



JACEK GOŁASZEWSKI¹⁾

ALEKSANDRA KOSTRZANOWSKA²⁾

PATRYCJA MIERA³⁾

MICHAŁ DREWNIOK⁴⁾

GRZEGORZ CYGAN⁵⁾

JOANNA DESZCZ⁶⁾

ADMIXTURES EFFECTIVENESS IN MORTARS IN THE PRESENCE OF CALCAREOUS FLY ASH

EFEKTYWNOŚĆ DZIAŁANIA DOMIESZEK W ZAPRAWACH W OBECNOŚCI POPIOŁU LOTNEGO WAPIENNEGO

STRESZCZENIE. W artykule przedstawiono badania dotyczące wpływu różnych domieszek (SP, PL, AE, R, ACC) na właściwości reologiczne, zawartość powietrza, czas wiązania oraz ciepło hydratacji zapraw z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego. Parametry reologiczne zapraw wyznaczono za pomocą reometru Viskomat NT. Ilość powietrza w zaprawie określano metodą ciśnieniową według PN-EN 413-2, a czas początku wiązania określono według PN-EN 196-3. Do badania ciepła hydratacji wykorzystano mikrokolorymetr izotermiczny TamAir. Obecność popiołu lotnego wapiennego zwykle wpływa negatywnie na efektywność działania domieszek. Uzdatnienie popiołu przez przemiał poprawia w niektórych przypadkach efektywność działania domieszek (np. plastyfikatorów, superplastyfikatorów). Wpływ popiołu lotnego wapiennego na efektywność działania domieszek zależy nie tylko od jego rodzaju, ale przede wszystkim od rodzaju domieszki. Dobór kompatybilnej domieszki należy dokonywać doświadczalnie, uwzględniając obecność popiołu lotnego wapiennego.

SŁOWA KLUCZOWE: ciepło hydratacji, czas wiązania, domieszka, popiół lotny wapienny, właściwości reologiczne, zawartość powietrza w mieszance.

ABSTRACT. This paper presents a study on the influence of various admixtures (SP, PL, AE, R, ACC) on rheological properties, air content, setting time and heat of hydration of mortars with the addition of calcareous fly ash. Rheological parameters of mortars were determined using a rheometer Viskomat NT. The content of air in the mortar was determined using pressure method according to PN-EN 413-2 and initial setting time was specified according to PN-EN 196-3. The study on the heat of hydration was based on an isothermal microcalorimeter TamAir. The calcareous fly ash presence usually exerts negative influence on additives effectiveness. Activating the ash by grinding improves the additives efficiency (e.g. plasticizers, superplasticizers). The influence of calcareous fly ash on effectiveness of the additives is dependent not only on its type, but also on the type of admixture. The choice of compatible admixture should be made experimentally, taking into account the presence of calcareous fly ash.

KEYWORDS: admixture, air content, calcareous fly ash, heat of hydration, rheological properties, setting time.

DOI: 10.7409/rabdim.013.014

¹⁾ Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa; Jacek.Golaszewski@polsl.pl

²⁾ Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa; Aleksandra.Kostrzanowska@polsl.pl (✉)

³⁾ Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa; Patrycja.Miera@polsl.pl

⁴⁾ Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa; Michal.Drewniok@polsl.pl

⁵⁾ Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa; Grzegorz.Cygan@polsl.pl

⁶⁾ Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa; Joanna.Deszcz@polsl.pl

1. WPROWADZENIE

Dodatki mineralne są dobierane ze względu na wymagania wytrzymałościowe i trwałościowe betonu. Ich obecność wpływa jednak znacząco także na właściwości reologiczne mieszanki. Podstawowe efekty stosowania dodatków mineralnych przedstawiono szeroko w licznych opracowaniach [1 - 5]. Popioły lotne wapienne (PLW) uzyskiwane są ze spalania węgla brunatnego w kotłach konwencjonalnych. Cechą charakterystyczną krajowych popiołów lotnych wapiennych jest znaczna zmienność składu chemicznego i ziarnowego, która stanowi poważne utrudnienie przy kształtowaniu urabialności mieszanek z jego dodatkiem [1, 6, 7]. Zakres zmienności podstawowych parametrów składu popiołów lotnych wapiennych został szczegółowo przedstawiony w artykule [7, 8]. Jednym z warunków szerszego wykorzystania popiołu lotnego wapiennego jako dodatku do betonu jest rozwiązanie problemu kształtowania urabialności mieszanek i zweryfikowanie efektywności działania domieszek w jego obecności. Dane literaturowe świadczą o tym, że obecnie takich kompleksowych badań brakuje. Dostępne są jedynie nieliczne wyniki [1, 2, 9, 10], przy czym zwykle pochodzą one z badań prowadzonych w wąskim zakresie. W nielicznych badaniach dotyczących wpływu działania popiołu na efektywność domieszki, np. [10] stwierdzono, że w celu uzyskania określonej granicy płynięcia konieczne jest dodawanie znacznie większej ilości superplastyfikatora – wprowadzenie 30% popiołu lotnego wymusza ponad dwukrotne zwiększenie ilości dodanego superplastyfikatora. Obecność dużej ilości niespalonego węgla w popiele lotnym wapiennym wpływa również na zmniejszenie efektywności działania domieszek, utrudniając nie tylko upłynnienie, ale przede wszystkim efektywne napowietrzenie mieszanki betonowej [9, 11]. W celu zweryfikowania efektywności działania domieszek konieczne są przede wszystkim systematyczne badania dotyczące wpływu właściwości fizykochemicznych popiołu lotnego wapiennego na reologię i urabialność mieszanek w obecności domieszek, które to badania przedstawiono w niniejszym artykule.

2. ZAKRES BADAŃ I WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW

W badaniach określono wpływ popiołu lotnego wapiennego nieuzdatnionego oraz uzdatnionego przez przemiał, jako 20% ekwiwalent cementu, na efektywność działania następujących domieszek: plastyfikatorów PL (PL1, PL2

1. INTRODUCTION

Mineral additives are selected taking into account the requirements of strength and durability of concrete. Their presence, however, significantly affects rheological properties of concrete mixtures. The main effects of using mineral additives are shown widely in many studies [1 - 5]. Calcareous fly ashes are derived from the combustion of brown coal in conventional boilers. Domestic calcareous fly ash is characterized by considerable variation of chemical composition and particle size distribution, which is a serious obstacle in shaping the workability of mixes with its addition [1, 6, 7]. The range of variation of calcareous fly ash basic parameters is presented in detail in [7, 8]. One of the conditions of increasing the use of calcareous fly ash as an additive to concrete is solving a problem of design of mix workability and verifying the admixture effectiveness in the presence of calcareous fly ash. Literature data indicate the current lack of such a comprehensive study. There are available only few results [1, 2, 9, 10], which usually originate from studies conducted in the narrow range. In few studies on the effect of ash on the effectiveness of admixture, e.g [10], it was found that in order to obtain a specified yield stress it was necessary to add larger amounts of superplasticizer – the insertion of 30% of fly ash forced more than double increase in amount of added superplasticizer. The presence of large amount of unburned carbon in the calcareous fly ash affects also the reduction of admixtures efficiency, not only making the flowability difficult, but also hindering the effective aeration of the concrete mix [9, 11]. In order to verify the effectiveness of the additives, a systematic study on the impact of both physical and chemical properties of fly ash on the rheology and workability of mixes in the presence of admixtures are required. Such a study is presented in this article.

2. SCOPE OF RESEARCH AND MATERIAL PROPERTIES

The influence of both unprocessed and activated by grinding calcareous fly ash, as a 20% equivalent of cement, on the effectiveness of the following admixtures: plasticizers PL (PL1, PL2 in Table 1), superplasticizers SP (SMF, SNF, PE1, PE2 in Table 1), aerating admixtures AE (AE1, AE2 in Table 1), retarding admixtures R (R in Table 1), accelerating admixtures ACC (ACC in Table 1), was determined in the study. The mortar composition included: 1350 g of standard sand and binder (cement

według Tabl. 1), superplastyfikatorów SP (SMF, SNF, PE1, PE2 według Tabl. 1), domieszek napowietrzających AE (AE1, AE2 według Tabl. 1), domieszek opóźniających R (R według Tabl. 1), domieszek przyspieszających ACC (ACC według Tabl. 1). W skład zaprawy wchodził piasek normowy 1350 g i spoiwo (cement CEM I 42,5R – 360 g i popiół lotny wapienny PLW – 90 g). Badania przeprowadzono dla partii popiołów pobranych i wykorzystanych do prób technologicznych (4 partie ze zbiorników retencyjnych działu sprzedaży popiołów Elektrowni Bełchatów). W pracy [12] wykazano, że ze względu na dobrą zgodność wpływu podstawowych czynników na reologię zapraw i mieszanek, wyniki uzyskane na zaprawach mogą być wykorzystane do przewidywania wielkości zmian właściwości reologicznych mieszanek betonowych. Właściwości fizyczne i skład chemiczny badań popiołów lotnych wapiennych przedstawiono w Tabl. 2 i 3.

CEM I 42.5 R – 360 g and calcareous fly ash – 90 g). The study was conducted for the batch of ashes collected and used to technology tests (4 batches from storage reservoirs of Bełchatów Power Station). In [12] it is shown that due to good compatibility of the influence of basic factors on the rheology of mortars and mixes, the results of mortars can be used to predict the changes in rheological properties of concrete mixes. The physical properties and chemical composition of the analyzed calcareous fly ashes are presented in Table 2 and 3.

