

dr hab. inż. Beata Łazniewska-Piekarczyk, prof. PŚ¹⁾

Wpływ temperatury na efektywność działania domieszek uplastyczniających i upłynniających

The influence of temperature on the effectiveness of plasticizing and superplasticizing admixtures

DOI: 10.15199/33.2019.09.02

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu obniżonej i podwyższonej temperatury na napowietrzenie i konsystencję nienapowietrzonych i napowietrzonych oraz upłynnionych zapraw wg PN-EN 480-1, które były wykonane z udziałem cementu CEM I. Do zwiększenia konsystencji zaprawy z CEM I zastosowano różne rodzaje plastyfikatorów i superplastyfikatorów oraz domieszki napowietrzające różniące się bazą chemiczną. Analiza rezultatów badań wskazuje, że charakter wpływu temperatury na konsystencję zaprawy zależy od efektu współdziałania danego rodzaju domieszki napowietrzającej i upłynniającej. **Słowa kluczowe:** temperatura; plastyfikator; superplastyfikator; zaprawa; reologia.

Abstract. The paper presents the results of research on the impact of low and high temperature on air content and consistency of non-air-entrained and air-entrained and plasticized mortars according to PN-EN 480-1, which were made with CEM I cement. In the case of mortar with CEM I, various types of plasticizers and superplasticizers as well as aeration admixtures differing in chemical base were used. Analysis of the results of the research indicates that the effect of temperature influence on the consistency of the mortar depends on the result of the interaction between the air-entraining and superplasticizing admixture.

Keywords: temperature; plasticizer; superplasticizer; mortar; rheology.

W praktyce budowlanej najczęściej stosowane są domieszki modyfikujące właściwości reologiczne mieszanki betonowej, czyli domieszki uplastyczniające (plastyfikatory) i upłynniające (superplastyfikatory). Domieszki te różnią się sposobem działania na mieszkę betonową, dlatego też zasada ich działania oraz umiejętność właściwego doboru mają niezwykle istotne znaczenie w technologii betonu. Zgodnie z PN-EN 934-2 *Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie* – domieszką nazywamy substancję dodawaną podczas wykonywania mieszanki betonowej w ilości nie większej niż 5% masy cementu w celu zmodyfikowania właściwości mieszanki betonowej i/lub stwardniałego betonu. Dzięki domieszkom możliwe jest zmniejszenie lepkości mieszanek betonowych bez zmiany wytrzymałości, zmniejszenie zużycia cementu przy zachowaniu tej samej lepkości i wytrzymałości oraz zwiększenie wytrzymałości projektowanego betonu przez redukcję wody zarobowej bez zmiany lepkości mieszanki betonowej [1 ÷ 7]. Bazą chemiczną plastyfikatorów są przede wszystkim lignosulfoniowy sodu lub wapnia (LS), będące pochodnymi celulozy. Przez zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody umożliwiają one redukcję wody zarobowej maksymalnie do 12%. Z kolei superplastyfikatory działają wg różnych mechanizmów i upłynniają mieszkę betonową od 12 do 40%.

Bardzo ważnym zagadnieniem związanym ze stosowaniem domieszek uplastyczniających, a szczególnie upłynniających w praktyce budowlanej jest kompatybilność domieszek z cementami i dodatkami oraz wpływ temperatury na efektywność

ich działania. W przypadku betonów mrozoodpornych i hydrotechnicznych, oprócz domieszek uplastyczniających i upłynniających, stosowane są również domieszki napowietrzające, które są substancjami powierzchniowo czynnymi składającymi się z długiego łańcucha węglowodorowego zakończonego grupą hydrofilową. Bazę chemiczną domieszek napowietrzających stanowią sole kwasów tłuszczowych, alkaliczne sole żywic drzewnych oraz alkaliczne sole siarczanów i sulfonianów. Podczas wykonywania mieszanki betonowej w obecności domieszki napowietrzającej tworzą się równomiernie rozmieszczone pęcherzyki powietrza o wielkości 20 – 250 µg. Przerwywają one ciągłość kapilar, w wyniku czego zmniejsza się podciąganie kapilarne wody i następuje wzrost mrozoodporności betonu [13]. Badania prowadzone przez [2, 4] wykazały, że bardzo istotna jest kompatybilność stosowanych domieszek chemicznych.

