

# Wpływ wielkości współczynnika $k$ na właściwości betonu zawierającego w swym składzie zmielony granulowany żużel wielkopiecowy

dr inż. Arkadiusz Janic, mgr inż. Jakub Bakalarz, Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.,  
prof. dr hab. inż. Zbigniew Giergiczyński, Politechnika Śląska, Góraźdze Cement S.A.

## 1. Wprowadzenie

Polityka zrównoważonego rozwoju promująca ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, ochronę naturalnych złóż surowców nieodnawialnych oraz ponowne zastosowanie ubocznych produktów z różnych gałęzi przemysłu opiera się na poszukiwaniu nowych rozwiązań materiałowo-technologicznych mających na celu m.in. ograniczenie ilości klinkieru portlandzkiego w składzie cementu i betonu. Do produkcji 1 tony klinkieru portlandzkiego wykorzystuje się około 1,7 tony surowców naturalnych oraz emituje się około 780–820 kg CO<sub>2</sub> do atmosfery [1–9].

Zarówno z ekonomicznego, jak i ekologicznego punktu widzenia podczas produkcji cementu i betonu stosuje się uboczne produkty przemysłowe, głównie granulowany żużel wielkopiecowy (GGBFS) i popiół lotny, zwane w normie cementowej PN-EN 197-1 [18] składnikami głównymi, natomiast w normie betonowej PN-EN 206 [19] dodatkami typu II. O ile popiół lotny jest w kraju powszechnie stosowany w składzie betonu jako dodatek typu II, o tyle stosowanie zmielonego granulowanego żużla wielkopiecowego (GGBFS) w charakterze dodatku typu II ogranicza się do zastosowań specjalnych. W Polsce GGBFS jest stosowany powszechnie jako składnik główny cementów portlandzkich żużlowych CEM II/A,B-S, cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A,B-M, cementów hutniczych CEM III/A,B oraz cementów wieloskładnikowych CEM V/A,B.

Stosując dodatki typu II, można zoptymalizować ilość cementu w składzie betonu. Wówczas w celu spełnienia wymogów zawartych w normie PN-EN 206 [19], dotyczących minimalnej zawartości cementu oraz maksymalnego stosunku wodno-cementowego dla danej klasy ekspozycji, ilość cementu zastępuje się sumą ilości zastosowanego cementu oraz całości lub części zastosowanego dodatku typu II. Norma PN-EN 206 [19] dopuszcza trzy koncepcje uwzględnienia dodatków typu II w składzie betonu:

- równoważnych właściwości użytkowych,
- kombinacji równoważnych właściwości użytkowych,
- współczynnika  $k$ .

Koncepcja równoważnych właściwości użytkowych, jak i koncepcja kombinacji równoważnych właściwości użytkowych pozwalają na stosowanie dodatków w dowolnych ilościach oraz uwzględnianie ich w składzie betonu w całości, jeżeli wykaże się ich przydatność, a uzyskany beton będzie odpowiednio wytrzymały i trwały. Zapisy takie ułatwiają projektowanie betonu z dodatkami typu II, nakładając jednocześnie obowiązek udokumentowania równoważnych właściwości betonu o zmodyfikowanym składzie. W badaniach jako cement referencyjny (odniesienia) zastosować można dowolny cement zgodny z PN-EN 197-1 [18], dopuszczony do stosowania w danej klasie ekspozycji według PN-EN 206 [19] oraz PN-B 06265 [20]. Najczęściej cementem referencyjnym jest cement portlandzki CEM I.

