

mgr inż. Krzysztof Falkowski¹⁾

Implementacja kompozytów cementowych modyfikowanych emulsją bitumiczną w warunkach przemysłowych

Implementation of cement composites modified bitumen emulsion in industrial conditions

DOI: 10.15199/33.2015.04.14

Streszczenie. W praktyce budowlanej szczególnie dużo problemów nastęcza wymagania obniżenia nasiąkliwości betonu często stawiane w Szczegółowych Specyfikacjach Technicznych w budownictwie komunikacyjnym i hydrotechnicznym. Ma ono na celu ograniczenie oddziaływań agresywnego środowiska wobec matrycy cementowej i powinno być brane pod uwagę już na etapie projektowania składu mieszanki betonowej. Prezentowane badania potwierdzają, iż w warunkach przemysłowych, w wyniku zastosowania domieszki bitumicznej, możliwe jest spełnienie obojętnych kryteriów nasiąkliwości $n_w \leq 4\%$, przy jednoczesnym ograniczeniu zawartości cementu. **Słowa kluczowe:** nawierzchnie betonowe, nasiąkliwość, mrozoodporność, trwałość, anionowa emulsja bitumiczna.

Abstract. In practice, especially a lot of problems poses a requirement to reduce water absorption of concrete often faced in the Detailed Technical Specifications in civil engineering and hydro construction. It aims to reduce the environmental impacts of aggressive against the cement matrix and should be taken into account at the design stage composition of the concrete mix. The present study confirms that in industrial conditions, as a result of the use of bitumen additives, it is possible to meet the more stringent criteria of absorption $n_w \leq 4\%$, while reducing the cement content.

Keywords: concrete slab, water permeation, frost resistance, durability, anionic asphalt emulsion.

Przeprowadzone przez mnie badania stosowane kompozytów cementowych modyfikowanych anionową emulsją bitumiczną pozwoliły na uzyskanie (w warunkach laboratoryjnych) innowacyjnego materiału konstrukcyjnego spełniającego zastrzeżone kryterium nasiąkliwości i charakteryzującego się podwyższoną odpornością na agresywne oddziaływania środowiskowe w klasach ekspozycji XF, XD i XA. Przebieg eksperymentu został opisany w publikacji „Kompozyty cementowe modyfikowane emulsją bitumiczną” zamieszczonej w „Materiałach Budowlanych” nr 12/2014 [1]. Kolejnym etapem na drodze do komercjalizacji były prace rozwojowe związane z implementacją kompozytów cementowych z emulsją i zbrojeniem rozproszonym w warunkach przemysłowych. Przeprowadzono je podczas rozbudowy Zakładu Pojazdów Mechanicznych DKD. Oprócz kompozytów modyfikowanych emulsją anionową stosowano również kompozyty o analogicznym składzie, lecz z do-

mieszką napowietrzającą na bazie detergentu. Wszystkie mieszanki przygotowywane były w jednej wytwórni z tych samych składników. Pozwoliło to na zestawienie i porównanie wybranych właściwości, których badanie przeprowadzono na próbkach pobieranych w trakcie realizacji. Jednocześnie testowano proces wytwarzania kompozytów cementowych w warunkach przemysłowych oraz technologię ich formowania i zagęszczania na budowie.

Przebieg implementacji

Przedsięwzięcie obejmowało wykonanie utwardzonych placów składowych na samochody osobowe o powierzchni 23 000 m² oraz nawierzchni betonowych w miejscu ciągów komunikacyjnych o powierzchni ponad 7 500 m². Rodzime podłoże gruntowe stanowiły piaski drobne średnio zagęszczone. Podbudowa zasadnicza została wykonana z łamanego kruszywa betonowego frakcji 0 ÷ 63 mm o ciągłym uziarnieniu, którym dysponował inwestor. Mechaniczne stabilizowanie podbudowy, przy użyciu ciężkich walców ogumowanych, pozwoliło na uzyskanie wymaganych dla KR1 ÷ KR2 modułów

