

mgr inż. Jan Pizon<sup>1\*)</sup>

dr hab. inż. Beata Łażniewska-Piekarczyk<sup>1)</sup>

# Możliwość wykorzystania cementu portlandzkiego żuźlowego do produkcji elementów prefabrykowanych

## *Portland slag cement usage in precast concrete elements production*

DOI: 10.15199/33.2015.11.65

**Streszczenie.** W artykule omówiono przydatność cementów zawierających mielony granulowany żużel wielkopiecowy do zastosowania w prefabrykacji. Otrzymane wyniki badań wytrzymałości zapraw wykonanych z cementów portlandzkiego, portlandzkiego żuźlowego oraz hutniczego z domieszkami przyspieszającymi twardnienie świadczą o tym, że cementy te nadają się do produkcji elementów prefabrykowanych po różnym czasie dojrzewania. Jednocześnie zastosowanie cementów zawierających MGŻW oraz domieszek przyspieszających dojrzewanie pozwala osiągnąć korzystne efekty ekonomiczne i ekologiczne oraz zapewnić odpowiednią trwałość elementów i konstrukcji.

**Słowa kluczowe:** cement portlandzki żuźłowy (CEM II/B-S), cement hutniczy (CEM III), domieszki przyspieszające dojrzewanie.

**Abstract.** The article deals with possibility of Portland slag cement and blastfurnace cement usage in precast elements production. Results obtained during compressive strength tests of Portland, Portland slag and blastfurnace cements with addition of accelerating admixtures show that those cements are suitable for prefabrication in different time of curing. By usage of both GGBFS and accelerating admixtures several economical and environmental benefits may be obtained. This cooperation may also ensure appropriate durability of elements and structures.

**Keywords:** Portland slag cement (CEM II/B-S), blastfurnace cement (CEM III), accelerating admixtures.

Współczesna produkcja zarówno betonu towarowego, jak i betonowych czy żelbetonowych elementów prefabrykowanych, w dużej mierze odbywa się przy udziale domieszek chemicznych. Jest to już ok. 90% produkcji betonu w USA, Japonii czy Australii oraz ponad 40% w Polsce. Jednym z rodzajów są domieszki przyspieszające wiązanie i twardnienie betonu. Jest to bardzo korzystne ze względu na możliwość szybszej rotacji form w zakładach prefabrykacji oraz szybszego rozformowania i obciążenia elementów na placu budowy, niż w przypadku betonu bez domieszek. Domieszki przyspieszające bazują na różnych związkach chemicznych zarówno organicznych (mrówczan wapnia, trójetanoloamina), jak i nieorganicznych (chlorki, azotany, gliniany, zarodki fazy CSH). Efektywność ich działania jest różna. Niestety niektóre domieszki przyspieszające mogą dawać również niekorzystne efekty uboczne, takie jak zwiększony skurcz czy podatność na korozję stali zbrojeniowej (z tego powodu stosowanie domieszek chlorkowych zostało bardzo mocno ograniczone) oraz betonu (w tym podatność na negatywne skutki reakcji alkalia-krzemionka). Niebezpieczeństwo to może być jednak zminimalizowane przez stosowanie cementów portlandzkich żuźlowych lub hutniczych.

Mielony granulowany żużel wielkopiecowy (MGŻW) jest dodatkiem do betonu typu II wykazującym utajone właściwości hydrauliczne. Jego przydatność do stosowania w przemyśle cementowym jest mierzona parametrem znanym jako wskaźnik aktywności, definiowany przez PN-EN 15167-1:2007, jako *stosunek (w procentach) wytrzymałości na ściskanie beleczek ze znormalizowanej zaprawy, wykonanych z użyciem jako spoiwa mieszaniny 50% (ułamek masowy) cementu porównawczego i 50% (ułamek masowy) mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego do wytrzymałości na ściskanie badanych w tym samym wieku beleczek wykonanych ze znor-*

