkowe, budynek kościoła w Białymstoku, stan techniczny, kierunki napraw.

1. Wprowadzenie

Zabytkowe obiekty sakralne powstałe w Polsce na przełomie XIX i XX wieku stwarzają szereg problemów związanych z zachowaniem ich odpowiedniego stanu technicznego i właściwych funkcji użytkowych. W związku z koniecznością ochrony dziedzictwa narodowego, stanowiącego nierozłączny element życia społecznego i edukacji przyszłych pokoleń, należy podejmować odpowiednie działania mające na celu zabezpieczenie tych obiektów przed szeroko rozumianymi czynnikami destrukcyjnymi. Proces ochrony zabytków w Polsce reguluje prawnie ustawa z dnia 23 lipca 2003 roku o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Dz.U. z 2014, poz. 1446), podkreślając istotność okresowych kontroli stanu technicznego i szczegółowość analizowania ich pod względem użytkowym. Znaczenie ekspertyz stanu technicznego ilustruje na przykładach praca (Gawroń i in., 2000), podkreślając ich istotność dla zwiększenia jakości prac naprawczych. Rozpoczęcie jakichkolwiek działań musi być przemyślane i powinno uwzględniać wszystkie etapy procesu konserwatorskiego. Częściami takiego opracowania, bezpośrednio odnoszącymi się do tematu zagadnień konstrukcyjnych jest sprawdzenie stanu technicznego budowli na etapie przedprojektowym oraz wykonanie projektu konstrukcyjnego na etapie prac projektowych (Tajchman, 2009). Nieumiejętne zaplanowanie działań zarówno pod względem merytorycznym, jak też organizacyjnym może skutkować często nieodwracalnymi szkodami lub koniecznością ponoszenia dodatkowych nakładów finansowych.

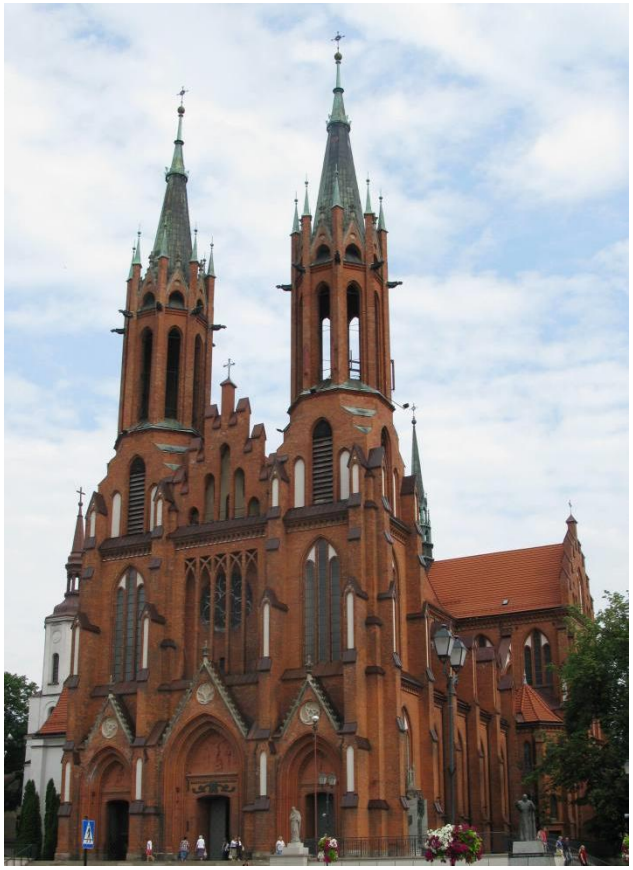
W artykule przedstawiono wyniki prac badawczych przeprowadzonych w celu określenia stanu technicznego oraz wydania zaleceń naprawczych zabytkowego obiektu sakralnego wzniesionego w stylu neogotyckim na przełomie XIX i XX wieku w Polsce, na przykładzie kościoła p.w. Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny (WNMP) w Białymstoku.

2. Opis obiektu zabytkowego

Kościół p.w. Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny (białostocka Fara) został wybudowany w stylu neogotyckim wiślano-bałtyckim w latach 1900-1905. Był to styl popularny w Polsce na przełomie XIX i XX wieku w architekturze kościołów i charakteryzował się ostrołukową bryłą i kształtem nawiązującym do klasycznego gotyku (rys. 1).

Obiekt w planie jest ukształtowany w formie krzyża łacińskiego i ma długość około 68 m, a szerokość około 35 m. Kościół składa się z nawy głównej o szerokości 10 m oraz dwóch naw bocznych o szerokości 6,25 m każda. Prostopadle do osi naw zlokalizowany jest transept o szerokości około 10 m, a jego długość stanowi całkowitą szerokość całej świątyni. Całkowita wysokość

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: c.miedzialowski@pb.edu.pl



Rys. 1. Elewacja frontowa budynku kościoła

świątyni wynosi 72 m. Ściany zewnętrzne obiektu są wzmocnione regularnie rozmieszczonymi szkarpami, a w części nawy głównej dodatkowo łukami przyporowymi, pozwalającymi na przeniesienie obciążenia wiatrem i sił rozporu ze sklepień na niższe partie konstrukcji. Nad wnętrzem w strefie nawowej, prezbiterium i w częściach bocznych transeptu rozpościerają się na wysokości około 23 m układy sklepień krzyżowo-żebrowych podpartych systemem filarów oraz ścianami zewnętrznymi. Nad konstrukcją sklepień zlokalizowana jest drewniana więźba dachowa, która nad nawą główną, transeptem i prezbiterium ma ustrój wieszarowy, zaś nad nawami bocznymi – płatwiowo-stolcowy. Kościół jest obiektem o konstrukcji murowej i nie ma podpiwniczenia.

Świątynia zarówno od strony zewnętrznej, jak też wewnątrz posiada liczne zdobienia, do których można zaliczyć takie elementy, jak: blendy, pinakle, stopniowane szkarpy i ich daszki, wimpergi, kwiatony, służki, specyficzne głowice czy rzygacze.

3. Stan techniczny obiektu

Budynek kościoła Farnego w Białymstoku ma ponad 110 letni okres eksploatacji i w tym czasie był narażony na wiele czynników powodujących jego stopniowe niszczenie. Ważny wpływ na obecny stan budowli miały nie tylko czynniki wynikające bezpośrednio z trwałości elementów, lecz również oddziaływania o charakterze wyjątkowym związane z działaniami wojskowymi przeprowadzanymi podczas II wojny światowej i bezpośrednio po jej zakończeniu. Serie wstrząsów wywołane wybuchami podczas wyburzania miasta były jedną z głównych przyczyn pierwszych pęknięć i zarysowań elementów konstrukcyjnych (Jabłoński, 2008; Miedziałowski i in., 2014). Bezpośrednio po wojnie i w latach następnych dokonywano regularnych przeglądów i napraw dotyczących, między innymi: wymiany cegieł, napraw systemu odwodnienia oraz pokrycia dachu, napraw elementów wykończeniowych czy łuków przyporowych i wież. Przeprowadzone przeglądy i identyfikacje potwierdziły użycie materiałów o słabej jakości, co było przyczyną przyspieszenia zachodzących procesów korozyjnych. Już w roku 1927 przeprowadzono pierwszy remont elewacji (Jabłoński, 2008). Stan techniczny przed ostatnim remontem sklepień w 2014 roku i wież w 2015 roku przedstawiono w artykule, wskazując powstałe uszkodzenia i przyczyny ich wystąpienia.

3.1. Elewacja

Obecny stan techniczny elewacji wykazuje cechy postępującej degradacji materiałów. Widoczne są przede wszystkim liczne ubytki zarówno w elementach murowych, jak i spoinach je łączących (rys. 2). Dodatkowo, zauważalne są wykwity na powierzchniach zewnętrznych oraz pęknięcia najczęściej zlokalizowane na połączeniach elementów ceramicznych z betonowymi. Widoczne są również pęknięcia podłużne murowych elementów konstrukcyjnych i tych pełniących funkcję dekoracyjną.

Rys. 2. Uszkodzenia elewacji budynku kościoła

Na powierzchniach zlokalizowanych od strony północnej oraz w strefach zwiększonego zacienienia obserwuje się porost roślinności (glony, mchy) i skupiska grzybów.

3.2. Sklepienia

Głównymi uszkodzeniami w sklepieniach są rysy i pęknięcia, których powstanie miało wielopłaszczyznowe przyczyny w przeszłości. We wszystkich sklepieniach zaobserwowano mniejsze lub większe uszkodzenia zlokalizowane w pobliżu połączenia ze ścianami (rys. 3).

Rys. 3. Uszkodzenia sklepień budynku kościoła

Przyczyn uszkodzeń można doszukiwać się w czynnikach ściśle wynikających z pracy statycznej konstrukcji. Sposób propagacji rys i pęknięć wskazuje, że w analizowanych ustrojach nie przewidziano dylatacji, co w wyniku oddziaływania obciążeń pionowych na konstrukcję sklepień spowodowało powstawanie naprężeń rozciągających w strefach przyściennych, na które sklepienia nie są odporne. Warto tutaj zaznaczyć, że nie bez znaczenia pozostaje fakt braku jednej z przypór bocznych w miejscu kościoła „starego". Wybudowanie w tym miejscu podpory dla ścian było niemożliwe i spowodowało znaczące konsekwencje w globalnej pracy statycznej budowli. Zwiększone przemieszczenia doprowadziły najprawdopodobniej do rozprzestrzeniania się rys i pęknięć w konstrukcji.

Zwiększenie ilości wody w sklepieniach było podyktowane nieszczelnościami w pokryciu dachu.

Nie sposób pominąć wpływu wcześniej wspomnianych działań wojennych prowadzonych na terenie miasta. Wynikiem tych wybuchów było najprawdopodobniej zruszenie pierwotnego oparcia sklepień i powstanie pierwszych pęknięć oraz rys (Jabłoński, 2008). W ten sam sposób w latach późniejszych, lecz na nieco mniejszą skalę, obiekt był narażony na drgania związane z ruchem drogowym w bliskim sąsiedztwie kościoła.

3.3. Filary i mury wewnętrzne

Stan techniczny filarów i murów wewnętrznych nie wykazuje większych uszkodzeń i zarysowań, dlatego też ocenia się go jako zadowalający. Jedynie wizualnie dostrzegalne są zawilgocenia i wykwity, najprawdopodobniej powstałe wskutek zaciekania wody przez nieszczelne przekrycie dachu. W ścianach wewnętrznych, w okolicach nadproży łukowych, obserwuje się zarysowanie mogące wynikać z pracy statycznej łuku stanowiącego element nadotworowy.

3.4. Więźba dachowa

Obecny stan więźby dachowej wskazuje na niezbyt wysoki poziom staranności jej wykonania na etapie budowy i jakości zastosowanych materiałów. W analizowanej konstrukcji brakuje stalowych okuć i śrub w połączeniach, charakterystycznych dla tego typu ustrojów i pełniących funkcję zabezpieczającą przed potencjalnymi przemieszczeniami w węzłach. W całym ustroju widoczne jest bardzo duże zróżnicowanie przekrojów poprzecznych krokwi, słupów oraz rzadziej innych elementów pod względem ich wymiarów oraz kształtu. Elementy o mniejszym przekroju poprzecznym są wzmocnione nabitymi po długości deskami.

Istotnym problemem są nieszczelności w pokryciu dachówką oraz w folii dachowej. Rezultatem tego są ślady korozji biologicznej występującej w elementach konstrukcji.

Na powierzchniach elementów konstrukcyjnych występują ślady działalności grzybów domowych (rys. 4). Zaatakowane zostały przede wszystkim nawy boczne, a ingerencja dotyczy powierzchni podłóg, desek pokrycia, płatwi oraz krokwi. Występowanie w tych miejscach grzybów domowych wynika głównie z doskonałych warunków dla ich rozwoju. W nawach bocznych panuje podwyższona temperatura i brakuje odpowiedniej wentylacji, przez co wilgoć potencjalnie dostająca się do wnętrza jest trudniej usuwana na zewnątrz.

Pomimo, iż więźba dachowa kościoła na przestrzeni swojego dotychczasowego istnienia była impregnowana przed szkodnikami technicznymi drewna, to w konstrukcji można znaleźć elementy niezaimpregnowane, wykonane najprawdopodobniej podczas ostatniego remontu dachu w 2005 roku. W konstrukcji nad nawą główną, a dokładniej w krokwiach, słupach, belkach i deskach podłogowych znajdują się ślady destrukcyjnego działania owadów. Ślady działalności korozyjnej szkodników technicznych dostrzegalne są natomiast w konstrukcji wieżyczek pomieszczeń przylegających do prezbiterium.

Rys. 4. Widoczne miejsca występowania grzybów domowych w konstrukcji dachu

4. Kierunki prac naprawczych

Przeprowadzone badania uszkodzeń, ich identyfikacja oraz ocena przyczyn powstania są punktem wyjściowym do opracowania racjonalnych i skutecznych metod przeciwdziałających dalszemu niszczeniu budowli. Zaproponowano więc rozwiązania pozwalające na naprawę i zabezpieczenie w odpowiednim stopniu obiektu przed czynnikami środowiskowymi. Wnioski i zalecenia na podstawie (Makarewicz i in., 2013-2014; Miedziałowski i in., 2014) dotyczące poszczególnych ustrojów konstrukcyjnych przedstawiono w kolejnych punktach.