Table 1. Admixture properties and its quantity used for experiments

Tablica 1. Właściwości domieszek i ich zawartość zastosowana do badań

Admixture designation Oznaczenie domieszki	Active substance Substancja aktywna	Quantity of admixture Ilość domieszki	Water-binder ratio w/b Wskaźnik wodno-spoiwowy w/b
PL	PL1 lignosulfonate / lignosulfonate	1/2 max = 0.5% 1 max = 1.0%	0.55
	PL2 iminodietanol, bis ethanol, phosphate (V) tributyl acetate, formaldehyde, methanol, (Z)-octadec-9-enylamine iminodietanol, etanol, fosforan (V) trójocian butylu, formaldehyd, metanol, (Z)-9-octadec-enylaminy	1/2 max = 0.5% 1 max = 1.0%	0.55
SP	SMF salts of sulfonated polymers, melamine-formaldehyde polimery sulfonowanych soli melaminowo-formaldehydowych	1/2 max = 1.15% 1 max = 2.3%	0.55
	SNF polymers of sulfonated naphthalene-formaldehyde salt polimery sulfonowanych soli naftalenowo-formaldehydowych	1/2 max = 1.15% 1 max = 2.3%	0.45
	PE1 polycarboxylic ether eter polikarboksylowy	1/2 max = 1.25% 4/5 max = 2.0%	0.45
	PE2 polycarboxylic ether eter polikarboksylowy	1/2 max = 0.5% 1 max = 1.0%	0.45
AE	AE1 polyethylene glycol, gums extract glikol polietylenowy, ekstrakt żywic naturalnych	1/2 max = 0.15% 1 max = 0.3% 2 max = 0.6% 3 max = 0.9%	0.55
	AE2 synthetic product without vegetable oils produkt syntetyczny nie zawierający olejów roślinnych	1/2 max = 0.25% 1 max = 0.5% 2 max = 1.0% 3 max = 1.5%	0.55
R	sodium krezolan krezolan sodu	1/2 max = 0.50%	0.55
ACC	nitrate (V), sodium thiocyanate azotan (V), tiocyjanian sodowy	1/2 max = 0.15%	0.55
Remark / Uwaga			
1 max – maximum dose recommended by the admixture producer / maksymalna dawka domieszki zalecana przez jej producenta			

Table 2. Physical properties of calcareous fly ash PLW
 Tablica 2. Właściwości fizyczne popiołów lotnych wapiennych PLW

Ash designation Oznaczenie popiołu			Density Gęstość [g/cm ³]	Fineness-sieve residue 45µm Miałkość - pozostałość na sicie 45µm [%]	Blaine specific surface Powierzchnia właściwa według Blaine'a [cm ² /g]	Volume mass Masa objętościowa [kg/m ³]
Batch Partia A	A	unprocessed nieuzdatniony	2.62	38.0	2860	–
	AI	activation by grinding mielenie 10 min	2.77	23.0	3500	–
	AII	activation by grinding mielenie 28 min	2.75	10.5	3870	–
Batch Partia B	B	unprocessed nieuzdatniony	2.58	35.4	4400	750
	BI	activation by grinding mielenie 20 min	2.70	13.3	6510	nb
Batch Partia C	C	unprocessed nieuzdatniony	2.64	55.6	1900	1060
	CI	activation by grinding mielenie 20 min	2.71	20.0	4060	nb
Batch Partia D	D	unprocessed nieuzdatniony	2.60	46.3	2370	1028
	DI	activation by grinding mielenie 15 min	2.67	20.8	3520	–
Remarks / Uwagi						
nb - not tested / nie badano						
– - no data available / brak dostępnych danych						

Table 3. Composition of cement and calcareous fly ash determined using XRF method
 Tablica 3. Skład cementu i popiołu lotnego wapiennego oznaczonego metodą XRF

Component Składnik	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO _{free/wolny}	
Cement CEM I 42.5R	19.5	4.89	2.85	63.3	1.29	2.76	0.14	0.90	–	
Calcareous fly ash Popiół lotny wapienny	A	33.62	19.27	5.39	31.32	1.85	4.50 ^{*)}	0.31	0.11	2.87
	B	35.41	21.86	6.11	25.58	1.49	4.22	0.16	0.13	1.24
	C	40.17	24.02	5.93	22.37	1.27	3.07 ^{*)}	0.15	0.20	1.46 ^{**)}
	D	40.88	19.00	4.25	25.97	1.73	3.94	0.13	0.14	1.07
Remarks / Uwagi										
*) determined according to elemental analysis method / oznaczono metodą analizy elementarnej										
**) glycol method / metoda glikolowa										

3. METODA POMIARU BADANYCH WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW

Parametry reologiczne zapraw wyznaczono za pomocą reometru Viskomat NT. W testach reometrycznych równanie modelu Bingham'a (1) stosuje się w umownej postaci:

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

gdzie: g (Nmm) i h (Nmms) są parametrami odpowiadającymi granicy płynięcia i lepkości plastycznej. W pracy [3] podano, że dla aparatu o identycznym układzie pomiarowym granica płynięcia wynosi $\tau_o = 7,91 \cdot g$, a lepkość plastyczna $\eta_{pl} = 0,78 \cdot h$. Parametry reologiczne zapraw określano po 5 i 90 min od zakończenia mieszania. Zaprawy były przygotowywane i przechowywane pomiędzy pomiarami tak, aby ich temperatura przez cały czas pomiaru wynosiła 20°C. Ilość powietrza w zaprawie określano metodą ciśnieniową według normy PN-EN 413-2 „Cement murarski. Część 2: Metody badania”. Czas początku wiązania określono według PN-EN 196-3 „Metody badania cementu. Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości”. Do badania ciepła hydratacji wykorzystano mikrokalorymetr izotermiczny TamAir.

4. WYNIKI BADAŃ

Dodanie plastyfikatora PL1 (1/2 maksymalnej zalecanej dawki) powoduje obniżenie granicy płynięcia g i lepkości plastycznej h zapraw bez popiołu lotnego wapiennego (Rys. 1). Plastyfikator PL1 nie wpływa istotnie na zmiany granicy płynięcia g w czasie 90 min, zmniejsza jednak zakres zmian lepkości plastycznej h . Dodanie plastyfikatora PL1 do zapraw z popiołem lotnym wapiennym obniża granicę płynięcia g , nie wpływając istotnie lub zwiększając wzrost granicy płynięcia g w czasie 90 min (tylko w przypadku zapraw z PLW DI dodatek PL1 zmniejszył wzrost granicy płynięcia g – Rys. 1). Wprowadzenie plastyfikatora PL1 w niewielkim stopniu wpływa na lepkość plastyczną h – jej obniżenie obserwuje się jedynie w zaprawach z PLW A i BI. W wyniku dodania plastyfikatora PL1 zwykle zmniejsza się zakres zmian lepkości plastycznej w czasie 90 min.

Wprowadzenie plastyfikatora PL2 (1/2 maksymalnej rekomendowanej dawki) powoduje zmniejszenie granicy płynięcia g i lepkości plastycznej h zapraw bez popiołu lotnego wapiennego (Rys. 2). Plastyfikator PL2 nie wpływa istotnie na zmiany granicy płynięcia g w czasie 90 min, zmniejsza jednak zakres zmian lepkości plastycznej h .

3. METHOD OF MEASUREMENT OF MORTAR PROPERTIES

Rheological parameters of mortars were determined using a rheometer Viskomat NT. In rheological tests Bingham model of equation (1) is used in the conventional form:

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

where: g (Nmm) and h (Nmms) are the parameters corresponding to the yield stress and plastic viscosity. In [3] it was explained that in case of a device with the same measuring system, the yield stress was $\tau_o = 7,91 \cdot g$ and the plastic viscosity $\eta_{pl} = 0,78 \cdot h$. Rheological parameters of mortars were determined after 5 min and 90 min after the end of mixing. Mortars were prepared and stored between measurements so that the temperature throughout the measurement was 20°C. The content of air in the mortar was determined using pressure method according to PN-EN 413-2, “Cement Masonry. Part 2: Test methods”. Initial setting time was specified according to PN-EN 196-3, “Methods of testing cement”. Determination of setting time and volume stability. In order to study the heat of hydration an isothermal microcalorimeter TamAir was used.

4. TEST RESULTS

The addition of plasticizer PL1 (1/2 of maximum recommended dose) reduces the yield stress and plastic viscosity of mortars without calcareous fly ash (Fig. 1). Plasticizer PL1 does not change significantly the yield stress g during 90 min, although it reduces the scope of the changes in plastic viscosity. Adding plasticizer PL1 to the mortar with calcareous fly ash reduces the yield stress g , without affecting significantly or increasing the growth of yield stress g during 90 min (only in case of mortars with calcareous fly ash DI, the addition of PL1 decreased the yield stress – Fig. 1). Introducing the plasticizer PL1 has little effect on the plastic viscosity h – the lower one is observed in the mortars with calcareous fly ash A and BI. Adding the plasticizer PL1 generally decreases the range of change in plastic viscosity within 90 min.

Introducing the plasticizer PL2 (1/2 of maximum recommended dose) decreases the yield stress g and plastic viscosity h of mortars without calcareous fly ash (Fig. 2). The plasticizer PL2 does not change significantly the yield stress g during 90 min, although it reduces the scope of changes in plastic viscosity h .

