

## Spis treści

### **Paweł ANTKOWIAK**

Samorząd zawodowy inżynierów budownictwa w ocenie jego członków

*Professional self-government of civil engineers in the opinion of its members*..... 117

### **Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK**

Korelacja wilgotności i stężenia dwutlenku węgla w przedszkolach

*Correlation of humidity and CO<sub>2</sub> concentration in kindergartens* ..... 127

### **Andrzej PLEWA**

Ocena wpływu wskaźnika zagęszczenia na moduł sztywności betonu asfaltowego

*The influence of compaction ratio on stiffness modulus of asphalt concrete* ..... 133

### **Hubert SIKORA, Wojciech PIASTA**

Reologia betonów napowietrzonych a cementy z dodatkami mineralnymi

*Rheology of air entrained concretes and cements with mineral additives*..... 141

### **Robert STACHNIEWICZ**

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku a zawilgocenie ścian zewnętrznych

*Heat demand for building heating and outside walls dampness* ..... 147

### **Elżbieta WOŁEJKO**

Deterioracja naturalnych kamieni budowlanych przez mikroorganizmy

*Deterioration of natural building stones by microorganisms*..... 153

## Abstracts Vol. 3 No. 3

### **Paweł ANTKOWIAK**

#### *Professional self-government of civil engineers in the opinion of its members*

Professional self-government of civil engineers plays a major role in representing interests of some specified groups and public administration in Poland. There have been more and more doubts about the legitimacy of the existence of such structures and their functioning in the public sphere, recently professional self-government has been harshly criticized in Poland by society and its members. For this reason, in agreement with The Polish Chamber of Civil Engineers Author conducted a series of surveys, with aim was to answer the question: "What is the real assessment of the functioning of the professional self-government of civil engineers by its members?". The paper represents the results of the research.

### **Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK**

#### *Correlation of humidity and CO<sub>2</sub> concentration in kindergartens*

Kindergarten is an institution in which children commence their education process, and the education has a group character. As far as the quality of indoor air is concerned, kindergartens have been often neglected. In countries all over the world there are kindergartens which make use of different kinds of natural ventilation, and do not possess any mechanical ventilation systems. The research presented in this study was conducted in three kindergartens which varied in terms of their exterior wall insulation. The three considered objects were localised in eastern Europe, in the temperate zone. Relying on the obtained measurement results, analysis of correlation between humidity and CO<sub>2</sub> concentration could be conducted. Nearly complete correlation was observed in 61% of the measurements. This fact may constitute a solid basis for the control of natural ventilation.

### **Andrzej PLEWA**

#### *The influence of compaction ratio on stiffness modulus of asphalt concrete*

Technological errors of inadequate compaction of asphalt layers are often a major cause of premature degradation of the road surface. It creates a need for continuous improvement of technology incorporation of asphalt mixes. The aim can be achieved through the use of available achievements in the field of asphalt mix rheology, as well as through the advancement of knowledge in the field of road technology. This paper presents the research results and analysis of the impact of asphalt concrete (AC) compaction on the stiffness modulus IT-CY value. An attempt was made to determine the correlation between the compaction ratio and the parameters by volume and stiffness modulus of asphalt concrete AC16P based on unmodified bitumen 35/50 and modified bitumen PMB25/55-60.

### **Hubert SIKORA, Wojciech PIASTA**

#### *Rheology of air entrained concretes and cements with mineral additives*

The studies were carried out to find the effect of air entrainment and blended cements on rheological deformations of concretes. The cements used were ordinary Portland cement and two blended Portland cements containing: blast furnace granulated slag-fly ash blend and limestone powder. It was stated that air entrainment results in lowering of shrinkage and swelling of concretes made of OPC and blast furnace granulated slag-fly ash blend cement. The increase in both deformations of air entrained concrete occurs when the limestone cement is used. The linear dimension changes was measured with Amsler's apparatus, according to the Polish standard PN-B-06714-23:1984, using 6 samples of each concrete with dimensions 10×10×50 cm, equipped with steel pins cemented in the both ends of the beams. The first measurement was made after 24 hours from concrete beams preparation.

### **Robert STACHNIEWICZ**

#### *Heat demand for building heating and outside walls dampness*

This paper analyses the influence of external walls dampness for single-family house on the final energy. For the analysis two variants of damp walls were assumed: immediately after construction and after five years of exploitation of the building.

**Elżbieta WOŁEJKO***Deterioration of natural building stones by microorganisms*

The article reviews the literature on the role of micro-organisms taking an active part in the biodeterioration of natural stones. From the beginning natural stones are subject to weather conditions that cause both physical and chemical weathering of rocks accelerate biological destruction of stones the stability of the rock matrix making them more susceptible to microbial attack. Colonization of natural stones by microorganisms with the formation of a biofilm is initiated by pioneer species that to exchange they are with more complex assemblies with time. Microorganisms living on stones find many elements necessary for their metabolism, causing significant changes on the surfaces of buildings and monuments made of natural stone, including multicolored stains and deposits forming a crust.

## SAMORZĄD ZAWODOWY INŻYNIERÓW BUDOWNICTWA W OCENIE JEGO CZŁONKÓW

Paweł ANTKOWIAK\*

Wydział Nauk Politycznych i Dziennikarstwa, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Umultowska 89a, 61-614 Poznań

**Streszczenie:** Samorząd zawodowy inżynierów budownictwa pełni istotną rolę w systemie reprezentowania interesów określonych grup społecznych oraz administracji publicznej w Polsce. W ostatnim czasie pojawia się jednak coraz więcej wątpliwości, co do zasadności istnienia tego rodzaju struktur oraz funkcjonowania ich w sferze publicznej. Samorząd zawodowy poddawany jest krytyce społecznej, medialnej, jak i krytyce ferowanej przez samych jego członków. Z tego powodu autor opracowania w porozumieniu z Polską Izbą Inżynierów Budownictwa przeprowadził cykl badań ankietowych, którego celem było uzyskanie odpowiedzi na pytanie: „Jaka jest rzeczywista ocena funkcjonowania samorządu zawodowego inżynierów budownictwa przez jego członków?”. Prezentowany artykuł stanowi opracowanie wyników prowadzonych badań.

*Słowa kluczowe:* samorząd zawodowy, inżynierowie budownictwa, opinia społeczna, badania ankietowe, Polska Izba Inżynierów Budownictwa.

### 1. Wprowadzenie

Przemiany demokratyczne roku 1989 wiązały się przede wszystkim z liberalnym kapitalizmem w sferze gospodarczej, ale także daleko idącą demokratyzacją aparatu władzy publicznej, przynosząc w efekcie niemal całkowite odejście od struktury jednolitej i scentralizowanej.

Obecnie funkcjonujący model administracji w państwie polskim zakłada współistnienie zarówno aparatu scentralizowanej administracji rządowej, jak również wielorakiego układu organów czy instytucji działających samodzielnie i wykonujących powierzone im w drodze ustaw zadania publiczne w imieniu własnym i na własną odpowiedzialność. Koncepcja ta zakłada wielość podmiotów publicznoprawnych uczestniczących obok państwa i jego organów w sprawowaniu władzy publicznej oraz wykonywaniu administracji. Oprócz jednostek obligatoryjnych o podstawowym znaczeniu, jak na przykład jednostki samorządu terytorialnego, administracja jest również wykonywana przez samorządy zawodowe, gospodarcze czy zakłady administracyjne (Cherka, 2004).

Bardzo istotną rolę w systemie reprezentowania interesów określonych grup społecznych odgrywa samorząd zawodowy. W ostatnich latach w Polsce samorząd zawodowy poddawany jest krytyce zarówno

przez społeczeństwo, jak i czasem przez samych jego członków. Wokół jego funkcjonowania krąży wiele mitów i nieporozumień, które często zamazują istotę samorządności. Wiedza społeczeństwa na temat działania samorządu pochodzi najczęściej z doniesień medialnych. Podstawowy zarzut, jaki stawia się przedstawicielom danej profesji, polega na przeciwstawianiu interesu danego samorządu interesowi społecznemu. Zdaniem przeciwników samorządu chroni on własnych członków, zamiast dbać o interes publiczny poprzez sprawowanie nadzoru nad prawidłowym i rzetelnym wykonywaniem zawodu.

Chcąc ocenić dotychczasowe funkcjonowanie samorządu zawodowego inżynierów budownictwa warto zapytać o opinię samych zainteresowanych. W tym celu, w porozumieniu z Polską Izbą Inżynierów Budownictwa oraz dzięki pomocy pracowników biura Izby przeprowadzono badanie ankietowe, którego celem było uzyskanie odpowiedzi na pytanie: „Jaka jest ocena funkcjonowania samorządu zawodowego inżynierów budownictwa przez jego członków?”.

### 2. Istota samorządu zawodowego

Samorząd zawodowy to organizacyjna forma zrzeszania się osób wykonujących ten sam zawód, której celem jest,

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: pawel.antkowiak@amu.edu.pl

między innymi, reprezentowanie ich interesów wobec władz państwowych, doskonalenie zawodowe i czuwanie nad etyką wykonywania zawodu oraz ochrona socjalna tychże osób, a także realizowanie szeregu zadań typowych dla związków publicznoprawnych (Kmieciak, 2000).

Rola samorządu zawodowego wzrosła w momencie przyjęcia Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 roku. W artykule 17 stwierdzono „W drodze ustawy można tworzyć samorzady zawodowe, reprezentujące osoby wykonujące zawody zaufania publicznego i sprawujące pieczę nad należytych wykonywaniem tych zawodów w granicach interesu publicznego i dla jego ochrony”.

Rok 1989 przyniósł wiele zmian społeczno-politycznych powodując między innymi aktywizację różnorodnych środowisk zawodowych. Wiele środowisk zawodowych postanowiło oprzeć swoje funkcjonowanie na publicznoprawnych formach działania. Zakres, w jakim państwo przekazało władztwo publiczne samorządowi zawodowemu obejmuje (Kmieciak, 2005 i 2008):

- reprezentowanie interesów określonych zawodów wobec władz państwowych – najlepszym przykładem tego typu działań jest opiniowanie projektów aktów prawnych, a także zgłaszanie spostrzeżeń i wniosków z tego zakresu;
- nadzór nad należytych wykonywaniem zawodu – dotyczący między innymi reglamentowania dostępu do określonych profesji i prowadzenie rejestru osób mających prawo wykonywania zawodu; w tej mierze po stronie samorządu znajduje się szereg prerogatyw z zakresu prawa administracyjnego;
- kształtowanie zasad i czuwanie nad etyką wykonywania zawodu – w przypadku tej zasady (jak i kolejnej) to samorząd zawodowy ustala zasady deontologii zawodowej, a także poprzez sprawowanie sądownictwa dyscyplinarnego stara się wpływać na postawy swoich członków; ingerencja ta bywa czasami daleko idąca (ograniczenie wykonywania zawodu bądź pozbawienie prawa wykonywania zawodu);
- organizowanie i prowadzenie sądownictwa dyscyplinarnego;
- doskonalenie zawodowe i określanie programów kształcenia w danym zawodzie – dbają one o jakość świadczonych usług i z tego względu organizują system szkoleń.

Profesją, którą zaliczyć można do zawodów zaufania publicznego wyposażoną w przywilej posiadania własnego samorządu jest niewątpliwie inżynier budownictwa. Samorząd funkcjonuje w oparciu o Ustawę z dnia 15 grudnia 2000 r. o samorządach zawodowych architektów, inżynierów budownictwa oraz urbanistów (Dz. U. nr 5 z 2001 r., poz. 42 z późn. zm.). W przypadku inżynierów budownictwa na szczeblu krajowym funkcjonuje Polska Izba Inżynierów Budownictwa. Na szczeblu regionalnym działa natomiast szesnaście Okręgowych Izb Inżynierów Budownictwa.

### 3. Charakterystyka prowadzonych badań ankietowych

Badanie przeprowadzono wiosną 2010 roku w trakcie 16 okręgowych zjazdów sprawozdawczo-wyborczych, w których uczestniczyła następująca liczba delegatów poszczególnych Izb Inżynierów Budownictwa: Dolnośląska – 16.04.2010 r. – 165 osób; Kujawsko-Pomorska – 17.04.2010 r. – 123 osoby; Lubelska – 9.04.2010 r. – 95 osób; Łódzka – 17.04.2010 r. – 134 osoby; Małopolska – 14.04.2010 r. – 151 osób; Mazowiecka – 17.04.2010 r. – 134 osoby<sup>1</sup>; Opolska – 17.04.2010 r. – 96 osób; Podkarpacka – 10.04.2010 r. – 115 osób; Podlaska – 10.04.2010 r. – 125 osób; Pomorska – 10.04.2010 r. – 117 osób; Śląska – 10.04.2010 r. – 190 osób; Świętokrzyska – 10.04.2010 r. – 116 osób; Warmińsko-Mazurska – 16.04.2010 r. – 176 osób; Wielkopolska – 23.03.2010 r. – 170 osób; Zachodniopomorska – 17.04.2010 r. – 161 osób<sup>2</sup>.

Łącznie w okręgowych zjazdach sprawozdawczo-wyborczych uczestniczyło 2 068 osób. W badaniu udział wzięło 936 inżynierów budownictwa, co stanowiło 45,26% uczestników zjazdu. Ze względu jednak na niekompletność 27 formularzy ankiety (zostały one wypełnione częściowo lub też w ogóle nie wypełnione) pod uwagę brano jedynie kompletne ankiety w liczbie 909<sup>3</sup>. Badanie przeprowadzone zostało metodą sondażową, przy wykorzystaniu technik ankietowania<sup>4</sup>. Narzędziem natomiast był anonimowy kwestionariusz ankiety<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Zjazd odbył się w dwóch turach. W drugiej turze uczestniczyło 71 osób.

<sup>2</sup> Terminy odbywania poszczególnych zjazdów oraz frekwencja na poszczególnych zjazdach przygotowana została na podstawie informacji przekazanej przez pracowników biura Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa.

<sup>3</sup> Jeśli wziąć pod uwagę tylko ankiety prawidłowo wypełnione to w badaniu udział wzięło 43,96%.

<sup>4</sup> Należy powiedzieć, że badanie nie jest reprezentatywne dla całego środowiska zawodowego inżynierów budownictwa, bowiem dobór próby badawczej był celowy. Wyników tych nie można zatem generalizować dla całej populacji inżynierów budownictwa działających w Polsce. Było ono jednak prowadzone wśród osób, którym zagadnienia samorządności zawodowej są niezwykle bliskie, bowiem czynnie uczestniczą one w działalności organów samorządowych. Nie ulega zatem wątpliwości, że skala przeprowadzonego badania oraz charakter prowadzonego badania pozwala na wyciąganie generalnych wniosków dotyczących oceny samorządu przez osoby uczestniczące w okręgowych zjazdach sprawozdawczo-wyborczych, które stanowią demokratycznie wybraną reprezentację środowiska zawodowego w poszczególnych regionach.

<sup>5</sup> Treść formularza ankiety została ustalona w porozumieniu z władzami Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa, w szczególności zaś z ówczesnym Prezesem – prof. Zbigniewem Janem Grabowskim. W trakcie konsultacji zmieniono treść pytań pierwotnej ankiety sporządzonej przez autora badania. Przede wszystkim ograniczono zakres możliwych odpowiedzi do „tak” i „nie”. Usunięto tym samym odpowiedź pośrednią – „trudno powiedzieć”. Powoduje to niewątpliwie deformację odpowiedzi respondentów. Istotą tego zabiegu zdaniem osób, które wysunęły taką propozycję, było uzyskanie jasnych

Ankieta składała się z 24 pytań, z czego:

- pytania od 1 do 14 to pytania merytoryczne, w tym: 10 pytań zamkniętych; 3 pytania otwarte; 1 pytanie, w którym ankietowani mieli za zadanie uszeregować zadania samorządu od najważniejszego po najmniej istotne;
- pytania od 15 do 24 to tak zwane pytania metryczkowe, w których zapytano o wiek ankietowanego, płeć, staż zawodowy, wykształcenie, rodzaj posiadanych uprawnień, miejsce zamieszkania, miejsce pracy, formę zatrudnienia, wykonywany zawód (specjalizację) oraz charakter wykonywanej działalności.

W badaniu zapytano o najbardziej elementarne zagadnienia dotyczące funkcjonowania samorządu zawodowego inżynierów budownictwa, w tym o: rolę samorządu zawodowego w demokratycznym państwie prawa; potrzebę istnienia samorządu zawodowego w tym środowisku zawodowym; ocenę funkcjonowania samorządu zawodowego inżynierów budownictwa; ocenę zakresu kompetencji posiadanych przez samorząd; uszeregowanie kompetencji samorządu według kryterium istotności; nadzór nad sumiennym wykonywaniem zawodu; ustalanie zasad etyki zawodowej i czuwanie nad ich przestrzeganiem; sądownictwo dyscyplinarne prowadzone przez samorząd; działania w zakresie podnoszenia kwalifikacji i wiedzy jego członków; opiniowanie wymagań programowych kształcenia przyszłych inżynierów budownictwa i sposób finansowania samorządu zawodowego inżynierów budownictwa w kontekście realizacji nałożonych na niego zadań; zdanie respondentów na temat największych zagrożeń dla działalności samorządu zawodowego inżynierów budownictwa oraz kwestie, które w ocenie pytanym osób należałoby zmienić w funkcjonowaniu samorządu; sprawy, które nie zostały poruszone w formularzu ankiety, ale zdaniem respondentów są istotne z punktu widzenia tematyki badania.

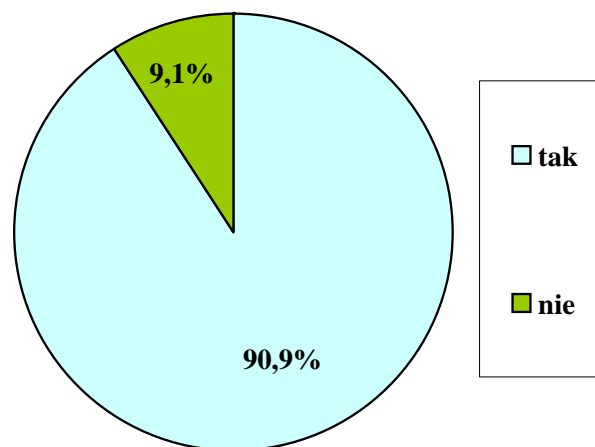
Charakterystykę badanej grupy inżynierów budownictwa zamieszczono w tabeli 1.

#### 4. Wyniki prowadzonych badań ankietowych

Pytanie pierwsze brzmiało: *Czy Pani/Pana zdaniem samorząd zawodowy inżynierów budownictwa jest ważnym elementem modelu ustrojowego państwa demokratycznego?* Zdecydowana większość ankietowanych uznała, że samorząd jest ważnym elementem państwa demokratycznego, natomiast co dziesiąta pytana osoba uznała, że samorząd takiej roli

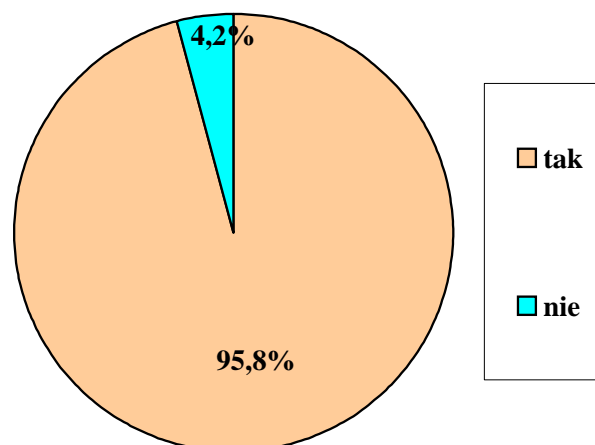
nie spełnia (rys. 1). Pogląd wyrażony przez ankietowane osoby wyraźnie pokazuje, że inżynierowie budownictwa mają świadomość tego, czym jest samorząd zawodowy oraz wiedzą, że jest on integralnym elementem demokratycznego państwa prawa.

odpowiedzi na nurtujące środowisko kwestie celem podjęcia intensywnych działań poprawiających sytuację w obszarach wskazanych przez ankietowane osoby. Spowodowało to jednak, że osoby nie do końca przekonane co do jednej z dwóch zaproponowanych opcji, nie mając innego wyjścia, zaznaczały jedną z nich. Jak zauważył jeden z respondentów – badanie byłoby bardziej racjonalne, gdyby umożliwić osobom niezdecydowanym udzielenie odpowiedzi zgodnej z ich przekonaniem.



Rys. 1. Odpowiedzi na pytanie 1

W pytaniu drugim poproszono ankietowanych o odpowiedź na pytanie: *Czy Pani/Pana zdaniem środowisko inżynierów budownictwa powinno mieć swoją reprezentację wobec władz państwowych w postaci samorządu zawodowego?* Zdecydowana większość osób stwierdziła, że środowisko inżynierów budownictwa powinno posiadać swoją należytą reprezentację wobec władz państwowych w postaci samorządu zawodowego. Pojedyncze osoby (38) uznały, że takiej potrzeby nie widzą (rys. 2). Oznacza to, że inżynierowie budownictwa upatrują w instytucji samorządu zawodowego godnego reprezentanta ich interesów zawodowych. Ankietowani wyraźnie wskazali, że to właśnie samorząd zawodowy jest instytucją, która godnie reprezentować będzie ich interes w relacjach z władzami centralnymi państwa demokratycznego.



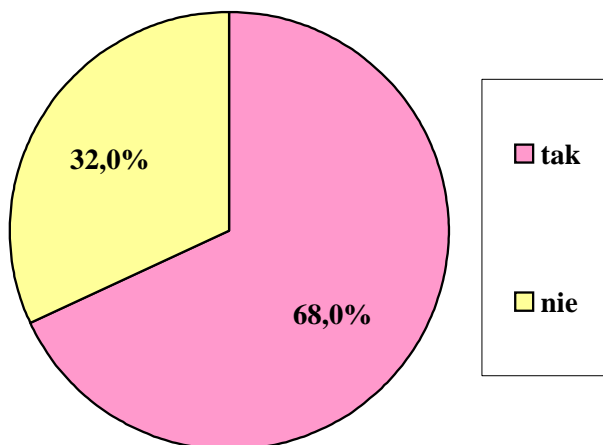
Rys. 2. Odpowiedzi na pytanie 2

Tab. 1. Charakterystyka badanej grupy inżynierów budownictwa

Wiek				
20-35 lat		36-50 lat		powyżej 50 lat
4,85%		19,03%		76,12%
Płeć				
kobieta				mężczyzna
11,33%				88,67%
Staż zawodowy				
1-10 lat pracy		11-20 lat pracy		powyżej 20 lat pracy
4,18%		12,54%		83,28%
Wykształcenie				
technik		inżynier		mgr inżynier
11,00%		28,27%		55,56%
				doktor, profesor
				5,17%
Rodzaj posiadanych uprawnień				
ograniczone				pełne
22,11%				77,89%
Miejsce zamieszkania				
wieś		miasto do 10 tys.		miasto 10-20 tys.
7,48%		7,48%		9,35%
				miasto 20-50 tys.
				13,09%
				miasto 50-100 tys.
				15,85%
				miasto 100-200 tys.
				21,45%
				miasto ponad 200 tys.
				25,30%
Miejsce pracy				
wieś		miasto do 10 tys.		miasto 10-20 tys.
3,86%		8,58%		9,57%
				miasto 20-50 tys.
				11,22%
				miasto 50-100 tys.
				16,28%
				miasto 100-200 tys.
				23,21%
				miasto ponad 200 tys.
				27,28%
Forma zatrudnienia				
praca na etacie		działalność gospodarcza		praca na umowę zlecenia/o dzieło
47,63%		39,38%		10,34%
				inne
				2,65%
Zawód/specjalizacja*				
architektoniczna		konstrukcyjno-budowlana		drogowa
3,85%		55,78%		8,58%
				mostowa
				4,40%
				wyburzeniowa
				0,00%
kolejowa		telekomunikacyjna		instalacji sanitarnych
0,88%		1,98%		19,14%
				instalacji elektrycznych
				13,97%
				wodno-melioracyjna
				2,42%
Charakter wykonywanej działalności*				
projektowanie		wykonawstwo		nadzór
52,48%		35,42%		56,99%
				inne
				14,63%

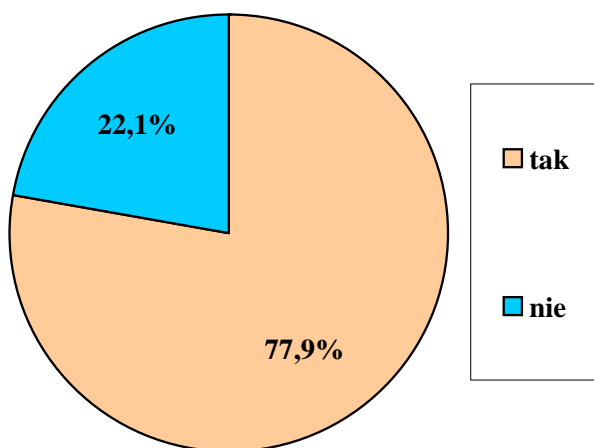
\* Respondenci wybierali kilka odpowiedzi, stąd też wynik poszczególnych kategorii nie daje 100%.