4.1. Elewacja

System prac naprawczych i zabezpieczających elewacji dotyczy przede wszystkim usunięcia wykwitów i powierzchniowo porastającej roślinności. Dodatkowo, z uwagi na problemy związane z zastosowaniem różnych zapraw zalecono usunięcie spoin cementowych i uzupełnienie ubytków zarówno cegieł, jak też spoin – zaprawą paroprzepuszczalną. Zalecono również wzmocnienie spękanych elementów konstrukcyjnych poprzez iniekcję i elementy stalowe ze stali nierdzewnej. Spękane elementy ozdobne powinny być wymienione na nowe.

4.2. Sklepienia

Stan techniczny sklepień wykazuje liczne rysy i pęknięcia niemal w każdym przęśle konstrukcji. Dlatego też, głównym zaleceniem było przeprowadzenie prac wzmacniających przy zastosowaniu zespolenia istniejącej konstrukcji poprzez iniekcję, matami z włókien węglanowych lub nadbetonem zbrojonym siatkami stalowymi. Zwrócono też uwagę na konieczność ocieplenia sklepień w celu zabezpieczenia konstrukcji przed kondensacją pary wodnej na powierzchniach zimnych i przed nadmiernymi ruchami termicznymi. Ze względu na aspekty wizualne istotne staje się usunięcie śladów miejsc zawilgoconych oraz wykonanie renowacji tynków.

4.3. Filary i mury wewnętrzne

W konstrukcji filarów i murów wewnętrznych nie występują znaczące ubytki, rysy, a tym bardziej spękania. Niemniej jednak, ze względu na konieczność zwiększenia sztywności przestrzennej obiektu, przewidziano wykonanie wieńców obwodowych w poziomie sklepień i góry ścian nawy głównej. Zalecono wykonanie płaskiej kratownicy stalowej zorientowanej poziomo, uciąglonej w przęśle ściany pozbawionej przypory bocznej i przęsłach sąsiadujących. Zaproponowano również rozpory-ściągi pomiędzy ścianami podłużnymi zlokalizowane pod ściągami więźby dachowej. W miejscach wymagających uzupełnień materiałów zaproponowano zastosowanie iniekcji ciśnieniowej. Podobnie jak w przypadku sklepień, zalecono renowację tynków.

4.4. Więźba dachowa

Głównymi zaleceniami odnoszącymi się do drewnianej konstrukcji więźby dachowej były zalecenia polegające na dodatkowym usztywnieniu poprzez wzmocnienie elementów o małych przekrojach oraz węzłów wiązarów za pomocą stalowych okuć i śrub. Ten zabieg pozwoli na zwiększenie sztywności wiązarów, a tym samym całego ustroju nośnego dachu. Dodatkowo, zaproponowano zwiększenie sztywności przestrzennej ustroju

wieszarowego poprzez utworzenie kratownicy płaskiej z płatwi stolcowych, zapobiegającej nadmiernym przemieszczeniom poziomym. Szczególnie odnosi się to do przęsła nawy głównej pozbawionej przypory bocznej. Przewidziano zabezpieczenie pęknięć wzdłużnych w drewnie, przez uzupełnienie szczeliny specjalistycznymi preparatami przeznaczonymi na ten cel, aby umożliwić współpracę całego przekroju poprzecznego w przekazywaniu obciążeń. Niezwykle ważne jest również zlokalizowanie i usunięcie uszkodzeń pokrycia, nieszczelności w obróbkach stalowych i systemie odwodnienia połaci dachowych celem zmniejszenie dostępu wody do konstrukcji i wnętrza obiektu. Zalecono ponadto usunięcie elementów zaatakowanych przez grzyby domowe oraz szkodniki techniczne drewna, a następnie zastąpienie ich elementami nowymi. Należy rozpatrzyć wprowadzenie urządzeń zapewniających lepszą wentylację poddaszy nad nawami bocznymi ograniczającą sprzyjające rozwojowi grzybów środowisko. Zaproponowano przeprowadzenie gruntownej impregnacji konstrukcji z możliwością mechanicznego usunięcia warstwy drewna z widocznymi śladami działalności owadów. Jednocześnie więźbę dachową zalecono oczyścić z nieczystości, pozostałości „starego" drewna i ograniczyć dostęp wszelkiemu ptactwu do przestrzeni poddasza.

5. Podsumowanie i wnioski

W opracowaniu przedstawiono stan techniczny budynku kościoła p.w. Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny w Białymstoku, jako przykładu świątyni wybudowanej w stylu neogotyckim w odmianie wiślano-bałtyckiej na przełomie XIX i XX wieku w Polsce. Na podstawie przeprowadzonej szczegółowej inwentaryzacji i identyfikacji głównych ustrojów konstrukcyjnych wykryto liczne syndromy wskazujące na postępujące niszczenie analizowanego obiektu. W związku z koniecznością przeciwdziałania negatywnym czynnikom korozyjnym i naprawy dotychczas powstałych uszkodzeń, sformułowano zalecenia mające na celu przywrócenie stanu technicznego budynku do należytego, zadowalającego poziomu eksploatacyjnego. Wskazano, iż przeprowadzenie prac konserwatorskich powinno być przeprowadzone w trybie natychmiastowym, aby nie dopuścić do dalszych uszkodzeń, mogących mieć nieodwracalne w skutkach konsekwencje dla budowli. Jednocześnie zaznacza się, iż w przypadku tego typu prac wykonawczych ingerujących w obiekt, konieczne jest opracowanie projektu konserwatorskiego, jeszcze przed wykonaniem jakichkolwiek działań, który uwzględnia wszystkie aspekty odpowiedniej ochrony zabytków.

Literatura

Gawroń K. i in. (2000). Znaczenie ekspertyz stanu technicznego budynków w procesie remontowym. W: *Materiały IX Konferencji Naukowo-technicznej REMO 2000: „Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych"*, Wrocław-Szklarska Poręba.

Jabłoński K. A. (2008). Biały i czerwony. Kościoły białostockiej parafii farnej. *Wydawnictwo Buk*, Białystok.

Makarewicz A. i in. (2013-2014). Inwentaryzacja i projekt budowlany remontu i przebudowy kościoła parafialnego p.w. Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny w Białymstoku. Maszynopis, Białystok.

Miedziałowski Cz. i in. (2014). Ekspertyza budynku kościoła p.w. Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny w Białymstoku w związku z pękaniem sklepień. Maszynopis, Białystok.

Tajchman J. (2009). Metoda konserwacji i restauracji dziedzictwa architektonicznego w zakresie zabytkowych budowli. Maszynopis, Toruń.

Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami. Dz.U. z 2014, poz. 1446.

TECHNICAL CONDITION AND REMEDIAL WORK DIRECTIONS OF HISTORIC STRUCTURE OF THE CHURCH OF THE ASSUMPTION OF THE BLESSED VIRGIN MARY IN BIAŁYSTOK

Abstract: The introduction of the paper contains architectural description of the analysed object – a building of the historic church in Bialystok. Then technical condition of the building, its facades, vaults, roof truss, interior walls and pillars, was presented. The existing damages and destructive processes were described. Particular attention was paid to static durability processes, such as: corrosive process of wood and masonry structures. Time factors in discussed issues were taken into account as well. In the second part of the paper recommended directions of remedial works, mainly focused on facades, vaults and roof truss, were presented. Remedial works should include load-bearing elements, roofing, facade and interior plasters. Summary contains conclusions regarding the relevance, urgency and order of repair work.

www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 7 (2016) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

WPŁYW STOSOWANIA DROBNEGO KRUSZYWA Z RECYKLINGU NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW CEMENTOWYCH

Edyta PAWLUCZUK*, Karolina KOZAK

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Praca dotyczy ustalenia wpływu stosowania drobnego kruszywa z recyklingu na wybrane właściwości kompozytów cementowych. Frakcję z recyklingu uzyskano w wyniku rozdrobnienia wcześniej przygotowanych do tego celu próbek laboratoryjnych z normowej zaprawy cementowej. Do zrealizowania badań zaplanowano pełny eksperyment obejmujący w sumie 11 serii, w którym zmiennymi były: zawartość drobnego kruszywa z recyklingu (0-60%) oraz temperatura jego prażenia (0-850°C). Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że drobne kruszywo z recyklingu generalnie negatywnie wpływa na badane właściwości kompozytów cementowych. Efekt ten może być jednak ograniczony poprzez zastosowanie obróbki termiczno-mechanicznej drobnej frakcji recyklingowej.

Słowa kluczowe: drobne kruszywo z recyklingu, kompozyty cementowe, właściwości fizyczno-mechaniczne, skurcz.

1. Wprowadzenie

Beton jest materiałem powszechnie stosowanym w przemyśle budowlanym z uwagi na jego liczne zalety, takie jak: stosunkowo niski koszt, dostępność składników, zdolność do wypełniania zróżnicowanych form, dobra odporność ogniowa czy wreszcie trwałość. Dodatkowo jeszcze beton może liczyć na drugie życie, co potwierdzają wyniki badań przedstawiane w licznych publikacjach (McNeil i Kang, 2013; Pawluczuk, 2011; Pedro i in., 2014; Silva i in., 2014). Recykling gruzu betonowego uzyskanego przy budowie czy rozbiórce obiektów jest rozwiązaniem wysoce ekologicznym, wpisującym się w zasadę zrównoważonego rozwoju. Norma PN-EN 206:2014 *Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność* określa wymagania i warunki stosowania kruszywa z recyklingu do betonu w zależności od klasy ekspozycji. Jednakże uwarunkowania te dotyczą wyłącznie grubych frakcji z recyklingu (>4 mm). Zwykle drobny materiał traktowany jest jako odpad z uwagi na wysoką zawartość w nim pyłów oraz zanieczyszczeń (Sánchez de Juan i Gutiérrez, 2009) i zwykle jest składowany. Generalnie obecność kruszywa z recyklingu powoduje pogorszenie wszystkich parametrów betonu, natomiast efekt ten może być ograniczony poprzez stosowanie piasku naturalnego w charakterze kruszywa drobnego (Khoshkenari i in., 2014; Zhao i in., 2015).

Założeniem niniejszego artykułu była poprawa właściwości drobnego kruszywa z recyklingu poprzez wcześniejsze jego wyprażenie w celu częściowego usunięcia z jego powierzchni zaczynu cementowego oraz aktywacji pucolanowej produktów hydratacji cementu. Przedstawiono wyniki badań kruszywa oraz kompozytu cementowego przygotowanego z jego udziałem. W celu wyeliminowania wpływu ewentualnych zanieczyszczeń, kruszywo drobne do badań wykonano z zaprawy normowej rozkruszonej po 28 dniach dojrzewania.

2. Technologia odzysku drobnego kruszywa recyklingowego

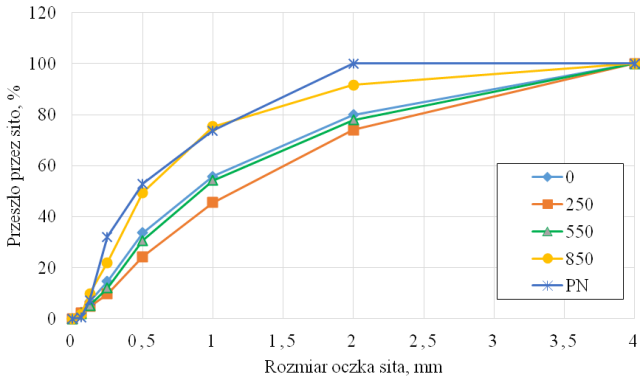
Do wykonania recyklingowej frakcji drobnej przygotowano próbki z zaprawy normowej zgodnie z normą PN-EN 196-1:2006 *Metody badania cementu. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości*. Cement, który został użyty do wykonania próbek to cement portlandzki CEM I 42,5R. Beleczki dojrzewały przez 28 dni w wilgotnych warunkach, po czym ustalono ich wytrzymałość na zginanie i ściskanie oraz przetworzono na drobne kruszywo. W tabeli 1 przedstawiono średnie wyniki badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie beleczek z zaprawy normowej.