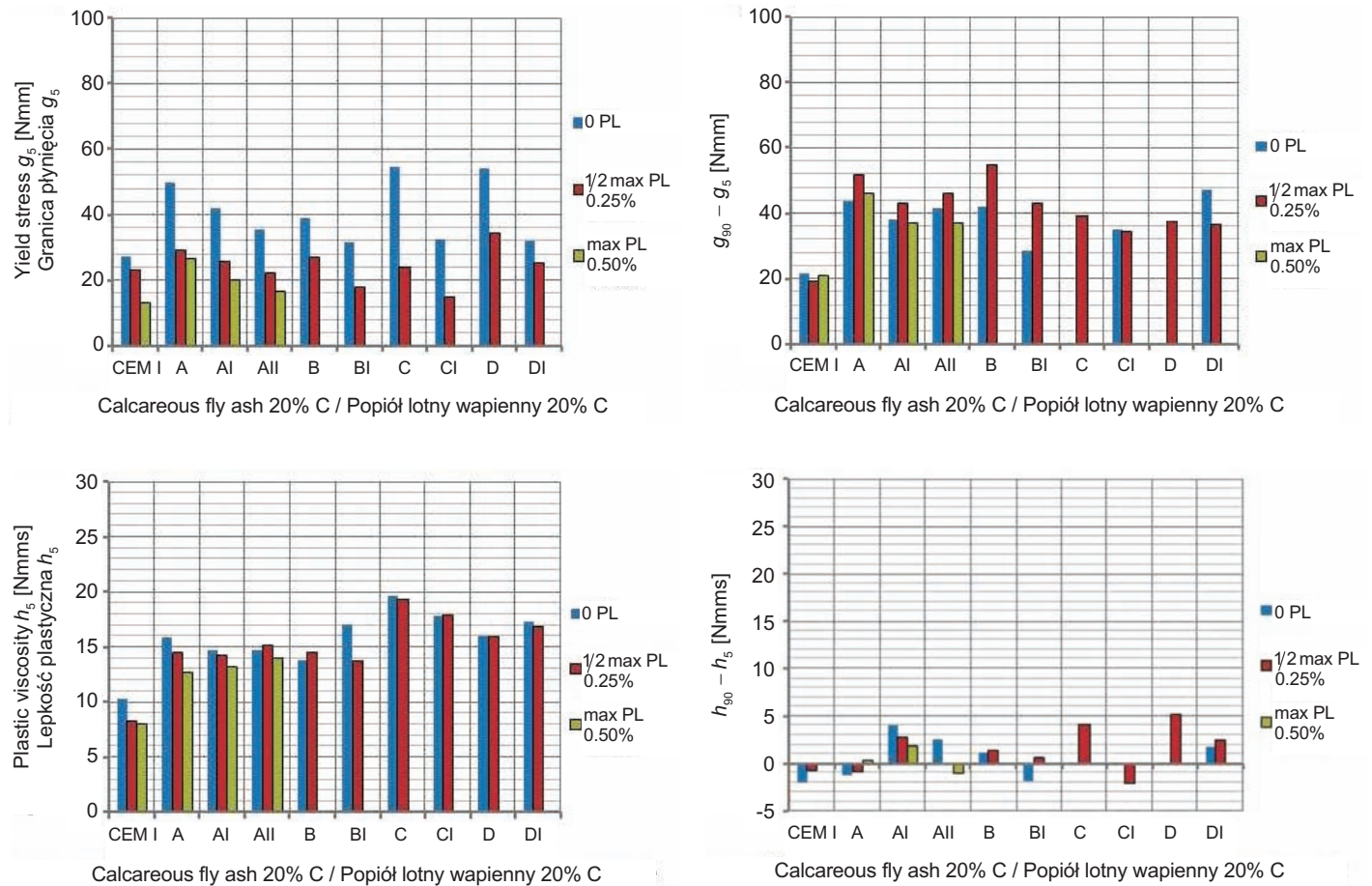


Fig. 1. Influence of plasticizer PL1 on the rheological properties of mortars with 20% of calcareous fly ash, $w/(c + PLW) = 0.55$
 Rys. 1. Wpływ plastyfikatora PL1 na właściwości reologiczne zapraw z 20% popiołu lotnego wapiennego, $w/(c + PLW) = 0,55$

Wprowadzenie plastyfikatora PL2 do zapraw z popiołem lotnym wapiennym znacznie zmniejsza granicę płynięcia g i lepkość plastyczną h zarówno po 5, jak i po 90 min, redukując również zakres zmian tych parametrów w czasie 90 min (Rys. 2). Kierunek zmian w czasie lepkości plastycznej h w wyniku dodania PL2 może jednak ulec zmianie.

Wprowadzenie superplastyfikatora SMF (1/2 maksymalnej zalecanej dawki) powoduje zmniejszenie granicy płynięcia g i lepkości plastycznej h zapraw bez popiołu lotnego wapiennego (Rys. 3). Superplastyfikator SMF istotnie zmniejsza wzrost granicy płynięcia g w czasie 90 min, jednocześnie zwiększając zakres zmian lepkości plastycznej h i zmieniając ich charakter (lepkość plastyczna zapraw z SMF wzrasta w czasie, bez tego dodatku maleje). Dodanie superplastyfikatora SMF do zapraw z popiołem lotnym wapiennym znacząco zmniejsza granicę płynięcia g zarówno po 5, jak i po 90 min (Rys. 3).

Introducing of the plasticizer PL2 to the mortar with calcareous fly ash significantly reduces yield stress and plastic viscosity, both after 5 and after 90 minutes, reducing the extent of changes in these parameters within 90 min (Fig. 2). However, a direction of changes during plastic viscosity h can be changed by adding PL2.

Introduction the superplasticizer SMF (1/2 of maximum recommended dose) decreases the yield stress g and plastic viscosity h of mortars without calcareous fly ash (Fig. 3). The superplasticizer SMF reduces significantly the increase in yield stress g during 90 min, while increasing the range of changes in plastic viscosity and changing their nature (plastic viscosity of mortar with SMF increases in time, but without the additive it decreases). Adding the SMF superplasticizer to the mortar with calcareous fly ash significantly reduces the yield stress g , both after 5 and 90 min (Fig. 3).

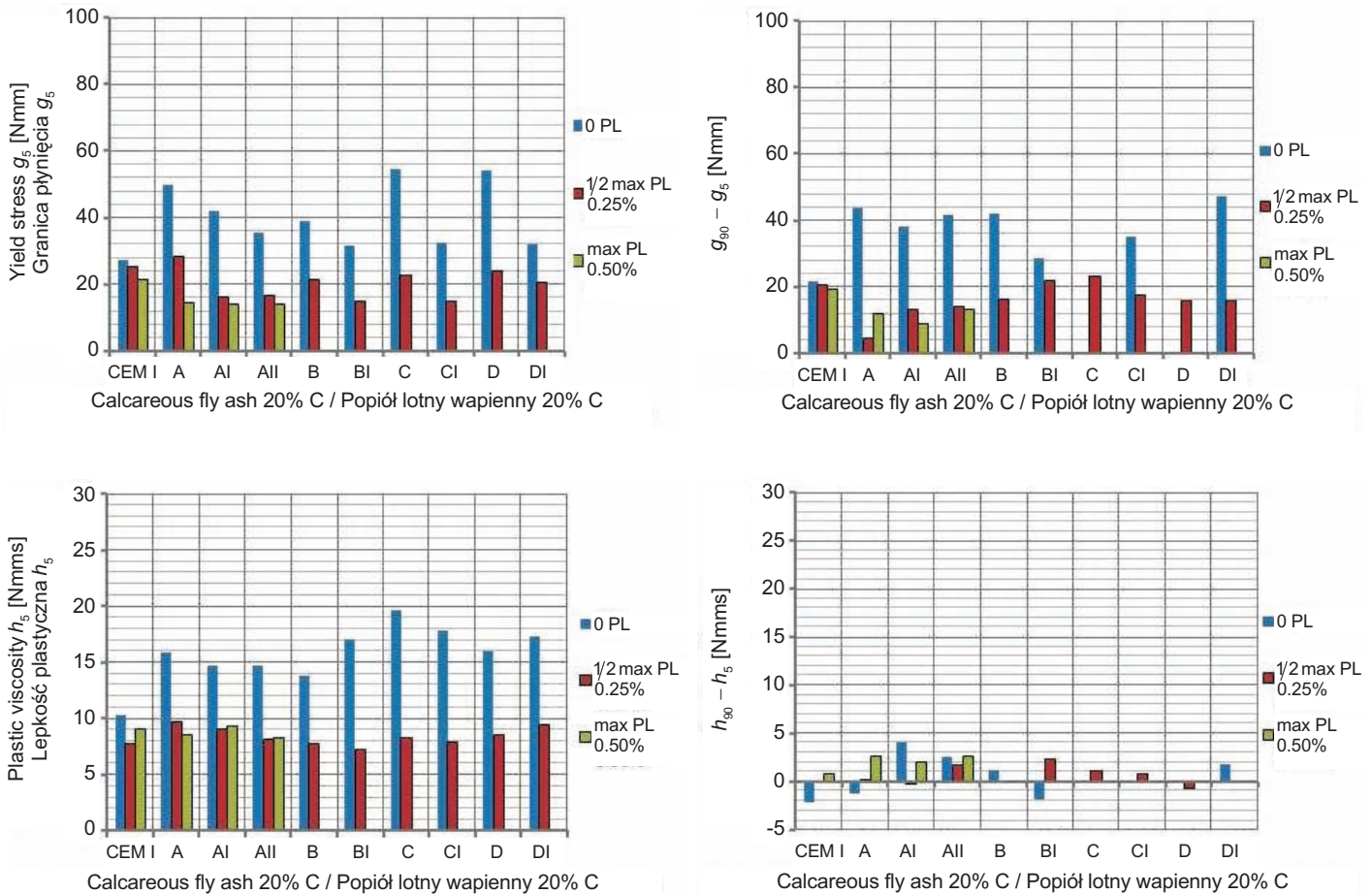


Fig. 2. Influence of plasticizer PL2 on the rheological properties of mortars with 20% of calcareous fly ash, $w/(c + PLW) = 0.55$
 Rys. 2. Wpływ plastyfikatora PL2 na właściwości reologiczne zapraw z 20% popiołu lotnego wapiennego, $w/(c + PLW) = 0,55$

Zakres zmiany granicy płynięcia g w czasie 90 min zmienia się zależnie od rodzaju popiołu – zmniejsza się (PLW A i D) lub zwiększa (PLW B i C) po dodaniu SMF. Wprowadzenie domieszki SMF powoduje zwiększenie lub zmniejszenie lepkości plastycznej h zależnie od rodzaju i uzdatnienia popiołu; nie można jednak wykazać jednoznacznych tendencji. Wpływ SMF na lepkość plastyczną zapraw z popiołem jest jednak mniejszy niż w zaprawach bez jego dodatku (zmiany lepkości plastycznej h zapraw z PLW w wyniku dodania SMF wynoszą średnio około 12%, a zaprawy bez PLW – 35%).

Zwiększanie ilości SNF (z 1/2 max do maksimum zalecanej dawki) powoduje znaczące zmniejszenie granicy płynięcia g i praktycznie nieistotne zmniejszenie lepkości plastycznej h zaprawy bez popiołu lotnego wapiennego (Rys. 4). Przy dawce 1/2 max SNF granica płynięcia g znacznie

The scope of variations in yield stress g during 90 min depends on the type of ash – it is reduced (calcareous fly ash A and D) or increased (calcareous fly ash B and C) after adding the SMF. The insertion of SMF admixture increases or decreases the plastic viscosity h , depending on the type of ash and on the grade of its activation. However, any general trends cannot be shown in this matter. The effect of SMF on the plastic viscosity of mortar with ash is smaller than in case of mortars without this addition (changes in plastic viscosity of mortar with calcareous fly ash as a result of adding SMF, on average, amount to about 12% and in case of mortars without calcareous fly ash – 35%).

Increasing the amount of SNF (with 1/2 of maximum up to a maximum recommended dose) results in a significant reduction of yield stress g and almost insignificant reduction

wzrasta w czasie, przy dawce max SNF właściwości reologiczne zaprawy w czasie 90 min nie zmieniają się. Przy dodatku 1/2 max SNF granica płynięcia g zapraw z popiołem wapiennym jest większa niż zapraw bez popiołu (Rys. 4). Ujawnia się przy tym korzystny efekt uzdatniania popiołu przez przemiał – granica płynięcia g_5 zapraw z popiołem uzdatnionym jest większa od g_5 zapraw bez popiołu o 50%, podczas gdy g_5 zapraw z popiołem nieuzdatnionym aż o 190%. Zwiększenie ilości SNF do maksymalnej powoduje, że granica płynięcia g zapraw z popiołem uzdatnionym przez przemiał jest mniejsza niż zapraw bez popiołu (średnio o 15%). Zaprawy z popiołem nieuzdatnionym charakteryzują się nadal większą, średnio o 75%, granicą płynięcia g . Zakres zmian granicy płynięcia g w czasie w przypadku stosowania dawki 1/2 max SNF jest wyraźnie większy w zaprawach z popiołem lotnym, zwłaszcza nieuzdatnionym.

of plastic viscosity h of mortar without calcareous fly ash (Fig. 4). A 1/2 of maximum dose of SNF increased significantly the yield stress in time and the maximum dose of SNF did not change the rheological properties of mortar during 90 min. With the addition of 1/2 of maximum SNF, the yield stress g of calcareous fly ash mortar is greater than in case of mortars without this ash (Fig. 4). A beneficial effect of the ash activation by grinding is revealed – the yield stress g_5 of mortar with the activated ash is greater over 50% than in case of mortars without ash, while the g_5 of mortars with unprocessed ash – over 190%. Increasing the amount of SNF to its maximum makes the yield stress g of mortars with ash activated by grinding smaller than in case of mortars without ash (on average – 15%). Mixes with unprocessed ash still have a higher average of 75% yield stress. The range of yield stress g changes in time applying the 1/2 of maximum dose of SNF is clearly greater in case of mortars with fly ash, especially unprocessed one.

