

Spis treści

Michał BOŁTRYK, Anna KRUPA

Mrozoodporność kompozytów cementowych z wypełniaczami organicznymi
Frost resistance of cement composites with organic fillers 63

Monika DYBOWSKA-JÓZEFIAK, Krzysztof PAWŁOWSKI, Maria WESOŁOWSKA

Analiza numeryczna parametrów ciepłno-wilgotnościowych złączy ścian zewnętrznych z płytą balkonową w świetle nowych wymagań cieplnych
Numerical analysis of hygro-thermal parameters for external walls – balcony slab joints in terms of new thermal requirements 71

Anna KACZMAREK, Maria WESOŁOWSKA

Propozycja metodyki badań prognozująca trwałość współczesnych murów licowych
Research methodology proposed for resilience of contemporary facing walls 81

Małgorzata A. LELUSZ

Badanie przydatności popiołu lotnego ze spalania biomasy do produkcji betonów cementowych
Suitability testing of fly ash from biomass combustion for the cement concrete production 87

Dorota MAŁASZKIEWICZ

Wpływ domieszek redukujących wodę na właściwości reologiczne zapraw cementowych
Influence of high range water reducing admixtures on rheological properties of cement mortars 93

Vadzim I. NIKITSIN, Valery. A. KOFANOV, Beata BACKIEL-BRZOZOWSKA

Ocena wpływu zacinającego deszczu na zawilgocenie płyty ściennej z betonu komórkowego
Evaluation of the influence of wind-driven rain on moisture content in cellular concrete wall boards 99

Joanna Agnieszka PAWŁOWICZ

Odbicie wiązki lasera od obiektów jednorodnych materiałowo, lecz o różnej barwie – studium przypadku
Reflection of a laser beam from objects made of homogenous materials of multiple colors - case study 105

Marta SKIBA, Maria MRÓWCZYŃSKA, Anna BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA

Potencjał rynkowy remontów energooszczędnych w budownictwie mieszkaniowym Zielonej Góry
Market potential for energy efficient renovations in housing of Zielona Góra 111

Elżbieta SZCZYGIELSKA, Viktor TUR

Alternatywne metody oceny zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie dla małych grup wyników badań
Alternative methods of the concrete compressive strength compliance assessment based on small groups of test results 119

Abstracts Vol. 7 No. 2

Michał BOŁTRYK, Anna KRUPA

Frost resistance of cement composites with organic fillers

The paper presents the results of research on the modification of cement composites with organic fillers air entrainers. For this purpose an optimized composition of the admixture is added in an amount of from 0 to 4% of the weight of the cement. Based on research carried out on cubic samples of dimensions 10×10×10 cm determined the effect of adding admixture on selected physical and mechanical properties of cement composites: apparent density, compressive strength and frost resistance. Based on the obtained results it was established that the developed variants of prescription degree of frost resistance of the composite cement is F25.

Monika DYBOWSKA-JÓZEFIAK, Krzysztof PAWŁOWSKI, Maria WESOŁOWSKA

Numerical analysis of hygro-thermal parameters for external walls – balcony slab joints in terms of new thermal requirements

The paper includes a detailed comparative analysis of thermal parameters of the double layer connectors of exterior walls with balcony slabs. The results of numerical calculations of selected solutions involving structures and materials are presented herein. For numerical calculations the joints, which connects outer wall with balcony plate, using various layers of the specific materials, were selected. In order to present the parameters of temperature and humidity of thermal bridges, the numerical analysis was performed by TRISCO computer programme. On the basis of the results the practical conclusions were drawn for design and construction. The detailed specifications of thermal parameters by means computer programme for these type of joints, allow us to receive an appropriate estimation of heat loss and temperature distribution, in order to avoid mistakes at the stage of the construction and operation of buildings.

Anna KACZMAREK, Maria WESOŁOWSKA

Research methodology proposed for resilience of contemporary facing walls

The article refers to proposition of research methodology for durability prognosis for facial walls. In present fast technology development there are new materials introduced to construction, and although their properties are known there is not necessary experience regarding their durability and resistance to influences of environmental impact for many years. In authors research there is possibility of migration of soluble compounds originating from the same ceramic material as well as from mortars in laboratory and field tests. After the analysis of European construction regulations the authors stated that they have not been prepared in such state to be a sufficient base for evaluation of durability of a facial wall. This element was left for designers decision, which results often in accidental choice of compound materials.

Małgorzata A. LELUSZ

Suitability testing of fly ash from biomass combustion for the cement concrete production

Secondary fuels are increasingly used for power generation in power plants. Biomass, considered as a zero-emission fuel, is more often used in power plants, recently. The paper aim was to assess the possibility of using fly ash from the biomass combustion for the production of cement matrix composites. In the laboratory research ashes from the combustion of: wood biomass, co-combustion of coal and biomass and combustion of coal alone were used. The research results of the development in compressive strength of concrete containing fly ash in an amount up to 40% by mass of the binder are presented. The addition was treated as a substitute for cement. Pozzolan properties of the ashes were tested and the impact of the content of ash from biomass combustion hydration heat of cement were assessed. The study showed that there is a possibility of economic utilisation of fly ash from the combustion of wood biomass for the cement concrete production.

Dorota MAŁASZKIEWICZ

Influence of high range water reducing admixtures on rheological properties of cement mortars

The influence high range water reducing admixtures (HRWRA) on the rheological properties of cement mortars and changes of these properties with time were investigated. Natural postglacial sand 0/4 mm was used as a fine aggregate and cement CEM I 42.5 R was used as a binder. Four commercial superplasticizers were selected for these examinations: two modified polycarboxylates, one modified polynaphthalene polymer and one universal superplasticizer based on naphthalenes (FM). The flow of mortars and the change of flow with time was measured. Rheological properties were expressed in terms of Bingham model parameters g (yield value) and h (plastic viscosity) and measured using rheometrical test. Based on test results it was found out that admixture dosage in order to achieve the same flow differs despite the same chemical base of superplasticizer. Also efficiency in time is different for tested admixtures. Evaluation of yield value g and the range of changes of this parameter with time allows to select most adequately superplasticizer for the given cement.

Vadzim I. NIKITSIN, Valery. A. KOFANOV, Beata BACKIEL-BRZOZOWSKA

Evaluation of the influence of wind-driven rain on moisture content in cellular concrete wall boards

The non-stationary moisture level of a cellular concrete wall board in a heated utility building located in the northern part of the town of Brest (Belarus), depending on climatic influence, was assessed in this work. The results were obtained both in a calculation experiment and a physical test. The calculation experiment was performed using TWiND computer application elaborated by the authors. It was observed that wind-driven rain intensifying the process of free capillary moisture transfer is the main reason for the high moisture levels in cellular concrete. A comparative analysis of the results of the physical test and the calculation experiment showed that the THSS application elaborated by the authors enabled to predict the actual moisture levels of the shielding structure under study accurately enough when precise data concerning the thermal and physical characteristics of the materials as well as the occurring climatic influences had been submitted.

Joanna Agnieszka PAWŁOWICZ

Reflection of a laser beam from objects made of homogenous materials of multiple colors - case study

The terrestrial scanning technology allows to collect data about an object and use it to create a 3D image thereof and then analyses it in a variety of ways, e.g. by performing an evaluation of the technical condition of a building or by diagnosing different irregularities or damages to its structure. The usefulness of such data depends, to a large extent, on the method and accuracy of measurements. Measurements performed by means of laser scanners depend largely on the quality of the beam reflected from the surface of a target object and returning towards the receiver. The strength of a returning beam is influenced by the reflective properties of the surface of a target object, such as its color, texture, temperature and moisture content. These properties may result in certain, sometimes serious errors during scanning and interpretation of different surfaces. In some cases, the color of a target object is critical for the intensity of reflection of a laser beam from such surface. This article presents a test illustrating the relationship between different types of multicolor samples and the intensity of reflection of a laser beam. The results are presented, among other things, by means of intensity maps.

Marta SKIBA, Maria MRÓWCZYŃSKA, Anna BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA

Market potential for energy efficient renovations in housing of Zielona Góra

The paper presents an analysis of conditional energy savings for energy-efficient renovation of housing in Zielona Góra. The potential was determined on the basis of technology and a year of the construction of buildings, kind of buildings and dominating way of heat and power supply. The calculated potential was presented as the value of the necessary investments to reduce energy consumption by 1 kWh/m^2 .



Elżbieta SZCZYGIELSKA, Viktor TUR

Alternative methods of the concrete compressive strength compliance assessment based on small groups of test results

The article presents two new compliance criteria for assessment of the conformity concrete compressive strength, which can be used as an alternative method to the conformity assessment procedure in accordance with PN-EN 206: 2014-04. These criteria were developed using order statistics, when fulfilled, recommended by ISO 12491: 1997 confidence level and make it possible to assess compliance based on small groups of test results without the prior information about the type of PFD and the standard deviation. The application of the new criteria allows to eliminate the uncertainty that occur when the compatibility of concrete compressive strength at the initial production stage according to PN-EN 206: 2014-04 is assessing. Presented a new method can also be used in the identity testing of compressive strength and assessment of concrete strength in the existing structures.

MROZODPORNOŚĆ KOMPOZYTÓW CEMENTOWYCH Z WYPEŁNIACZAMI ORGANICZNYMI

Michał BOLTRYK^a, Anna KRUPA^{b*}

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

^b Wydział Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. prof. Edwarda F. Szczepanika w Suwałkach, ul. Noniewicza 10, 16-400 Suwałki

Streszczenie: W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki badań nad modyfikacją kompozytów cementowych z wypełniaczami organicznymi domieszką napowietrzającą. W tym celu do zoptymalizowanego składu dodawano domieszkę w ilości od 0 do 4% w stosunku do masy cementu. Na podstawie badań przeprowadzonych na próbkach sześciennych o wymiarach 10×10×10 cm ustalono wpływ dodatku domieszki na wybrane właściwości fizyczno-mechaniczne kompozytów cementowych, to jest gęstość pozorną, wytrzymałość na ściskanie oraz mrozoodporność. Na podstawie uzyskanych wyników badań ustalono, że dla opracowanych wariantów recepturowych stopień mrozoodporności kompozytu cementowego wynosi F25.

Słowa kluczowe: kompozyty cementowe, wypełniacz organiczny, mrozoodporność, domieszka napowietrzająca.

1. Wprowadzenie

W obecnych czasach produkcja i przetwarzanie materiałów budowlanych w dużym stopniu obciąża środowisko naturalne poprzez: wydobywanie i zużycie surowców, zużycie wody, emisję zanieczyszczeń czy powstawanie odpadów między innymi w wyniku braku możliwości recyklingu po rozbiórce. Wypełniacze organiczne coraz częściej stanowią składnik kompozytowych materiałów stosowanych w budownictwie. Podstawowym argumentem przemawiającym za wykorzystywaniem tego rodzaju materiałów jest fakt, że stanowią one surowiec odnawialny. Wybierając materiały miejscowe zmniejsza się między innymi energię pierwotną czy emisję zanieczyszczeń z powodu ograniczonego transportu. Warto zauważyć, że wyroby na bazie wypełniaczy organicznych pozwalają na zmniejszenie ogólnych kosztów przy ich produkcji, stosowaniu czy utylizacji, co jest ważnym czynnikiem w dalszym rozwoju tego typu materiałów. Ponadto, w dobie powszechnego uświadomienia występowania problemów zdrowotnych wynikających z toksyczności otaczających nas substancji, materiały pochodzenia organicznego bardzo zyskują w oczach użytkowników (Golański, 2011).

Kruszywem organicznym stosowanym w przedstawionych badaniach jest oprócz trocin z drzew iglastych, znana powszechnie trzcina pospolita. Omawiana roślina znalazła zastosowanie w procesach budowlanych poprzez właściwości termoizolacyjne. Wśród zalet, dzięki którym

jest stosowana jako materiał budowlany znalazły się między innymi walory ekologiczne czy odporność na bardzo wysokie i niskie temperatury. Trzcina najczęściej wykorzystywana jest do krycia dachów, ale znajduje zastosowanie także jako płyty izolacyjne, maty trzcinowe pod tynkiem oraz elementy konstrukcyjne w budynkach (Bołtryk i Rutkowska, 2005).

Jedną z ważniejszych cech branych pod uwagę przy tworzeniu konstrukcji jest odporność na czynniki zewnętrzne materiałów budowlanych, a ich uszkodzenia często występują przy minusowych temperaturach. Mrozoodporność w polskich warunkach klimatycznych jest jedną z istotnych właściwości użytkowych kształtujących trwałość wyrobów. Istnieje wiele rozwiązań i czynników technologicznych wpływających na odporność na działanie mrozu. Można ją kształtować za pomocą stosowania: napowietrzania zaczynu cementowego, redukcji porów kapilarnych w wyniku obniżenia wskaźnika w/c, odpowiednio dobranego kruszywa i cementu oraz dodatków mineralnych (Rusin, 2002; Kalisty i Małaszkiwicz, 2010). Głównym zabiegiem zabezpieczającym beton przed mrozem jest modyfikacja struktury porowatości matrycy cementowej poprzez wprowadzenie domieszki napowietrzającej do mieszanki. Napowietrzanie wykonywane jest w celu zwiększenia odporności kompozytu na zamrażanie i odmrażanie. Z uwagi na to, że duże pory powietrzne podczas napowietrzania zostaną zastąpione przez większą ilość małych porów, droga transportu wody między porami jest krótsza i powoduje to również zmniejszenie

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: annairis@wp.pl

wewnętrznych naprężeń powstających przy wypychaniu nadmiaru wody (Jamroz, 2003; Neville, 2012).

Prezentowany artykuł ma na celu przedstawienie wyników badań nad kompozytami cementowymi na bazie wypełniaczy organicznych z wariantowaną ilością domieszki napowietrzającej, szczególnie w aspekcie mrozoodporności badanych materiałów. Ponadto ustalono wpływ dodatku domieszki na wybrane właściwości fizyczno-mechaniczne kompozytów cementowych.

2. Program i metoda prowadzenia badań

W ramach badań zaplanowano doświadczenie jednoczynnikowe, w którym składnikiem modyfikującym była domieszka napowietrzająca w zakresie 0, 1, 2, 3, 4% w stosunku do masy cementu. Zawartość zastosowanego cementu portlandzkiego CEM I 42,5R o wysokiej wytrzymałości w badanych kompozytach była stała i wynosiła 400 kg/m³. Do wykonania mieszanki użyto wypełniacza roślinnego w postaci trocin drzew iglastych (frakcja 0-2 mm) oraz trzciny pospolitej (frakcji 2-10 mm i 10-20 mm). Trzcinę ścięto w okresie zimowym w miejscowości Rosochaty Róg w gminie Krasnopol. Po wysuszeniu pocięto ją na odcinki odpowiednich długości i przesiano, aby uzyskać wyżej wymienione frakcje. W celu właściwego przygotowania kruszywa organicznego, uodpornienia go na procesy gnilne oraz zneutralizowania szkodliwych dla cementu związków, przeprowadzono proces mineralizacji siarczanem glinu Al₂(SO₄)₃ oraz wodorotlenkiem wapnia Ca(OH)₂ w stosunku 2:1. Do mineralizacji trzciny i trocin użyto 9% siarczanu glinu i 18% wapna hydratyzowanego w odniesieniu do całkowitej masy kruszywa pochodzenia organicznego. Receptury kompozytów cementowych z wypełniaczem organicznym ze zmienną zawartością domieszki napowietrzającej przedstawiono w tabeli 1.

Badania przeprowadzono na próbkach sześciennych o boku 10 cm. Po upływie 28 dni od zaformowania

z każdej serii pobrano po 3 próbki do badania gęstości pozornej (według PN-EN 12390-7:2011 *Badania betonu. Część 7: Gęstość betonu*), po 6 próbek do oznaczenia wytrzymałości na ściskanie (zgodnie z PN-EN 12390-3:2011 *Badanie betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań*) i po 6 próbek do analizy mrozoodporności (PN- 88/B-06250 *Beton zwykły*).

3. Wyniki badań i ich analiza

3.1. Analiza wyników badań gęstości pozornej

Jednorodność rzędu wariancji poszczególnych prób S_1^2 , S_2^2 , S_3^2 , ..., S_5^2 , sprawdzono za pomocą testu statystycznego Cochra (Polański, 1984; Mańczak, 1976), który sprowadza się do porównania wartości obliczeniowej kryterium Cochra G_{obl} z wartością krytyczną G_{kr} . Sprawdzenie jednorodności ocen wariancji powtórnych pomiarów wykazało, że przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ obliczeniowa wartość kryterium Cochra równa $G_{obl} = \max_{i=1} S_i^2 / \sum_{i=1} S_i^2 = 0,4023$

okazała się mniejsza od wartości krytycznej $G_{kr}^{\alpha, n-1, N} = G_{kr}^{0,05; 2, 5} = 0,6838$ (Zieliński R. i Zieliński W., 1990). Można więc stwierdzić, że wariancje prób są jednorodne. W związku z powyższym, wartość generalnej wariancji odtwarzania eksperymentu można obliczyć jako średnią wartość z wariancji poszczególnych prób. W związku z powyższym, $S_y^2 = \sum S_i^2 / N = 0,000459$

przy liczbie stopni swobody $f = N(n-1) = 5(3-1) = 10$. Tę ocenę wariancji przyjęto jako jednakową w całym obszarze oddziaływania czynnika. Poddano ocenie istotności czynnik X (zawartość domieszki napowietrzającej) na podstawie kryterium F Snedecora. Wyniki przeprowadzonej analizy wariancji przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 1. Receptury mieszanek kompozytów cementowych na 1m³ o różnej zawartości domieszki napowietrzającej

Seria	Cement CEM I 42,5R	Domieszka napowietrzająca	Woda	Kruszywo			Mineralizatory		
				Trociny 0-2 mm	Trzcina 2-10 mm	Trzcina 10-20 mm	Siarczan glinu Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	Wapno hydratyzowane Ca(OH) ₂	
				48,6%	25,4%	26%	9%	18%	
	[kg]	[%]	[kg]	[dm ³]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1		0	0						
2		1	4						
3	400	2	8	439,56	84,62	44,03	45,36	30,49	31,32
4		3	12						
5		4	16						

Tab. 2. Analiza wariancji dla gęstości pozornej w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej

Zmienna zależna	SS	df	MS	F_{obl}	$F_{kr(\alpha, f_1, f_2)} = F_{kr(0,05; 3; 10)}$	η [%]
Czynnik X	0,010312	4	0,002578	5,611	3,48	69
Błąd modelu	0,004595	10	0,000459			31
Razem	0,014907	14				

Odrzucono hipotezę H_0 o braku istotnego wpływu czynnika X na gęstość pozorną z uwagi na zależność $F_{obl} < F_{kr}$. Analiza, przedstawiona w tabeli 2, wykazała, że rozpatrywany czynnik wywiera istotny wpływ na gęstość pozorną. Oddziaływanie czynnika X wynosi 69%. W następnej kolejności przystąpiono do analizy regresyjnej. Opracowano matematyczny opis obiektu badań w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej, który przyjęto jako wielomian 2-go stopnia postaci (1):

$$\hat{y} = b_0 + b_1X + b_2X^2 \quad (1)$$

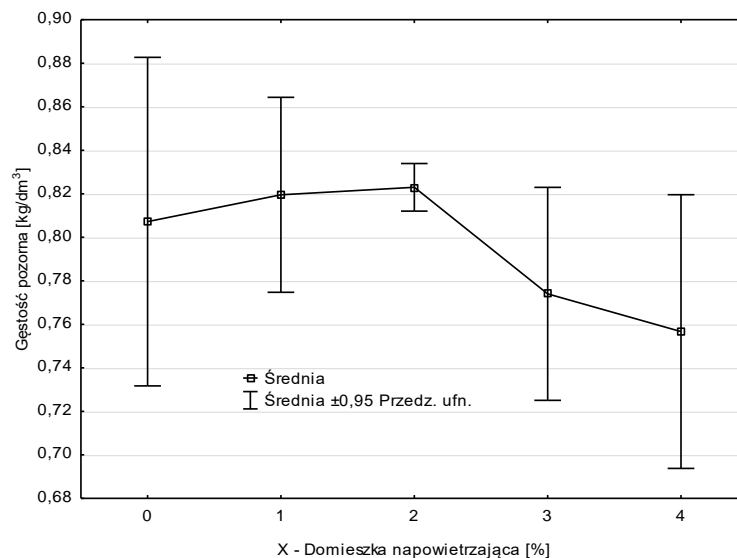
gdzie: X jest czynnikiem zmiennym, natomiast b_0 , b_1 , b_2 są współczynnikami równania regresji.

Po wyznaczeniu współczynników modelu, obliczonych za pomocą metody najmniejszych kwadratów uzyskano następującą postać (2) równania regresji gęstości pozornej:

$$\hat{y} = 0,820145 - 0,004012 X^2 \quad R^2 = 0,56 \quad (2)$$

Identyczność stworzonego modelu została sprawdzona za pomocą testu Fischera-Snedecora. Wartość F_{obl} porównano z wartością krytyczną F_{kr} . Ponieważ $F_{obl} = 9507,47 > F_{kr(0,05; 2; 13)} = 3,81$ z prawdopodobieństwem $p = 0,95$, przyjęto hipotezę o identyczności otrzymanego modelu matematycznego, wyznaczone równanie regresji jest adekwatne.

Na rysunku 1 przedstawiono interpretację graficzną otrzymanych wyników badań gęstości pozornej w funkcji procentowej zawartości domieszki napowietrzającej. Obserwuje się silną korelację pomiędzy badaną cechą a zawartością domieszki, co jest zgodne z oczekiwaniami, ponieważ wzrostowi zawartości środka napowietrzającego, a tym samym zawartości porów w świeżej mieszance, towarzyszy zwiększenie jej objętości. Wzrost pustek powietrznych w próbce wpływa na spadek jej gęstości pozornej, który jest różny w zależności od procentowej zawartości domieszki. Najniższą wartość gęstości pozornej $0,757 \text{ kg/dm}^3$ (seria 5) uzyskano przy maksymalnej rozpatrywanej zawartości czynnika X wynoszącej 4%.



Rys. 1. Zmiany gęstości pozornej w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej (czynnik X)

3.2. Analiza wyników badań wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania

Jednorodność rzędu wariancji poszczególnych prób sprawdzono za pomocą testu statystycznego Cochra. Przy liczbie powtórzeń w próbie $n = 6$ i liczbie porównywanych wariancji $N = 5$ obliczona wartość kryterium $G_{obl} = 0,3187$ jest mniejsza od wartości krytycznej $G_{kr}^{\alpha, n-1, N} = G_{kr}^{0,05; 5; 5} = 0,5063$ wyznaczonej na podstawie tablic testu F (Zieliński R. i Zieliński W., 1990). W związku z powyższym została spełniona zależność $G_{obl} < G_{kr}$. Wariancje prób są jednorodne a wartość generalnej wariancji odtwarzania eksperymentu, przy liczbie stopni swobody $f = N(n-1) = 5(6-1) = 25$ równą $S_y^2 = 0,440$ przyjęto jako jednakową dla całego obszaru oddziaływania czynnika. Następnie sprawdzono według kryterium F Snedecora hipotezę o istotności wpływu czynnika X, czyli zawartości domieszki napowietrzającej. Wyniki przeprowadzonej jedno-czynnikowej analizy wariancji zamieszczono w tabeli 3.

W wyniku wykonanej analizy wariancji otrzymana wartość statystyki wynosi $F_{obl} = 3,53$, natomiast dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ wartość krytyczna rozkładu F Snedecora jest równa $F_{kr(0,05; 4; 25)} = 2,76$. W związku z powyższym, wartość obliczeniowa statystyki F_{obl} przekracza wartość krytyczną F_{kr} co wskazuje na to, że z prawdopodobieństwem popełnienia błędu wynoszącym

0,05 można odrzucić hipotezę zerową H_0 o braku istotnego wpływu czynnika X na wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania na korzyść hipotezy alternatywnej. Aby zapewnić możliwość prognozowania wytrzymałości na ściskanie opracowano matematyczny opis obiektu badań w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej, który przyjęto jako wielomian 2-go stopnia (1). Istotność obliczonych współczynników regresji sprawdzono za pomocą najmniejszych kwadratów. Poszukiwane równanie regresji wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania ma postać (3):

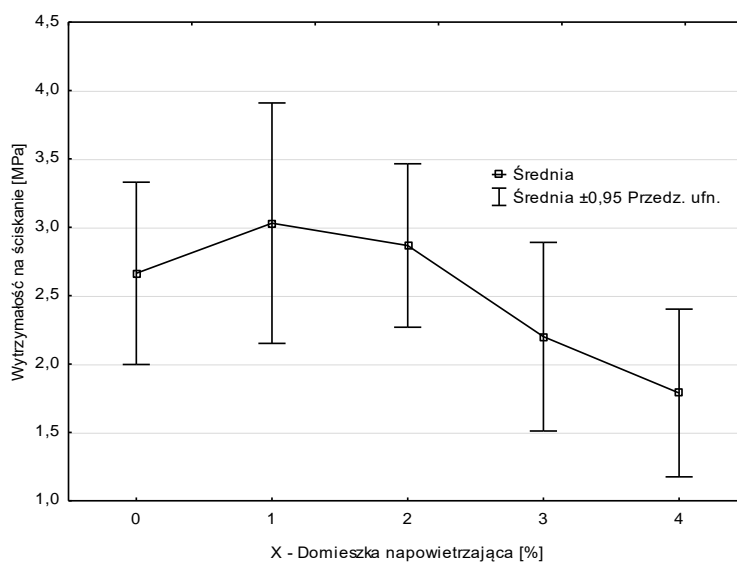
$$\hat{y} = 2,936563 - 0,071149 X^2 \quad R^2 = 0,31 \quad (3)$$

Za pomocą testu F przeprowadzono ocenę adekwatności funkcji (3). Otrzymany model matematyczny (3) adekwatnie opisuje dane doświadczalne stanowiące podstawę do jego formułowania, ponieważ $F_{obl} = 227,45 > F_{kr(0,05; 2; 28)} = 3,34$.

Na podstawie rysunku 2 przedstawiającego interpretację graficzną otrzymanych wyników badań wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania w funkcji procentowej zawartości domieszki napowietrzającej można stwierdzić, że wraz ze wzrostem zawartości domieszki zmniejsza się wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania, analogicznie jak w przypadku gęstości pozornej. Przy maksymalnej

Tab. 3. Analiza wariancji dla wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej

Zmienna zależna	SS	df	MS	F_{obl}	$F_{kr(\alpha, f_1, f_2)} = F_{kr(0,05; 3; 10)}$	η [%]
Czynnik X	6,228147	4	1,557037	3,5348	2,76	36
Błąd modelu	11,012350	25	0,440494			64
Razem	17,240497	29				



Rys. 2. Zmiany wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej (czynnik X)

zawartości czynnika X, to jest 4% w stosunku do masy cementu zaobserwowano najniższą wartość badanej cechy (1,79 MPa), która jest mniejsza o około 50% w odniesieniu do wartości wytrzymałości na ściskanie uzyskanej dla kontrolnego kompozytu cementowego bez zawartości domieszki napowietrzającej (2,66 MPa).

3.3. Analiza wyników badań mrozoodporności

Do badania odporności na działanie mrozu kompozytów cementowych z wypełniaczami organicznymi zastosowano metodę zwykłą według PN-88/B-06250. Oznaczenie wykonano na próbkach o kształcie sześciennym o boku 10 cm po upływie 28 dni dojrzewania w warunkach powietrzno-suchych. Pomiar wykonano dla każdej serii na 6 próbkach, z czego 3 próbki poddano 25 cyklom zamrażania i rozmrażania, w temp. odpowiednio $-18 \pm 2^\circ\text{C}$ i $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ przez okres po 4 godziny (3 cykle na dobę) a pozostałe 3 stanowiły próbki porównawcze, przechowywane przez cały czas badania w wodzie. Każdorazowo oceniano ubytek masy, wynikający z ewentualnych zniszczeń narożników, krawędzi czy odprysków i spadek wytrzymałości w stosunku do próbek porównawczych. Ponadto próbki poddane badaniu mrozoodporności sprawdzano pod względem wystąpienia pęknięć i zarysowań na powierzchniach licowych.

3.3.1. Ubytek masy po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania

Na podstawie obliczonego G_{obl} i przyjętego z tablicy G_{kr} (Zieliński, 1990) testu Cochran'a: $G_{obl} = 0,6526 < G_{kr}^{\alpha, n-1, N} = G_{kr}^{0,05; 2,5} = 0,6838$ stwierdzono, że wariancje prób są jednorodne więc wartość generalnej wariancji odtwarzania eksperymentu $S_y^2 = 0,5856$ przyjęto jako jednakową dla całego obszaru oddziaływania analizowanych czynników, przy liczbie stopni swobody równej $f = N(n-1) = 5(3-1) = 10$. Ocenę istotności wpływu czynnika X na wielkość ubytku masy podczas badania mrozoodporności przy 25 cyklach zamrażania i rozmrażania przeprowadzono wykorzystując w tym celu kryterium F Snedecora, otrzymane wyniki zamieszczono w tablicy 4.

Z uwagi na zależność $F_{obl} < F_{kr}$ odrzucono hipotezę o braku istotnego wpływu czynnika X na ubytek masy podczas badania mrozoodporności. Analiza, przeprowadzona w tabeli 4 wykazała, że rozpatrywany czynnik wywiera istotny wpływ na ubytek masy. Oddziaływanie czynnika X wynosi 82%. W celu zapewnienia możliwości prognozowania ubytku masy kompozytu cementowego opracowano matematyczny opis obiektu badań w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej. Do opisu analizy ubytku masy przyjęto wielomian 2-go stopnia (1). Równanie opisujące przebieg zmiany ubytku masy, opracowane przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów na poziomie $\alpha = 0,05$, ma postać (4):

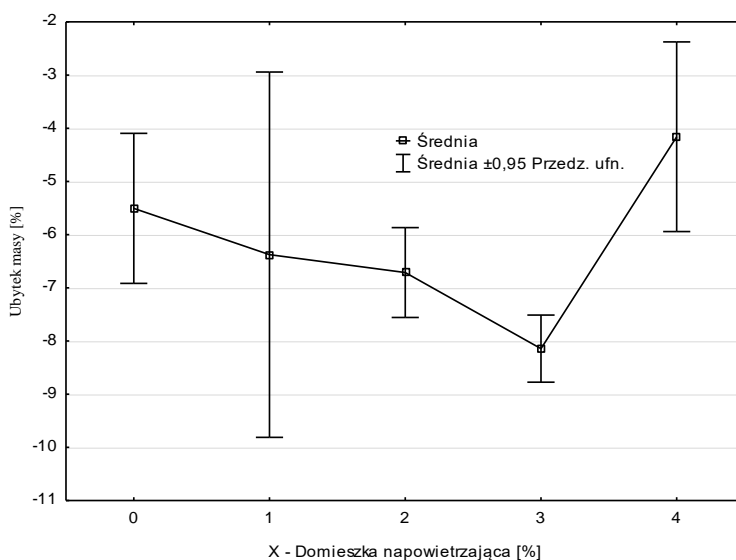
$$\hat{y} = -5,13486 - 2,36829 X + 0,61524 X^2 \quad R^2 = 0,50 \quad (4)$$

Sprawdzenia adekwatności otrzymanego modelu (4) dokonano za pomocą kryterium F Snedecora. Ustalono, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ model (4) adekwatnie opisuje dane doświadczalne stanowiące podstawę do jego formułowania, z uwagi na zależność $F_{obl} = 148,79 > F_{kr(0,05; 3; 12)} = 3,49$. Wykres zmienności ubytku masy po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od analizowanego czynnika X, biorąc pod uwagę ich wartości rzeczywiste przedstawiono na rysunku 3.