Pytanie trzecie brzmiało: *Czy samorząd zawodowy inżynierów budownictwa spełnia Pani/Pana oczekiwania?* Ankietowane osoby w większości uznały, że samorząd zawodowy inżynierów budownictwa spełnia ich oczekiwania, co oznacza, że w ich przekonaniu należyście wywiązuje się z powierzonych mu zadań. Blisko siedem spośród dziesięciu pytanym osób uznało, że samorząd stanowi odpowiedź na oczekiwania środowiska zawodowego (rys. 3).



Rys. 3. Odpowiedzi na pytanie 3

W pytaniu czwartym poproszono ankietowanych o odpowiedź: *Czy Pani/Pana zdaniem samorząd zawodowy inżynierów budownictwa powinien mieć większy zakres kompetencji?* Blisko osiem na dziesięć zapytanym osób uznała, że zakres kompetencji samorządu zawodowego inżynierów budownictwa powinien być większy. Przeciwnego zdania było natomiast nieco ponad 20% osób (rys. 4).



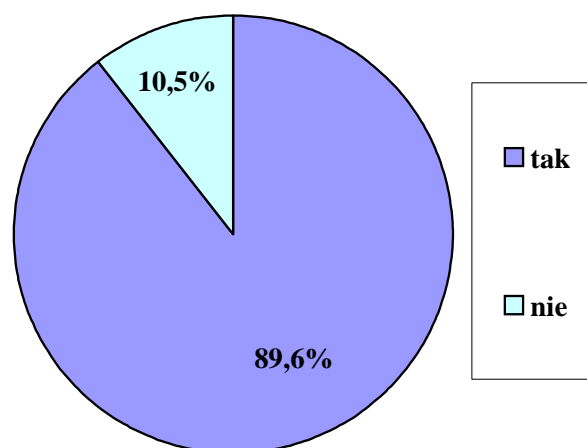
Rys. 4. Odpowiedzi na pytanie 4

W pytaniu piątym poproszono ankietowanych o uszeregowanie kompetencji samorządu zawodowego od najważniejszej po najmniej istotną z zaproponowanego katalogu. Zdaniem respondentów kompetencje samorządu zawodowego należałoby uszeregować w następujący sposób:

- 1) reprezentowanie interesów zawodowych wobec władz państwowych – 53,91% wskazań;
- 2) określanie i opiniowanie wymagań programowych kształcenia inżynierów – 53,25% wskazań;
- 3) organizowanie i prowadzenie sądownictwa zawodowego – 36,74% wskazań;
- 4) nadzór nad należyтым wykonywaniem zawodu – 36,19% wskazań;
- 5) podnoszenie kwalifikacji i wiedzy członków – 36,19% wskazań;
- 6) ustalanie zasad i czuwanie nad etyką wykonywania zawodu – 36,08% wskazań.

Istniała również możliwość wskazania innych kompetencji, które zdaniem ankietowanych są istotne z punktu widzenia działalności samorządu zawodowego. Żaden z respondentów z takiej możliwości nie skorzystał. Ankietowani inżynierowie budownictwa uznali, że najważniejszym zadaniem stojącym przed samorządem zawodowym jest niewątpliwie reprezentowanie interesów tego właśnie środowiska zawodowego względem władz.

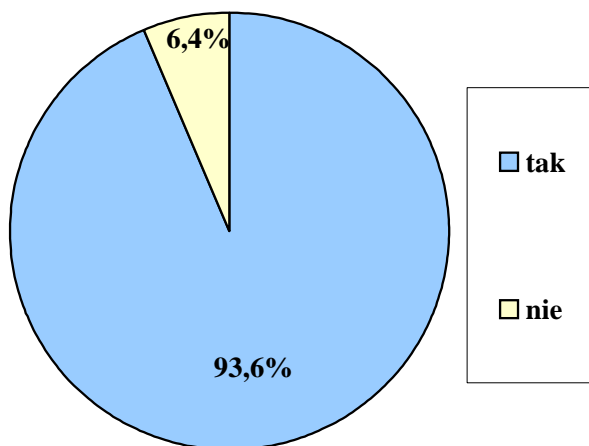
W kolejnych pytaniach poproszono ankietowanych o wyrażenie opinii na temat poszczególnych zadań realizowanych przez samorząd zawodowy inżynierów budownictwa. Pytanie szóste brzmiało: *Czy Pani/Pana zdaniem samorząd zawodowy inżynierów budownictwa powinien sprawować nadzór nad sumiennym wykonywaniem zawodu przez swoich członków?* Zdecydowana większość pytanym, bo dziewięć na dziesięć zapytanym osób uznało, że samorząd zawodowy inżynierów budownictwa powinien sprawować nadzór nad sumiennym wykonywaniem zawodu przez przedstawicieli własnej profesji (rys. 5).



Rys. 5. Odpowiedzi na pytanie 6

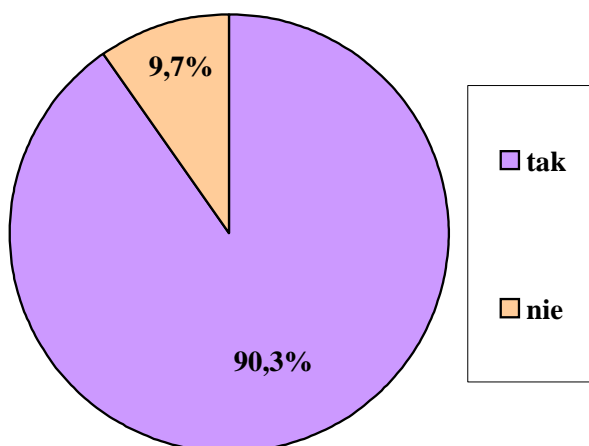
Pytanie siódme w prezentowanym badaniu brzmiało: *Czy Pani/Pana zdaniem samorząd zawodowy inżynierów budownictwa powinien ustalać zasady etyki zawodowej i czuwać nad ich przestrzeganiem?* Ankietowani zdecydowanie uznali, że ustalanie zasad etyki zawodowej i czuwanie nad jej przestrzeganiem powinno być jedną z kluczowych kompetencji samorządu tej właśnie profesji (rys. 6).





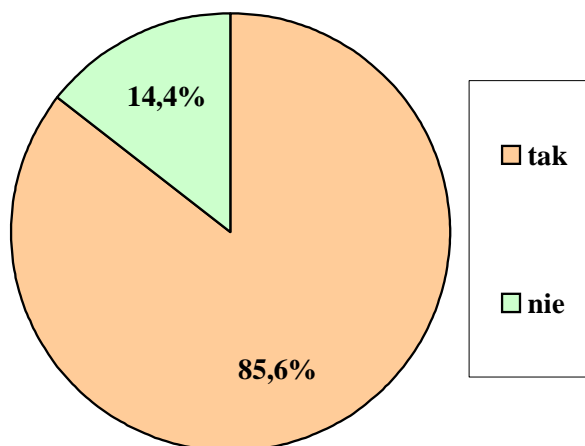
Rys. 6. Odpowiedzi na pytanie 7

Treść pytania ósmego była następująca: *Czy Pani/Pana zdaniem sądownictwo dyscyplinarne powinno pozostawać w gestii samorządu zawodowego inżynierów budownictwa?* Ankieterzy zdecydowanie stwierdzili, że sądownictwo dyscyplinarne powinno pozostać w gestii samorządu zawodowego inżynierów budownictwa (rys. 7).



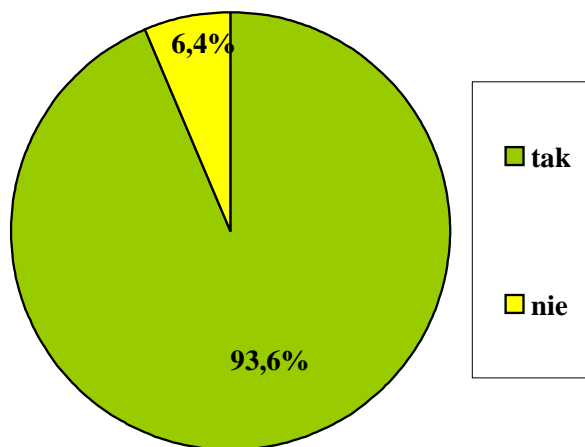
Rys. 7. Odpowiedzi na pytanie 8

W punkcie dziewiątym poproszono ankieterów o odpowiedź na pytanie: *Czy Pani/Pana zdaniem samorząd zawodowy inżynierów budownictwa prowadzi działania mające na celu podnoszenie kwalifikacji i wiedzy swoich członków?* Ponad 85% zapytanych osób uznało, że samorząd zawodowych inżynierów budownictwa prowadzi działania mające na celu podnoszenie kwalifikacji i wiedzy swoich członków, podczas gdy pozostali ankieterzy uznali, że tego nie czyni (rys. 8).



Rys. 8. Odpowiedzi na pytanie 9

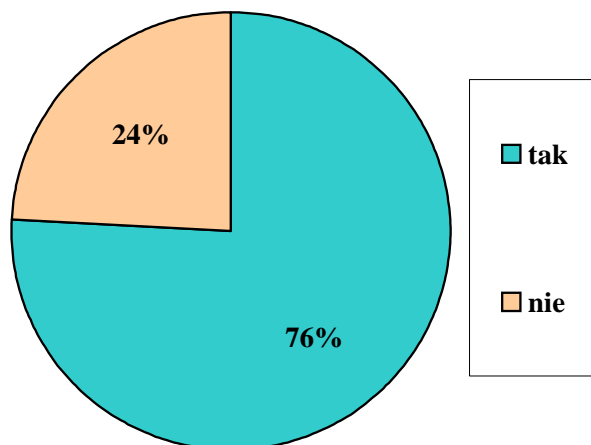
Pytanie dziesiąte brzmiało: *Czy Pani/Pana zdaniem samorząd zawodowy inżynierów budownictwa powinien opiniować wymagania programowe kształcenia inżynierów?* Opiniowanie wymagań programowych i posiadanie realnego wpływu na treści kształcenia na uczelniach technicznych służy temu, aby treści wykładane w trakcie studiów odpowiadały zapotrzebowaniu rynku pracy i były pomocne w późniejszym wykonywaniu zawodu inżyniera budownictwa. Skoro samorząd zawodowy monitoruje sytuację zawodową inżynierów budownictwa, wydaje się, że jest instytucją najlepiej zorientowaną w kwestii potrzeb rynku i współcześnie stawianych wymagań względem przedstawicieli zawodu. Z całą pewnością zatem powinien on mieć wpływ na treści kształcenia prezentowane na polskich uczelniach. Oczywiście nie powinien być to wpływ dominujący, a raczej doradczy, bowiem decydujący głos w tym względzie powinien przysługiwać niezależnym instytucjom, jakimi są niewątpliwie uczelnie wyższe w Polsce. Wyraz takiemu stanowisku dali ankieterzy inżynierowie budownictwa, którzy w przeważającej większości uznali, że tak właśnie być powinno (rys. 9).



Rys. 9. Odpowiedzi na pytanie 10

Wreszcie ostatnie pytanie zamknięte w tym badaniu brzmiało: *Czy Pani/Pana zdaniem sposób finansowania*

samorządu zawodowego inżynierów budownictwa pozwala na realizację nałożonych na niego zadań? Co czwarty respondent uznał, że samorząd zawodowy nie jest w stanie realizować nałożonych na niego zadań. Pomimo uwag krytycznych 3/4 osób uznało, że nie ma potrzeby ingerowania w sposób finansowania struktur samorządowych (rys. 10).



Rys. 10. Odpowiedzi na pytanie 11

Kolejne trzy pytania miały formułę otwartą i wymagały od respondentów wskazania własnych odpowiedzi na zagadnienia w nich zawarte.

W pytaniu dwunastym poproszono ankietowanych o wskazanie największych zagrożeń dla działalności samorządu zawodowego inżynierów budownictwa. Z takiej możliwości skorzystało 446 osób, co stanowi 49,06% wszystkich pytaných osób<sup>6</sup>. Za największe zagrożenie dla samorządu respondenci uznali: marginalizowanie roli samorządu zawodowego przez władze państwowe i sukcesywne działania zmierzające do jego likwidacji – 32,51%<sup>7</sup>; wprowadzanie niekorzystnych zmian w prawie budowlanym i prawie samorządowym bez zasięgnięcia opinii samorządu zawodowego – 15,25%; niewielki wpływ władz samorządowych na zmiany w prawie budowlanym i samorządowym – 13,68%; upolitycznienie samorządu – 13,45%<sup>8</sup>; niewielką aktywność członków samorządu,

w szczególności osób młodych – 12,78%; traktowanie samorządu zawodowego jako instytucji działającej w celu realizacji partykularnych interesów poszczególnych inżynierów – 10,31%<sup>9</sup>; zbyt małe w stosunku do potrzeb kompetencje samorządu – 6,73%; utrudnioną drogą do uzyskania uprawnień zawodowych, która powoduje, że nie przybywa nowych członków, w szczególności młodych osób – 6,50%; umniejszanie roli samorządu zawodowego przez samych jego członków oraz władze – 4,93%<sup>10</sup>; nieodpowiednie osoby piastujące stanowiska kierownicze na szczeblu krajowym i regionalnym – 4,71%<sup>11</sup>; traktowanie samorządu jako przymus i obowiązek a nie jako przywilej i wyróżnienie względem innych grup zawodowych – 4,48%; niewielką realną pomoc struktur samorządowych dla szeregowych członków – 4,04%; brak skutecznej kontroli nad etyką wykonywania zawodu i procesem podnoszenia kwalifikacji zawodowych – 3,81%; nadmierną biurokracją w strukturach samorządowych – 3,59%; wewnętrzne spory personalne i wygórowane ambicje osób piastujących stanowiska we władzach korporacyjnych – 3,36%; ograniczanie dostępu do zawodu ludziom młodym i wykluczanie z zawodu na przykład za niepłacenie składek – 1,79%; powstawanie konkurencyjnych stowarzyszeń, które rozbijają jedność zawodową i tym samym zmniejszają znaczenie samorządu – 1,57%; Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, który jest przeciwnikiem samorządu – 1,35%; krótką historię samorządu zawodowego inżynierów budownictwa i niewielkie doświadczenie – 1,12%; sztuczne zaniżanie cen w przetargach – 0,89%<sup>12</sup>; brak jednolitego minimum programowego na uczelniach wyższych – 0,89%; dopuszczanie osób z innych profesji do wykonywania czynności zawodowych inżyniera budownictwa – 0,45%.

W punkcie trzynastym zapytano ankietowanych, co ich zdaniem należałoby zmienić w funkcjonowaniu samorządu zawodowego inżynierów budownictwa.

Z możliwości wskazania kierunków zmian w samorządzie skorzystało 290 osób, czyli 31,90% wszystkich respondentów. Uznali oni, że przede wszystkim należałoby: sukcesywnie zwiększać wpływ samorządu na władze państwowe – 26,21%; organizować więcej szkoleń podnoszących kwalifikacje, w szczególności w zakresie często zmieniającego się

<sup>6</sup> W przypadku tego, jak i kolejnych dwóch pytań procentowy wynik poszczególnych odpowiedzi podany będzie w stosunku do liczby osób, które skorzystały z możliwości wyrażenia swojej opinii a nie wszystkich respondentów. Jako że pytanie miało formułę otwartą, respondenci mogli rozbudowywać swoje odpowiedzi, stąd wynik procentowy nie sumuje się i nie daje 100%. Ponadto odpowiedzi ankietowanych zostały tematycznie skategoryzowane.

<sup>7</sup> Ankietowani wskazywali jako przykłady tego rodzaju działań m.in. złożenie przez Rzecznika Praw Obywatelskich wniosku do Trybunału Konstytucyjnego o sprawdzenie zgodności z Konstytucją zapisów ustaw samorządowych, propozycje zmiany przepisów w zakresie obligatoryjnej przynależności do struktur samorządowych, czy chociażby stopniowe odbieranie uprawnień budowlanych.

<sup>8</sup> Zdaniem wielu ankietowanych samorząd staje się przedmiotem gry politycznej, szczególnie w trakcie trwania kampanii politycznej oraz instrumentem w rękach populistów.

<sup>9</sup> Niektórzy ankietowani zaznaczali, że tego rodzaju zjawisko występuje również we władzach korporacyjnych.

<sup>10</sup> Część ankietowanych twierdziła, że władze powinny podejmować znacznie więcej działań na rzecz zwiększenia pozycji społecznej samorządu zawodowego inżynierów budownictwa.

<sup>11</sup> Część osób twierdziła, że samorząd powinien być kierowany przez osoby posiadające przede wszystkim doświadczenie zawodowe a w drugiej dopiero kolejności wiedzę teoretyczną. Zdaniem niektórych należałoby sprecyzować kryteria wyboru władz samorządowych.

<sup>12</sup> Ta kwestia nie dotyczy bezpośrednio samego samorządu a raczej kwestii związanych już stricte z wykonywaniem profesji inżyniera budowlanego.

prawa budowlanego – 25,17%<sup>13</sup>; docierać z informacją do większej liczby inżynierów budownictwa, propagować działalność samorządu i zachęcać do działania w ramach jego struktur – 12,07%; zwiększyć kompetencje organów samorządowych, w szczególności w zakresie ustawodawstwa związanego z wykonywaniem zawodu inżyniera budowlanego – 11,38%; skuteczniej realizować posiadane już przez samorząd uprawnienia – 10,00%<sup>14</sup>; upowszechniać informację o podejmowanych przez samorząd działaniach – 9,31%<sup>15</sup>; prowadzić działania na rzecz integracji całego środowiska – 8,28%<sup>16</sup>; zintensyfikować kontrolę nad osobami działającymi w budownictwie, w szczególności w zakresie przestrzegania etyki zawodowej – 6,90%; zwiększyć liczbę młodych osób w organach samorządowych – 6,21%; zwiększyć pomoc ze strony samorządu dla „szeregowych” jego członków – 5,52%; podnieść rangę społeczną samorządu i renomę zawodu inżyniera budownictwa – 5,17%; zaostrzyć wymagania względem potencjalnych członków samorządu – 4,14%; starać się aktywnie wpływać na programy kształcenia zawodowego – 3,79%; usprawnić system sądownictwa dyscyplinarnego – 3,45%<sup>17</sup>; zmienić zasady przeprowadzania egzaminów na uprawnienia budowlane – 2,76%; powołać nowy organ samorządowy, który zajmowałby się tylko zmianami w prawie budowlanym – 2,07%<sup>18</sup>; umożliwić technikom budowlanym zdobywanie uprawnień budowlanych w ograniczonym zakresie – 2,07%<sup>19</sup>; uporządkować system ubezpieczeń – 1,72%; obniżyć wysokość składek członkowskich – 1,72%; zwiększyć rolę delegatów i zjazdu w stosunku do innych organów – 1,03%<sup>20</sup>; wprowadzić zasadę, że obradom w sądzie dyscyplinarnym

powinien przewodniczyć prawnik – 0,69%<sup>21</sup>; zmniejszyć opłaty za uzyskanie uprawnień budowlanych – 0,69%; zlikwidować obowiązkową przynależność do samorządu – 0,34%; zlikwidować wynagrodzenia dla osób piastujących funkcje samorządowe – powinna to być praca społeczna – 0,34%.

Wreszcie w ostatnim pytaniu poproszono ankietowanych o wskazanie rzeczy istotnych z punktu widzenia tego badania a nieporuszonych w treści ankiety. Respondenci (148 osób, co stanowi 16,28% wszystkich uczestników badania) uznali, że można byłoby jeszcze poruszyć kwestie związane z: prowadzeniem skutecznych działań względem władz centralnych – 19,59%<sup>22</sup>; zmianą rozwiązań prawnych na korzystniejsze dla inżynierów budownictwa – 16,89%<sup>23</sup>; organizacją większej liczby szkoleń związanych z ciągłymi zmianami prawa budowlanego – 15,54%; większą jawnością działania samorządu, w tym również struktur regionalnych – 14,86%; wzmocnieniem pozycji społecznej inżynierów budownictwa – 14,19%<sup>24</sup>; rzetelną oceną posiadanych uprawnień budowlanych – 9,46%<sup>25</sup>; potrzebą nawiązania intensywnej współpracy z Głównym Urzędem Nadzoru Budowlanego, rządem oraz władzami samorządu terytorialnego – 8,11%; potrzebą przyciągnięcia do struktur samorządowych ludzi młodych – 7,43%; udzielaniem informacji o nowinkach technicznych – 6,76%; zawyżaniem cen w przetargach – 6,08%; udzielaniem na szerszą skalę pomocy prawnej inżynierom budownictwa przez struktury samorządowe – 5,41%; likwidacją podwójnych uprawnień zawodowych – 4,73%; kwestią realizacji partykularnych interesów kilku osób – 4,05%; wyjaśnieniem i ujednoliceniem przepisów dotyczących ubezpieczeń – 2,70%; obniżaniem rangi zawodu inżyniera budownictwa przez środowisko architektów – 2,03%; potrzebą powołania nowej specjalności – 1,35%<sup>26</sup>; obligatoryjnym członkostwem w samorządzie zawodowym – 0,68%.

<sup>13</sup> Część osób uznała, że być może warto byłoby wprowadzić obowiązkowe szkolenia dla osób wykonujących czynności zawodowe.

<sup>14</sup> Zdaniem niektórych badanych osób należałoby precyzyjnie określić – kto i za co odpowiada, wprowadzić większą rotację na stanowiskach samorządowych, usprawnić zarządzanie całą strukturą. Pojawił się również pomysł, aby samorządem zarządzał manager lub też, aby prezesa wybierał zarząd a nie delegaci zjazdu. Postulowano również większą demokratyzację struktur oraz wprowadzenie organu o nazwie „rzecznik interesu zawodowego”.

<sup>15</sup> Postulowano między innymi zintensyfikować działania za pomocą mediów elektronicznych.

<sup>16</sup> Wśród takich działań wymieniano między innymi „imprezy samorządowe” na szczeblu okręgowym, których celem byłoby wzajemne poznanie się osób z danego regionu.

<sup>17</sup> Sugerowano, że jednym ze sposobów na usprawnienie sądownictwa dyscyplinarnego byłoby zaostrzenie kar względem osób naruszających prawo i zasady deontologii zawodowej.

<sup>18</sup> Postulowano stworzenie „komisji”, której zadaniem byłoby monitorowanie zmian w prawie budowlanym oraz przedstawianie propozycji zmian tego prawa.

<sup>19</sup> Zdaniem ankietowanych zwiększyłoby to liczbę usługodawców na rynku i korzystnie wpłynęło na tą sferę działalności.

<sup>20</sup> Jeden z delegatów stwierdził, że skoro zjazd jest najwyższym organem samorządowym, ale jednocześnie zwolniony jest rzadko, powinien on posiadać większy zakres kompetencji.

## 5. Podsumowanie

Jak pokazuje przedstawione opracowanie inżynierowie budownictwa posiadają bogatą wiedzę na temat funkcjonowania własnego samorządu zawodowego,

<sup>21</sup> Miałoby to podnieść jakość prowadzonego postępowania dyscyplinarnego i rozwiązać wszelkie wątpliwości, co do stosowanej procedury.