odkształcenia podłoża $E_{v2} \geq 100$ MPa, z zachowaniem $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$ [2]. Do badania nośności podbudowy stosowano sondę VSS z płytą średnicy 300 mm zgodnie z normą [3] oraz dodatkowo lekki ugięciomierz dynamiczny w celu zagęszczenia punktów pomiarowych. Mając na względzie ruch pojazdów samochodowych o małym natężeniu, przyjęto nawierzchnię grubości 15 cm. Obliczenia sprawdzające wykonano na podstawie Technical Report nr 34 (TR 34) [4], uwzględniając zbrojenie rozproszone o wskaźniku wytrzymałości równoważnej $R_{e,3} = 0,3$ wg japońskiej normy JCI-SF4 [5]. Przed betonowaniem wykonano deskowanie ciągów komunikacyjnych szerokości 6,0 m.

Mieszanka kompozytowa o konsystencji 90 – 130 mm, mierzonej metodą opadu stożka Abramsa, układana była bezpośrednio z betonowozów na podbudowę (fotografia 1). Rozprowadzanie, wyrównywanie i zagęszczanie odbywało się za pomocą pneumatycznej listwy wibracyjnej wyposażonej w wciągarki umożliwiające sprawny i łatwy przesuw po ustawionym deskowaniu (fotografia 2). Po zawibrowaniu nawierzchnia była za-

¹⁾ Doktorant Politechniki Białostockiej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska; e-mail: krzysztoffalkowski1@wp.pl



[Fot. Autor]

Fot. 1. Formowanie nawierzchni kompozytowej na podbudowie z kruszonego betonu
 Photo 1. The formation of the composite surface on the crushed concrete base

cierana mechanicznie i teksturowana poprzecznie przez szcztokowanie w celu nadania jej odpowiedniej szorstkości i łatwiejszego odprowadzania wód opadowych. Jednocześnie, stosownie do warunków pogodowych, zakrywano ją folią, jako zabezpieczenie przed deszczem oraz gwałtownym odparowywaniem wody zarobowej pod wpływem nasłonecznienia i wysokiej temperatury. Po 24 h od zabetonowania wykonywano dylatacje pozorne w odstępach co 6 m, przez nacinanie do 1/4 grubości. Następnie przykrywano nawierzchnię geowłókniną i polewano systematycznie wodą. Okres pielęgnacji wynosił 21 dni. Eksploatowanie nawierzchni następowało nie wcześniej niż po 28 dniach dojrzewania.



Fot. 2. Pneumatyczna listwa wibracyjna z przesuwem wciągarkowym [Fot. Autor]
 Photo 2. Pneumatic vibrating screed with winch moving

Skład badanych kompozytów i zastosowane materiały

Zastosowano trzy składy kompozytów cementowych ze zbrojeniem rozproszonym (tabela 1). Podstawowy skład CC-D z domieszką napowietrzającą w postaci detergentu bazował na recepturze opracowanej wg normy PN-EN 206-1 [6] dla nawierzchni drogowych w klasie ekspozycji XF4, XD3, XA3, XC4, XM1. Skład CC-E modyfikowany był emulsją bitumiczną, a CC-0 nie zawierał deter-

Tabela 1. Skład badanych kompozytów cementowych

Table 1. Composition of investigated cement composites

Składniki mieszanek	Skład mieszanek [kg/m ³]		
	CC-D	CC-E	CC-0
Cement	360		
Piasek płukany 0-2	641	670	
Grys 2-8	450	470	
Grys 8-16	720	750	
Plastyfikator	3,20	3,20	3,40
Superplastyfikator	2,48	2,50	2,50
Domieszka napowietrzająca	1,98		
Emulsja bitumiczna		7,2	
Włókna syntetyczne		2,0	
w/c	0,37		

gentu ani emulsji. Poszczególne receptury różniły się jedynie zawartością detergentu i emulsji.