Tab. 1. Średnie wyniki badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie po 28 dniach dojrzewania

Beleczki z zaprawy normowej, 4×4×16 cm	Średnia wytrzymałość na zginanie [MPa]	Średnia wytrzymałość na ściskanie [MPa]
	6,82	37,11

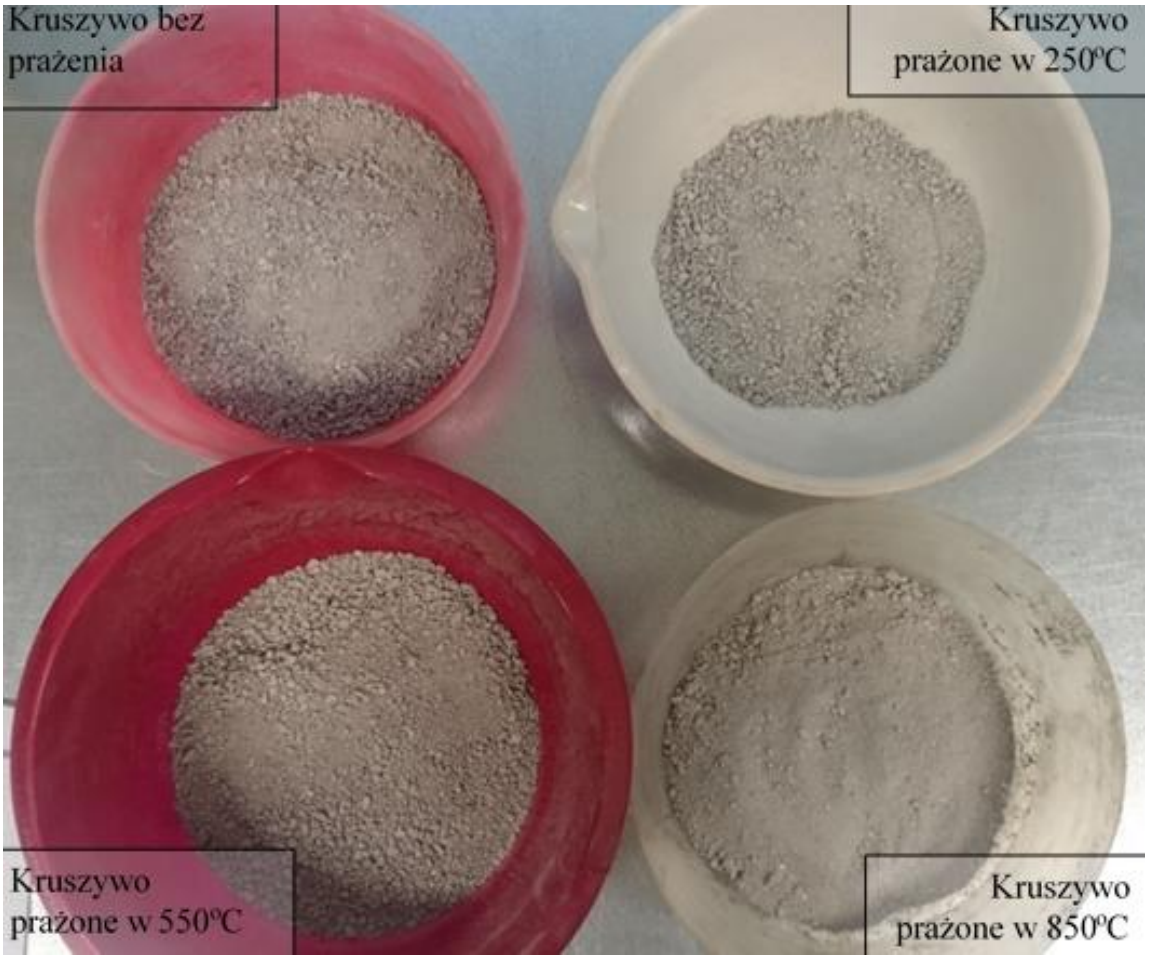
* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: e.pawluczuk@pb.edu.pl

Po zbadaniu wytrzymałości na ściskanie i zginanie powstały gruz skruszono wstępnie w szczękowej kruszarce laboratoryjnej LAB 02-130 do frakcji poniżej 16 mm. Po rozkruszeniu wstępnym materiał został wyprażony w piecu ceramicznym CT100EK w przewidzianych eksperymentem temperaturach odpowiednio: 250, 550 i 850°C. Prażenie gruzu z zaprawy cementowej miało na celu łatwiejsze usunięcie porowatego zaczynu cementowego z powierzchni ziaren piasku oraz przywrócenie aktywności pucolanowej pozostałym produktom hydratacji cementu. Po wyprażeniu kruszywo zostało domielone w młynku microDevala do frakcji 0/4 mm. Uzyskany materiał przepłukano na sicie 0,063 mm w celu usunięcia pyłów, wysuszono w temperaturze około 50°C i przeprowadzono stosowne badania. Na rysunku 1 przedstawiono przygotowane do badań kruszywa z recyklingu w zależności od temperatury ich prażenia. Można stwierdzić, że wraz ze wzrostem temperatury wzrasta również zawartość cząstek najdrobniejszych w kruszywie, co potwierdza również wykonana analiza sitowa poszczególnych materiałów (rys. 2).



Rys. 2. Krzywa uziarnienia piasku normowego (PN) i drobnych frakcji recyklingowych w zależności od temperatury prażenia

Wyniki badań gęstości nasypowej, gęstości objętościowej i nasiąkliwości frakcji recyklingowej i piasku normowego ustalone według PN-EN 1097-3:2000 *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie gęstości nasypowej i jamistości* i PN-EN 1097-6:2002 *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 6: Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości* przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 1. Kruszywa z recyklingu stosowane do zapraw cementowych w zależności od temperatury prażenia

Tab. 2. Wyniki badań właściwości frakcji recyklingowej i piasku normowego

Cecha	Jednostka	Temperatura prażenia rozkruszonej zaprawy cementowej [°C]				Piasek normowy
		0	250	550	850	
Gęstość nasypowa	kg/dm^3	1,23	1,17	1,18	1,19	1,63
Gęstość objętościowa	kg/dm^3	-	-	-	2,49	2,71
Nasiąkliwość	%	-	-	-	10,3	1,35

Następnie wykonano analizę sitową zgodnie z normą PN-EN 933-1:2000/A1:2006 *Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewania*. Do przeprowadzenia oznaczenia przygotowywano po 300 g materiału z recyklingu wyprażonego w różnych temperaturach oraz nieprażonego. Materiał przygotowany do badania przesiewano za pomocą wstrząsarki automatycznej przez 10 minut. Wyniki analizy sitowej przedstawiono na rysunku 2.

W efekcie przeprowadzonych analiz sitowych stwierdzono obecność pyłów frakcji poniżej 0,063 mm, pomimo wcześniejszego odsiewania i płukania kruszywa. Może być to spowodowane uwalnianiem się w wodzie cząstek pyłów, a także oddzielaniem się zaczynu od ziaren piasku w czasie suszenia lub też przy wstrząsach mechanicznych. Zaobserwowano również, że wraz ze wzrostem temperatury prażenia nastąpił wzrost zawartości frakcji drobnych, co świadczy o stopniowym rozluźnianiu wiązania w strefie kontaktowej między kruszywem a matrycą cementową i oddzielaniu się drobnych cząstek od powierzchni ziaren piasku.

3. Przygotowanie planu badań

3.1. Wybór zmiennych i opracowanie planu eksperymentu

W celu ocenienia jednoczesnego wpływu dwóch czynników na wybrane właściwości zaprawy cementowej z kruszywem recyklingowym dobrano następujące zmienne do badań:

– X_1 – zawartość drobnej frakcji z recyklingu 0,063/4,0 mm (20; 40; 60), % objętości piasku normowego
– X_2 – temperatura prażenia zaprawy cementowej (250; 550; 850), °C.

Eksperyment badawczy obejmuje w sumie 11 serii przedstawionych w tabeli 3. Seria nr 10 zawierała maksymalną stosowaną w tym eksperymencie zawartość frakcji drobnej z recyklingu (60%), która nie została poddana prażeniu. Seria nr 11 stanowiła serię kontrolną i zawierała 100% piasku normowego.

3.2. Zaprojektowanie składu kompozytu cementowego

Wszystkie serie zaprojektowano przy stałym współczynniki w_e/c i stałej objętości kruszywa. Współczynnik w_e/c przyjęto na poziomie 0,5. W związku z tym, że drobne kruszywo z recyklingu wykazuje wysoką nasiąkliwość (tab. 2), zdecydowano się dodać do zaprawy wodę dodatkową. Składy zapraw cementowych z różną zawartością drobnego kruszywa z recyklingu przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 3. Plan eksperymentu badawczego

Seria	Zmienne rzeczywiste		Zmienne kodowane	
	X_1	X_2	x_1	x_2
	%	°C	-	-
1	20	250	-1	-1
2	40	250	0	-1
3	60	250	1	-1
4	20	550	-1	0
5	40	550	0	0
6	60	550	1	0
7	20	850	-1	1
8	40	850	0	1
9	60	850	1	1
10	60	0	frakcja recyklingowa nie prażona	
11	0	0	seria kontrolna	

Tab. 4. Zaprojektowany skład zaprawy cementowej z różnymi zawartościami drobnej frakcji z recyklingu

Składniki	jednostka	Zawartość drobnej frakcji z recyklingu, % objętości piasku normowego			
		0	20	40	60
CEM I 42,5R	g	450	450	450	450
w_e/c	-	0,5	0,5	0,5	0,5
Woda efektywna	ml	220,5	220,5	220,5	220,5
Woda dodatkowa	ml	0	18,7	37,5	56,2
Superplastyfikator	ml	4,5	4,5	4,5	4,5
Piasek normowy 0/2 mm	g	1350,0	1115,7	881,3	647,0
Frakcja z recyklingu 0,063/4 mm	g	-	234,3	468,7	703,0

3.3. Przygotowanie próbek do badań

Zaprawę cementową wykonywano w automatycznej mieszarce laboratoryjnej. Na początku mieszano drobną frakcję z recyklingu z wodą dodatkową przez 0,5 minuty, następnie odczekano 3 minutach aby woda została wchłonięta przez kruszywo i ponownie mieszano przez 0,5 minuty. W dalszej kolejności dodano piasek normowy (mieszanie 1 minuta), potem dozowano cement (mieszanie 1 minuta), a na końcu wodę efektywną z superplastyfikatorem (mieszanie 3 minuty).

Po przygotowaniu zaprawy cementowej formowano beleczki o wymiarach 40×40×160 mm, a także kostki o wymiarach 20×20×20 mm. Po rozformowaniu próbek umieszczono je w wannie z rusztem, pod którym znajdowała się woda w celu utrzymania wysokiej wilgotności. Po wymaganym okresie dojrzewania równym 28 dni przeprowadzono badania właściwości fizyczno-mechanicznych kompozytu cementowego.

4. Wykonanie badań i ich analiza

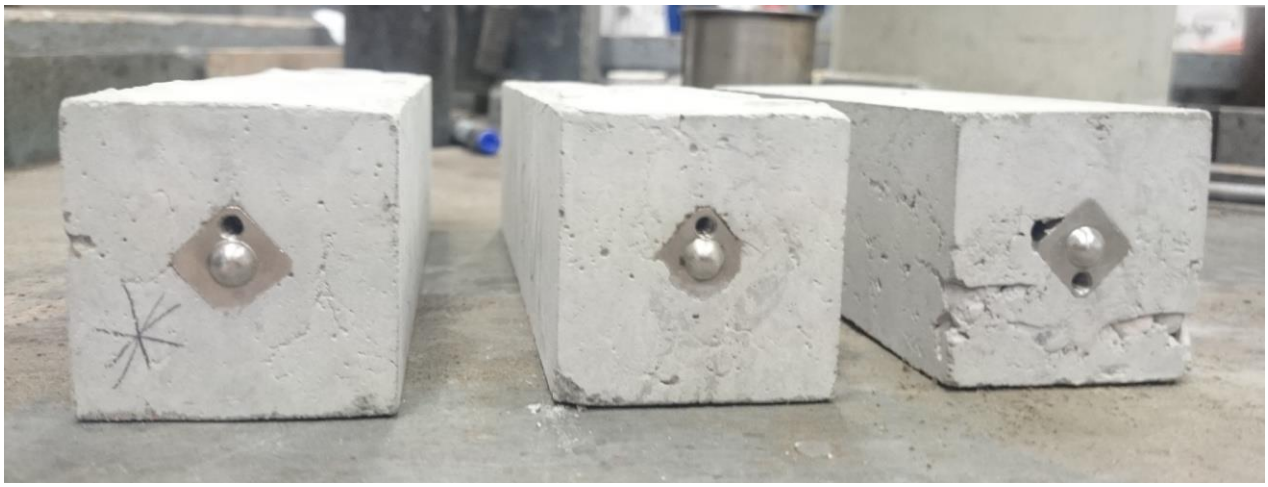
4.1. Skurcz kruszywa z recyklingu

Badanie skurczu drobnego kruszywa naturalnego i z recyklingu przeprowadzono na podstawie normy PN-EN 1367-4:2010 *Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 4: Oznaczanie skurczu przy wysychaniu*. Do tego celu przygotowano beleczki o wymiarach 200×50×50 mm z czopikami montowanymi na dwóch przeciwległych bokach form (rys. 3). Do badania wybrano serie z najwyższą zawartością kruszywa z recyklingu równą 60% przy różnych temperaturach prażenia (serie 3, 6, 9). Dla porównania wykonano badanie również próbek z kruszywem recyklingowym nieprażonym (seria 10) oraz kruszywem naturalnym (seria 11).