Na podstawie rysunku 3 i modelu (4) można stwierdzić, że w rozpatrywanym eksperymencie odnotowano przyrost masy próbek a nie jej ubytek po 25 cyklach naprzemiennego zamrażania i rozmrażania. Można to tłumaczyć tym, iż na destrukcję mrozową istotny wpływ ma występowanie porów kapilarnych tworzących system wzajemnie połączonych pustek o nieregularnych i przypadkowych kształtach. Woda w porach ulega łatwo zamarzaniu i może swobodnie przemieszczać się w wyniku napięcia kapilarnego (Neville, 2012; Korycka-Kowalska i Woyciechowski, 2015). Ponadto, objętość zamarzniętej wody jest o około 9% większa niż w stanie ciekłym, co skutkuje stopniowym rozszerzaniem porów w wyniku naprzemiennego zamrażania i odmrażania (Rusin, 2002). Wzrost zawartości domieszki napowietrzającej do 3% powoduje zwiększenie masy badanych próbek o 67% w stosunku do próbek bez zawartości dodatku domieszki.

Tab. 4. Analiza wariancji dla ubytku masy po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej

Zmienna zależna	SS	df	MS	F_{obl}	$F_{kr(\alpha, f_1, f_2)} = F_{kr(0,05; 3; 10)}$	η [%]
Czynnik X	26,134733	4	6,533683	11,157	3,18	82
Błąd modelu	5,856267	10	0,585627			18
Razem	31,991000	14				



Rys. 3 Zmiany ubytku masy po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej (czynnik X)

3.3.2. Spadek wytrzymałości po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania

Na podstawie wyników badań wytrzymałości na ściskanie otrzymanych z próbek poddanych 25 cyklom cyklicznego zamrażania i rozmrażania oraz z próbek przechowywanych w wodzie określono spadek wytrzymałości kompozytów cementowych. W poszczególnych seriach inne próbki poddawano oznaczeniu wytrzymałości na ściskanie po cyklach zamrażania i rozmrażania a inne stanowiły próbki referencyjne. Ze względu na przypadkową kolejność badanych elementów w serii nie obliczano wariancji w poszczególnych seriach a tylko wariancję generalną równą $S_y^2 = 4,08577$ i przyjęto ją jako jednakową dla całego obszaru oddziaływania rozpatrywanego czynnika X. Uzyskane wyniki spadku wytrzymałości na ściskanie przedstawiono w tabeli 5.

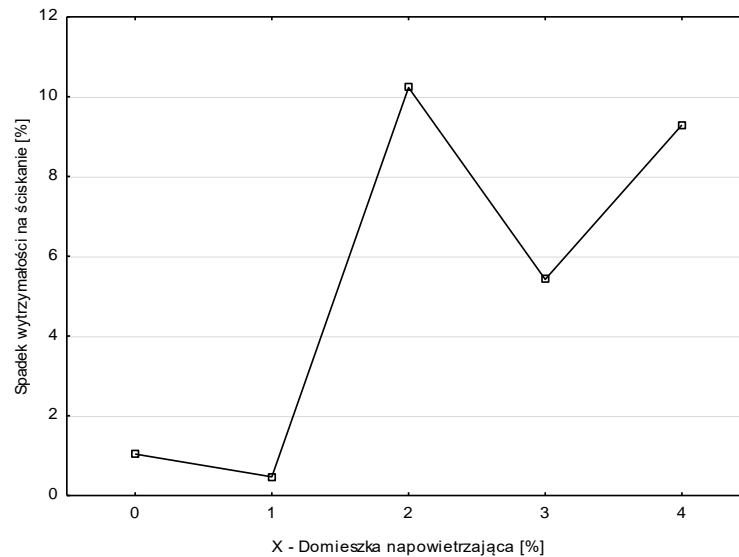
Wykres zmienności spadku wytrzymałości

na ściskanie po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania dla rzeczywistych wartości rozpatrywanego czynnika przedstawiono na rysunku 4.

Próbki kompozytów cementowych z wypełniaczami organicznymi po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania, przy oględzinach makroskopowych nie wykazały uszkodzeń zewnętrznych w postaci zarysowania powierzchni czy spękań. Spadek wytrzymałości na ściskanie próbek poddanych naprzemiennemu zamrażaniu i rozmrażaniu w odniesieniu do wytrzymałości próbek niezamrażanych wyniósł maksymalnie 10,23% w przypadku 2% zawartości domieszki napowietrzającej (seria 3). Natomiast najniższą wartość badanej cechy zaobserwowano przy 1% dodatku domieszki (seria 2). Zaobserwowano ponad 10-krotny (seria 3) spadek wytrzymałości na ściskanie kompozytów cementowych w porównaniu ze spadkiem odnotowanym dla kompozytu kontrolnego, bez dodatku domieszki (seria 1).

Tab. 5 Wyniki badań spadku wytrzymałości na ściskanie po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej

Seria	Domieszka napowietrzająca [%]	R1 – średnia wytrzymałość na ściskanie próbek porównawczych-niezamrażanych, nasyconych wodą [MPa]	R2 – średnia wytrzymałość na ściskanie próbek badanych, po ich ostatnim odmrażaniu, nasyconych wodą [MPa]	ΔR – średni spadek wytrzymałości [%]	Wariancja	Odchylenie. standartowe
1	0	1,93	1,91	1,04		
2	1	2,13	2,12	0,47		
3	2	2,15	1,93	10,23	20,42885	4,519829
4	3	1,66	1,57	5,42		
5	4	1,4	1,27	9,29		



Rys. 4 Zmiany spadku wytrzymałości na ściskanie po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości domieszki napowietrzającej (czynnik X)

4. Podsumowanie

Na podstawie wyników badań, popartych analizą statystyczną, można ocenić kompozyty cementowe na bazie wypełniaczy organicznych jako mrozoodporne. Procedura badania mrozoodporności metodą zwykłą symuluje warunki pracy betonu narażonego na działanie wody przed zamarzaniem. Dodatek domieszki napowietrzającej znacznie ogranicza porowatość kapilarną (otwartą) w ogólnej porowatości kompozytów cementowych, zwiększając ilość porów zamkniętych i porów najdrobniejszych. Powyższy układ struktury porowatości pozwala uzyskać wysoką mrozoodporność. W przypadku rozpatrywanego materiału, dla opracowanych wariantów recepturowych, cykliczne zamrażanie i rozmrażanie próbek kompozytów cementowych nie spowodowało istotnego obniżenia ich wytrzymałości na ściskanie. Pomiar odporności na działanie mrozu pozwolił określić stopień mrozoodporności kompozytu jako F25.

Kompozyty cementowe na bazie wypełniaczy organicznych w postaci trzciny pospolitej i trocin z drzew iglastych stanowią ekologiczną alternatywę dla tradycyjnych materiałów używanych w budownictwie, należy więc prowadzić dalsze badania ukierunkowane w szczególności na zwiększenie wytrzymałości oraz zmniejszenie nasiąkliwości analizowanego materiału.

Literatura

- Boltryk M., Rutkowska W. (2005). Mineralizacja trzciny pospolitej (*Phragmites communis* Trin). *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Budownictwo*, Zeszyt 26, 7-16.
- Golański M. (2011). Potencjał zastosowania produktów organicznych w budownictwie. *Przegląd budowlany*, Nr 5, 80-87.
- Jamroży Z. (2003). *Beton i jego technologie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kalisy M., Małaszkiwicz D. (2010). Metody badania mrozoodporności betonów. Ocena mrozoodporności betonu z cementem hutniczym. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 1, 293-300.
- Korycka-Kowalska J., Woyciechowski P. (2015). Analiza stanu wiedzy o współzależności pomiędzy destrukcją mrozową i karbonatyzacją betonu. *Materiały budowlane*, Nr 12, 20-23.
- Mańczak K. (1976). *Technika planowania eksperymentu*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.
- Neville A. M. (2012). Właściwości betonu. *Polski Cement*, Kraków.
- Polański R. (1984). *Planowanie doświadczeń w technice*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Rusin Z. (2002). *Technologia betonów mrozoodpornych*. Polski Cement, Kraków.
- Zieliński R., Zieliński W. (1990). *Tablice statystyczne*. wyd. II, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

FROST RESISTANCE OF CEMENT COMPOSITES WITH ORGANIC FILLERS

Abstract: The paper presents the results of research on the modification of cement composites with organic fillers air entrainers. For this purpose an optimized composition of the admixture is added in an amount of from 0 to 4% of the weight of the cement. Based on research carried out on cubic samples of dimensions 10×10×10 cm determined the effect of adding admixture on selected physical and mechanical properties of cement composites: apparent density, compressive strength and frost resistance. Based on the obtained results it was established that the developed variants of prescription degree of frost resistance of the composite cement is F25

ANALIZA NUMERYCZNA PARAMETRÓW CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWYCH ZŁĄCZY ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH Z PŁYTĄ BALKONOWĄ W ŚWIETLE NOWYCH WYMAGAŃ CIEPLNYCH

Monika DYBOWSKA-JÓZEFIAK*, Krzysztof PAWŁOWSKI, Maria WESOŁOWSKA

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy,
Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 5-796 Bydgoszcz

Streszczenie: W artykule przeprowadzono szczegółową analizę porównawczą parametrów cieplnych złączy dwuwarstwowych ścian zewnętrznych z płytami balkonowymi. Przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych wybranych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych. Do obliczeń numerycznych wytypowano złącze połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową przy różnym zastosowaniu układów warstw materiałowych. W celu przedstawienia parametrów cieplno-wilgotnościowych mostków termicznych przeprowadzono analizę numeryczną przy wykorzystaniu programu komputerowego TRISCO. Na podstawie otrzymanych wyników sformułowano wnioski praktyczne projektowo-wykonawcze. Określenie szczegółowe parametrów cieplnych za pomocą programu komputerowego tego typu złączy pozwala na miarodajne oszacowanie strat ciepła i rozkładu temperatur oraz uniknięcie błędów na etapie wykonywania i eksploatacji budynków.

Słowa kluczowe: balkony, analiza cieplno-wilgotnościowa, izolacja cieplna.

1. Wprowadzenie

Analiza cieplno-wilgotnościowa przegród zewnętrznych wymaga znajomości zagadnień z zakresu fizyki budowli, budownictwa ogólnego oraz materiałoznawstwa. Dotyczy to głównie:

- zasad przepływu ciepła przez przegrody i ich złącza w polu jednowymiarowym, dwuwymiarowym oraz trójwymiarowym;
- określenia parametrów technicznych stosowanych materiałów budowlanych (między innymi wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ w $W/(m \cdot K)$, współczynnika oporu dyfuzyjnego μ na podstawie norm przedmiotowych oraz udokumentowanych danych producentów);
- określania parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego;
- zasad konstruowania przegród zewnętrznych i ich złączy zgodnie z wymaganiami konstrukcyjnymi, przeciwpożarowymi i akustycznymi.

Dzięki wiedzy na temat procesów zachodzących w materiałach lub ich komponentach można obniżyć zapotrzebowanie budynków na energię, a także dobierać wyroby budowlane pod kątem ich oddziaływania na zdrowie i samopoczucie człowieka.

Ograniczenie zużycia energii w procesie eksploatacji budynków jest wyzwaniem dla projektantów nowych

budynków oraz stanowi problem przy modernizacji budynków istniejących. Mają na to wpływ przesłanki ekonomiczne, ekologiczne, a także konieczność wdrażania w budownictwie idei zrównoważonego rozwoju, ponieważ ilość energii zużywana na potrzeby eksploatacji budynków jest proporcjonalna do emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

W procesie projektowania obiektów budowlanych, niezbędna jest ponadto znajomość przepisów prawnych w zakresie ochrony cieplno-wilgotnościowej budynków, przegród zewnętrznych i ich złączy. W ciągu ostatnich lat w znaczący sposób zostały zaostrzone wymagania cieplne dla budynków w Polsce – WT 2015 (Wymagania, 2015). W związku z wprowadzeniem nowych wymagań izolacyjności cieplnej niezwykle ważne staje się w procesie projektowym poprawne wykonywanie szczegółowych obliczeń i analiz, które powinny być podstawą wyboru rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych.

Projektując przegrody zewnętrzne należy także pamiętać o uwzględnieniu dodatkowych strat ciepła spowodowanych występowaniem mostków cieplnych. Odpowiednia, szczegółowa analiza pozwala uniknąć błędów wykonawczych i realizacyjnych, a dokładne obliczenia parametrów mostków cieplnych są niezbędne między innymi do poprawnego wykonania charakterystyk energetycznych budynków i lokali. Prawidłowe

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

zaprojektowanie przegród zewnętrznych budynku pod względem cieplnym, jak również wilgotnościowym wymaga od projektanta, aby każde złącze rozpatrzył przy pomocy szczegółowych obliczeń numerycznych lub dokładnych kart katalogowych. Prezentowane w artykule przykłady przedstawiają szczegółową analizę parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z balkonem.

2. Obliczenia własne przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO

Przedstawiono szczegółową analizę parametrów złącza ściany zewnętrznej z balkonem w czterech wariantach połączenia stropu z płytą balkonową:

- wariant I – typowa płyta wspornikowa (rys. 1),
- wariant II – płyta balkonowa – ocieplona dolna część płyty balkonowej (rys. 2),
- wariant III – płyta balkonowa – płyta balkonowa ocieplona dookoła (rys. 3),
- wariant IV – płyta balkonowa – ocieplona górna część płyty balkonowej (rys. 4).

Analizowane warianty (I, II, III, IV) rozpatrywano w dwóch przypadkach materiałowych warstwy nośnej ściany zewnętrznej: A – bloczki z betonu komórkowego, B – z cegły pełnej oraz dla dwóch przypadków izolacji termicznej: płyty styropianowe, płyty PIR.

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- budynek zlokalizowany w III strefie – temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20^{\circ}\text{C}$, temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20^{\circ}\text{C}$;
- wartości współczynników przewodności cieplnej materiałów budowlanych λ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] przyjęto na podstawie tablic zamieszczonych przez Dyllę (2015) i w normie PN-EN ISO 6946:2008 *Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania*;
- współczynniki przenikania ciepła U_c [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] obliczono zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008;
- warunki przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 dla obliczenia wielkości strumieni cieplnych oraz zgodnie z PN-EN ISO 13788:2003 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku przy obliczaniu temperatur i czynnika temperaturowego f_{Rsi}* ;
- modelowanie analizowanych złączy wykonano zgodnie z zasadami sformułowanymi w PN-EN ISO 10211:2008 *Mostki cieplne w budynkach. Strumienie*

ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń przy zastosowaniu programu TRISCO uzyskano wartości strumieni przepływających przez złącza Φ [W], rozkład linii strumieni cieplnych oraz rozkład izoterm. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyznaczenie liniowych współczynników przenikania ciepła Ψ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] wraz z podziałem dla górnej i dolnej części złącza według określonych procedur obliczeniowych, prezentowanych szczegółowo w literaturze (Dylla, 2015; Pawłowski i Dybowska, 2012) oraz czynnik temperaturowy f_{Rsi} [-]. Wyniki przeprowadzonych obliczeń dla rozpatrywanych złączy przedstawiono na rysunku 5 i w tabelach 1-4.

3. Analiza otrzymanych wyników

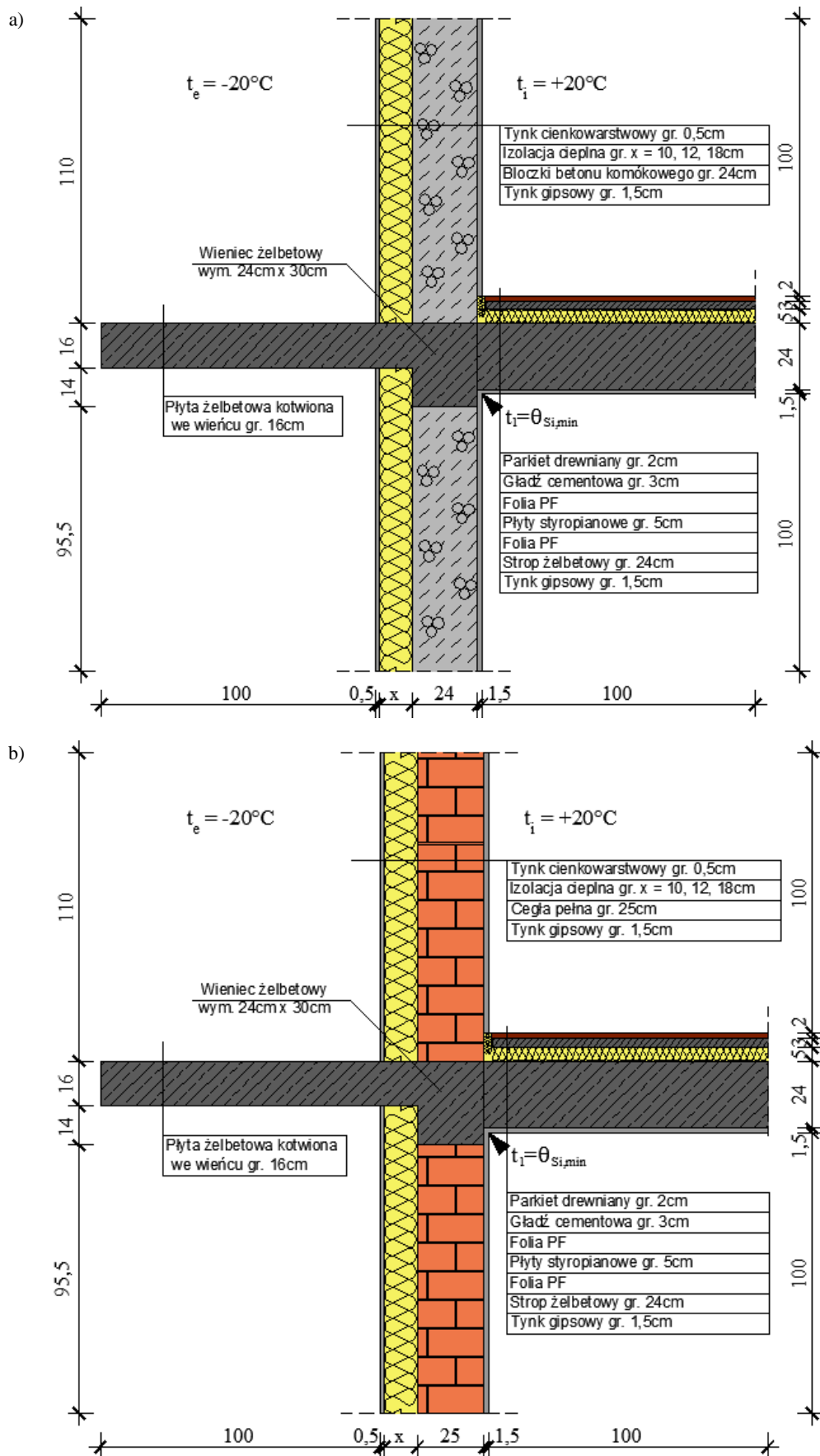
Na rysunkach 6 i 7 zilustrowano wpływ wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] na wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] na podstawie wyników uzyskanych w odniesieniu do dwóch rozwiązań konstrukcyjnych ściany zewnętrznej zaprezentowanych w obliczeniach. W obliczeniach zróżnicowano rodzaj oraz grubość warstwy izolacji cieplnej.

Na podstawie przeprowadzonych analiz parametrów charakteryzujących rozpatrywane warianty i przypadki połączeń ściany zewnętrznej z płytą balkonową sformułowano poniższe wnioski.

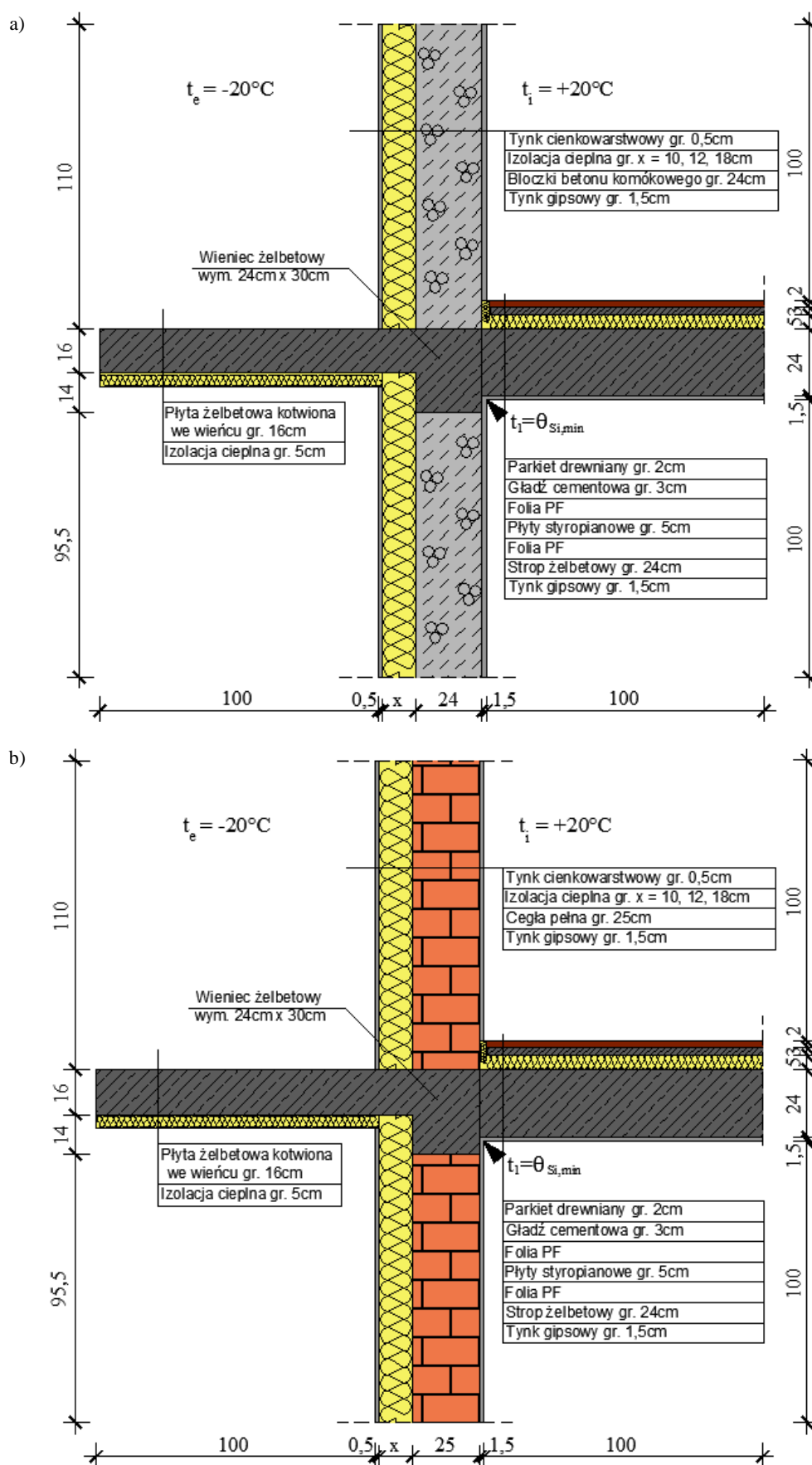
Podstawowe wymaganie w zakresie izolacyjności cieplnej dla ścian zewnętrznych po 2020 roku według rozporządzenia (2015): $U_c < U_{c(max)} = 0,20$ [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] spełniają rozwiązania z izolacji z pianki PIR. Dla styropianu wymagane jest minimum 18 cm warstwy ocieplenia by spełnić kryterium cieplne. Spełnienie wymagania w zakresie osiągnięcia standardu energetycznego NF40 (Wytyczne, 2015) ($U_c < U_{c(max)} = 0,15$ [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]) dla analizowanych grubości ocieplenia wymaga zastosowania pianki PIR jako materiału termoizolacyjnego.

Mostki cieplne generują dodatkowe straty ciepła określone w postaci parametrów: Φ [W], L_{2D} [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$], Ψ_i [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] oraz występuje obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody $t_{si,min}$ [$^{\circ}\text{C}$].

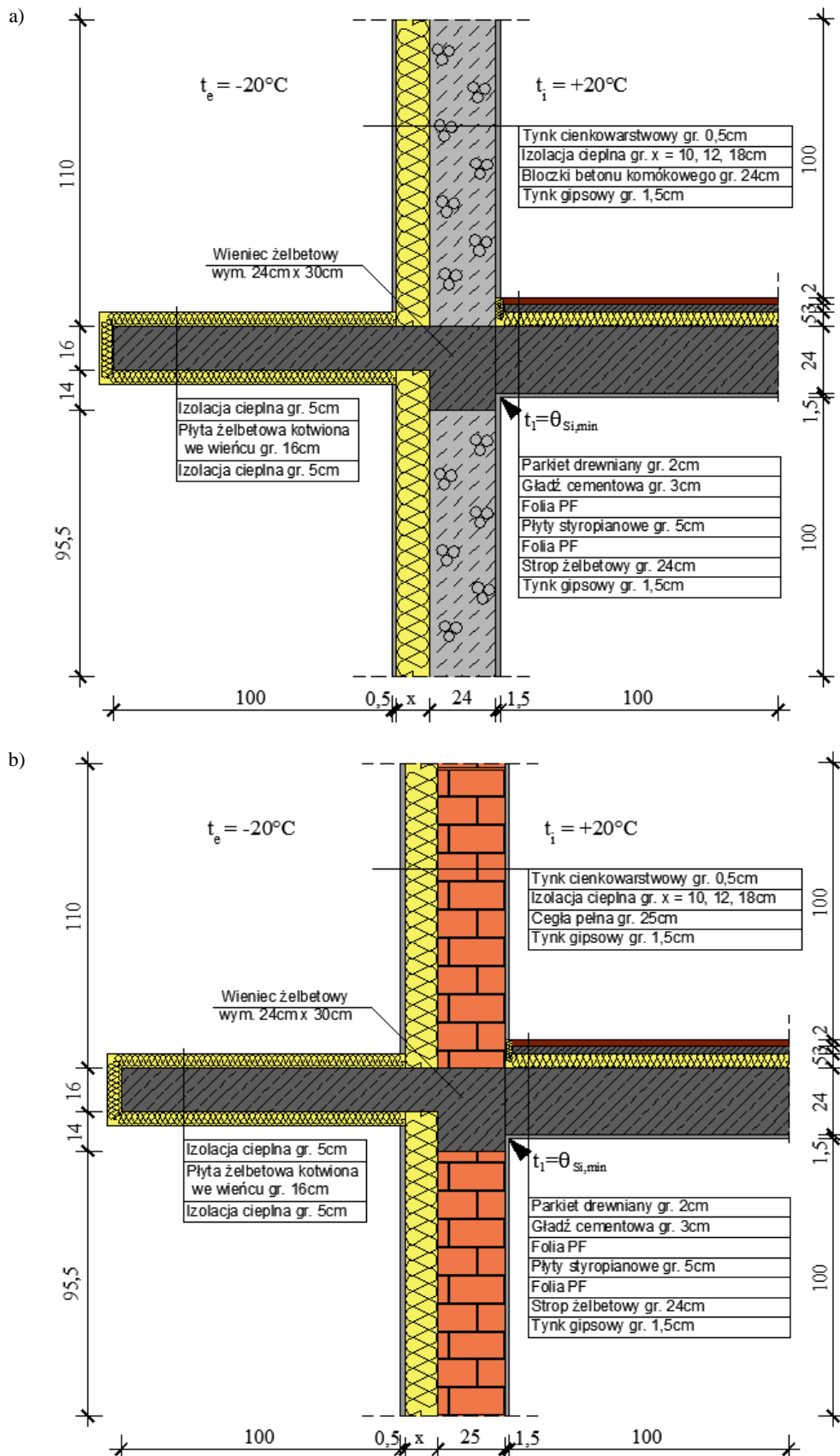
Analizowane rozwiązania materiałowe połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową ocieploną zarówno od góry jak i od dołu (wariant III) spełnia wymagania w zakresie $\Psi < \Psi_{(max)} = 0,30$ [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] dla standardu NF40 (Wytyczne, 2015).