Prognozowanie wpływu temperatury na właściwości mieszanek na spoiwach cementowych, modyfikowanych jednocześnie wieloma domieszkami, jest więc zagadnieniem trudnym i wymaga weryfikacji doświadczalnej.

Zakres i metody badań

W prezentowanych w artykule badaniach dokonano oceny współdziałania domieszek napowietrzających, domieszek uplastyczniających i upłynniających (plastyfikatorów i superplastyfikatorów) z cementem CEM I 42,5R, w zależności od temperatury zaprawy wynoszącej ok. 10, 20 i 30°C.

Badania wykonano na zaprawach wzorcowych wg normy PN-EN 480-1:2014-12 – *Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Metody badań – Część 1: Beton wzorcowy i zaprawa wzorcowa do badania*. Skład zapraw przedstawiono w tabeli 1, charakterystykę domieszek upłynniających i plastyfikujących w ta-

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; beata.lazniewska@polsl.pl

beli 2, a ich ilość w zaprawach w tabeli 3, natomiast rodzaj i ilość zastosowanej domieszki napowietrzającej w tabeli 4.

Wybór danego rodzaju superplastyfikatora z grupy rodzajowej, szczególnie z grupy PCE i PCP dokonany został na podstawie badań wstępnych, podczas których wyeliminowano superplastyfikatory, które znacznie zwiększały zawartość powietrza w nienapowietrzanej celowo zaprawie. Z kolei ilość domieszek została tak dobrana, aby zaprawa w temperaturze 20°C charakteryzowała się zbliżonym rozplywem wynoszącym ok. 21 cm. Natomiast ilość domieszek napowietrzających w zaprawie ustalono na podstawie badania napowietrzenia w betonie w granicach 5 – 7%. Wyniki badania wykazały, że w tej samej ilości domieszki napowietrzającej w betonie wzorcowym wg PN-EN 480-1, napowietrzenie zaprawy wg tej samej normy wynosi 10%.

Badanie zawartości powietrza wykonano metodą ciśnieniową wg normy PN-EN 1015-7:2000. *Metody badań zapraw*

Tabela 1. Skład zapraw

Table 1. The composition of the mortars

Składnik		Ilość na zarób [g]
Cement CEM I 42,5 R		450,0
w/c = 0,50		225,0
Piasek normowy		1350,0
Domieszka napowietrzająca	A	wg tabeli 4
	D	

Tabela 2. Charakterystyka domieszek upłynniających i plastyfikujących

Table 2. The characteristics of the plasticizing and superplasticizing admixtures

Domieszka	Składnik bazowy
Upłynniająca/superplastyfikator PCE	eter polikarboksylanowy
Upłynniająca/superplastyfikator PCP	modyfikowane polikarboksylany
Upłynniająca/superplastyfikator N1, N	modyfikowane naftaleny
Upłynniająca/superplastyfikator A	akrylany
Upłynniająca/superplastyfikator F	modyfikowane fosfoniany
Plastyfikująca/plastyfikator NSF	tradycyjne naftaleny
Plastyfikująca/plastyfikator MSF	tradycyjne melaminy
Plastyfikująca/plastyfikator LG	lignosulfoniany/węglowodony pochodzenia naturalnego

Tabela 3. Ilości superplastyfikatora i plastyfikatora [% m.c.] zastosowane w nienapowietrzonych i napowietrzonych zaprawach z CEM I w temperaturze ok. 10, 20 i 30°C

Table 3. The amount of superplasticizer and plasticizer used in non-air-entrained and air-entrained constipation at 10, 20 and 30 degrees Celsius