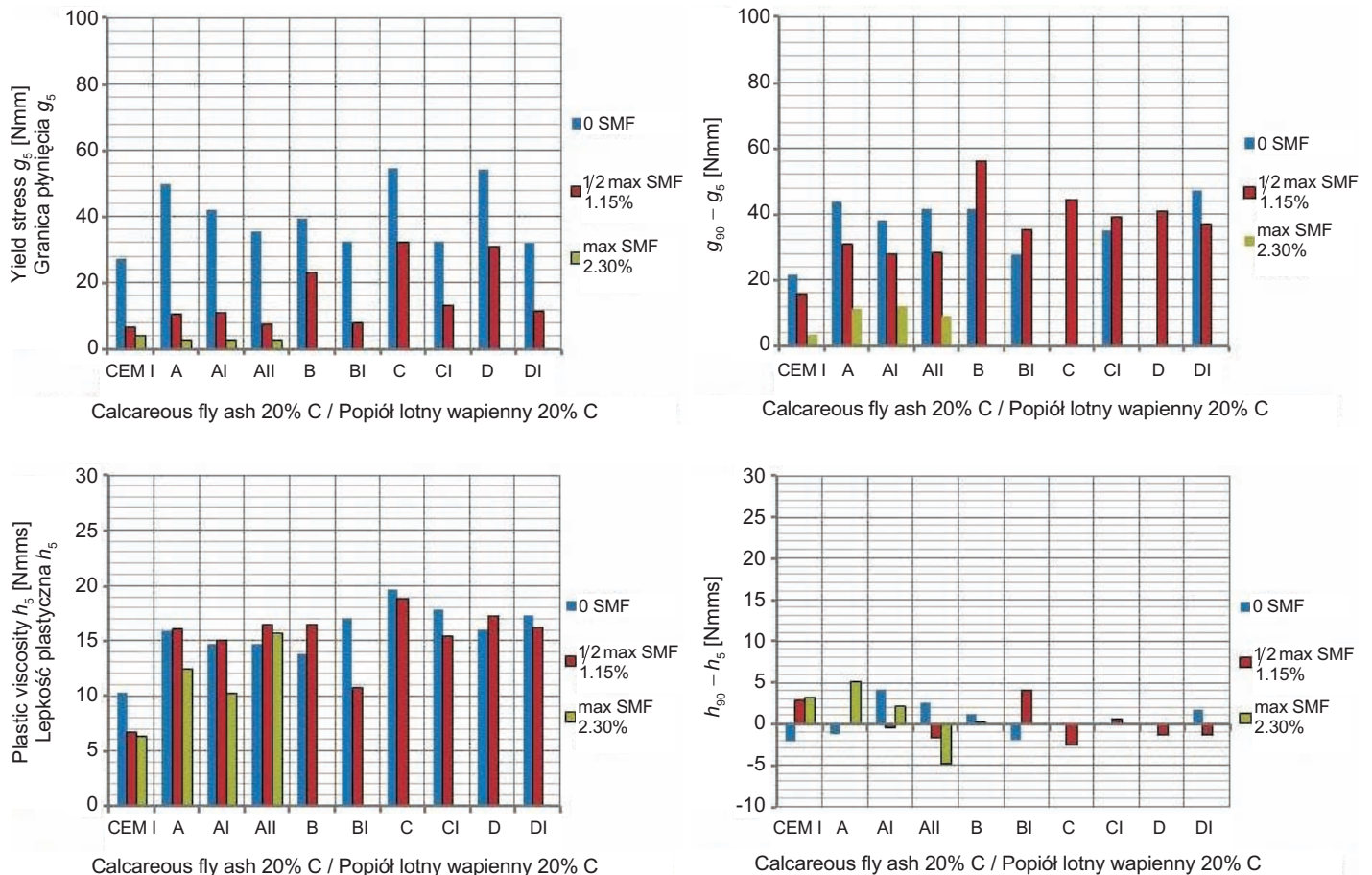


Fig. 3. Influence of plasticizer PL3 on the rheological properties of mortars with 20% of calcareous fly ash, $w/(c + PLW) = 0.55$
Rys. 3. Wpływ plastyfikatora PL3 na właściwości reologiczne zapraw z 20% popiołu lotnego wapiennego, $w/(c + PLW) = 0,55$

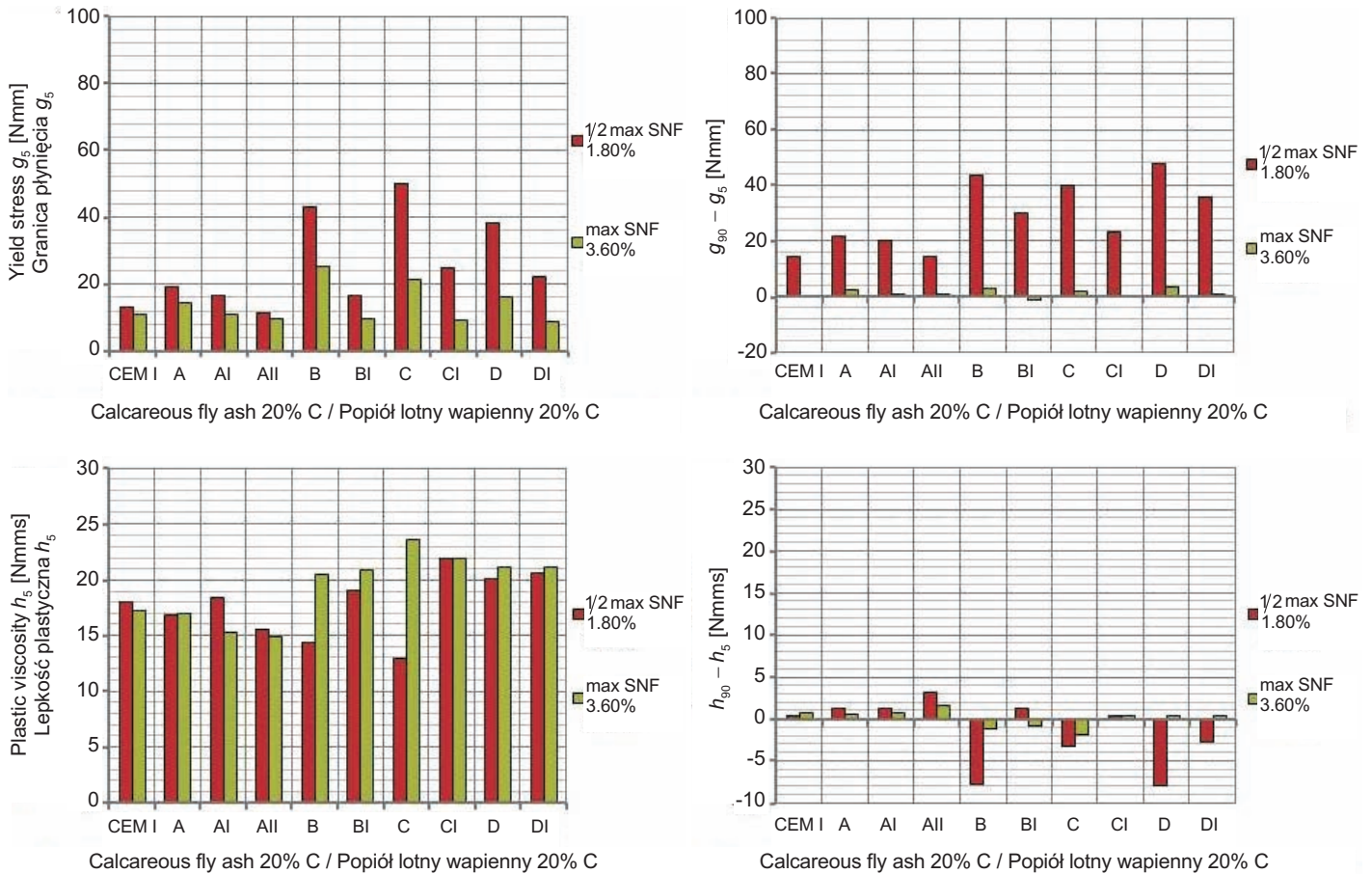


Fig. 4. Influence of plasticizer SNF on the rheological properties of mortars with 20% of calcareous fly ash, $w/(c + PLW) = 0.45$
 Rys. 4. Wpływ plastyfikatora SNF na właściwości reologiczne zapraw z 20% popiołu lotnego wapiennego, $w/(c + PLW) = 0,45$

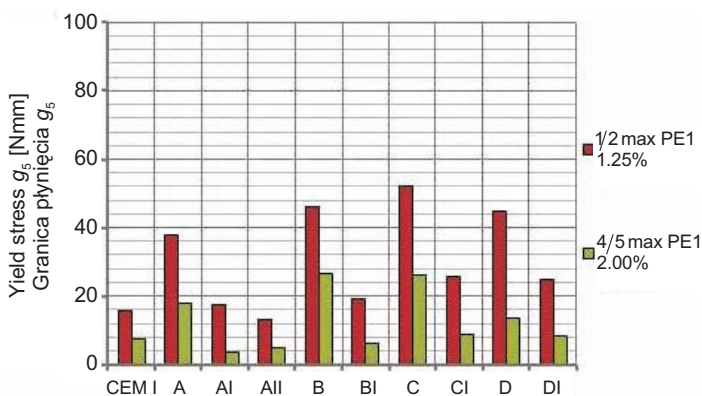
Gdy SNF stosowany jest w dawce maksymalnej, wzrost granicy płynięcia g w czasie zapraw z popiołem uzdatnionym przez przemiał jest pomijalny. Zwiększenie ilości SNF w zaprawach z popiołem w mniejszym stopniu wpływa na lepkość plastyczną h , która zwykle wzrasta nieznacznie (nie więcej niż o 10%, większy wzrost występuje tylko przypadku zapraw z nieuzdatnionymi popiołami B i C). Większe zmiany lepkości plastycznej h w czasie występują w przypadku zapraw z dodatkiem 1/2 max SNF i dotyczą zapraw z popiołem lotnym nieuzdatnionym. Przy dodatku max SNF zmiany lepkości plastycznej h zapraw z dodatkiem popiołu w czasie można uznać za nieistotne.