W celu eliminacji rys skurczowych i polepszenia właściwości mechanicznych, a przede wszystkim odporności na pękanie wszystkie kompozyty zawierały zbrojenie rozproszone w postaci włókien syntetycznych długości 54 mm w ilości 2 kg/m³. Pozwoliło to na zastosowanie w obliczeniach modelu plastycznego zgodnie z TR 34 [4]. Dodatkowe włókna zostały wytworzone ze specjalnej mieszaniny kopolimeru i polipropylenu. Ich chropowata powierzchnia zapewnia efektywne zamocowanie w betonie, dzięki czemu mają one nie tylko korzystny wpływ na wytrzymałość, ale również zwiększają odporność na zmęczenie i trwałość betonu. W przeciwieństwie do włókien stalowych są odporne na korozję oraz działanie zasad i kwasów. Mogą być zatem stosowane w betonie narażonym na oddziaływania agresywnego środowiska [7]. Dane techniczne stosowanych włókien zamieszczono w tabeli 2.

Jako spoiwa użyto specjalnego cementu portlandzkiego w ilości 360 kg/m³, o małej zawartości alkaliów i dużej odporności na siarczany oraz umiarkowanym przyroście wytrzymałości. Przyjęty rodzaj i ilość spoiwa pozwala, zgodnie z normą PN-EN 206-1 [6], na stosowanie uzyskanych kompozytów w warunkach silnej agresji chemicznej. Cement specjalny spełnia kryteria stawiane obecnie przy realizacji obiektów drogowych [8, 9, 10] zawarte w Szczegółowych Specyfikacjach Technicznych. Wymagania i właściwości użytkowe stosowanego cementu wyznaczane na podstawie analizy chemicznej przedstawiono w tabeli 3.

Mając na względzie wpływ cyklicznego zamrażania i rozmrażania (klasa ekspozycji XF), do produkcji mieszanki betonowej zastosowano kruszywo w trzech frakcjach spełniające wymagania mrozoodporności określone w normie PN-EN 12620+A1:2010 [11]. Piasek płu-

Tabela 2. Parametry techniczne stosowanych włókien syntetycznych

Table 2. Technical parameters of used synthetic fibers

Charakterystyka: 95% włókna kopolimerowe; 5% włókna polipropylenowe	
Zakres stosowania [kg/m ³ betonu]	1 – 11
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	620 + 758
Wskaźnik wytrzymałości równoważnej R _{e,3} [kg/m ³]	0,30 – 2; 0,65 – 6; 0,89 – 10
Gęstość [kg/dm ³]	0,91
Długość [mm]	54
Średnica [mm]	0,069
Smukłość	782
Liczba sztuk na kg	161 900
Długość sumaryczna [m/kg]	8743
Temperatura topnienia [°C]	>150
Odporność chemiczna	całkowita

Tabela 3. Wymagania i właściwości cementu portlandzkiego o dużej wytrzymałości na siarczany i małej zawartości alkaliów

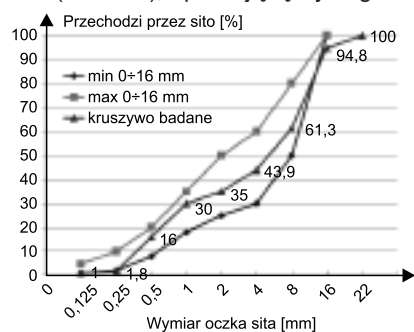
Table 3. Requirements and properties of portland cement with high sulphate resistance and low alkali content