Badanie przeprowadzono za pomocą aparatu Graff-Kaufmana, a skurcz wyznaczono w procentach jako przeciętną zmianę długości beleczek w stosunku do ich końcowych długości po wysuszeniu według wzoru (1):

$$S = \frac{(w-d)}{l} \cdot 100\% \tag{1}$$

gdzie: w jest pomiarem początkowy w stanie wilgotnym w mm; d jest pomiarem w stanie suchym w mm, a l jest długością beleczki w stanie suchym w mm.



Rys. 3. Beleczki do badania skurczu kruszywa

W tabeli 5 przedstawiono średnie wyniki skurczu badanych kruszyw recyklingowych w zależności od temperatury prażenia i kruszywa naturalnego (piasku normowego).

Tab. 5. Średnie wyniki skurczu badanych kruszyw drobnych

Numer serii	3	6	9	10	11
Średni skurcz [%]	2,70	5,44	5,22	6,88	2,33

Najmniejszy skurcz uzyskano w serii 11 przygotowanej na bazie piasku normowego. Natomiast obecność drobnego kruszywa z recyklingu wyraźnie zwiększa skurcz badanych próbek. Największą wartość skurczu uzyskano dla serii 10, w której dozowano drobne kruszywo z recyklingu nie poddane prażeniu. Najmniejszą zaś wartość skurczu kruszywa recyklingowego zaobserwowano w przypadku jego prażenia w temperaturze 250°C i jest ona tylko o około 16% wyższa w odniesieniu do piasku normowego. Należy przy tym zaznaczyć, że uzyskane średnie wartości znacznie odbiegają od tych, które są dopuszczone w przedmiotowej normie.

4.2. Właściwości świeżej i stwardniałej zaprawy cementowej

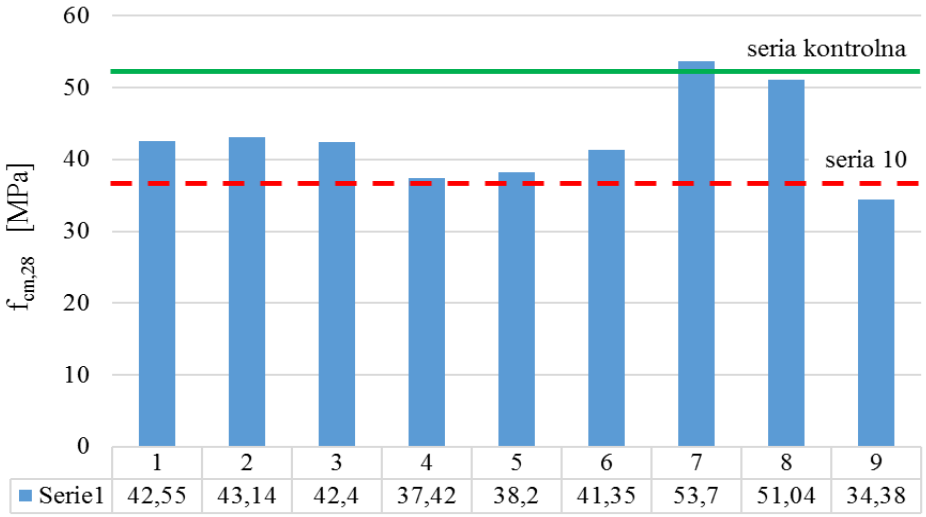
W tabeli 6 przedstawiono średnie wyniki badań świeżej zaprawy cementowej w postaci konsystencji mierzonej stolikiem rozpływu oraz gęstości, jak również stwardniałej zaprawy cementowej w zakresie wytrzymałości na ściskanie i zginanie oraz nasiąkliwości i gęstości pozornej.

We wszystkich badanych seriach uzyskano konsystencję ciekłą zaprawy cementowej (> 20 cm), co prawdopodobnie jest efektem dodania super-plastyfikatora w ilości 1% masy cementu. Wpłynęło to również na obniżoną gęstość zarówno świeżej, jak i stwardniałej zaprawy cementowej. Na rysunku 4 i 5 przedstawiono zmiany odpowiednio wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania oraz nasiąkliwości kompozytów cementowych w zależności od zawartości drobnego kruszywa z recyklingu i temperatury jego prażeni oraz porównano wyniki z uzyskanymi dla kruszywa recyklingowego nieprażonego (seria 10) i piasku normowego (seria kontrolna 11).

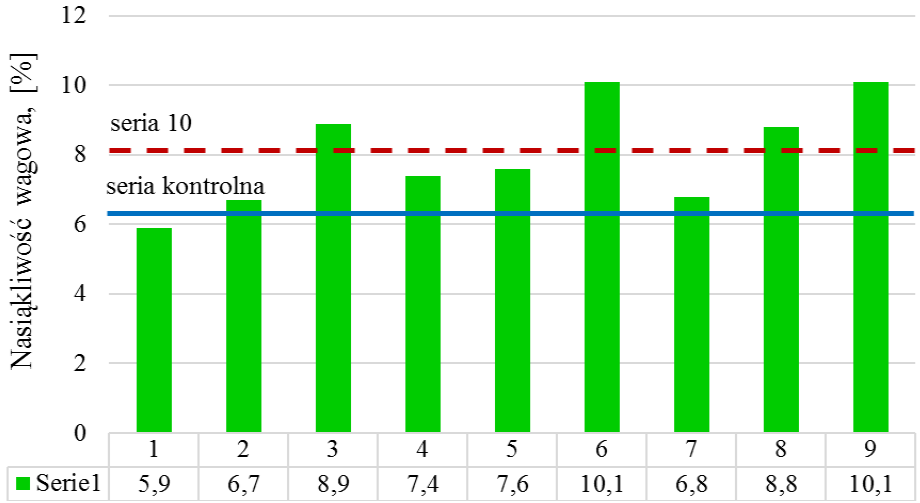
Dodatek drobnej frakcji recyklingowej spowodował obniżenie wytrzymałości na ściskanie kompozytów cementowych o około 28% (seria 10) w porównaniu z serią kontrolną. Jednakże proces prażenia kruszywa z recyklingu szczególnie w temperaturze 850°C istotnie poprawił właściwości wytrzymałościowe kompozytów cementowych przy jego zawartości do 40% masy piasku normowego. Korzystny wpływ odnotowano również przy prażeniu kruszywa w najniższej analizowanej temperaturze równej 250°C. Okazało się, że zabieg ten pozwolił na podniesienie wytrzymałości na ściskanie kompozytu o około 13% w porównaniu ze stosowaniem kruszywa nieprażonego (rys. 4).

Tab. 6. Średnie wyniki badań świeżej i stwardniałej zaprawy cementowej

Seria	Świeża zaprawa cementowa		Stwardniała zaprawa cementowa			
	Konsystencja	Gęstość	Wytrzymałość na ściskanie	Wytrzymałość na zginanie	Nasiąkliwość wagowa	Gęstość pozorna
	cm	kg/dm^3	MPa	MPa	%	kg/dm^3
1	23,5	2,15	42,55	6,6	5,9	2,06
2	23,2	2,08	43,14	6,2	6,7	2,01
3	23,0	2,07	42,40	7,6	8,9	1,92
4	24,0	2,21	37,42	6,5	7,4	2,02
5	22,7	2,07	38,20	6,0	7,6	2,02
6	22,5	2,03	41,35	6,7	10,1	1,86
7	23,4	2,17	53,70	6,5	6,8	2,10
8	23,0	2,14	51,04	7,1	8,8	1,96
9	22,5	1,76	34,38	6,9	10,1	1,78
10	20,2	1,95	37,50	6,6	8,1	1,92
11	24,0	2,21	52,12	6,8	6,2	2,11



Rys. 4. Średnia wytrzymałość na ściskanie badanych kompozytów cementowych



Rys. 5. Średnia nasiąkliwość badanych kompozytów cementowych

Zastosowanie drobnego kruszywa z recyklingu w ilości 60% wpłynęło również na wzrost nasiąkliwości wagowej kompozytów cementowych o około 30%, w porównaniu z serią kontrolną. Zaobserwowano również, że prażenie kruszywa spowodowało zwiększenie nasiąkliwości kompozytu w porównaniu z dodatkiem kruszywa nieprażonego w ilości 60% (rys. 5). Zjawisko to potwierdzają uzyskane wyniki gęstości pozornej kompozytów cementowych. Proces prażenia spowodował rozpad produktów hydratacji cementu w kruszywie recyklingowym w wyniku ich odwodnienia, a przy wyższych temperaturach rzędu 850°C nastąpiła dodatkowo kalcynacja $CaCO_3$ na tlenek wapnia i dwutlenek węgla. Doprowadziło to do spadku gęstości materiału recyklingowego (gęstość nasypowa w tabeli 2), co przełożyło się na wzrost nasiąkliwości kompozytu. Procesy dehydratacji i kalcynacji doprowadziły do odzyskania częściowej aktywności pucolanowej produktów rozpadu, co wpłynęło na poprawę parametrów wytrzymałościowych w zakresie wytrzymałości na ściskanie i zginanie (tabela 6).

5. Podsumowanie

Celem niniejszej pracy było ustalenie wpływu stosowania drobnej frakcji z recyklingu 0,063/4 mm na wybrane właściwości kompozytów cementowych. Materiał ten uzyskano poprzez pokruszenie uprzednio wykonanych próbek badawczych z zaprawy cementowej o składzie normowym, odsianie frakcji mniejszej od 0,063 mm i wypłukanie w celu pozbycia się pyłów i ewentualnych zanieczyszczeń, a następnie wysuszenie. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

– wraz ze wzrostem temperatury prażenia nastąpił wzrost zawartości pyłów w drobnej frakcji recyklingowej, co świadczy o stopniowym rozluźnianiu wiązania w strefie kontaktowej między kruszywem a matrycą cementową i oddzieleniu się drobnych cząstek od powierzchni ziarn piasku;
– wzrost zawartości frakcji z recyklingu spowodował nieznaczne pogorszenie konsystencji zaprawy cementowej oraz obniżenie jej gęstości; wynika to przede wszystkim z wysokiej nasiąkliwości i porowatości tego kruszywa;

- obecność drobnego kruszywa z recyklingu pogorszyła badane parametry kompozytu cementowego w porównaniu z serią kontrolną; przy maksymalnej zawartości frakcji recyklingowej zaobserwowano między innymi znaczny wzrost nasiąkliwości nawet o 60%, spadek gęstości o około 15% oraz obniżenie wytrzymałości na ściskanie o około 34% w porównaniu z kompozytem z piaskiem normowym; nie zaobserwowano natomiast istotnego wpływu na wartości wytrzymałości na zginanie w poszczególnych seriach;
- odsiewanie frakcji <0,063 mm i przepłukiwanie kruszywa zmniejszyło ilość pyłów, ale nie wyeliminowało ich całkowicie; kolejne pyły mogły się uwolnić w czasie przemywania kruszywa, gdyż obserwowano wypłukiwanie się cząstek zaczynu cementowego w czasie suszenia lub przy wstrząsach mechanicznych.

Wyniki potwierdzają, że obecność drobnej frakcji z recyklingu pogarsza parametry kompozytów cementowych, jednak stosowanie obróbki termiczno-mechanicznej już na poziomie 250°C może istotnie zniwelować ten niekorzystny wpływ.

Literatura

Khoshkenari A.G., Shafigh P., Moghimi M. Mahmud M.B. (2014). The role of 0-2 mm fine recycled concrete aggregate on the compressive and splitting tensile strengths of recycled concrete aggregate concrete. *Materials and Design*, Vol. 64, 345-354.

McNeil K., Kang T.H.-K. (2013). Recycled Concrete Aggregates: A Review. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol. 7(1), 61-69.

Pawluczuk E. (2011). Kształtowanie strefy kontaktowej kruszywo-zaczyn w betonach recyklingowych. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 2, No. 3, 369-376.

Pedro D., de Brito J., Evangelist L. (2014). Performance of concrete made with aggregates recycled from precasting industry waste: influence of the crushing process. *Materials and Structures*, Vol. 48 (12), 3965-3978.

Silva R. V., de Brito J., Dhir R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, Vol. 65, 201-217.

Sánchez de Juan M., Gutiérrez P.A. (2009). Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, No. 2, 872-877.

Zhao Z., Remond S., Damidot D., Xu W. (2015). Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. *Construction and Building Materials*, Vol. 81, 179-186.