Oznaczenie domieszki	Składnik bazowy CEM I	Domieszka napowietrzająca A	Domieszka napowietrzająca D
Referencyjna	–	–	–
PCE	0,22	0,015	0,015
PCP	0,22		
N	0,11		
A	0,22		
F	0,22		
SNF	0,44		
SMF	0,44		
LG	0,44		

Tabela 4. Rodzaj i ilość domieszki napowietrzającej

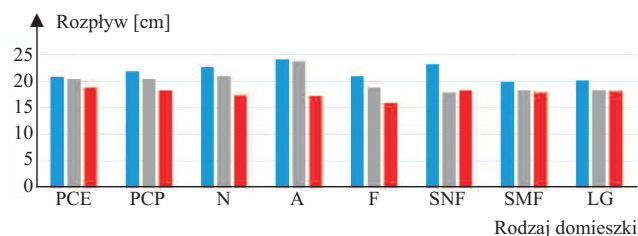
Table 4. Type and amount of aeration admixture

Nazwa cementu	Rodzaj domieszki napowietrzającej (AEA) A – syntetyczna; D – naturalna	Ilość AEA [% m.c.] proszek	Symbol badania
CEM I	–	0,000	CEM I
CEM I	A	0,015	CEM I – S
CEM I	D	0,015	CEM I – N

do murów, a **badanie konsystencji** zgodnie z normą PN-EN 1015-3:2000. *Metody badań zapraw do murów. Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozplywu).*

Analiza wyników

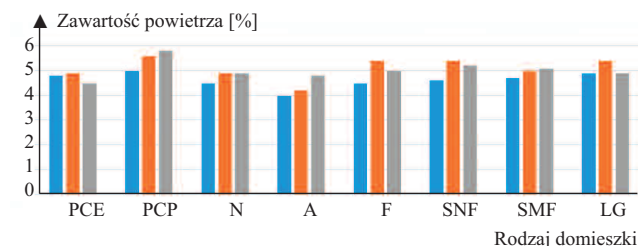
Na rysunkach 1 ÷ 6 przedstawiono wyniki badań wpływu temperatury na napowietrzenie i konsystencję analizowanych zapraw. Wraz ze wzrostem temperatury następuje redukcja rozplywu zaprawy nienapowietrzanej, większa w przypadku zapraw z superplastyfikatorami niż plastyfikatorami (rysunek 1). W przypadku upłynnionej i napowietrzanej zaprawy temperatura niejednoznacznie wpływa na rozplyw zaprawy (rysunek 4). Ponadto, zmiana rozplywu zaprawy jest większa w temperaturze 10 – 20°C, niż w 20 – 30°C, co jest zgodne z wynikami badań analizowanych w publikacji [8]. Rozplyw napowietrzanej zaprawy, modyfikowanej różnymi domieszkami upłynniającymi, w żaden sposób nie koresponduje z jej napowietrzeniem (rysunek 5), inaczej niż w przypadku zaprawy nienapowietrzanej (rysunek 6).



CEM I 45,5; zaprawa nienapowietrzona, wzorcowca wg PN-EN 480-1 (w/c = 0,50)
■ temperatura 10°C ■ temperatura 20°C ■ temperatura 33°C

Rys. 1. Wpływ temperatury na rozplyw nienapowietrzanej, ale upłynnionej zaprawy za pomocą różnego rodzaju domieszek upłynniających i uplastyczniających

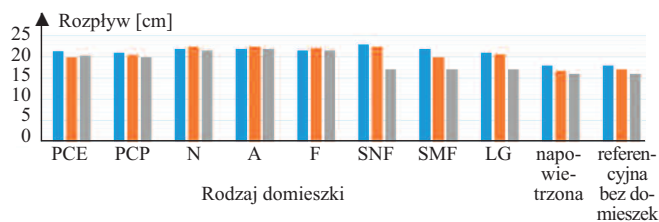
Fig. 1. The influence of the temperature on slup flow of the non-air-entrained mortars with different types of plasticizers or superplasticizers