*malizowanej zaprawy z użyciem 100% cementu porównawczego.* W przypadku krajowych żużli wskaźnik ten wynosi 57,3 – 59,0% po 7 dniach (wymagana normą wartość wynosi 45%) oraz 79,2 – 84,7% po 28 dniach (wymagana wartość 70%) [1]. Właściwości te powodują, że mielony granulowany żużel wielkopiecowy jest składnikiem żuźlowych cementów portlandzkich (CEM II A, B/S), cementów hutniczych (CEM III) i cementów wieloskładnikowych (CEM V). Cementy portlandzki żuźłowy oraz hutniczy, będące przedmiotem tego artykułu, odznaczają się dużą odpornością na działanie środowisk korozyjnych przez zmniejszenie rozmiaru porów, przy podobnej ich sumarycznej objętości jak w przypadku cementu portlandzkiego, a co za tym idzie poprawę szczelności matrycy cementowej i obniżenie szybkości dyfuzji jonów chlorkowych. Cement ten charakteryzuje się również poprawą urabialności mieszanki oraz zachowaniem jej przez dłuższy czas, co w połączeniu z możliwością obniżenia stosunku w/c może dodatkowo poprawić wczesną wytrzymałość elementów betonowych oraz zwiększyć przyrost wytrzymałości normowej po 28 dniach. Zastosowanie żużla pozwala też na ograniczenie skali negatywnych skutków reakcji alkalia-krzemionka [2 – 4]. Przez jednoczesne zastosowanie cementów zawierających mielony granulowany żużel wielkopiecowy oraz domieszek przyspieszających dojrzewanie można osiągnąć korzystne efekty ekonomiczne i ekologiczne oraz zapewnić odpowiednią trwałość elementów i konstrukcji.

Badania miały na celu określenie właściwości zapraw cementowych wykonanych z udziałem mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego oraz domieszek chemicznych przyspieszających twardnienie. Zakres badań obejmował parametry wytrzymałościowe zapraw.

### Skład badanych zapraw

Do badań zastosowano cement portlandzki CEM I 52,5R oraz cementy portlandzki żuźłowy i hutniczy o znanej ilości mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego. Zawartość żużla od-

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:  
e-mail: jan.pizon@polsl.pl

powiadała normowemu zakresowi odpowiadającemu CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM III/A, CEM III/B oraz CEM III/C. Skład chemiczny oraz powierzchnię właściwą (wg Blaine'a) podano w tabelach 1 i 2.

**Tabela 1. Skład chemiczny CEM I 52,5R**

Table 1. CEM I 52,5R chemical composition

Skład chemiczny CEM I 52,5R [%]											Powierzchnia właściwa wg Blaine'a [cm <sup>2</sup> /g]
S.pr	Nier.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl	
1,95	0,42	20,54	5,14	2,63	64,10	1,36	2,69	0,17	0,81	0,06	4230

**Tabela 2. Skład chemiczny mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego**

Table 2. GGBFS chemical composition

Skład chemiczny MGŻW [%]								Powierzchnia właściwa wg Blaine'a [cm <sup>2</sup> /g]
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Cl		
37,35	7,30	1,22	43,90	5,73	0,62	0,03	3870	

Do przygotowania zapraw użyto piasku normowego zgodnego z normą EN-196-1. W przypadku zapraw bez udziału domieszek przyspieszających zastosowano stały stosunek wodno-cementowy równy 0,5. W przypadku zapraw zawierających domieszki zmniejszono ilość wody o tę zawartą w domieszce. W badaniach zastosowano 3 rodzaje domieszek przyspieszających dojrzewanie betonu ACC1 – ACC3, które dodawano w maksymalnej dawce zalecanej przez producenta. Charakterystykę domieszek przedstawiono w tabeli 3.

Poddane badaniom zaprawy niemodyfikowane domieszkami zostały wykonane z cementu portlandzkiego CEM I 52,5R (C1), z cementów portlandzkich żuźlowych (CEM II/A, B-S) o zawartości żużla wynoszącej odpowiednio 6% (C2), 20% (C3) i 35% (C4) oraz z cementów hutniczych (CEM III/A, B, C) o zawartości żużla wynoszącej odpowiednio 50% (C5), 65% (C6), 80% (C7) i 95% (C8). Domieszkami modyfikowano tylko zaprawy z cementów C1, C4, C6 i C8. W tabeli 4 podano skład wszystkich rodzajów zapraw.