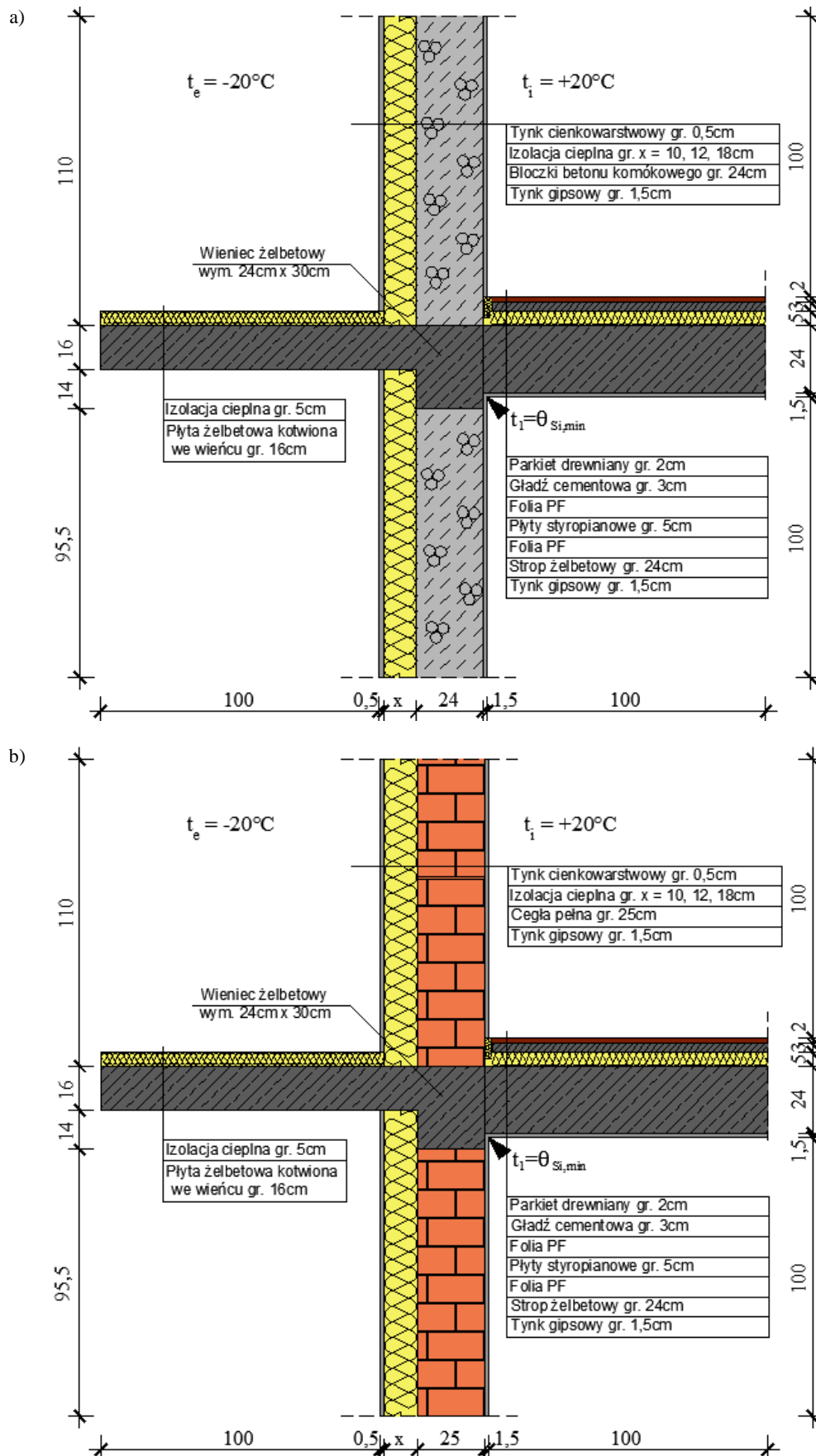
Rys. 1. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – typowa płyta wspornikowa (wariant I): a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A), b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)



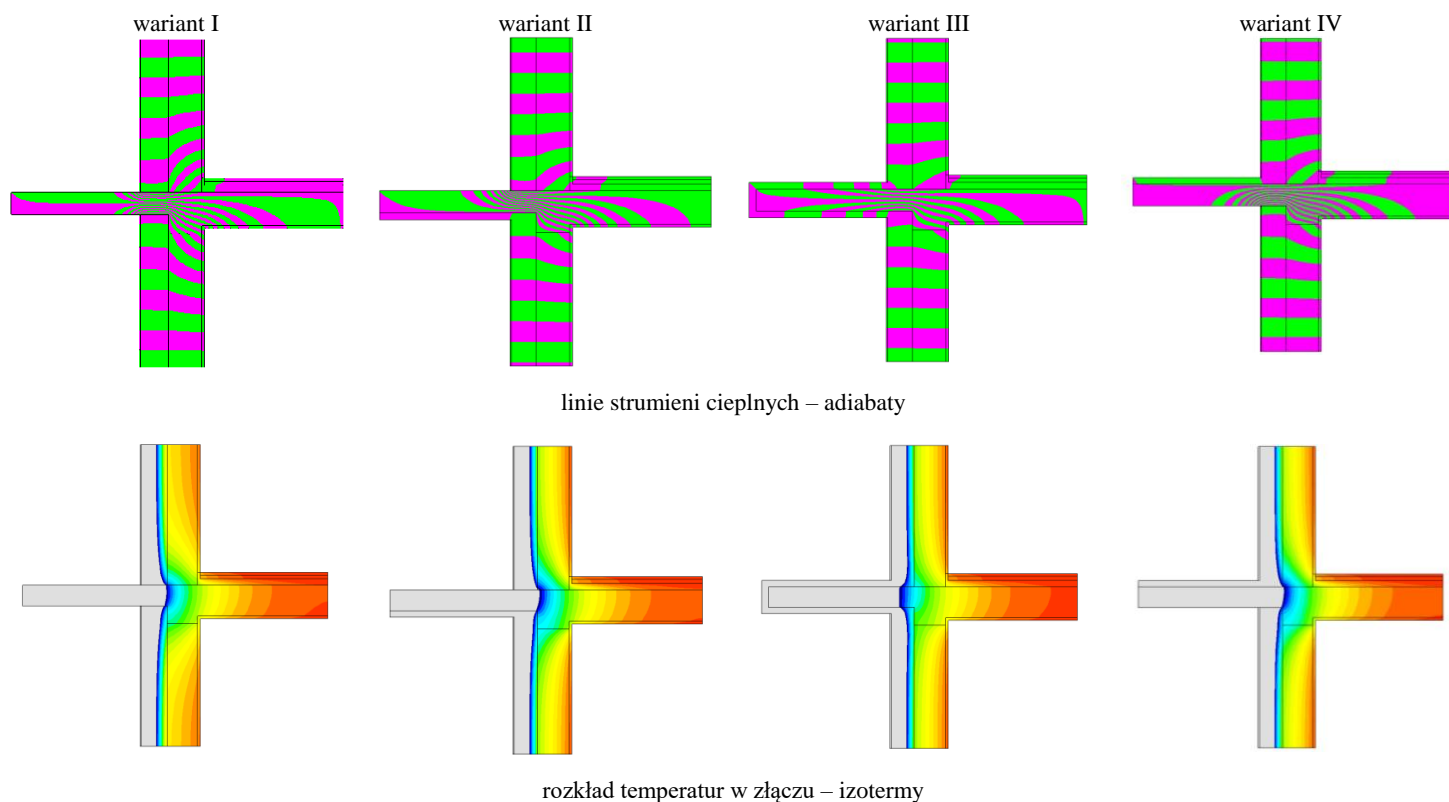
Rys. 2. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – płyta balkonowa ocieplona od dołu (wariant II): a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A), b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)



Rys. 3. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – płyta balkonowa ocieplona dookoła (wariant III): a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A), b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)



Rys. 4. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową – płyta balkonowa ocieplona od góry (wariant IV): a) ściana zewnętrzna z betonu komórkowego (A), b) ściana zewnętrzna z cegły pełnej (B)



Rys. 5. Analiza przepływu ciepła (adiabaty) oraz rozkładu temperatur w złączach

Tab. 1. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ściana zewnętrzna z betonu komórkowego ocieplona styropianem (A)

Beton komórkowy $\lambda = 0,21 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Wariant I			Wariant II			Wariant III			Wariant IV		
	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm
Styropian $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$												
Parametry cieplne węzła												
U_c [W/(m ² ·K)]	0,259	0,229	0,171	0,259	0,229	0,171	0,259	0,229	0,171	0,259	0,229	0,171
Φ [W]	44,79	41,52	34,43	42,74	39,62	32,91	35,26	32,5	26,85	42,59	39,66	32,92
Φ_g [W]	14,7	13,4	10,74	14,29	13,02	10,42	12,77	11,57	9,15	14,24	13,02	10,41
Φ_d [W]	30,09	28,12	23,69	28,45	26,6	22,49	22,49	20,93	17,7	28,35	26,64	22,51
L^{2D} [W/(m·K)]	1,120	1,038	0,861	1,069	0,991	0,823	0,882	0,813	0,671	1,065	0,992	0,823
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,109	0,106	0,098	0,098	0,097	0,090	0,060	0,060	0,058	0,097	0,097	0,089
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,489	0,471	0,421	0,448	0,433	0,391	0,299	0,291	0,271	0,446	0,434	0,390
Ψ_i [W/(m·K)]	0,598	0,577	0,518	0,546	0,529	0,480	0,359	0,351	0,329	0,543	0,530	0,479
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$) według PN-EN ISO 13788												
$\theta_{si,min}$ [°C]	9,13	9,64	10,89	9,38	10,33	11,44	12,65	12,97	13,69	0,748	0,758	0,786
f_{Rsi} [-]	0,728	0,741	0,772	0,747	0,758	0,786	0,816	0,824	0,842	9,92	10,32	11,44

Tab. 2. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ściana zewnętrzna z cegły pełnej ocieplona styropianem (B)

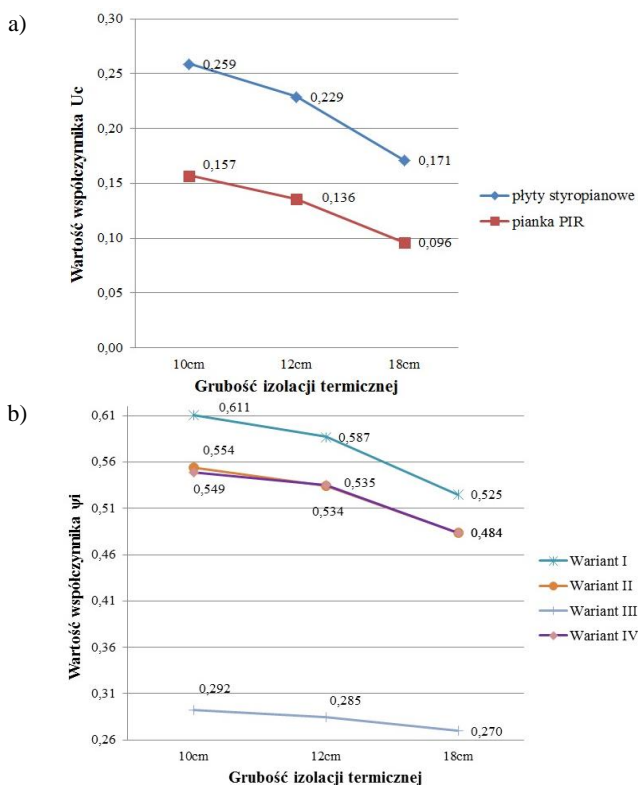
Cegła pełna $\lambda = 0,77 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	Wariant I			Wariant II			Wariant III			Wariant IV		
	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm
Styropian $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$												
Parametry cieplne węzła												
U_c [W/(m ² ·K)]	0,329	0,283	0,198	0,329	0,283	0,198	0,329	0,283	0,198	0,329	0,283	0,198
Φ [W]	53,67	48,89	39,23	50,98	46,42	37,3	41,68	37,63	29,96	50,74	46,45	37,31
Φ_g [W]	21,12	19,04	14,96	20,3	18,27	14,36	17,33	15,47	12,00	20,17	18,24	14,34
Φ_d [W]	32,55	29,85	24,27	30,68	28,15	22,94	24,35	22,16	17,96	30,57	28,21	22,97
L^{2D} [W/(m·K)]	1,342	1,222	0,981	1,275	1,161	0,933	1,042	0,941	0,749	1,269	1,161	0,933
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,199	0,193	0,176	0,179	0,174	0,161	0,104	0,104	0,102	0,175	0,173	0,161
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,484	0,463	0,409	0,437	0,420	0,376	0,279	0,270	0,251	0,434	0,422	0,376
Ψ_i [W/(m·K)]	0,683	0,656	0,585	0,616	0,594	0,537	0,383	0,374	0,353	0,610	0,595	0,536
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$) według PN-EN ISO 13788												
$\theta_{si,min}$ [°C]	10,74	11,29	12,55	11,43	11,92	13,04	13,82	14,18	14,93	0,787	0,797	0,826
f_{Rsi} [-]	0,769	0,782	0,814	0,786	0,798	0,826	0,845	0,854	0,873	11,48	11,88	13,04

Tab. 3. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ściana zewnętrzna z betonu komórkowego ocieplona płytą PIR (A)

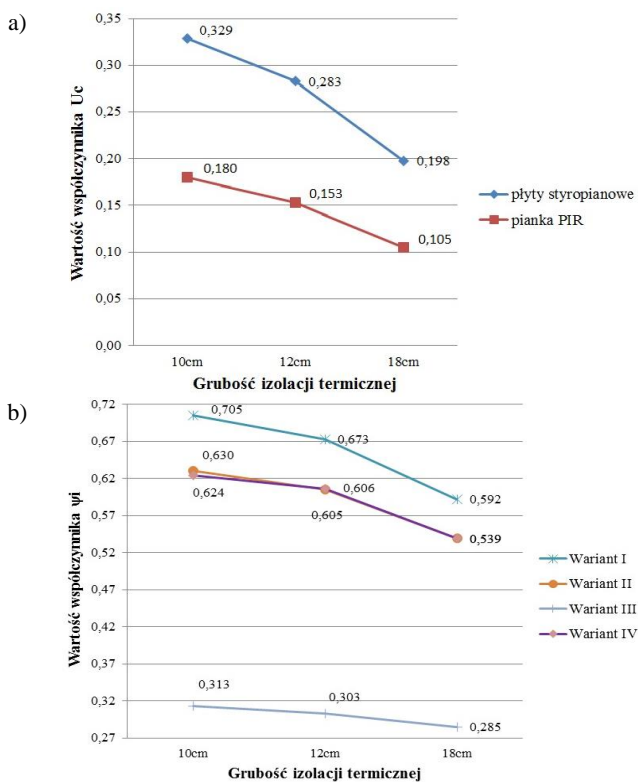
Beton komórkowy $\lambda = 0,21 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	Wariant I			Wariant II			Wariant III			Wariant IV		
	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm
Pianka PIR $\lambda = 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$												
Parametry cieplne węzła												
U_c [W/(m ² ·K)]	0,157	0,136	0,096	0,157	0,136	0,096	0,157	0,136	0,096	0,157	0,136	0,096
Φ [W]	36,99	34,34	28,69	34,72	32,25	27,03	24,25	22,29	18,48	34,59	32,3	27,04
Φ_g [W]	10,95	9,97	7,99	10,50	9,54	7,65	8,35	7,49	5,86	10,45	9,54	7,64
Φ_d [W]	26,04	24,37	20,70	24,22	22,71	19,38	15,90	14,80	12,62	24,14	22,76	19,4
L^{2D} [W/(m·K)]	0,925	0,859	0,717	0,868	0,806	0,676	0,606	0,557	0,462	0,865	0,808	0,676
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,117	0,113	0,104	0,106	0,103	0,095	0,052	0,051	0,051	0,104	0,103	0,095
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,494	0,473	0,422	0,449	0,432	0,389	0,241	0,234	0,220	0,445	0,432	0,389
Ψ_i [W/(m·K)]	0,611	0,587	0,525	0,554	0,534	0,484	0,292	0,285	0,270	0,549	0,535	0,484
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$) według PN-EN ISO 13788												
$\theta_{si,min}$ [°C]	9,63	10,11	11,28	10,46	11,87	11,89	14,37	14,60	15,1	0,762	0,771	0,797
f_{Rsi} [-]	0,741	0,753	0,782	0,762	0,772	0,797	0,859	0,865	0,878	10,48	10,84	11,88

Tab. 4. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową – ściana zewnętrzna z cegły pełnej ocieplona płytą PIR (B)

Cegła pełna $\lambda = 0,77 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	Wariant I			Wariant II			Wariant III			Wariant IV		
	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm	10cm	12cm	18cm
Pianka PIR $\lambda = 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$												
Parametry cieplne węzła												
U_c [W/(m ² ·K)]	0,180	0,153	0,105	0,180	0,153	0,105	0,180	0,153	0,105	0,180	0,153	0,105
Φ [W]	42,58	39,15	32,06	39,61	36,44	29,97	26,90	24,34	19,79	39,39	36,47	29,98
Φ_g [W]	15,79	14,37	11,54	14,88	13,53	10,87	10,77	9,65	7,61	14,75	13,5	10,86
Φ_d [W]	26,79	24,78	20,52	24,73	22,91	19,10	16,13	14,69	12,18	24,64	22,97	19,12
L^{2D} [W/(m·K)]	1,065	0,979	0,802	0,990	0,911	0,749	0,673	0,609	0,495	0,985	0,912	0,750
Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,215	0,206	0,184	0,192	0,185	0,167	0,089	0,088	0,085	0,189	0,185	0,167
Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,490	0,467	0,408	0,438	0,420	0,373	0,223	0,214	0,200	0,436	0,421	0,373
Ψ_i [W/(m·K)]	0,705	0,673	0,592	0,630	0,605	0,539	0,313	0,303	0,285	0,624	0,606	0,539
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$) według PN-EN ISO 13788												
$\theta_{si,min}$ [°C]	11,43	11,91	13,03	12,19	12,60	13,57	15,50	15,74	16,22	0,806	0,815	0,839
f_{Rsi} [-]	0,786	0,798	0,826	0,805	0,815	0,839	0,888	0,893	0,906	12,23	12,58	13,56



Rys. 6. Wpływ grubości materiału izolacyjnego na wartości parametrów cieplnych w odniesieniu do ściany z betonu komórkowego: a) współczynnik przenikania ciepła U [W/(m²·K)], b) liniowy współczynniki przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)] dla pianki PIR



Rys. 7. Wpływ grubości materiału izolacyjnego na wartości parametrów cieplnych w odniesieniu do ściany z cegły pełnej: a) współczynnik przenikania ciepła U [W/(m²·K)], b) liniowy współczynniki przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)] dla pianki PIR

4. Podsumowanie

Podstawowym zagadnieniem w procesie projektowania obiektów budowlanych jest odpowiedni dobór grubości i miejsca zastosowania izolacji cieplnej. Istotny wpływ ma także wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] materiału izolacyjnego. W odniesieniu do jednego rodzaju izolacji może się ona wahać w znacznym przedziale w zależności od produktu, co wynika z szybkiego rozwoju rynku materiałów termoizolacyjnych oraz coraz bardziej zaawansowanych technologii produkcyjnych.

Dobór materiałów nie powinien być przypadkowy, ale oparty na podstawie szczegółowych obliczeń i analiz. Określenie szczegółowe parametrów cieplnych za pomocą programu komputerowego tego typu złączy pozwala na miarodajne oszacowanie strat ciepła i rozkładu temperatur oraz uniknięcie błędów na etapie wykonywania i eksploatacji budynków. Przy czym, projektowanie tych fragmentów z wykorzystaniem programów komputerowych wymaga znajomości zasad modelowania, przyjmowania warunków brzegowych oraz określania parametrów cieplno-wilgotnościowych materiałów budowlanych. Warto zaznaczyć, że przedstawione warianty obliczeniowe nie wyczerpują wszystkich rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych złączy ściany zewnętrznej z płytą balkonową oraz konieczne jest sprawdzenie kryterium wilgotnościowego ze względu na możliwość kondensacji wilgoci i ryzyka rozwoju pleśni na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz możliwość występowania kondensacji międzywarstwowej pary wodnej.

Literatura

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2013 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U z 2013, poz. 926).
- Dylla A. (2009). Praktyczna fizyka budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych. *Wydawnictwo Uczelniane UTP*, Bydgoszcz.
- Pawłowski K., Dybowska M. (2012). Analiza numeryczna parametrów cieplno-wilgotnościowych złączy ścian zewnętrznych. *Izolacje*, Vol. 10, 80-85.
- Program „Poprawa efektywności energetycznej” Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) – Wymagania techniczne dla budynków (2015).

NUMERICAL ANALYSIS OF HYGRO-THERMAL PARAMETERS FOR EXTERNAL WALLS – BALCONY SLAB JOINTS IN TERMS OF NEW THERMAL REQUIREMENTS

Abstract: The paper includes a detailed comparative analysis of thermal parameters of the double layer connectors of exterior walls with balcony slabs. The results of numerical calculations of selected solutions involving structures and materials are presented herein. For numerical calculations the joints, which connects outer wall with balcony plate, using various layers

of the specific materials, were selected. In order to present the parameters of temperature and humidity of thermal bridges, the numerical analysis was performed by TRISCO computer programme. On the basis of the results the practical conclusions were drawn for design and construction. The detailed

specifications of thermal parameters by means computer programme for these type of joints, allow us to receive an appropriate estimation of heat loss and temperature distribution, in order to avoid mistakes at the stage of the construction and operation of buildings.

RESEARCH METHODOLOGY PROPOSED FOR RESILIENCE OF CONTEMPORARY FACING WALLS

Anna KACZMAREK*, Maria WESOŁOWSKA

Department of Building and Building Physics, University of Technology and Life Science,
ul. Księża Augustyna Kordeckiego 20, Bydgoszcz, Polska

Abstracts: The article refers to proposition of research methodology for durability prognosis for facial walls. In present fast technology development there are new materials introduced to construction, and although their properties are known there is not necessary experience regarding their durability and resistance to influences of environmental impact for many years. In authors research there is possibility of migration of soluble compounds originating from the same ceramic material as well as from mortars in laboratory and field tests. After the analysis of European construction regulations the authors stated that they have not been prepared in such state to be a sufficient base for evaluation of durability of a facial wall. This element was left for designers decision, which results often in accidental choice of compound materials.

Key words: efflorescence, facing wall, mortar, methodology.

1. Introduction

The skill of construction of ceramic walls of building has been known from ancient times. On the territories of Poland beginning of erecting of brick buildings started in 10th century. In historic objects the basic component of mortars for facial walls was lime, and after inventing the Portland cement in the second half of 19th century also this kind of joint. With fast development of technology in present times new materials are introduced in construction, which properties are known but there is no necessary experience as to their durability and resistance to influence long actions of atmospheric factors. Basing of the known physical and chemical properties of these materials we can only within certain degree predict durability of facial walls. Exploitation of these walls for some years and specially small objects of architecture show therefore problems with their durability. On most objects even in the starting period after finishing salt efflorescence appear as first symptoms of their destruction. It should be paid attention that European construction regulations concerning architectural design and rules of work performance, including also requirements and scope of wall elements usage have not been yet prepared in such state, to be a sufficient base for evaluation of durability during usage of erected finished facial wall. This element was left in designers' hand which in consequence the choice of component materials is sometimes done by chance. Thus durability is forecast basing on properties of component materials. As decisive the following

properties of facial wall elements and mortars are mentioned: water absorption, permeability of water vapour, resistance to freezing-melting, contain of soluble salts.

Facial wall is a construction which in definition works in special usage conditions. Eurocode EN 1996-2:2006 *Design of masonry structures – Part 2: Design of masonry structures. Design considerations, selection of materials and execution of masonry* classifies them as raw – F2, where they are vulnerable to water saturation associated with frequent freezing-melting cycles. Thus a special approach is needed in choice of material sets. According to Eurocode 6 for external facial walls it is proper to adapt exposition classes from MX3.1 to MX5. In all above mentioned classes it is acceptable to allow rain water penetration. As a result the facial wall should be prepared to work in bordering humidity and temperature conditions. This results in a big meaning of the mortar type. Some suggestions concerning the mortar choice were contained in Eurocode 6, but they do not exploit the matter of wall integrity. This work presents a proposition for methodology of facial walls durability forecast basing on integrity of aggregated elements, based on laboratory tests

2. Efflorescence – a symptom of facial walls destruction

Efflorescence definition met in bibliography (Bensted, 2001) formulated as salt extracting from supersaturated

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: anna.kaczmarek@utp.edu.pl

salt solution on a surface of material does not reflect the entire phenomenon. Besides salt in the wall there are functioning compounds originating from mortar (mostly $\text{Ca}(\text{OH})_2$), or from improperly protected steel inserts. In presence of water they are dissolved and transported to surface and degrade the wall aesthetics, and under influence of compounds coming from outer environment they undergo further changes.

Except for presence of soluble salts in water and mechanisms causing movement of salt solutions, a factor causing efflorescences is penetration of rain water to the wall, where salts are solved. Rain water gets to wall through:

- a) Water filtration inside the wall under rain pressure through facial wall defects, i.e. cracks and bursts and broken joint between mortar and facial element. The amount of rain hitting a certain part of outer wall surface depends on rainfall value and velocity of wind, building exposition and architectural and construction details of surface (PN-EN 12865:2004 *Hygro-thermal performance of building components and building elements. Determination of the resistance of external wall systems to driving rain under pulsating air pressure*)
- b) Surface flow, creating possibility of capillary penetration, which range depends on structures of used materials.

In laboratory tests it was focused on analysis of water migration:

- Into interior of samples through surface flow and hydrostatic pressure,
- Into exterior of samples through water filtration by the joint.

3. Research methodology

Until now in standardizing wall elements have been analysed separately. Requirements showed in standards refer only to particular products not referring to results of their mutual relations (Fig. 1).

The scope of research shows a gap in requirements for facial wall durability, which because of special work conditions must be solved in a way which eliminate vulnerability to environment. The designed material sets should be characterized with resistance to secondary efflorescence being consequence of rain water penetration into wall interior. So the durability of wall construction should be discussed not only in relation material – environment but first of all material – environment set (Fig. 2).

Methodology proposed below contains a series of simple elimination tests which let make proper choice of mortar to ceramic wall element.

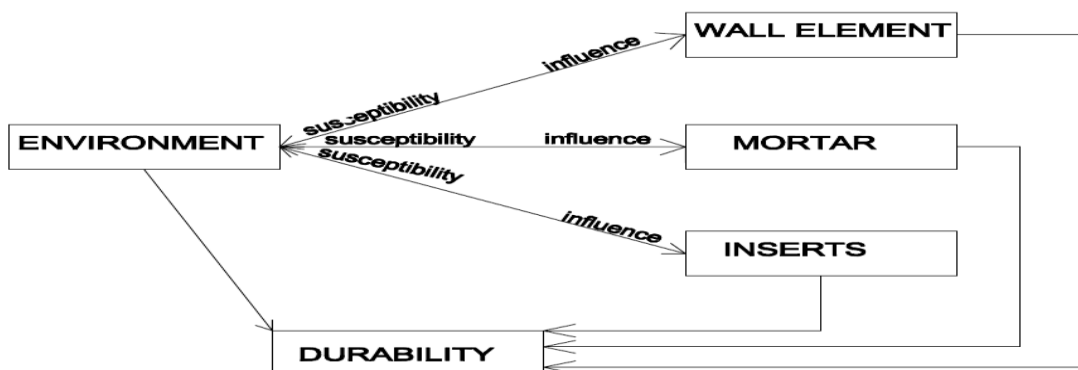


Fig. 1. Facial wall durability according to requirements of Eurocode 6 i and associated standards.

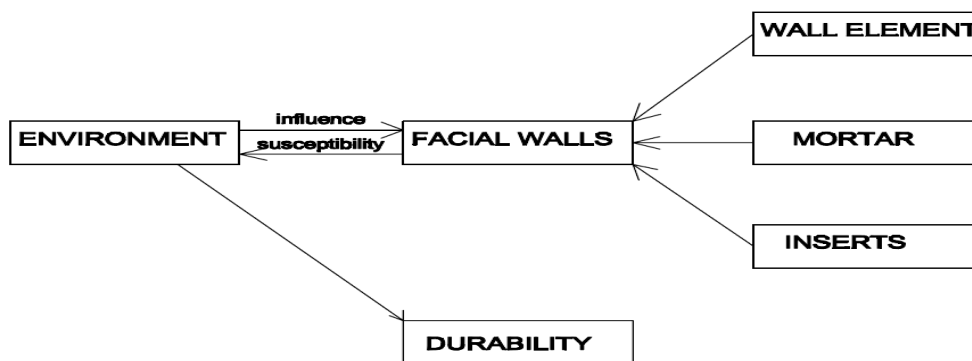


Fig. 2. Wall construction in relation material – environment set.

3.1 Introductory material tests

For tests there was used full clinker brick (250×120×65 mm) and eight different types of mortars from which six had known material compositions (CEM I cement, CEM II cement, CEM I cement with a plasticizer, CEM II cement with plasticizer, cement and lime, lime), and the other two were ready-made – set mortars designated for facial walls to eliminate efflorescence (Tab. 1).

The materials used in tests were subjected to tests which define wall durability. These tests were:

- a) tests made for ceramic elements: absorption test by immersing, test of harmful presence of soluble salts, examination of structure,
- b) tests made for mortars: examination of fresh mortar consistence, absorption tests by immersing, examination of structure, definition of water absorption coefficient caused by capillary rising,
- c) additionally basic tests were made of aggregates used in mortars: examination of granulation, tests for humus presence.

The performed tests of basic features of component materials of facial walls showed that they are in accordance with declarations stated by producers and binding national standards (Tab. 2). As a results of tests performed in order to determine presence

of harmful soluble salts, efflorescences in shape of yellow deposit were noticed only on samples not protected against water penetration. There was not found migration of salts through facial surface. Amount of water used to produce set mortars resulted from producer recommendations, while for traditional mortars according to recommendations by Polish standards.

3.2 Tests of aggregate Samples

The proposed tests are aimed at showing sets of materials which ensure tightness of clinker – mortar joint, frost durability of joint (keeping joint integrity) and lack of susceptibility to efflorescence.

I Stage of Tests – water migration on surface of clinker – mortar set joint

The aim is to determine mortar types which produce joints characterized with low susceptibility to water penetration to facial wall interior.

The evaluated quantity is quality of joint defined by:

- number of samples showing entire joint during tests,
- water penetration range under presser in aggregate samples.

Tab. 1. Composition of mortars for tests.

Mortar	Proportions of components	Contents in 10 dm ³			
		Cement [kg]	Lime/plasticizer [kg]	Sand [dm ³]	Water [dm ³]
Cement 1	(c:p) = 1:3.5	3.78, CEM I 42.5N	-	10.5	2.53
Cement 2	(c:p) = 1:3.5	3.78, CEM I 42.5N	0.004	10.5	2.33
Cement 3	(c:p) = 1:3	4.13, CEM II/B-M (V-LL) 32.5 R	-	10.3	2.53
Cement 4	(c:p) = 1:3	4.13, CEM II/B-M (V-LL) 32.5 R	0.004	10.3	2.33
C – L	(c:l:p) = 1:1.25:6.75	1.65, CEMI 42.5N	0.97	9.5	3.04
L	(l:p) = 1:1	-	4.13	6.8	3.88

Tab. 2. Properties of component materials of aggregate samples.

Tested Material	Bulk Density	Specific Density	Porosity	Volume Average Pore Size	Absorptivity	Water Absorption Coefficient
	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[%]	[µm]	[%]	[kg/m ² ·√min]
Cement 1	1837	2158	14.87	0.316	3.0	0.77
Cement 2	1957	2545	23.08	0.179	3.0	0.66
Cement 3	2154	2534	15.00	0.063	4.0	0.37
Cement 4	2112	2525	16.37	0.059	4.0	0.20
C - L	2052	2610	21.43	0.320	6.0	1.55
Clink. C	2230	2520	11.51	3.362	5.9	1.70

Samples were subjected to hydrostatic pressure of water column 150 mm high directed perpendicularly to facial wall surface so that it covered both mortar, brick and surface of mortar joint – wall element. During tests the water level was not refilled. After 24 h humidity tests were performed on six levels of brick bases (marked as surface A and B), equal respectively 2, 4, 6, 8, 10 and 12 cm. For humidity evaluation dielectric method was used with measurement density to 3 cm. In order to establish the share of humidity stream flowing through a clinker brick caused by action of hydrostatic pressure of the water column on facial wall surface additional tests were made on two wall elements joined with sealing material. It was established that from the initial humidity value of 1% samples reached maximum value of 4%. For each type of mortar six tests were made. As results of tests showed in aggregated samples the discriminated joint A and B are characterized with different water filtration rate under hydrostatic pressure influence. The upper

surface of joint proved to be more susceptible to water penetration. Part of samples showed entire permeability of joint, resulting from insufficient adhesion of mortar to brick – filtration followed by defects of joint in the upper joint surface. That is why intense humidity of ceramic on surface A was noticed (Fig. 3). Tendency for joint leak was showed mostly by cement mortars (cement mortar 1 and 3). Adding plasticizers did not result in expected improvement of workability (cement mortar 2 and 4).

In samples of cement – lime mortar (Fig. 4) these type of defects were noticed only in single cases. Irregularity of humidity distribution is observed also in other samples on cement mortar. This fact can result from susceptibility of mortar to delamination during correction of laying wall element on mortar. Cement-lime mortar because of grain composition is less susceptible to breaking of joint during laying correction.

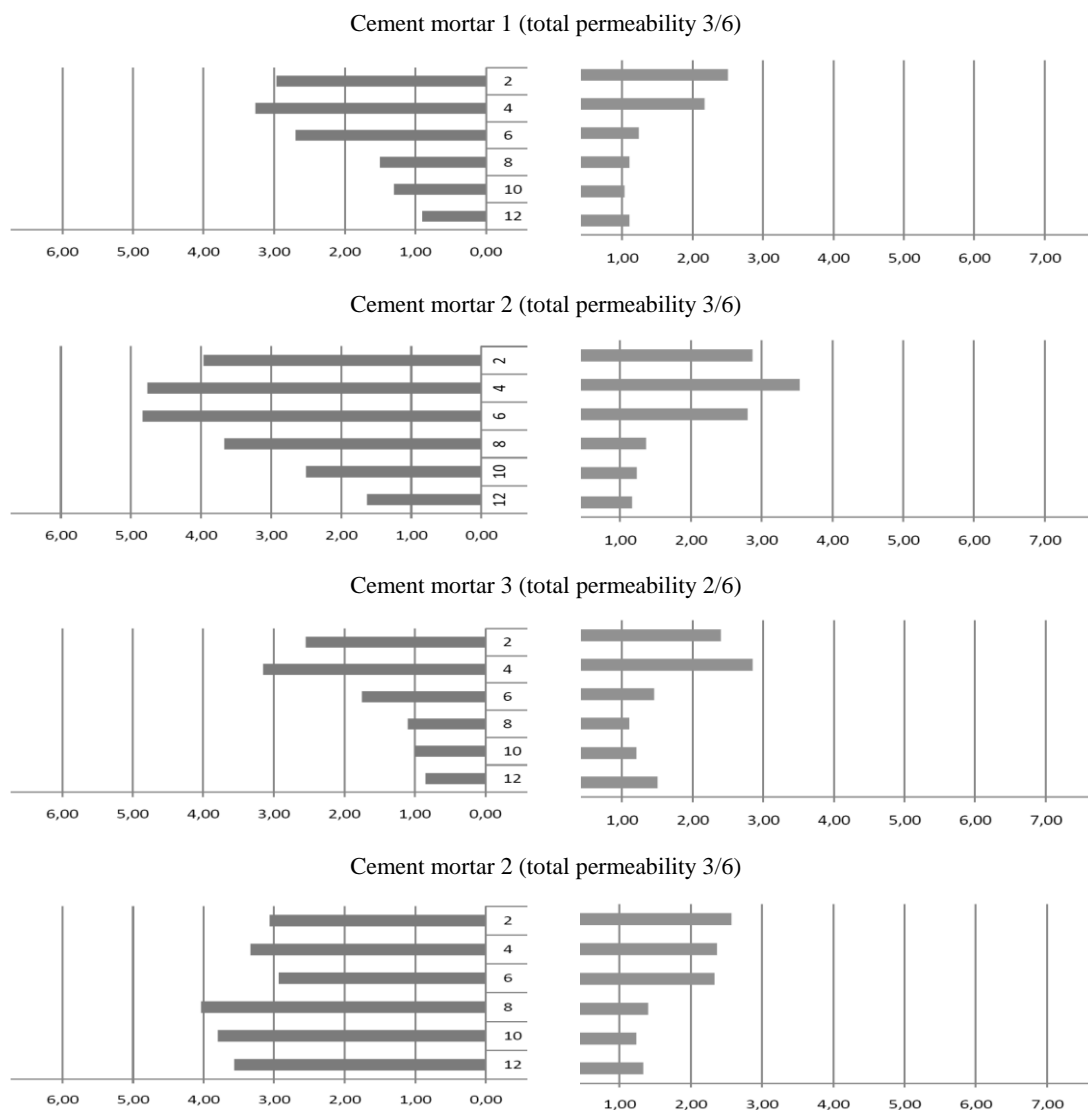


Fig. 3. Humidity distribution of ceramic elements with total permeability of cement mortars, resulting from joint defects: left) surface A, right) surface B.