Właściwości	Wymagania	Wyniki oznaczeń
Powierzchnia właściwa [cm ² /g]	–	3450
Początek wiązania [min]	≥ 60	160
Koniec wiązania [min]	–	225
Wodoządnność [%]	–	29,2
Zawartość SO ₃ [%]	≤ 3,5	2,73
Zawartość Cl [%]	≤ 0,1	0,06
Zmiana objętości [mm]	≤ 10	0,9
Pozostałości nierozpuszczalne [%]	≤ 5,0	0,39
Straty prażenia [%]	≤ 5,0	1,33
Wytrzymałość na ściskanie (MPa)		
– po 2 dniach	≥ 10	24,3
– po 28 dniach	42,5 + 62,5	51,3
Zawartość Na ₂ O _{eq} [%]	≤ 0,6	0,48
Zawartość Al ₂ O ₃ [%]	≤ 5,0	3,50
Wartość ekspansji w roztworze Na ₂ SO ₄ po upływie 52 tygodni [%]	≤ 0,5	0,206
Zawartość C ₃ A [%]	≤ 3,0	1,91
Zawartość C ₄ AF + 2·C ₃ A [%]	≤ 20	17,06
Zawartość C ₃ S [%]	≤ 60	57,81

kany 0 ÷ 2 mm stanowił 35% stosu okruczowego, a grysy granitowe frakcji 2 ÷ 8 mm i 8 ÷ 16 mm odpowiednio 25% i 40%. Zastosowany piasek charakteryzował się małą zawartością drobnych frakcji. Dzięki temu łączna zawartość cementu i ziaren piasku ≤ 0,25 mm nie przekraczała 420 kg w 1 m³ betonu. Miało to korzystny wpływ na obniżenie wodożądności i pozwoliło utrzymać w/c na poziomie 0,37. Krzywą uziarnienia użytego kruszywa na tle krzywych granicznych przedstawiono na rysunku 1.

W celu uzyskania odpowiedniej urabialności mieszanki betonowej, przy jednoczesnym ograniczeniu zawartości wody, stosowano domieszkę uplastyczniającą na bazie lignosulfonianów i upłynniającą na bazie eterów polikarboksylianowych (tabela 4).

Do napowietrzenia mieszanki CC-D zastosowano domieszkę na bazie detergentów (tabela 5), spełniającą wymagania



Rys. 1. Krzywa uziarnienia stosu okruczowego kruszywa 0 ÷ 16 mm na tle krzywych granicznych

Fig. 1. Grain size curve of aggregates 0 ÷ 16 mm relating to standard curves

Tabela 4. Parametry techniczne domieszki uplastyczniającej na bazie lignosulfonianów i upłynniającej na bazie eterów polikarboksylianowych

Table 4. Technical parameters of plasticizer based on lignosulfonates and superplasticizer based on polycarboxylate ethers

Parametry	Plastyfikator	Superplastyfikator
Baza surowcowa	lignosulfoniany	etery polikarboksylianowe
Zakres stosowania	0,2 – 1,0% masy cementu	0,2 – 3,0% masy cementu
Barwa	ciemnobrunatna	jasnobrązowa
Postać	ciekła	ciekła
Gęstość [g/cm ³]	1,18 ± 0,03	1,07 ± 0,02
Zawartość Cl ⁻ [% masy]	≤ 0,10	≤ 0,10
Zawartość alkaliów (Na ₂ O _{equiv}) [% masy]	≤ 1,5	≤ 3,0
pH (w 20 °C)	4,5 ± 1,0	6,5 ± 1,0

Tabela 5. Parametry techniczne domieszki napowietrzającej na bazie detergentów

Table 5. Technical parameters of air entraining admixture based on detergents

Domieszka napowietrzająca	
Baza surowcowa	detergenty
Zakres stosowania	0,2 – 2,5% masy cementu
Barwa	jasnobrązowa, klarowna
Postać	ciekła
Gęstość [g/cm ³]	1,01 ± 0,02
Zawartość Cl ⁻ [% masy]	≤ 0,10
Zawartość alkaliów (Na ₂ O _{equiv}) [% masy]	≤ 1,5
pH (w 20°C)	10,0 ± 1,0

Tabela 6. Parametry techniczne domieszki bitumicznej w postaci anionowej emulsji asfaltowej