**Tabela 3. Charakterystyka domieszek przyspieszających zastosowanych podczas badania**

Table 3. Description of used accelerating admixtures

Symbol	Charakterystyka	Zalecane dawkowanie [%m.c.]	Zawartość masy suchej [%]
ACC1	domieszka przyspieszająca twardnienie na bazie mrówczanu wapnia (Ca(HCOO) <sub>2</sub> )	0,2 – 5,0	50
ACC2	domieszka przyspieszająca twardnienie na bazie zarodków krystalizacji (faza CSH w postaci nanocząstek)	2,0 – 4,0	20
ACC3	domieszka przyspieszająca twardnienie na bazie azotanu wapnia Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1,0 – 3,0	< 5

## Metodyka i wyniki badań

Badania zostały przeprowadzone zgodnie z metodyką zawartą w normach:

- przygotowanie zaprawy wg EN 196-1:2006 *Metody badania cementu – Część 1: Oznaczanie wytrzymałości*;
- wytrzymałość na ściskanie stwardniałej zaprawy wg EN 196-1:2006 *Metody badania cementu – Część 1: Oznaczanie wytrzymałości*.

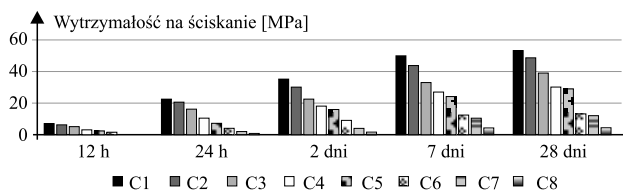
Temperatura składników użytych do wykonania zapraw oraz temperatura otoczenia była stała i wynosiła 20 ± 1 °C. Próbki do badania wytrzymałości dojrzewały w stabilnych warunkach w komorze klimatycznej. Temperatura powietrza w komorze wynosiła 20 ± 1 °C, natomiast wilgotność względna 60%.

**Tabela 4. Skład poddanych badaniom zapraw modyfikowanych domieszkami**

Table 4. Composition of mortars

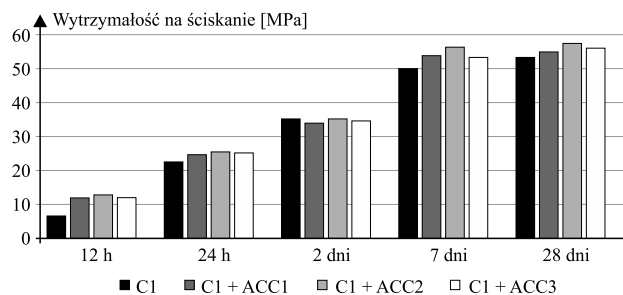
Lp.	CEM I [g]	Żużel [g]	Symbol cementu	Woda [g]	Rodzaj domieszki	Ilość domieszki [%m.c.]	Piasek [g]
1	450,0	–	C1	225,00	–	–	–
2	423,0	27,0	C2	225,00	–	–	–
3	360,0	90,0	C3	225,00	–	–	–
4	292,5	157,5	C4	225,00	–	–	–
5	225,0	225,0	C5	225,00	–	–	–
6	157,5	292,5	C6	225,00	–	–	–
7	90,0	360,0	C7	225,00	–	–	–
8	22,5	427,5	C8	225,00	–	–	–
9	450,0	–	C1	213,75	ACC1	5,0	22,50
10	450,0	–	C1	210,60	ACC2	4,0	18,00
11	450,0	–	C1	211,50	ACC3	3,0	13,50
12	292,5	157,5	C4	213,75	ACC1	5,0	22,50
13	292,5	157,5	C4	210,60	ACC2	4,0	18,00
14	292,5	157,5	C4	211,50	ACC3	3,0	13,50
15	157,5	292,5	C6	213,75	ACC1	5,0	22,50
16	157,5	292,5	C6	210,60	ACC2	4,0	18,00
17	157,5	292,5	C6	211,50	ACC3	3,0	13,50
18	22,5	427,5	C8	213,75	ACC1	5,0	22,50
19	22,5	427,5	C8	210,60	ACC2	4,0	18,00
20	22,5	427,5	C8	211,50	ACC3	3,0	13,50

**Wytrzymałość na ściskanie stwardniałych zapraw** zbadano po 12 i 24 h oraz po 2, 7 i 28 dniach na próbkach, które były poddane dojrzewaniu w komorze klimatycznej w kontrolowanych warunkach. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie niemodyfikowanych zapraw przedstawiono na rysunku 1, natomiast zapraw modyfikowanych domieszkami, wykonanych z cementu portlandzkiego, odpowiednio na rysunku 2, z cementu portlandzkiego żuźlowego na rysunku 3, a cementów hutniczych na rysunkach 4 i 5.



**Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie zapraw niemodyfikowanych domieszkami, wykonanych z cementów CEM I, CEM II i CEM III o różnej zawartości mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego**

Fig. 1. Compressive strength of nonmodified mortars made of CEM I, CEM II and CEM III with different GGBFS addition

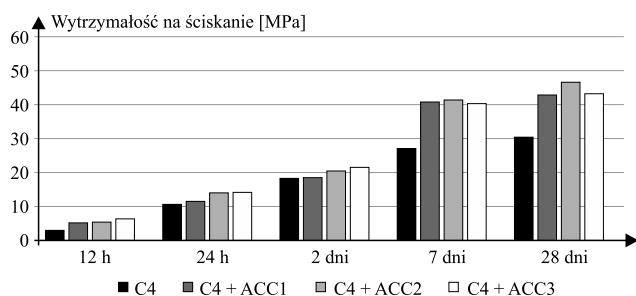


**Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie zapraw modyfikowanych domieszkami, wykonanych z cementu CEM I**

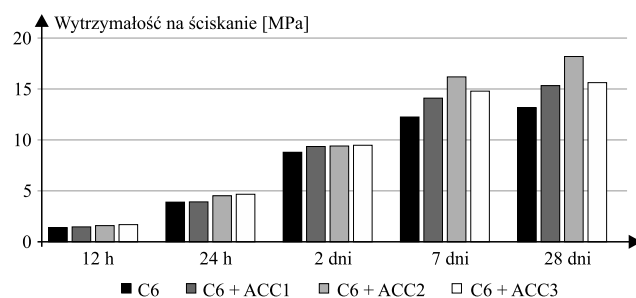
Fig. 2. Compressive strength of accelerator modified mortars made of CEM I

Próbki zapraw niemodyfikowanych domieszkami wykonane z cementu portlandzkiego wykazywały się większą wytrzymałością na ściskanie niż próbki wykonane z cementu z udziałem żużla (rysunek 1). W przypadku zapraw modyfikowanych domieszkami przyspieszającymi zauważono ogólną tendencję do wzrostu wytrzymałości po dodaniu domieszki w przypadku wszystkich cementów (rysunki 2 – 5).

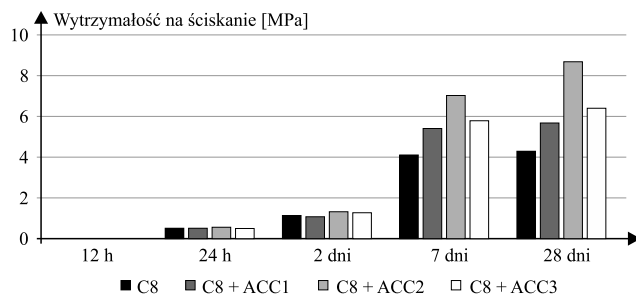
Próbki z CEM I (C1) po 12 h dojrzewania wykazywały zwiększenie wytrzymałości po dodaniu domieszki przyspieszających o ok. 100%. Najlepsze efekty uzyskano, stosując domieszki na bazie zarodków fazy CSH (ACC2), ale domieszki na bazie azotanu oraz mrówczanu wapnia dają porównywalny efekt. Podobne zależności widać w przypadku próbek wykonanych z cementu CEM II (C4) z 35% udziałem MGŻW. Cement hutniczy o zawartości 65% żużla wykazuje niewielki wzrost wytrzymałości po dodaniu domieszki, natomiast cement hutniczy o zawartości 95% żużla nie wykazuje żadnej wytrzymałości w terminie 12 h po zaformowaniu. Po 24 h doj-



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie zapraw modyfikowanych domieszkami, wykonanych z cementu CEM II z 35% udziałem MGŻW  
Fig. 3. Compressive strength of accelerator modified mortars made of CEM II with 35% of GGBFS



Rys. 4. Wytrzymałość na ściskanie zapraw modyfikowanych domieszkami, wykonanych z cementu CEM III z 65% udziałem MGŻW  
Fig. 4. Compressive strength of accelerator modified mortars made of CEM III with 65% of GGBFS