Trzecia koncepcja uwzględnienia dodatków typu II w składzie betonu to koncepcja współczynnika  $k$  – metoda zalecana i w kraju powszechnie stosowana. W normie PN-EN 206 [19] określono zasady stosowania koncepcji współczynnika  $k$  w odniesieniu do popiołu lotnego, pyłu krzemionkowego oraz zmielonego granulowanego żużla wielkopiecowego, stosowanych razem z cementem portlandzkim CEM I lub cementem portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A. Wielkość  $k$  określa, jaką część zastosowanego dodatku typu II można uznać za ekwiwalent cementu, odnosząc się do wymagań klas ekspozycji związanych z minimalną zawartością cementu i maksymalnym współczynnikiem wodno-cementowym. W praktyce stosowanie koncepcji współczynnika  $k$  sprowadza się do zastąpienia współczynnika wodno-cementowego współczynnikiem:

- $w/c = \text{woda}/(\text{cement} + k \cdot \text{dodatek})$ ,  
oraz spełnieniu warunku
- $\text{ilość}(\text{cement} + k \cdot \text{dodatek}) \geq \text{min. zawartość cementu wymagana z uwagi na wyspecyfikowaną klasę ekspozycji}$ . Zgodnie z zapisami normy PN-EN 206 (załącznik L) [19] podczas stosowania GGBFS jako dodatku typu II w składzie betonu zaleca się przyjmowanie wielkości współczynnika  $k$  równej 0,6. Przyjęta wielkość współczynnika  $k$  podczas stosowania granulowanego żużla wielkopiecowego jest uzależniona od wielu czynników, do których należy

**Tabela 1.** Właściwości fizyczne zastosowanych składników

Właściwość	Uzyskany wynik	
	CEM I 42,5R	GGBFS
Gęstość właściwa [g/cm <sup>3</sup> ]	3,11	2,94
Powierzchnia właściwa wg Blaine'a [cm <sup>2</sup> /g]	3850	4040

**Tabela 2.** Wytrzymałość na ściskanie cementu portlandzkiego CEM I 42,5R i wskaźnik aktywności GGBFS

Rodzaj spoiwa	Wytrzymałość na ściskanie [MPa] Wskaźnik aktywności [%] po upływie						
	2 dni	7 dni	28 dni	56 dni	90 dni	180 dni	360 dni
CEM I 42,5R (100%)	$\frac{32,3}{100,0}$	$\frac{49,8}{100,0}$	$\frac{58,6}{100,0}$	$\frac{60,2}{100,0}$	$\frac{63,7}{100,0}$	$\frac{68,5}{100,0}$	$\frac{73,1}{100,0}$
CEM I 42,5R (50%) + GGBFS (50%)	$\frac{11,8}{36,6}$	$\frac{29,7}{59,6}$	$\frac{52,2}{89,1}$	$\frac{59,8}{99,3}$	$\frac{63,0}{98,9}$	$\frac{67,8}{99,0}$	$\frac{71,0}{97,1}$

zaliczyć: aktywność GGBFS, rodzaj zastosowanego cementu oraz rodzaj aplikacji.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wpływu wielkości współczynnika  $k$  na właściwości betonu zawierającego w swym składzie zmielony granulowany żużel wielkopieczowy jako dodatek typu II. W prowadzonych badaniach stosowano żużel pochodzący od krajowego producenta.

## 2. Charakterystyka zastosowanych składników

W badaniach zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R spełniający wymagania normy PN-EN 197-1 [18] oraz zmielony granulowany żużel wielkopieczowy zgodny z normą PN-EN 15167-1 [11]. Właściwości fizyczne podano w tabeli 1, a wytrzymałość na ściskanie cementu CEM I 42,5R i wskaźnik aktywności GGBFS – w tabeli 2.

Do wykonania mieszanek betonowych zastosowano: piasek kwarcowy 0/2 mm, grys bazaltowy 2/8 mm oraz grys bazaltowy 8/16 mm. Krzywą przesiewu dla mieszanki kruszyw 0/16 mm przedstawiono na rysunku 1.

W składzie mieszanki betonowej zastosowano dwa rodzaje domieszek chemicznych: plastyfikator zawierający ligno-sulfoniany oraz superplastyfikator zawierający etery polikarboksylowe.