<sup>22</sup> Ankietowani twierdzili, że członkowie samorządu powinni znacznie częściej pojawiać się w mediach oraz że to właśnie środowisko zawodowe powinno zdobyć swoją reprezentację w parlamencie.

<sup>23</sup> Wskazywano między innymi konieczność ujednolicenia przepisów prawa budowlanego.

<sup>24</sup> Ankietowani podkreślali, że jest to konieczne dla prawidłowego rozwoju zawodu w strukturach państwa demokratycznego.

<sup>25</sup> Proponowano na przykład wprowadzenie systemu elektronicznego, który pozwalałoby obywatelom sprawdzać, czy dana osoba posiada określone uprawnienia zawodowe.

<sup>26</sup> Sugerowano, że należałoby utworzyć specjalność o nazwie „gospodarka wodna”.

a także wyrażają pogląd w wielu kwestiach ważnych dla swojej grupy zawodowej. Oznacza to, że poziom „samorządności” w tej właśnie grupie zawodowej jest wysoki, a grupa zawodowa nie boryka się z problemami charakterystycznymi dla każdej większej zbiorowości. Poziom samoorganizacji i samopomocy reprezentowanej przez dane środowisko, w tym również samorząd zawodowy inżynierów budownictwa, zależy między innymi od wiedzy na temat swoich mocnych i słabych stron. Wyniki tego badania pokazują w jakim kierunku powinny być skoncentrowane starania władz samorządowych, jak również „szeregowych” inżynierów budownictwa. Znajomość tych obszarów pozwala na podjęcie skutecznych działań zgodnych z oczekiwaniami społecznym przedstawicieli tej profesji.

Samorząd zawodowy opierając swoje funkcjonowanie na konstytucyjnej zasadzie decentralizacji jest gwarantem wysokich standardów etycznych i moralnych osób wykonujących zawód powszechnie uznawany za zawód zaufania publicznego. Wolność wykonywania takiego zawodu obwarowana jest szeregiem wymagań, których celem jest reglamentacja dostępu do zawodu wyłącznie dla tych osób, które legitymują się nie tylko wysokimi kwalifikacjami merytorycznymi, ale także przestrzegają zasad deontologii zawodowej. Funkcjonowanie samorządu zawodowego gwarantuje również to, że osoby parające się zawodem uznanym za zawód zaufania publicznego ponoszą pełną odpowiedzialność za swoje działania.

Posiadanie samorządu zawodowego jest swoistego rodzaju przywilejem, który winien być pielęgnowany przez przedstawicieli wyróżnionych w ten sposób zawodów. W demokratycznym państwie prawa głos samorządu zawodowego w kwestii jego samoorganizacji winien być również wysłuchany i respektowany przez władze centralne. Udział w badaniu dowodzi bowiem, że inżynierowie budownictwa są zainteresowani swoim samorządem.

## Literatura

- Cherka M. (2004). Decentralizacja – czy „reaktywacja” pojęcia jest groźna? *Studia Iuridica*, 43, 15-16.
- Kmieciak R. (2000). Formy organizacyjne samorządu w III Rzeczypospolitej. W: Polska w XX wieku. Politologiczna charakterystyka dokonań i perspektyw rozwoju. Kmieciak R. (Ed.). *Wydawnictwo Naukowe WNPiD UAM*, Poznań, 207.
- Kmieciak R. (2005). Asymetria w rozwoju samorząd zawodowego i gospodarczego w Polsce. W: Spór o samorząd gospodarczy w Polsce. Wykrętowicz S. (Ed.). *Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej*, Poznań, 93-94.
- Kmieciak R. (2008). Ustrój i zadania samorządu zawodowego. W: Samorząd w Polsce – istota, formy, zadania. Wykrętowicz S. (Ed.). *Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bankowej*, Poznań 2008, 352.

## PROFESSIONAL SELF-GOVERNMENT OF CIVIL ENGINEERS IN THE OPINION OF ITS MEMBERS

**Abstract:** Professional self-government of civil engineers plays a major role in representing interests of some specified groups and public administration in Poland. There have been more and more doubts about the legitimacy of the existence of such structures and their functioning in the public sphere, recently professional self-government has been harshly criticized in Poland by society and its members. For this reason, in agreement with The Polish Chamber of Civil Engineers Author conducted a series of surveys, with aim was to answer the question: “What is the real assessment of the functioning of the professional self-government of civil engineers by its members?”. The paper represents the results of the research.

## KORELACJA WILGOTNOŚCI I STĘŻENIA DWUTLENKU WĘGLA W PRZEDSZKOLACH

Katarzyna GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK\*

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

**Streszczenie:** Przedszkola pod względem jakości powietrza wewnętrznego bywają często zaniedbywane. Na całym świecie są przedszkola nieposiadające wentylacji mechanicznej, natomiast mają różnie zorganizowaną wentylację naturalną. Na jakość wentylacji naturalnej duży wpływ ma izolacyjność ścian zewnętrznych. Wentylacja naturalna obiektu może być zaburzona w wyniku przeprowadzenia termomodernizacji ścian, ponieważ może być zmniejszona infiltracja powietrza. Problem ten badano w trzech białostockich przedszkolach o różnej izolacyjności ścian zewnętrznych. Na podstawie wyników pomiarów wykonano analizę korelacji wilgotności względnej powietrza i stężenia CO<sub>2</sub>, która może być przydatna do sterowania wentylacją naturalną.

*Słowa kluczowe:* wilgotność powietrza, stężenie dwutlenku węgla, jakość powietrza wewnętrznego, wentylacja, wentylacja naturalna.

### 1. Wprowadzenie

Aby określić jakość powietrza w pomieszczeniach zamkniętych badane są związki NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> oraz zawartość pyłów; czasem określany jest poziom CO (Kemp i in., 2002; Siskos i in., 2001). Badania dotyczące stężenia CO<sub>2</sub> opisano w wielu opracowaniach między innymi (Demianiuk i in., 2010, Gładyszewska-Fiedoruk, 2009; Santamouris i in., 2008). W budynkach dydaktycznych, jako wyznacznik jakości powietrza, często mierzony jest poziom CO<sub>2</sub>. Dwutlenek węgla brany jest pod uwagę także przy określaniu wzrostu i żywotności mikroorganizmów (Kemp i in., 2002).

Pomiary wykonywano przy różnych systemach wentylacji mechanicznej i naturalnej w celu określenia korelacji CO<sub>2</sub> i wilgotności względnej powietrza w warunkach lokalnych. Przy stosowaniu wentylacji mechanicznej nie można określić takiej korelacji (Demianiuk i in., 2010; Gładyszewska-Fiedoruk, 2009). Obserwuje się ją jedynie, gdy jest tylko wentylacja naturalna.

Każda termomodernizacja ma olbrzymi wpływ na jakość powietrza wewnętrznego.

Podstawową wentylacją w przedszkolach jest wentylacja grawitacyjna kanałowa. Aby działała ona prawidłowo musi być do pomieszczenia doprowadzone powietrze zewnętrzne. Wentylacja grawitacyjna kanałowa pracuje na zasadzie różnicy ciśnień na wlocie i wylocie

kanału (tworzy się tak zwany ciąg kominowy) spowodowany różnicą gęstości powietrza, która wywołana jest różnicą temperatury powietrza na wlocie i wylocie z kanału.

Wentylacja grawitacyjna w pomieszczeniach przedszkolnych w porównaniu z wentylacją mechaniczną ma zarówno wiele zalet jak i wady. Do najważniejszych jej zalet należy zaliczyć:

- niski koszt inwestycji,
- niski koszt eksploatacji (zerowy),
- bezgłośną pracę.

Natomiast główną wadą wentylacji grawitacyjnej jest zależność od warunków pogodowych, co może być przyczyną zaburzeń w pracy wentylacji lub może wywołać okresowe przerwy w jej działaniu.

Otwarte lub rozszczelnione okna są również uzupełnieniem wentylacji grawitacyjnej kanałowej. Jest to wentylacja naturalna – wietrzenie pomieszczeń. Poza dostarczeniem powietrza do pomieszczenia jej zadaniem jest również wymiana powietrza. Problemy powstają, gdy nie można otworzyć okien – podczas opadów deszczu, silnego wiatru lub mrozu a także wysokiej temperatury powietrza zewnętrznego. Przystaje wówczas działać wentylacja grawitacyjna kanałowa, pozostaje infiltracja, czyli wentylacja grawitacyjna, która działa bardzo słabo. W sali przedszkolnej, gdzie przebywa około 20 dzieci i dwóch opiekunów, szybko pogarsza się jakość powietrza wewnętrznego.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.gladyszewska@pb.edu.pl

Źle działająca wentylacja grawitacyjna powoduje również wzrost wilgoci w pomieszczeniach. W sezonach przejściowych wilgość ma wpływ na niszczenie budynku i jego wyposażenia oraz stwarza dobre środowisko do rozwoju wszelkich mikroorganizmów, w tym grzybów i drobnoustrojów chorobotwórczych.

## 2. Opis badanych przedszkoli

Analizowane przedszkola znajdują się w Białymstoku, w północno-wschodniej Polsce, we wschodniej Europie, w klimacie umiarkowanym.

Przedszkole numer 1 jest budynkiem wolno stojącym zbudowanym w latach 50 ubiegłego stulecia. Przedszkole to nie było termomodernizowane. Jest to przedszkole bardzo małe, do którego uczęszcza 45 dzieci (rys. 1). Przebadano wszystkie pomieszczenia przedszkola.



Rys. 1. Przedszkole numer 1

Przedszkole numer 2 jest budynkiem wolno stojącym. Termomodernizację przeprowadzono w 2008; wraz z termomodernizacją zmodernizowano układ wentylacyjny. Jest to małe przedszkole, do którego uczęszcza 100 dzieci (rys. 2). Przebadano te pomieszczenia, w których przebywają dzieci.



Rys. 2. Przedszkole numer 2

Przedszkole numer 3 jest to budynek wolno stojący. Termomodernizacja została zakończona w 2007 roku. Przy wykonywaniu termomodernizacji nie przeprowadzono modernizacji układu wentylacyjnego obiektu. Jest to przedszkole duże, do którego uczęszcza 150 dzieci (rys. 3). Przebadano pomieszczenia, w których przebywają dzieci.



Rys. 3. Przedszkole numer 3

Dane techniczne badanych przedszkoli zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne badanych przedszkoli

Przedszkole		1	2	3
Powierzchnia okien	m <sup>2</sup>	40,4	163,78	311,87
Całkowita powierzchnia budynku	m <sup>2</sup>	170	654	845
Powierzchnia okna odniesiona do powierzchni ściany	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0,24	0,25	0,37
Powierzchnia okna odniesiona do powierzchni pomieszczenia	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0,31-0,39	0,30-0,41	0,29-0,49
Współczynnik przenikania ciepła U	W/m <sup>2</sup> K	2,2	1,5	1,7

## 3. Opis badań

Badania jakości powietrza w przedszkolach wykonano o tej samej porze dnia i w podobnych warunkach, biorąc pod uwagę liczbę dzieci i czas, a także temperaturę zewnętrzną i wilgotność powietrza zewnętrznego – gdy powtarzano serie pomiarowe. Wykonano pomiary parametrów powietrza wewnętrznego (temperatury, wilgotności względnej i stężenia CO<sub>2</sub>) przed przyjściem dzieci i personelu do przedszkola (w godzinach

5.30-6.50) i po zakończeniu wszystkich zajęć (w godzinach 14.30-16.00).

Badania wykonano jesienią – we wrześniu – przed włączeniem centralnego ogrzewania oraz w listopadzie, gdy ogrzewanie pracuje bez przerwy, a okna są przez większą część dnia rozszczelnione i otwierane na około 15-20 minut. Badania powtórzono w lutym, gdy wietrzyenie pomieszczeń było bardzo okazjonalne. Po pierwszej serii badań poinformowano personel przedszkoli o ich wynikach i zasugerowano doprowadzenie do pomieszczeń powietrza zewnętrznego przez stałe rozszczelnienie okien.

Pomiary zostały wykonane we wszystkich salach na wysokości głowy dziecka (około 1,00-1,10 m od powierzchni podłogi). Wszystkie pomiary prowadzono miernikiem testo435-4. Wykonano pomiary temperatury w zakresie od 0 do +50 °C ±0,3°C, pomiary wilgotności względnej w zakresie od +2 do +98 %RH ±2 %RH, pomiary stężenia dwutlenku węgla w zakresie od +0 do +10000 ppm CO<sub>2</sub> ±100 ppm CO<sub>2</sub> ±3% oraz pomiary ciśnienia atmosferycznego w zakresie od +600 do +1150 hPa ±5 hPa. Pomiary wykonano przy wartościach parametrów powietrza zewnętrznego zamieszczonych w tabeli 2. Wartości parametrów powietrza wewnętrznego zamieszczono w pracy Gładyszewskiej-Fiedoruk (2011).

#### 4. Wyniki badań i omówienie wyników pomiarów

Na podstawie wyników pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego w przedszkolach opracowano korelację wilgotności względnej powietrza i stężenia CO<sub>2</sub> za pomocą programu komputerowego Excel.

W każdym przedszkolu, w każdym miesiącu, rano i po południu wykonano 3 serie badań. W sumie wykonano następującą liczbę pomiarów:

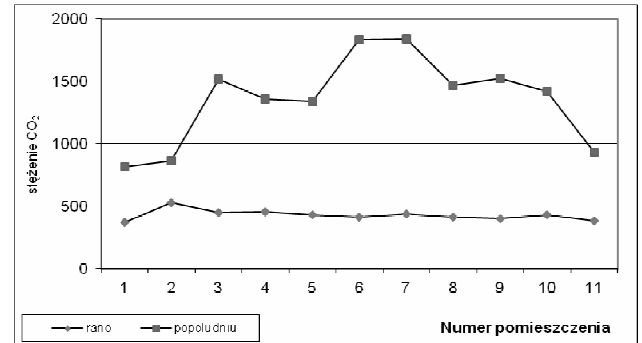
- w przedszkolu nr 1: 13 pomieszczeń x 3 pomiary x 2 pory dnia = 78,
- w przedszkolu nr 2: 7 pomieszczeń x 3 pomiary x 2 pory dnia = 42,
- w przedszkolu nr 3: 11 pomieszczeń x 3 pomiary x 2 pory dnia = 66.

Zmienne do opracowania korelacji obliczono jako średnie z 3 pomiarów w każdym pomieszczeniu. Korelację tę dla różnych przedszkoli przedstawia tabela 3. Na podstawie pracy (Sobczyk, 2007) przyjęto następującą siłę związków korelacyjnych:

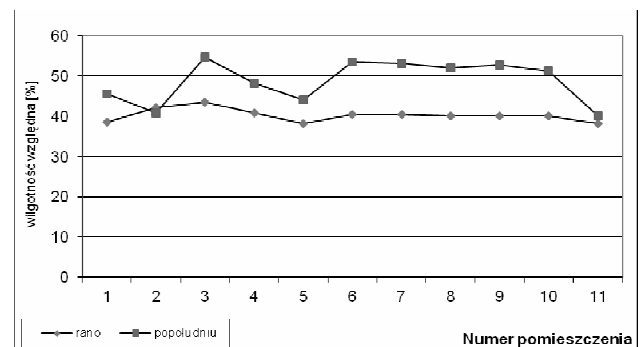
- poniżej 0,2 – korelacja słaba (praktycznie brak związku),

- 0,2-0,4 – korelacja niska (zależność wyraźna),
- 0,4-0,6 – korelacja umiarkowana (zależność istotna),
- 0,6-0,8 – korelacja wysoka (zależność znaczna),
- 0,8-0,9 – korelacja bardzo wysoka (zależność bardzo duża),
- 0,9-1,0 – zależność praktycznie pełna.

Średnie wartości pomiarowe stężenia CO<sub>2</sub> i wilgotności względnej w przedszkolu numer 3 w lutym, użyte do opracowania korelacji, przedstawiają rysunki 4 i 5.



Rys. 4. Średnie wartości stężenia CO<sub>2</sub> w pomieszczeniach przedszkola numer 3



Rys. 5. Średnie wartości wilgotności względnej w pomieszczeniach przedszkola numer 3

Analizując dane z tabeli 2, należy stwierdzić, że podczas pomiarów temperatura powietrza zewnętrznego wzrosła o 5,2 °C, natomiast stężenie dwutlenku węgla w powietrzu zewnętrznym spadło o 45 ppm. Już przy tak małym wzroście temperatury można zaobserwować spadek stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu zewnętrznym. Na zjawisko to ma wpływ zmniejszenie ogrzewania budynków, a za tym idzie mniejsza emisja dwutlenku węgla do atmosfery.

Tab. 2. Parametry powietrza zewnętrznego

Parametr	Jednostka	Wrzesień		Listopad		Luty	
Godzina pomiaru	godzina	6:50	16:00	6:50	15:30	7:00	15:15
Temperatura	°C	8,4	13,6	3,1	2,6	-0,5	0,2
Wilgotność	%	89,5	70,3	86,4	83,5	88,3	86,2
Ciśnienie atmosferyczne	Pa	1006	1006	972,3	970,9	1006,4	1007,2
Stężenie CO <sub>2</sub>	ppm	408	363	450	444	480	460

Tabela 3. Korelacje między wilgotnością względną powietrza (oznaczoną jako y), a stężeniem CO<sub>2</sub> (oznaczonym jako x).

Przedszkole nr 1						
Pora dnia	Rano			Po południu		
Miesiąc	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych
Wrzesień	$y = 14,92x + 721,27$	0,93	praktycznie pełna	$y = 47,76x + 1921,3$	0,96	praktycznie pełna
Listopad	$y = 6,33x + 476,08$	0,89	bardzo wysoka	$y = 70,00x + 2066$	0,93	praktycznie pełna
Luty	$y = 7,81x + 522,65$	0,92	praktycznie pełna	$y = 61,54x + 1532,5$	0,91	praktycznie pełna
Przedszkole nr 2						
Pora dnia	Rano			Po południu		
Miesiąc	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych
Wrzesień	$y = 24,32x + 352,86$	0,86	bardzo wysoka	$y = 206,96x + 461,57$	0,97	praktycznie pełna
Listopad	$y = 42,96x + 337,71$	0,94	praktycznie pełna	$y = 58,36x + 704,43$	0,94	praktycznie pełna
Luty	$y = 30,36x + 373,71$	0,89	bardzo wysoka	$y = 75,32x + 470,71$	0,94	praktycznie pełna
Przedszkole nr 3						
Pora dnia	Rano			Po południu		
Miesiąc	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych	Równanie regresji prostej	Współczynnik korelacji	Siła związków korelacyjnych
Wrzesień	$y = 11,97x + 336,16$	0,52	umiarkowana (zależność istotna)	$y = 98,49x + 732,6$	0,87	bardzo wysoka
Listopad	$y = 11,63x + 357,96$	0,85	bardzo wysoka	$y = 102,25x + 741,98$	0,92	praktycznie pełna
Luty	$y = 13,36x + 375,09$	0,86	bardzo wysoka	$y = 93,92x + 612,67$	0,93	praktycznie pełna



Parametrami określającymi stan powietrza w pomieszczeniu według PN-EN 13779: 2008 *Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji* są temperatura i wilgotność. W badanych przedszkolach temperatury powietrza w pomieszczeniach, z małymi wyjątkami, były zróżnicowane, ale mieściły się w granicach normy. Natomiast w listopadzie i lutym wilgotność powietrza w pomieszczeniach budynków po termomodernizacji była poniżej zalecanych wartości. Powietrze w pomieszczeniach było suche. Przedszkole nie poddane termomodernizacji, bez względu na porę roku, miało wartości wilgotności względnej w granicach norm PN-EN 13779: 2008, prEN 13465 *Wentylacja budynków – Metody obliczeniowe do określenia przepływów powietrza w pomieszczeniach*, prEN 13465 (N453): 2003 *Calculation Methods – What we can use in existing EN and ISO standards. Need for further development.*

Analizując dane z tabeli 3 należy zauważyć, że w 11 przypadkach (co stanowi 61 % opracowanych zależności) korelacja jest praktycznie pełna, a 6 przypadkach (co stanowi 33%) korelacja jest bardzo wysoka. Tylko jedną zależność (co stanowi 6%) wykazuje korelację umiarkowaną.

Podobieństwa przebiegów wykresów obu badanych parametrów ilustrują rysunki 4 i 5. Zjawisko to jest związane z fizjologią człowieka, który oddychając wydziela parę wodną i CO<sub>2</sub>. Wartości te w powietrzu wewnętrznym powinny być z założenia skorelowane w pomieszczeniach, gdzie jest tylko wentylacja naturalna. W badanych przedszkolach jedyną wentylacją była wentylacja naturalna, lecz o różnej intensywności w zależności od jakości termomodernizacji, co można zaobserwować analizując siłę związków korelacyjnych w tabeli 3.

## 5. Podsumowanie

Literatura na temat badań jakości powietrza wewnętrznego w przedszkolach jest nieliczna (Gładyszewska-Fiedoruk, 2010 i 2011). Badania parametrów powietrza wewnętrznego w przedszkolach są na etapie początkowym, podobnie jak badania skuteczności wentylacji naturalnej będącej podstawową wentylacją w obiektach przedszkolnych w Polsce i na świecie. Badane są również możliwości poprawy jej działania.

Badania własne Autorki dotyczące jakości powietrza wewnętrznego w przedszkolach prowadzono przez trzy lata. Na wstępie wykonano badania w 9 różnych przedszkolach, z których wytypowano 3 przedszkola do dalszych kompleksowych badań. Wyniki tych badań zaprezentowano w artykule.

W podsumowaniu można stwierdzić, że wentylacją naturalną można sterować, w inny sposób niż to się odbywa aktualnie. Wprawdzie wilgotność jest skorelowana z CO<sub>2</sub>, lecz do sterowania wentylacją naturalną lepszy byłby czujnik CO<sub>2</sub>, niż czujnik wilgotności względnej, który nie spełnia swojej funkcji

w sezonie grzewczym. Zimą powietrze w pomieszczeniach jest suche i powoduje doprowadzenie do pomieszczenia zbyt małej ilości powietrza wentylacyjnego.

## Literatura

- Demianuk A., Gładyszewska-Fiedoruk K., Gajewski A., Ołów A. (2010). The changes of carbon dioxide concentration in a cinema auditorium. *Civil And Environmental Engineering*, 2/2010, 105-110.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2009). Badania stężenia dwutlenku węgla w sali dydaktycznej. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 5/2009, 39-41.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2010). Analiza stanu środowiska wewnętrznego w wybranych przedszkolach ze szczególnym uwzględnieniem dwutlenku węgla. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 2/2010, 28-30.
- Gładyszewska-Fiedoruk K. (2011). Analysis of stack ventilation system effectiveness in an average kindergarten in north-eastern Poland. *Energy and Buildings*, Vol. 43, No. 9, 2488-2493.
- Kemp P.C., Neumeister-Kemp H.G., Koch C., Lysek G., Murray F. (2002). Determining the Growth and Vitality of Micro-Organisms in Carpets and Mattresses in Non-Problem Dwellings by Measuring CO<sub>2</sub> Released during Respiration. *Indoor and Built Environment*, Vol. 11, No. 4, 214-220.
- Santamouris M., Synnefa A., Assimakopoulos M., Livada I., Pavlou K., Papaglastra M., Gaitani N., Kolokotsa D., Assimakopoulos V. (2008). Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 10, 1833-1843.
- Siskos P. A., Bouba K. E., Stroubou A. P. (2001). Determination of Selected Pollutants and Measurement of Physical Parameters for the Evaluation of Indoor Air Quality in School Buildings in Athens, Greece. *Indoor and Built Environment*, Vol. 5, No. 10, 185-192.
- Sobczyk M. (2007). *Statystyka*, PWN, Warszawa.

## CORRELATION OF HUMIDITY AND CO<sub>2</sub> CONCENTRATION IN KINDERGARTENS

**Abstract:** Kindergarten is an institution in which children commence their education process, and the education has a group character. As far as the quality of indoor air is concerned, kindergartens have been often neglected. In countries all over the world there are kindergartens which make use of different kinds of natural ventilation, and do not possess any mechanical ventilation systems. The research presented in this study was conducted in three kindergartens which varied in terms of their exterior wall insulation. The three considered objects were localised in eastern Europe, in the temperate zone. Relying on the obtained measurement results, analysis of correlation between humidity and CO<sub>2</sub> concentration could be conducted. Nearly complete correlation was observed in 61% of the measurements. This fact may constitute a solid basis for the control of natural ventilation.