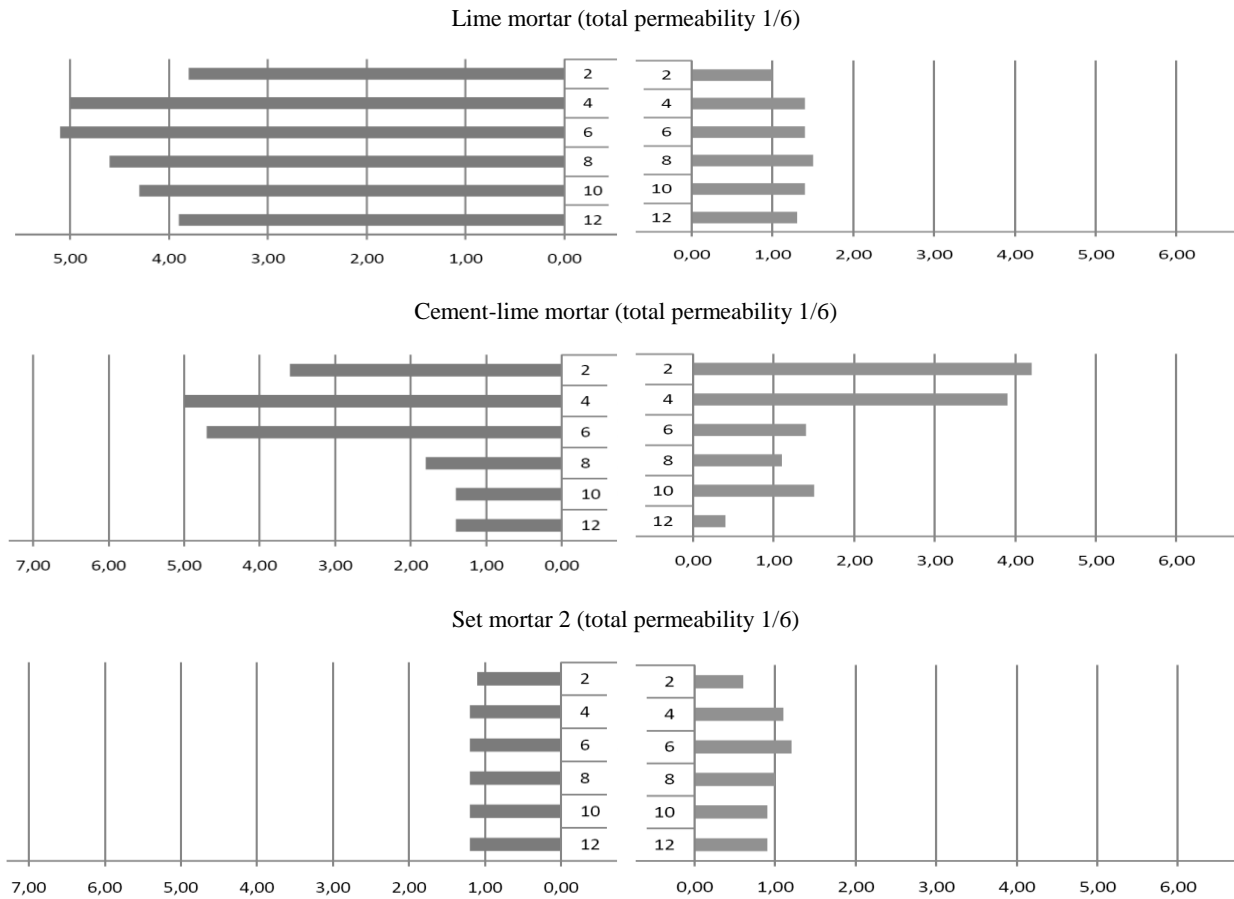


Fig. 4. Humidity distribution of ceramic elements with total permeability of mortars with addition of lime and nanoparticles, resulting from joint defects: left) surface A, right) surface B.

Samples characterized with total joint permeability are evaluated as unfit to further research. All remedies for decreasing of water penetration should be directed into preventing scratches and hollow spaces in the wall. Although clinker is material which does not let water penetration at least until cracks appear, but it is not able to store water and let it evaporate later. Low Absorptivity of this material diminishes mortar adhesion and interfere with performance of proper wall joints (especially vertical ones).

II research stage – repeating freezing and melting of clinker-mortar sets

In the second stage samples (3 pieces) were subjected to repeating freezing and melting (25 cycles). The freezing process was run in temperature $-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ during 4h, then for next 4h the frame put on the analysed sample was poured with water of temperature of $+20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ until the level of 150 mm. After performing 25 cycles the PVC frame was removed and samples were dried in laboratory conditions during period of 14 days (i.e. temperature of $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ and air humidity of 50%).

The samples showing the total destruction of joint or mortar not adhesive to ceramic are unfit to further research. Positive result was recognized as 2/3.

III stage of tests – filtration and surface flow of water on face of clinker – mortar set

In samples (at least two pieces) holes of $\text{Ø} 6$ mm were made in distance of 15 mm from brick face, so that wall of thickness 12 mm will correspond to requirements set for facial hollow bricks (filtration), and gouge on surface of upper base of brick, which are aimed to direct of water stream from dosing device directly on sample face (surface flow).

The base surface with holes and gouges need to be separated by using braid of silicone resistant to temperature within range of -25°C do $+50^{\circ}\text{C}$, in order to secure against water spreading outside designated action field.

To each of so prepared holes distilled water was poured and cables for supplying water during tests. Samples were subjected to filtration and surface flow for period of 48 hours. After this time water supply was cut and samples were dried in laboratory conditions (i.e. temperature $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ and air humidity 50%) for period at least one month (it is suggested to extend drying to three months).

The test result is recognized positive when on the analysed face surface (brick face with joint) the material set is free from efflorescences.

4. Summary

Essential role in limiting of rain water inflow into wall interior is played by mortar and its properties. It should constitute a barrier for water penetration into wall interior and let it easy escape in case when it appears. The quality of mortar joint is extremely important, as it provides sealing. In literature on the subject there were presented some research methods in which the main reason of rain penetration into wall was recognized low workmanship quality and probable climate changes (PN-EN 845-1:2003+A1:2008. *Specification for ancillary components for masonry. Ties, tension straps, hangers and brackets*). Additionally it is needed to mention the mortar type and its adhesion to wall elements (PN-EN 771-1:2011 *Specification for masonry units. Clay masonry units*).

Good properties of water capillary rising by wall material and mortar do not constitute their defect from the point of view of requirements set for a wall concerning resistance to atmospheric rainfall because materials of the above mentions properties not only quickly absorb and store water but also give it back. Harmful moisturizing of facial layers are caused mostly by leaks through open joints and space not filled with mortar.

References

Eurocode 6 EN 1996-2:2006 Design of masonry structures - Part 2: Design of masonry structures. Design considerations, selection of materials and execution of masonry.

Bensted J. (2001). The chemistry of efflorescence. *Cement, Wapno, Beton*, 4/2001, 133-142.

PROPOZYCJA METODYKI BADAŃ PROGNOZUJĄCA TRWAŁOŚĆ WSPÓLCZESNYCH MURÓW LICOWYCH

Streszczenie: Artykuł dotyczy propozycji metodyki badawczej prognozowania trwałości murów licowych. Przy obecnym szybkim rozwoju technologii wprowadza się do budownictwa coraz to nowe materiały, których chociaż właściwości są znane, to nie ma jednak wystarczających doświadczeń co do ich trwałości i odporności na wpływy wieloletniego oddziaływania środowiska. W dotychczasowych badaniach autorki rozpatrzyły możliwość migracji rozpuszczalnych związków pochodzących z samego materiału ceramicznego jak również z zapraw w warunkach laboratoryjnych i poligonowych. Po analizie europejskich przepisów budowlanych stwierdziły, że nie zostały dotychczas przygotowane w takim stopniu, aby mogły być wystarczającą podstawą do oceny trwałości muru licowego. Ten element pozostawiono w gestii projektantów, w konsekwencji czego dobór materiałów składowych jest często dziełem przypadku.

Acknowledgements

The work was done using apparatuses within the frame of „Realization of 2nd Stage of Regional Centre of Innovation” project, co-financed from means of the European Fund for Regional Development within the frame of Regional Operational Program of the Kujawsko-Pomorskie Voievodship for years 2007-2013.

BADANIE PRZYDATNOŚCI POPIOŁU LOTNEGO ZE SPALANIA BIOMASY DO PRODUKCJI BETONÓW CEMENTOWYCH

Małgorzata A. LELUSZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-950 Białystok

Streszczenie: W obiektach energetycznych coraz częściej wykorzystuje się paliwa wtórne (alternatywne) do wytwarzania energii. Biomasa, uznawana za paliwo zeroemisyjne, jest coraz powszechniej wykorzystywana w elektrowniach i elektrociepłowniach. W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem była wstępna ocena możliwości zastosowania popiołów lotnych ze spalania biomasy do wytwarzania kompozytów o matrycy cementowej. W testach laboratoryjnych stosowano popiół ze spalania biomasy drzewnej, z jednoczesnego spalania węgla kamiennego i biomasy oraz ze spalania samego węgla. Zaprezentowano wyniki badań rozwoju wytrzymałości na ściskanie betonu zawierającego popiół lotny w ilości do 40% masy spoiwa. Dodatek traktowany był jako zamiennik cementu. Porównano właściwości pucolanowe badanych popiołów oraz oceniono wpływ ilości popiołu ze spalania biomasy na ciepło hydratacji cementu. Przeprowadzone badania pokazały, że istnieje możliwość gospodarczego wykorzystania popiołów lotnych ze spalania biomasy drzewnej.

Słowa kluczowe: popiół lotny, biomasa, kompozyt o matrycy cementowej, wytrzymałość na ściskanie.

1. Wprowadzenie

Zobowiązania międzynarodowe obligują Polskę do zwiększania udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym kraju. W elektrowniach i elektrociepłowniach coraz powszechniej paliwa kopalne zastępowane są paliwami odnawialnymi. W Polsce jako biopaliwo najczęściej stosuje się odpady leśne, wierzbę i topolę energetyczną oraz odpady pochodzenia rolniczego, czyli tak zwane paliwo „agro”. Paliwo to, to przede wszystkim tak zwany „pellet” czyli odpowiednio przygotowana słoma, łuski słonecznika lub wytłoki z buraka cukrowego. Ponadto, jako paliwo „agro” mogą być również stosowane ziarna zbóż niespełniające wymagań jakościowych. Zgodnie z ustawą z dnia 20 lutego 2015 roku o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2015 poz. 478) biopaliwo to również odpady pochodzenia zwierzęcego, w tym odpady kostne oraz odpady z papieru i osady ściekowe. Tego typu bioodpady wykorzystywane są w mniejszych ilościach. Uboczne produkty spalania, powstające podczas spalania biomasy, mają odmienny skład chemiczny i fazowy od produktów spalania węgla kamiennego czy brunatnego. Jedną z przeszkód w rozwoju produkcji biomasy i jej spalania jest brak możliwości zagospodarowania popiołów pochodzących ze spalania tego biopaliwa. Ostre warunki odzysku zawarte w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku (Dz.U. 2002, Nr 165, poz. 1359) ograniczają wykorzystanie odpadu jako nawozu. Brakuje

również wytycznych stosowania tego typu popiołów w technologii produkcji materiałów budowlanych (Baran i in., 2015).

Celem pracy była wstępna ocena popiołów lotnych pochodzących ze spalania biomasy drzewnej (BFA), jednoczesnego spalania węgla kamiennego i biomasy (FAC) oraz samego węgla (FA) jako zamiennika części cementu w kompozytach o matrycy cementowej. Program badań obejmował oznaczenie wybranych właściwości popiołów lotnych oraz określenie rozwoju wytrzymałości betonów zawierających popioły. Oceniono również wpływ popiołu pochodzącego ze spalania biomasy na ciepło hydratacji cementu.

2. Materiały i metody badań

2.1. Charakterystyka badanych

Przedmiotem badań były: popioły lotne pochodzące ze spalania w kotle fluidalnym ze złożem pęcherzykowym (temperatura spalania około 750°C) biomasy drzewnej (oznaczone jako BFA), popioły lotne pochodzące z jednoczesnego spalania w kotle konwencjonalnym (temperatura spalania 1100-1200°C) mieszaniny biomasy drzewnej i węgla kamiennego w procentowej proporcji wagowej 20:80 (oznaczone jako FAC) oraz popioły ze spalania pyłu węglowego w kotle konwencjonalnym (FA). Właściwości badanych popiołów podano w tabeli 1.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.lelusz@pb.edu.pl

Analizowane popioły różnią się między sobą zawartością SiO₂ oraz ilością niespalonych cząstek. Zróżnicowana jest również ich miąłkość i wodożądność.

Badanie morfologii popiołu lotnego ze spalania biomasy (BFA) wykonano za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego E-SEM (rys. 1). W popiele zauważyć można duże zróżnicowanie wielkości i kształtów cząstek popiołu. Dominują ziarna o kształtach nieregularnych. Występują zarówno formy zwarte, jak i gąbczaste o rozwiniętej powierzchni. W popiele znajdują się również ziarna kuliste.

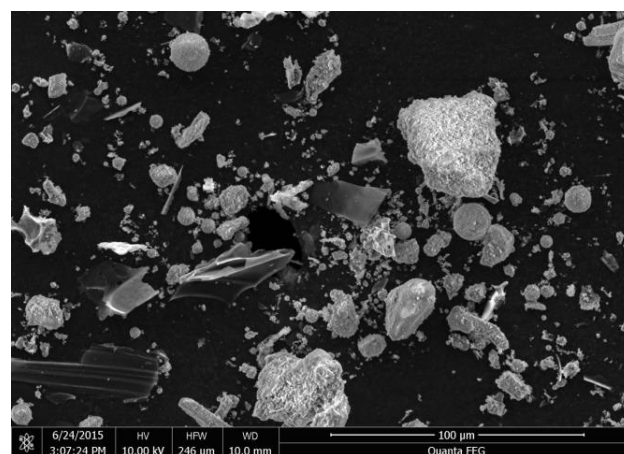
2.2. Przygotowanie próbek i metody badań

Do przygotowania próbek betonowych wykorzystywano cement CEM III 42,5A oraz kruszywo naturalne o uziarnieniu do 8 mm. Popiół lotny stosowany był jako dodatek typu II w ilości 20%, 30% i 40% w stosunku do masy cementu. Ilość spoiwa była stała i wynosiła 550 kg/m³. We wszystkich składach betonu przyjęto jednakowy współczynnik $w/s = 0,36$. W celu poprawy urabialności stosowano superplastyfikator wytwarzany na bazie karboksylanów. Był on dozowany w ilości od 2 do 7% masy cementu. Składy mieszanek betonowych podano w tabeli 2.

Próbki po rozformowaniu przechowywane były w wodzie w temperaturze około 20°C do momentu rozpoczęcia właściwego badania. Ocenę rozwoju

wytrzymałości w czasie przeprowadzono na 7, 28 i 90 dniowych próbkach betonu zgodnie z PN-EN 12390-3 *Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania*.

Aktywność pucolanową popiołów oceniano metodą zalecaną w PN-EN 450-1 *Popiół lotny do betonu – Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności*. Rozwój ilości i szybkości wydzielania ciepła hydratacji w okresie 48 h od chwili wymieszania spoiwa z wodą prześledzono wykorzystując kalorymetr przewodzący.



Rys. 1. Popiół lotny ze spalania biomasy (BFA)

Tab. 1. Właściwości badanych popiołów

Badana właściwość	Wymagania PN-EN 450-1	BFA	FAC	FA
Zawartość SiO ₂	≥ 25%	51,6%	62,1%	62,5%
Straty prażenia	≤ 9%	11,7%	4,5%	18,5%
Miałkość	≤ 40%	41,2%	36,3%	31,8%
Wodożądność	-	117%	104%	113%

Tab. 2. Składy mieszanek betonowych w kg/m³

Numer serii	Spoiwo	Cement	BFA	FAC	FA	Woda	kruszywo
1		440	110	-	-		1622
2		385	165	-	-		1606
3		330	220	-	-		1590
4		440	-	110	-		1622
5	550	385	-	165	-	198	1606
6		330	-	220	-		1590
7		440	-	-	110		1622
8		385	-	-	165		1606
9		330	-	-	220		1590

3. Analiza wyników badań

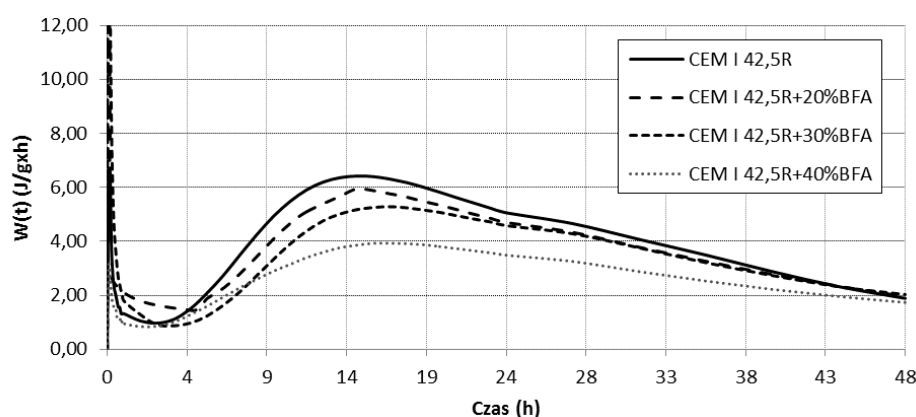
3.1. Kinetyka wydzielania ciepła hydratacji

Wyniki badań ciepła hydratacji przedstawiono w formie wykresów zmiany szybkości wydzielania ciepła hydratacji w funkcji czasu (rys. 2) oraz całkowitej ilości wydzielonego ciepła (rys. 3). Analizując wyniki badań ciepła hydratacji można zauważyć, że dodatek 20% BFA nie wpłynął na zmianę wystąpienia maksimum szybkości wydzielania ciepła, natomiast zwiększenie udziału popiołu lotnego z biomasy w spoiwie do 30% oraz 40% spowodowało opóźnienie o dwie godziny wystąpienia maksymalnego efektu cieplnego spoiw (rys. 2). Zawartość popiołu lotnego w spoiwie wpływa na ciepło hydratacji cementu. Szybkość hydratacji zmniejszała się wraz ze wzrostem ilości popiołu. Również całkowite ciepło wydzielone po 48 godzinach (rys. 3) było mniejsze o 10,3% w przypadku zastąpienia 20% cementu popiołem, o 11,4% w przypadku zastosowania 30% popiołu

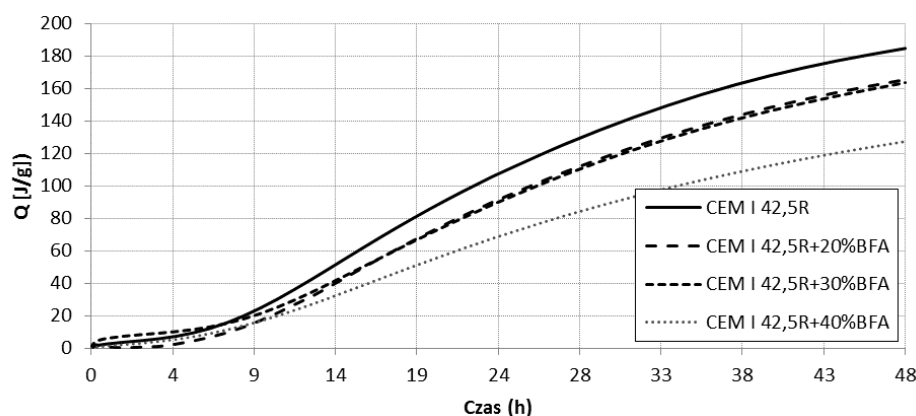
w spoiwie oraz aż o 31,2% – gdy wprowadzono 40% popiołu zamiast cementu.

3.2. Aktywność pucolanowa popiołów

W tabeli 3 przedstawiono wskaźniki aktywności pucolanowej obliczone na podstawie wyników badania wytrzymałości zapraw zgodnie z PN-EN 450-1. Pomimo znacznej ilości niespalonego węgla w popiele FA, wyrażonej stratami prażenia, wskaźniki przekroczyły wymagane wartości. Świadczy to o prawidłowym przebiegu reakcji pucolanowej. Jedynie współczynnik aktywności pucolanowej zaprawy z popiołem lotnym, uzyskanym ze spalania biomasy drzewnej, oznaczony po 90 dniach dojrzewania nie osiągnął wymaganych przez normę PN-EN 450-1 – 85%. Norma PN-EN 450-1 odnosi się do popiołów lotnych uzyskanych ze spalania węgla lub jednoczesnego spalania węgla i biomasy w kotłach konwencjonalnych, nie uwzględnia jednak popiołów uzyskanych ze spalania samej biomasy.



Rys. 2. Krzywe kalometryczne szybkości wydzielania ciepła hydratacji cementu z dodatkiem popiołu lotnego ze spalania biomasy (BFA)



Rys. 3. Krzywe kalometryczne wydzielonego ciepła hydratacji cementu z dodatkiem popiołu lotnego ze spalania biomasy (BFA)

Tab. 3. Wskaźniki aktywności pucolanowej popiołów

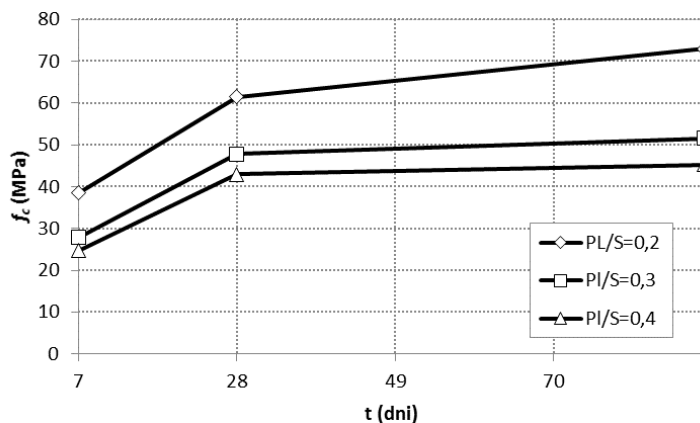
Wiek zaprawy	Wymagania PN-EN 450-1	BFA	FAC	FA
28 dni	75%	77,4%	81,4%	77,1%
90 dni	85%	80,3%	87,7%	95,9%

3.3. Wytrzymałość na ściskanie betonów

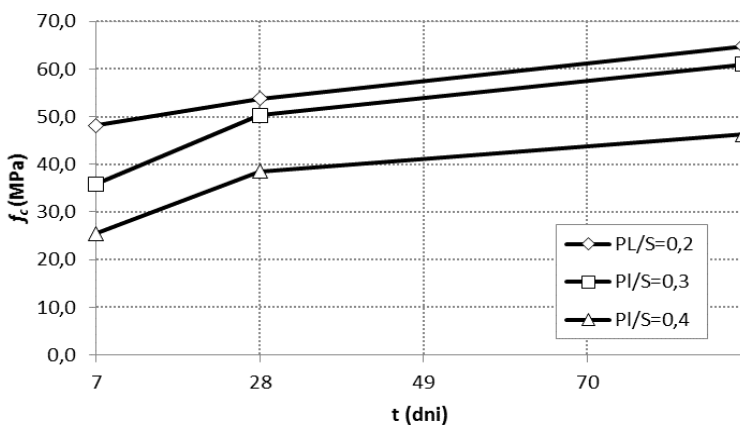
Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie betonów zawierających badane popioły lotne przedstawiono na rysunkach 4-6.

W początkowym okresie, po 7 dniach dojrzewania, betony zawierające popiół lotny z biomasy uzyskiwały najniższe wyniki wytrzymałości na ściskanie niezależnie od zawartości popiołu lotnego. Po dłuższym okresie twardnienia, to znaczy po 90 dniach dojrzewania, beton w

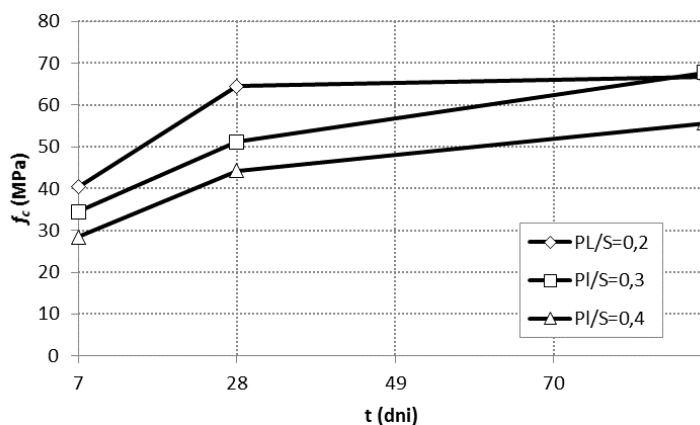
którym zastosowano popiół lotny BFA w ilości 20% masy cementu wykazywał najlepsze właściwości wytrzymałościowe. Uzyskana wytrzymałość była o 12,5% większa od wytrzymałości betonu z popiołem ze współspalania (FAC) i 9,3% wyższa od wytrzymałości betonu z popiołem z węgla (FA). Zwiększanie ilości popiołu lotnego powodowało każdorazowo obniżenie wytrzymałości betonu na ściskanie, niezależnie od tego jaki rodzaj popiołu zastosowano.



Rys. 4. Zależność wytrzymałości na ściskanie betonu zawierającego popiół lotny ze spalania biomasy (BFA) od czasu dojrzewania i zawartości popiołu



Rys. 5. Zależność wytrzymałości na ściskanie betonu zawierającego popiół lotny ze współspalania węgla i biomasy (FAC) od czasu dojrzewania i zawartości popiołu



Rys. 6. Zależność wytrzymałości na ściskanie betonu zawierającego popiół lotny ze spalania węgla (FA) od czasu dojrzewania i zawartości popiołu

4. Podsumowanie

Biomasa, która uznawana jest za paliwo zeroemisyjne, jest coraz powszechniej stosowana jako podstawowe paliwo w obiektach energetycznych. Uboczne produkty spalania, powstające podczas spalania biomasy, mają odmienny skład chemiczny i fazowy od produktów spalania węgla kamiennego czy brunatnego. Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że istnieje możliwość gospodarczego wykorzystania popiołów lotnych ze spalania biomasy drzewnej w technologii betonu i mogą być one traktowane jako potencjalny składnik kompozytów o matrycy cementowej. Badane popioły odznaczają się odmienną morfologią oraz właściwościami od powszechnie znanych popiołów konwencjonalnych. Zawartość w spoiwie popiołu lotnego z biomasy wpływa na ciepło hydratacji cementu. Wraz ze wzrostem ilości popiołu w spoiwie zmniejszała się szybkość hydratacji oraz ciepło całkowite. Zwiększanie ilości popiołu lotnego powodowało każdorazowo obniżenie wytrzymałości betonu na ściskanie, niezależnie od tego jaki rodzaj popiołu zastosowano. Wytrzymałość wczesna betonu zawierającego popiół lotny z biomasy była najniższa, niezależnie od zawartości popiołu lotnego. Osiągnięcie wytrzymałości porównywalnej czy nawet wyższej od wytrzymałości betonu z popiołami konwencjonalnymi wymaga wydłużonego czasu dojrzewania i zmniejszonej ilości popiołu. Kolejne badania nad zastosowaniem w technologii betonu popiołów z biomasy powinny uwzględniać możliwość aktywacji tych popiołów oraz trwałość wyrobów betonowych. Trzeba również pamiętać, że warunkiem umożliwiającym przemysłowe wykorzystanie popiołu pochodzącego ze spalania biomasy jest także prowadzenie procesu spalania i odprowadzania odpadów energetycznych, żeby uzyskać surowiec o wysokiej, stabilnej jakości.

Literatura

- Baran T., Ostrowski M., Giergiczny Z. (2015). Wykorzystanie mieszanych popiołów lotnych z oddzielnego spalania pyłu węglowego i paliw wtórnych w produkcji spoiw wiążących. *Materiały budowlane*, 12/2015, 37-40.
- Gawlicki M., Graur Z., Ślęzak E. (2014). Popioły lotne ze spalania biomasy jako składnik spoiw drogowych. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, Warszawa-Opole, 34-46.
- Kosior-Kazberuk M., Lelusz M. (2010). Ocena popiołu pochodzącego z jednoczesnego spalania biomasy i węgla jako składnika kompozytów cementowych. *Materiały Ceramiczne / Ceramic Materials*, Vol. 62, No 2, 166-170.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. *Dz. U. Nr 165. poz.1358 i 1359*.
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 roku o odnawialnych źródłach energii. *Dz. U. 2015 poz. 478*.

SUITABILITY TESTING OF FLY ASH FROM BIOMASS COMBUSTION FOR THE CEMENT CONCRETE PRODUCTION

Abstract: Secondary fuels are increasingly used for power generation in power plants. Biomass, considered as a zero-emission fuel, is more often used in power plants, recently. The paper aim was to assess the possibility of using fly ash from the biomass combustion for the production of cement matrix composites. In the laboratory research ashes from the combustion of: wood biomass, co-combustion of coal and biomass and combustion of coal alone were used. The research results of the development in compressive strength of concrete containing fly ash in an amount up to 40% by mass of the binder are presented. The addition was treated as a substitute for cement. Pozzolanic properties of the ashes were tested and the impact of the content of ash from biomass combustion hydration heat of cement were assessed. The study showed that there is a possibility of economic utilisation of fly ash from the combustion of wood biomass for the cement concrete production.

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

WPŁYW DOMIESZEK REDUKUJĄCYCH WODĘ NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE ZAPRAW CEMENTOWYCH

Dorota MAŁASZKIEWICZ*

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

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu wybranych domieszek redukujących wodę na właściwości reologiczne zapraw cementowych i zmiany tych właściwości z upływem czasu. Przyjęto, że parametry reologiczne mieszanek ze spoiw cementowych mogą być wystarczająco dokładnie opisane za pomocą modelu Bingham. Zastosowano kruszywo naturalne polodowcowe 0/4 mm oraz cement CEM I 42,5R. Zbadano wpływ domieszek na rozptył zapraw oraz zmiany rozptyłu w czasie. Przeprowadzono reometryczny test urabialności, w wyniku którego wyznaczono parametry reologiczne zapraw: parametr g (granica płynięcia) oraz parametr h (lepkość plastyczna). Zastosowane superplastyfikatory pomimo tej samej bazy chemicznej wymagają innego poziomu dozowania, aby osiągnąć taki sam rozptył zapraw. Różna jest również efektywność ich działania w czasie.

Słowa kluczowe: zaprawa cementowa, reologia, domieszki redukujące wodę, lepkość plastyczna.

1. Wprowadzenie

Odpowiednie właściwości reologiczne mieszanki betonowej są jednym z podstawowych wymogów technologicznych zapewniających uzyskanie wysokiej jakości konstrukcji żelbetonowych. Z upływem czasu, właściwości reologiczne mieszanek betonowych zmieniają się, co skutkuje pogorszeniem się jej urabialności, utrudniając prawidłowe wykonanie konstrukcji (Gołaszewski, 2008).

Badania reologiczne zawiesin są powszechnie stosowane do oceny właściwości materiałów. Zachowanie się stężonych zawiesin w warunkach przepływu zależy od powierzchni kontaktu między cząsteczkami ciała stałego (fazy rozproszonej) i sił oddziaływania międzycząsteczkowego, takich jak siły van Der Waalsa i siły steryczne (Mueller i in., 2010). Badania reologiczne zawiesin cementowych pozwalają ocenić ich zachowanie w stanie plastycznym oraz monitorować formowanie struktury, która świadczy o rozwoju właściwości mechanicznych (Sant i in., 2008).