Zwiększanie ilości PE1 (z 1/2 do 4/5 maksymalnej rekomendowanej zalecanej dawki) powoduje zmniejszenie granicy płynięcia g i nie wpływa na lepkość plastyczną h zaprawy bez popiołu (Rys. 5). Przy dawce 1/2 max PE1 granica płynięcia g wzrasta w czasie, jednak mniej niż

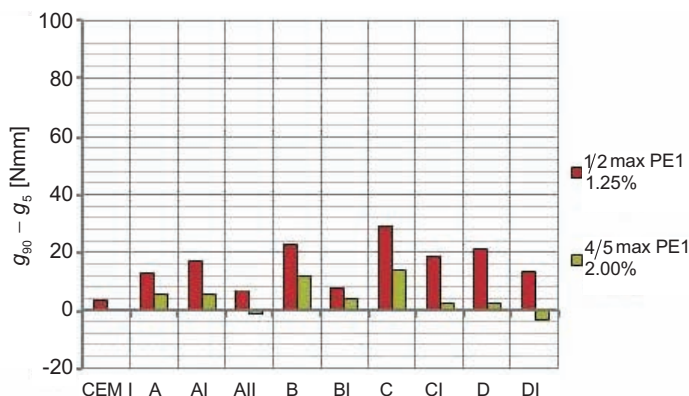
When applying SNF maximum dose, the increase of yield stress g of mortars with ash activated by grinding in time is neglected. Increasing the amount of SNF in mortars with ash influences less the plastic viscosity h , which normally increases only slightly (no more than 10%, a bigger increase occurs only in case of mortars with unprocessed ash B and C). Larger plastic viscosity changes occur in time in case of mortars with 1/2 of maximum SNF and concern the mortars with unprocessed fly ash. When adding the maximum dose of SNF, changes in plastic viscosity h of mortars with ash addition with time can be regarded as insignificant.

Increasing the amount of PE1 (from 1/2 to 4/5 of maximum recommended dose) results in decreasing the yield stress g and does not affect the plastic viscosity of the mortar without ash (Fig. 5). At a 1/2 of maximum dose of PE1, the yield stress increases in time, but less than in

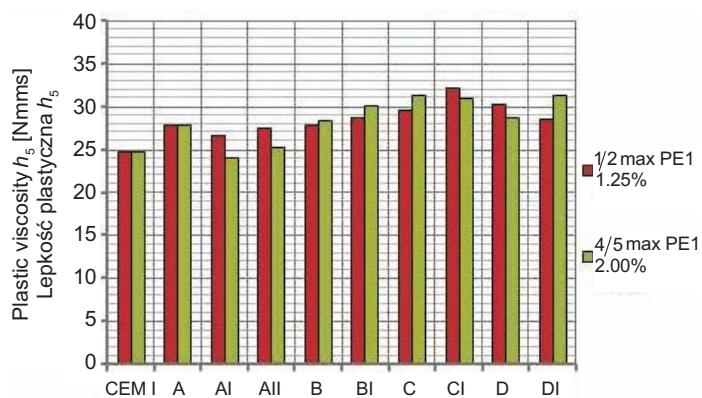
w przypadku zapraw z 1/2 max SNF. Przy dawce 4/5 max PE1 właściwości reologiczne zaprawy w czasie 90 min nie zmieniają się. W przypadku dodania 1/2 max PE1, granica płynięcia g zapraw z popiołem lotnym wapiennym jest większa niż zapraw bez jego dodatku (Rys. 5). Ujawnia się przy tym korzystny efekt uzdatniania popiołu przez przemiał – granica płynięcia g_5 zapraw z popiołem uzdatnionym przez przemiał jest większa od g_5 zapraw bez popiołu średnio o około 25%, podczas gdy zapraw z popiołem nieuzdatnionym aż o 180%.



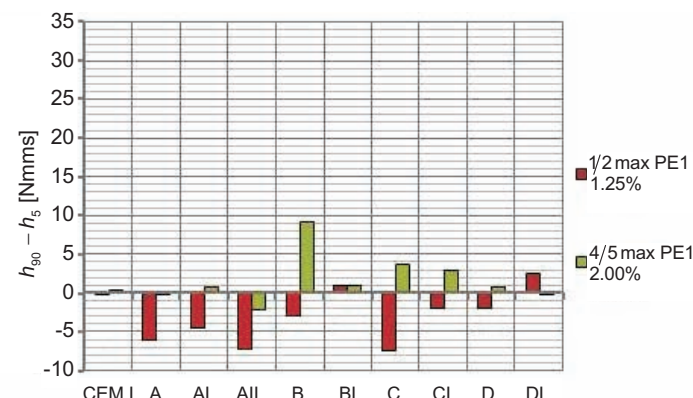
Calcareous fly ash 20% C / Popiół lotny wapienny 20% C



Calcareous fly ash 20% C / Popiół lotny wapienny 20% C



Calcareous fly ash 20% C / Popiół lotny wapienny 20% C



Calcareous fly ash 20% C / Popiół lotny wapienny 20% C

Fig. 5. Influence of superplasticizer PE1 on the rheological properties of mortars with 20% of calcareous fly ash, $w/(c + PLW) = 0.45$

Rys. 5. Wpływ superplastyfikatora PE1 na właściwości reologiczne zapraw z 20% popiołu lotnego wapiennego, $w/(c + PLW) = 0,45$

Zwiększenie ilości PE1 do 4/5 max zmniejsza granicę płynięcia g zapraw z popiołem uzdatnionym przez przemiał – jest ona mniejsza niż zapraw bez popiołu (średnio o 10%). Efekt ten nie występuje w przypadku zapraw z popiołem nieuzdatnionym, które charakteryzują się większą granicą płynięcia g o 200% niż analogiczne zaprawy bez

case of mortars with 1/2 of maximum SNF. At a 4/5 of maximum dose of PE1, rheological properties of mortar during 90 min do not change. When adding 1/2 of maximum PE1, the yield stress of mortars with calcareous fly ash is higher than in case of mortars without any additive (Fig. 5). It occurs when the beneficial effect of the ash activated by grinding is revealed – the yield stress g_5 of mortars with ash activated by grinding is bigger on average about 25% than in case of mortars without ash, while the mortar with unprocessed ash – up to 180%.

Increasing the amount of PE1 to 4/5 of the maximum dose reduces the yield stress g of mortars with ash activated by grinding: it is lower than in case of mortars without ash (on average – 10%). This effect does not occur in case of mortars with unprocessed ash, which are characterized by a significantly higher yield stress of about 200% than the

popiołu. Zakres zmian granicy płynięcia g w czasie w przypadku dodania $1/2$ max PE1 jest większy w zaprawach z popiołem, zwłaszcza nieuzdatnionym. Gdy PE1 dodano w ilości $4/5$ max, wzrost granicy płynięcia w czasie zapraw z popiołem uzdatnionym przez przemiał jest pomijalny. Zwiększenie ilości PE1 w zaprawach z popiołem w małym stopniu wpływa na lepkość plastyczną h , która wzrasta lub maleje, ale zmiany te nie przekraczają 10%. W przypadku zapraw z dodatkiem $1/2$ max PE1 lepkość plastyczna h zwykle maleje z upływem czasu o 10% do 25% (średnio o 15%). Jedynie w przypadku zapraw z PLW BI i DI stwierdzono niewielki wzrost lepkości (o około 3% - 9%). Przy dodatku $4/5$ max PE1 lepkość plastyczna h wzrasta w czasie, ale wzrost ten nie przekracza zwykle 10% (większy wzrost dotyczy tylko zapraw z PLW B i C).

respective mortars without ash. The scope of changes of yield stress in time in case of adding $1/2$ of maximum PE1 is greater in mortars with ash, especially unprocessed one. When the PE1 was added in an amount of $4/5$ of maximum dose, the increase of yield stress of mortars with activated ash was insignificant. Increasing the amount of PE1 in mortars with ash does not influence significantly the plastic viscosity h , which increases or decreases but the changes do not exceed 10%. In case of mortars with $1/2$ of maximum PE1 the plastic viscosity usually decreases in time by 10% - 25% (on average 15%). Only in case of mortars with ashes DI and BI a slight increase in plastic viscosity (about 3% - 9%) was noticed. With the addition of $4/5$ of maximum PE1 plastic viscosity increases in time, but this increase does not normally exceed 10% (bigger increase concerns only mortar with calcareous fly ash B and C).