Praca finansowana w ramach prac statutowych Politechniki Białostockiej S/WBIŚ/5/2011.



## OCENA WPŁYWU WSKAŹNIKA ZAGĘSZCZENIA NA MODUŁ SZTYWNOŚCI BETONU ASFALTOWEGO

Andrzej PLEWA\*

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

**Streszczenie:** Błędy technologiczne dotyczące niewłaściwego zagęszczenia warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych są często główną przyczyną przedwczesnej utraty nośności konstrukcji nawierzchni drogowej. Stwarza to konieczność ciągłego doskonalenia technologii w budowywania mieszanek mineralno-asfaltowych. Cel ten może być realizowany poprzez wykorzystanie dostępnych osiągnięć z dziedziny reologii mieszanek mineralno-asfaltowych, jak również poprzez pogłębianie wiedzy z zakresu technologii drogowych. W artykule przedstawiono wyniki badań i analiz wpływu zagęszczenia mieszanek mineralno-asfaltowych typu beton asfaltowy (AC) na wartość modułu sztywności. Podjęto próbę określenia korelacji zachodzących pomiędzy wskaźnikiem zagęszczenia, a parametrami objętościowymi i modułem sztywności betonu asfaltowego AC16P z zastosowaniem lepszyczy asfaltowych: asfaltu 35/50 i elastomeroasfaltu PMB 25/55-60.

*Słowa kluczowe:* mieszanka mineralno-asfaltowa, beton asfaltowy (AC), moduł sztywności IT-CY, wskaźnik zagęszczenia.

### 1. Wprowadzenie

Zagęszczanie mieszanek mineralno-asfaltowych jest jednym z najważniejszych etapów wykonywania warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowych. Wpływa ono bowiem nie tylko na trwałość nawierzchni, ale także na ich cechy eksploatacyjne. Podczas procesu zagęszczenia, poprzez redukcję liczby wolnych przestrzeni oraz łączenia się „błonek” asfaltu otaczających ziarna kruszywa, dochodzi do zmniejszenia objętości mieszanki mineralno-asfaltowej oraz wzrostu jej gęstości. Pozwala to na osiągnięcie jej optymalnej spójności i odpowiednich właściwości eksploatacyjnych (Dowell i Stubbs, 2004; Mieczkowski, 2006; Dołżycki i Judycki, 2006).

Moduł sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych jest wielkością zmienną w funkcji temperatury. Wraz ze spadkiem temperatury jego wartość wzrasta, czyniąc warstwę z mieszanki bardziej nośną, lecz z drugiej strony bardziej kruchą i podatną na spękania. Natomiast w wysokich temperaturach letnich ma miejsce zjawisko odwrotne – moduł sztywności maleje, obniżając tym samym odporność kompozytu na deformacje (Dołżycki i Judycki, 2006; Piłat i Radziszewski, 2010; Park i in., 2005; Radziszewski i in., 2011). Zachowanie dobrych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych jest więc

nie lada wyzwaniem stawianym przed technologami laboratoriów drogowych. Głównym ich celem powinna więc być, oparta o liczne badania, optymalizacja właściwości mieszanki w całym zakresie temperatur eksploatacyjnych, możliwie wiernie odwzorowująca jej pracę w nawierzchni drogowej.

Właściwe dobranie poszczególnych składników mieszanek mineralno-asfaltowych determinuje między innymi uzyskanie wymaganych wartości parametrów kontraktowych – wskaźnika zagęszczenia i zawartości wolnej przestrzeni. Mimo, iż w znaczącym stopniu decydują one o nośności nawierzchni drogowej, to rozpatrywanie ich jako wyłączne kryterium brane pod uwagę podczas projektowania i w budowywania mieszanek może okazać się niewystarczające. Dopiero wprowadzenie do praktyki laboratoryjnej dodatkowych wymagań funkcjonalnych, dokładniej symulujących warunki panujące na drodze – mrozoodporności, odporności na zmęczenie i deformacje trwałe, sztywności itp., pozwala na podwyższenie jakości i trwałości nawierzchni drogowej (Iwański i Mazurek, 2010; Dołżycki i Judycki, 2006; Stefańczyk i Mieczkowski, 2008; Sybilski, 2009).

Istnieje wiele sposobów zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych. Podstawowy podział metod zagęszczania determinowany jest przez miejsce i warunki

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: a.plewa@pb.edu.pl

towarzyszące temu procesowi. Na tej podstawie rozróżnia się zagęszczanie laboratoryjne i zagęszczanie „in situ” – na budowie (Dowell i Stubbs, 2004; Mieczkowski, 2006; Dołycki i Judycki, 2006).

Jednym z najważniejszych i zarazem podstawowym wymaganiem stawianym warstwie konstrukcyjnej nawierzchni drogowej wykonanej w technologii betonu asfaltowego, jest osiągnięcie wskaźnika zagęszczenia o wartości co najmniej 98%, a także możliwie małe zmiany uziarnienia szkieletu mineralnego, powstające na skutek zbyt dużych wpływów zewnętrznych (Judycki, 2006; WT-2 2010).

Beton asfaltowy jest kompozytem odpowiednio dobranej mieszanki kruszyw i lepiszcza asfaltowego, otrzymywanym w wyniku zagęszczania sposobem wymuszonym. Mieszanka mineralno-asfaltowa typu beton asfaltowy jest wykorzystywana do wszystkich warstw bitumicznych konstrukcji nawierzchni drogowej. Właściwości betonu asfaltowego między innymi zależą od składu mineralogicznego kruszywa oraz lepkosprężystych cech lepiszcza asfaltowego (Piłat i Radziszewski, 2010; Park i in. 2005; Radziszewski i in., 2011). Temperatura wpływa na właściwości asfaltu, a to z kolei przyczynia się do bezpośredniego kształtowania struktury mieszanki mineralno-asfaltowej. W niskiej temperaturze mieszanka mineralno-asfaltowa przejawia dominantę „materiału sprężystego”, w wysokiej natomiast ciała lepkoplastycznego. To właśnie „niestabilność” stanów reologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych w różnych warunkach temperaturowych, czyni je jednymi z najbardziej złożonych kompozytów (Godlewski, 2011; Radziszewski i in., 2004).

## 2. Metodyka i przedmiot badań

Do badań laboratoryjnych wykorzystano mieszanki mineralno-asfaltowe typu beton asfaltowy AC16P do warstwy podbudowy, kategoria obciążenia ruchem KR3-KR6. Mieszanki zróżnicowano ze względu na zastosowane lepiszcza asfaltowe: asfalt drogowy 35/50 i asfalt modyfikowany PMB 25/55-60.

Projekt mieszanki wykonano przy wykorzystaniu aplikacji MASA w oparciu o gęstość lepiszcza asfaltowego i poszczególnych kruszyw mineralnych oraz ich analizę sitową. Metodą kolejnych korekt, polegającą na sprawdzaniu zgodności zawartości wolnej przestrzeni próbek zagęszczonych w ubijaku Marshalla, osiągnięto zamierzony efekt końcowy – skład mieszanki AC16P (tab. 1.), spełniającą wymagania normowe (WT-2, 2010).

Tab. 1. Skład betonu asfaltowego AC16P

Nazwa składnika mieszanki	Zawartość procentowa [%]	
	Mieszanka mineralna	Mieszanka mineralno-asfaltowa
Mączka wapienna	6,0	5,7
Piasek łamany 0/2	21,9	20,8
Grys 2/5	39,2	37,2
Grys 8/16	32,9	31,3
Lepiszczce: 35/50 lub PMB25/55-60	–	5,0

W celu zróżnicowania wartości wskaźników zagęszczenia, wykonano po 30 próbek betonu asfaltowego AC16P 35/50 i AC16P PMB25/55-60, zagęszczanych w ubijaku Marshalla, stosując różną temperaturę i energię zagęszczania (tab. 2).

Wszystkie próbki mieszanek mineralno-asfaltowych poddano następującym oznaczeniom:

- gęstości objętościowej (metoda SSD),
- zawartości wolnych przestrzeni,
- modułu sztywności w badaniu rozciągania pośredniego IT-CY, w temperaturach  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $+10^{\circ}\text{C}$  i  $+25^{\circ}\text{C}$ .

Wyniki badań objętościowych próbek z mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P przedstawiono w tabeli 2.

Wskaźnik zagęszczenia wykonanych próbek mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P obliczono na podstawie uzyskanych wyników badania gęstości objętościowej, korzystając z poniższego wzoru (Piłat i Radziszewski, 2010):

$$Z = \frac{\rho_b^{MMA(n)}}{\rho_b^{MMA(75)}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $Z$  jest wskaźnikiem zagęszczenia próbki mieszanki mineralno-asfaltowej w %,  $\rho_b^{MMA(n)}$  jest gęstością objętościową mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P zagęszczonej  $n$  uderzeniami ubijaka Marshalla z każdej strony próbki w  $\text{kg/m}^3$ , a  $\rho_b^{MMA(75)}$  jest gęstością objętościową mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P zagęszczonej 75-cioma uderzeniami ubijaka Marshalla z każdej strony próbki w  $\text{kg/m}^3$ .

Odpowiednie, żądane wartości wskaźników zagęszczenia, podane w tabeli 2, w zakresie 95-97%, uzyskano poprzez obniżenie temperatury zagęszczenia ( $130^{\circ}\text{C}$  – AC16P z 35/50 i  $120-140^{\circ}\text{C}$  – AC16P z PMB25/55-60) oraz obniżenie energii zagęszczania w ubijaku Marshalla.

Wyniki badań modułu sztywności w badaniu rozciągania pośredniego IT-CY, w temperaturach badania  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $+10^{\circ}\text{C}$  i  $+25^{\circ}\text{C}$ , oznaczone na próbkach z mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P, przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 2. Średnie arytmetyczne wyników badań objętościowych betonu asfaltowego AC16P z lepiszczami 35/50 i PMB 25/55-60

Nr próbki	Temperatura zagęszczenia [°C]	Liczba uderzeń ubijaka Marshalla	Średnia wartość arytmetyczna:			
			Gęstość objętościowa [kg/m <sup>3</sup> ]	Zawartość wolnej przestrzeni [%]	Wskaźnik zagęszczenia [%]	
AC16P 35/50						
1-5	145	2 x 75	2393	4,3	100	
6-10		2 x 50	2370	5,3	99	
11-15		2 x 35	2342	6,4	98	
16-20		2 x 30	2324	7,1	97	
21-25		130	2 x 24	2303	8,2	96
26-30			2 x 20	2277	9,0	95
AC16P PMB 25/55-60						
1-5	150	2 x 75	2372	5,2	100	
6-10		2 x 50	2340	6,5	99	
11-15		2 x 35	2319	7,3	98	
16-20		140		2301	7,8	97
21-25		130	2 x 30	2287	8,6	96
26-30		120		2254	9,1	95

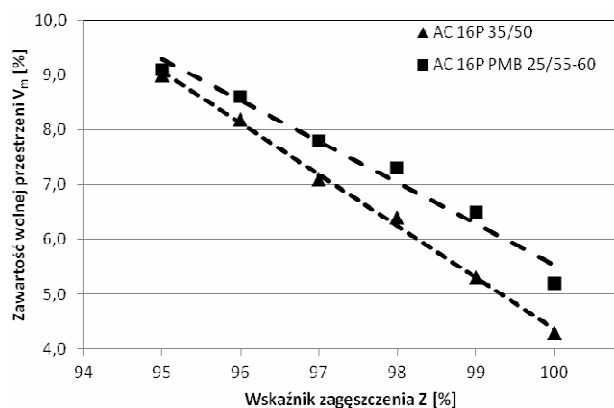
Tab. 3. Średnie arytmetyczne wyników badań modułu sztywności IT-CY betonu asfaltowego AC16P w temperaturach -5°C, +10°C i +25°C

Nr próbki	Wskaźnik zagęszczenia [%]	Średnia arytmetyczna modułu sztywności IT-CY [MPa], w temperaturze:		
		-5°C	+10°C	+25°C
AC16P 35/50				
1-5	100	20782	10248	3774
6-10	99	17802	9105	3314
11-15	98	15523	7903	2811
16-20	97	13575	7014	2460
21-25	96	12205	6505	2021
26-30	95	11404	6309	1888
AC16P PMB 25/55-60				
1-5	100	20045	10457	3911
6-10	99	17117	9287	3409
11-15	98	15024	8068	2944
16-20	97	13305	7223	2655
21-25	96	11840	6765	2191
26-30	95	11222	6603	2028

### 3. Analiza wyników badań

#### 3.1. Wpływ wskaźnika zagęszczenia na zawartość wolnej przestrzeni

Wyniki zawartości wolnej przestrzeni w funkcji wskaźnika zagęszczenia analizowanych mieszanek mineralno-asfaltowych przedstawiono w postaci graficznej na rysunku 1.



Rys. 1. Zawartości wolnej przestrzeni w funkcji wskaźnika zagęszczenia mieszanek mineralno-asfaltowej typu AC16P 35/50 i AC16P PMB25/55-60

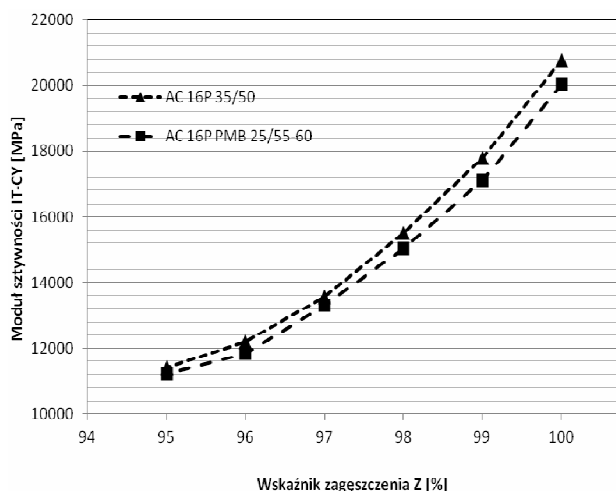
Z analizy zależności przedstawionych na rysunku 1 wynika, że zarówno dla mieszanki AC16P 35/50, jak i AC16P PMB 25/55-60 zmiany zawartości wolnej przestrzeni w funkcji wskaźnika zagęszczenia mają charakter bliski liniowemu. Dla rosnących wartości wskaźnika zagęszczenia następuje spadek zawartości wolnej przestrzeni, średnio o:

- 0,94%/1% wskaźnika zagęszczenia – mieszanka AC16P 35/50,
- 0,85%/1% wskaźnika zagęszczenia – mieszanka AC16P PMB25/55-60.

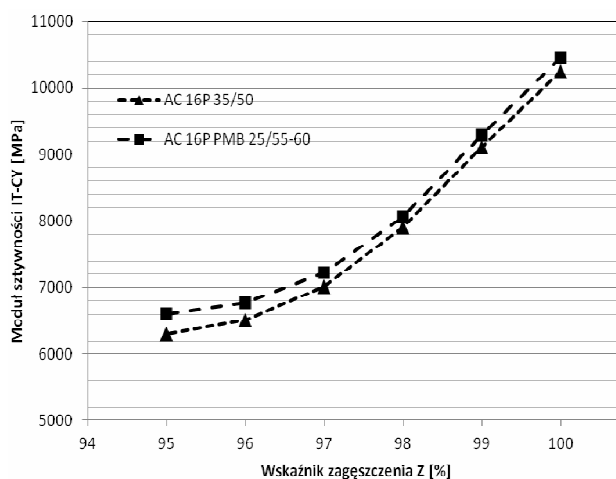
#### 3.2. Wpływ wskaźnika zagęszczenia na moduł sztywności IT-CY

Wyniki oznaczenia modułu sztywności określonego w badaniu rozciągania pośredniego IT-CY w funkcji wskaźnika zagęszczenia próbek mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P, w temperaturach badania:  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $+10^{\circ}\text{C}$  i  $+25^{\circ}\text{C}$  przedstawiono na rysunkach 2-4.

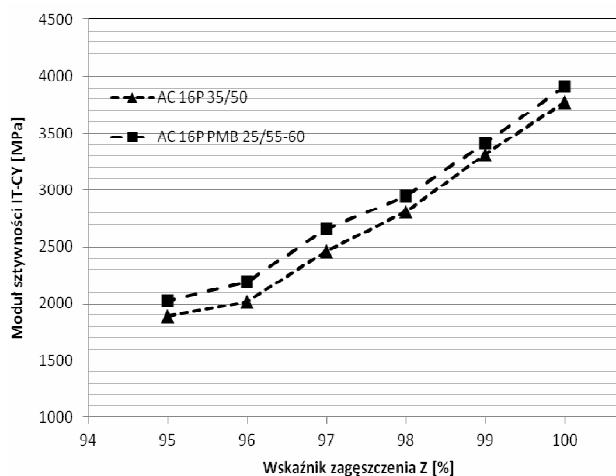
Z analizy wykresów zamieszczonych na rysunkach 2-4 wynika, że moduł sztywności mieszanki AC16P 35/50 i AC16P PMB25/55-60 maleje wraz ze wzrostem temperatury i spadkiem wskaźnika zagęszczenia. Na podstawie zależności przedstawionej na rysunku 2 należy stwierdzić, że wartości modułów sztywności mieszanki z asfaltem drogowym w temperaturze  $-5^{\circ}\text{C}$ , na wszystkich poziomach zagęszczenia, mają wartości wyższe od wartości uzyskanych dla mieszanki z lepiszczem modyfikowanym. Różnice te zwiększają się wraz ze wzrostem wskaźnika zagęszczenia i wynoszą od 182 MPa ( $Z = 95\%$ ) do 737 MPa ( $Z = 100\%$ ). W tej temperaturze, mieszanka AC16P 35/50 ulega



Rys. 2. Zmiana wartości modułu sztywności IT-CY mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P w funkcji wskaźnika zagęszczenia, w temperaturze badania  $-5^{\circ}\text{C}$



Rys. 3. Zmiana wartości modułu sztywności IT-CY mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P w funkcji wskaźnika zagęszczenia, w temperaturze badania  $10^{\circ}\text{C}$



Rys. 4. Zmiana wartości modułu sztywności IT-CY mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P w funkcji wskaźnika zagęszczenia, w temperaturze badania  $25^{\circ}\text{C}$

większemu usztywnieniu. Możemy zatem przewidywać, że mieszanki betonu asfaltowego z asfaltem niemodyfikowanym podczas eksploatacji w konstrukcji nawierzchni drogowej w niskich ujemnych temperaturach (w okresie zimy) będą bardziej „kruche” i podatna na spękania w odniesieniu do mieszanek z asfaltem modyfikowanym. Z kolei kompozyt AC16P PMB25/55-60, z uwagi na mniejsze wartości modułów sztywności, staje się bardziej odporny na naprężenia termiczne. Można więc przyjąć założenie, że mieszanka z lepiszczem modyfikowanym, będzie bardziej trwała w ujemnych temperaturach zimowych.

Wykresy zawarte na rysunkach 3 i 4 przedstawiają odmienne zależności, niż zostało to ukazane na rysunku 2. W przypadku temperatury badania równej +10°C, jak i +25°C większymi modułami sztywności charakteryzują się próbki z mieszanek z asfaltem modyfikowanym. Różnice te są nieco mniejsze, niż w przypadku temperatury -5°C i wynoszą:

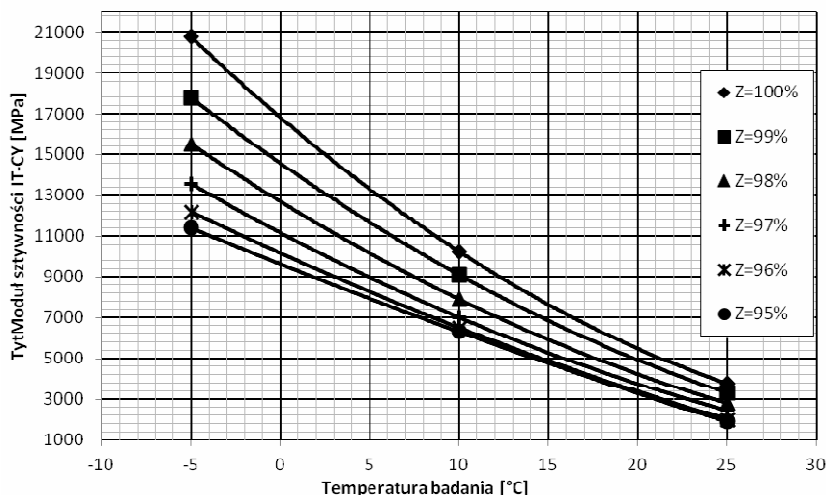
- 290 MPa (Z = 95%) - 209 MPa (Z = 100%) - temperatura badania +10°C,

- 140 MPa (Z = 95%) - 137 MPa (Z = 100%) - temperatura badania +25°C.

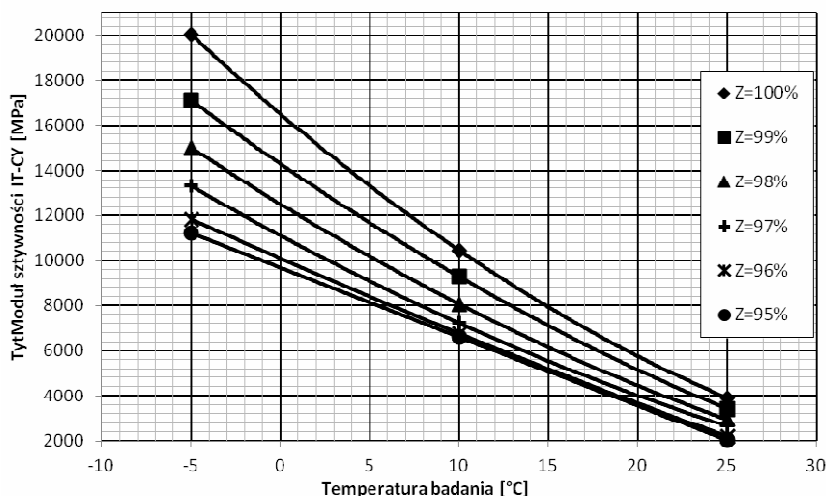
Z uwagi, na większe wartości modułów sztywności w zakresie temperatur od +10°C do +25°C, należy zakładać, że mieszanki z lepiszczem modyfikowanym będą bardziej odporne na deformacje lepkoplastyczne, w odniesieniu do mieszanek z asfaltem drogowym.

Reasumując, możemy przewidywać, że beton asfaltowy AC16P 35/50 będzie charakteryzował się mniejszą odpornością na koleinowanie w wysokich temperaturach eksploatacji i większym ryzykiem wystąpienia spękań niskotemperaturowych w temperaturach ujemnych, w odniesieniu do mieszanki AC16P PMB25/55-60. Można przypuszczać, że nawierzchnie w których zastosowany będzie kompozyt z asfaltem drogowym będą odznaczać się zwiększonymi kosztami utrzymania i remontów.

Na rysunkach 5 i 6 zamieszczono wykresy przedstawiające zmiany modułu sztywności w funkcji temperatury odpowiednio dla mieszanki AC16P 35/50 i AC16P PMB 25/55-60.



Rys. 5. Zmiana wartości modułu sztywności IT-CY mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P 35/50 o różnym wskaźniku zagęszczenia w funkcji temperatury



Rys. 6. Zmiana wartości modułu sztywności IT-CY mieszanki mineralno-asfaltowej AC16P PMB 25/55-60 o różnym wskaźniku zagęszczenia w funkcji temperatury

Z analizy wykresów przedstawionych na rysunku 5 i 6, należy wywnioskować, że moduł sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych maleje wraz ze wzrostem temperatury. Większymi spadkami modułów sztywności, wraz ze wzrostem temperatury, odznacza się beton asfaltowy AC16P 35/50 (dla poszczególnych wskaźników zagęszczenia próbek). Świadczy to o jej większej wrażliwości na zmiany temperaturowe. Natomiast niższe moduły sztywności mieszanki AC16P PMB 25/55-60 w temperaturze  $-5^{\circ}\text{C}$ , oraz wyższe w temperaturze  $+10$  i  $+25^{\circ}\text{C}$ , dowodzą o lepszych właściwościach funkcjonalnych zastosowanego w niej lepszycza modyfikowanego. Wartości modułów dla poszczególnych wskaźników zagęszczenia maleją średnio o:

a) mieszanka AC16P 35/50:

- $567\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=100\%$ ,
- $483\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=99\%$ ,
- $424\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=98\%$ ,
- $371\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=97\%$ ,
- $343\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=96\%$ ,
- $317\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=95\%$ ,

b) mieszanka AC16P PMB 25/55-60:

- $538\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=100\%$ ,
- $457\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=99\%$ ,
- $403\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=98\%$ ,
- $365\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=97\%$ ,
- $322\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=96\%$ ,
- $310\text{MPa}/1^{\circ}\text{C}$  -  $Z=95\%$ .