INFLUENCE OF USING FINE RECYCLED AGGREGATE ON SELECTED PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITES

Abstract: The paper concerns the determination of the influence of using the fine recycled aggregates on selected properties of cement composites. Fine recycled aggregate was achieved as a result of crushing laboratory samples made of standardised cement mortar. To perform the test complete experiment consisting of 11 series was planned. Two different variables were: X_1 – content of fine recycled aggregate (0-60%) and X_2 – the temperature of mortar rubble roast (0-850°C). Based on the obtained results it was found that the fine recycled aggregate generally deteriorates the tested properties of cement composites. On the other hand this effect may be significantly limited by the use of thermal-mechanical treatment of recycled rubble.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy numer S/WBiIŚ/1/16 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 7 (2016) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

PROBLEMY GOSPODAROWANIA ŚRODOWISKIEM NA TERENACH ROLNICZYCH DOTKNIĘTYCH KLĘSKĄ POWODZI

Bożena PIĄTKOWSKA*

Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, Politechnika Warszawska Filia w Płocku, ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock

Streszczenie: W artykule opisano problemy gospodarowania środowiskiem na terenach rolniczych dotkniętych klęską powodzi w powiecie płockim w Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej. Przedstawiono przyczyny i skutki powodzi na tym terenie oraz wskazano działania przywracające właściwą jakość środowiska. Przedstawiono wyniki badań w zakresie: jakości wody ze studni przydomowych (liczba bakterii grupy coli, *Escherichia coli*, enterokoków), jakości powietrza w osuszanych budynkach mieszkalnych (liczba grzybów pleśniowych na podłożu Sabourauda) oraz jakości gleb użytków rolnych (zawartość metali ciężkich oznaczona spektrometrem absorpcji atomowej). Stwierdzono bardzo wysoką liczebność niepożądanych mikroorganizmów w wodzie studziennej i zanieczyszczenie mykologiczne powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych, ale brak zagrożenia produkcji rolniczej pod względem zawartości metali ciężkich w glebie.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo powodziowe, studnie przydomowe, użytki rolne, budynki mieszkalne.

1. Wprowadzenie

Do efektywnego korzystania z zasobów środowiska niezbędne jest likwidowanie skutków zjawisk ekstremalnych z uwzględnieniem skutków odroczonych w czasie, ujawniających się gdy społeczeństwo już nie mówi o powodzi. Tymczasem, najczęściej występuje ograniczanie się do zmniejszania wielkości szkód powodziowych poprzez ostrzeżenia przeciwpowodziowe, akcje ratownicze, techniczne rozwiązania ochrony przeciwpowodziowej, a po ustąpieniu wody do usuwania widocznych zniszczeń i zanieczyszczeń.

Ważnym zagadnieniem na terenach dotkniętych klęską powodzi jest bezpieczeństwo sanitarne mieszkańców. Konieczne jest prowadzenie monitoringu środowiska w zakresie jakości powietrza w osuszanych pomieszczeniach, jakości wody w studniach przydomowych oraz jakości gleby w gospodarstwach rolnych.

Celem publikacji jest identyfikacja problemów gospodarowania środowiskiem na rolniczych terenach popowodziowych na przykładzie Doliny Iłowsko-Dobrzykowskiej.

Treści zawarte w artykule stanowią zarys przygotowywanej do druku monografii „Życie z powodzią w tle – jakość środowiska na terenach popowodziowych", w której propagowana jest edukacja na rzecz bezpiecznego gospodarowania środowiskiem na terenach popowodziowych, nieograniczona jedynie do kształcenia umiejętności bezpiecznej ewakuacji.

2. Powódź w Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej

W Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej (doświadczonej klęską powodzi kilka razy w ciągu ostatniego stulecia – 1924, 1947, 1982) w roku 2010 pod wodą znalazły się gospodarstwa rolne oraz siedliska nierolnicze w gminach Gąbin i Słubice. Jest to teren rozciągający się wzdłuż nieuregulowanego odcinka Wisły, bogatego w liczne boczne kanały, starorzecza, kępy i wyspy. Powódź objęła swoim zasięgiem około 7 tysięcy ha, gdzie zamieszkiwało 3714 osób. Jedenaście miejscowości zostało zalanych całkowicie a dziesięć kolejnych uległo częściowemu zalaniu lub podtopieniu (PSEE, 2010). Słup wody w najniżej położonym punkcie w gminie Gąbin wynosił 280 cm. Negatywny wpływ powodzi na środowisko potęgowała wysoka temperatura powietrza (bliska 30ºC), wyższa od średniej z wielolecia (Piątkowska i Zielińska, 2012). Powódź spowodowała ogromne zniszczenia w zalanych gospodarstwach rolnych, a sytuacja może się powtórzyć.

2.1. Jak doszło do powodzi w 2010 roku w Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej?

23 maja 2010 wezbrane wody Wisły przerwały wał przeciwpowodziowy w miejscowości Świniary w powiecie płockim (611 km biegu rzeki). Według obserwacji prowadzonych przy wodowskazie w Kępie Polskiej (4 km powyżej Świniar) stan alarmowy został przekroczony o 294 cm, przechodzenie kulminacji fali wezbraniowej trwało około 7 godzin i zakończyło się

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: piatkowska@pw.plock.pl

awarią wału w Świniarach. Dwa tygodnie później (6 czerwca) nadeszła II fala wezbraniowa, która spowodowała wzrost poziomu wody na terenach już zalanych.

W Kępie Polskiej stan alarmowy był przekroczony nieustannie przez 27 dni, w tym przez około 20 dni wody wezbraniowe wpływały przez przerwany wał na obszar zamieszkany i użytkowany rolniczo. Zarówno przepływy, jak i stany wody świadczą, że powódź 2010 była zdarzeniem ekstremalnym. W Kępie Polskiej zanotowano nowe maksimum absolutne osiągające wartość aż o 70 cm większą niż poprzednie, pochodzące z katastrofalnej powodzi zatorowej sprzed 30 lat (H = 670 cm z 10 stycznia 1982). Przepływ w Kępie Polskiej przekroczył $Q_{2,5\%}$ = 6470 m^3s^{-1} według Wierzbickiego i in. (2012) na podstawie danych IMGW-PIB z wielolecia 1969-2010.

Zalew Doliny Iłowsko-Dobrzykowskiej następował bardzo szybko. Szerokość wyrwy w wale w Świniarach wynosiła początkowo 10 m, ostatecznie 110 m, a natężenie przepływu wody dochodziło do 800 m^3s^{-1} (Popek, 2011).

2.2. Lokalne działania ograniczające zasięg powodzi po przerwaniu wału w Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej

Mieszkańcy Dobrzykowa, leżącego 10 km poniżej Świniar, błyskawicznie podnieśli w górę i przedłużyli wał znajdujący się przy przepompowni przerzucającej wodę z zawala do Wisły. W ten sposób powstała tymczasowa przegroda dolinowa (rys. 1), która stawiła opór napływającej wodzie i ochroniła przed zalaniem Dobrzyków oraz kolejne miejscowości leżące w dolinie. Dzień później, 24 maja, wysadzono ładunkami wybuchowymi i rozkopano fragment głównego wału przeciwpowodziowego w sąsiedztwie zalanej przepompowni. Pozwoliło to na odprowadzenie wody z zalanego terenu z powrotem do koryta Wisły, ponieważ stan wody na równinie zalewowej był wyższy niż w międzywalu i cały czas się podnosił.

To co dla mieszkańców Dobrzykowa i innych ocalałych miejscowości było sukcesem, okazało się trudnym tematem w rozmowach z powodzianami wkrótce po powodzi. Stowarzyszenie Obrońców Doliny Iłowsko-Dobrzykowskiej skutecznie zaprotestowało przeciw budowie systemu przegród, które miałyby w przyszłości ograniczać powierzchnię zalewu doliny po przerwaniu wału przeciwpowodziowego. Powodzianie nie wyrażają również zgody na przesiedlenie z terenów, gdzie są wielopokoleniowe, rodzinne gospodarstwa rolne z żyzną glebą zapewniającą obfite plony. Domagają się natomiast umacniania istniejących wałów oraz pogłębiania i regulowania rzeki wraz z likwidacją wysp, które są objęte ochroną w ramach sieci NATURA2000.

W tej sytuacji powiat płocki, dążąc do zwiększenia bezpieczeństwa powodziowego, przystąpił do projektu INARMA (*Integrated Approach to Flood Risk Management* – Operacyjne zarządzanie kryzysem wylewowym w skali podregionalnej), realizowanego w partnerstwie z Włochami, Węgrami, Austrią i Niemcami. Działania założone w Projekcie INARMA obejmują (Zgorzelski, 2011; Piątkowska i Dalewska-Kolan, 2014):

- opracowanie mapy zagrożenia powodziowego w formie interaktywnej,
- opracowanie mapy ryzyka powodziowego,
- zainstalowanie syren elektronicznych do alarmowania i ostrzegania mieszkańców potencjalnie dotkniętych powodzią w poszczególnych miejscowościach,
- prowadzenie szkoleń i konsultacji społecznych służących do informowania społeczeństwa w zakresie zagrożenia powodziowego,
- edukację dzieci i młodzieży szkolnej odnośnie zmniejszenia ryzyka utraty dorobku całego życia i zabezpieczenia bliskich,
- przeprowadzenie ćwiczeń i konferencji poświęconej zapobieganiu powodzi i zmniejszeniu skutków zdarzeń losowych.

Rys. 1. Wał przeciwpowodziowy w sąsiedztwie przepompowni w Dobrzykowie, umocniony i podwyższony workami z piaskiem, który po przedłużeniu do drogi wojewódzkiej 575 stanowił przegrodę dolinową 20.06.2010 roku (fot. B. Piątkowska)

3. Jakość środowiska na terenach popowodziowych

3.1. Jakość wody w studniach przydomowych po powodzi

Konsekwencje powodzi są oceniane głównie w wymiarze materialnym, lecz nie można zapominać, że zniszczeniu infrastruktury i nieruchomości towarzyszy wprowadzenie do środowiska różnorodnych zanieczyszczeń. W Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej nastąpiło zniszczenie licznych obiektów ważnych pod względem sanitarnym (między innymi 400 dołów bezodpływowych, 365 ustępów wolno stojących, został zalany całkowicie cmentarz w Troszynie i podtopiony cmentarz w Zycku). Badania mikrobiologicznej jakości wody studziennej bezpośrednio po powodzi (tab. 1) ujawniły obecność w wodzie bakterii grupy coli, *Escherichia coli* i enterokoków.

Tab. 1. Wyniki badań mikrobiologicznych wody ze studni przydomowych w 2010 roku opracowane na podstawie (PSEE, 2010)

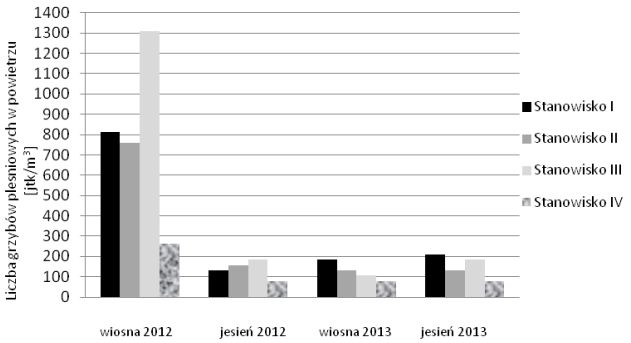
Wskaźnik	Najmniejsza liczebność [jtk]	Największa liczebność [jtk]
Liczba bakterii grupy coli w 100 ml	38 ±4	3800 ±364
Liczba *Escherichia coli* w 100 ml	35 ±3	1900 ±182
Liczba enterokoków w 100 ml	10 ±1	112 ±12

Zalanych zostało 396 studni, z czego 92 stanowiły jedyne źródło zaopatrzenia gospodarstwa domowego w wodę (Piątkowska i Zielińska, 2012). Bardzo wysoka liczebność mikroorganizmów w wodzie studziennej w roku 2010 stwarzała ryzyko wystąpienia zachorowań na: dur brzuszny, tężec, wirusowe zapalenie wątroby typu A, czerwonkę bakteryjną, salmonellozę i inne zatrucia pokarmowe (Brudnowska i Rychlewska, 2010).

W celu zapewnienia bezpieczeństwa sanitarnego mieszkańcom terenów zagrożonych powodzią wskazana jest bieżąca edukacja ekologiczna, niezależnie od tego czy powódź nadejdzie. Liczne materiały informacyjne rozpowszechniane są między innymi przez stacje sanitarno-epidemiologiczne i władze samorządowe. Wiele materiałów jest dostępnych na stronach internetowych, stąd obawa, że mogą nie dotrzeć do powodzian w najbardziej istotnym czasie. O konieczności bieżącej edukacji w tym zakresie przekonuje również fakt, że w skali kraju w wyniku powodzi w 2010 roku zalaniu uległo 19 524 studni przydomowych, ale tylko nieliczni wojewodowie przekazali środki stacjom sanitarno-epidemiologicznym na przeprowadzenie badań wody w studniach przydomowych (PIS, 2011).