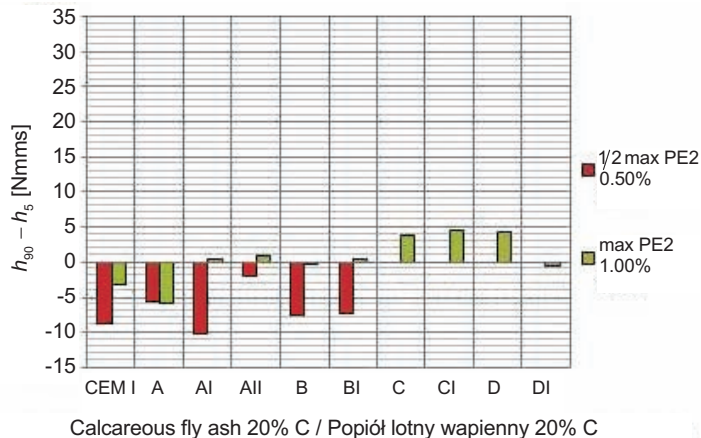
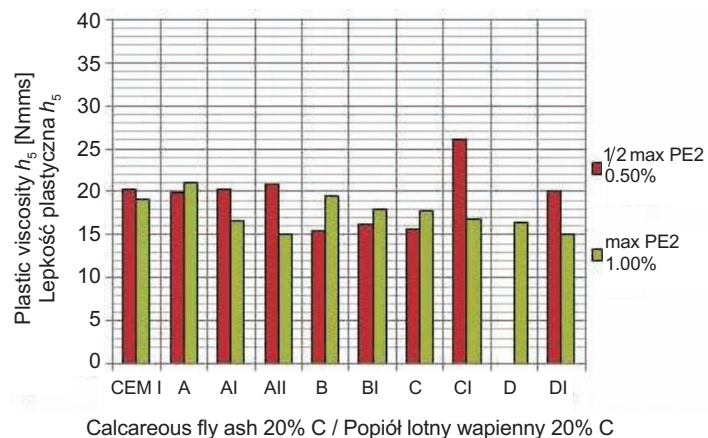
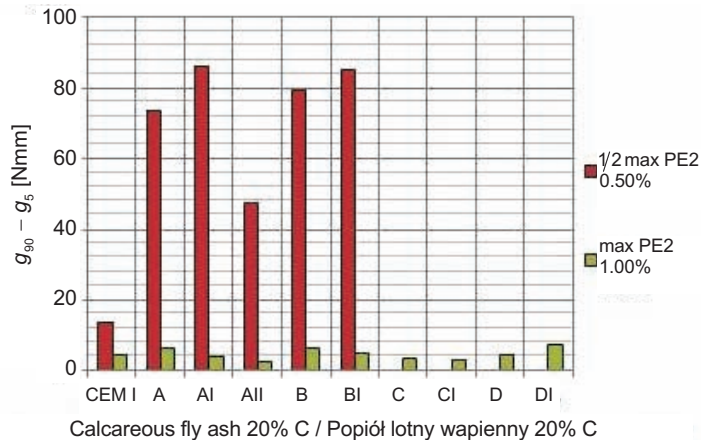
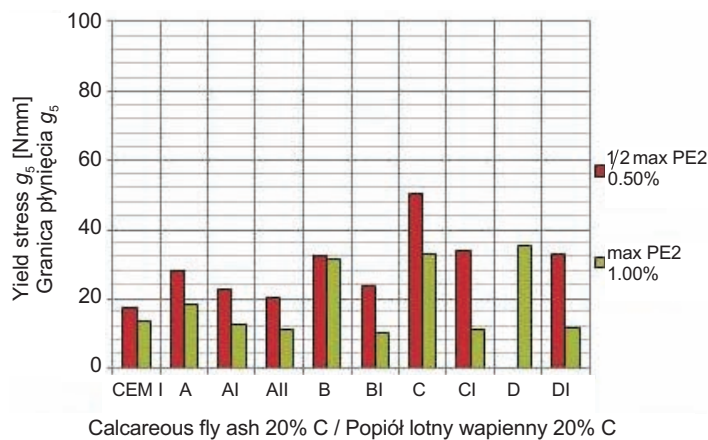


Fig. 6. Influence of superplasticizer PE2 on the rheological properties of mortars with 20% of calcareous fly ash, $w/(c + PLW) = 0.45$
Rys. 6. Wpływ superplastyfikatora PE2 na właściwości reologiczne zapraw z 20% popiołu lotnego wapiennego, $w/(c + PLW) = 0,45$

Zwiększanie ilości wprowadzonej domieszki PE2 powoduje niewielkie obniżenie granicy płynięcia g i lepkości plastycznej h zapraw bez popiołu lotnego wapiennego (Rys. 6). Przy dawce $1/2 \max$ PE2 obserwuje się znaczny wzrost granicy płynięcia g w czasie, któremu towarzyszy znaczne zmniejszenie lepkości plastycznej h .

Przy dawce \max PE2 zmiany parametrów reologicznych w czasie są mniejsze, jednak właściwości reologiczne zaprawy nie mogą być uznane za stabilne. Superplastyfikator PE2 należy uznać za znacznie słabszy niż PE1 i posiadający ograniczone zdolności do upłynnienia mieszanki.

Obecność popiołu lotnego wapiennego opóźnia czas wiązania cementu o około 50% (Rys. 7). Opóźnienie to nie zależy od rodzaju popiołu i jego uzdatnienia przez przemiał. Wprowadzenie domieszki opóźniającej R znacząco, tzn. o ponad 160%, opóźnia czas wiązania cementu. W obecności popiołu lotnego wapiennego działanie tej domieszki opóźniającej jest słabsze – opóźnienie czasu wiązania wynosi od 30% do 80% (średnio około 50%) i zależy od uzdatnienia popiołu. W obecności popiołu uzdatnionego działanie domieszki opóźniającej wiązanie R jest słabsze oraz zależy od jego rodzaju, jednak w znacznie mniejszym stopniu (brak wyraźnych tendencji). Średnie opóźnienie wiązania w przypadku zaczynu z popiołem nieuzdatnionym wynosi około 65%, natomiast z popiołem uzdatnionym przez przemiał około 40%. Należy przy tym zauważyć, że w obecności domieszki opóźniającej R czas wiązania zaczynu cementowego jest zwykle dłuższy niż czas wiązania zaczynu z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego.

Increasing the amount of the introduced admixture PE2 causes a slight decrease in yield stress and plastic viscosity of mortars without calcareous fly ash (Fig. 6). At a $1/2$ of maximum dose of PE2 a significant increase in yield stress g with time can be observed, accompanied by a significant reduction in plastic viscosity h .

At a maximum dose of PE2 rheological parameters changes in time are smaller, but the rheological properties of the mortar cannot be considered as stable in time. The superplasticizer PE2 should be considered as a significantly weaker than PE1 and having limited ability to liquefy the cement mix.

The presence of calcareous fly ash slows the setting time of cement by 50% (Fig. 7). This delay does not depend on the kind of ash and its activation by grinding. Introduction of the retarding admixture R significantly, i.e. by more than 160%, delays setting time of cement. In the presence of calcareous fly ash the effect of retarding admixture R is lower – a delay of the setting time is from 30% to 80% (mean 50%), depending on the ash activation. In the presence of activated ash the activity of retarding admixture R is lower and depends on its type, but to smaller extent (no general trend). The average delay of setting in case of paste with unprocessed ash is about 65% and ash activated by grinding – about 40%. It should be noted that in the presence of a retarding admixture R the setting time of paste is usually longer than the setting time of the paste with calcareous fly ash.

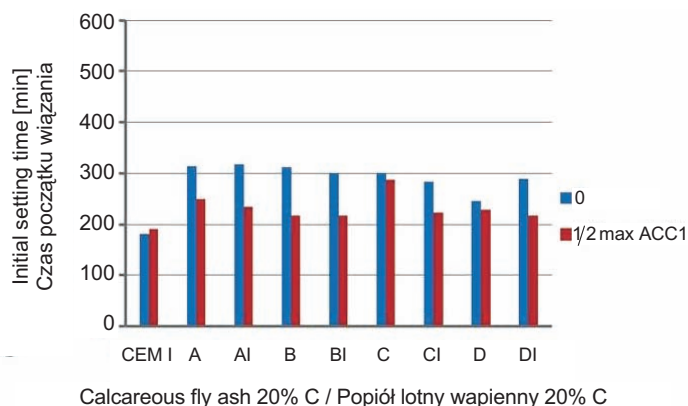
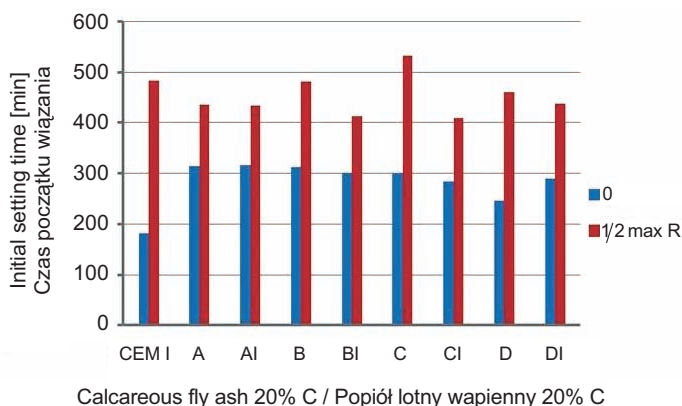


Fig. 7. Influence of retarding admixture R and accelerating admixture ACC on the beginning of setting time of cement in the presence of 20% of calcareous fly ash

Rys. 7. Wpływ domieszki opóźniającej R i przyspieszającej ACC na czas początku wiązania cementu w obecności 20% popiołu lotnego wapiennego

Domieszka opóźniająca R początkowo zwiększa ilość wydzielonego ciepła w trakcie hydratacji cementu, przy czym efekt ten zwykle jest nieco słabszy w obecności popiołu lotnego (Rys. 8). Po 2 h hydratacji cementu ilość wydzielonego ciepła w obecności domieszki opóźniającej R jest średnio o około 10% większa. Po 12 h i 24 h ilość wydzielonego w trakcie hydratacji cementu ciepła jest mniejsza w obecności domieszki opóźniającej R, a efekt ten jest słabszy w obecności popiołu lotnego wapiennego (po 12 h hydratacji cementu ilość wydzielonego w obecności domieszki R ciepła zmniejsza się o około 60%, a w obecności popiołu lotnego wapiennego średnio o 30%, natomiast po 24 h zmniejszenie ilości wydzielanego ciepła wynosi odpowiednio 30% i 10%). Po 24 h wpływ domieszki opóźniającej R powoli zanika i zwykle po 72 h ilość wydzielonego w jej obecności ciepła jest mniejsza o nie więcej niż 10% (Rys. 8). W ciągu 2 h ciepła z domieszką wydzielą się średnio o 10% więcej ciepła, po 12 h i 24 h ciepła wydzielą się odpowiednio o 30% i 10% mniej, potem wpływ domieszki R zwykle zanika, za wyjątkiem zapraw z PLW BI i CI, gdzie w obecności R ilość wydzielającego się ciepła jest większa o 10% - 30%. Rodzaj i przemiał popiołu wpływa na efekty działania domieszki opóźniającej R, jednak nie można wskazać jednoznacznych tendencji. Wyniki badania ciepła hydratacji pozostają ogólnie w zgodności z wynikami badania czasu wiązania, potwierdzając słabsze działania domieszki R w obecności popiołu lotnego wapiennego. Domieszka opóźniająca wpływa bardziej na czas wiązania cementu (zmiana średnio o 53%) niż na jego ciepło hydratacji (po 12 h zmiana średnio o 28%).

Retarding admixture R initially increases the heat generated during the hydration of cement, the effect is usually slightly smaller in the presence of fly ash (Fig. 8). After 2 h of cement hydration the quantity of heat generated in the presence of a retarding admixture R is on average about 10% higher. After 12 h and 24 h the amount generated by the heat of hydration of the cement is lower in the presence of a retarding admixture R, and this effect is weaker in the presence of calcareous fly ash (after 12 h of cement hydration the amount of heat generated in the presence of admixture R is reduced by approximately 60% and in the presence of calcareous fly ash is reduced on average by 30%, and after 24 h the amount of generated heat amounts to 30% and 10% respectively). After 24 h the retarding effect of admixture R slowly disappears and usually after 72 h the amount of heat generated in its presence is smaller by no more than 10% (Fig. 8). During 2 h of heat with admixture there is generated on average 10% of heat more and after 12 h and 24 h – 30% and 10% less, then the effect of admixture R is normally lost, except for mortars with calcareous fly ash BI and CI, where in the presence of R a quantity of generated heat is higher by 10% - 30%. A type of ash and grinding exert an influence on the effects of retarding admixture R, but the general trends cannot be indicated. Hydration heat test results are generally in accordance with the results of setting time test, confirming the weak activity of admixture R in the presence of calcareous fly ash. Retarding admixture affects more the setting time of the cement (change on average is 53%) than its heat of hydration (after 12 h there is a change amounting 28%).