Otrzymane zmiany wartości modułów sztywności w funkcji temperatury dla wyznaczonych wskaźników zagęszczenia, można przedstawić także w postaci zależności matematycznej (2). Funkcja ta, przyjmuje postać:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (2)$$

gdzie:  $y$  jest modułem sztywności w MPa,  $x$  jest temperaturą w  $^{\circ}\text{C}$ , a  $a$ ,  $b$ ,  $c$  są współczynnikami równania określonymi w tabeli 4.

Zależność przedstawiona równaniem (2) może posłużyć jako doskonale narzędzie pomocnicze przy wymiarowaniu nawierzchni metodą mechaniczną lub do korekty trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogowej, w której wbudowano warstwę z analizowanych mieszanek betonu asfaltowego o różnym wskaźniku zagęszczenia. Możliwość identyfikacji wartości modułu sztywności w dowolnie wybranej temperaturze, pozwala w szybki sposób na wyznaczenie wstępnej grubości warstw.

#### 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych i analiz sformułowano przedstawione poniżej wnioski.

1. Wskaźnik zagęszczenia mieszanek mineralno-asfaltowych decydująco wpływa na ich wartość modułu sztywności. Przeprowadzone badania wykazały, że przykładowo w temperaturze  $+10^{\circ}\text{C}$

Tab. 4. Zestawienie współczynników równania (2) określającego zmienność modułu sztywności w funkcji temperatury

Rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej	Wskaźnik zagęszczenia [%]	Współczynniki równania (2)	Współczynnik determinacji $R^2$
AC16P 35/50	100	$a = 8,782$	0,849
		$b = -749,4$	
		$c = 17101$	
	99	$a = 6,037$	0,874
		$b = -610$	
		$c = 14697$	
	98	$a = 4,125$	0,848
		$b = -490,8$	
		$c = 12502$	
97	$a = 6,283$	0,831	
	$b = -503,6$		
	$c = 11113$		
AC16P PMB25/55-60	95	$a = 1,816$	0,811
		$b = -354,3$	
		$c = 9765$	
	100	$a = 6,976$	0,859
		$b = -675,1$	
		$c = 16\ 505$	
	99	$a = 4,97$	0,855
		$b = -565,6$	
		$c = 14424$	
98	$a = 5,041$	0,865	
	$b = -506,4$		
	$c = 12495$		
96	$a = 1,872$	0,908	

(odpowiadającej temperaturze referencyjnej dla wschodniego regionu Polski) dla mieszanki AC16P PMB25/55-60 zanotowano następujące wielkości modułu sztywności IT-CY:

- $10\ 457$  MPa (wartość maksymalna) - przy  $Z = 100\%$ ,
- $8\ 068$  MPa (wartość średnia) - przy  $Z = 98\%$ ,
- $6\ 069$  MPa (wartość minimalna) - przy  $Z = 95\%$ .

2. Zmiany modułu sztywności w funkcji temperatury analizowanych mieszanek betonu asfaltowego maleją wraz ze spadkiem wskaźnika zagęszczenia. Gwałtowniejsze zmiany wartości modułu sztywności wraz ze spadkiem wskaźnika zagęszczenia próbek zaobserwowano dla mieszanki AC16P 35/50, co świadczy o jej większej wrażliwości temperaturowej (w odniesieniu do AC16P PMB 25/55-60).

3. Rodzaj (jakość) asfaltu wpływa na wyniki badania modułu sztywności. Przeprowadzone badania potwierdziły, że lepszymi właściwościami



technicznymi charakteryzują się mieszanki z zastosowaniem elastomeroasfaltu.

4. Przedstawiona w artykule zależność modułu sztywności od temperatury, wyrażona różnicą (2), może posłużyć jako „narzędzie pomocnicze” przy wymiarowaniu nawierzchni metodą mechaniczną lub do korekty trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogowej, w której wbudowano warstwę z betonu asfaltowego o różnym wskaźniku zagęszczenia. Możliwość identyfikacji wartości modułu sztywności w dowolnie wybranej temperaturze, pozwala w szybki sposób na wyznaczenie wstępnej grubości warstw.

### Literatura

- Dołycki B., Judycki J. (2006). Wpływ metod zagęszczania mieszanek mineralno-asfaltowych na wyniki badań ich cech mechanicznych. *52 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB. Krynica*, 129-136.
- Dowell E., Stubbs J. (2004). tłumaczenie Grzybowski A., redagowanie Judycki J., Pszczoła M. Zagęszczanie i rozkładanie nawierzchni asfaltowych: teoria i praktyka. *Dynapac*, Szwecja, 12-18.
- Godlewski D. (2011). Nawierzchnie drogowe. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*. Warszawa.
- Iwański M., Mazurek G. (2010). Odporność na oddziaływanie wody i mrozu betonu asfaltowego z modyfikatorem niskowiskozowym. *56 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB Kielce-Krynica*, 295-302.
- Mieczkowski P. (2006). Jak zagęścić MMA? *Magazyn Autostrady*, 8-9/2006, 44-49.
- Park H., Kim J., Kim Y., Lee H. (2005). Determination of the layer thickness for long-life asphalt pavements. *Asia Society for Transport Studies*, 5, 1948-1962.
- Piłat J., Radziszewski P. (2010). Nawierzchnie asfaltowe. *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności*. Warszawa.
- Radziszewski P., Piłat J., Plewa A. (2004). Influence of amount of crumb rubber of used car tires and heating time on rubber asphalt properties. *The Nineteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management*, University of Pennsylvania, Widener University. Philadelphia, 305-314.
- Radziszewski P., Piłat J., Plewa A., Kowalski K., Król J., Sarnowski M., Łaskiewicz A. (2011). Analiza możliwości wykorzystania kruszyw polodowcowych z rejonu Polski północno-wschodniej w konstrukcjach nawierzchni asfaltowej dla ruchu ciężkiego i bardzo ciężkiego oraz nawierzchni asfaltowych o wydłużonym okresie trwałości zmęczeniowej. *GDDKiA*, Warszawa.
- Stefańczyk S., Mieczkowski P. (2008). Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wykonawstwo i badania. *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności*. Warszawa.
- Sybilski D. (2009). Wymagania techniczne dotyczące nawierzchni asfaltowych na drogach publicznych – cz. I. *Magazyn Autostrady*, 3/2009, 60-67.
- WT-2 (2010) „Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno asfaltowe” – załącznik nr 2 do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010r.

### THE INFLUENCE OF COMPACTION RATIO ON STIFFNESS MODULUS OF ASPHALT CONCRETE

**Abstract:** Technological errors of inadequate compaction of asphalt layers are often a major cause of premature degradation of the road surface. It creates a need for continuous improvement of technology incorporation of asphalt mixes. The aim can be achieved through the use of available achievements in the field of asphalt mix rheology, as well as through the advancement of knowledge in the field of road technology. This paper presents the research results and analysis of the impact of asphalt concrete (AC) compaction on the stiffness modulus IT-CY value. An attempt was made to determine the correlation between the compaction ratio and the parameters by volume and stiffness modulus of asphalt concrete AC16P based on unmodified bitumen 35/50 and modified bitumen PMB25/55-60.

Przedstawione w artykule wyniki badań i analiz zostały uzyskane w ramach pracy statutowej S/WBiIŚ/2/10 oraz przy dofinansowaniu z projektu „Podniesienie potencjału uczelni wyższych jako czynnik rozwoju gospodarki opartej na wiedzy” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

## REOLOGIA BETONÓW NAPOWIETRZONYCH A CEMENTY Z DODATKAMI MINERALNYMI

Hubert SIKORA\*, Wojciech PIASTA

Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, Budynek A, 25-314 Kielce

**Streszczenie:** W pracy podjęto próbę wyjaśnienia wpływu napowietrzenia oraz cementów zawierających dodatki mineralne na odkształcenia reologiczne betonów. Betony wykonano z następujących cementów: cement portlandzki i dwa cementy portlandzkie z dodatkami zawierającymi żużel wielkopieczowy, krzemionkowy popioł lotny oraz mielony kamień wapienny. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że napowietrzenie betonów powoduje spadek skurczu i pęcznienia betonów zawierających cementy portlandzki i żużlowo-popiołowy, natomiast zwiększa skurcz betonów z cementów zawierających mączkę wapienną. Badania odkształceń prowadzono za pomocą aparatu Amslera, stosując po 6 próbek każdego betonu o wymiarach 10×10×50 cm.

*Słowa kluczowe:* odkształcenia reologiczne betonów, skurcz, pęcznienie.

### 1. Wprowadzenie

Celem niniejszej pracy jest próba określenia wpływu napowietrzenia i cementów zawierających dodatki mineralne na odkształcenia reologiczne betonów, to jest skurcz i pęcznienie.

Zjawisko skurczu jest skomplikowanym procesem, na który nakłada się w sposób sumaryczny szereg składników odkształcenia. Podczas postępującej hydratacji na skurcz zachodzą procesy zmian fizycznych i chemicznych poszczególnych faz cementu związane z generalną przyczyną skurczu, którą jest mniejsza objętość produktów hydratacji niż objętość substratów, to jest faz cementowych i wody. Skurcz kompozytów cementowych jest związany ze zmniejszaniem zawartości wody w mikrostrukturze zaczynu, co zachodzi z dwóch głównych przyczyn: samoosuszania podczas hydratacji cementu (skurcz samorzutny) oraz zewnętrznego wysychania kompozytu. Procesem odwrotnym do skurczu jest pęcznienie, zachodzące głównie w betonach w warunkach podwyższonej wilgotności (powyżej 95%) lub w wodzie. Mechanizm tego zjawiska najprawdopodobniej powstaje w wyniku absorbowania wody z otoczenia zewnętrznego przez żel cementowy. Według Neville'a (2012) molekuly wody działają wówczas przeciw siłom kohezji i usiłują rozsunąć cząstki żelu, co powoduje ciśnienie o charakterze rozpierającym.

Pęcznienie jest około sześć razy mniejsze niż skurcz w powietrzu o wilgotności względnej 70% lub osiem razy

mniejsze niż skurcz w powietrzu o wilgotności względnej 50% (Neville, 2012).

Zgodnie z jedną z hipotez (Bentur i in., 1980), w najdrobniejszych porach kapilarnych (2,5-30nm) podczas opuszczania ich przez wodę dochodzi do zmian ciśnienia kapilarnego, w wyniku czego pojawiają się naprężenia w twardniejącym zaczynie. Naprężenia te wywołują odkształcenia, które powodują zmniejszenie łącznej objętości zaczynu, odczytywane jako skurcz kapilarny, który częściowo jest odwracalny po ponownym nasyceniu przez wodę zaczynu. Osuszenie betonu jest tym szybsze im większa jest jego porowatość kapilarna oraz udział porów dużych, gdyż pory kapilarne są główną drogą przemieszczania się wody w stwardniałym zaczynie. Natomiast porowatość i rozkład wielkości porów w najbardziej istotny sposób zależy od współczynnika w/c. Trzeba jednak pamiętać o tym, że przy stałym stosunku w/c porowatość zaczynu i jej struktura są funkcją stopnia hydratacji, który w tych samych warunkach zależy od składu mineralnego konkretnego cementu i zastosowanych dodatków.

Thomas i Jennings (2006) interpretują mechanizm skurczu, ale tylko nieodwracalnego, opierając się na założeniu, że w zaczynie cementowym faza C-S-H występuje w postaci żelu, który jest agregacją wytrąconych cząstek wielkości koloidalnej. Podczas chemicznego procesu „starzenia” (dojrzwiania) wielkości koloidalnej cząstki fazy C-S-H tworzą w czasie ze sobą wiązania, zwiększając stopień polimeryzacji łańcuchów

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: hubert.sikora@gmail.com

krzemianowych w żelu, dzięki czemu wzrasta wytrzymałość i sztywność zaczynu, a także jego gęstość. Sprzyja to zmniejszaniu objętości zaczynu, które szczególnie łatwo w sposób trwały występuje przy odbieraniu wody z żelu C-S-H (Thomas i Jennings, 2006). Utrata wody z porowatego żelu powoduje kondensację łańcuchów krzemianów w ich sieci z możliwością dalszego wiązania powodując, że powstające odkształcenie jest nieodwracalne.

Zastąpienie w cemencie portlandzkim części klinkieru żużlem wielkopieczowym i/lub lotnym popiołem krzemionkowym przyczynia się do szerokiego zakresu zmian mikrostruktury stwardniałego zaczynu (betonu), a w tym między innymi do: większej ilości fazy C-S-H, innej struktury porów w zaczynie oraz niższego stopnia hydratacji (szczególnie w pierwszych jej dniach, gdy zachodzi największy skurcz). Należy zwrócić uwagę, że przytoczone hipotezy mechanizmu skurczu dotyczą właśnie tego samego zakresu mikrostruktury, w którym zachodzą zmiany pod wpływem dodania żużla i/lub popiołu lotnego. Wskazuje to, że dodatki te w sposób pośredni (poprzez zmiany mikrostruktury) mają także wpływ na skurcz stwardniałego zaczynu (betonu). Natomiast bezpośredni wpływ (prawdopodobnie ograniczenie – czego nie można odróżnić, gdyż skurcz jest odkształceniem sumarycznym) żużla i popiołu na skurcz polega na tym, że ich ziarna (z powodu wolniejszej hydratacji jego minerałów niż minerałów klinkieru) pełnią rolę dobrze przyczepnego mikrowypełniacza w zaczynie (Kurdowski i Trybalska, 2004).

Ponadto skurcz samorzutny zależy od składu cementu i można założyć, że będzie mniejszy w przypadku cementów zawierających dodatki, a w szczególności te najmniej reaktywne, np. mielony kamień wapienny.

Znacznie mniej poznany jest wpływ napowietrzenia na skurcz betonu. Jedynie Neville (2012) przytacza za Keene, że napowietrzenie nie powinno mieć wpływu na skurcz betonu. Stąd też przedstawiana praca jest próbą wyjaśnienia tego wpływu w nawiązaniu do struktury porów powietrznych i podstawowych właściwości fizycznych betonu – nasiąkliwości, wodoprzepuszczalności i wytrzymałości.

## 2. Materiały i metody badań

W związku z określeniem wpływu napowietrzenia i rodzaju cementów zawierających dodatki mineralne wykonano badania skurczu i pęcznienia na stwardniałych betonach napowietrzonych i nienapowietrzonych. Ponadto wykonano oznaczenia właściwości fizycznych świeżych mieszanek betonowych. Dla potrzeb wykonania mieszanek betonowych i betonów użyto tradycyjny cement portlandzki oraz dwa cementy portlandzkie wieloskładnikowe zawierające dodatki mineralne w postaci żużla wielkopieczowego, krzemionkowego popiołu lotnego i mielonego kamienia wapiennego.

Do wykonania betonów użyto następujące rodzaje cementów: portlandzki CEM I 42,5R, portlandzki

żużlowo-popiołowy CEM II/B-M (S-V) 32,5 R (zwany dalej żużlowo-popiołowym) oraz portlandzki wapienny CEM II/A-LL 42,5 R (zwany dalej wapiennym). Do badań mieszanki betonowej i stwardniałych betonów zastosowano dwie serie betonów: nienapowietrzony i napowietrzony o współczynniku wodno-cementowym  $w/c = 0,50$ .

Wszystkie cementy zostały wykonane na bazie tego samego klinkieru portlandzkiego, pochodzącego z tej samej partii wykonanej w tej samej cementowni. Z każdym z powyższych cementów wykonano po dwa betony: bez domieszki napowietrzającej oraz z domieszką napowietrzającą na bazie modyfikowanych żywic korzennych SIKA LPS V, która została dodana w ilości 0,20-0,28% masy cementu. Jako kruszywo drobne zastosowano naturalny piasek kwarcowy (Dziergowice 0,0-2,0 mm), a jako kruszywo grube naturalne kruszywo otoczkowe (Dziergowice 2-8 mm oraz Wójcice 8-16 mm). Skład mieszanek betonowych został przedstawiony w tabeli 1.

Tab. 1. Skład mieszanek betonowych

Składnik	Zawartość składników [kg/m <sup>3</sup> ]
Kruszywo grube (żwir), 2-8 mm	548
Kruszywo grube (żwir), 8-16 mm	681
Cement	350
Woda	175*
Piasek kwarcowy	605
Współczynnik W/C	0,50

\* masa wody dla betonu nienapowietrzonego oraz masa wody wraz z domieszką napowietrzającą do betonu napowietrzonego.

Na świeżych mieszankach betonowych wykonano następujące oznaczenia mieszanek betonowych:

- konsystencji metodą opadu stożka według PN-EN 12350-2:2011,
- zawartości powietrza metodą ciśnieniową według PN-EN 12350-7:2011,
- gęstości objętościowej mieszanki betonowej według PN-EN 12350-6:2011.

Wyniki badań mieszanek betonowych przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wyniki badań mieszanek betonowych z naturalnym kruszywem otoczkowym

Właściwość	Rodzaj cementu					
	CEM I		CEM II/B-M (S-V)		CEM II/A-LL	
	np	p	np	p	np	p
Opad stożka, [mm]	30	56	30	60	30	40
Zawartość powietrza, [%]	2,2	5,6	2,2	5,8	2,4	5,8
Gęstość obj. mieszanki, [kg/dm <sup>3</sup> ]	2350	2260	2360	2250	2370	2290

(np – beton nienapowietrzony, p – beton napowietrzony)

W celu określenia reologicznych właściwości stwardniałego betonu wykonano poniższe badania:

- badania odkształceń własnych skurczu i pęcznienia przeprowadzono aparatem Amslera, używając po 6 próbek każdego betonu o wymiarach  $10 \times 10 \times 50$  cm z czopikami wbetonowanymi centralnie w czoło próbki. Pierwszy pomiar próbek wykonywano już po 24 godzinach od wykonania próbek; wyniki pomiarów odkształceń skurczu i pęcznienia podano w jednostkach bezwymiarowych; badania prowadzono według PN-84/B-06714/23;
- badania nasiąkliwości przeprowadzono po 28 i 360 dniach stosując po 3 regularne próbki o wymiarach  $10 \times 10 \times 10$  cm według PN-88/B-06250;
- oznaczenie wytrzymałości betonu na ściskanie przeprowadzono według PN-EN 12390-3:2002 pobierając do badania po 5 próbek o wymiarach  $15 \times 15 \times 15$  cm każdego rodzaju betonu.

Próbki do pomiaru odkształceń formowano i przechowywano według PN-84/B-06714/23. Od chwili pierwszego pomiaru, to jest po 24 godzinach od chwili wykonania, próbki betonowe z naturalnym kruszywem otoczkowym były przechowywane w powietrzu o wilgotności względnej  $70 \pm 5\%$  i temperaturze  $20^\circ\text{C}$ . Czas badania odkształceń własnych skurczu i pęcznienia wynosił do 390 dni.

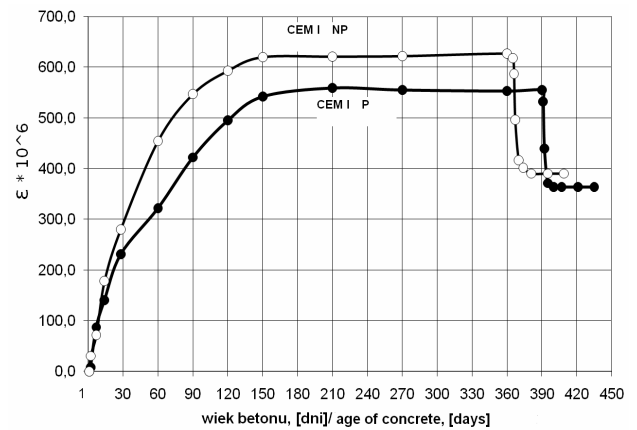
### 3. Omówienie wyników badań

#### 3.1. Skurcz betonów

##### Wpływ napowietrzenia

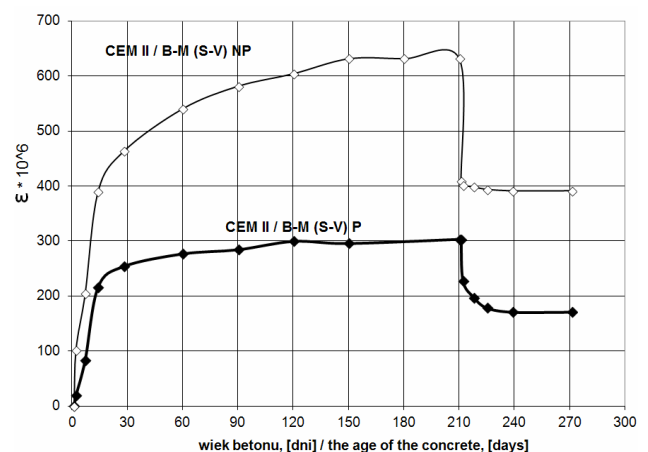
Wyniki badań skurczu i pęcznienia w wodzie w wodzie betonu z cementu portlandzkiego i naturalnego kruszywa otoczkowego, przedstawiono na rysunku 1. Wykazały one, że od 7 dnia, aż do ustabilizowania się skurczu, to znaczy od 360 do 390 dnia, beton napowietrzony posiadał mniejsze odkształcenia niż beton nienapowietrzony. Maksymalna wartość skurczu betonu nienapowietrzonego wynosiła  $620 \cdot 10^{-6}$ , natomiast betonu napowietrzonego  $560 \cdot 10^{-6}$ . Względna różnica wartości odkształceń w okresie od 150 do 360 dni wynosiła około 15% w stosunku do betonu nienapowietrzonego. Pęcznienie betonu napowietrzonego i nienapowietrzonego wynosiło odpowiednio  $152 \cdot 10^{-6}$  i  $201 \cdot 10^{-6}$ , a więc i w tym przypadku beton napowietrzony wykazał mniejsze zmiany objętości niż beton nienapowietrzony.

Na podstawie uzyskanych wyników badań skurczu i pęcznienia betonów wykonanych z cementu portlandzkiego można stwierdzić, że napowietrzenie betonu zmniejsza odkształcenia betonu.



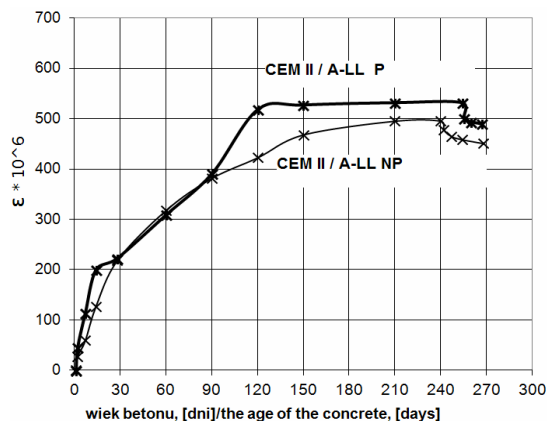
Rys. 1. Skurcz i pęcznienie napowietrzonego i nienapowietrzonego betonu z cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R (np – beton nienapowietrzony, p – beton napowietrzony)

Podobny przebieg skurczu i pęcznienia w wodzie wykazał beton wykonany z cementu żużlowo-popiołowego (rys. 2). Do 7 dnia badań odkształcenia skurczowe betonu nienapowietrzonego były o około 60% większe niż betonu napowietrzonego i wynosiły odpowiednio  $204 \cdot 10^{-6}$  i  $83 \cdot 10^{-6}$ . W okresie od 14 do 210 dnia następował intensywniejszy wzrost odkształceń skurczowych betonu nienapowietrzonego w stosunku do betonu napowietrzonego. W 210 dniu badań wartości skurczu betonu nienapowietrzonego i napowietrzonego wynosiły odpowiednio  $632 \cdot 10^{-6}$  oraz  $303 \cdot 10^{-6}$ , a maksymalna względna różnica odkształceń betonu napowietrzonego w stosunku do betonu nienapowietrzonego wynosiła około 52%. Pęcznienie betonu napowietrzonego i nienapowietrzonego wynosiło odpowiednio  $133 \cdot 10^{-6}$  i  $240 \cdot 10^{-6}$ . W przypadku betonów z cementu żużlowo-popiołowego próbki napowietrzone wykazały prawie dwukrotnie mniejsze pęcznienie niż beton nienapowietrzony.