3.2. Jakość powietrza w budynkach mieszkalnych po powodzi

W budynku niewłaściwie osuszanym po powodzi mogą wystąpić: destrukcja materiałów budowlanych i elementów wyposażenia, procesy korozji biologicznej i chemicznej, obniżenie komfortu cieplno-wilgotnościowego i wzrost kosztów eksploatacji (Szmygin i Trochonowicz, 2006). Wilgoć nieusunięta z kapilarno-porowatej struktury ścian, stropów i dachów powoduje zagrożenie mikrobiologiczne, a następnie rozwój grzybów pleśniowych. Dochodzi do obniżenia wytrzymałości korodujących elementów konstrukcyjnych oraz mogą wystąpić zniszczenia mrozowe murów. Zawilgocenie muru jednorodnego wykonanego z cegły ceramicznej powoduje 2,5-krotny wzrost przenikania ciepła, co może skutkować przekroczeniem mocy urządzeń grzewczych zainstalowanych w budynku (Wójcik, 2010). Szczególną uwagę należy zwracać na dezynfekcję i osuszanie budynku ze względu na możliwość wystąpienia syndromu chorego budynku, który objawia się u mieszkańców zawilgoconych budynków złym samopoczuciem, stanami zmęczenia, alergicznymi nieżytami nosa, gardła, stanami zapalnymi skóry. Badania prowadzone na terenach popowodziowych jesienią i wiosną w latach 2011-2013 pozwoliły na ocenę jakości powietrza zewnętrznego oraz ocenę jakości powietrza wewnątrz pomieszczeń mieszkalnych w trzech budynkach zalanych podczas powodzi (Stanowiska I-III) oraz jednym budynku suchym (Stanowisko IV), znajdującym się w sąsiedztwie terenów doświadczonych powodzią. Podczas badań stosowano podłoża Sabourauda, a uzyskane wyniki porównano z wytycznymi Krzysztofika (1992). Powietrze na zewnątrz budynków uznano za niezanieczyszczone, niezależnie od czasu poboru prób. Badania jakości powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych wskazały na wyraźny spadek koncentracji zarodników grzybów w powietrzu pomieszczeń dopiero dla prób pobranych jesienią 2012 roku (rys. 2), czyli po upływie około 2,5 roku od wystąpienia powodzi. Trend poprawy jakości powietrza utrzymał się w roku 2013 (Zielińska i Piątkowska, 2013 i 2014). Dwa i pół roku to okres zbliżony do czasu naturalnego schnięcia ścian. Zgodnie z doniesieniami literaturowymi czas naturalnego wysychania ściany o grubości 38 cm wynosi dla cegły ceramicznej 145-200 dni, dla żużlobetonu 451-902 dni, a w przypadku ściany o grubości dwóch cegieł (54 cm) – 292-584 dni. Ze względu na zatrzymanie procesu osuszania w okresie jesienno-zimowym dla osuszenia ceglanej ściany o grubości 54 cm potrzeba około 1000 dni (trzy lata) (Adamowski i Matkowski, 2010; Adamowski i in. 2007).



Rys. 2. Liczba grzybów pleśniowych w powietrzu salonów/pokoi dziennych na podłożu Sabourauda w latach 2012-2013

Powodzianie, chcąc jak najszybciej wrócić do miejsca stałego zamieszkania, popełniają często podczas remontów następujące błędy (Adamowski i Matkowski, 2010):

- tynki i powłoki malarskie są wykonywane na niedostatecznie osuszonych murach,
- nowa szczelna stolarka okienna PCW utrudnia wymianę powietrza,
- niewłaściwy dobór i użytkowanie urządzeń osuszających,
- rezygnacja z wykonania izolacji przeciwwilgociowej (poziomej i pionowej) w istniejącym budynku; osuszanie mechaniczne budynku bez izolacji jest nieskuteczne, po krótkotrwałej poprawie następuje ponowne zawilgocenie murów na skutek podciągania kapilarnego wody z gruntu.

W celu wyeliminowania powyższych błędów konieczna jest pomoc powodzianom nie tylko w zakresie uzyskania środków finansowych na zakup materiałów i usług remontowych (co czynią władze samorządowe), ale również upowszechnianie wiedzy o podstawowych zasadach osuszania budynków. Zgodnie z zaleceniami Wójcika (2010) powodzianie powinni być świadomi, że:

- najskuteczniejszym sposobem suszenia jest intensywne przewietrzanie pomieszczeń wspomagane urządzeniami wentylacyjno-grzewczymi,
- wraz ze wzrostem temperatury suszonego materiału i powietrza wzrasta szybkość wysychania,
- szybkość wysychania zwiększa się ze spadkiem wilgotności powietrza (nie jest wskazane zamykanie pomieszczeń),
- przewietrzanie powinno być prowadzone przez całą dobę z wyłączeniem okresu opadów deszczu,
- osuszacze są przydatne w II etapie osuszania, ale tylko przy ograniczeniu infiltracji powietrza zewnętrznego.

3.3. Jakość gleb pól uprawnych po powodzi

Część pól uprawnych w Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej została wyłączona z użytkowania na skutek bardzo grubej warstwy materiału naniesionego przez wody powodziowe w 2010 roku (rys. 3). Pozostałe pola poddano badaniom w zakresie zawartości makro- i mikroelementów w glebie oraz stopnia zakwaszenia gleby. Bezpośrednio po powodzi badania gleb użytków rolnych prowadziły stacje chemiczno-rolnicze.

W wyniku zalania w glebie zachodzi szereg negatywnych procesów wpływających na jej stan fizyczny, właściwości chemiczne i aktywność biologiczną. Po ustąpieniu wód powodziowych rolnicy muszą wykonać szereg zabiegów agrotechnicznych mających na celu przywrócenie zdolności plonotwórczych gleb. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach opublikował Zalecenia popowodziowe dla rolników (2010). Zgodnie z zaleceniami, jeśli analiza laboratoryjna wykazuje, że gleba uległa skażeniu substancjami toksycznymi należy ją okresowo lub trwale wyłączyć z produkcji rolnej.

Rys. 3. Widok z wału przeciwpowodziowego - pola uprawne pokryte piaszczystym materiałem naniesionym przez wody powodziowe 22.06.2010 roku (fot. B. Piątkowska)

Tab. 2. Zawartość metali ciężkich w glebie pól uprawnych po powodzi (zawartość oznaczona spektrometrem absorpcji atomowej ASA typ 2100)

Numer próbki	Całkowita zawartość metali ciężkich oznaczana przy użyciu 20% HCl [mg·kg^{-1}s.m. gleby]											
	Rok 2011						Rok 2012					
	Zn	Cr	Ni	Pb	Cu	Cd	Zn	Cr	Ni	Pb	Cu	Cd
1	89,20	43,20	28,20	23,80	22,12	1,12	88,0	34,0	30,0	19,0	21,46	0,52
2	59,80	26,20	17,60	15,40	13,40	0,70	108,0	31,6	24,6	14,4	19,66	0,78
3	86,40	36,20	21,00	21,00	19,88	1,06	96,0	21,6	17,4	14,6	19,00	0,68

Wyniki badań prób glebowych użytków rolnych (tab. 2), pobranych po upływie blisko 18 miesięcy od powodzi w Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej wskazały na (Piątkowska i Kusińska, 2013):

- lekko kwaśny lub obojętny odczyn gleby; średni, wysoki lub bardzo wysoki poziom zawartości fosforu, potasu, magnezu;
- brak zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi w porównaniu ze standardami jakości gleb użytków rolnych zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (2002);
- zerowy lub pierwszy stopień jakości chemicznej gleb w sześciostopniowej klasyfikacji IUNG (Zalecenia, 2010),
- brak zagrożenia produkcji rolniczej;
- najwyższy stopień uruchomienia metali ciężkich w przypadku kadmu, najniższy dla chromu.

Po upływie 30 miesięcy od powodzi uzyskano wyniki zbliżone do wartości z roku poprzedniego (tab. 2). Według klasyfikacji IUNG (Zalecenia, 2010) były to gleby niezanieczyszczone, o naturalnych zawartościach metali ciężkich lub gleby przeznaczone do pełnego wykorzystania rolniczego, z wyłączeniem upraw roślin do produkcji żywności o szczególnie małej zawartości pierwiastków i substancji szkodliwych (Piątkowska i Kusińska, 2014).

Otrzymane wyniki badań gleb użytków rolnych po powodzi z 2010 roku mogą stanowić podstawę do analizy porównawczej w przypadku kolejnej powodzi na tym terenie.

4. Podsumowanie

Gospodarowanie środowiskiem na terenach rolniczych dotkniętych klęską powodzi budzi olbrzymie kontrowersje na etapie poszukiwania rozwiązań zmniejszających straty powodziowe w przypadku kolejnego zalania. Rdzenni mieszkańcy, kilkakrotnie doświadczeni żywiołem powodzi, nie wyrażają zgody na zmianę miejsca zamieszkania oraz budowę przegród dolinowych ograniczających powierzchnię zalewu i dających czas na ewakuację. Wobec braku rozwiązań gwarantujących bezpieczeństwo powodziowe konieczna jest edukacja w zakresie właściwej gospodarki przestrzennej na terenach zagrożonych oraz zasad usuwania szkód powodziowych, co może mieć decydujące znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa zdrowotnego powodzian.

Badania prowadzone po powodzi w Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej w zakresie jakości wody studziennej, jakości powietrza w budynkach mieszkalnych oraz jakości gleb użytków rolnych wskazały na:

- Bardzo wysoką liczebność niepożądanych mikroorganizmów w wodzie ze studni przydomowych. Studnie te nie podlegają obligatoryjnej kontroli sanitarnej, dlatego też konieczna jest edukacja powodzian w zakresie sposobów uzdatniania wody we własnym zakresie.
- Zanieczyszczenie mykologiczne powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych remontowanych po powodzi. Pośpiech towarzyszący pracom remontowym po powodzi oraz błędy popełniane podczas osuszania budynku sprzyjają powstaniu warunków do rozwoju grzybów pleśniowych. Konieczne jest upowszechnianie wiedzy o zasadach osuszania budynków.
- Brak zagrożenia produkcji rolniczej pod względem zawartości metali ciężkich w glebie po upływie 18 miesięcy od powodzi. Można sądzić, że rolnicy, wspierani przez stacje chemiczno-rolnicze bezpośrednio po powodzi, są świadomi zabiegów jakie należy wykonywać w celu przywrócenia zdolności plonotwórczych gleb.

Literatura

Adamowski J., Hoła J., Matkowski Z. (2007). Metody osuszania przegród budowlanych. *Materiały Budowlane*, 1/2007, 110-114.

Adamowski J., Matkowski Z. (2010). Problemy zawilgocenia oraz osuszania budynków po powodzi. *Materiały Budowlane*, 7/2010, 98-102.

Brudnowska J., Rychlewska A. (2010). Informacja: Najistotniejsze zagrożenia ze strony biologicznych czynników chorobotwórczych w sytuacji wystąpienia powodzi. *Departament Przeciwepidemiczny w Głównym Inspektoracie Sanitarnym*, Warszawa.

Krzysztofik B. (1992). Mikrobiologia powietrza. *Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.

Piątkowska B., Dalewska-Kolan M. (2014). Rola środków nietechnicznych w systemie zapewniania bezpieczeństwa powodziowego. W: *Materiały XXVIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej EKOMILITARIS 2014 – Inżynieria Bezpieczeństwa – Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń*. Wojskowa Akademia Techniczna, Zakopane.

Piątkowska B., Kusińska A. (2013). Zawartość makroelementów i metali ciężkich w glebach gospodarstw rolnych dotkniętych żywiołem powodzi. *INSTAL*, 6/2013, 76-79.

Piątkowska B., Kusińska A. (2014). Metale ciężkie w glebach terenów popowodziowych w Dolinie Środkowej Wisły. W: *Materiały XXVIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej EKOMILITARIS 2014 – Inżynieria Bezpieczeństwa – Ochrona Przed Skutkami Nadzwyczajnych Zagrożeń*. Wojskowa Akademia Techniczna, Zakopane.

Piątkowska B., Zielińska M. (2012). Bezpieczeństwo ekologiczne na rolniczych terenach popowodziowych. W: Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń. Tom 3, Z. Mierczyk, Ostrowski (red.), *Wojskowa Akademia Techniczna*, Warszawa, 143-160.

PIS (2011). Jakość wody przeznaczonej do spożycia w 2010 roku. *Informacja Państwowej Inspekcji Sanitarnej*. http://www.gis.gov.pl

Popek Z. (2011). Powódź w rejonie Płocka w maju 2010 roku. W: *Materiały Konferencji Systemowe Bezpieczeństwo powodziowe w dolinie Wisły od ujścia Narwi do Włocławka*. Urząd Miasta Płocka, Płock.

PSEE (2010). *Informacje Powiatowej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Płocku*, Płock.

Szmygin B., Trochonowicz M. (2006). Osuszanie zawilgoconych budynków. *AURA*, 6/2006, 7-9.

Wierzbicki G., Ostrowski P., Samulski M. i in. (2012). Wpływ budowy geologicznej na warunki przebiegu ekstremalnych wezbrań na przykładzie powodzi 2010 w Dolinie Wisły Środkowej i Dolnej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 3/III, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, 27–41.

Wójcik R. (2010). Porady praktyczne dla powodzian na przykładzie Wilkowa. *Materiały Budowlane*, 7/2010, 89-92.

Zalecenia popowodziowe dla rolników (2010). *Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach*, Puławy.

Zgorzelski. P. (2011). Projekt INARMA – Zarządzanie ryzykiem powodziowym w Dolinie Iłowsko-Dobrzykowskiej. W: *Materiały Konferencji Systemowe Bezpieczeństwo powodziowe w dolinie Wisły od ujścia Narwi do Włocławka*, Urząd Miasta Płocka, Płock.