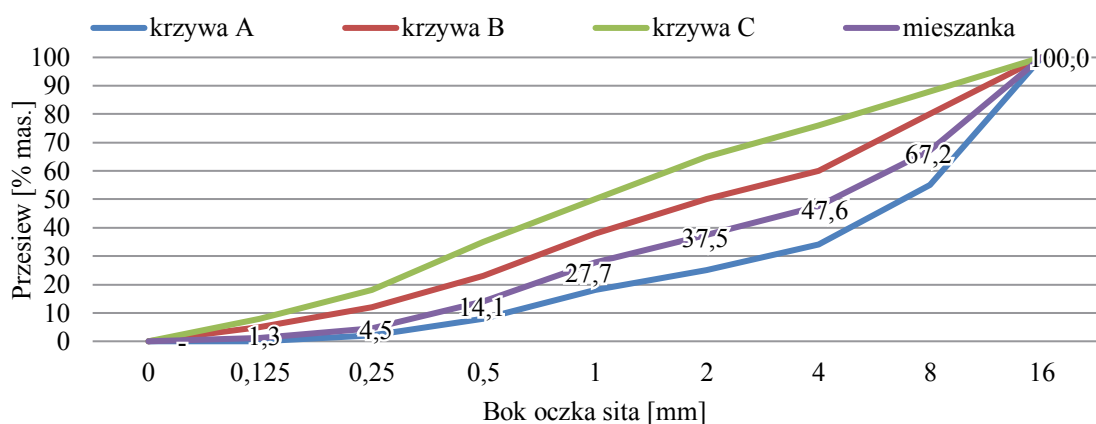
## 3. Skład badanych betonów

W celu oceny wpływu wielkości współczynnika  $k$  na właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu zawierającego przy stosowaniu GGBFS jako dodatek typu II przyjęto następujące założenia:

- minimalna klasa wytrzymałości na ściskanie stwardniałego betonu po 28 dniach dojrzewania C35/45;
- zawartość cementu  $C_{eq}$  równa 340 kg/m<sup>3</sup> betonu (liczona jako  $C_{eq} = \text{cement} + k \cdot \text{GGBFS}$ );
- stosunek w/s równy 0,45 ( $s = \text{cement} + k \cdot \text{GGBFS}$ );
- wielkość współczynnika  $k$  przy zastosowaniu GGBFS: 0,6, 0,8 i 1,0;
- konsystencja mieszanki betonowej badana metodą opadu stożka po 5 minutach od pierwszego kontaktu wody z cementem 200±30 mm (klasa konsystencji S4 wg PN-EN 12350-2 [13]);
- zawartość powietrza badana metodą ciśnieniową po 5 minutach od pierwszego kontaktu wody z cementem wg PN-EN 12350-7 [14]: 2,0±1,0% obj.

Składy zaprojektowanych mieszanek betonowych zaprezentowano w tabeli 3. Beton, w którym zastosowano tylko cement portlandzki CEM I 42,5R, uznano za beton odniesienia (porównawczy).

**Rys. 1.** Krzywa uziarnienia kruszyw (krzywe A, B, C – graniczne krzywe uziarnienia kruszywa wg PN-B-06265 [20])

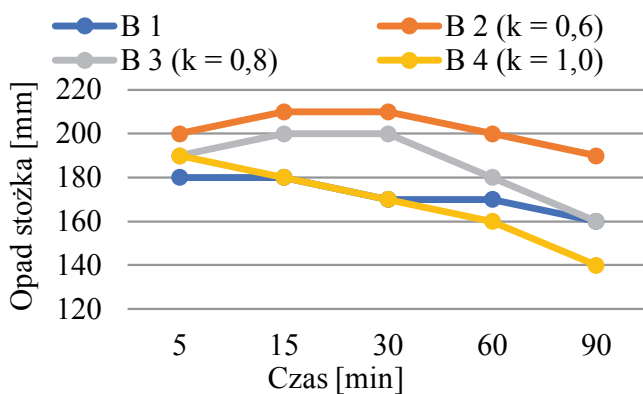


## 4. Wyniki badań i ich omówienie

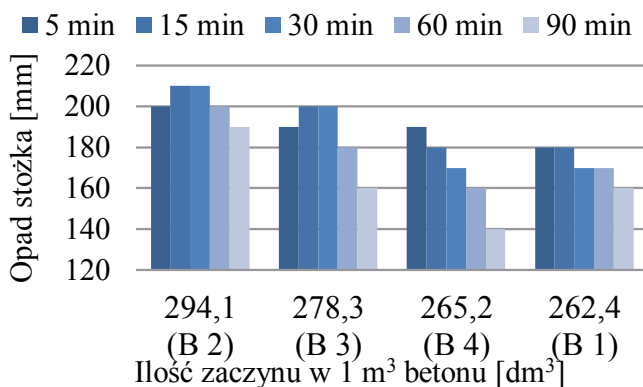
### 4.1. Właściwości mieszanki betonowej