Table 6. Technical parameters of bitumen admixture in the form of anionic asphalt emulsion

Emulsja bitumiczna	
Baza [°C]	asfalt podestylacyjny o temperaturze mięknięcia 50 – 60
Stopień rozdrobnienia [µm]	ok. 1
Rozpuszczalnik	nie występuje
Barwa	czarna, brunatna
Konsystencja	ciekła
Gęstość [kg/dm ³]	ok. 1,0
Sucha pozostałość [%]	ok. 60
Temperatura stosowania [°C]	od + 4
Współczynnik oporu dyfuzyjnego dla pary wodnej µ:	ok. 800
pH	ok. 10

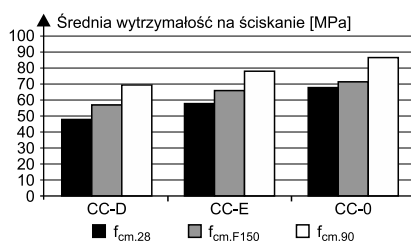
normy PN-EN 934-2 [12]. Ma ona za zadanie wytworzenie w mieszance betonowej systemu porów powietrznych w celu zwiększenia odporności stwardniałego betonu na działanie mrozu i środków odładzających, co jednak zostaje okupione spadkiem wytrzymałości. Zastosowana domieszka jednocześnie nieznacznie uplastycznia. Ponadto w celu ograniczenia nasiąkliwości zastosowano domieszkę bitumiczną w postaci anionowej emulsji asfaltowej (skład CC-E) o parametrach podanych w tabeli 6. Jest to produkt czysty ekologicznie, gdyż nie zawiera rozpuszczalnika, i łatwy w rozprowadzaniu w zaprawach cementowych i cementowo-wapiennych. Domieszka ma charakter uszczelniający, dzięki czemu ogranicza penetrację wody wraz z jonami agresywnych substancji w głąb porowatej

struktury betonu. Dodatkowo napowietrza i uplastycznia mieszankę betonową [1, 16]. i wywiera korzystny wpływ na kształtowanie mrozoodpornej struktury betonu [13, 14, 15].

Badania i ich wyniki

Wszystkie badane kompozyty cementowe zostały przygotowane wg opracowanych receptur, w wytwórni betonu z mieszalnikiem o pojemności 1 m³. Dozowanie włókien syntetycznych oraz domieszek detergentu i emulsji odbywało się w sposób manualny. W celu równomiernego ich rozprowadzenia w mieszance o dosyć niskim w/c wydłużono czas mieszania o 10 s. Z każdej wyprodukowanej partii kompozytu formowano próbki o wymiarach 150 x 150 x 150 mm, 100 x 100 x 100 mm i 150 x 150 x 700 mm. Po 28 dniach dojrzewania zbadano gęstość ρ [kg/dm³], wytrzymałość na ściskanie f_{cm,28} [MPa], nasiąkliwość masową n_w [%] i przepuszczalność wody W [mm] oraz wytrzymałość na zginanie f_{ctm,fl} [MPa]. Próbki przeznaczone do sprawdzenia odporności na działanie mrozu umieszczono w automatycznej komorze do badania mrozoodporności, natomiast próbki porównawcze (świadki) pozostawiono w wodzie zgodnie z normą na beton zwykły. Po 150 cyklach naprzemiennego zamrażania i rozmrażania w temperaturze ±18 °C (3 cykle na dobę) oznaczono masę i wytrzymałość próbek. Zestawienie wyników ściskania próbek dwudziestoosmioldniowych f_{cm,28} oraz poddawanych zamrażaniu f_{cm,F150} i świadków f_{cm,90} przedstawiono na rysunku 2. Wytrzymałość na ściskanie była wprost proporcjonalna do gęstości objętościowej. Najmniejszą wartość uzyskały kompozyty napowietrzone detergentem CC-D, zaś największą kompozyty wzorcowe CC-0.