Badania reologiczne są powszechnie prowadzone w reometrach rotacyjnych, w których dokonywany jest pomiar momentów oporu ścinania przy ustalonych prędkościach ścinania. Parametry badania reologicznego mają wpływ na wyznaczone z modelu Bingham wartości granicy ścinania i lepkości plastycznej zawiesin cementowych (Nehdi i Rahman, 2004; Bentz i in., 2012; Ferraris i in., 2001). Lepkość plastyczna jest miarą tempa przyrostu naprężeń ścinających wraz ze wzrostem odkształceń, a co za tym idzie – miarą płynności cieczy.

Na wielkość lepkości plastycznej zawiesin ma wpływ przede wszystkim tarcie międzycząsteczkowe oraz powierzchnia kontaktu (Banfill, 2006). Osłabienie oddziaływań międzycząsteczkowych poprzez zwiększenie odległości między poszczególnymi cząsteczkami zawiesiny (bądź przez zmniejszenie powierzchni kontaktu) powoduje spadek lepkości plastycznej i wzrost ciekłości.

Prezentowane badania zostały wykonane na zaprawach cementowych w celu określenia wpływu domieszek upłynniających na parametry reologiczne. Możliwe jest prognozowanie właściwości samozagęszczalnej mieszanki betonowej na podstawie właściwości zapraw (Gołaszewski i in., 2014). Dobrą korelację uzyskuje się szczególnie w zakresie wartości granicy płynięcia i tempa utraty urabialności przez mieszkankę betonową.

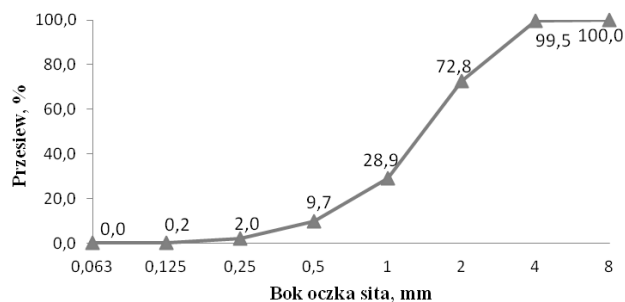
2. Materiały i procedura badawcza

2.1. Materiały zastosowane do badań

Badania zostały przeprowadzone na zaprawach cementowych wykonanych z cementu CEM I 42,5R oraz kruszywa naturalnego polodowcowego 0/4. Uziarnienie kruszywa zostało przedstawione na rysunku 1. Zastosowano stały współczynnik $w/c = 0,34$ do badania konsystencji zapraw modyfikowanych domieszkami oraz $w/c = 0,40$ do reologicznego testu urabialności. Zastosowanie wyższego współczynnika w/c w drugim

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: d.malasziewicz@pb.edu.pl

przypadku było podyktowane tym, że zaprawa kontrolna o $w/c = 0,34$ sprawiała trudności przy pomiarze w reometrze – sonda nie była w stanie wykonać obrotu.



Rys. 1. Uziarnienie kruszywa 0/4

Zastosowano 4 superplastyfikatory pochodzące od różnych producentów:

- SP1 – domieszka znacznie redukująca ilość wody na bazie modyfikowanych polikarboksylianów,
- SP2 – stabilizowany superplastyfikator polikarboksylianowy,
- SP3 – domieszka uplastyczniająco-upłynniająca na bazie zmodyfikowanych polimerów syntetycznych z rodziny polinaftalenów,
- SP4 – uniwersalny superplastyfikator (FM).

Dozowanie domieszek przyjęto w ilości zapewniającej uzyskanie rozptywu zaprawy w przedziale 240-280 mm. W przypadku SP1 nie udało się uzyskać rozptywu w pożądanym zakresie. Przy dozowaniu w ilości 0,4% masy cementu rozptyw wyniósł 300 mm, a przy dozowaniu 0,35% masy cementu – odpowiednio 220 mm. Przyjęto ostatecznie dozowanie na poziomie 0,4% masy cementu.

Przyjęto następujące dozowanie domieszek: SP1 – 0,4% masy cementu, SP2 – 1,6% masy cementu, SP3 – 1,9% masy cementu oraz SP4 – 3,0% masy cementu.

W tabeli 1 przedstawiono skład zaprawy cementowej o $w/c = 0,40$ zastosowanej do reometrycznego testu urabialności. W składzie tym nie uwzględniono poszczególnych superplastyfikatorów. Woda zawarta w SP była uwzględniana i odpowiednio zmniejszono dozowanie wody zarobowej.

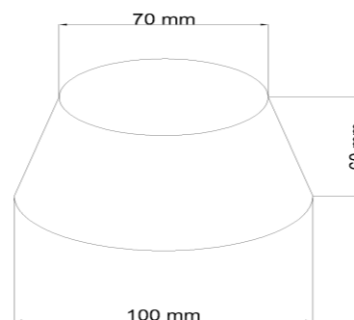
Tab. 1. Skład zaprawy zastosowanej do badań na 1 m^3

Składnik	Masa [kg]
cement CEM I 42,5 R	693
kruszywo 0/4 mm	1322
woda	275

2.2. Pomiar parametrów reologicznych

Zaprawę przygotowano w mieszarce do zapraw. Wodę wraz z dodatkiem superplastyfikatora wlewano do miski, następnie dodawano spoiwo i kruszywo. Łączny czas mieszania wynosił 180 s. W celu zbadania konsystencji, w ten sposób przygotowaną zaprawę wlewano do stożka (rys. 2) umieszczonego na stoliku rozptywowym

i mierzono średnicę rozptywu w dwóch kierunkach. W związku z tym, że zaprawy wykazywały znaczą ciekłość, mierzono rozptyw bezpośrednio po podniesieniu stożka, bez zastosowania wstrząsów. Badanie rozptywu przeprowadzono do momentu utraty przez zaprawę zdolności do rozptywu.



Rys. 2. Schemat stożka do badania rozptywu

Właściwości reologiczne mieszanek betonowych mogą być wystarczająco dokładnie opisane za pomocą reologicznego równania stanu ciała Bingham'a w postaci:

$$\tau = \tau_o + \gamma \cdot \eta_{pl} \quad (1)$$

gdzie: τ jest naprężeniem stycznym w Pa przy prędkości ścinania γ wyrażonej w $1/s$, τ_o oznacza granicę płynięcia w Pa i η_{pl} lepkość plastyczną w $\text{Pa}\cdot\text{s}$ (Szwabowski, 1999; Gołaszewski, 2008; Wallevik i in., 2015). Granica płynięcia określa wielkość obciążenia koniecznego do wywołania płynięcia mieszanki. Płynięcie mieszanki wystąpi, gdy naprężenia styczne przekroczą tę granicę, a opór płynięcia zależy od lepkości plastycznej. Parametry reologiczne wyznacza się metodą regresji liniowej z równania:

$$M = g + h \cdot N \quad (1)$$

gdzie: g (w $\text{N}\cdot\text{m}$) i h (w $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$) są stałymi reologicznymi odpowiadającymi odpowiednio granicy płynięcia τ_o i lepkości plastycznej η_{pl} zaprawy.

Zasady reologicznego testu urabialności i właściwości reologiczne świeżych zapraw cementowych i mieszanek betonowych przedstawiono w literaturze (Szwabowski, 1999; Billberg, 2006; Schmidt, 2014).

Badanie parametrów reologicznych zostało przeprowadzone w urządzeniu do badania parametrów reologicznych mieszanek betonowych i zapraw cementowych Viskomat XL (rys. 3) w stałej temperaturze 20°C . Cylinder pomiarowy o wewnętrznej średnicy 165 mm i wysokości 175 mm pozwala na pomiar mieszanki o objętości 3 dm^3 . Prędkość obrotowa może być regulowana w zakresie $0,001\text{-}80\text{ min}^{-1}$. W trakcie badania cylinder pomiarowy znajduje się w zewnętrznym cylindrze wypełnionym wodą przepływającą przez termostat, co pozwala na utrzymanie stałej temperatury w trakcie badania.

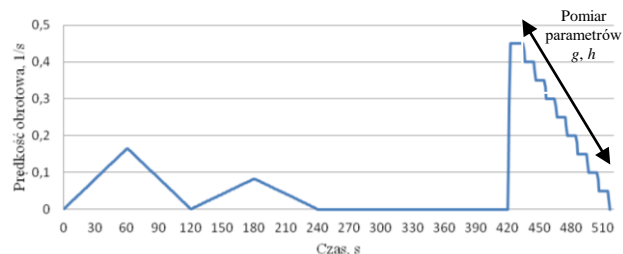


Rys. 3. Maszyna pomiarowa Viskomat NT - XL oraz mieszadło

Program badawczy składał się z dwustopniowego wstępnego mieszania oraz mieszania zasadniczego ze zmniejszającą się skokowo prędkością obrotową. Właściwe mieszanie polegało na mieszaniu zaprawy przez 1 min, zmniejszając prędkość skokowo od 27 min^{-1} ($0,45 \text{ s}^{-1}$) ze skokiem 3 min^{-1} ($0,05 \text{ s}^{-1}$) do zatrzymania (rys. 4). Duża liczba punktów pomiarowych połączona z odpowiednią ilością odczytów na każdym z tych punktów (poziomów prędkości) zapewnia wysoką wiarygodność wyników. Dlatego też, podczas badania zastosowano pomiar parametrów mieszanki na dziewięciu poziomach prędkości, co zapewniło odpowiednio dużą liczbę punktów pomiarowych. Obydwa procesy były powtarzane 3-krotnie: po 10, 40 i 80 minutach od zamieszania składników. W tych samych okresach badano również rozptyw zapraw.

Tab. 2. Wielkości rozptywu zapraw

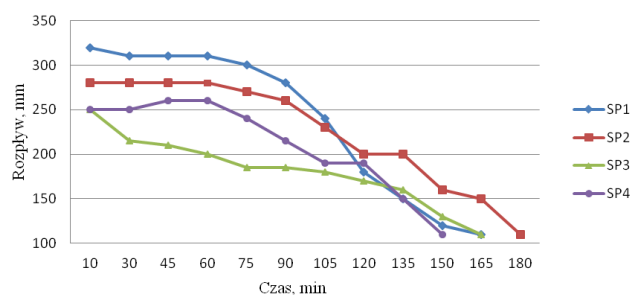
Czas [min]	Rozptyw [mm]											
	10	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
SP1	320	310	310	310	300	280	240	180	150	120	110	–
SP2	280	280	280	280	270	260	230	200	200	160	150	110
SP3	250	215	210	200	185	185	180	170	160	130	110	–
SP4	250	250	260	260	240	215	190	190	150	110	–	–



Rys. 4. Procedura reologicznego testu urabialności dla Viskomatu XL

3. Wyniki badań i dyskusja

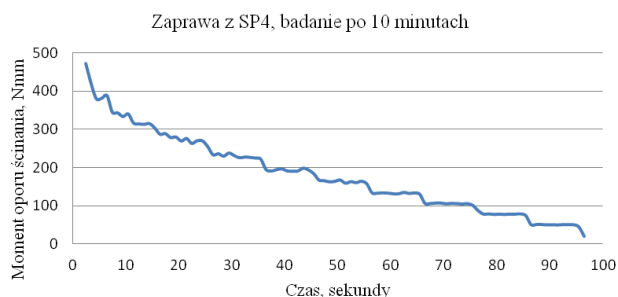
Zmiany rozptywu wraz z upływem czasu dla zapraw modyfikowanych poszczególnymi domieszkami zostały przedstawione w tabeli 2 oraz na rysunku 5.



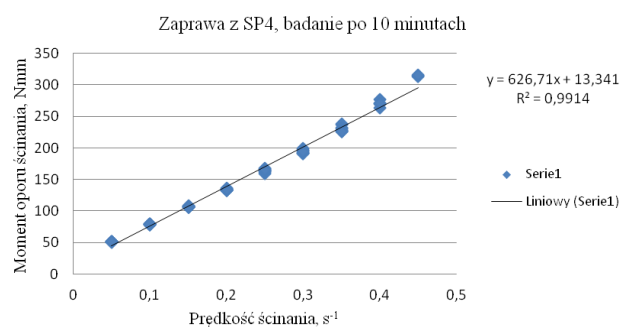
Rys. 5. Spadek rozptywu zapraw modyfikowanych poszczególnymi domieszkami wraz z upływem czasu

Wyniki badań zaprezentowane na rysunku 5 świadczą o tym, że domieszki SP1 oraz SP2 pozwoliły najdłużej utrzymać wysoką płynność zapraw cementowych – do 90 minut. Najmniej efektywny okazał się SP3, który co prawda przy pierwszym pomiarze spowodował rozptyw identyczny do rozptywu przy zastosowaniu SP4, jednak dalsze pomiary wskazały tendencję do szybkiej utraty urabialności. Domieszka SP4 ma zdolność nawet do nieznacznego zwiększania ciekłości zaprawy do około 60 minut, jednak po tym czasie nastąpiło dość szybkie zmniejszenie rozptywu.

W reometrycznym teście urabialności uzyskuje się odczyty momentów oporu ścinania w zależności od prędkości ścinania oraz czasu badania. Przykładowe wykresy zależności momentu oporu ścinania, badanego przy skokowej zmianie prędkości ścinania dla zaprawy z SP4 po 10 minutach od jej wykonania, w zależności od czasu i prędkości ścinania przedstawiono odpowiednio na rysunku 6 i 7.

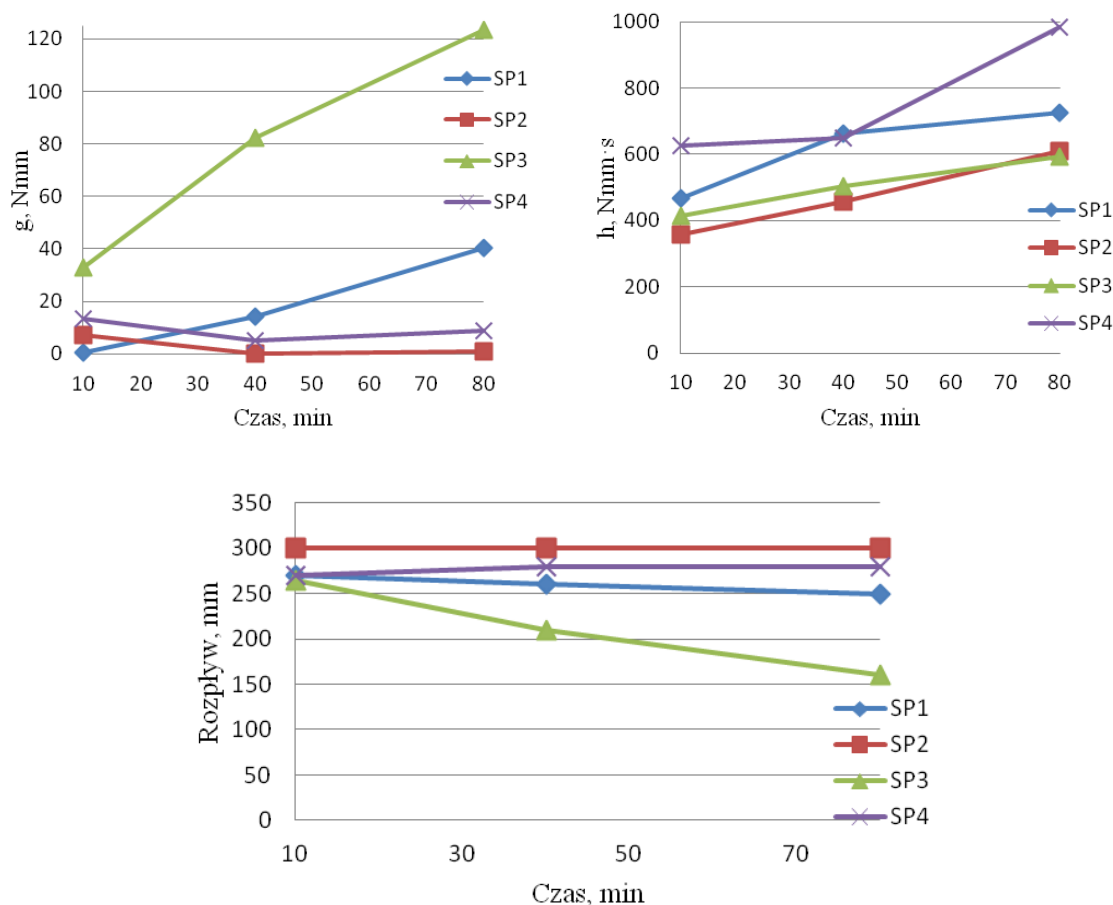


Rys. 6. Momenty oporu ścinania dla zaprawy z SP4 po 10 minutach od jej wykonania



Rys. 7. Zależność momentu oporu ścinania od prędkości ścinania po 10 minutach od jej wykonania

Analogicznie wykonano wykresy i aproksymacje liniowe dla wszystkich badanych próbek zapraw, a wyniki zamieszczono w tabeli 3. Jako BD oznaczono zaprawę kontrolną – bez domieszki. Współczynniki korelacji aproksymacji liniowych, które zostały zastosowane do ustalenia parametrów reologicznych zapraw, mieszczą się w przedziale 0,953-0,997. Świadczy to o dobrym dopasowaniu modelu Binghama do opisu tych właściwości. Zaprawa kontrolna po 80 minutach była na tyle mało urabialna, że nie udało się wykonać badania przy zadanych prędkościach ścinania. Na rysunku 8 przedstawiono parametry reologiczne zapraw modyfikowanych poszczególnymi domieszkami.



Rys. 8. Wpływ czasu i rodzaju superplastyfikatora na właściwości reologiczne zapraw cementowych

Tab. 3. Właściwości reologiczne zapraw

Parametr	Czas [min]	BD	SP1	SP2	SP3	SP4
g [Nmm]	10	504,8	0,66	7,35	32,97	13,34
	40	569,9	14,09	0,28	82,31	5,05
	80	–	40,23	0,78	123,35	8,94
h [Nmm·s]	10	3861	469	359	413	627
	40	4409	662	458	504	648
	80	–	725	609	592	984
R^2 [-]	10	0,956	0,992	0,990	0,993	0,9914
	40	0,953	0,990	0,984	0,991	0,9955
	80	–	0,991	0,991	0,990	0,997
rozpływ stożka [mm]	10	Brak rozpływu	270	300	265	270
	40	Brak rozpływu	260	300	210	280
	80	Brak rozpływu	250	300	160	280

Zaprawy ze wszystkimi badanymi domieszkami osiągnęły znacząco niższe wartości parametrów g (odpowiada granicy płynięcia) oraz h (odpowiada lepkości plastycznej) w porównaniu do zaprawy kontrolnej. W przypadku SP2 (stabilizowany superplastyfikator polikarboksyłanowy) oraz SP4 (uniwersalny superplastyfikator FM) granica płynięcia nieznacznie obniża się po 40 minutach i utrzymuje się na niskim poziomie przez 80 minut. W przypadku SP1 (superplastyfikator na bazie modyfikowanych polikarboksyłanów) granica płynięcia stale wzrasta wraz z upływem czasu i po 80 minutach jest o 65% wyższa niż po 40 minutach, ale nadal pozostała znacząco niższa w porównaniu do zaprawy kontrolnej. Domieszki SP1 i SP2, pomimo podobnej bazy chemicznej, wywarły inny wpływ na granicę płynięcia zapraw wykonanych z CEM I 42,5. Najszybciej granica płynięcia wzrasta w przypadku zaprawy z SP3 (domieszka na bazie zmodyfikowanych polimerów syntetycznych z rodziny polinaftalenów). Pozostaje to w korelacji z szybkim zmniejszeniem rozpływu zaprawy (widoczne również na rysunku 5). Domieszka na bazie polinaftalenów, ze względu na elektrostatyczny mechanizm działania, spowodowała że urabialność zaprawy pogarszała się w sposób stopniowy już po kilkunastu minutach od wymieszania składników.

Lepkość plastyczna w przypadku zapraw modyfikowanych domieszkami rośnie wraz z upływem czasu. Jedynie w przypadku SP4 lepkość zaprawy jest początkowo wyższa niż w przypadku pozostałych próbek, ale nie wzrasta znacząco w czasie pierwszych 40 minut. Większy wzrost lepkości zanotowano po 80 minutach. Zaprawy modyfikowane superplastyfikatorami SP2 i SP3 charakteryzowały się zbliżonymi lepkościami we wszystkich okresach badawczych, pomimo różnej bazy chemicznej domieszek.

4. Podsumowanie

Wykonano badania właściwości reologicznych oraz urabialności metodą rozpływu zapraw cementowych modyfikowanych czterema różnymi superplastyfikatorami. Na podstawie wyników badań eksperymentalnych można stwierdzić, że domieszki redukujące wodę pomimo tej samej bazy chemicznej wymagają innego poziomu dozowania w celu osiągnięcia takiego samego rozpływu zapraw wykonanych z danym cementem. Różna jest również efektywność ich działania w czasie. Ocena parametrów reologicznych kompozytów cementowych w reologicznym teście urabialności pozwala najwłaściwiej dobrać domieszkę do danego cementu, aby wykonać mieszanki o jak najniższej granicy płynięcia utrzymującej się w jak najdłuższym czasie.

Literatura

- Banfill P.F.G. (2006). Rheology of fresh cement and concrete. *Rheology Reviews*, 61-130.
- Bentz D.P., Ferraris C.F., Galler M.A., Hansen A.S., Guynn J.M. (2012). Influence of particle size distributions on yield stress and viscosity of cement-fly ash pastes. *Cement & Concrete Research*, Vol. 42, 404-409.
- Billberg P. (2006). Form pressure generated by Self-Compacting Concrete - Influence of thixotropy and structural behavior at rest. *Doctoral Thesis, Trita-BKN*, Bulletin 85.
- Ferraris C.F., Obla K.H., Hill R. (2001). The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. *Cement & Concrete Research*, Vol. 31, 245-255.
- Gołaszewski J. (2008). Zmiany urabialności w czasie mieszanek betonów wysokowartościowych i samozagęszczalnych. W: *Dni Betonu*, Wisła.
- Gołaszewski J., Cygan G., Drewniok M. (2014). Designing the composition of concrete mixtures based on properties of mortar. *Technical Transactions. Civil Engineering*, Vol. 1-B, 29-37.
- Mueller S., Llewellyn E.W., Mader H.M. (2010). The rheology of suspensions of solid particles. W: *Proceedings of the*

- Royal Society A: Mathematical Physical Engineering Sciences*, s. 28.
- Nehdi M., Rahman M-A. (2004). Estimating rheological properties of cement pastes using various rheological models for different test geometry, gap and surface friction. *Cement & Concrete Research*, Vol. 34, 1993-2007.
- Sant G., Ferraris C.F., Weiss J. (2008). Rheological properties of cement pastes: a discussion of structure formation and mechanical property development. *Cement & Concrete Research*, Vol. 38, 1286-1296.
- Schmidt W. (2014). Design concepts for the robustness improvement of Self-Compacting Concrete. *PhD Thesis, Eindhoven University*, the Netherlands.
- Szwabowski J. (1999). Reologia mieszanek na spowach cementowych. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- Wallevik O.H., Feys D., Wallevik J.E., Khayat K.H. (2015). Avoiding inaccurate interpretations of rheological measurements for cement-based materials. *Cement & Concrete Research*, Vol. 78, 100-109.

INFLUENCE OF HIGH RANGE WATER REDUCING ADMIXTURES ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CEMENT MORTARS

Abstract: The influence high range water reducing admixtures (HRWRA) on the rheological properties of cement mortars and changes of these properties with time were investigated. Natural postglacial sand 0/4 mm was used as a fine aggregate and cement CEM I 42.5 R was used as a binder. Four commercial superplasticizers were selected for these examinations: two modified polycarboxylates, one modified polynaphthalene polymer and one universal superplasticizer based on naphthalenes (FM). The flow of mortars and the change of flow with time was measured. Rheological properties were expressed in terms of Bingham model parameters g (yield value) and h (plastic viscosity) and measured using rheometrical test. Based on test results it was found out that admixture dosage in order to achieve the same flow differs despite the same chemical base of superplasticizer. Also efficiency in time is different for tested admixtures. Evaluation of yield value g and the range of changes of this parameter with time allows to select most adequately superplasticizer for the given cement.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy S/WBiŚ/1/2015 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

OCENA WPLYWU ZACINAJĄCEGO DESZCZU NA ZAWILGOCENIE PŁYTY ŚCIENNEJ Z BETONU KOMÓRKOWEGO

Vadzim I. NIKITSIN^a, Valery. A. KOFANOV^b, Beata BACKIEL-BRZOZOWSKA^{c*}

^a Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża J. P. II w Białej Podlaskiej, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

^b Brzeski Państwowy Uniwersytet Techniczny, ul. Moskovskaya 267, 224017 Brześć, Białoruś

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

Streszczenie: Zbadano niestacjonarny stan zawilgocenia betonu komórkowego płyty ściennej ogrzewanego budynku gospodarczego od oddziaływań klimatycznych za pomocą eksperymentu obliczeniowego i fizycznego. Obliczenie wykonano z zastosowaniem programu komputerowego TWiND i ustalono, że wśród rozpatrywanych oddziaływań klimatycznych główną przyczyną wysokiego poziomu wilgotności betonu komórkowego jest zacinający deszcz, który intensyfikuje proces swobodnego kapilarnego transportu wilgoci. Analiza porównawcza wyników eksperymentu fizycznego i obliczeniowego pokazała, że program TWiND, po dokładnym zadaniu wartości parametrów cieplno-fizycznych materiałów i uwzględnieniu oddziaływań klimatycznych, umożliwił wystarczająco dokładną prognozę rzeczywistego zawilgocenia rozpatrywanej osłony.

Słowa kluczowe: modelowanie stanu zawilgocenia, zacinający deszcz, transport kapilarny.

1. Wprowadzenie

Wyniki licznych badań fizycznych przeprowadzonych w ostatnich dziesięcioleciach świadczą o tym, że wartości rzeczywistej wilgotności materiałów kapilarno-porowatych konstrukcji osłonowych eksploatowanych budynków zwykle kilkakrotnie przewyższają wartości przyjęte przy projektowaniu tych konstrukcji. Podwyższenie zawilgocenia materiałów powoduje obniżenie ich właściwości cieplochronnych oraz ma inne, powszechnie znane negatywne skutki. Już na etapie projektowania budynków należy więc dostatecznie ściśle prognozować poziom zawilgocenia materiałów, stosując odpowiednie metody obliczeniowe.

Autorzy licznych prac, między innymi Blocken i Carmeliet (2004), Rahman i inni (2006), podkreślają, że jedną z głównych przyczyn podwyższonej wilgotności konstrukcji osłonowych jest jednoczesne oddziaływanie na zewnętrzną powierzchnię osłony opadów atmosferycznych i wiatru, nazywane zacinającym (ukośnym) deszczem. W zależności od intensywności i czasu trwania zacinającego deszczu, jak również od właściwości kapilarnych materiałów, masa wody deszczowej padającej na powierzchnię osłony jest całkowicie lub częściowo wchłaniana przez warstwę powierzchniową materiału, podwyższając wilgotność konstrukcji osłonowej w związku z transportem kapilarnym wilgoci w głąb przegrody.

Celem niniejszej pracy jest potwierdzenie efektu

zacinającego deszczu na podstawie wyników oceny stanu zawilgocenia płyty betonu komórkowego, stanowiącej zasadniczą warstwę zewnętrznej przegrody ściennej ogrzewanego budynku gospodarczego. Wyniki uzyskano za pomocą eksperymentu obliczeniowego i fizycznego. Wybrany budynek znajduje się w północnej części miasta Brześć (Białoruś), a badana płyta ma orientację południowo-zachodnią, stąd poddawana jest najbardziej intensywnemu oddziaływaniu zacinającego deszczu.

2. Eksperyment obliczeniowy i jego wyniki

Przedmiotem badań była ściana zewnętrzna z betonu komórkowego o grubości 200 mm pokryta tynkiem cementowo-wapiennym o grubości 15 mm (warstwa zewnętrzna) i 5 mm (warstwa wewnętrzna). Do obliczenia zmian cieplno-wilgotnościowych w płycie spowodowanych oddziaływaniem środowiska zastosowano program komputerowy TWiND opracowany przez autorów. Opis matematyczny procesu niestacjonarnego transportu ciepła i wilgoci zastosowany w tym programie jest taki sam, jak w powszechnie znanym programie komputerowym WUFI. Program komputerowy TWiND różni się tym, iż współczynnik wyrównywania wilgoci D_w [m^2/s], zależny od wilgotności w [kg/m^3], określa się na podstawie metody zaproponowanej przez Nikitsina i Backiel-Brzozowską (2012), a masę wody deszczowej wchłoniętej przez powierzchnię jednostkową osłony

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: b.backiel@pb.edu.pl

w jednostce czasu oddziaływania zacinającego deszczu g_w [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$] wyznacza się na podstawie metody zaproponowanej przez Nikitsina i Backiel-Brzozowską (2013). Ponadto, wpływ radiacji słonecznej ocenia się z zastosowaniem metodyki opisanej przez Pašinskiego i innych (2013).

Ustalono, że wyniki obliczeń uzyskanych za pomocą programu komputerowego TWiND dobrze prognozują wyniki pomiarów badań fizycznych zawilgocenia próbek zaprawy cementowo-wapiennej przy izotermicznym suszeniu (Kofanov i Nikitsin, 2004), próbek piaskowca przy zadanych warunkach klimatycznych (Rahman Ali A. i in., 2006) oraz ziaren zbóż przy izotermicznym transporcie wilgoci (Nikitsin i in., 2006). To pozwoliło założyć, że przy dostatecznie ścisłym uwzględnieniu oddziaływań środowiska otaczającego oraz właściwości fizycznych materiału osłonowego, można uzyskać wiarygodne informacje o zmiennym w czasie zawilgoceniu rozpatrywanej konstrukcji osłonowej.

W obliczeniach uwzględniono oddziaływania środowiska na konstrukcję osłony scharakteryzowane temperaturą i wilgotnością względną powietrza oraz ilością opadów atmosferycznymi w postaci deszczu. Jako źródło informacji o wartościach zmiennych w czasie czynników zastosowano pracę pod redakcją Šver i Savikovskij (1979) i rosyjski internetowy portal meteorologiczny (meteo.infospace.ru). Opis sposobu gromadzenia, archiwizowania i opracowywania danych dyskretnych o stanie środowiska znajduje się w pracy Kofanova (2011). Przejście z danych dyskretnych do ciągłych wykonano za pomocą funkcji spline trzeciego rzędu. Przyjęty rok obliczeniowy rozpoczynał się dnia 1 lipca i kończył 30 czerwca.

Niezbędne do wykonania obliczeń wartości opisujące właściwości zaprawy cementowo-wapiennej o gęstości pozornej $\rho = 1800 \text{ kg}/\text{m}^3$ (warstwy zewnętrzne) oraz betonu komórkowego o gęstości pozornej $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ (warstwa wewnętrzna) uzyskano na drodze uogólnienia wyników prezentowanych przez Künzela (1995), Fokina (1973) oraz Bal'ana (1984) i przedstawiono w tabeli 1, w której u oznacza procentową zawartość wilgoci w jednostce masy materiału. Współczynnik sorpcji wody A wyznaczono na podstawie wyników badań własnych, wykorzystując metodę opisaną między innymi przez Janza

(2000).