Konsystencję mieszanki betonowej określono metodą opadu stożka zgodnie z normą PN-EN 12350-2 [13]. Ilość domieszki upłynniającej była zmienna i została dobrana tak, aby konsystencja mierzona metodą opadu stożka po 5 minutach od pierwszego kontaktu cementu z wodą wynosiła  $200 \pm 30$  mm (klasa konsystencji S4). Uzyskane wyniki badań konsystencji przedstawiono na rysunku 2, natomiast wpływ ilości zaczynu na zmianę konsystencji w czasie – na rysunku 3.

Analizując uzyskane wyniki badań, stwierdzono, że wraz ze wzrostem zawartości zaczynu cementowego konsystencja mieszanki betonowej ulega poprawie. Zastąpienie części cementu portlandzkiego CEM I 42,5R przez GGBFS poprawiło właściwości reologiczne mieszanki betonowej przy



Rys. 2. Konsystencja mieszanki betonowej



Rys. 3. Ilość zaczynu a konsystencja mieszanki betonowej

Tabela 3. Składy mieszanek betonowych

Składniki	Zawartość składnika [kg/m³] w mieszance betonowej			
	B 1	B 2	B 3	B 4
CEM I 42,5R	340	212,5	188,9	170
GGBFS	0	212,5	188,9	170
Wielkość współczynnika k	0	0,6	0,8	1,0
$C_{eq}$ ( $c + k \cdot GGBFS$ )	340	340	340	340
Cement + GGBFS	340	425	377,8	340
Woda	148	148	148	148
Stosunek $w/C_{eq}$ ( $w/c + k \cdot GGBFS$ )	0,45	0,45	0,45	0,45
Stosunek w/c	0,45	0,72	0,81	0,90
Piasek 0/2 mm	760	727	743	757
Grys bazaltowy 2/8 mm	623	595	609	620
Grys bazaltowy 8/16 mm	710	678	694	706
Plastyfikator	1,7	1,7	1,7	1,7
Superplastyfikator	3,40	3,22	3,06	2,55
Ilość zaczynu w 1 m³ betonu [dm³]	262,4	294,1	278,3	265,2

Tabela 4. Zawartość powietrza w mieszankach betonowych

Oznaczenie mieszanki betonowej	Zawartość powietrza [%] po upływie				
	5 min	15 min	30 min	60 min	90 min
B 1	1,8	1,8	2,0	2,3	2,3
B 2 ( $k = 0,6$ )	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0
B 3 ( $k = 0,8$ )	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6
B 4 ( $k = 1,0$ )	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7

$k = 0,6$  i  $0,8$ . Zjawisko to, według Wooda [10], powiązane jest z gładką i szklistą budową powierzchni zewnętrznej ziaren żużla wielkopieczowego tworzącą płaszczyznę poślizgu dla zaczynu cementowego. GGBFS w porównaniu do cementu portlandzkiego CEM I wiąże mniejszą ilość wody. Największy opad stożka otrzymano dla mieszanki B 2 ( $k = 0,6$ ) o najwyższej ilości zaczynu cementowego, natomiast najmniejszy opad stożka uzyskano dla mieszanki referencyjnej B 1 charakteryzującej się najniższą zawartością zaczynu (rys. 3). Zawartość powietrza badanych mieszanek betonowych podano w tabeli 4.

W mieszankach betonowych zawierających GGBFS, w porównaniu do mieszanki referencyjnej oznaczonej B 1 (cement portlandzki CEM I) odnotowano nieznaczny spadek zawartości powietrza (tab. 4).