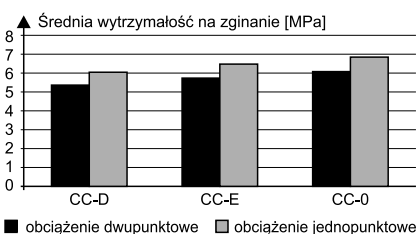
Z analizy otrzymanych wartości wynika, iż niezależnie od zastosowanych domieszek wszystkie kompozyty spełniały kryterium mrozoodporności. Po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania w żadnym wypadku nie zaobserwowano spadku wytrzymałości w porównaniu z początkową, natomiast wytrzymałość próbek zamrażanych nie była mniejsza w stosunku do porównawczych o więcej niż dopuszczalne normowo 20%. Różnica masy próbek przed i po badaniu mrozoodporności była śladowa. Badania potwierdzają, iż przy odpowiednim doborze składników i stosunkowo niskim



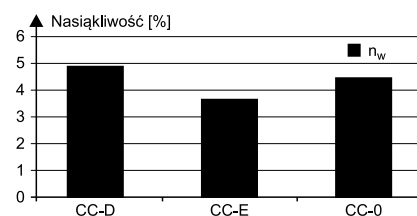
Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach oraz próbek zamrażanych i świadków
 Fig. 2. Compressive strength after 28 days and frozen samples and control samples

w/c $\leq 0,37$ można spełnić wymagania mrozoodporności F150 bez konieczności stosowania domieszek napowietrzających, które obniżają właściwości mechaniczne, w tym wytrzymałość na zginanie szczególnie istotną w nawierzchniach drogowych. W stosunku do kompozytów modyfikowanych emulsją była ona niższa o 7%, a w stosunku do betonów bez domieszki napowietrzającej o 13% (rysunek 3).

W badaniach przemysłowych najistotniejszy wpływ emulsji bitumicznej zaobserwowano przy oznaczaniu nasiąkliwości. Domieszka emulsji spowodowała jej obniżenie o 25% (rysunek 4). Przeprowadzone badania potwierdziły, iż jedynie kompozyty cementowe z domieszką bitumiczną (CC-E) spełniają zaostrzone do 4% kryterium nasiąkliwości. Podobnie korzystny wpływ emulsji uwidoczniły badania wodoszczelności. Maksymalna przepuszczalność



Rys. 3. Wytrzymałość na zginanie przy obciążeniu jedno- i dwupunktowym
 Fig. 3. Flexural strength under one- and two-point load



Rys. 4. Nasiąkliwość masowa badanych kompozytów cementowych
 Fig. 4. Water absorption mass of investigated cement composites

wody pod ciśnieniem 0,8 MPa w kompozytach z emulsją sięgała 26 mm, a w pozostałych przypadkach była wyraźnie wyższa i wynosiła 30 – 52 mm. Podczas przeprowadzonej implementacji, z wykorzystaniem pneumatycznej listwy wibracyjnej, stwierdzono również korzystny wpływ emulsji na urabialność mieszanki, łatwość w rozprowadzaniu i zagęszczaniu, co wskazuje na uplastyczniający charakter domieszki.

Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość stosowania kompozytów cementowych modyfikowanych emulsją bitumiczną w warunkach przemysłowych. W celu usprawnienia procesu wytwarzania konieczna jest automatyzacja dozowania, zarówno zbrojenia rozproszonego w postaci włókien, jak i domieszki emulsji bitumicznej. W przypadku dozowania manualnego wskazane jest wydłużenie procesu mieszania w ostatniej fazie, kiedy wszystkie składniki znajdują się już w mieszalniku, co pozwoli na równomierne rozprowadzenie domieszki bitumicznej i włókien w mieszance. Przy tego typu realizacjach formowanie i zagęszczanie mieszanki należy prowadzić z wykorzystaniem pneumatycznej listwy wibracyjnej.