Rys. 5. Wytrzymałość na ściskanie zapraw modyfikowanych domieszkami, wykonanych z cementu CEM III z 95% udziałem MGŻW  
Fig. 5. Compressive strength of accelerator modified mortars made of CEM III with 95% of GGBFS

rzewania stwierdzono zwiększenie wytrzymałości wszystkich zapraw modyfikowanych domieszkami przyspieszającymi. Są to dużo mniejsze przyrosty (10 – 15% w przypadku CEM I, 10 – 40% dla CEM II, 5 – 20% dla CEM III) niż po 12 h. Najefektywniejsze są domieszki na bazie zarodków fazy CSH (ACC2) i azotanu wapnia (ACC3) i działają najefektywniej z cementem portlandzkim żużlowym.

W ciągu 2 dni po zaformowaniu, próbki zaprawy z CEM I (C1) nie wykazują zwiększenia wytrzymałości w obecności domieszki przyspieszających. Zaprawy wykonane z cementów portlandzkiego żużlowego (C4) oraz hutniczego (C6, C8) wykazują lekki wzrost wytrzymałości w tym terminie. Największe efekty daje domieszka na bazie azotanu wapnia (ACC3).

Po 7 i 28 dniach dojrzewania wytrzymałość na ściskanie próbek zapraw wykonanych z cementu portlandzkiego, modyfikowanych domieszkami, jest porównywalna lub nieco większa niż w przypadku zaprawy niemodyfikowanej. W tym okresie największy wzrost wytrzymałości (ok. 8%) powoduje domieszka na bazie zarodków fazy CSH (ACC2). Należy zauważyć, że wzrost wytrzymałości zapraw z cementu portlandzkiego jest po 7 dniu nieznaczny, niezależnie od modyfikacji zaprawy domieszką przyspieszającą twardnienie. W przypadku cementów z 35, 65 i 95% udziałem mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego wytrzymałość zapraw modyfikowanych jest każdorazowo wyższa niż zapraw bez domieszki. Wzrost ten wynosi 20 – 40%, w zależności od rodzaju cementu i zastosowanej domieszki. W przypadku CEM II/B-S i CEM III/A, C również domieszka na bazie zarodków fazy CSH daje najkorzystniejszy efekt.

### Podsumowanie

W przypadku CEM I największe korzyści osiągane są w bardzo wczesnym czasie (12 h), w przypadku CEM II/B-S po 12 h oraz 7 i 28 dniach, natomiast w przypadku CEM III/A, C widoczne są dopiero po 7 i 28 dniach. Wyniki zamieszczone na rysunku 3 świadczą o tym, że domieszki przyspieszające twardnienie wykazują się większą efektywnością we współpracy z cementem z 35% udziałem mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego niż z czystym cementem portlandzkim (rysunek 2) czy cementami hutniczymi (rysunki 4, 5). W przypadku cementów z dodatkiem żużla najefektywniej działa domieszka na bazie zarodków fazy CSH w prawie wszystkich terminach badania, a w przypadku CEM I domieszki na bazie zarodków fazy CSH, mrówczanu wapnia i azotanu wapnia działają z podobną efektywnością.

Zaprawa z CEM II modyfikowane domieszkami ACC1-3 osiągają poziom nieco niższy niż niemodyfikowana zaprawa z cementu portlandzkiego po 12 h dojrzewania, co potwierdza ich przydatność do produkcji prefabrykatów. Podobnie kształtuje się wytrzymałość w przypadku CEM III z udziałem 65% żużla po 24 h. Rodzaj domieszki przyspieszającej twardnienie należy dobierać w zależności od rodzaju cementu oraz zgodnie z terminem uzyskania oczekiwanego efektu.

### Literatura

- [1] PN-EN 15167-1:2007 Mielony granulowany żużel wielkopiecowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności.
- [2] Giergiczny Z.: Dodatki mineralne – niezastąpione składniki współczesnego cementu i betonu. Materiały Budowlane 3/2009, s. 46 – 50.
- [3] Giergiczny Z.: Cementy żużlowe w budowie dróg i mostów. Magazyn Autostady 8-9/2015, s. 26 – 31.
- [4] Neville A. M.: Properties of Concrete. Pearson, Harlow, 2011.

Przyjęto do druku: 22.09.2015 r.