CEM I 45,5; zaprawa wzorcowca wg PN-EN 480-1 (w/c = 0,50)
■ temperatura 10°C ■ temperatura 20°C ■ temperatura 33°C

Rys. 2. Wpływ temperatury na zawartość powietrza nienapowietrzanej, ale upłynnionej zaprawy za pomocą różnego rodzaju domieszek upłynniających i uplastyczniających

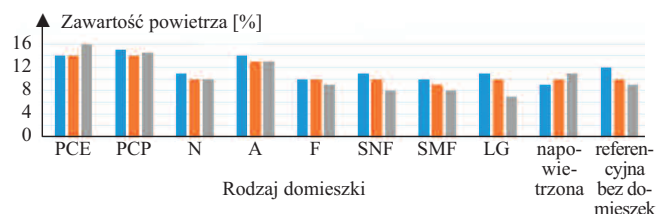
Fig. 2. The influence of the temperature on air-content of the non-air-entrained mortars with different types of plasticizers or superplasticizers



CEM I 45,5; zaprawa wzorcowa napowietrzona wg PN-EN 480-1 (w/c = 0,50)
 ■ temperatura 10°C ■ temperatura 20°C ■ temperatura 33°C

Rys. 3. Wpływ temperatury na rozpiływ napowietrzonej za pomocą domieszki A i upłynnionej zaprawy za pomocą różnego rodzaju domieszek upłynniających i uplastyczniających

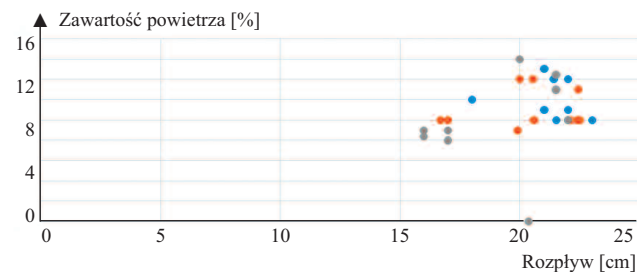
Fig. 3. The influence of the temperature on slump flow of the air-entrained mortars with air-entraining admixture A type, and with different types of plasticizers or superplasticizers



CEM I 45,5; zaprawa wzorcowa napowietrzona wg PN-EN 480-1 (w/c = 0,50)
 ■ temperatura 10°C ■ temperatura 20°C ■ temperatura 33°C

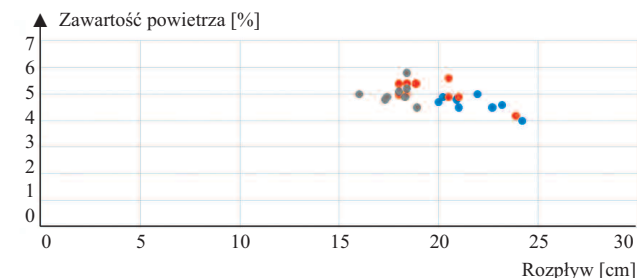
Rys. 4. Wpływ temperatury na zawartość powietrza napowietrzonej za pomocą domieszki A i upłynnionej zaprawy za pomocą różnego rodzaju domieszek upłynniających i uplastyczniających

Fig. 4. The influence of the temperature on air-content of the air-entrained mortars with air-entraining admixture A type, and with different types of plasticizers or superplasticizers



CEM I 45,5; zaprawa wzorcowa napowietrzona wg PN-EN 480-1 (w/c = 0,50)
 ■ temperatura 10°C ■ temperatura 20°C ■ temperatura 33°C

Rys. 5. Porównanie zawartości powietrza w napowietrzonych i upłynnionych zaprawach o różnej temperaturze z ich rozpiływem
 Fig. 5. The comparison between the air-content and slump flow of air-entrained mortars at different temperature



CEM I 45,5; zaprawa wzorcowa nienapowietrzona wg PN-EN 480-1 (w/c = 0,50)
 ■ temperatura 10°C ■ temperatura 20°C ■ temperatura 33°C