Otrzymane rezultaty badań są spójne z uzyskanymi podczas badań stosowanych i świadczą, iż również w warunkach przemysłowych, w wyniku zastosowania domieszki bitumicznej, możliwe jest obniżenie nasiąkliwości poniżej 4% przy jednoczesnym ograniczeniu zawartości cementu do 360 kg/m³. Pozwala to na zastosowanie uzyskanego kompozytu w najsurowszych klasach ekspozycji. Tak korzystny wpływ emulsji na obniżenie nasiąkliwości i zwiększenie szczelności betonów jest wynikiem hydrofobizujących właściwości zastosowanej domieszki (zhydrofobizowane zostają powierzchnie porów wewnątrz struktury betonu, co powoduje, że beton staje się trudno zwilżalny). Utrudnia to penetrację wody w matrycy cementowej, a wraz z nią szkodliwych substancji, takich jak jony chlorkowe Cl⁻, amonowe NH₄⁺, magnezowe Mg²⁺ i siarczanowe SO₄²⁻. Dokonana implementacja oraz otrzymane wyniki badań potwierdziły przydatność kompozytów modyfikowanych emulsją bitumiczną w budownictwie komunikacyjnym, szczególnie w przypadku nawierzchni mocno obciążonych, takich jak place kontenerowe. Ponadto mogą one być

stosowane w środowisku silnie agresywnym chemicznie, np. w budownictwie rolniczym przy realizacji zbiorników na gnojówkę, płyt do składowania obornika, posadzek w obiektach inwentarskich, jak również w infrastrukturze komunalnej do budowy oczyszczalni ścieków i składowisk odpadów oraz w budownictwie hydrotechnicznym do wznoszenia obiektów narażonych na działanie wód agresywnych.

Literatura

- [1] Falkowski K.: Kompozyty cementowe modyfikowane emulsją bitumiczną, Materiały Budowlane 12/2014, 45 – 49.
- [2] Szydło A.: Nawierzchnie drogowe z betonem cementowym. Teoria, wymiarowanie, realizacja. Polski Cement. Kraków 2004.
- [3] PN-EN-S-02205:1998 Drogi samochodowe – wymagania i badania.
- [4] Technical Report No 34, Concrete Industrial Ground Floors – A guide to their Design and Construction, wyd. 3, 2003.
- [5] JCI-SF4 Method of tests for flexural strength toughness of steel fiber reinforced concrete, Concrete library of JSCE. Nr 3, Japan.
- [6] PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [7] Materiały informacyjne RUREDIL.
- [8] PN-EN 197-1:2012 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [9] PN-EN 19707:2013 Cement, Cement specjalny – Skład, wymagania i kryteria zgodności.
- [10] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 30 maja 2000 r. w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie, Dz.U. nr 151, poz. 735.
- [11] PN-EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu.
- [12] PN-EN 934-2 Domieszki do betonu.
- [13] Kosior-Kazberuk M., Jezierski W.: Surface scaling resistance of concrete modified with bituminous addition, Journal of Civil Engineering and Management Vol. 10, nr 1/2004, s. 25 – 30.
- [14] Kosior-Kazberuk M., Jezierski W.: Evaluation of concrete resistance to chloride ions penetration by means of electric resistivity monitoring, Journal of Civil Engineering and Management Vol. 11, nr 2/2005, s. 109 – 114.
- [15] Falkowski K.: Technologia ochrony materiałowo-strukturalnej betonów cementowych w środowisku agresywnym, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2012 Vol. 3 No. 1.
- [16] Bołtryk M., Małaszkiwicz D.: Application of anionic asphalt emulsion as an admixture for concrete. Construction and Building Materials 40, 2013, 556 – 565.

Autor publikacji jest uczestnikiem projektu „Stypendia dla doktorantów województwa podlaskiego”, współfinansowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji, ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego, budżetu państwa oraz środków budżetu województwa podlaskiego.

Otrzymano 09.03.2015 r.