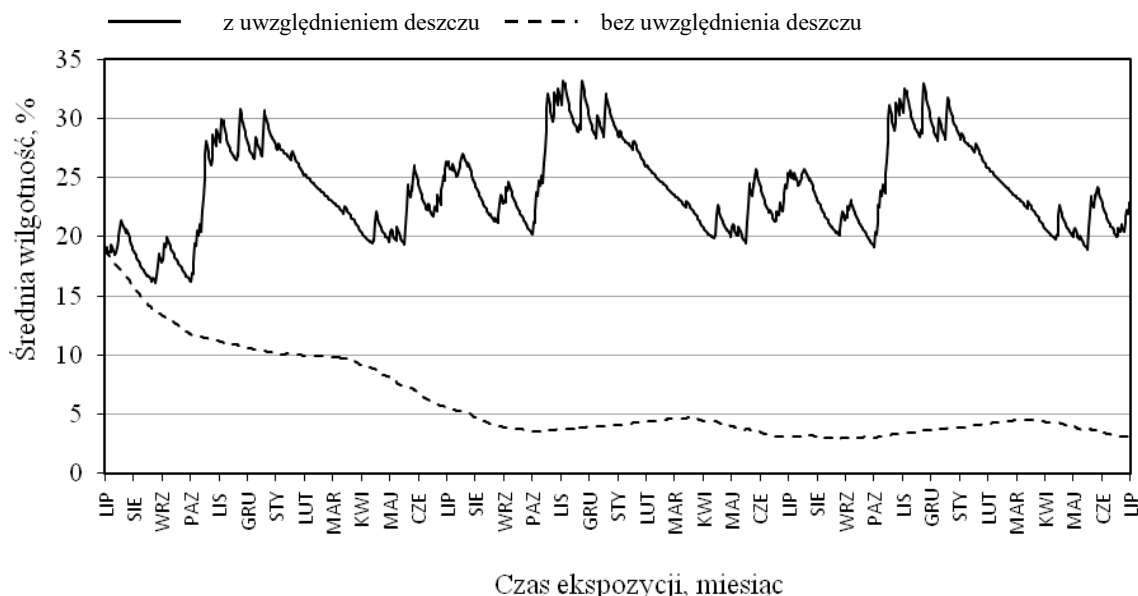
Wartości współczynników oddawania ciepła oraz oporu wymiany wilgoci na powierzchni zewnętrznej osłony wynoszą odpowiednio $\alpha_e = 23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{s})$ i $R_e = 13,3 \text{ m}^2\text{hPa}/\text{g}$, a na powierzchni wewnętrznej $\alpha_i = 8,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{s})$ i $R_i = 26,6 \text{ m}^2\text{hPa}/\text{g}$. W czasie sezonu grzewczego, od 1 listopada do 31 marca, przyjęto stałe wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza na powierzchni wewnętrznej osłony $t_i = 18^\circ\text{C}$ i $\Phi = 55\%$. W pozostałym okresie wskazane parametry również były stałe, równe $t_i = 20^\circ\text{C}$ i $\Phi = 70\%$. Z uwzględnieniem wyników eksperymentu fizycznego początkowe zawilgocenie w warstwie betonu komórkowego przyjęto na stałym poziomie równym $u = 20\%$.

W związku z tym, że przyjęty początkowy rozkład wilgotności warstwy betonu komórkowego osłony bezsprzecznie różni się od rzeczywistego, to obliczenie roczne przy przyjętych warunkach klimatycznych było kontynuowane jeszcze dla dwóch kolejnych lat. Dla wyjaśnienia wpływu opadów deszczu na wilgotność betonu komórkowego płyty obliczenia wykonano dwukrotnie, uwzględniając dane meteorologiczne o ilości opadów deszczu i pomijając te dane. Należy przy tym podkreślić, że przejście od ilości opadów deszczu w mm do masy wilgoci deszczowej wchłoniętej przez jednostkowe pole powierzchni osłony w jednostce czasu oddziaływania zacinającego deszczu g_w ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) przeprowadzono zgodnie z metodą opisaną przez Nikitsina i Backiel-Brzozowską (2013). Wyniki tych obliczeń przedstawiono na rysunku 1.

Jak widać na rysunku 1 zmiany wartości wilgotności warstwy betonu komórkowego w kolejnych latach powtarzają się, przy tym średnie zawilgocenie w drugim i w trzecim roku obliczeniowym zmienia się w przybliżeniu od 18% do 33%, a w pierwszym roku obliczeniowym od 16% do 31%. Łatwo zauważyć, że powtórzenie mogłoby być obserwowane również i w pierwszym roku obliczeniowym, pod warunkiem, że początkowa średnia wilgotność betonu byłaby przyjęta na poziomie 25%. Należy podkreślić, iż wartości średniej wilgotności betonu komórkowego znacznie przewyższają normową wartość zakładaną dla warunków eksploatacyjnych, równą 4,5%.

Tab. 1. Właściwości materiałów zastosowanych w przegrodzie ściennej

Wskaźnik	Jednostka	Zaprawa cementowo-wapienna	Beton komórkowy
λ – współczynnik przewodności cieplnej	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	$0,8 + 0,064u$	$0,14 + 0,01u$
c – ciepło właściwe materiału	$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	$0,85 + 0,042u$	$0,85 + 0,042u$
δ_p – współczynnik przepuszczalności pary wodnej	$\text{g}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa})$	$0,9\cdot 10^{-4}$	$1,7\cdot 10^{-4}$



Rys. 1. Zmiany średniej wilgotności warstwy betonu komórkowego w ścianie osłonowej w ciągu trzech lat obliczeniowych

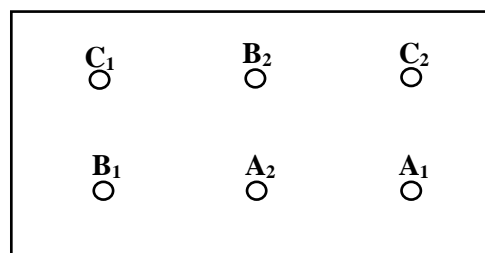
Obliczenia wykonane z zastosowaniem programu komputerowego TWiND bez uwzględnienia oddziaływań deszczu (rys. 1) pokazują, że po zakończeniu pierwszego roku obliczeniowego średnia wilgotność warstwy betonu komórkowego obniżyła się do wartości normowej i dalej wahała się w przybliżeniu od 3 do 5%, przy tym wyniki uzyskane w kolejnych latach są porównywalne. Analogiczną sytuację zaobserwowano przy obliczeniach z wykorzystaniem tradycyjnych, normowych metod inżynierskich. W taki sposób przez eksperyment obliczeniowy pokazano, że przy uwzględnieniu zacinającego deszczu wilgotności betonu komórkowego istotnie przewyższają wartość obliczone bez uwzględnienia danych o ilości opadów atmosferycznych.

3. Eksperyment fizyczny i jego wyniki

Dla sprawdzenia możliwości programu TwiND do odpowiednio dokładnego prognozowania rzeczywistego zawilgocenia wybranej konstrukcji przeprowadzono eksperyment fizyczny w warunkach rzeczywistych. Próbkę betonu komórkowego były pozyskane poprzez wycięcie otworów w wybranej płycie ściennej za pomocą specjalnej korony wiertniczej. Z każdego otworu wyjęto po 4 walcowe próbki o średnicy $d = 45$ mm i wysokości $h = 50 \pm 2$ mm. W ten sposób płyta betonu komórkowego o grubości 200 mm była podzielona na 4 warstwy o grubości około 50 mm z numerem porządkowym i ($i = 1, 2, 3, 4$), gdzie $i = 1$ przypisano warstwie z zewnętrznej strony osłony. Pobór prób przeprowadzono w ciągu jednej doby, 27 grudnia pierwszego roku obliczeniowego z otworów A_1, B_1, C_1 (pierwsza seria składająca się z 12 próbek) oraz 11 września drugiego roku obliczeniowego z otworów A_2, B_2, C_2 (druga seria składająca się również z 12 próbek). Schemat rozmieszczenia wskazanych otworów na powierzchni płyty pokazano na rysunku 2. W taki

sposób do badań pozyskano 24 próbki. Dla zabezpieczenia przed odparowaniem wilgoci każdą próbkę po wyjęciu z otworu zamykano w oddzielnej torebce polietylenowej. Masę wilgotnych próbek m_w wyznaczano w tym samym dniu, w warunkach laboratoryjnych, za pomocą wagi elektronicznej o dokładności 0,01 g. Następnie próbki wysuszono w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 105°C do stałej masy m_s i wyznaczano wilgotność:

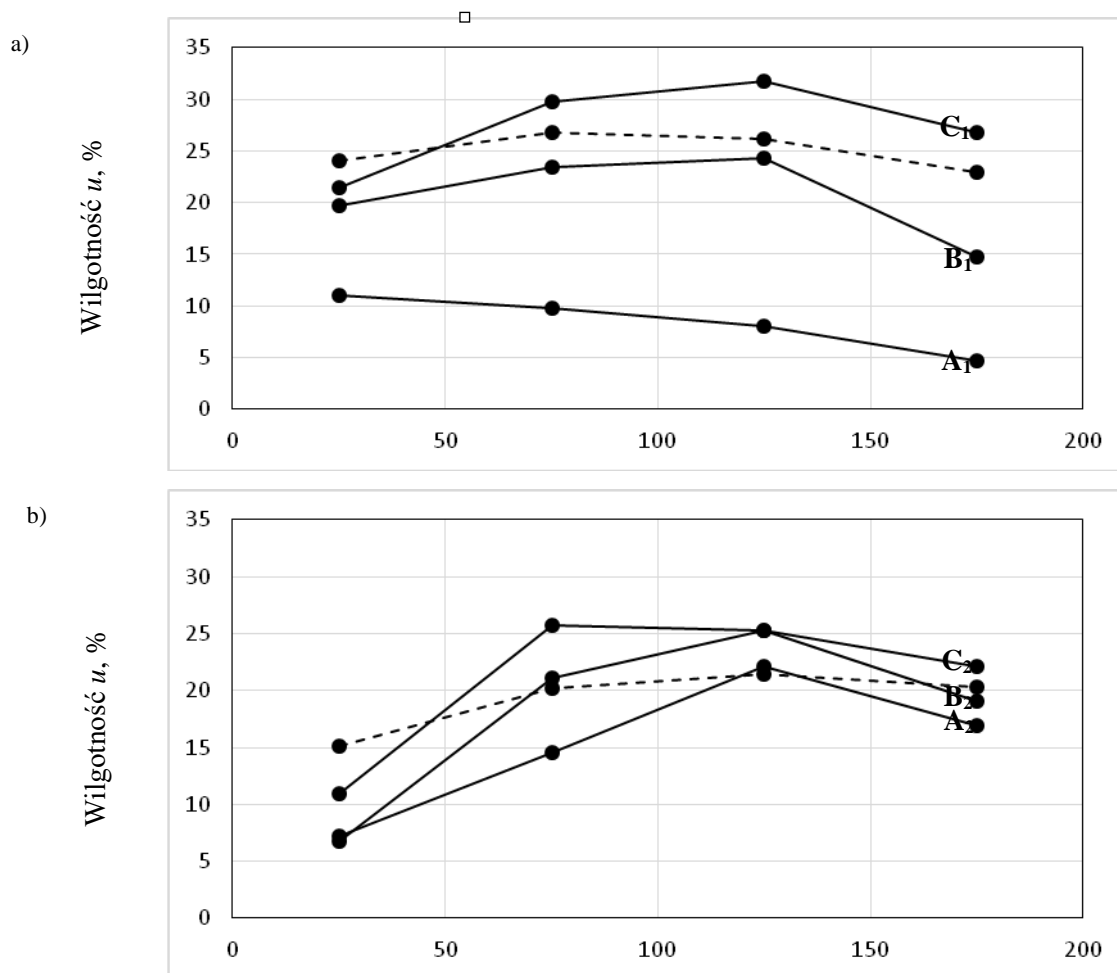
$$u = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot 100\% \quad (1)$$



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia otworów na powierzchni płyty o wymiarach 300×140 cm

Ustalono, że gęstość pozorna próbek zmieniała się w zakresie od 891 do 1009 kg/m^3 z wartością średnią $\rho = 1009$ kg/m^3 . Jak podano wcześniej (punkt 2) w eksperymencie obliczeniowym przyjęto $\rho = 1000$ kg/m^3 .

Wyniki pomiarów wilgotności próbek pobranych ze wszystkich otworów przedstawiono na rysunku 3 w postaci punktów połączonych liniami ciągłymi. Dane te charakteryzują rozkład wilgotności betonu komórkowego w czterech warstwach po grubości płyty dla każdego z otworów na dzień wykonania eksperymentu. Z rysunku 3 widać, że w sezonie grzewczym zbieżność wyników pomiarów wilgotności dowolnej i -tej warstwy betonu komórkowego ($i = 1, 2, 3, 4$) o grubości 50 mm jest znacznie większa niż poza sezonem grzewczym.



Rys. 3. Wilgotność próbek walcowych z betonu komórkowego o wysokości $h = 50$ mm wyciętych z otworów płyty zlokalizowanych w punktach: a) A₁, B₁ i C₁; b) A₂, B₂ i C₂ (punkty połączone linią ciągłą) oraz obliczone uśrednione wartości wilgotności na odcinkach po 50 mm (punkty połączone linią przerywaną)

Obserwuje się jakościowe i ilościowe różnice profili wilgotności uzyskanych na podstawie wartości zawilgocenia próbek z otworu A₁ (rys. 3a) od profili wilgotności dla otworów B₁ i C₁. Można to wytłumaczyć tym, że w pobliżu otworu A₁ znajdowało się stacjonarne urządzenie grzewcze powodujące intensywne lokalne osuszenie materiału osłony w okresie grzewczym. W związku z tym, dane o wilgotności 4 próbek betonu komórkowego z otworu A₁ nie zostały uwzględnione w dalszej analizie statystycznej.

Na rysunku 3 pokazano uśrednione wartości wilgotności betonu komórkowego uzyskane na drodze obliczeniowej na 4 odcinkach po 50 mm (punkty połączone linią przerywaną). Następnie przeprowadzono analizę porównawczą średnich doświadczalnych i obliczonych wartości wilgotności betonu komórkowego w i -tej warstwie. Największą różnicę w wartościach można zaobserwować w pierwszej warstwie ($i = 1$). W pierwszym eksperymencie (rys. 3a) w pierwszej warstwie średnia arytmetyczna zawilgocenia jest równa 20,55%, a obliczona 24,1%. Różnica tych wartości wynosi 3,55% i nie przekracza odchylenia standardowego $\sigma = 4,253\%$, tak więc nie należy jej uznawać za statystycznie istotną. W kolejnych warstwach takie różnice mają jeszcze mniejsze wartości.

W drugim eksperymencie (rys. 3b) największą różnicę zaobserwowano również w pierwszej warstwie. Przy średniej doświadczalnej 8,3% i wartości obliczonej 15,1% mamy różnicę 6,8%, która nie przekracza podwójnej wartości odchylenia standardowego $2\sigma = 8,506\%$. Możemy więc traktować tę różnicę jako statystycznie nieistotną. Kolejną największą różnicę uzyskano w trzeciej warstwie i jej wartość wynosi tylko 2,9%.

Wykonano porównanie obliczonych i doświadczalnych średnich wartości wilgotności w całej warstwie betonu komórkowego. W pierwszym eksperymencie średnia doświadczalna wartość wilgotności wynosi $\bar{u}_{exp} = (20,55 + 26,6 + 28,0 + 20,25)/4 = 23,98\%$ i jest nieznacznie (o 1%) mniejsza niż obliczeniowa $\bar{u} = (24,1 + 26,8 + 26,2 + 22,9)/4 = 25\%$. W drugim eksperymencie uzyskano wartość doświadczalną $\bar{u}_{exp} = (18,3 + 20,43 + 24,3 + 19,37)/4 = 18,1\%$ oraz wartość obliczeniową $\bar{u} = (15,1 + 20,2 + 21,4 + 20,3)/4 = 19,25\%$. W drugim eksperymencie wartość obliczeniowa również nieznacznie przewyższa wartość doświadczalną.

W ten sposób obliczone wartości wilgotności betonu komórkowego adekwatnie prognozują średnie wartości doświadczalne wilgotności zarówno dla poszczególnych warstw o grubości $h = 50$ mm, jak i dla całego przekroju płyty betonu komórkowego o grubości 200 mm. Średnie

wartości doświadczalne wilgotności warstwy betonu komórkowego \bar{u}_{exp} w sezonie zimowym (23,98%) i letnim (18,1%) kilkakrotnie przekraczają wartość normową 4,5%. Przy zimowych pomiarach ten stosunek wynosi 5,3 razy, a dla sezonu letniego 4 razy. Przy podwyższeniu wilgotności warstwy betonu komórkowego o grubości $\delta = 0,2$ m z 4,5% do 23,98%, przyjęty przy projektowaniu konstrukcji osłonowej opór przewodzenia ciepła $R = \delta/\lambda$ (m^2K/W) tej warstwy zmniejsza się o 42%.

4. Podsumowanie

Za pomocą obliczeniowego i fizycznego eksperymentu zbadano niestacjonarny stan zawilgocenia betonu komórkowego płyty ściennej ogrzewanego budynku gospodarczego od oddziaływań klimatycznych. Obliczenie wykonano za pomocą programu komputerowego TWiND. Ustalono, że wśród rozpatrywanych oddziaływań klimatycznych główną przyczyną wysokiego poziomu zawilgocenia betonu komórkowego jest zacinający deszcz, który intensyfikuje proces swobodnego kapilarnego transportu wilgoci. Analiza porównawcza wyników fizycznego i obliczeniowego eksperymentu pokazała, że program TWiND przy dokładnym zadaniu wartości właściwości cieplno-fizycznych materiałów i oddziaływań klimatycznych, umożliwił dostatecznie ściśle prognozowanie rzeczywistego zawilgocenia rozpatrywanej osłony.

Literatura

- Bal'ân L. G. (1984). Rukovodstvo po rasčetu vlažnostnogo režima ograždauših konstrukcij zdannij. L.G. Bal'ân (red.). NIISF Gosstroâ SSSR. *Strojizdat*, Moskva.
- Blocken B. J., Carmeliet J. E. (2004). A review of wind-driven rain research in building science. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 92, Is. 13, 1079-1130.
- Fokin K. F. (1973). Stroitel'naâ teplotnika ograždauših častej zdannij. *Strojizdat*, Moskva.
- Janz M. (2000). Moisture transport and fixation in porous materials at high moisture levels. Doctoral dissertation, Report TVBM-1018, Division of Building Materials, *Lund University*, Lundt.
- Kofanov V. A. (2011). Avtomatizaciâ etapa podgotovki ishodnyh dannyh dlâ komp'üternoj programmy „TWiND”, Sovremennye problem matematyk i ivyčislitel'noj tehniki. W: BGTU. V. C. Rubanov (red.), Brest, 42-44.
- Kofanov V. A., Nikitsin V. I. (2004). Polâ vlagosoderžaniâ i napreženij v uvlažennoj stenke pri izotermičeskoj suške, *Vestnik BrGTU, Stroitel'stvo i arhitektura*, Vol. 1, 122-125.
- Künzel H. (1995). Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two- dimensional calculation using simple parameters. *Fraunhofer IRB Verlag*, Stuttgart.
- Nikitsin V. I., Backiel-Brzozowska B. (2012). Methods of determination of liquid transfer coefficient in building materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 55, Is. 15-16, 4318-4322.
- Nikitsin V. I., Backiel-Brzozowska B. (2013). On taking wind-driven rain and capillary characteristics of materials into account while calculating dampness of shielding structures for buildings. W: Modern materials, installations and construction technologies. S. Fic (red.), PSW JPPII, Biała Podlaska, 36-46.
- Nikitsin V.I. I in. (2006). Ocenka izotermičesko govlogo perenosa v zernovoj srede, zapolnâušej silosy i sklady, *Vestnik BrGTU, Stroitel'stvo i arhitektura*, Vol. 1, 100-104.
- Pašinskij V. i in. (2013), Empiričeskaâ ocenka postupleniâ mesâčnyh summ pŕamoj i rasseânojj solnečnojj radiacii. *Energoeffektivnost'*, Vol. 1, 26-29.
- Rahman Ali A., Nikitsin V., Kofanov V. (2006). Wpływ opadów atmosferycznych oraz parametrów przenoszenia wilgoci materiałów konstrukcji osłonowych na ich wilgotność. *Przegląd budowlany*, Vol. 77, No. 6, 39-42.
- Ŝver C. A., Savikovsij I.A (1979). Klimat Bresta. W: Gidrometeoizdat. C. A. Ŝver, I. A Savikovsij (red.), Brest.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF WIND-DRIVEN RAIN ON MOISTURE CONTENT IN CELLULAR CONCRETE WALL BOARDS

Abstract: The non-stationary moisture level of a cellular concrete wall board in a heated utility building located in the northern part of the town of Brest (Belarus), depending on climatic influence, was assessed in this work. The results were obtained both in a calculation experiment and a physical test. The calculation experiment was performed using TWiND computer application elaborated by the authors. It was observed that wind-driven rain intensifying the process of free capillary moisture transfer is the main reason for the high moisture levels in cellular concrete. A comparative analysis of the results of the physical test and the calculation experiment showed that the THSS application elaborated by the authors enabled to predict the actual moisture levels of the shielding structure under study accurately enough when precise data concerning the thermal and physical characteristics of the materials as well as the occurring climatic influences had been submitted.

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

ODBICIE WIĄZKI LASERA OD OBIEKTÓW JEDNORODNYCH MATERIAŁOWO, LECZ O RÓŻNEJ BARWIE – STUDIUM PRZYPADKU

Joanna Agnieszka PAWŁOWICZ*

Wydział Geodezji Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,
ul. Heweliusza 4, 10-724 Olsztyn, Polska

Streszczenie: Technologia skaningu naziemnego pozwala na zebranie danych o obiekcie, dzięki którym możliwe jest otrzymanie wizualizacji trójwymiarowej obiektu, co umożliwia analizowanie go w różnorodny sposób, na przykład wykonanie oceny stanu technicznego budynku oraz zdiagnozowanie różnych nieprawidłowości czy uszkodzeń w jego konstrukcji lub strukturze. Przydatność danych zależy jednak w dużej mierze od sposobu i dokładności wykonanego pomiaru. W niniejszym artykule przedstawiono test ilustrujący zależności pomiędzy różnymi rodzajami różnokolorowych próbek, a parametrem intensywności. Wyniki opracowano przy wykorzystaniu programu Leica Cyclone, w którym pomierzono i zaprezentowano wartości parametru poprzez wizualizację tzw. map intensywności.

Słowa kluczowe: intensywność odbicia, mapa intensywności, skaningu laserowy.

1. Wprowadzenie

Wykorzystanie skanerów laserowych w celu zebrania informacji o obiekcie budowlanym jest coraz bardziej powszechne. Skaningu 3D pozwala na dokładne odwzorowanie każdego detalu z olbrzymią precyzją, której nie można uzyskać stosując klasyczne metody pomiarów. Skanery laserowe poprzez pomiar współrzędnych biegunowych pojedynczych punktów umożliwiają ich opisanie w trójwymiarowej przestrzeni. Każdy z punktów reprezentowany jest przez co najmniej trzy współrzędne (X , Y , Z) odniesione do lokalnego układu skanera. Rejestrowana jest również intensywność (I) odbicia wiązki lasera, którą oznacza się jako czwartą współrzędną (Pawłowicz, 2014). Duże znaczenie ma jakość powracającej wiązki lasera, odbitej od powierzchni celu w kierunku odbiornika. Wpływ na siłę wiązki powracającej mają właściwości odbijające badanej powierzchni obiektu głównie jej kolor, chropowatość, temperatura i wilgotność. Właściwości te mogą przyczynić się do powstawania pewnych, czasem nawet poważnych, błędów podczas skanowania różnych powierzchni.

W literaturze istnieją pozycje, które opisują różne problemy związane z pozyskiwaniem danych metodą naziemnego skaningu laserowego (ang. TLS – *Terrestrial Laser Scanning*). Na podstawie przeprowadzonych już badań (Boehler i Marbs, 2003; Voegtli i in., 2008) – uwzględniając samą tylko barwę skanowanej powierzchni stwierdzono, że jasne kolory mające dość duże zdolności odbijające umożliwiają pomiar chmury punktów

o znacznej gęstości skanowania. Barwa żółta i zielona dążą do otrzymania chmury punktów o wysokiej jakości, tymczasem kolor czerwony powoduje dość spore rozproszenie punktów. Czynniki te mogą znacząco wpływać na opracowania, gdzie dane ze skanera wykorzystywane są przy tworzeniu orzeczenia technicznego budynku i w inżynierii odwrotnej (Pawłowicz i Szafranko, 2016).

2. Badanie obszarów jednolitych materiałowo, lecz o różnej barwie

Barwa obiektu w niektórych przypadkach ma wręcz decydujące znaczenie przy określaniu wartości intensywności odbicia wiązki lasera od takiej powierzchni. W artykule przedstawiono zależności pomiędzy różnymi rodzajami różnokolorowych próbek, a parametrem intensywności. Badanie przeprowadzono w celu ustalenia zdolności odbijających powierzchni płaskiej, wykonanej z takiego samego typu materiału, w zależności od nadanej jej wierzchniej barwy. Fragmenty testowe wybrano kierując się złożonością różnych elementów kolorystycznych. Próbkę odpowiednich obszarów zeskanowano pod stałym kątem padania wiązki lasera i odległością od stanowiska pomiarowego. Następnie przeprowadzono analizę wartości pomierzonych intensywności za pomocą programu Leica Cyclone.

Analizę przeprowadzono na dwóch przykładach. Fragment malowidła na sklepieniu kościoła jest

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: jopaw@uwm.edu.pl

przykładem analizy różnych kolorów matowej farby (przykład A), zaś ołtarz boczny charakteryzuje się połączeniem farb matowych oraz odblaskowych, które to w dość znaczący sposób wyróżniają się w badaniach (przykład B).

W przykładzie A, badano próbki powierzchni matowych o różnej kolorystyce, wyniki poszczególnych elementów nie były ewidentnie zróżnicowane. Barwy czarna i biała są jedynymi kolorami, które stanowią wyróżniają się na tle innych. Natomiast zakres barw od czerwonego poprzez zielony do niebieskiego charakteryzowały się bardzo zbliżonymi wartościami, co również można dostrzec na mapie intensywności obiektu (rys. 1).

Przykład B wykorzystany do analizy, łączy w sobie różne materiały, lecz zasadniczy i najważniejszy wpływ ma tu barwa powierzchni materiału. Przykład A jest typowo jednolitym materiałowo obiektem o różnych barwach i odcieniach.

Ponownie dobierając globalną kolorystykę barw dla poszczególnych wartości parametru intensywności uzyskujemy wyraźny obraz. Zakres wartości intensywności dla przykładu A wynosi od 0,1300 do 0,9010.

Nieco inną sytuację prezentuje skan przykładu B. Mianowicie w jego wypadku charakterystyczny kontrast wizualny jest stanowczo zauważalny. Jest to przykład

wykorzystujący skalę barw z całego dostępnego zakresu. Oznacza to występowanie obszarów cechujących się wartością liczbową parametru intensywności w zasięgu od najmniejszego o wartości 0,0808, aż do największego przyjętego w nim w skali o wartości 0,9745 (rys. 2).

Wartości pomierzonych intensywności przedstawiono w formie tabel wraz z ogólną charakterystyką wykorzystanych próbek (tab. 1-2). W całym teście do analizy poddano próbki odblaskowe oraz matowe o barwie: czerwonej, zielonej, jasno i ciemno brązowej, niebieskiej, szarej, czarnej i białej.

Pomierzone wartości odbicia wiązki w przykładzie A pokrywają się w całości z ich wizualizacją graficzną map intensywności (rys. 1). Wyraźny rozkład wartości średnich zobrazowano na wykresie (rys. 3) Potwierdza on wcześniejsze spostrzeżenia o bliskim zakresie wartości pomiędzy kolorami czerwonym, zielonym, niebieskim i brązowym. Jak również o skrajnych wynikach barwy białej i czarnej.

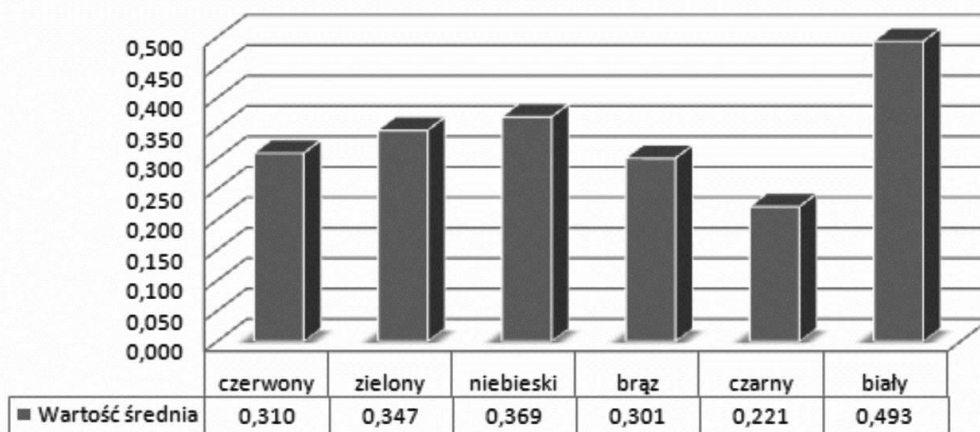
W tabeli 2 zamieszczono próbki wydzielone z fragmentu ołtarza bocznego. Dominują tu elementy delikatnie połyskujące lub w dużej mierze błyszczące, plus jeden element całkowicie matowy. Większość próbek, bo aż cztery z pięciu jest wykonanych z drewna, lecz powlekanych odmiennymi warstwami zewnętrznymi. Dodatkowo do kontrastu wybrano jeden element metalowy.



Rys. 1. Mapa intensywności przykładu A (po lewej) oraz chmura punktów z nałożonym na niej zdjęciem rzeczywistym (po prawej)



Rys. 2. Mapa intensywności przykład B (po lewej) i zdjęcie rzeczywiste (po prawej)



Rys. 3. Wartości średnie parametru intensywności dla przykładu A

Tab. 1. Dane próbek materiałów z przykładu A – wartości parametru intensywności

Rodzaj materiału i tekstura	Kolor	Rodzaj powierzchni	Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
Drewno sosnowe – jednolity matowy	czerwony	gładka	0,3095	0,2280	0,3910
	zielony		0,3470	0,2190	0,4750
	niebieski		0,3688	0,2425	0,4950
	ciemny brąz		0,3010	0,2170	0,3850
	czarny		0,2213	0,1525	0,3100
	biały		0,4930	0,4150	0,5710

Tab. 2. Dane próbek materiałów z przykładu B

Rodzaj materiału i tekstura	Obraz próbki	Kolor	Rodzaj powierzchni	Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
Drewno lipowe – jednolity półmatowy		jasny brąz	gładka	0,3368	0,2186	0,4550
		srebrny		0,3390	0,1150	0,5630
Drewno lipowe – jednolity błyszczący		złoty	lekko nierówna	0,5360	0,1100	0,9620
Drewno lipowe – jednolity matowy		czarny	gładka	0,1955	0,0810	0,3100
Metal – jednolity półmatowy		szary		0,2387	0,0950	0,3824

3. Podsumowanie

Jak wynika z powyższych rozważań, zgodnie z charakterystyką i właściwościami barw odnotowano wysoką wartość liczbową dla elementu błyszczącego barwy złotej sięgającą blisko granicy wartości maksymalnej równej 1,0. Cechuje ją również najwyższa wartość średnia intensywności w stosunku do innych próbek z tego przykładu.

Dla elementu matowego o barwie czarnej zauważono poszerzenie zasięgu minimalnej wartości w porównaniu z próbką koloru czarnego z przykładu A. Element w przykładu A odnotował minimum równe 0,1525, zaś próbka z kolejnego przykładu wartość 0,0810. Spowodowane może to być inną odmianą drewna w obu badanych przypadkach. W przykładzie A występuje drewno sosnowe, natomiast w następnym drewno lipowe.

Próbki drewna półmatowego wykazały bardzo zbliżone wartości średnie intensywności, pomimo różniących się zakresów skrajnych. Element metalowy z wartością średnią intensywności równą 0,2387 plasuje się pomiędzy wyniki próbek drewna matowego i półmatowego, z czego bliżej mu do matowej czarnej próbki.

W przypadku niektórych z próbek występuje pewnego rodzaju margines błędu, który spowodowany jest niewielkimi zakrzywieniami powierzchni elementów. Zjawisko dotyczy głównie drewnianych elementów kolumnowych o barwie srebrnej i złotej. Podczas pomiaru wiązka lasera odbiła się w prawidłowy sposób, zgodnie z właściwościami materiału, tylko na środkowej części elementu, która jest prostopadła do padającej wiązki. Im dalej oddalając się od środka tym bardziej wiązka załamuje się na owalnym kształcie i zmieniają się wartości pomierzonej intensywności. Zjawisko powoduje rozszerzenie zakresu minimalnych wartości próbki o wyniki z obszarów zakrzywionych, które są swego rodzaju nieprawidłowe dla danej barwy i należałoby je odrzucić. Dokładniej proces ten został zbadany, lecz zostanie omówiony w innym opracowaniu.

Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że pomiary za pomocą skanerów laserowych zależą przede wszystkim od jakości powracającej wiązki, odbitej od powierzchni celu, w kierunku odbiornika. Wpływ na siłę wiązki powracającej mają właściwości odbijające badanego obiektu, między innymi głównie jej kolor, chropowatość, temperatura i wilgotność. Właściwości te mogą przyczynić się do powstawania pewnych, czasem nawet poważnych, błędów podczas skanowania i interpretacji

różnych powierzchni. Barwa obiektu w niektórych przypadkach ma wręcz decydujące znaczenie o wartości intensywności odbicia wiązki lasera od takiej powierzchni. „

Skaning laserowy jest jedną z najnowocześniejszych technologii służącą w dużej mierze do pomiarów geodezyjnych, jednak nie tylko, bowiem szereg jego zastosowań otwiera się w coraz to nowszych dyscyplinach życia. Metoda skaningu laserowego prężnie rozwija się i przyczynia się do zwiększenia wydajności i dokładności samego sprzętu badawczego, a co idzie za tym również prowadzonych badań. Przenosząc dane do komputera do specjalistycznego programu i tam w odpowiedni sposób obrabiając je, można uzyskać realistyczne przestrzenne odwzorowanie pomierzonego celu. Nakładając na chmurę punktów cyfrowe zdjęcie, wykonane przez skaner podczas pomiarów terenowych, można wygenerować realistyczny widok badanego obiektu, co przy zastosowaniu inżynierii odwrotnej, skutkuje uzyskaniem modelu istniejącego obiektu, wraz z odzwierciedleniem jego kolorystyki i detali. Utworzona dzięki pomiarowi tą technologią chmura, na którą składają się tysiące pomierzonych punktów, przedstawia nie tylko wiele informacji o kształtach i wymiarach celu, lecz również poprzez pomiar intensywności odbicia wiązki lasera, otrzymuje się dane na temat jego struktury i kolorystyki. Mogłoby to być pomocne w odtworzeniu pierwotnej kolorystyki i rodzaju materiałów, z jakich wykonano np. elewacje budynku zabytkowego czy jego wewnętrzne wyprawy tynkarskie. W tym celu konieczne byłoby wykonanie stratygrafii warstw malarskich i tynku. Porównanie wyników z wzornikiem NCS (*Natural Colour System*), opracowanym przez Scandinavian Colour System Institut AB w Sztokholmie, dało by odpowiedź konserwatorom zabytków, jaki należy kolor zastosować, aby budynek odzyskał pierwotny wygląd. Należałoby pamiętać, że warto wstępnie przeprowadzić próby kolorystyczne *in situ* i dopiero potem ostatecznie określić kolorystykę obiektu.

Literatura

- Boehler W., Marbs A. (2003). Investigating Laser Scanner Accuracy. Institute for Spatial Information and Surveying Technology, FH Mainz, *University of Applied Sciences*, Mainz, Germany, 696-701.
- Pawłowicz J. A., Szafranko E. (2016). Application of reverse engineering in modelling of rural buildings of religious worship. W: *Proceedings of the 15th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, Jelgava, Latvia, 762-766.
- Pawłowicz J. A. (2014). 3D modelling of historic building using data from a laser scanner measurements. *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies*, Vol. 8, 340-345.
- Voegtle T., Schwab I., Landes T. (2008). Influence of different materials on the measurements of terrestrial laser scann. Institute for Photogrammetry and Remote Sensing (IPF), *Univ. of Karlsruhe*, Germany, 1061-1066.

a

REFLECTION OF A LASER BEAM FROM OBJECTS MADE OF HOMOGENOUS MATERIALS OF MULTIPLE COLORS - CASE STUDY

Abstract: The terrestrial scanning technology allows to collect data about an object and use it to create a 3D image thereof and then analyses it in a variety of ways, e.g. by performing an evaluation of the technical condition of a building or by diagnosing different irregularities or damages to its structure. The usefulness of such data depends, to a large extent, on the method and accuracy of measurements. Measurements performed by means of laser scanners depend largely on the quality of the beam reflected from the surface of a target object and returning towards the receiver. The strength of a returning beam is influenced by the reflective properties of the surface of a target object, such as its color, texture, temperature and moisture content. These properties may result in certain, sometimes serious errors during scanning and interpretation of different surfaces. In some cases, the color of a target object is critical for the intensity of reflection of a laser beam from such surface. This article presents a test illustrating the relationship between different types of multicolor samples and the intensity of reflection of a laser beam. The results are presented, among other things, by means of intensity maps.

POTENCJAŁ RYNKOWY REMONTÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM ZIELONEJ GÓRY

Marta SKIBA*, Maria MRÓWCZYŃSKA, Anna BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA

Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę potencjalnych oszczędności energii dla remontów energooszczędnych w budownictwie mieszkaniowym w Zielonej Górze. Potencjał został określony na podstawie technologii i roku wykonania budynków, formy zabudowy i przeważającego sposobu zasilania w ciepło i energię elektryczną. Obliczony potencjał został przedstawiony jako wartość koniecznych nakładów dla zmniejszenia zużycia energii o 1 kWh/m².

Słowa kluczowe: miejska polityka energetyczna, polityka przestrzenna, wzrost efektywności energetycznej w budownictwie mieszkaniowym, sieci neuronowe radialne.

1. Wprowadzenie

Czynniki mające wpływ na konsumpcję energii zależą od wielu rzeczy, między innymi: od klimatu, formy budynku, jego konstrukcji, materiałów i technologii, nośników energii, zastosowanych sposobów ogrzewania, szczelności przegród, itp. Efektywność energetyczna związana jest z kulturą i wiedzą użytkowników dotyczącą energooszczędności. Mieszkańcy budynków mają wpływ na konsumpcję energii poprzez sposób ich użytkowania, w tym przede wszystkim poprzez nastawy temperatur w pomieszczeniach oraz przygotowywanie ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). Wymienione elementy wpływają na stan konsumpcji energii końcowej, a także zależą bezpośrednio od sposobu użytkowania budynku.

Osiągnięcie założonych celów polityki energetycznej wymagać będzie ugruntowania w społeczeństwie przekonania, że zmniejszenie zapotrzebowania na energię opłaci się każdemu gospodarstwu domowemu. Stworzenie pozytywnego klimatu inwestycyjnego, promocja nowych wzorców i upowszechnianie dobrych przykładów prowadzić będzie do wzrostu gospodarczego poprzez wykorzystanie technologii niskoemisyjnych.

Potencjał oszczędności energii i możliwość zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w domach i miastach są wysokie, a korzyść gospodarcza najwyższa w budynkach jednorodzinnych (stanowią one powyżej 70% wszystkich budynków mieszkalnych w kraju), ponieważ sami właściciele decydują o stanie technicznym domu i nie są skazani na wotum większości. Sprawę kluczową będą zatem stanowiły dobre wzorce oraz przykładowe realizacje osiedli niskoemisyjnych, których budynki będą swego rodzaju inspiracją.

Zgodnie z artykułem 9 ust. 1 dyrektywy 2010/31/UE,

który stanowi, aby:

- do dnia 31 grudnia 2020 roku wszystkie nowe budynki były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii;
- po dniu 31 grudnia 2018 roku nowe budynki zajmowane przez władze publiczne, a także będące ich własnością, były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii. Państwa członkowskie opracowują krajowe plany mające na celu zwiększenie liczby budynków o niemal zerowym zużyciu energii. Plany te mogą zawierać założenia zróżnicowane w zależności od kategorii obiektów.

W Polsce cel ten został określony w Krajowym planie mającym na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii, w którym określono w szczególności:

- 1) definicję budynków o niskim zużyciu energii oraz ich szczegółowe cechy;
- 2) działania administracji rządowej podejmowane w celu promowania budynków o niskim zużyciu energii, w tym w zakresie projektowania, budowy i przebudowy budynków w sposób zapewniający ich energooszczędność, a także zwiększenia pozyskania energii ze źródeł odnawialnych w nowych oraz istniejących budynkach;
- 3) harmonogram osiągnięcia celów, o których mowa w punkcie 2.

Budynki mieszkalne wielorodzinne, które są jednym z głównych konsumentów energii w Polsce wymagają przeprowadzenia nie tylko termomodernizacji, ale również podjęcia działań w kierunku zastosowania odnawialnych źródeł energii. Remonty budynków mieszkalnych, zwłaszcza wielorodzinnych mogą generować duże zyski wynikające z zastosowania termomodernizacji i OZE, co w efekcie zmniejszy koszt ich utrzymania.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: M.Skiba@aiu.uz.zgora.pl

2. Remonty budynków do standardu energooszczędnego

Zapotrzebowanie na energię na poziomie miejskim zależy od lokalnych uwarunkowań, takich jak: klimat i położenie geograficzne, układ przeważających w mieście funkcji, energochłonność substancji budowlanej oraz źródła i sposoby dostawy energii. Opisane w literaturze badania dotyczące zapotrzebowania na energię na poziomie miejskim odnoszą się do zużycia rzeczywistego i szacowanego (Balars i in., 2005; Bourdic i Salat, 2012; Bourdic i in., 2012; Fabbri i in., 2012; Yeo i in., 2013; Kopietz-Unger, 2010). Władze niektórych miast zachodnioeuropejskich dostrzegły korzyści wynikające z polityki przestrzennej i transportowej ukierunkowanej na oszczędność wody, przestrzeni i zużycia energii (Yeo i in., 2013). W polskich miastach, bardzo często podejmując inwestycje, nie zwraca się uwagi na ich konsekwencje przestrzenne i koszty, także energetyczne, w przyszłości (Labiosa i in., 2013; Ziobrowski, 2012).

Obecne modele prognozowania zapotrzebowania na energię można przyrównać do modelu ekonomicznego, który uwzględnia: wielkość PKB (Produkt Krajowy Brutto), liczbę ludności i wielkość przemysłu oraz koszt ochrony środowiska (Asadi i in., 2012; Fouquet i Johansson, 2008, Labiosa i in., 2013). Przewiduje się długoterminowe trendy zapotrzebowania na energię elektryczną w skali kraju, które są podstawą kształtowania lokalnej polityki energetycznej. W tym samym czasie na poziomie lokalnym prognozuje się wielkość popytu na energię, w zależności od sposobu dostarczania energii do budynku, urządzeń ogrzewających i chłodzących, uwzględniając takie czynniki, jak: klimat, stan techniczny budynku i jego właściwości fizyczne oraz standard związany z urządzeniami, w które jest wyposażony. Dostawcy energii, dla określenia zapotrzebowania na media, coraz częściej budują modele prognozujące, używając na przykład sztucznych sieci neuronowych. Rzadko stosuje się jednak symulację zużycia energii wspomagającą optymalizację zarządzania miast.

3. Obiekt badań i metoda badawcza

W literaturze przedmiotu nie znaleziono przykładów badań, szacowania i przewidywania – modelowania, dla stref miejskich i miast Europy Wschodniej. Wiele prac opiera się na badaniach poszczególnych budynków, zwłaszcza mieszkalnych, ale nie w skali miasta. Może być to spowodowane wieloletnimi zaniedbaniami i brakiem map cyfrowych, zbioru danych i systemów monitoringu zmian przestrzennych w skali miasta, co też sprawiało problemy, autorom niniejszego artykułu. Pewnym potwierdzeniem tych słów jest fakt, że Uniwersytet Zielonogórski był w 2011 roku wykonawcą strategicznego tematu dotyczącego podnoszenia efektywności energetycznej w skali miasta. Opracowany Energetyczny Audyt Miejski (EAM, 2011) dla miasta Zielona Góra był pierwszym tego typu dokumentem, choć nie wdrożonym (głównie ze względu na skutki ekonomiczne i polityczne).

Przedstawione w pracy badania zostały wykonane dla miasta Zielona Góra, położonego na obszarze zachodniej Polski, w południowo-wschodniej części województwa lubuskiego (51°56'23" szerokości geograficznej północnej oraz 15°30'18" długości geograficznej wschodniej). Przyjmując do analizy dane, dotyczące Zielonej Góry, kierowano się kilkoma cechami charakteryzującymi stan budownictwa w mieście, a które odzwierciedlają średni stan budownictwa w całej Polce. Do tych cech należy:

- wielkość średniej powierzchni użytkowej mieszkania, która w Zielonej Górze wynosi 61,5 m² (średnio w Polsce 62,5 m²),
- wielkość przeciętnej powierzchni użytkowej mieszkania w przeliczeniu na 1 osobę wynosi 24,6 m² (w Polsce średnio 24 m²),
- stale zwiększająca się liczba zarówno budynków mieszkalnych, jak i mieszkań,
- stały wzrost wielkość powierzchni użytkowej mieszkania, stały wzrost jakości i standardu zamieszkania.

W Zielonej Górze, jak w większości miast Polski, struktura budynków jest dość zróżnicowana. Występuje tu zwarta zabudowa pierzejowa w centrum i śródmieściu, gdzie nadal użytkuje się dużo urządzeń grzewczych węglowych. Często są to budynki mieszkalne i mieszkalno-usługowe, zrealizowane w technologii tradycyjnej. Wyróżnia się też budynki w zabudowie jednorodzinnej i wielorodzinnej z lat 50-70 ubiegłego wieku, z przewagą udziału gazu jako źródła zasilania w energię cieplną. Ze względu na technologię realizacji, jakość materiałów i czas w jakim zostały zrealizowane są bardzo energochłonne i często nieocieplone. Właściciele takich budynków z uwagi na duże zapotrzebowanie na ciepło, często wybierają najtańsze nośniki energii, jakimi wciąż pozostają paliwa stałe. Centrum i śródmieście otoczone są pierścieniem osiedli mieszkaniowych o budynkach wielorodzinnych, powstałych w różnych okresach od lat 50 do chwili obecnej. Osiedla wyróżniają się także technologią realizacji zabudowy: tradycyjną, uprzemysłowioną lub mieszaną. Uzupełnienie zabudowy stanowią budynki w zabudowie jednorodzinnej, bliźniaczej i szeregowej wybudowane w technologii tradycyjnej, głównie na przedmieściach (EAM, 2011).

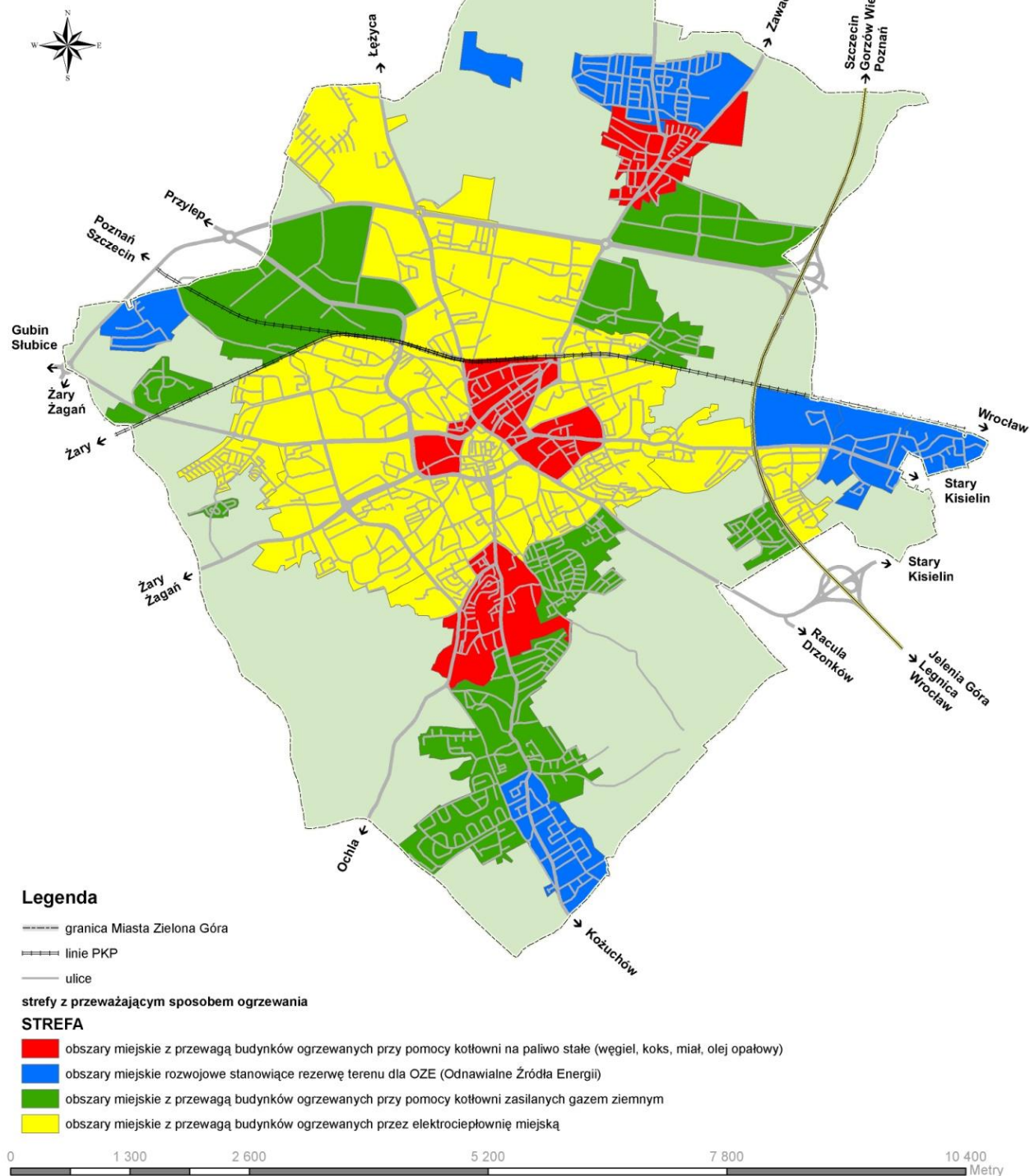
Biorąc pod uwagę brak możliwości wykorzystania informacji zawartych w obowiązujących dla miasta Zielona Góra dokumentach planistycznych, na potrzeby audytu wykorzystano informacje zgromadzone w rejestrze ewidencji gruntów i budynków miasta oraz warstwie budynków z mapy zasadniczej Zielonej Góry. Miasto podzielono na strefy energetyczne (rys. 1):

- strefa energetyczna czerwona – obszary miejskie z przewagą budynków ogrzewanych przy pomocy kotłowni na paliwo stałe (węgiel, miał, koks);
- strefa energetyczna żółta – obszary miejskie z przewagą budynków zasilanych w ciepło przez elektrociepłownię miejską;

Energetyczny Audyt Miejski Zielona Góra

Mapa z podziałem na strefy ze względu
na przeważający sposób ogrzewania

Skala 1:40 000



Rys. 1. Podział miasta Zielona Góra na obszary wynikające z przeważającego nośnika energii wykorzystywanej w celach grzewczych (EAM, 2011)

- strefa energetyczna zielona – obszary miejskie z przewagą budynków ogrzewanych przy pomocy kotłów zasilanych gazem ziemnym (na podstawie EAM (2011) dla miasta Zielona Góra).

Wysokość nakładów inwestycyjnych w strefie zielonej (tab. 1) wynika z zastanej już dość wysokiej efektywności energetycznej budynków. Wygenerowanie następnej oszczędności rzędu 1 (kWh/m²)/rok wymaga poniesienia większych nakładów z uwagi na zastosowanie innowacyjnych rozwiązań (Bazan-Krzywoszańska i in., 2016). Obecnie najczęściej stosuje się działania naprawcze służące oszczędzaniu energii w postaci termomodernizacji (tab. 2). W tabeli 1 nie zwrócono uwagi na konieczność zarezerwowania środków finansowych na opracowanie dokumentacji projektowej i niezbędnych nadzorów, od których także zależy powodzenie w realizacji i jakość zaproponowanych rozwiązań.

Tab. 1. Szacunkowy koszt nakładów inwestycyjnych [zł/m²] dotyczące redukcji rocznego zapotrzebowania na energię o 1 (kWh/m²)/rok (EAM, 2011)

Strefa	Koszt nakładów inwestycyjnych	Szacowane oszczędności
czerwona	18,02 zł/(m ² /rok)	92,10 kWh/(m ² /rok)
żółta	8,22 zł/(m ² /rok)	59,27 kWh/(m ² /rok)
zielona	14,55 zł/(m ² /rok)	31,92 kWh/(m ² /rok)

Na podstawie analizy danych, w wyniku badań społecznych, zebranych metodą ankietowania w wywiadzie bezpośrednim, dotyczących zużycia energii i kosztów eksploatacyjnych lub udokumentowanych oświadczeniami i/lub zaświadczeniami dla budynków według kryterium wieku budynków (nie poddanych jeszcze termomodernizacji), uwzględniających: wielkość, usytuowanie, wiek, poddano analizie zużycie paliwa na cele ogrzewcze i c.w.u. oraz oszacowano energię końcową w budynkach wielorodzinnych i wynikającą z niej jakość energetyczną wybranych do badań budynków.

Tab. 2. Możliwe działania dostosowujące budynki do stanu niskoenergetycznego

Działania naprawcze	
1.	Docieplenie ścian zewnętrznych budynku oraz ocieplenie ścian stykających się z gruntem
2.	Docieplenie stropów nad piwnicami oraz docieplenie stropodachów wentylowanych
3.	Docieplenie pozostawionych mostków liniowych (gzyms, loggie, płyty balkonowe)
4.	Wymiana stolarki okiennej i drzwiowej
5.	Zabudowa loggi cofniętych oraz w niektórych wypadkach rozbiórka balkonów
6.	Płukanie i regulacja instalacji c.o. wraz z ociepleniem
Działania modernizacyjne	
1.	Wykonanie instalacji mechanicznej wyciągowej z odzyskiem ciepła - rekuperator - indywidualne/zbiornicze). Wykonanie instalacji mechanicznej wyciągowej (instalacja, kratki, wentylatory)
2.	Montaż nawiewników higrosterowanych
3.	Wykonanie układu solarnego (kolektory słoneczne, armatura)
4.	Wykonanie układu fotowoltaicznego (panele fotowoltaiczne, armatura)
5.	Wykonanie układu odzysku wody szarej (zbiorniki, armatura, instalacja do WC)
6.	Montaż oświetlenia LED w korytarzach, na klatce i przed wejściem
7.	Wymiana dźwigów osobowych na energooszczędne
8.	Wykonanie układu elektrowni wiatrowej (wiatraki, armatura)

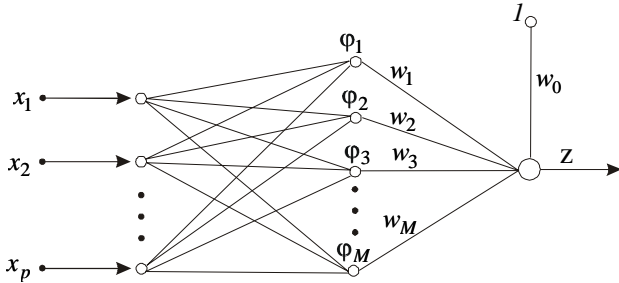
4. Sieci radialne w zastosowaniu do modelowania potencjału

Sztuczne sieci neuronowe odznaczają się mocnymi podstawami teoretycznymi oraz użytecznością w praktyce. Dowolny problem, który może być rozwiązany za pomocą klasycznego modelowania lub metodami statystycznymi, daje się rozwiązać przy użyciu sieci neuronowych (Osowski, 2006). Zdecydowana większość zastosowań sieci neuronowych dotyczy sieci jednokierunkowych wielowarstwowych typu sigmoidalnego. Z matematycznego punktu widzenia sieci tego rodzaju pełnią rolę aproksymacji stochastycznej funkcji wielu zmiennych, która odwzorowuje zbiór zmiennych wejściowych $\mathbf{x} \in R^n$ w zbiór zmiennych wyjściowych $\mathbf{y} \in R^m$.

Aproksymacja stochastyczna funkcji wielu zmiennych realizowana za pomocą sieci neuronowych wielowarstwowych ma charakter globalny, ponieważ odwzorowanie estymowanej funkcji w dowolny punkt przestrzeni następuje w wyniku łącznego pobudzenia wielu neuronów. Komplementarnym sposobem odwzorowania zbioru wejściowego w zbiór wyjściowy jest dopasowanie wielu pojedynczych funkcji aproksymujących do elementów zbioru wartości zadanych

w ograniczonym obszarze przestrzeni wielowymiarowej. Odwzorowanie ma charakter lokalny, natomiast odwzorowanie pełnego wektora wejściowego $\mathbf{x} \in R^n$ w wektor wyjściowy $\mathbf{y} \in R^m$ stanowi rezultat w postaci odwzorowań lokalnych, realizowany przez sieci o radialnych funkcjach bazowych (rys. 2), złożonej z neuronów, które w warstwie ukrytej realizują odwzorowanie (Osowski, 2006; Liao i in., 2003):

$$\mathbf{x} \rightarrow \varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}\|), \quad \mathbf{x} \in R^n \quad (1)$$



Rys. 2. Architektura sieci neuronowej radialnej

Najczęściej stosowaną funkcją radialną φ , która w praktyce daje dobre wyniki, jest funkcja Gaussa (postać uproszczona):

$$\varphi(\mathbf{x}) = \varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (2)$$

gdzie: c_i jest centrami funkcji radialnej, a s_i jest szerokością funkcji radialnej.

Na podstawie odpowiedniej procedury minimalizującej funkcję celu

$$E = \sum_{i=1}^p \left[\sum_{j=1}^M w_j \varphi(\|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_j\| - \mathbf{d}_i) \right]^2 \quad (3)$$

wyznaczamy współrzędne wektora wag \mathbf{w} oraz wartości parametrów c i σ funkcji radialnych.

Uzyskanie zadawalających rezultatów w rozwiązywaniu dowolnego zagadnienia za pomocą sieci neuronowych o radialnych funkcjach bazowych zależy od odpowiedniej architektury sieci, liczby radialnych funkcji bazowych i ich szerokości oraz wartości współczynników uczenia (Gil, 2006; Barsi, 2001). W prezentowanej pracy sieci neuronowe o radialnych

funkcjach bazowych znalazły zastosowanie do modelowania potencjału energetycznego na obszarach miejskich.

W celu rozwiązania postawionego problemu, którym było modelowanie kosztów nakładów inwestycyjnych [zł/m²] dotyczących redukcji rocznego zapotrzebowania na energię o 1 (kWh/m²)/rok, zbudowano i nauczono sieć neuronową o radialnych funkcjach bazowych. Wektor wejściowy stanowiły, przedstawione w sposób numeryczny, punkty reprezentujące poszczególne obszary, natomiast wektor wyjściowy wielkość oszczędność energii. Proces uczenia przeprowadzono dla danych pozyskanych dla 30% rejonów, dla różnej liczby radialnych funkcji bazowych (zmienna architektura), zawsze przy wykorzystaniu jako funkcji radialnej funkcji Gaussa. Jakość przeprowadzonego procesu uczenia została oszacowana z zastosowaniem średniego błędu procentowego (ang. *Average Percentage Error*, APE), zapisanego wzorem

$$APE = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \left| \frac{y_i - d_i}{d_i} \right| \times 100\% \quad (4)$$

oraz pierwiastka błędu średniokwadratowego następującej postaci:

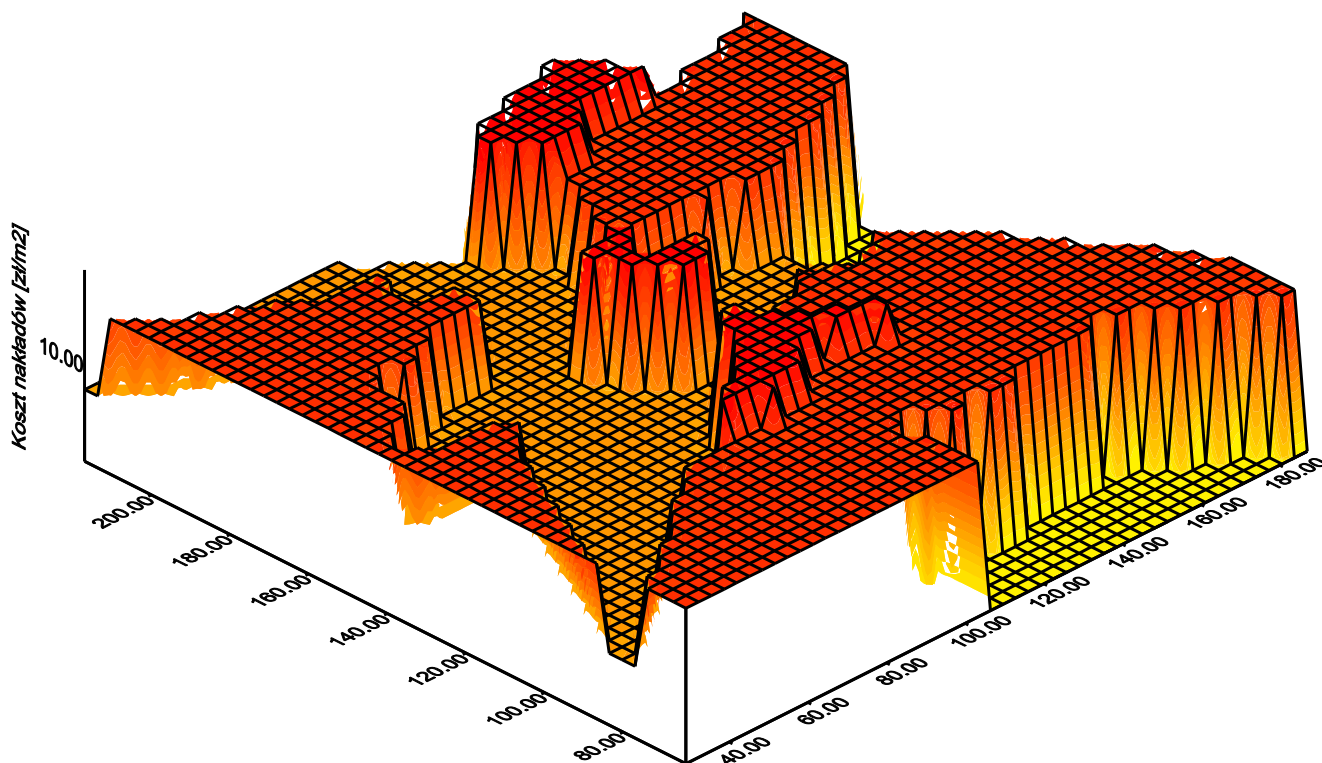
$$RMSE = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - d_i)^2}. \quad (5)$$

5. Wnioski z badań

Wykorzystanie sieci neuronowych radialnych do modelowania szacunkowych koszt nakładów inwestycyjnych [zł/m²] dających redukcję rocznego zapotrzebowania na energię o 1 (kWh/m²)/rok pozwoliło na określenie szacunkowych kosztów z błędem dla zbioru testowego wynoszącym 1,12 zł/m². Błąd ten uzyskano dla sieci radialnej o architekturze 2_5_1, wykorzystującej funkcję bazową Gaussa (pozostałe wyniki uczenia zestawiono w tabeli 3). Uzyskane wyniki zostały zilustrowane graficznie na rysunku 3. Biorąc pod uwagę, że w modelowaniu analizowano dane z obszaru całego miasta Zielona Góra, można stwierdzić, że uzyskane wyniki uczenia i testowania sieci są bardzo satysfakcjonujące.

Tab. 3. Wyniki uczenia i testowania sieci o radialnych funkcjach bazowych

Architektura sieci	Średni błąd procentowy APE [%]		Pierwiastek błędu średniokwadratowego RMSE [zł/m ²]	
	Zbiór uczący	Zbiór testowy	Zbiór uczący	Zbiór testowy
2_3_1	81,5	79,2	2,18	2,56
2_4_1	89,2	88,7	1,45	1,51
2_5_1	94,8	91,5	0,85	1,12
2_10_1	95,2	87,6	0,74	1,58
2_15_1	95,6	80,5	0,71	2,02



Rys. 3. Model szacunkowych koszt nakładów inwestycyjnych [zł/m²] dotyczących redukcji rocznego zapotrzebowania na energię o 1 (kWh/m²)/rok

Na podstawie przeprowadzonych analiz wynika, że największe szacunkowe koszty inwestycyjne będą występowały na obszarach o zabudowie najstarszej (sprzed 1945 roku), zwartej, o niskim standardzie, występującej w ścisłym centrum i na historycznych przedmieściach Zielonej Góry (rys. 3).