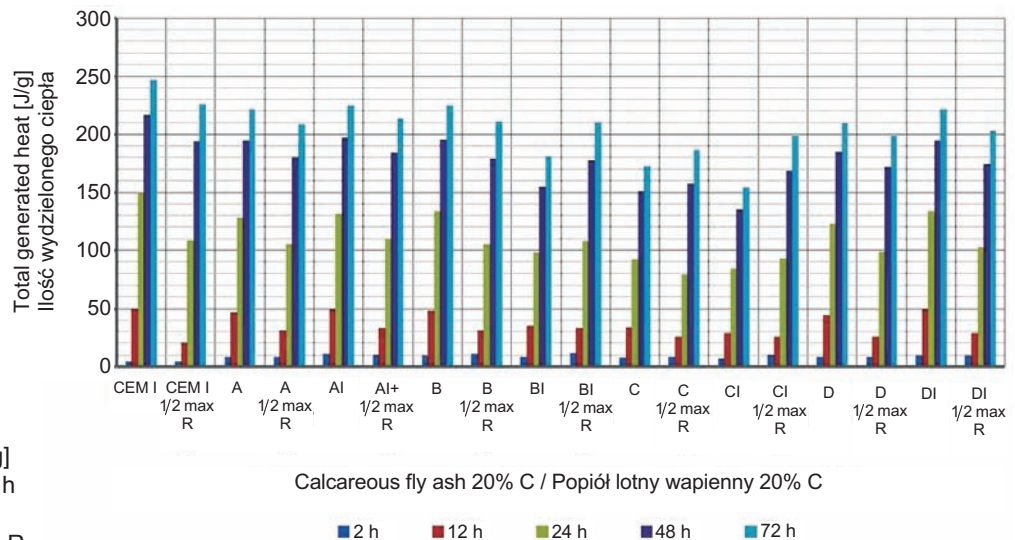


Fig. 8. Quantity of the generated heat [J/g] in the process of hardening up to 72 h in the presence of 20% of calcareous fly ash and retarding admixture R
Rys. 8. Ilość wydzielonego ciepła [J/g] w trakcie twardnienia w czasie do 72 h w obecności 20% popiołu lotnego wapiennego i domieszki opóźniającej R

Wprowadzenie domieszki przyspieszającej ACC nie wpływa na czas wiązania zaczynu cementowego. W obecności popiołu lotnego wapiennego domieszka przyspieszająca ACC skraca czas wiązania o 5% - 30% zależnie od rodzaju popiołu i jego uzdatnienia przez przemiał (Rys. 7). Należy przy tym zauważyć, że w obecności domieszki przyspieszającej ACC czas wiązania zaczynu z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego jest nadal dłuższy niż zaczynu cementowego bez dodatku domieszki i popiołu lotnego wapiennego.

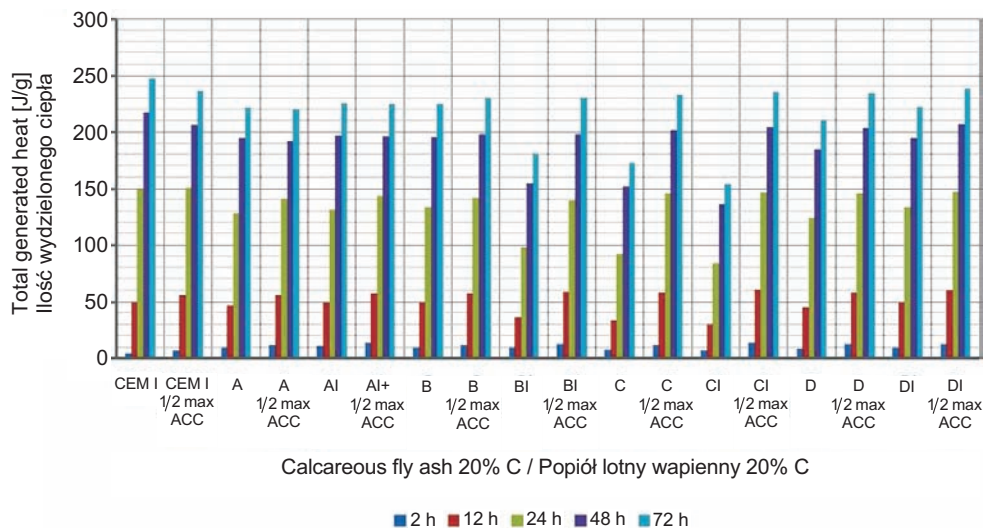
Domieszka przyspieszająca ACC działa silniej w obecności popiołu lotnego uzdatnionego przez przemiał (średnie przyspieszenie wiązania w przypadku zaczynu z popiołem nieuzdatnionym wynosi około 15%, a z popiołem uzdatnionym przez przemiał – 25%). Słabe działanie domieszki ACC widać w obecności nieuzdatnionych popiołów C i D, jednak po ich zmieleniu efektywność działania domieszki ACC jest taka sama, jak w obecności uzdatnionych przez przemiał popiołów AI i BI. Domieszka przyspieszająca zwiększa ilość wydzielonego ciepła w trakcie hydratacji cementu do 24 h (Rys. 9). Po 48 h efekt działania domieszki przyspieszającej zanika, a ilość wydzielonego ciepła jest o około 5% mniejsza. Zwraca uwagę, że pomimo wyraźnego zwiększenia ilości wydzielanego ciepła, domieszka przyspieszająca ACC nie wpływa na czas początku wiązania cementu. W obecności popiołu lotnego wapiennego domieszka przyspieszająca zwiększa ilość wydzielonego ciepła w trakcie hydratacji cementu – po 2 h, 12 h i 24 h średnio odpowiednio o 43%, 43% i 28%. Po 48 h efekt działania domieszki przyspieszającej ACC słabnie, ilość wydzielonego ciepła po 48 h i 72 h jest jednak nadal średnio o około 15% większa. Rodzaj i przemiał popiołu wpływa na efekty działania domieszki przyspieszającej, jednak nie można wskazać jednoznacznych tendencji.

The insertion of accelerating admixtures ACC does not affect the setting time of cement paste. In the presence of calcareous fly ash the accelerating admixture ACC reduces setting time to 5% - 30% depending on the type of ash and its activation by grinding (Fig. 7). It should be noted that in the presence of accelerating admixtures ACC setting time of the paste with fly ash addition is still longer than in case of a paste without the admixture and fly ash addition.

ACC accelerating admixture is stronger in the presence of fly ash activated by grinding (average setting acceleration for paste with unprocessed ash is about 15%, and with ash activated by grinding – 25%). Weak effect of admixture ACC is noticed in the presence of unprocessed ash C and D, but after their grinding the efficiency of admixture ACC is the same as in the presence of activated ashes AI and BI. An accelerating admixture increases the amount of heat generated during the hydration of cement up to 24 h (Fig. 9). After 48 h the effect of the accelerating admixture is lost and the amount of generated heat is about 5% lower. It draws the attention that despite the significant increase in the amount of generated heat, accelerating admixture ACC does not affect the initial setting time of the cement. In the presence of calcareous fly ash the accelerating admixture increases the heat generated during the hydration of cement – after 2 h, 12 h and 24 h – on average 43%, 43% and 28%, respectively. After 48 h the effect of accelerating admixture ACC decreases and the amount of heat generated after 48 h and 72 h is still on average about 15% higher. A type and grinding of ash influence the effects of accelerating admixtures, but there is no general trend which can be identified.

Fig. 9. Quantity of the generated heat [J/g] in the process of hardening up to 72 h in the presence of 20% of calcareous fly ash and accelerating admixture ACC

Rys. 9. Ilość wydzielonego ciepła [J/g] w trakcie twardnienia w czasie do 72 h w obecności 20% popiołu lotnego wapiennego i domieszki przyspieszającej ACC



Uzyskane wyniki wskazują na dłuższe efekty działania domieszki przyspieszającej ACC w obecności popiołu lotnego wapiennego. Zwiększeniu, dzięki dodatkowi ACC, ilości wydzielanego w czasie 12 h ciepła odpowiada skrócenie czasu wiązania cementu w obecności popiołu lotnego wapiennego. Wpływ domieszki ACC na ciepło hydratacji jest przy tym wyraźniej widoczny niż na czas wiązania cementu.

Domieszka AE1 w ilości 1/2 max optymalnie napowietrza zaprawę bez dodatku popiołu lotnego wapiennego (Rys. 10). W przypadku zapraw z popiołem lotnym nieuzdatnionym A uzyskanie analogicznego napowietrzenia zaprawy jest możliwe przy stosowaniu co najmniej dwukrotnie większej dawki AE1. Natomiast napowietrzenie zapraw z popiołem lotnym uzdatnionym przez przemiał AI i AII nie jest możliwe nawet za pomocą dawki AE1 trzykrotnie większej od maksymalnej (Rys. 10). Domieszka AE2 w ilości 1/2 max optymalnie napowietrza zaprawę bez dodatku popiołu lotnego wapiennego (Rys. 10). W przypadku zapraw z popiołem lotnym nieuzdatnionym uzyskanie analogicznego napowietrzenia zaprawy jest możliwe przy stosowaniu co najmniej dwukrotnie większej dawki AE2. Napowietrzenie zapraw z popiołem lotnym uzdatnionym przez przemiał na poziomie 12 - 16% wymaga stosowania AE2 w dawce od 2 max do 3 max, a więc od 4 do 6 razy większej niż w przypadku zapraw bez dodatku popiołu.

The obtained results indicate the longer effects of accelerating admixture ACC in the presence of calcareous fly ash. The addition of admixture ACC increases the amount of heat in 12 h what is related to reducing the setting time of cement with calcareous fly ash. The effect of admixture ACC on the heat of hydration is more clearly visible in comparison to the same effect on setting time of cement.