Zielińska M., Piątkowska B. (2013): Ocena mykologiczna powietrza zewnętrznego i wewnątrz pomieszczeń na terenach popowodziowych. *INSTAL*, 6/2013, 32-35.

Zielińska M., Piątkowska B. (2014). Ocena mykologiczna powietrza na terenach popowodziowych w kolejnych latach po powodzi. W: *Materiały XXVIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej EKOMILITARIS 2014 – Inżynieria Bezpieczeństwa – Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń*. Wojskowa Akademia Techniczna, Zakopane, 113-114.

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PROBLEMS ON FLOODED AGRICULTURAL AREAS

Abstract: The paper describes environmental management problems on flooded agricultural areas in Iłowsko-Dobrzykowska Valley in Plock county. Causes and results of flood in this area and points some actions that took place to bring proper environment quality back are presented. Results of wells water tests (amount of coli bacteria, Escherichia coli and Enterococci), air quality (mould on Sabouraud medium) and soil tests from agricultural areas (content of heavy metals indicated using atomic absorption spectrometry) are revealed. The results show very high amount of bacteria in wells water, air in buildings contaminated by mould, and the lack of danger for husbandry from heavy metals in soil.

The content of the paper is a part of the monograph titled: „Życie z powodzią w tle – jakość środowiska na terenach popowodziowych" (printing in preparation). Authors popularize the education for the safety of environmental management on flooded areas which is more than only proper evacuation.

www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 7 (2016) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

BETONY PODKŁADOWO-WYRÓWNAWCZE – MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA SKURCZU

Natalia STANKIEWICZ*, Małgorzata A. LELUSZ

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Betony podkładowo-wyrównawcze stosowane są jako warstwa wyrównawcza pod posadzki lub fundamenty. Pełnią one drugorzędną rolę w całej budowli. Jednak ich właściwości w bardzo dużym stopniu wpływają na ogólną trwałość konstrukcji, a odkształcenia skurczowe mogą mieć negatywny wpływ na całą budowlę. Pomimo istotności zjawiska skurczu betonów podkładowo-wyrównawczych zagadnienie to nie zostało do dzisiaj dostatecznie rozpoznane. W artykule przedstawione zostaną badania mające na celu określenia wpływu współczynnika wodno-cementowego oraz ilości kruszywa na odkształcenia skurczowe zapraw cementowych. Zwiększenie stosunku zawartości kruszywa względem ilości cementu z k/c = 4 do k/c = 18 spowodowało zmniejszenie skurczu badanych próbek o około 37,5%. Natomiast wzrost wskaźnika w/c z 0,5 do 0,9 skutkował wzrostem odkształceń nawet o 96,5%.

Słowa kluczowe: beton podkładowo-wyrównawczy, skurcz betonu, odkształcenia skurczowe.

1. Wprowadzenie

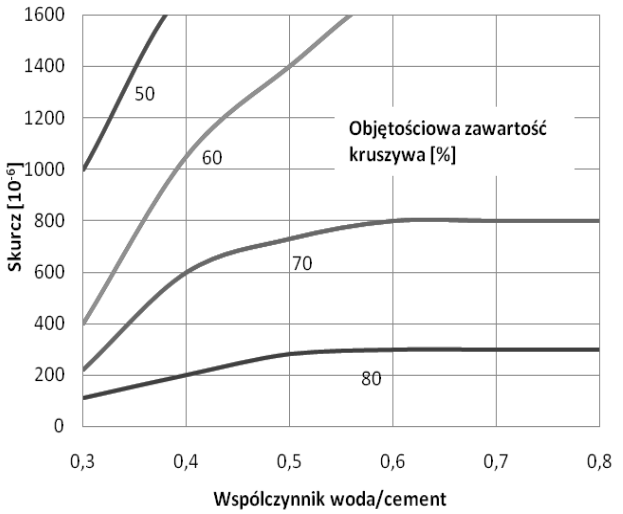
Beton podkładowo-wyrównawczy, czyli tak zwany „chudy beton" ma zastosowanie jako warstwa wyrównawcza podłoża gruntowego, na którym zostanie posadowiona budowla, jak też stosowany jest do przygotowania obudów stabilizujących przewody umieszczane w wykopach. Beton podkładowy wykorzystuje się także w budownictwie drogowym, gdzie stanowi fragment części nośnej nawierzchni drogowej. Zgodnie z normą PN-S-96013 *Drogi samochodowe. Podbudowa z chudego betonu. Wymagania i badania* podbudowa taka składa się z jednej lub dwóch warstw zagęszczonej chudej mieszanki betonowej. Jeśli chodzi o samo pojęcie „chudego betonu" to norma definiuje go, jako materiał budowlany uzyskiwany poprzez wymieszanie kruszyw mineralnych z cementem (maksymalnie 130 kg/m^3) w ilości od 5% do 7% w stosunku do masy kruszywa oraz optymalną zawartością wody, którego wytrzymałość na ściskanie f_{c28} wynosi od 6 do 9 MPa po zakończeniu procesu wiązania. Norma PN-S-96013 podaje również wymagania dotyczące materiałów stosowanych w betonach podkładowo-wyrównawczych. Należy stosować cement portlandzki lub hutniczy klasy 32,5 oraz kruszywa naturalne, łamane lub żużlowe. W niewielu publikacjach można znaleźć informacje dotyczące właściwości chudych betonów, pomimo tego jest on wykorzystywany na każdej budowie.

Ze względu na swój skład betony podkładowo-wyrównawcze można uznać za grunt stabilizowany cementem, dlatego też w ofercie firm budowlanych występuje on obok podbudów, stabilizacji czy podsypek cementowo-piaskowych. Są to materiały o podobnym składzie: niewielka ilość cementu względem zawartości kruszywa oraz woda. Te mieszanki kruszywowo-cementowe po odpowiednim zagęszczeniu stosowane są jako różnego rodzaju podbudowy drogowe, warstwy wyrównujące i wzmacniające podłoże pod posadzki lub nawierzchnie brukowe, jak również podczas wymiany gruntów pod fundamentami bezpośrednimi. Przed ułożeniem mieszanki i w trakcie robót przeprowadzane są badania kontrolne. Sprawdzana jest wilgotność, wskaźnik zagęszczenia, wytrzymałość stwardniałej mieszanki po 7 i 28 dniach, a czasem również mrozoodporność. Wytrzymałości po 28 dniach podbudów i stabilizacji wahają się od 0,5 do 9 MPa, natomiast w podsypkach cementowo-piaskowych parametr ten zmienia się w zakresie od 1,5 MPa do 25 MPa, w zależności od stosunku cement-kruszywo (Pisarczyk, 2005). Badania bieżące nie obejmują kontroli odkształceń skurczowych, które są wielokrotnie źródłem uszkodzeń całej konstrukcji, zwłaszcza w przypadku wielko-powierzchniowych podbudów.

Większość badań dotyczących oceny wpływu skurczu betonu na jego właściwości dotyczy betonów konstrukcyjnych. Stwardniały zaczyn cementowy jest głównym źródłem skurczu w kompozycie cementowym. Można go jednak ograniczyć poprzez zastosowanie odpowiedniej ilości drobnego i grubego kruszywa. Zależność skurczu od współczynnika wodno-cementowego oraz ilości objętościowej kruszywa przedstawia rysunek 1. Im wyższa zawartość kruszywa w betonie, tym mniejsze odkształcenia skurczowe przy

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: n.stankiewicz@pb.edu.pl

stałym wskaźniku w/c. Im wyższa zawartość wody względem masy cementu przy stałej ilości kruszywa, tym większy skurcz (Brooks, 2015). Wpływ skurczu określany jest głównie w mieszankach betonowych, w których kruszywo stanowi maksymalnie 80% (rys. 1). W mieszankach kruszywowo-cementowych zawartość ta sięga nawet 90%. Ze względu na to, że chude betony zawierają dużo kruszywa, wpływ odkształceń skurczowych na ich właściwości powinien być niewielki. Jednakże warunki pracy podbudowy z chudego betonu nie są w pełni jednoznaczne.



Rys. 1. Wpływ współczynnika w/c i ilości kruszywa na skurcz kompozytów cementowych (Brooks, 2015)

Przyczyną uszkodzeń podbudów są głównie obciążenia zewnętrzne, aczkolwiek w nieobciążonym gruntocemencie występują naprężenia powstałe na skutek skurczu, pęcznienia lub zmian temperatury. Źródłem odkształceń objętościowych w betonie jest ruch wody, gdy gruntocement wysycha następuje skurcz, gdy pochłania wodę – pęcznieje. Zmiany zachodzące w podbudowie zależą w dużej mierze od wilgotności podłoża. Ewentualne podciąganie kapilarne wody może spowodować wzrost zawartości wody w mieszance. Może dochodzić do pęcznienia w dolnych warstwach podbudowy oraz do skurczu w górnych warstwach. Powstają spękania na skutek nierównomiernych zmian objętościowych (Pieczara, 1975). Naprężenia, głównie rozciągające powodują mikrozarysowania, które dalej prowadzą do rys, a nawet spękań całego elementu. To one mogą być źródłem uszkodzeń konstrukcji, zwłaszcza w przypadku podbudów lub warstw wyrównawczych o dużej powierzchni.

Pomimo istotności zjawiska skurczu betonów podkładowo-wyrównawczych, zagadnienie to nie zostało do dzisiaj dostatecznie rozpoznane. Było to powodem podjęcia badań, których celem jest ocena wpływu współczynnika wodno-cementowego oraz ilości kruszywa na odkształcenia skurczowe zapraw cementowych zawierających dużą ilość kruszywa.

2. Badania własne

Zgodnie z przyjętym celem pracy zdecydowano się zbadać skurcz oraz wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych w zależności od: ilości kruszywa k/c oraz współczynnika wodno-cementowego w/c. Zakresy zmienności rozpatrywanych czynników podano w tabeli 1.

Tab. 1. Zakresy zmienności rozpatrywanych czynników

Czynniki zmienne	Kod	Poziom zmienności		
		-1	0	1
Ilość kruszywa (*k/c*)	X_1	18	11	4
Współczynnik wodno-cementowy (*w/c*)	X_2	0,5	0,7	0,9

Ilości cementu względem zawartości kruszywa zmieniają się w zakresie od 25% (stosunek zbliżony to stosowanego z zaprawie normowej), poprzez 9%, aż do 5,5% (zawartość cementu zgodna z recepturą chudego betonu w normie PN-S-96013). Zmienność współczynnika wodno-cementowego była uwarunkowana uzyskaniem odpowiedniej konsystencji mieszanek w celu zagęszczenia. Podwyższone zawartości wody miały też odpowiadać ewentualnemu podwyższeniu w/c mieszanek w podbudowach na placu budowy związanemu z podciąganiem kapilarnym.

Badania przeprowadzono na próbkach zapraw cementowych o składzie zgodnym z planem eksperymentu, przedstawionym w tabeli 2. Do przygotowania próbek stosowano cement CEM I 32,5 R. Jako kruszywo wykorzystywano piasek naturalny o uziarnieniu do 2 mm.

Tab. 2. Plan eksperymentu oraz składy zapraw cementowych

Nr serii	X_1	X_2	Cement [kg/m^3]	Kruszywo [kg/m^3]	Woda [dm^3/m^3]
1	-1	-1	118	2127	59
2	0	-1	181	1991	90
3	+1	-1	386	1544	193
4	-1	0	115	2073	81
5	0	0	174	1914	122
6	+1	0	355	1422	249
7	-1	+1	112	2021	101
8	0	+1	167	1842	151
9	+1	+1	329	1318	296

Każdą z zapraw przygotowano zgodnie z normą PN-EN 196-1 *Metody badania cementu. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości*. W formach trójdzielnych formowano próbki-beleczki o wymiarach 40×40×160 mm. Zagęszczanie zapraw przeprowadzono na wstrząsarce. Próbki rozformowano po 24 godzinach dojrzewania Beleczki do badań wytrzymałościowych umieszczono w komorze klimatycznej w temperaturze 20±2°C oraz wilgotności 95±5%. Natomiast próbki do badania skurczu ze stalowymi czopikami zabetonowanymi na końcach beleczek po rozformowaniu przechowywano

w temperaturze 20±2°C oraz wilgotności 65±5%.