Rys. 2. Skurcz i pęcznienie napowietrzonego i nienapowietrzonego betonu z cementu żużlowo-popiołowego CEM II/B-M (S-V) 32,5 R (np – beton nienapowietrzony, p – beton napowietrzony)

Zupełnie inny obraz zmian objętości wykazały betony wykonane z cementu portlandzkiego wapiennego (rys. 3). Napowietrzenie betonu wpłynęło na wzrost odkształceń skurczowych.



Rys. 3. Skurcz i pęcznienie napowietrzonego i nienapowietrzonego betonu z cementu wapiennego CEM II/A-LL 42,5 R (np – beton nienapowietrzony, p – beton napowietrzony)

Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że odkształcenia skurczowe betonów napowietrzonych i nienapowietrzonych od 30 do 90 dnia były w przybliżeniu równe (wartości wynosiły około  $390 \cdot 10^{-6}$ ). Od 120 do 210 dnia badań doszło do zróżnicowania wartości skurczu betonu napowietrzonego do nienapowietrzonego i wyniosło między odkształceniami betonu nienapowietrzonego do napowietrzonego od 19% do 7%. Największe wartości odkształceń skurczowych betony napowietrzone osiągnęły w 254 dniu a nienapowietrzone w 240 dniu, które wyniosły odpowiednio  $532 \cdot 10^{-6}$  i  $495 \cdot 10^{-6}$ . Pęcznienie betonów napowietrzonego i nienapowietrzonego wyniosło odpowiednio  $34 \cdot 10^{-6}$  i  $45 \cdot 10^{-6}$ .

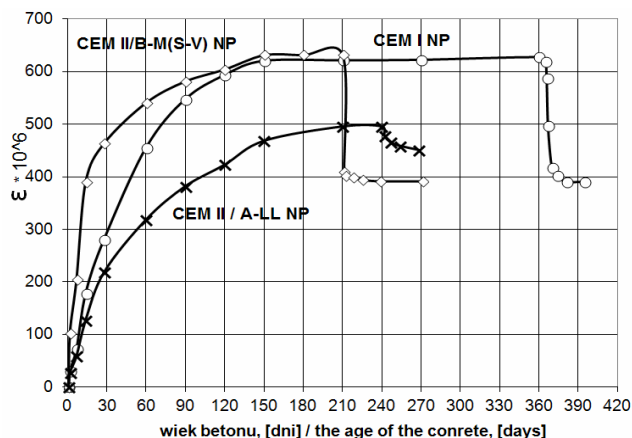
Analizując wyniki badań skurczu i pęcznienia betonów wykonanych z cementu wapiennego, można uznać, że zwiększona ilość mączki wapiennej w cemencie wapiennym (12%) wpłynęła na zmniejszenie się skurczu betonów nienapowietrzonych i napowietrzonych w porównaniu do betonów z cementem portlandzkim (rys. 1), ale wprowadzenie dodatkowej ilości powietrza do betonu z cementem wapiennym zwiększyło jego odkształcenia.

Wpływ napowietrzenia mieszanek betonowych na skurcz można podsumować następująco. Wprowadzenie do mieszanki betonowej z cementu portlandzkiego i żużlowo-popiołowego około 3% dodatkowego powietrza, spowodowało utworzenie porów powietrznych, w efekcie zmniejszając skurcz odpowiednio o 15% i 52%. Natomiast wprowadzenie dodatkowej ilości powietrza do betonu z mączką wapienną spowodowało wzrost odkształceń skurczu o 19%.

#### Wpływ rodzaju cementu

Wyniki badań wykazały znaczne różnice w przebiegu odkształceń betonów nienapowietrzonych w zależności

od rodzaju użytego cementu. W celu uwidocznienia powyższych różnic krzywe zmian wymiarów liniowych próbek betonów nienapowietrzonych przedstawiono na rysunku 4.



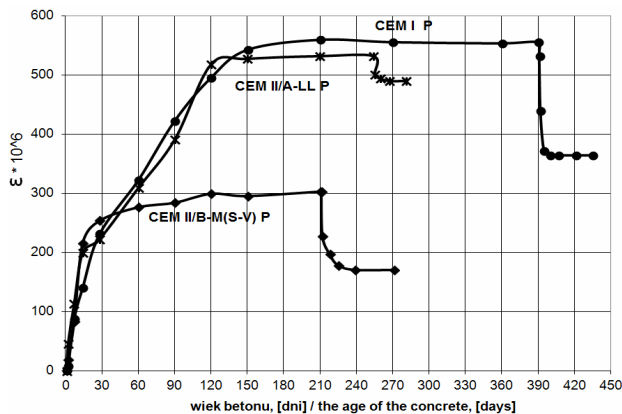
Rys. 4. Wpływ rodzaju cementu na skurcz i pęcznienie betonu nienapowietrzonego (np – beton nienapowietrzony)

Wśród betonów nienapowietrzonych największe odkształcenia skurczowe osiągnęły betony z cementu żużlowo-popiołowego a najmniejsze z cementu wapiennego, które wynosiły odpowiednio  $632 \cdot 10^{-6}$  po 210 dniach i  $495 \cdot 10^{-6}$  po 240 dniach.

Beton z cementu wapiennego w 120 dniu badań posiadał najniższe wartości odkształceń skurczu w porównaniu do odkształceń betonu z cementem portlandzkim, a różnica wartości wynosiła do 29% w porównaniu z cementem portlandzkim. Porównując odkształcenia skurczowe betonu z cementu żużlowo-popiołowego do betonu z cementem wapiennym największą różnicę skurczu zaobserwowano w 14 dniu badań, która wynosiła 67%, a wartości odkształceń wynosiły  $127 \cdot 10^{-6}$  i  $390 \cdot 10^{-6}$ , odpowiednio dla betonów wapiennego i żużlowo-popiołowego. W wyniku pęcznienia zaobserwowano, że wartości odkształceń betonów z cementem portlandzkim i żużlowo-popiołowym były do 33% niższe od odkształceń pierwotnych przed pęcznieniem.

Na podstawie przeprowadzonych badań (rys. 5) stwierdzono występowanie znacznych różnic w odkształceniach betonów napowietrzonych, które są zależne od rodzaju cementu. Do wieku 28 dni skurcz betonów napowietrzonych z cementów zawierających dodatki mineralne w postaci żużla, krzemionkowego popiołu lotnego oraz mielonego kamienia wapiennego był większy niż skurcz betonu z cementu portlandzkiego. Od 45 dnia do 210 dnia badań zwiększa się na korzyść różnica odkształceń pomiędzy betonem z cementem żużlowo-popiołowym, a pozostałymi betonami. Zdecydowanie najmniejszą wartość odkształcenia skurczowego osiągnął beton napowietrzony z cementu żużlowo popiołowego i był niższy o 46% od skurczu betonu z cementem portlandzkim. Skurcz betonu z cementu wapiennego osiągnął najwyższą wartość  $532 \cdot 10^{-6}$  w wieku 254 dni, która była znacznie większa niż wartość odkształcenia betonu z cementem żużlowo-

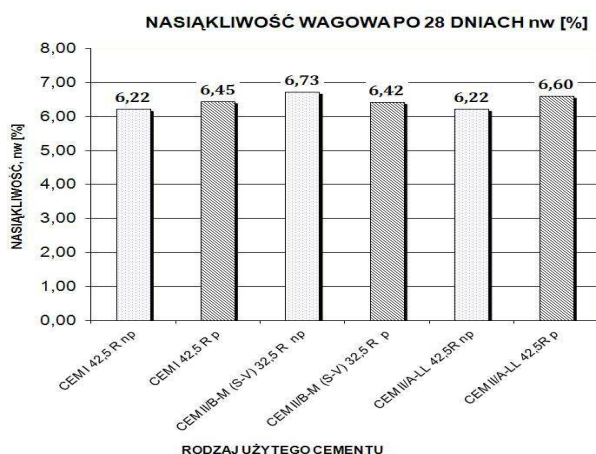
popiołowym, która wynosiła  $303 \cdot 10^{-6}$  w wieku 210 dni i tylko nieznacznie niższa niż wartość skurczu cementu portlandzkiego. Ponadto stwierdzono, że przebieg odkształceń skurczu betonów z cementami portlandzkim i wapiennym był blisko podobny w czasie.



Rys. 5. Wpływ rodzaju cementu na skurcz i pęcznienie betonu napowietrzonego (p – beton napowietrzony)

### 3.2. Nasiąkliwość betonów

Przeprowadzono badania nasiąkliwości wagowej betonów napowietrzonych i nienapowietrzonych w wieku 28 dni. Na podstawie badań stwierdzono, że największą nasiąkliwość wagową wśród betonów napowietrzonych i nienapowietrzonych osiągnął beton nienapowietrzony z cementem wieloskładnikowym, która wynosiła 6,73%. Wśród betonów nienapowietrzonych najmniejszą nasiąkliwość wagową 6,2% osiągnęły betony z cementem portlandzkim oraz z cementem wapiennym. Nasiąkliwość wagowa betonów napowietrzonych wynosiła od 6,42% do 6,6 % (rys. 6). Wśród betonów napowietrzonych największą nasiąkliwość wagową 6,6% osiągnął beton z cementem wapiennym, a najmniejszą beton z cementem wieloskładnikowym 6,42%.



Rys. 6. Nasiąkliwość wagowa po 28 dniach (np – beton nienapowietrzony, p – beton napowietrzony)

W celu przeprowadzenia analizy adsorpcji wody przez betony napowietrzone i nienapowietrzone po 28 dniach, wykonano interpretację wyników badań za pomocą nasiąkliwości wagowej i objętościowej (tab. 3).

Dokonując interpretacji wyników badań za pomocą nasiąkliwości objętościowej można stwierdzić, że ich napowietrzenie nie zmieniło nasiąkliwości dla betonów z cementem portlandzkim, a więc inaczej niż przedstawiono to na podstawie nasiąkliwości wagowej. Należy też podkreślić korzystny wpływ cementu zawierającego żużel wielkopiecowy i krzemionkowy popiół lotny na nasiąkliwość betonu napowietrzonego. Z przedstawionych wyników wynika, że betony z cementami portlandzkim i wapiennym w wyniku napowietrzenia zwiększyły adsorpcję wody.

Tab. 3. Nasiąkliwość objętościowa po 28 dniach badania

Właściwość	Rodzaj cementu					
	CEM I		CEM II/B-M (S-V)		CEM II/A-LL	
Beton	np	p	np	p	np	P
$n_o$ (28 dni) [%]:	14,0	14,0	15,0	14,0	13,0	14,0

(np – beton nienapowietrzony, p – beton napowietrzony)

### 3.3. Wytrzymałość betonów na ściskanie

W tabeli 4 przedstawiono średnie wartości wytrzymałości na ściskanie oraz ich klasyfikację zgodnie z PN-EN-206-1.

Tab. 4. Wytrzymałość na ściskanie w wieku 28 dni i klasy wytrzymałości

Właściwość	Rodzaj cementu					
	CEM I		CEM II/B-M (S-V)		CEM II/A-LL	
Beton	np	p	np	p	np	p
$f_{cm}$ [MPa]:	46,1	38,9	49,9	44,2	43,3	38,1
Klasa wytrzymałości	C30/37	C25/30	C35/45	C30/37	C30/37	C25/30

(np – beton nienapowietrzony, p – beton napowietrzony)

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że napowietrzenie betonów (z cementów: portlandzkiego, żużlowo-popiołowego i wapiennego) spowodowało obniżenie wytrzymałości betonu po 28 dniach od 11,4 do 15,6%, co stanowi od 3,17% do 4,59% spadku wytrzymałości na 1% napowietrzenia. Największy spadek wytrzymałości na ściskanie wystąpił w betonie napowietrzonym z cementem portlandzkim, a najmniejszy w betonie z cementem żużlowo-popiołowym.

## 4. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- napowietrzenie betonów powoduje spadek odkształceń reologicznych skurczu i pęcznienia betonów zawierających cementy portlandzki i żużlowo-popiołowy;

- napowietrzenie betonów powoduje wzrost odkształceń reologicznych skurczu i pęcznienia betonów zawierających mączkę wapienną;
- porównanie skurczu napowietrzonych i nienapowietrzonych betonów z trzech rodzajów cementów pokazuje, że największy skurcz ma beton nienapowietrzony z cementu żużlowo-popiołowego, a najmniejszy ma beton napowietrzony także z cementu żużlowo-popiołowego;
- skurcz odwracalny (pęcznienie) stwardniałego betonu z cementu portlandzkiego jest największy spośród pozostałych betonów;
- napowietrzenie betonów z cementów zawierających dodatek żużla wielkopieczowego i popiołu lotnego wpływa na zmniejszenie się adsorpcji wody w czasie;
- wyjaśnienie zagadnienia skurczu betonów z dodatkami mineralnymi oraz ich wpływu na adsorpcję wody do betonu wymagają dalszych badań rozszerzonych o inne cementy z dodatkami.

### Literatura

- Bentur A., Kung J., Berger R. L., Young J. F., Milstone N. B., Mindess S., Lawrence F. V. (1980). Influence of microstructure on the creep and drying shrinkage of calcium silicate pastes. *7th ICCP Paris*, t. III, VI-26-31.
- Thomas J. J., Jennings H. M. (2006). A colloidal interpretation of chemical aging of the C-S-H gel and its effects on the properties of cement paste. *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, No. 11, 30-38.
- Kurdowski W., Trybalska B. (2004). Skład fazowy zaczynu cementowego a właściwości betonu. Konferencja Dni

Betonu. *Stowarzyszenie Producentów Cementu*, Wisła. 65-78.

Neville A.M. (2012). Właściwości betonu. *Stowarzyszenie Producentów Cementu*, Kraków, 458-470.

### RHEOLOGY OF AIR ENTRAINED CONCRETES AND CEMENTS WITH MINERAL ADDITIVES

**Abstract:** The studies were carried out to find the effect of air entrainment and blended cements on rheological deformations of concretes. The cements used were ordinary Portland cement and two blended Portland cements containing: blast furnace granulated slag-fly ash blend and limestone powder. It was stated that air entrainment results in lowering of shrinkage and swelling of concretes made of OPC and blast furnace granulated slag-fly ash blend cement. The increase in both deformations of air entrained concrete occurs when the limestone cement is used. The linear dimension changes was measured with Amsler's apparatus, according to the Polish standard PN-B-06714-23:1984, using 6 samples of each concrete with dimensions 10×10×50 cm, equipped with steel pins cemented in the both ends of the beams. The first measurement was made after 24 hours from concrete beams preparation.

Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach programu „INWENCJA – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki”, Nr ID: WND-POKL.08.02.01-26-020/11

## ZAPOTRZEBOWANIE NA CIEPŁO DO OGRZEWANIA BUDYNKU A ZAWILGOCENIE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

Robert STACHNIEWICZ\*

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

**Streszczenie:** W artykule przeprowadzono analizę wpływu zawilgocenia ścian zewnętrznych jednorodzinne go budynku mieszkalnego na energię końcową. Do analiz przyjęto dwa warianty zawilgocenia ścian: bezpośrednio po wybudowaniu i po pięciu latach eksploatacji budynku.

*Słowa kluczowe:* fizyka budowli, diagnostyka cieplna, zawilgocenie przegród.

### 1. Wprowadzenie

Przy obliczeniach zapotrzebowania na ciepło budynku uwzględnia się współczynniki przewodzenia ciepła materiałów użytych w konstrukcji jego przegród najczęściej dla środowiska średnio-wilgotnego. Z takim środowiskiem mamy do czynienia podczas normalnej eksploatacji budynku. Jednakże na skutek zawilgocenia materiałów ściennych przez niezwiązaną wodę używaną przy ich produkcji, jak i wykorzystaną w trakcie budowy oraz prac wykończeniowych, wkrótce po wybudowaniu budynku instalacja centralnego ogrzewania zużywa więcej energii aby zrekompensować obniżenie izolacyjności cieplnej przegród.

W artykule przeanalizowano czy i w jakim stopniu zwiększa się zużycie energii do ogrzewania podczas odsychania z wilgoci technologicznej i budowlanej, na przykładzie jednorodzinne go budynku mieszkalnego.

### 2. Źródła zawilgocenia przegród w budynkach

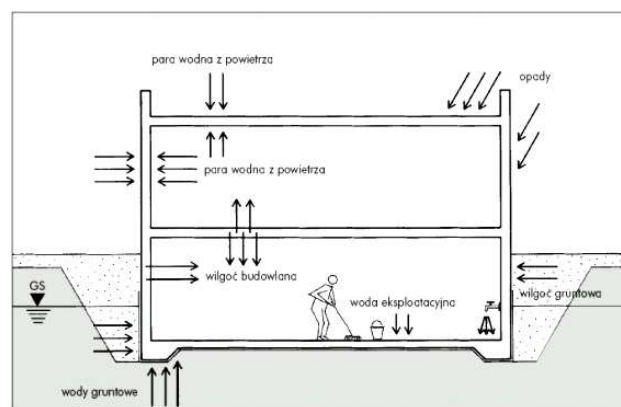
Stan wilgotnościowy przegród budowlanych obejmuje procesy związane z zawilgoceniem i wysychaniem zastosowanych materiałów. Zawilgocenie materiałów budowlanych (Klemm i in., 2009) związane jest z:

- początkową wilgotnością materiałów, związaną z ich wytwarzaniem i nazywaną często wilgocią technologiczną,
- przyrostem wilgotności w wyniku procesów wykonawstwa, składowania i transportu, wiązania

komponentów na budowie, ten rodzaj wilgoci nazywany jest wilgocią budowlaną,

- zawilgoceniem od opadów atmosferycznych,
- wchłanianiem wilgoci na skutek zjawiska sorpcji i dyfuzji pary wodnej,
- przyrostem wilgotności na skutek kondensacji pary wodnej wewnątrz przegrody lub na jej powierzchni wewnętrznej,
- przyrostem wilgotności w wyniku podciągania kapilarnego wilgoci z gruntu (woda gruntowa).

Formy działania wilgoci na budynek możemy podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne (rys. 1).



Rys. 1. Formy działania wilgoci na budynek  
(www.muratorpuls.pl)

Do zewnętrznych działania wilgoci należą:

- opady atmosferyczne,
- para wodna w powietrzu,

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: r.stachniewicz@pb.edu.pl



- woda pochodząca od wsiąkających w grunt opadów oraz podciągana kapilarnie z głębi gruntu,
  - wody gruntowe, woda w gruncie budowlanym na warstwie nieprzepuszczalnej,
- Wewnętrzne formy działania wilgoci to:
- wilgoć budowlana, pochodząca z tak zwanych mokrych procesów technologicznych,
  - para wodna w powietrzu, pochodząca od mieszkańców i wyposażenia obiektu,
  - wilgoć eksploatacyjna, pochodząca na przykład od gotowania, z łazienki i innych pomieszczeń mokrych.

Zawilgocenie zależy od sposobu wykonywania robót budowlanych, rodzaju konstrukcji i zastosowanych materiałów, a także od warunków atmosferycznych. Wilgoć technologiczna związana jest z wytwarzaniem materiałów konstrukcyjnych, natomiast wilgoć budowlana powstaje w procesie budowy (na przykład podczas transportu, składowania oraz łączenia elementów). Najwięcej wody używa się przy pracach wykończeniowych, takich jak: tynkowanie, wylewki, kładzenie gładzi szpachlowych. Okres wysychania ścian z wilgoci początkowej trwa zwykle od 1 roku w przypadku ceramiki czerwonej, gipsu i gipsobetonów do 2-3 lat w przypadku betonu komórkowego. Utrudniać wysychanie mogą materiały o wysokim oporze dyfuzyjnym, na przykład warstwy betonu, szkło, elewacje z płytkami glazurowanymi (Klemm i in., 2009)

Wilgotne przegrody budowlane odsychając powodują wzrost wilgotności powietrza wewnętrznego. Sprzyja to zjawisku kondensacji powierzchniowej, tworzeniu się pleśni oraz pogarsza warunki użytkowe pomieszczeń (mikroklimat). Wpływ wilgoci powoduje, iż większość materiałów zmienia swoje właściwości (Kaczmarek i in., 2010; Ślusarek i Orlik-Koźdoń, 2010). Do negatywnych skutków zawilgocenia materiałów i przegród budowlanych z nich wykonanych, należą:

- wzrost przewodzenia ciepła przez ich strukturę i w efekcie zwiększenie strat ciepła przez przenikanie,

- przemarzanie i niszczący wpływ na strukturę materiału powtarzających się cykli zamarzania i odmarzania wody,
- spadek wytrzymałości,
- malejąca trwałość,
- zniszczenia wywołane skurczem i pęcznieniem,
- krystalizacja soli na powierzchniach przegród i w ich porach,
- degradacja materiałów na skutek korozji chemicznej, biologicznej i mechanicznej.

### 3. Wpływ zawilgocenia ścian zewnętrznych na zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania

#### 3.1. Opis budynku

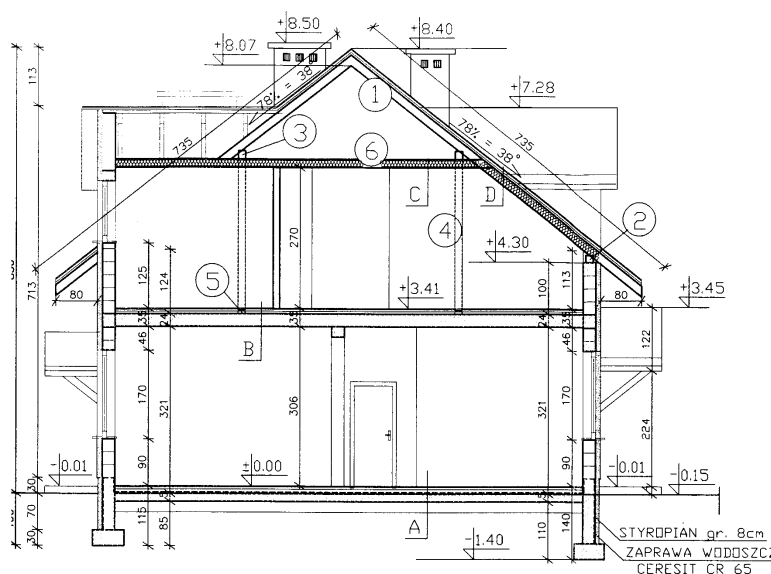
Do analizy wybrano wolnostojący, jednorodzinny budynek mieszkalny, użytkowany przez trzyosobową rodzinę. Budynek jest niepodpiwniczony z poddaszem użytkowym. Bryłę budynku tworzą dwa prostopadłościowe przekryte dachami dwuspadowymi (rys. 2 i 3).