The admixture AE1 in the amount of 1/2 of maximum dose optimally aerates the mortar without the addition of calcareous fly ash (Fig. 10). In case of mortars with unprocessed fly ash A achieving the same aeration of mortar is possible with the use of at least twice the dose of AE1. However, the aeration of mortars with activated fly ash AI and AII is not possible even with AE1 dose is three times greater than the maximum one (Fig. 10). The admixture AE2 in the amount of 1/2 of maximum dose optimally aerates mortar without the addition of calcareous fly ash (Fig. 10). In case of unprocessed fly ash mortar obtaining the same aeration is possible with the use of at least twice the dose of AE2. Aeration of mortars with fly ash activated by grinding in 12 - 16% requires from 2 to 3 maximum doses of AE2, which is 4 to 6 times greater than in the case of mortars without the addition of ash.

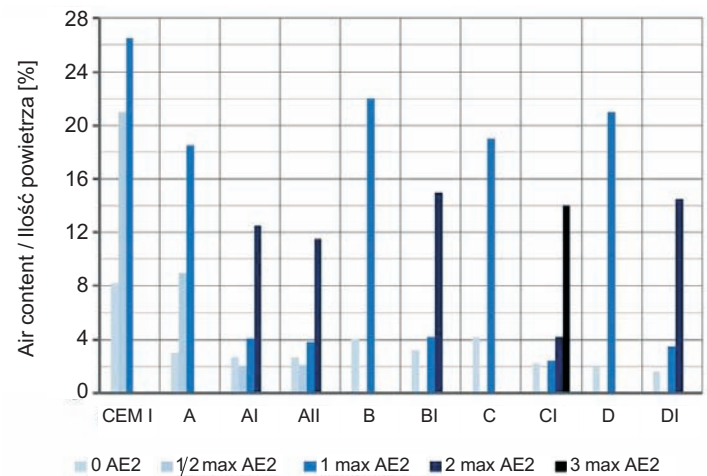
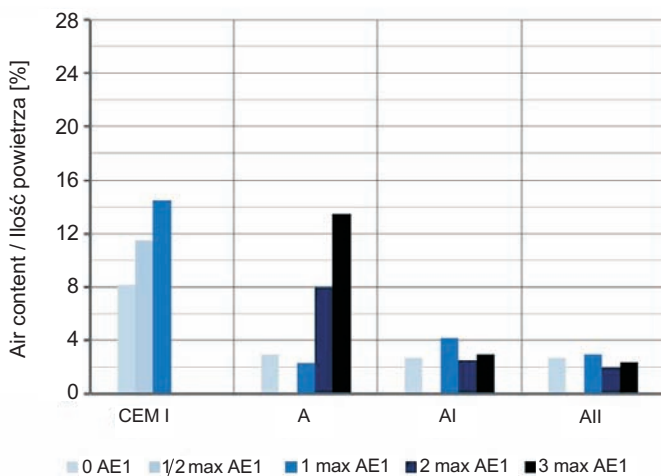


Fig. 10. Influence of aeration admixture AE1 and AE2 on the content of air in the mortars with and without the addition of 20% of calcareous fly ash

Rys. 10. Wpływ domieszki napowietrzającej AE1 i AE2 na ilość powietrza w zaprawach bez i z dodatkiem 20% popiołu lotnego wapiennego

5. WNIOSKI

Efekty działania domieszek zależą od rodzaju popiołu, jednak na podstawie wykonanych badań wpływu tego nie można jednoznacznie powiązać z jego właściwościami. Wpływ rodzaju popiołu na efekty działania domieszek ma charakter ilościowy, nie jakościowy.

Efektywność działania badanych plastyfikatorów nie zmienia się lub jest większa w obecności popiołu lotnego wapiennego. Uzdatnienie popiołu lotnego przez przemiał nie wpływa istotnie na efektywność działania plastyfikatorów. Natomiast maleje ona w obecności nieuzdatnionego popiołu lotnego wapiennego. W jego obecności efektywność działania superplastyfikatorów zwykle jest nieznacznie mniejsza lub nie odbiega od ich efektywności w mieszankach bez popiołu. Ze względu na zwiększoną wodożądność popiołu lotnego wapiennego, jego wprowadzenie jako zamiennika cementu powoduje, że w mieszance zmniejsza się ilość wody wolnej. Do uzyskania mieszanki o określonej granicy płynięcia g w obecności popiołu konieczna jest więc większa ilość domieszki uplastyczniającej lub upłynniającej.

Domieszki napowietrzające działają znacznie mniej efektywnie w obecności popiołu lotnego wapiennego, zwłaszcza jeśli został on uzdatniony przez przemiał. Do uzyskania założonego poziomu napowietrzenia konieczne jest stosowanie domieszki w ilości 1,5 do 3 razy większej od ilości domieszki zalecanej przez producenta. Zmniejszenie efektów napowietrzenia zależy od rodzaju domieszki i właściwości popiołu. Wzrost zapotrzebowania na domieszkę napowietrzającą (zmniejszenie efektywności jej działania) koreluje z powierzchnią właściwą popiołu. Można to tłumaczyć tym, że przy jego większej powierzchni właściwej, większa jest również powierzchnia, na której dokonuje się adsorpcja domieszki.

Efektywność działania domieszki opóźniającej jest mniejsza w obecności popiołu lotnego wapiennego. Uzdatnienie przez przemiał nie wpływa na efektywność działania tej domieszki. Natomiast efektywność działania domieszki przyspieszającej jest większa w obecności popiołu lotnego wapiennego, a uzdatnienie przez przemiał zwiększa jej efektywność. Obecność popiołu lotnego wapiennego istotnie wpływa na efektywność działania domieszek, zwykle jednak negatywnie. Wpływ PLW na efektywność działania domieszek zależy od jego rodzaju oraz, w większym stopniu, od rodzaju domieszki. Z tego powodu doboru kompatybilnej domieszki należy dokonywać doświadczalnie, uwzględniając obecność popiołu lotnego wapiennego.

5. CONCLUSIONS

The effects of the admixtures depend on the ash type. However, on the basis of the performed tests their impact cannot be clearly connected to the characteristics of the ash. The influence of the type of ash on the effects of admixtures is quantitative, not qualitative.

The effectiveness of the tested plasticizers does not change or is greater in the presence of calcareous fly ash. Fly ash activated by grinding does not affect significantly the efficiency of the plasticizers. However, it decreases in the presence of unprocessed calcareous fly ash. In its presence the efficiency of superplasticizers is usually slightly smaller or does not differ from their effectiveness in mixes without ash. Due to the increased calcareous fly ash water demand, its insertion as a cement equivalent causes a reduction of free water amount in a mix. To obtain a mix with a specified yield stress g in the presence of ash, more plasticizer or superplasticizer admixture is needed.

Aeration admixtures operate much less efficiently in the presence of calcareous fly ash, especially if it has been activated by grinding. To achieve the target level of aeration it is necessary to use 1.5 to 3 times the amount of admixtures in comparison with the amount recommended by a producer. Reducing the effects of air bubbles depends on the type and characteristics of the ash. The growth of demand for aeration admixture (a decrease in its efficiency) correlates with the surface area of the ash. It can be explained by the fact that the larger surface area of the ash, the greater is the surface on which the adsorption of admixture takes place.

The efficacy of the retarding admixture is smaller in the presence of calcareous fly ash. The activation by grinding does not affect the effectiveness of this admixture. However, the effectiveness of accelerating admixture is greater in the presence of calcareous fly ash and activation by grinding increases its efficiency. The presence of calcareous fly ash has a significant influence on the effectiveness of admixtures, but usually in a negative way. The influence of calcareous fly ash on the effectiveness of admixtures depends not only on its type, but also on a type of admixture. Therefore, the selection of compatible admixture should be made experimentally, taking into account the presence of calcareous fly ash.

Activation by grinding of calcareous fly ash improves the efficiency of admixtures in some cases (e.g. plasticizers, superplasticizers) and it is not smaller than that in the mixes without ash.

Uzdatnienie popiołu lotnego wapiennego przez przemiał poprawia w niektórych przypadkach efektywność działania domieszek (np. plastyfikatorów, superplastyfikatorów) i jest ona nie mniejsza niż w mieszankach bez popiołu.

INFORMACJE DODATKOWE

Praca była współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, nr projektu POIG.01.01.02-24-005/09.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] *Giergiczny Z.*: Rola popiołów lotnych wapniowych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2006
- [2] *Ramachandran V.S.*: Concrete Admixtures Handbook. Properties, Science and Technology, Park Ridge, 1995
- [3] *Szwabowski J.*: Reologia mieszanek na spoiwach cementowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1999
- [4] *Czopowski E., Łażniewska-Piekarczyk B., Rubińska-Jończy B., Szwabowski J.*: Właściwości betonów na cementach zawierających popiół lotny wapienny. Properties of concretes based on cements containing calcareous fly ash. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, **12**, 1, 2013, 31 - 40
- [5] *Gołaszewski J., Kostrzanowska A., Ponikiewski T., Antonowicz G.*: Wpływ popiołu lotnego wapiennego na właściwości reologiczne zaczynów i zapraw cementowych. Influence of calcareous fly ash on rheological properties of cement pastes and mortars. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, **12**, 1, 2013, 99 - 112
- [6] *Piechówka-Mielnik M., Giergiczny Z.*: Properties of Portland-composite cement with limestone. Cementing a sustainable future: XIII ICCI International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid, 3 - 8 July, 2011
- [7] *Baran T., Drożdż W.*: Ocena właściwości krajowych popiołów lotnych wapiennych i metod ich uzdatniania. Evaluation of properties of domestic calcareous fly ash and its processing methods. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, **12**, 1, 2013, 5 - 15
- [8] *Garbacik A., Baran T., Pichniarczyk P.*: Charakterystyka krajowych popiołów wapiennych ze spalania węgla brunatnego. Konferencja Energia i Środowisko w Technologii materiałów budowlanych, ceramicznych, szklarskich i ogniotrwałych, Opole, 2010
- [9] *Wei S., Handong Y., Binggen Z.*: Analysis of mechanism on water-reducing effect of fine ground slag, high-calcium fly ash, and low-calcium fly ash. Cement and Concrete Research, **33**, 8, 2003, 1119 - 1125
- [10] *Yazici H.*: The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze-thaw resistance of self-compacting concrete. Construction and Building Materials, **22**, 4, 2008, 456 - 462
- [11] *Giergiczny Z., Synowiec K., Żak K.*: Ocena przydatności popiołu lotnego wapiennego jako aktywnego dodatku mineralnego do betonu. Suitability evaluation of calcareous fly ash as an active mineral additive to concrete. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, **12**, 1, 2013, 83 - 97
- [12] *Härdtl R., Koc I.*: Evaluation of the performance of multi-component cements. ZKG International, Zement Kalk Gips (Cement Lime Gypsum), 4, 2012, 66 - 72

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was co-financed by the European Union from the European Regional Development Fund. No. POIG 01.01.02-24-005/09 "Innovative cement based materials and concrete with high calcium fly ash".