Rys. 6. Porównanie zawartości powietrza w nienapowietrzonych i upłynnionych zaprawach o różnej temperaturze z ich rozpiływem
 Fig. 6. The comparison between the air-content and slump flow of non-air-entrained mortars at different temperature

W przypadku superplastyfikatorów zwiększających napowietrzenie zaprawy ponad docelowe 5% (co wg moich badań odpowiada ok. 2,5% w przypadku betonu wzorcowego wg PN-EN 480-1), wraz ze wzrostem temperatury może nastąpić wzrost napowietrzenia zaprawy, ponieważ obniża się napięcie powierzchniowe, które i tak jest stosunkowo małe [12].

Tradycyjne plastyfikatory na bazie sulfonowanych polikondensatów melaminoformaldehydowych (SMF) oraz sulfonowanych polikondensatów naftalenoformaldehydowych (SNF) działają wg mechanizmu smarowego lub elektrostatycznego. W obu przypadkach cząsteczki superplastyfikatora adsorbują się na ziarnach cementu, zwiększając w ten sposób ich zwilżenie i powodując rozbitcie aglomeratów cementu. Ponadto do superplastyfikatorów pierwszej generacji zaliczamy modyfikowane lignosulfoniany (MLS) i inne związki, np. sulfonowane aminy aromatyczne (AS) [5, 7]. Związki lignosulfonowe mają budowę dwubiegunową (dipolową). Biegun naładowany ujemnie jest hydrofobowy i łączy się powierzchniowo (orientuje się) z cząsteczką wody, a biegun naładowany dodatnio łączy się z cząstką cementu.

Z kolei, nowej generacji domieszki upłynniające to związki polikarboksylianów (PC) i kopolimerów kwasów akrylowych z akrylanami (CAE), czy sieciowanych żywic akrylowych (CLAP) [11]. Ich duża efektywność w upłynnianiu mieszanki betonowej wynika z charakterystycznej budowy. Superplastyfikatory mają bowiem dużą masę cząsteczkową i przestrzennie rozbudowane łańcuchy polimerów, które adsorbując się na ziarnach cementu, stwarzają fizyczną barierę między nimi, przeciwdziałając w ten sposób flokulacji cementu [1]. Polimery te bardzo często mają w swojej budowie grupy hydrofilowe, dlatego oprócz oddziaływania przestrzennego obserwuje się w przypadku domieszek upłynniających nowej generacji również oddziaływanie elektrostatyczne. Łączne działanie obu efektów umożliwia upłynnienie mieszanki betonowej nawet o 40%. Natomiast superplastyfikatory nowej generacji, których mechanizm działania polega m.in. na obniżeniu napięcia powierzchniowego cieczy (PCP, PCE na rysunku 3) [6, 10], efektywniej działają wraz ze wzrostem temperatury zaprawy, gdyż obniża się wartość napięcia powierzchniowego. Obojętne ze względu na napowietrzenie upłynnionej zaprawy są domieszki upłynniające F (na bazie modyfikowanych fosfonianów) oraz N (na bazie modyfikowanych naftalenów), a także tradycyjne plastyfikatory, które mniej silnie oddziałują na napięcie powierzchniowe wody niż PCE czy PCP. Plastyfikatory naftalenowe i melaminowe oraz MLS – modyfikowane lignosulfoniany wapieniowe lub sodowe, a także inne produkty, jak kopolimery kwasu mrowego z kwasem naftaleno-sulfonowym lub kwasem metylonaftaleno-sulfonowym zmniejszają także napięcie powierzchniowe wody w stosunku do cementu i mikropełniaczy. Związane jest to z większą adsorpcją superplastyfikatora PCE na cząstkach cementu i produktach jego hydratacji.