Badania wytrzymałości na ściskanie oraz na rozciąganie przy zginaniu po 28 dniach dojrzewania przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 196-1 w prasie hydraulicznej. Badanie skurczu zostało wykonane według normy PN-EN 13454-2 *Spoiwa, spoiwa wieloskładnikowe oraz otrzymywane fabrycznie mieszanki na podkłady podłogowe na bazie siarczanu wapnia. Część 2: Metody badań* z wykorzystaniem aparatu Graff-Kaufmana. Odkształcenia skurczowe monitorowano przez 120 dni. Pierwszy pomiar wykonano po 48 godzinach od zaformowania, następne codziennie przez 14 dni, po czym odczyty ograniczono do jednego w tygodniu. Wartości skurczu kompozytów cementowych obliczano według wzoru:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l} = \frac{L_i - L_0}{l} \tag{1}$$

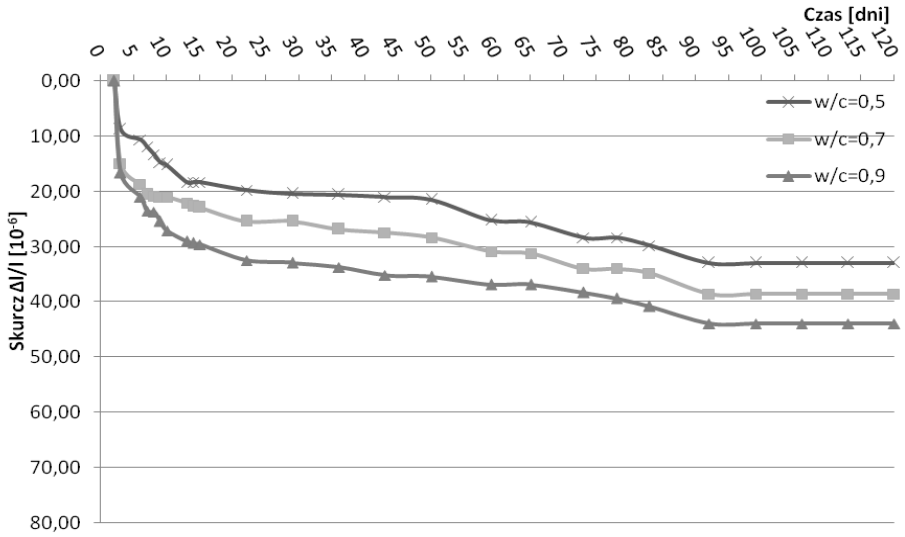
gdzie: ΔL jest zmianą długości próbki w mm, l jest długością próbki w mm, L_0 jest długością początkową próbki w mm, a L_i jest długością próbki w dniu pomiaru w mm.

3. Wyniki badań i ich analiza

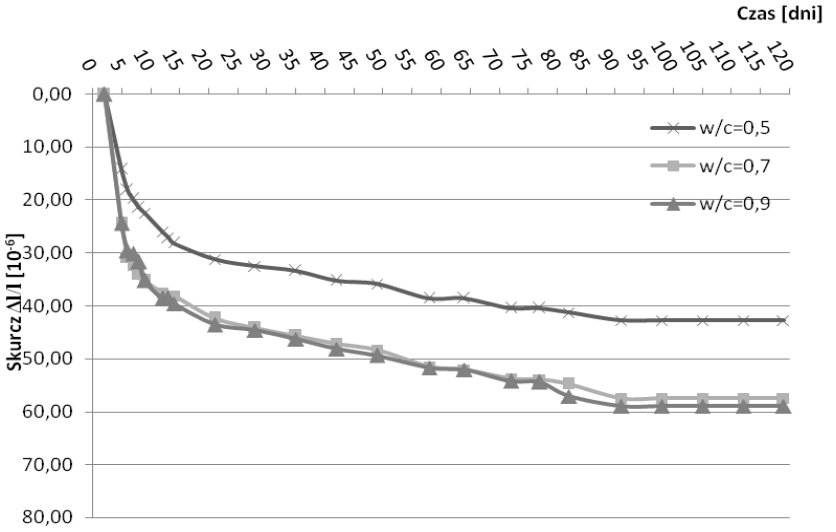
Na podstawie wyników badań odkształceń skurczowych można stwierdzić, że największy wpływ miał współczynnik w/c. Bez względu na wartość współczynnika wodno-cementowego zaobserwowano zbliżony przebieg zmian objętościowych próbek w czasie. Najlepiej przedstawia to wykres zależności skurczu zapraw cementowych od czasu i wskaźnika wodno-cementowego dla k/c = 18 (rys. 2). Największy przyrost skurczu zanotowano w ciągu pierwszych trzech dni. Wynosił on od 25 do 35% odkształceń końcowych. Dynamika zmian liniowych zmniejszyła się po około 15 dniach, by osiągnąć poziom około 40% zmian całkowitych. Zmiany skurczowe odnotowywano do 95-tego dnia. Można również zauważyć regularność i przewidywalność wpływu zmian zawartości wody na odkształcenia skurczowe próbek z najwyższą zawartością kruszywa. Zwiększenie współczynnika wodno/cementowego wpłynęło niekorzystnie na skurcz betonów podkładowo-wyrównawczych. Jak można zauważyć na rysunkach 2-4, na których zostały przedstawione zależności skurczu zapraw cementowych od czynników zmiennych, największym skurczem charakteryzowały się próbki o najwyższej zawartości cementu oraz przy najwyższym w/c. Badania potwierdzają więc, że skurcz zależny jest głównie od ilości zaczynu cementowego w kompozytach cementowych. Największy wpływ współczynnika w/c był zauważalny w próbkach, w których kruszywa było 4-krotnie więcej niż cementu. Przy wzroście zawartości wody w składzie zaprawy wartości skurczu również rosły. Przy zmianie w/c z 0,5 do 0,7 zanotowano około 73% wzrost odkształceń skurczowych, natomiast przy współczynniku wynoszącym 0,9 wzrosły one nawet o 96,5%.

Skurcz próbek o najniższym w/c rośnie mniej gwałtownie wraz ze zwiększaniem zawartości cementu, w porównaniu z seriami o większej zawartości wody.

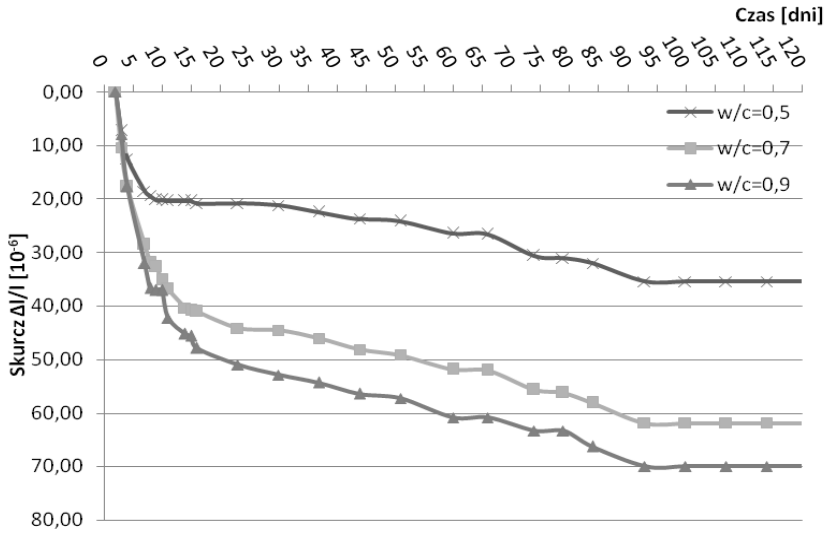
Wzrost zawartości kruszywa względem ilości cementu powodował spadek wartości skurczu. Zmiana z k/c = 4, do k/c = 11, a następnie do k/c = 18, spowodowała spadek badanych odkształceń o odpowiednio około 16% oraz około 37,5% w próbkach z największą zawartością wody. Najmniejsze zmiany można zauważyć w zaprawie o współczynniku wodno-cementowym wynoszącym 0,5. Odkształcenia skurczowe próbek wzrosły o około 20% przy zmianie zawartości kruszywa z k/c = 18 do k/c = 4.



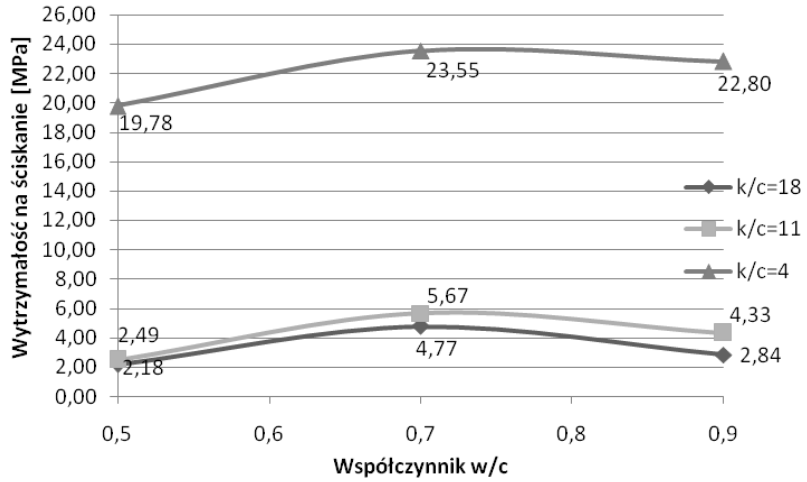
Rys. 2. Zależności skurczu zapraw cementowych od czasu i wskaźnika wodno-cementowego dla zawartości kruszywa k/c = 18



Rys. 3. Zależności skurczu zapraw cementowych od czasu i wskaźnika wodno-cementowego dla zawartości kruszywa k/c = 11



Rys. 4. Zależności skurczu zapraw cementowych od czasu i wskaźnika wodno-cementowego dla zawartości kruszywa k/c = 4



Rys. 5. Zależności wytrzymałości na ściskanie próbek zapraw cementowych od wskaźnika w/c przy różnych zawartościach kruszywa k/c

Wytrzymałość na ściskanie badanych próbek zapraw cementowych była ściśle związana z zawartością kruszywa w zaprawie (rys. 5). Najwyższe wytrzymałości uzyskały serie próbek o najniższej zawartości kruszywa i najwyższej ilości cementu z zaprawie, charakteryzowały się one również największymi zmianami skurczowymi. Próbki zawierające większe ilości kruszywa miały kilkakrotnie niższe wytrzymałości na ściskanie, ale również mniejsze odkształcenia skurczowe. Można również zauważyć, że podwyższenie współczynnika w/c do 0,9 spowodowało spadek wytrzymałości we wszystkich seriach próbek zaprawy. Za optymalny wskaźnik w/c uznano 0,7 w rozpatrywanym zakresie zmian czynników.

4. Podsumowanie

Betony podkładowo-wyrównawcze często nie są poddawane pełnej kontroli technicznej, mimo że są szeroko stosowane w budownictwie. Odkształcenia skurczowe, które występują w tych warstwach o dużej zawartości kruszywa, mogą mieć negatywny wpływ na całą budowlę.

Na podstawie wyników badań odkształceń skurczowych zapraw cementowych można stwierdzić, że zwiększenie zawartości wody powodowało wzrost skurczu, natomiast im wyższy był wskaźnik kruszywo-cement, tym odkształcenia skurczowe były mniejsze. Zwiększenie stosunku kruszywa względem ilości cementu z k/c = 4 do k/c = 18 spowodowało spadek skurczu badanych próbek o około 37,5%. Natomiast wzrost wskaźnika w/c z 0,5 do 0,9 skutkował wzrostem odkształceń nawet o 96,5%. Wyniki badań potwierdzają, że zwiększenie zawartości kruszywa względem ilości cementu prowadzi do redukcji skurczu. Równoczesne zmniejszenie współczynnika wodno-cementowego również pozytywnie wpływa na ograniczenie odkształceń skurczowych w zaprawach cementowych o dużej zawartości kruszywa. Zatem jednym ze sposobów ograniczenia skurczu betonów podkładowo-wyrównawczych jest zwiększenie zawartości kruszywa, przy równoczesnym zmniejszeniu ilości cementu. Trzeba jednak wziąć również pod uwagę zawartość wody, która w bardzo dużym stopniu wpływa na odkształcenia skurczowe. Wskaźnik wodno-cementowy jest szczególnie ważny w warstwach podkładowych, w których może dochodzić do podciągania kapilarnego wody. W związku z tym, należy większą wagę przywiązywać do przeprowadzania bieżącej kontroli betonów podkładowo-wyrównawczych, ze szczególnym uwzględnieniem odkształceń skurczowych.

Literatura

Brooks J.J. (2015). Concrete and Masonry Movements. *Elsevier*.

Pieczara H. (1975). Tensometryczne badanie odkształceń w podbudowach z gruntów spoistych stabilizowanych cementem. *Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.

Pisarczyk S. (2005). Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego. *Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.

LEAN CONCRETES – POSSIBILITIES TO REDUCE SHRINKAGE

Abstract: Lean concretes fulfil a secondary role in the whole building. However, their properties have a huge impact on the overall durability of the structure. These concretes are most often used as an equalising layer under the floor or as a base for the foundations. Shrinkage deformations of the lean concrete, which is an essential part of every construction site, may have a negative impact on the entire building. Despite the significance of the lean concrete shrinkage phenomenon, this issue has not been sufficiently recognised to this day. A study to determine the effect of water-cement ratio and the amount of aggregate on shrinkage cement mortars deformations is presented in the paper. It is shown that the increase of the aggregate-cement ratio from k/c = 4 to k/c = 18 decreases the shrinkage of tested samples of approximately 37.5%. The increase in water-cement ratio from 0.5 to 0.9 causes an increase in shrinkage deformations up to 96.5%.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy numer S/WBiIŚ/1/16 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.