Parametry geometryczne budynku:

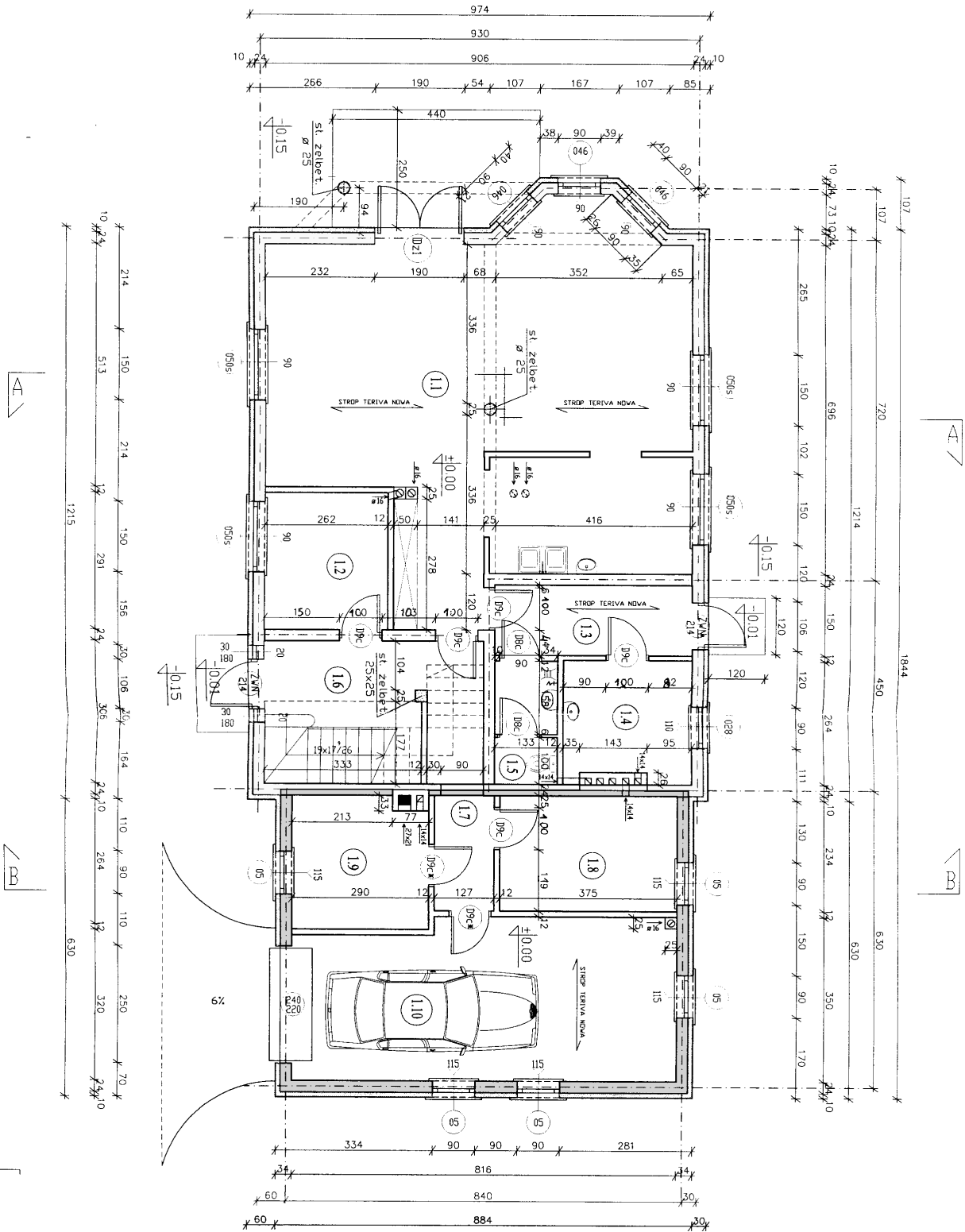
- długość – 19,51 m,
- szerokość – 9,74 m,
- powierzchnia zabudowy – 176,80 m<sup>2</sup>,
- kubatura – 977,00 m<sup>3</sup>,
- powierzchnia o regulowanej temperaturze  $A_f$  – 256,7 m<sup>2</sup>,

oraz wartości współczynników przenikania ciepła  $U$ :

- ściany zewnętrzne  $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- dach  $U = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- okna/drzwi  $U = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- podłoga na gruncie  $U = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- $U_{equiv,bf} = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .



Rys. 2. Przekrój pionowy A-A budynku



Rys. 3. Rzut poziomy budynku

Izolacje przeciwwilgociowe:

- pozioma – w podłodze przyziemia oraz na ścianach fundamentowych,
- pionowa – na ścianach fundamentowych do wysokości 30 cm nad poziomem terenu.

Budynek ma wodną instalację centralnego ogrzewania wyposażoną w grzejniki, a źródłem ciepła jest piec kondensacyjny o mocy 25 kW zasilany gazem i zasobnik c.w.

### 3.2. Obliczenia zawartości wilgoci w ścianach zewnętrznych

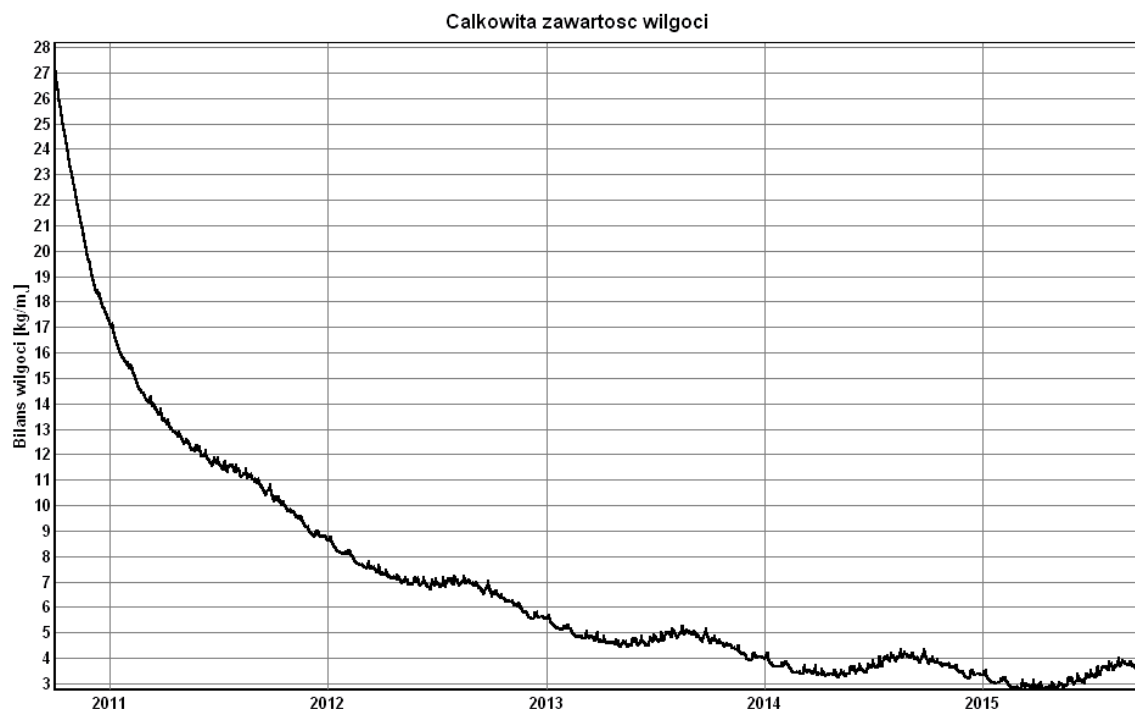
Do obliczeń zawartości wilgoci w ścianach zewnętrznych wykorzystano program WUFI stworzony przez Fraunhofer Institut für Bauphysik z Holzkirchen. Za jego pomocą można oszacować: czas wysychania lekkich i ciężkich konstrukcji przegród z początkowej wilgoci technologicznej i budowlanej oraz powstającej w wyniku

eksploatacji, ocenić niebezpieczeństwo wystąpienia kondensacji wilgoci wewnątrz przegrody oraz badać wpływ zacinającego deszczu (Künzel, 1995). Program może być również pomocny przy wyborze odpowiedniego rozwiązania modernizacyjnego istniejących przegród, narażonych na wpływ czynników klimatu zewnętrznego.

W celu przeprowadzenia obliczeń zawilgocenia ścian zewnętrznych została wykonana symulacja komputerowa za pomocą programu WUFI. Obliczenia przeprowadzono dla 5 lat począwszy od dnia 1 października (budynek po wybudowaniu), obserwując proces wysychania przegrody z wilgoci początkowej (przyjęto wilgoć technologiczną w każdej warstwie). Obliczenia zawartości wilgoci (tab. 1) oraz jej spadku w poszczególnych latach eksploatacji budynku (rys. 4) wykonano dla ściany zewnętrznej, przyjmując dane klimatyczne dla Białegostoku. Przyjęto współczynnik absorpcji deszczu zgodnie z nachyleniem i typem przegrody, pomijając absorpcję promieni słonecznych krótko i długo falowych.

Tab. 1. Zawartość wilgoci w poszczególnych warstwach w kg/m<sup>3</sup> analizowanej przegrody oraz zawartość wilgoci w całej przegrodzie w kg/m<sup>2</sup> powierzchni zewnętrznej, podczas pięcioletniego okresu symulowanej eksploatacji

Warstwa/materiał	grubość m	Zawartość wilgoci			
		po wybudowaniu		po 5 latach	
		kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup>
Mineralny tynk zewnętrzny	0,005	210,00	1,05	48,31	0,24
Styropian	0,100	0,00	0,00	1,51	0,15
Mur z bloczków betonu komórkowego	0,240	100,00	24,00	10,96	2,63
Tynk cementowo-wapienny	0,015	210,00	3,15	38,33	0,58
Całkowita zawartość wilgoci w przegrodzie			28,20		3,60



Rys. 4. Przebieg zmian całkowitej zawartości wilgoci w przegrodzie w ciągu pięcioletniego okresu symulowanej eksploatacji

Początkowa zawartość wilgoci (rys. 4) w przegrodzie wynosząca  $28,20 \text{ kg/m}^2$ , licząc na powierzchnię zewnętrzną ścian netto, spadała intensywnie do trzeciego roku eksploatacji budynku. W pięcioletnim okresie wilgotność spadła do  $3,6 \text{ kg/m}^2$  co łącznie dało spadek o 87%. Na wykresie bilansu wilgoci w ścianie można zauważyć cykliczne zmiany (falowanie) wynikające z pór roku. Zgodnie z obliczeniami, spadek zawilgocenia przegrody jest największy w ciągu pierwszego roku eksploatacji, a następnie stopniowo się zmniejsza. Zawartość całkowitej wilgoci w odniesieniu do lat wcześniejszych spadła o 63,4% w pierwszym roku, w drugim licząc do roku poprzedniego o 36,6% a po ośmiu latach zmiany z roku na rok zmniejszyły się praktycznie do zera.

### 3.3. Obliczenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku oraz wynikające z tego wnioski

Do przeprowadzenia obliczeń zapotrzebowania na ciepło budynku wykorzystano program Arcadia-termo firmy Intersoft.

W obliczeniach przyjęto dwa warianty: budynek bezpośrednio po wybudowaniu (I wariant) i budynek po pięciu latach od wybudowania (II wariant). Różnicą w obu wariantach był stopień zawilgocenia ścian zewnętrznych (wilgoć technologiczna i budowlana), obliczony w programie WUFI.

W celu uwzględnienia powyższej różnicy do obliczeń przyjęto współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  zależnie od zawartości wilgoci w poszczególnych materiałach ściany zewnętrznej według obliczeń przeprowadzonych w programie WUFI (tab. 2).

Tab. 2. Współczynnik przewodzenia ciepła zależny od wilgoci, przyjęty z obliczeń wykonanych w programie WUFI

Warstwy przegrody	Współczynnik przewodzenia ciepła		Procentowy spadek wartości $\lambda$ [%]
	budynek po wybudowaniu $\lambda$ [W/m·K]	budynek po 5 latach eksploatacji $\lambda$ [W/m·K]	
Mineralny tynk zewnętrzny	1,507	0,963	36,1
Styropian	0,040	0,040	0
Mur z bloczków betonu komórkowego	0,330	0,152	54,0
Tynk cementowo wapienny	1,507	0,929	38,4

Wartość współczynnika przewodzenia ciepła zależała od struktury materiału, jego składu chemicznego i stopnia zawilgocenia. W miarę wzrostu zawilgocenia materiału wartość współczynnika  $\lambda$  zwiększała się, a tym samym pogarszała się izolacyjność cieplna przegrody w następstwie czego wzrastały straty ciepła.

W obydwu wyżej wymienionych przypadkach przegroda spełniała wymagania odnośnie uniknięcia kondensacji na powierzchni wewnętrznej ściany według PN-EN ISO 13788:2003 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania*. Czynnikiem temperaturowym  $f_{Rsi}$  dla badanej ściany zewnętrznej był w obydwu wariantach jej zawilgocenia większy niż w miesiącu krytycznym  $f_{Rsi,max}$  (tab. 3).

Tab. 3. Współczynniki temperaturowe dla kolejnych miesięcy i obliczone dla ściany zewnętrznej po wybudowaniu i po pięciu latach eksploatacji budynku

Miesiąc	$f_{Rsi,min}$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	$f_{Rsi}$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	
		Po wybudowaniu	Po 5 latach eksploatacji
Styczeń	0,741		
Luty	0,756		
Marzec	0,722		
Kwiecień	0,574		
Maj	0,291		
Czerwiec	0,305		
Lipiec	0,129	0,868	0,943
Sierpień	0,473		
Wrzesień	0,577		
Październik	0,662		
Listopad	0,767		
Grudzień (miesiąc krytyczny)	0,772		

Obliczone zostały zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną do ogrzewania i wentylacji przedmiotowego budynku zgodnie z rozporządzeniami Ministra Infrastruktury (Dz.U. Nr 201 z 2008r., poz. 1238, 1240). Dla I wariantu zapotrzebowanie na ciepło wynosiło  $20\,534,16 \text{ kWh/rok}$ , natomiast po pięciu latach od wybudowania (II wariant) wyniosło  $19\,669,42 \text{ kWh/rok}$  (tab. 4). Różnica w zapotrzebowaniu na ciepło nastąpiła tylko ze względu na zmianę zawartości wilgoci w ścianie zewnętrznej w procesie odsychania.

Tab. 4. Zestawienie wyników zapotrzebowanie na energię użytkową, końcową i pierwotną oraz pierwotną (Dz. U. nr 201 z 2008 r., poz. 1238)

Objaśnienie	Zapotrzebowanie na energię dla obydwu wariantów	
	wariant I	wariant II
Zapotrzebowanie na energię użytkową $Q_{H,nd}$ , kWh/rok	20 534,16	19 669,42
Zapotrzebowanie na energię końcową $Q_{H,K}$ , kWh/rok	21 383,07	20 482,58
Zapotrzebowanie na energię pierwotną $Q_{H,P}$ , kWh/rok	23 873,14	22 882,60
Wskaźnik EK, kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)*	97,68	94,18
Wskaźnik EP, kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)*	108,32	104,46
Energia pierwotna według WT2008, kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)*	119,0	119,0

\* wskaźniki zapotrzebowania na energię końcową, pierwotną uwzględniają ciepłą wodę użytkową na potrzeby 3 osobowej rodziny.

#### 4. Podsumowanie

Niewielki wpływ wilgoci technologicznej na zapotrzebowanie na ciepło budynku oraz wskaźnik energii końcowej spowodowany jest tym, że straty na przenikanie przez ściany stanowiły tylko pewien udział w całym bilansie energetycznym budynku. Do tego bilansu należy zaliczyć również straty ciepła przez inne przegrody, na przykład dach, okna, podłogę na gruncie, oraz wentylację.

Zawarta w ścianach zewnętrznych wilgoć powoduje zwiększenie opłat za energię. W analizowanym budynku wzrost ten wynosi od 189 zł/sezon przy kotle na gaz ziemny, 346 zł/sezon przy stosowaniu oleju opałowego, do 451 zł/sezon przy ogrzewaniu prądem elektrycznym.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wpływu zawilgocenia ścian zewnętrznych na zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania można zauważyć, że zawilgocenie ma około 4,2% wpływu na jego zwiększenie w pierwszym roku, w porównaniu z budynkiem po pięciu latach odsychania z wilgoci. Przy tak niewielkiej różnicy należy pamiętać, że zawilgocenie przegród zewnętrznych ma niekorzystny wpływ na izolacyjność cieplną co może doprowadzić do zjawiska przemarzania i kondensacji pary wodnej na ich powierzchniach wewnętrznych. Przy niedostatecznej wentylacji w budynku może to wówczas doprowadzić do powstawania ognisk pleśni na ścianach.

Silne zawilgocenie powstałe z zakumulowania wilgoci technologicznej, budowlanej i z podciągania wody ze źle zaizolowanego fundamentu może spowodować, że podwyższone zapotrzebowanie na ciepło nie będzie spadać. Dlatego podczas budowy należy zadbać o dobre wykonanie izolacji przeciwwilgociowych fundamentów.

#### Literatura

- Kaczmarek A., Wesołowska M., Pawłowski K. (2010). Niszczący wpływ wody i wilgoci na wybrane materiały budowlane. *Izolacje*, 7/8, 48-50.
- Klemm P. i. in. (2009). Budownictwo ogólne. Fizyka budowli, tom 2. *Arkady*, Warszawa.
- Künzel H. M. (1995). Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. *IRB Verlag*, [http://www.wufi.de/index\\_e.html](http://www.wufi.de/index_e.html).
- Ślusarek J., Orlik-Koźdoń B. (2010). Procesy transportu ciepła i wilgoci w przegrodach budowlanych o złożonej strukturze. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice

#### HEAT DEMAND FOR BUILDING HEATING AND OUTSIDE WALLS DAMPNES

**Abstract:** This paper analyses the influence of external walls dampness for single-family house on the final energy. For the analysis two variants of damp walls were assumed: immediately after construction and after five years of exploitation of the building.

## DETERIORACJA NATURALNYCH KAMIENI BUDOWLANYCH PRZEZ MIKROORGANIZMY

Elżbieta WOŁEJKO\*

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

**Streszczenie:** Prezentowana praca jest artykułem przeglądowym na temat roli mikroorganizmów, takich jak: bakterie, glony, sinice i grzyby, biorących aktywny udział w biodeterioracji naturalnych kamieni. Materiały te są narażone na działanie czynników atmosferycznych powodujących zarówno fizyczne, jak i chemiczne wietrzenie skał, przyspieszających biologiczne niszczenie kamieni przez naruszenie ich macierzy skalnej, czyniąc je bardziej wrażliwymi na atak mikrobiologiczny. Zasiedlanie kamieni naturalnych przez mikroorganizmy z utworzeniem błony biologicznej rozpoczyna się przez gatunki pionierskie, które z biegiem czasu wymieniają się na bardziej złożone zespoły. Mikroorganizmy bytujące na kamieniach znajdują w nich wiele elementów niezbędnych do ich metabolizmu, powodując istotne zmiany na powierzchniach budynków i pomników wykonanych z naturalnych kamieni, włączając wielokolorowe plamy i osady tworzące skorupy.

*Słowa kluczowe:* korozja biologiczna, mikroorganizmy, bakterie, porosty, sinice, grzyby, kamień.

### 1. Wprowadzenie

W budownictwie przyjęło się określenie „korozja biologiczna” (biokorozja) obejmujące zjawiska biodegradacji materiałów wywołanych czynnikami biologicznymi (Rymsza, 2005). Problemem korozji biologicznej dotkniętych jest wiele materiałów budowlanych, takich jak: drewno, wyroby papierowe, tworzywa sztuczne, materiały nieorganiczne (cegła, zaprawa, kamień, szkło), farby i lakiery (Pastuszka i in., 2000). W literaturze możemy spotkać się również z pojęciem „biodeterioracja”, co oznacza ogólne obniżenie jakości materiałów budowlanych spowodowane niekorzystnym oddziaływaniem czynników biologicznych, a szczególnie działalnością mikroorganizmów. W środowisku naturalnym procesy biodeterioracji są szeroko rozpowszechnione, a aktywność metaboliczna różnorodnych mikroorganizmów wpływa na indukowanie bezpośredniej lub pośredniej biodeterioracji materiałów mineralnych (Cwalina, 2003).

Kamienie naturalne są narażone na działanie czynników atmosferycznych powodujące zarówno fizyczne jak i chemiczne wietrzenie skał (wiatr, światło słoneczne, temperatura, deszcz, śnieg i wilgoć), co w konsekwencji przyspiesza biologiczne niszczenie kamieni. Dzieje się tak na skutek naruszenia macierzy skalnej czyniąc ją bardziej wrażliwą na atak

mikrobiologiczny (Brimblecombe i Grossi, 2010). Na rozwój określonych mikroorganizmów wpływają również charakter i właściwości powierzchni (zawartość procentowa różnych minerałów, pH, zasolenie, zawartość wilgoci czy też występowanie odchodów zwierzęcych) (Nuhoglu i in., 2006).

Biodeterioracja kamiennych budowli i pomników może być klasyfikowana w kategoriach biofizycznych, biochemicznych i estetycznych. Procesy te w zależności od charakteru kamieni i biodeteriogenów, a także warunków środowiskowych mogą występować oddzielnie lub jednocześnie. Jak podaje Warscheid i Braams (2000) biofizyczna deterioracja kamienia może następować wskutek ciśnienia wywieranego na otaczające powierzchnie przez rozwijające się mikroorganizmy i ich metabolity, które penetrują w głąb materiału przez już istniejące pęknięcia lub szczeliny, powodując naprężenia, a tym samym uszkodzenia. W wyniku bytowania mikroorganizmów wytwarzają się błony biologiczne wpływające na zmianę porowatości z wytworzeniem mikropęknięć związanych ze zmianami dyfuzji pary wewnątrz materiału. Zjawiska te są powodowane przez zewnątrzkomórkowe substancje polimeryczne (ang. *extracellular polymeric substances*; EPS) i związki zmniejszające napięcie powierzchniowe, wydzielane do środowiska przez mikroorganizmy (Grossi i Brimblecombe, 2008). Kamień uszkodzony w trakcie

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

procesów biofizycznych jest bardziej wrażliwy na działanie innych czynników niszczących, a w szczególności biochemicznych, do których przyczynia się działalność mikroorganizmów produkujących korozyjne metabolity reagujące ze składnikami minerału (Żakowska, 2006).

Ze względu na powszechność wykorzystywania naturalnych kamieni jako materiałów budowlanych, celem przedstawionej pracy jest omówienie roli mikroorganizmów biorących aktywny udział w biodeterioracji tych materiałów.

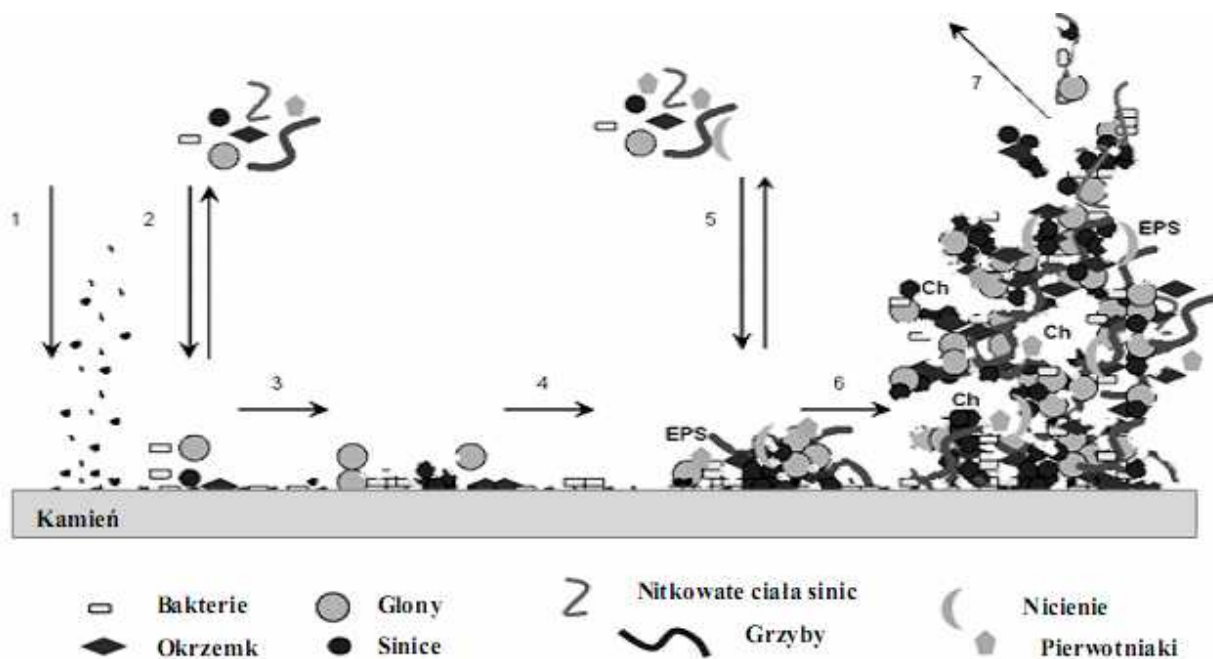
## 2. Rola mikroorganizmów w tworzeniu biofilmów

Zasiedlanie kamieni naturalnych z wytworzeniem błony biologicznej rozpoczyna się przez gatunki pionierskie, które z biegiem czasu wymieniają się na bardziej złożone zespoły. Mikroorganizmy bytujące na kamieniach znajdują wiele pierwiastków biogennych niezbędnych do ich metabolizmu, takich jak: wapń, glin, krzem, żelazo czy potas (Nuhoglu i in., 2006), przyczyniając się do tworzenia biofilmu. Z danych literaturowych wynika, że w rozwój biofilmu mogą być zaangażowane pojedyncze gatunki drobnoustrojów, jednak najczęściej w skład hydrożelu wchodzi różny pod względem taksonomicznym mikroorganizmy, wśród których wyróżnia się: bakterie, promieniowce, drożdże oraz grzyby strzępkowe, jak również komponenty organiczne, pochodzące z żywych komórek oraz ich produkty degradacji (Kołwzan, 2011).