Analiza wyników badań wskazuje, że wzrost temperatury zawsze powoduje zmniejszenie rozpiływu zaprawy nienapowietrzanej i upłynnionej, bez względu na rodzaj domieszki, chociaż w przypadku plastyfikatorów redukcja rozpiływu jest mniejsza

niż w przypadku superplastyfikatorów. Wniosek ten jest zgodny z wynikami badań Ghafoori i Diawara [3], którzy stwierdzili, że powyżej 20°C rozpliw nienapowietrzzonej mieszanki obniża się wraz ze wzrostem temperatury. Także wyniki badań [8] dowodzą, że wzrost temperatury otoczenia powoduje zmniejszenie rozpliwu zaprawy, a wielkość redukcji rozpliwu zależy od ilości i rodzaju superplastyfikatora czy plastyfikatora.

Zawartość powietrza w zależności od rodzaju domieszki jest zmienna i zależy od temperatury zaprawy (rysunki 2 i 4). W badaniach [8] wykazano, że domieszki bazujące na naftalenie miały najlepszą efektywność w upłynnieniu zaprawy o wyższej temperaturze, co wiązało się z małym stopniem napowietrzenia. Zaprawy uplastycznione i napowietrzone, bez względu na rodzaj plastyfikatora, bardziej rozpliwają się w niskiej temperaturze (inaczej niż zaprawa nieupłynniona, referencyjna – rysunki 1 i 3). Natomiast w wysokiej temperaturze charakteryzują się mniejszym rozpliwem niż w normalnej. Z kolei zawartość powietrza i rozpliw napowietrzonych zapraw, wraz ze wzrostem temperatury, w zależności od rodzaju domieszki upłynniającej lub plastyfikującej może się zwiększać, zmniejszać lub nie zmieniać się. Wyniki wcześniej prowadzonych badań [9] wykazały, że napowietrzenie mieszanki betonowej powoduje zmniejszenie jej rozpliwu, co jest zgodne z analizowanymi w artykule wynikami badań (rysunki 1 i 3). W przypadku wybranych domieszek upłynniających wraz ze zmianą temperatury zaprawy nie następuje istotna zmiana jej rozpliwu i poziomu napowietrzenia. Napowietrzone zaprawy z plastyfikatorami są w większym stopniu podatne na zmianę lepkości i napowietrzenia, niż zaprawy z domieszkami upłynniającymi. Co ciekawe, w przypadku napowietrzonych zapraw z lignosulfonianem, wzrost temperatury powoduje wzrost jej napowietrzenia. Przyczyną tego jest silne oddziaływanie plastyfikatora lignosulfonianowego na napięcie powierzchniowe, podobnie jak w przypadku superplastyfikatorów. Napięcie powierzchniowe roztworu superplastyfikatora PCP jej bardzo małe, niemal zbliżone do poziomu, jaki odpowiada domieszce napowietrzającej [9, 10, 13]. Co więcej, po dodaniu superplastyfikatora do domieszki napowietrzającej obniża się napięcie powierzchniowe wody, a zwiększenie temperatury wody sprzyja jeszcze większemu obniżeniu tej wartości. Napięcie powierzchniowe, będące rezultatem oddziaływań międzycząsteczkowych, zależy w dużym stopniu od temperatury. Z tego prawdopodobnie wynika efekt zwiększenia rozpliwu napowietrzonych i upłynnionych zapraw wraz ze wzrostem temperatury.

Wnioski

Zmniejszenie rozpliwu zaprawy następuje wraz ze wzrostem temperatury, natomiast zawartość powietrza może ulegać zmniejszeniu lub zwiększeniu, w zależności od rodzaju domieszki upłynniającej. Zaprawa modyfikowana plastyfikatorami jest bardziej odporna na zmniejszenie rozpliwu wraz ze wzrostem temperatury niż zaprawa z superplastyfikatorami.