Literatura

- Asadi E., Da Silva M., Antunes C., Dias L. (2012). A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB. *Building and Environment*, Vol. 56, 370-378.
- Balaras C., Drousta K., Dascalaki E., Kontoyiannidis S. (2005). Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 37, 429-442.
- Barsi A. (2001). Performing coordinate transformation by artificial neural network. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 4/2001.
- Bazan-Krzywoszańska A., Mrówczyńska M., Skiba M., Łączak A. (2016). Economic conditions for the development of energy efficient civil engineering using RES in the policy of cohesion of the European Union (2014-2020). Case study: The town of Zielona Gora. *Energy and Buildings*, Vol. 118, 170-180.
- Bourdic L., Salat S. (2012). Building energy models and assessment systems at the district and city scale: a review. *Building Research and Information*, Vol. 40 (4), 518-526.
- Bourdic L., Salat S., Nowacki C. (2012). Assessing cities: a new system of cross-scale spatial indicators. *Building Research and Information*, Vol. 40 (5), 592-605.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz. Urz. UE L 153 z 18.06.2010, str. 13).
- Energetyczny Audyt Miejski (2011) dla miasta Zielona Góra, Zadanie badawcze nr 1: Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie. Umowa Nr SP/B/1/91454/10, NCBiR 2010, Zielona Góra, 2011.
- Fabbi K., Zuppiroli. M., Ambrogio K. (2012). Heritage buildings and energy performance: Mapping with GIS tools. *Energy and Buildings*, Vol. 48, 137-145.
- Fouquet D, Johansson Th. (2008). European renewable energy policy at crossroads. Focus on electricity support mechanisms. *Energy Policy*, Vol. 36, 4079-4092.
- Gil J. (2006). Przykłady zastosowań sieci neuronowych w geodezji. *Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego*, Zielona Góra.
- Kopietz-Unger J. (2010). Założenia planowania przestrzennego na rzecz ochrony klimatu i oszczędności energii. *Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego*, Zielona Góra.
- Labiosa W., Forney W., Esnard A., Mitsova-Boneva D., Bernknopf R., Hearn P., Hogan D., Pearlstone L., Strong D., Gladwin H., Swain E. (2013). An integrated multi-criteria scenario evaluation web tool for participatory land-use planning in urbanized areas: The Ecosystem Portfolio Model. *Environmental Modeling & Software*, Vol. 41, 210-222.
- Liao Y., Fang S., Nuttle H. (2003). Relaxed conditions for radial – basis function networks to be approximators. *Neural Networks*, Vol. 16, 1019-1028.
- Osowski S. (2006). Sieci neuronowe. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.
- Uchwała Nr 91 Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 roku w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu

zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.
MP, z dnia 16 lipca 2015 r. poz. 614.

Yeo I., Yoon S., Yee J. (2013). Development of an urban energy demand forecasting system to support environmentally friendly urban planning. *Applied Energy*, Vol. 110, 304-317.

Ziobrowski Z. (2012). Urbanistyczne wymiary miast. *Instytut Rozwoju Miast*, Kraków.

MARKET POTENTIAL FOR ENERGY EFFICIENT RENOVATIONS IN HOUSING OF ZIELONA GÓRA

Abstract: The paper presents an analysis of conditional energy savings for energy-efficient renovation of housing in Zielona Góra. The potential was determined on the basis of technology and a year of the construction of buildings, kind of buildings and dominating way of heat and power supply. The calculated potential was presented as the value of the necessary investments to reduce energy consumption by 1 kWh/m².

ALTERNATYWNE METODY OCENY ZGODNOŚCI WYTRZYMAŁOŚCI BETONU NA ŚCISKANIE DLA MAŁYCH GRUP WYNIKÓW BADAŃ

Elżbieta SZCZYGIELSKA^{a*}, Viktor TUR^b

^a Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

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

Streszczenie: W artykule przedstawiono dwa nowe kryteria zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie, które mogą stanowić alternatywę do oceny zgodności przeprowadzanej według zaleceń PN-EN 206:2014-04. Kryteria te zostały opracowane z wykorzystaniem statystyk porządkowych przy dotrzymaniu zalecanego przez ISO 12491:1997 poziomu ufności i dają możliwość przeprowadzenia oceny zgodności na podstawie małych grup wyników badań bez znajomości zarówno typu rozkładu wytrzymałości betonu na ściskanie w populacji, jak i odchylenia standardowego. Stosowanie nowych kryteriów pozwala na wyeliminowanie niepewności, jakie występują przy ocenie zgodności na etapie produkcji początkowej według PN-EN 206:2014-04. Zaprezentowana w artykule innowacyjna koncepcja oceny zgodności może zostać zastosowana również w ocenie identyczności dotyczącej wytrzymałości na ściskanie oraz przy opracowaniu wyników oceny wytrzymałości w istniejących konstrukcjach, przy wykonywaniu ekspertyz stanu technicznego budynków.

Słowa kluczowe: beton, kryteria zgodności, statystyki porządkowe.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z zaleceniami PN-EN 206:2014-04 *Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*, producent betonu zobowiązany jest do deklarowania właściwości betonu zawartych w specyfikacji oraz dokumentowania wyników badań przeprowadzanych w ramach kontroli zgodności. Niewątpliwie najważniejszą z tych właściwości jest wytrzymałość na ściskanie, która jest podstawowym parametrem obliczeniowym przy projektowaniu konstrukcji.

W artykule został poruszony problem oceny zgodności betonu z deklarowaną przez producenta klasą wytrzymałości na ściskanie w sytuacji, kiedy zgodność orzekana jest na podstawie oceny małych zbiorów wyników badań.

W ujęciu ogólnym producent, deklarując zgodność dotyczącą wytrzymałości na ściskanie, zapewnia odbiorcę, że produkowany beton jest odpowiedniej klasy wskazanej w specyfikacji przez wytrzymałość charakterystyczną. W terminologii statystyki wytrzymałość charakterystyczna betonu (f_{ck}) jest kwantylem rzędu 0,05 w rozkładzie wytrzymałości na ściskanie. Zgodność z deklarowaną klasą wytrzymałości powinna być orzekana na końcu każdego z przyjętych przez producenta okresów oceny, po sprawdzeniu odpowiednich kryteriów, stosownie do etapu produkcji (początkowej lub ciągłej).

Na obu etapach produkcji sprawdzany jest każdy indywidualny wynik badania oraz średnia arytmetyczna. Kryterium dotyczące średniej, w przypadku produkcji początkowej, zostało oznaczone w znowelizowanej normie PN-EN 206:2014-04 jako metoda A, zaś w przypadku produkcji ciągłej – jako metoda B. Należy zaznaczyć, że producent nadal może oceniać zgodność stosując metodę A również w sytuacji, kiedy produkcja przejdzie w fazę ciągłą.

Norma PN-EN 206:2014-04 wprowadza także alternatywną metodę oceny zgodności na etapie produkcji ciągłej, polegającą na stosowaniu kart kontrolnych. Metoda ta, określona jako metoda C, rekomendowana jest do wytwórni betonu posiadających certyfikat zakładowej kontroli produkcji. Karty kontrolne Cusum zostały szczegółowo opisane przez Szczygielską i Tura (2015).

Jednak plan badań wrywkowych i normowa procedura oceny zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie, przeprowadzana na podstawie małej liczby wyników badań (etap produkcji początkowej), posiada pewne niedoskonałości, które opisywali, na przykład Beal (2009, 2014), Brunarski (2009) czy Skrzypczak (2013).

Główny problem związany jest z oceną statystyczną przeprowadzaną na podstawie bardzo małych zbiorów wyników badań (o liczebności 3) oraz ograniczonej informacji o badanej populacji.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: e.szczygielska@dydaktyka.pswbp.pl

2. Problemy związane z oceną zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie przeprowadzanej na podstawie małej liczby wyników według PN-EN 206:2014-04

W przypadku stosowania podwójnych kryteriów na etapie produkcji początkowej ($f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ oraz $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$) wyniki badania wytrzymałości dzielone są na serie 3-elementowe. Serie te mogą się pokrywać lub nie, norma PN-EN 206:2014-04 dopuszcza oba podejścia. Zgodność za przyjęty okres oceny zostaje potwierdzona, gdy wszystkie serie spełniają jednocześnie oba kryteria. Należy podkreślić, że jeżeli producent ocenia zgodność na podstawie więcej niż jednej serii (na przykład gdy w okresie oceny uwzględnia 6 wyników), wówczas realizowany jest wielostopniowy plan badania, który wiąże się ze zwiększonym ryzykiem odrzucenia dobrej partii betonu (mniejsze prawdopodobieństwo akceptacji przy małej wadliwości).

Na przykład, wyniki przeprowadzonych badań własnych pokazały (Szczygielska, 2015), że jeżeli rzeczywista wadliwość (to jest odsetek wyników pomiaru wytrzymałości poniżej f_{ck}) wynosi 5% i odchylenie standardowe jest na poziomie 3 MPa, wówczas prawdopodobieństwo akceptacji (to znaczy że prawdopodobieństwo potwierdzenia deklarowanej klasy wytrzymałości), w przypadku oceny zgodności przeprowadzonej na podstawie jednej serii 3 elementowej wynosi 0,706. Natomiast, przy tym samym poziomie jakości produkcji (wadliwość 5% i odchylenie standardowe 3 MPa) prawdopodobieństwo akceptacji spada do wartości 0,498, gdy ocena zgodności przeprowadzana jest na podstawie dwóch niepokrywających się serii (6 wyników). W przypadku oceny zgodności na tych samych 6-u wynikach i pokrywających się seriach (cztery serie), prawdopodobieństwo akceptacji obniża się do poziomu 0,410. Oznacza to, że szanse na potwierdzenie deklarowanej klasy wytrzymałości w przypadku betonu spełniającego wymagania jakościowe spadają z poziomu około 70% do poziomu około 40-50%, w sytuacji kiedy producent zdecyduje się na przeprowadzenie oceny zgodności na podstawie dwukrotnie większej liczby wyników. Należy podkreślić, że poprawnie opracowany plan badań statystycznej kontroli jakości opartej na kontroli wyrzykowej powinien zapewnić wzrost prawdopodobieństwa akceptacji przy zwiększaniu liczby ocenianych wyników.

Kolejnym problemem związanym ze stosowaniem kryteriów właściwych dla etapu produkcji początkowej jest zależność prawdopodobieństwa akceptacji od odchylenia standardowego (Woliński i Skrzypczak, 2006). Paradoksalnie wzrost dyspersji wyników zwiększa szansę na spełnienie normowych kryteriów zgodności. Jest to kolejny argument przemawiający za tym, że ten plan badania zgodności opiera się na niewłaściwie dobranym kryterium. Podnoszenie poziomu jakości produkcji, scharakteryzowanej przez spadek wartości odchylenia standardowego, powinno zapewniać wzrost prawdopodobieństwa akceptacji.

Natomiast analiza średniej jakości po kontroli (Szczygielska, 2015) pokazała, że wymagania $AOQL \leq 5\%$ spełnia plan badania zgodności w przypadku, kiedy odchylenie standardowe nie przekracza 3 MPa (ocena na podstawie jednej serii 3-elementowej). Ponadto, jak przedstawiono w (Tur i in., 2014), kryterium $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$ zaczyna wyraźnie wpływać na wynik oceny tylko przy znacznej dyspersji i wadliwości powyżej 15%.

Należy podkreślić również fakt, że stosowanie normowych kryteriów zgodności do oceny małych zbiorów wyników badań (poniżej 15 elementów) nie zapewnia kompromisu między ryzykiem odbiorcy a ryzykiem producenta, co jest wymagane przy opracowywaniu racjonalnych planów badania jakości. Ważnym zagadnieniem, dotychczas nie sygnalizowanym, jest również wpływ kształtu próbki (kostka czy cylinder) na wynik oceny zgodności. Gdyby producent betonu stosował próbki walcowe do oceny zgodności według normowej metody A, wówczas miałyby mniejsze szanse na potwierdzenie deklarowanej zgodności.

W związku ze zdiagnozowanymi niedoskonałościami kryteriów normowych, opracowano nową metodę oceny zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie, która z powodzeniem mogłaby zostać zaakceptowana w kraju jako alternatywna metoda w przypadkach, kiedy dysponuje się ograniczoną liczbą informacji o populacji, z której pochodzą wyniki (brak znajomości typu rozkładu prawdopodobieństwa oraz brak danych o odchyleniu standardowym w populacji). Należy wspomnieć, że opisana w artykule autorska metoda została zweryfikowana w warunkach produkcji, oraz że trwają prace nad jej wdrożeniem za granicą, w Białorusi (STB-EN 206:2014 (015 BY)) *Beton. Trebowania, swojstwa, proizvodstvo i sootvetstwie*.

3. Kryterium zgodności opracowane z wykorzystaniem statystyk porządkowych

Metoda wykorzystująca statystyki porządkowe do statystycznej kontroli jakości materiałów i wyrobów budowlanych rekomendowana jest w ISO 12491:1997 *Statistical methods for quality control of building materials and components*, jednak nie była dotychczas wykorzystywana przy opracowywaniu kryteriów zgodności. Zastosowanie statystyk porządkowych w ocenie zgodności betonu wymagało opracowania nowych estymatorów kwantyli niskich rzędów, gdyż obecnie znane formuły nie pozwalały na uzyskanie oceny estymatora poza zakresem próby empirycznej. Konieczne było opracowanie wzoru umożliwiającego ekstrapolację. Problem ten został rozwiązany przez Szczygielską (2015). Sformułowano dwie postacie oszacowania kwantyla rzędu 0,05, przy wykorzystaniu liniowej aproksymacji dwu i trzypunktowej do wyników poddanych transformacji logarytmicznej.

Z uwagi na dwie alternatywne metody wyznaczania estymatora wytrzymałości charakterystycznej betonu, nowa postać kryterium zgodności również została

przedstawiona w dwóch formach:

- CC2-A – kryterium zgodności oparte na aproksymacji dwupunktowej (*Conformity Criterion based on two-point Approximation*)
- CC3-A – kryterium zgodności oparte na aproksymacji trzypunktowej (*Conformity Criterion based on three-point Approximation*)

3.1. Kryterium CC2-A

Kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie opracowane przy zastosowaniu statystyk porządkowych i wykorzystaniu liniowej aproksymacji dwupunktowej (CC2-A) dla serii wyników o liczebności od 3 do 13 ma postać:

$$f_{c2} \geq f_{ck} + kR_{21} \quad (1)$$

gdzie: f_{ck} jest wytrzymałością charakterystyczną betonu, f_{c2} jest drugą wartością w uporządkowanej rosnąco serii wyników, k to współczynnik testowy (tab. 1), a R_{21} jest rozstępem między dwoma najmniejszymi wynikami, to znaczy $R_{21} = f_{c2} - f_{c1}$.

Ocena zgodności według kryterium CC2-A wymaga wyznaczenia dwóch minimalnych wyników w ocenianej serii i sprawdzenia kryterium (1), z odpowiednim współczynnikiem k . Współczynnik testowy k zależy od liczby wyników w serii (n) i został obliczony na podstawie formuły:

$$k = \frac{\ln(0,5/\beta_2)}{\ln(\beta_1/\beta_2)} \quad (2)$$

gdzie β_i oznacza prawdopodobieństwo $P(X_{i:n} \leq X_{0,05})$.

Szczegóły dotyczące wyrażenia współczynnika k za pomocą wzoru (2) przedstawiono w (Szczygielska i Tur, 2013), zaś jego wartości zawiera tabeli 1.

Ocena planu badania zgodności metodą CC2-A, przeprowadzona metodą symulacji Monte Carlo pokazała, że prawdopodobieństwo akceptacji nie zależy od odchylenia standardowego ani od typu rozkładu w populacji. Przy wadliwości 5% i $n = 3$ prawdopodobieństwo akceptacji wynosi 0,705 a uzyskana wartość jest zbliżona do prawdopodobieństw akceptacji (P_a) otrzymanych w (Woliński i Skrzypczak, 2006) dla normowych kryteriów na etapie produkcji ciągłej ($P_a = 0,715$ dla $\sigma = 2$ MPa, $P_a = 0,702$ dla $\sigma = 6$ MPa).

Tab. 1. Wartości współczynnika k w zależności od liczby wyników n w serii

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
k	1,421	1,384	1,344	1,304	1,264	1,223	1,183	1,143	1,103	1,062	1,021

Tab. 2. Wartości współczynników k_1 i k_2 w zależności od liczby wyników n w serii

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
k_1	0,948	0,946	0,933	0,917	0,900	0,882	0,864	0,846	0,828	0,810	0,792
k_2	0,400	0,390	0,386	0,384	0,383	0,382	0,382	0,381	0,381	0,380	0,380

W ocenie zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie przy wykorzystaniu kryterium CC2-A producent sam decyduje, ile wyników będzie oceniał i zawsze będzie to plan jednostopniowy. Ponadto, im większa będzie wartość n , tym „lepszy” będzie plan badania zgodności. Wymagania AOQL $\leq 5\%$ są spełnione już przy $n = 5$.

3.2. Kryterium CC3-A

Druga postać nowego kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie (CC3-A) wykorzystuje oszacowanie wytrzymałości charakterystycznej betonu wyznaczone z trzech najmniejszych wyników badań otrzymanych w okresie oceny. Kryterium zgodności CC3-A dla serii wyników o liczebności od 3 do 13 ma postać:

$$f_{c3} \geq f_{ck} + k_1R_{31} + k_2R_{32} \quad (3)$$

gdzie: f_{ck} jest wytrzymałością charakterystyczną betonu, f_{c3} jest trzecią wartością w uporządkowanej rosnąco serii wyników, k_1 i k_2 to współczynniki testowe (tab. 2) zaś $R_{31} = f_{c3} - f_{c1}$ oraz $R_{32} = f_{c3} - f_{c2}$ oznaczają rozstępy między odpowiednimi najmniejszymi wynikami (trzecim i pierwszym oraz trzecim i drugim).

Do opracowania kryterium (3) wykorzystano autorski estymator kwantyla rzędu 0,05 (${}^E X_{0,05}$), wyrażony jako kombinacja liniowa trzech minimalnych wyników w uporządkowanej rosnąco serii:

$${}^E X_{0,05} = k_1 X_{1:n} + k_2 X_{2:n} + k_3 X_{3:n} \quad (4)$$

ze współczynnikami k_1 i k_2 z tabeli 2. Współczynnik $k_3 = 1 - (k_1 + k_2)$.

Przy wyznaczaniu oszacowania kwantyla (4) przyjęto model liniowej funkcji regresji dla punktów o odciętych poddanych transformacji logarytmicznej. Równanie prostej regresji dopasowano do trzech punktów $(\ln \beta_1, X_{1:n})$, $(\ln \beta_2, X_{2:n})$, $(\ln \beta_3, X_{3:n})$. Oszacowanie kwantyla rzędu 0,05 jest wartością tej funkcji dla argumentu 0,5.

Kryterium zgodności CC3-A w porównaniu z CC2-A pozwala na obniżenie ryzyka producenta przy małych wadliwościach produkowanego betonu (na przykład dla wadliwości 5% i $n = 3$, $P_a = 0,755$).

Ponadto, przeprowadzone badania pokazały, że przy stosowaniu kryterium CC3-A do oceny zgodności, wymagania AOQL są spełnione już od $n = 6$. Oznacza to, że zgodność zostanie potwierdzona gdy $f_{c3} \geq f_{ck} + 0,917R_{31} + 0,384R_{32}$.

Według przyjętej metodologii wraz ze wzrostem liczby wyników w okresie oceny następuje przemieszczanie się oczekiwanego oszacowania dopuszczalnej wadliowości (Szczygielska, 2015). W związku z tym, zmienia się zarówno postać kryterium, jak i współczynniki testowe.

Na przykład kryterium CC3-A w przypadku oceny zgodności na podstawie $n = 15$ wyników przyjmuje postać: $f_{c4} \geq f_{ck} + 0,824R_{42} + 0,506R_{43}$, zaś dla serii o liczebności $n = 35$ postać $f_{c5} \geq f_{ck} + 1,101R_{53} + 0,228R_{54}$.

4. Weryfikacja nowego kryterium zgodności

Jedną z metod weryfikacji planów badania zgodności jest wykorzystanie funkcji operacyjno-charakterystycznych (OC) z uwzględnieniem granic stref zagrożeń wprowadzonych przez Taerwe, określających obszar nieekonomiczny i niebezpieczny. Wykresy funkcji OC powinny przebiegać między granicami tych stref.

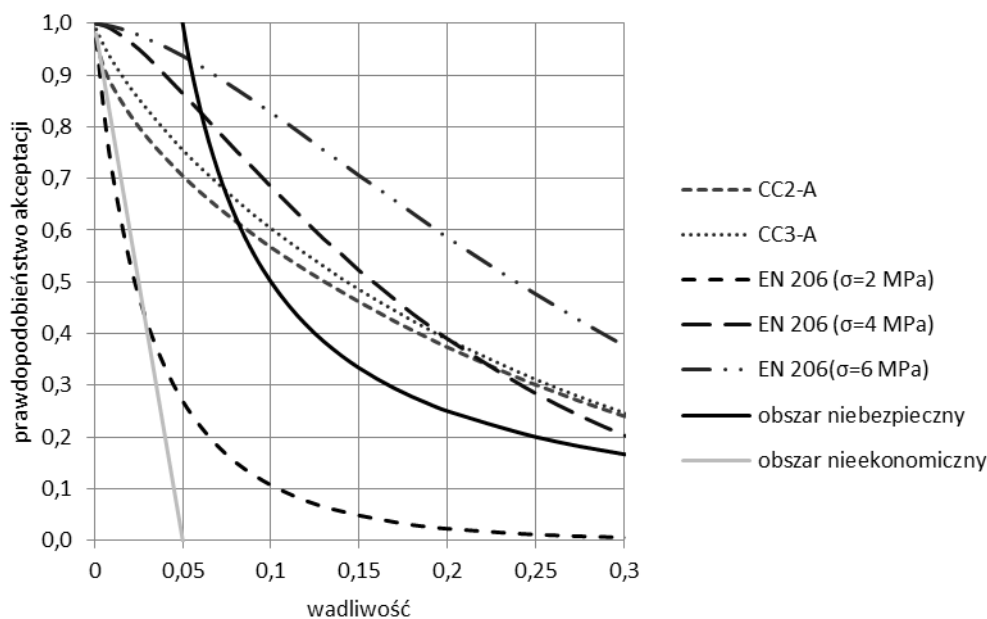
Według wymagań ISO 12491:1997 plan kontroli wrywkowej powinien być tak dobrany, aby w jednakowym stopniu zabezpieczał interesy producenta i odbiorcy. Ryzyko producenta jest tu rozumiane jako ryzyko związane z negatywnym wynikiem oceny zgodności „dobrych” partii betonu, to znaczy spełniających wymagania wytrzymałościowe. Jak wynika

z przebiegu krzywych OC (rys. 1), kiedy stosuje się kryteria normowe, wysokiemu ryzyku producenta może towarzyszyć niskie ryzyko odbiorcy (przypadek $\sigma = 2$ MPa) i odwrotnie, niskiemu ryzyku producenta – wysokie ryzyko odbiorcy (na przykład przy $\sigma = 6$ MPa). Gdyby ocenę zgodności przeprowadzono według kryteriów CC2-A lub CC3-A na małych zbiorach wyników badań, możliwe byłoby zaprojektowanie składu mieszanki betonowej pod wymaganą średnią wytrzymałość tak, aby te ryzyka były zrównoważone.

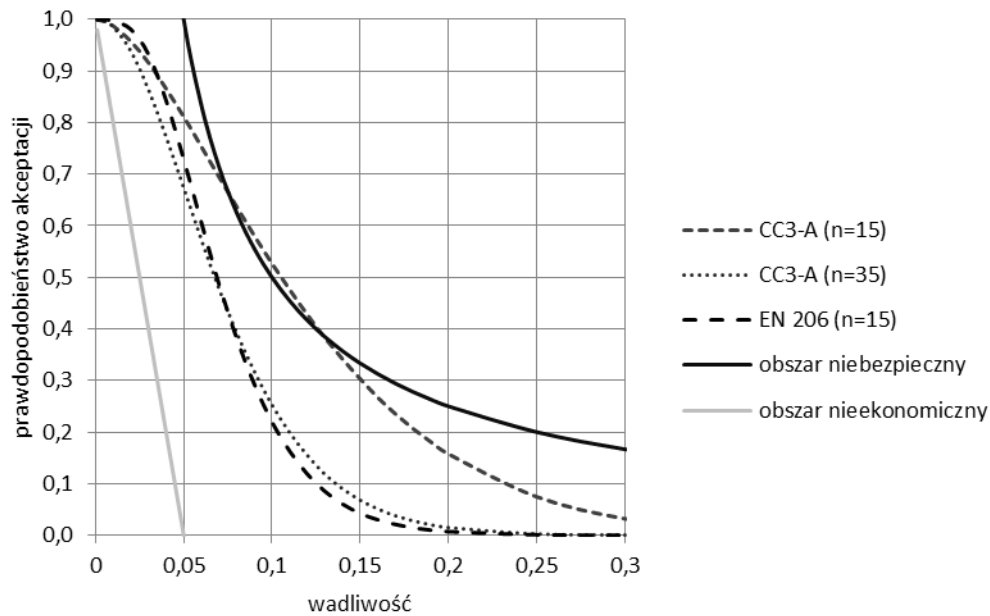
Ponadto, ocena zgodności przeprowadzona według kryteriów CC2-A i CC3-A pozwala przewidzieć ryzyko odbiorcy związane z zakupem betonu niespełniającego wymagań wytrzymałościowych. Normowe kryteria nie stwarzają takiej możliwości, ponieważ ryzyko zarówno producenta jak i odbiorcy, zależy od odchylenia standardowego, które nie jest znane na etapie produkcji początkowej.

Należy podkreślić, że przy ocenie zgodności według kryteriów CC2-A i CC3-A zwiększenie liczby wyników w okresie oceny prowadzi do obniżenia ryzyka związanego z „odrzuconiem” dobrych partii betonu, które zbliża się do poziomu, jaki występuje przy ocenie zgodności na etapie produkcji ciągłej według podwójnego kryterium PN-EN 206:2014-04 (metoda B) przy jednostopniowym planie badania dla $n = 15$.

Moc dyskryminacyjna alternatywnych kryteriów zgodności zwiększa się wraz ze wzrostem liczby wyników w okresie oceny. W przypadku planu badania zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie przy zastosowaniu kryterium CC3-A wpływ ten przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Krzywe OC planów badania zgodności według PN-EN 206:2014 oraz nowych kryteriów zgodności dla grup wyników o liczebności $n = 3$ z uwzględnieniem stref zagrożeń



Rys. 2. Krzywe OC planów badania zgodności według PN-EN 206:2014 ($n = 15$, metoda B) oraz nowego kryterium zgodności CC3-A ($n = 15$ i $n = 35$)

5. Podsumowanie

Opracowana metodologia zmienia podejście do badania zgodności na etapie produkcji początkowej. Stosowanie nowych kryteriów zgodności opracowanych przy wykorzystaniu statystyk porządkowych nie wymaga podziału zbioru wyników zgromadzonych w okresie oceny na serie o liczebności $n = 3$. Ocena zgodności może być przeprowadzana na podstawie całego zbioru dostępnych wyników. Kiedy beton produkowany jest w małych objętościach, producent często nie ma możliwości spełnienia wymagań, jakie norma PN-EN 206:2014-04 stawia produkcji ciągłej. Oceniając zgodność według normowych kryteriów dla produkcji początkowej narażony jest na wysokie ryzyko zakwalifikowania „dobrej” partii betonu jako niezgodnej z deklarowaną klasą wytrzymałości, gdy proces produkcji przebiega stabilnie, tzn. w warunkach niskich odchyłach od średniej. Ocena zgodności według nowej metody pozwoli zabezpieczyć producenta przed popełnieniem błędu pierwszego rodzaju, czyli odrzuceniem betonu faktycznie spełniającego wymagania wytrzymałościowe, niezależnie od odchylenia standardowego.

Główną zaletą zaproponowanych kryteriów zgodności jest to, że są uzasadnione statystycznie i pozwalają na wyeliminowanie niepewności związanych z oceną zgodności w warunkach produkcji początkowej. Wynik oceny zgodności przeprowadzonej z wykorzystaniem nowych kryteriów nie zależy ani od typu rozkładu ani też od kształtu próbek pobranych w celu uzyskania indywidualnego wyniku badania.

Zaprezentowane nowe podejście do oceny zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie jest uniwersalne. Opracowana procedura obliczania estymatora kwantyla z wykorzystaniem statystyk porządkowych może zostać zastosowana również w ocenie identyczności betonu dotyczącej wytrzymałości na ściskanie oraz przy ocenie

wytrzymałości betonu w istniejących konstrukcjach, na przykład przy wykonywaniu ekspertyz stanu technicznego budynków, a także wszędzie tam, gdzie występuje ograniczony dostęp do informacji na temat badanego zjawiska.

Literatura

- Beal A.N. (2009). Concrete strength testing - are the code writers getting it right?. *The Structural Engineer*, Vol. 87, No. 10, 73.
- Beal A.N. (2014). Concrete specification and testing – is BS EN 206 fit for purpose?. *Concrete*, Vol. 48, No. 3, 35-36.
- Brunarski L. (2009). Podstawy matematyczne kształtowania kryteriów zgodności wytrzymałości materiałów. *ITB*, Warszawa.
- Skrzypczak I. (2013). Analiza kryteriów oceny jakości betonu oraz ich wpływu na ryzyko producenta i odbiorcy. *OWPRz*, Rzeszów.
- Szczygielska E. (2015). Kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie opracowane na podstawie statystyk porządkowych. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok.
- Szczygielska E., Tur V. (2013). Kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie opracowane na podstawie statystyk porządkowych. *Budownictwo i Architektura*, Vol. 12 (3), 223-230.
- Szczygielska E., Tur V. (2015). Problemy związane z zastosowaniem kart kontrolnych Cusum do oceny zgodności betonu w świetle PN-EN 206:2014-04. W: *Nowoczesne materiały, Techniki i technologie we współczesnym budownictwie, II Konferencja Naukowo-Techniczna TECH-BUD`2015*, PZITB, Kraków, 309-318.
- Tur V., Derečennik S.S., Szczygielska E., Derečennik A.S. (2014). Statičeskij kontrol" pročnosti betona na szatie v sootvetstvii s trebovaniami STB EN 206-1:2000 i GOST 18105-2010 (EN 206-1:2000; NEQ). *Vestnik BGTU*, Vol. 85, No 1, 113-136.

Woliński S., Skrzypczak I. (2006). Kryteria statystyczne zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie. *Materiały Budowlane*, nr 402 (2), 20-25.

ISO 12491:1997 Statistical methods for quality control of building materials and components. European Standard, CEN.

STB-EN 206:2014 (015 BY) - Beton. – Trebowania, swojstwa, proizvodstvo i sootwetstwie (1-st.Draft) – 2015 (in Russian).

ALTERNATIVE METHODS OF THE CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH COMPLIANCE ASSESSMENT BASED ON SMALL GROUPS OF TEST RESULTS

Abstract: The article presents two new compliance criteria for assessment of the conformity concrete compressive strength, which can be used as an alternative method to the conformity assessment procedure in accordance with PN-EN 206: 2014-04. These criteria were developed using order statistics, when fulfilled, recommended by ISO 12491: 1997 confidence level and make it possible to assess compliance based on small groups of test results without the prior information about the type of PFD and the standard deviation. The application of the new criteria allows to eliminate the uncertainty that occur when the compatibility of concrete compressive strength at the initial production stage according to PN-EN 206: 2014-04 is assessing. Presented a new method can also be used in the identity testing of compressive strength and assessment of concrete strength in the existing structures.