Architektura biofilmu uzależniona jest od wielu czynników biologicznych i fizykochemicznych takich jak:

warunki hydrodynamiczne, zawartość substancji odżywczych, ruchliwość bakterii, komunikacja międzykomórkowa oraz zawartość egzopolisacharydów czy białek. Na dojrzałość postaci biofilmu składa się wiele mikrokolonii tworzących specyficzne zgrupowania. Możemy wyróżnić trzy podstawowe typy budowy błon biologicznych tworzących biofilm – płaski (dwuwymiarowy), kolumnowy oraz tak zwany model grzyba. W środowisku o dużej sile ścinającej (strumień wody) biofilm przybiera postać rozciągniętych pasków, ułożonych w cienkiej warstwie wzdłuż powierzchni przylegania, natomiast w środowisku o wolnym przepływie wody biofilm tworzy masę w postaci „grzyba” (Flemming i Wingender, 2010).

Jak podają Monds i O'Tool (2009) kolonizacja różnych powierzchni kamieni przez mikroorganizmy możliwa jest dzięki ich adhezyjnym właściwościom, natomiast strukturę powstałego biofilmu stabilizują substancje polimeryczne wydzielane pozakomórkowo (EPS) tworzące tak zwane glikokaliks. Na początku podłoże pokrywa pojedyncza warstwa komórek drobnoustrojów, po czym następuje synteza i wzmożone wydzielanie biopolimerów zewnątrzkomórkowych. Powstające skupisko otoczone śluzem stymuluje adhezję innych mikroorganizmów (Baranowska i Rodziejcz, 2008). Dojrzewanie biofilmu poprzez namnażanie drobnoustrojów z wytwarzaniem mikrokolonii umożliwia adhezję nieodwracalną. W komórkach drobnoustrojów dochodzi do aktywacji lub hamowania ekspresji niektórych genów, które prowadzą do dojrzewania biofilmu i wystąpienia odpowiednich cech fenotypowych, uzależnionych od warunków i potrzeb tworzącej się społeczności komórek (rys. 1).

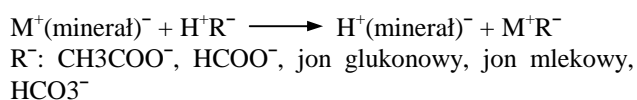


Rys. 1. Rozwój biofilmu (Nikolaev i Plakunov, 2007): (1) – początek zasiedlania powierzchni; (2) – wstępna odwracalna adhezja na powierzchniach stałych (bakterie, glony, sinice i okrzemki); (3) – przejście do nieodwracalnej adhezji, mnożenia, początek EPS; (4) – początek trójwymiarowego rozwoju struktury biofilmu; (5) – nieodwracalna adhezja i ciągły rozwój biofilmu; (6) – dojrzewanie biofilmu; (7) – faza homeostazy utrzymująca w równowadze wzrost struktury biofilmu i oddzielenie się komórek, które kolonizują nowe powierzchnie

Jak zauważył Bryers (2008) bakterie bytujące wewnątrz biofilmu narażone są na brak tlenu. Z tego względu zmienia się ich metabolizm, wzrasta aktywność beztlenowych szlaków metabolicznych, takich jak: desulfurikacja, denitryfikacja i fermentacja oraz zahamowaniu ulega też synteza niektórych enzymów (na przykład proteaz, fosfolipazy C). W ostatnim etapie rozwoju biofilm osiąga tak zwaną krytyczną grubość i stopniowo przestaje utrzymywać istniejącą formę. Następuje wówczas migracja komórek z peryferyjnych części dojrzałego biofilmu do otoczenia (Liu i Tay, 2001). Kołwzan (2011) uważa, że przyczyną tego zjawiska może być wyczerpanie składników pokarmowych lub problemy z ich przepływem w obrębie błony. W ten sposób biofilm przystosowuje się do zmian środowiskowych, a oderwane komórki rozpoczynają proces kolonizacji nowych powierzchni (rys. 1), przyczyniając się tym samym do rozpadu piaskowców, granitu, wapieni, dolomitu, a nawet bazaltu.

### 2.1. Biodeterioracja naturalnych kamieni przez bakterie

Bakterie należą do bardzo aktywnej metabolicznie grupy mikroorganizmów, które uszkadzają naturalne kamienie i ze względu na wymagania środowiskowe, określa się je jako grupę chemolitotroficzną. W wyniku aktywności mikroorganizmów chemolitotroficznych tworzących kwas azotowy lub siarkowy dochodzi do korozji kwasowej kamienia, którą można przedstawić za pomocą poniższego schematu (Perego i Fabiano, 1999):



Organizmy autotroficzne wykorzystują CO<sub>2</sub> z atmosfery jako źródło węgla i produkują korozyjne kwasy organiczne. Kwas siarkowy wydzielany podczas bytowania przez na przykład *Acidithiobacillus sp.*, reaguje z węglanem wapnia tworząc uwodniony siarczan wapnia, czyli gips (Cwalina, 2003). Aktywność metaboliczna bakterii *Nitrosomonas sp.* i *Nitrobacter sp.*, wydzielających kwas azotowy (V) oraz kwas azotowy (III) do środowiska, przyczynia się do rozwarstwiania i sproszkowania niektórych rodzajów kamienia (Crispim i Gaylarde, 2004).

Organizmy heterotroficzne zasiedlające kamienie uczestniczą w ich deterioracji dzięki mechanizmom włączającym uwalnianie biogenne kwasy, mogące chelatować niektóre jony metali, natomiast roztrawianie kamieni jest związane z kompleksowaniem kationów, do których zaliczamy głównie: Ca<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup> oraz Si<sup>4+</sup> (Kumar i Kumar, 1999). Wydzielane kwasy organiczne i nieorganiczne rozkładają poszczególne komponenty kamienia w wyniku tworzenia się soli i chelatów. Ponadto, zwiększona objętość rozpuszczalnych soli i chelatów może powodować naprężenia w porach, co skutkuje tworzeniem się szczelin, podczas gdy nierozpuszczalne sole i chelaty mogą się gromadzić na powierzchni kamienia jako skorupy

(Warscheid i Braams, 2000) w postaci plam, zacieków, wykwitów, puszystych nalotów i szklanych powłok (rys. 2).



Rys. 2. Korozja solna muru wykonanego z kamienia wapiennego (Ważny i Karyś, 2001)

Niektóre bakterie heterotroficzne odpowiedzialne są również za wizualne zmiany powierzchni kamieni, włączając w to bezpośrednią pigmentację wierzchniej warstwy kryształów skały, pojawiają się w postaci kolorowych biologicznych patyn (Krumbein, 2002). Warto podkreślić, że mikroorganizmy kolonizujące powierzchnię kamieni na początku mogą nie powodować żadnych dostrzegalnych zmian w składzie chemicznym minerałów tworzących kamień, ale z czasem powodują nieodwracalne fizykochemiczne uszkodzenia w materiale (Kumar i Kumar, 1999; Valentini i in., 2012).

### 2.2. Biodeterioracja naturalnych kamieni przez glony i sinice

Na wilgotnych i ciepłych powierzchniach, w miejscach do których dociera światło, rozwijają się epifityczne glony należące do zielenic i sinic z rodzaju *Pleurococcus*, *Stichococcus*, *Trentepohlia*, *Oscillatoria* i *Scytonema*. Ich wpływ na uszkodzenia powierzchni budynków związany jest z zatrzymywaniem wody przez biomasę glonów. Zmiany temperatury, powtarzające się cykle zamrażania i rozmrażania wody zwiększają okresowo jej objętość i powodują mechaniczne uszkodzenia fasad i elewacji (Morton i Surman, 1994).

Sinice należą do organizmów, które powodują nieestetyczne uszkodzenia kamiennych budowli oraz pomników, tworząc różnorodnie zabarwione błony biologiczne na ich powierzchniach (Favali i in., 2000). Roztrawianie kamienia spowodowane na przykład bytowaniem bakterii przyczynia się do zasiedlania przez sinice mikroskopijnych zagłębień, takich jak granice faz kryształów w kamieniu. Poprzez bytowanie sinic następuje zmniejszenie spójności kryształu i rozwój korozji wżerowej (Danin i Caneva, 1990).

Śluz wydzielany przez sinice na kamieniach jest cyklicznie wysuszany i zwilżany, co prowadzi do wielokrotnego naprężania się i rozluźniania błon biologicznych, w wyniku czego następuje biofizyczna



deterioracja kamienia. Biofilmy tworzone przez sinice podtrzymują wzrost heterotroficznych organizmów, takich jak grzyby lub bakterie posiadające znaczny potencjał destrukcyjny, stanowiąc dla nich doskonałe źródło pożywienia (Robins i in., 1986). Ponadto, biofilm sinic zawiera zwykle znaczne ilości zaadsorbowanych związków nieorganicznych pochodzących z kamienia i powietrza. Ułatwia on przywieranie cząsteczek stałych z zanieczyszczonego powietrza, powodując powstawanie trudno usuwalnych twardych skorup i patyn (Kumar i Kumar, 1999).

Głony, dzięki zawartemu w nich chlorofilowi należą do organizmów fotosyntezujących. Deterioracja kamieni budowlanych nie jest spowodowana przez same glony, tylko przez wzajemną współpracę glonów z bakteriami i grzybami. Jak podaje Cwalina (2003), glony uważane są za czynnik powodujący utratę wartości estetycznych kamiennych budowli i pomników poprzez tworzenie patyn na ich powierzchni, różniących się rozmiarami, grubością, konsystencją i kolorem. Ze względu na to, że do rozwoju potrzebują one wody, najczęściej możemy spotkać glony w miejscu o podwyższonej wilgotności. Zazwyczaj porastają one pas przyziemia budynku oraz miejsca, gdzie występuje podwyższona wilgotność.

W środowiskach nasłonecznionych i względnie suchych, patyny są cienkie, twarde, bardzo często szare lub czarne, a czasami zielone. W miejscach wilgotnych i słabo oświetlonych są one grube, galaretowate i różnej barwy (zielone, żółte, pomarańczowe, fioletowe i czerwone).

### 2.3. Biodeterioracja naturalnych kamieni przez porosty

Porosty stanowią wyjątkową grupę organizmów obecnych na każdym kontynencie. Powstały w wyniku symbiotycznego połączenia organizmów: heterotroficznego – grzyba i autotroficznego – glonu. Owa dualistyczna natura porostów, jak podają Matwiejuk i Korobkiewicz (2012) wyraża się licznymi cechami. Jedną z nich jest duża wrażliwość na zmiany warunków siedliskowych wywołana przez czynniki naturalne i antropogeniczne. Porosty należą do organizmów odznaczających się dużą odpornością na czynniki atmosferyczne (skrajne temperatury, brak wody i krótki okres wegetacyjny), ale jednocześnie wykazują wysoką czułość na zanieczyszczenie powietrza (głównie przez  $SO_2$  i  $NO_x$ ), zanieczyszczenie wód, gospodarkę leśną, zmiany stosunków wodnych, urbanizację i ruch turystyczny.

Istotną rolę w biodeterioracji kamienia odgrywa penetracja plechy porostów do porów już istniejących pęknięć i szczelin w kamieniach, takich jak: granity, piaskowce, marmury oraz głązy wapienne wykorzystywane od dawien dawna przez człowieka do budowy pomników, murów, nagrobków, czy też obelisków. Aktywność metaboliczna porostów prowadzi także do korozji chemicznej minerałów z powodu produkcji biogenych kwasów organicznych i innych czynników chelatujących. Z danych literaturowych wynika, że dla agresywnych metabolicznie

porostów nie stanowią większej bariery nawet barwniki farb wykonanych na bazie tlenków takich metali jak: ołów, rtęć czy mangan. Stwierdzono również, że niektóre porosty są odpowiedzialne za tworzenie czerwono-brunatnej patyny pokrywającej budowlę wykonane z wapienia, jak również z marmuru (rys. 3). Do najczęstszych gatunków porostów bytujących na podłożu skalnym należą: *Lacanora dispersa*, *Lacanora albescens*, *Caloplaca decipiens*, *Caloplaca citrina*, *Caloplaca saxicola*, *Candelariella aurella*, *Neofuscelia loxodes*, *Protoparmeliopsis murali* oraz *Xanthoria parietina* (Matwiejuk, 2007).



Rys. 3. Wżery spowodowane przez atak porostów na monumencie wykonanym z dolomitu (Becker i in., 1994)

### 2.4. Biodeterioracja pleśniowa naturalnych kamieni

Biodeterioracja pleśniowa jest to specyficzny rodzaj korozji występującej w obiektach budowlanych, która może wywoływać pogorszenie właściwości użytkowych w wyniku sumowania się dwóch niekorzystnych procesów: mikotoksycznego skażenia środowiska oraz biodegradacji materiałów budowlanych (Papciak i Zamorska, 2007).

Organizmy heterotroficzne, do których zaliczamy grzyby zasiedlające różnorodne środowiska, odgrywają wiodące znaczenie w procesie rozkładu materii organicznej i globalnym obiegu pierwiastków. Dobrze rozwijają się tam, gdzie mają dostateczną ilość substancji odżywczych, optymalną wilgotność (70%), odpowiednią temperaturę (16-28°C do 40°C) i odczyn środowiska o pH 5,6-6,5. Charakteryzują się zróżnicowaną organizacją struktury, począwszy od jednokomórkowców, aż po organizmy o złożonej, skomplikowanej budowie plech (Wołajko i Matejczyk, 2011).

Liczba oraz zróżnicowanie rodzajów grzybów występujących w powietrzu atmosferycznym zależy od wielu czynników, takich jak: klimat, stopień zurbanizowania, charakter fauny i flory, ale również od godziny występowania opadów w ciągu dnia lub nocy (Kleinheinz i in., 2006). Pozostałości organiczne obecne na kamieniach stymulują wzrost wielu grzybów, które przyczyniają się do degradacji kamienia dzięki biofizycznym i biochemicznym mechanizmom (Griffin

i in., 1991). Do najczęściej występujących grzybów należą: *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.*, *Candida sp.*, *Alternaria sp.* oraz *Cladosporium sp.* (Guiamet i in., 2012).

Grzyby rozkładając materiały organiczne, które stanowią dla nich bogate źródło substancji odżywczych, wydzielają do otoczenia wiele produktów przemiany materii, takich jak: woda, kwasy organiczne (mlekowy, octowy, cytrynowy, jabłkowy i bursztynowy), wchodzących łatwo w reakcję z solami wapnia, żelaza i potasu, tworząc związki, takie jak mleczany czy octany. Produkty te mają destrukcyjne działanie na cegłę i kamień, powodując ich przebarwienia, wykwit soli mineralnych, odpryskiwanie i kruszenie (Papciak i Zamorska, 2007).

### 3. Podsumowanie

W specjalistycznych opracowaniach naukowych możemy znaleźć wiele opisów zagadnień związanych z mikrobiologicznym niszczeniem różnych materiałów budowlanych. Przyczyniają się one do zwiększenia świadomości społeczeństwa, a tym samym skutkują większą dostępnością w handlu środków chemicznych działających antybiotycznie.

Materiał kamienny, z którego wykonuje się pomniki, mury, nagrobki i obeliski, czy też wykorzystywany w budownictwie jest uważany za praktycznie niezniszczalny. Jednak wzmożona aktywność mikrobiologiczna niewątpliwie istotnie wpływa na rozwój zmian mineralnych, w konsekwencji powodując rozpad skalnych materiałów budowlanych i monumentów. Warto podkreślić, że zanim pojawią się zauważalne zmiany zewnętrzne, które można usunąć za pomocą piaskowania, mycia wodą pod ciśnieniem, czy też za pomocą biocydów, rozkład skał naturalnych może być już tak daleko zaawansowany, że wykonanie zabiegu będzie wystarczające jedynie na krótki czas, przerywając agresję mikroorganizmów zaledwie na kilka miesięcy.

### Literatura

- Baranowska K., Rodziejewicz A. (2008). Molekularne interakcje w biofilmach bakteryjnych. *Kosmos*, Vol. 57, No. 1-2, 29-38.
- Becker T. W., Krumbein, W. E., Warscheid Th., Resende M. A. (1994). Investigations into Microbiology. W: IDEAS Investigations into devices against Environmental Attack on Stones Final Report. Bianchi, H.K. (Ed.). *GKSS-Forschungszentrum*, Geesthacht.
- Brimblecombe P., Grossi C. M. (2010). Potential Damage to Modern Building Materials from 21st Century Air Pollution. *The Scientific World Journal*, Vol. 10, 116-125.
- Bryers J. D. (2008). Medical biofilms. *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 100, No. 1, 1-18.
- Crispim C. A., Gaylarde C. C. (2004). Cyanobacteria and biodeterioration of cultural heritage: A Review. *Microbial Ecology*, Vol. 49, No. 1, 1-9.
- Cwalina B. (2003). Rola mikroorganizmów w deterioracji naturalnych kamieni budowlanych. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, Vol. 1, 39-48.
- Danin A., Caneva G. (1990). Deterioration of limestone walls in Jerusalem and marble monuments in Rome caused by Cyanobacteria and cyanophilous lichens. *International Biodeterioration*, Vol. 26, No. 6, 397-417.
- Favali M. A., Fossati F., Realini M. (2000). Biodeterioration of natural and artificial stones caused by lichens and algae. W: *Microbial Corrosion*. European Federation of Corrosion. Sequeira C.A.C. (Ed.). *IOM Communications*, London.
- Fleming H. C., Wingender J. (2010). The biofilm matrix. *Nature Reviews Microbiology*, Vol. 8, No. 9, 623-633.
- Griffin P. S., Indictor N., Koestler R. J. (1991). The biodeterioration of stone: A Review of deterioration mechanisms, conservation case histories and treatment. *International Biodeterioration*, Vol. 28, No. 1-4, 187-207.
- Grossi C. M., Brimblecombe P. (2008). Past and future colouring patterns of historic stone buildings. *Revista Materiales de Construcción*, Vol. 58, 143-160.
- Guiamet P. S., Rosato V., Gómez de Saravia S., García A. M., Moreno D. A. (2012). Biofouling of crypts of historical and architectural interest at La Plata Cemetery (Argentina). *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 13, No. 3, 339-344.
- Kleinheinz G. T., Langolf B. M., Englebert E. (2006). Characterization of airborne fungal levels after mold remediation. *Microbiological Research*, Vol. 161, No. 4, 367-376.
- Koźwzan B. (2011). Analiza zjawiska biofilmu – warunki jego powstawania i funkcjonowania. *Ochrona Środowiska*, Vol. 33, No. 4, 3-14.
- Krumbein W. E. (2002). Patina and cultural heritage – a geomicrobiologist's perspective. W: *5th EC Conference „Cultural Heritage Research: a Pan-European Challenge”*, Kraków.
- Kumar R., Kumar A. V. 1999. Biodeterioration of stone in tropical environments: an overview. *Getty Conservation Institute*, Los Angeles.
- Liu Y., Tay J. H. (2001). Detachment forces and their influence on the structure and metabolic behavior of biofilms. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, Vol. 17, No. 2, 111-117.
- Matwiejuk A. (2007). Porosty Białegostoku. Analiza florystyczno-ekologiczna. *Ekonomia i Środowisko*, Białystok.
- Matwiejuk A., Korobkiewicz K. (2012). Porosty jako wskaźniki stanu zanieczyszczenia powietrza na terenie Narwi (Podlasie, Północno-Wschodnia Polska). *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, Vol. 52, 113-122.
- Monds R. D., O'Tool G. A. (2009). The developmental model of microbial biofilms: Ten years of a paradigm up for review. *Trends in Microbiology*, Vol. 17, No. 2, 73-87.
- Morton L. H. G., Surman S. B. (1994). Biofilms in biodeterioration – A Review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, Vol. 34, No. 3-4, 203-221.
- Nikolaev Y. A., Plakunov V. K. (2007). Biofilm – „City of microbes” or an analogue of multicellular organisms? *Microbiology*, Vol. 76, No. 2, 125-138.
- Nuhoglu Y., Oguz E., Uslu H., Ozbek A., Ipekoglu B., Ocak I., Hasenekoglu I. (2006). The accelerating effects of the microorganisms on biodeterioration of stone monuments under air pollution and continental-cold climatic conditions in Erzurum, Turkey. *Science of the Total Environment*, Vol. 364, No. 1-3, 272-283.
- Papciak D., Zamorska J. (2007). Korozja mikrobiologiczna w budynkach powodowana przez grzyby. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, Vol. 46, 87-98.

- Pastuszka J. S., Kyaw T., Paw U., Lis D. O., Wlazło A., Ulfing K., (2000). Bacterial and fungal aerosol in indoor environmental in Upper Silesia. Poland. *Atmospheric Environmental*, Vol. 34, No. 22, 3833-3842.
- Perego P., Fabiano B. (1999). Corrosion microbial. W: Encyclopedia of Bioprocess Technology: Fermentation, Biocatalysis and Bioseparation. Flickinger M. C., Drew S. W. (Ed.). *John Wiley Sons, Inc.*, New York.
- Robins R. J., Hall D. O., Shi D. J., Turner R.J., Rhodes M. J. C. (1986). Mucilage acts to adhere Cyanobacteria and cultured plant cells to biological and inert surfaces. *Microbiology Letters*, Vol. 34, No. 2, 155-160.
- Rymsza B. (2005). Biodeterioracja pleśniowa – nieszczęście, którego można uniknąć. *Alergia*, Vol. 1, No. 23, 39-43.
- Valentini F., Diamantia A., Carbone M., Bauer E. M., Palleschi G. (2012). New cleaning strategies based on carbon nanomaterials applied to the deteriorated marble surfaces: A comparative study with enzyme based treatments. *Applied Surface Science*, Vol. 258, No. 16, 5965-5980.
- Warscheid Th., Braams J. (2000). Biodeterioration of stone: A Review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, Vol. 46, No. 4, 343-368.
- Ważny J., Karyś J. (2001). Ochrona budynków przed korozją biologiczną. *Arkady*, Warszawa.
- Wołejko E., Matejczyk M. (2011). Problem korozji biologicznej w budownictwie. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 2, No. 2, 191-195.

Żakowska Z. (2006). Mikroorganizmy w procesie biodeterioracji i biodegradacji materiałów technicznych. W: *Materiał IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej. nt. Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych*, Łódź, 12-15.

#### DETERIORATION OF NATURAL BUILDING STONES BY MICROORGANISMS

**Abstract:** The article reviews the literature on the role of microorganisms taking an active part in the biodeterioration of natural stones. From the beginning natural stones are subject to weather conditions that cause both physical and chemical weathering of rocks accelerate biological destruction of stones the stability of the rock matrix making them more susceptible to microbial attack. Colonization of natural stones by microorganisms with the formation of a biofilm is initiated by pioneer species that to exchange they are with more complex assemblies with time. Microorganisms living on stones find many elements necessary for their metabolism, causing significant changes on the surfaces of buildings and monuments made of natural stone, including multicolored stains and deposits forming a crust.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach pracy statutowej nr S/WBiIŚ/3/2011.