Rodzaj plastyfikatora i superplastyfikatora ma duży wpływ na zawartość powietrza w napowietrzonych zaprawach cementowych oraz ich rozpliw. Wzrost temperatury zaprawy powoduje zwiększenie (w przypadku niektórych superplasty-

fikatorów) lub zmniejszenie (w przypadku plastyfikatorów) jej rozpliwu. Natomiast nie zmienia się wówczas lub tylko nieznacznie zwiększa napowietrzenie zaprawy z domieszką superplastyfikatorów, a w przypadku plastyfikatorów możliwe jest jego obniżenie. Odwrotnie niż w przypadku zaprawy nienapowietrzzonej, zaprawa napowietrzona i upłynniona wykazuje w podwyższonej temperaturze mniejszy rozpliw niż zaprawa z plastyfikatorami.

Wraz ze wzrostem temperatury zmniejsza się też zawartość powietrza w zaprawie, w zależności od tego, czy w jej objętości znajduje się superplastyfikator czy plastyfikator. W przypadku superplastyfikatora wzrost temperatury zaprawy nie wpływa istotnie na zmianę jej napowietrzenia, natomiast w przypadku plastyfikatora następuje wyraźna redukcja zawartości powietrza w zaprawie. Ponadto wpływ temperatury na napowietrzone i upłynnione zaprawy zależy od rodzaju domieszki napowietrzającej. Domieszka naturalna działająca wspólnie z superplastyfikatorem naftalenowym powoduje, że zaprawa jest bardziej podatna na zwiększenie zawartości powietrza w jej objętości w wyższej temperaturze i ma większy rozpliw niż po dodaniu syntetycznej domieszki napowietrzającej.

Literatura

- [1] Aitcin Pierre-Claude. 2006. „Domieszki: najważniejszy składnik nowoczesnego betonu”. *Cement Wapno Beton* (5).
- [2] Erdogdu Sakir. 2000. „Compatibility of superplasticizers with cements different in composition”. *Cement and Concrete Research* 30.
- [3] Ghafoori Nader, Hamidou Diawara. 2010. „Influence of temperature on fresh performance of self-consolidating concrete”. *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 946 – 955.
- [4] Hanehara Shunsuke, Kazuo Yamada. 1999. „Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, absorption behaviour of admixture, and paste rheology”. *Cement and Concrete Research* 29.
- [5] Jasiczak Józef, Paweł Mikołajczak. 1997. *Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- [6] Jolicoeur Camel, Marc-Andre Simard. 1998. „Chemical Admixture-Cement Interactions: Phenomenology and Physico-chemical Concepts”. *Cement and Concrete Composites* 20.
- [7] Kucharska Leokadia. 2000. „Tradycyjne i współczesne domieszki do betonu zmniejszające ilość wody zarobowej”. *Cement Wapno Beton* (2).
- [8] Leal Silva Wilson Ricardo, Luiz Roberto Prudêncio Jr., Alexandre Lima Oliveira, Gabriela Damo, Eduardo Tochetto. 2010. „Influence of Air Temperature on the Performance of Different Water-Reducing Admixtures with Respect to the Properties of Fresh and Hardened Mortar”. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Civil Engineering Volume*, 10 pages.
- [9] Łaźniewska-Piekarczyk Beata. 2009. „Wpływ napowietrzenia na właściwości reologiczne samozagęszczalnych mieszanek betonowych”. *Materiały Budowlane* 447 (11): 25 – 29.
- [10] Łaźniewska-Piekarczyk Beata. 2009. „Wpływ rodzaju superplastyfikatora i domieszek przeciwpieniących na napowietrzenie i właściwości samozagęszczalnej mieszanki betonowej”. *Cement Wapno Beton* (3): 133 – 145.
- [11] Łukowski Paweł. 2002. „Nowe osiągnięcia w dziedzinie domieszek do betonu”. *Budownictwo Technologie Architektura* (1): 38.
- [12] Szwabowski Janusz, Beata Łaźniewska-Piekarczyk. 2008. „Zwiększenie napowietrzenia mieszanki SCC pod wpływem działania superplastyfikatorów karboksylanowych”. *Cement Wapno Beton* (4): 205 – 215.
- [13] Wymagania techniczne dla betonowych nawierzchni drogowych. 2010. Warszawa. IBDiM.

Przyjęto do druku: 12.08.2019 r.