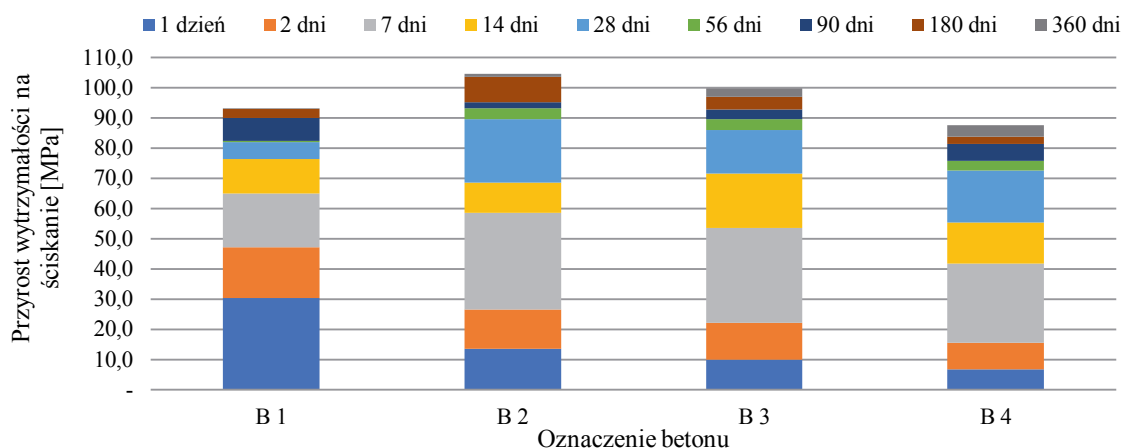
### 4.2. Właściwości stwardniałego betonu

Wytrzymałość na ściskanie betonów oznaczono zgodnie z normą PN-EN 12390-3 [15] po 1, 2, 7, 28, 56, 90, 180 i 360 dniach dojrzewania. Wyniki przedstawiono w tabeli 5 i na rysunku 4.

Po 28 dniach dojrzewania badane betony uzyskały wyższe klasy wytrzymałości na ściskanie niż projektowana klasa

**Tabela 5.** Wyniki wytrzymałość na ściskanie  $f_{cm,cube}$ 

Oznaczenie betonu	Wytrzymałość na ściskanie $f_{cm,cube}$ [MPa] po upływie:									Klasa wytrzymałości na ściskanie betonu określona po:	
	1 dnia	2 dni	7 dni	14 dni	28 dni	56 dni	90 dni	180 dni	360 dni	28 dniach	90 dniach
B 1	30,3	47,2	64,9	76,4	82,0	82,4	90,0	92,9	93,1	C60/75	C70/85
B 2 ( $k = 0,6$ )	13,6	26,6	58,5	68,5	89,6	93,2	95,2	103,6	104,6	C70/85	C70/85
B 3 ( $k = 0,8$ )	10,0	22,1	53,5	71,5	86,0	89,5	92,8	97,0	99,7	C60/75	C70/85
B 4 ( $k = 1,0$ )	6,8	15,5	41,8	55,3	72,5	75,7	81,4	83,8	87,5	C55/67	C60/75

**Rys. 4.** Przyrost wytrzymałości na ściskanie badanych betonów

C35/45 (tab. 5). Najwyższą 28-dniową wytrzymałość na ściskanie odnotowano dla betonu B 2 o przyjętym współczynniku  $k$  równym 0,6. Należy również podkreślić, iż zarówno po 28 dniach dojrzewania, jak i w późniejszych terminach badań, betony: B 2 ( $k = 0,6$ ) i B 3 ( $k = 0,8$ ) charakteryzowały się wyższymi wytrzymałościami na ściskanie w porównaniu do betonu odniesienia B 1 (rys. 4). Natomiast beton B 4 ( $k = 1,0$ ) w każdym terminie badania cechował się wytrzymałością na ściskanie niższą od wytrzymałości betonu referencyjnego (cement CEM I). Ponadto zauważyć można, że betony zawierające w swym składzie GGBFS, już między 7 a 14 dniem dojrzewania, miały wyższe przyrosty wytrzymałości na ściskanie od betonu referencyjnego (rys. 4). Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem w betonie określono zgodnie z normą PN-EN 12390-8 [16] po 28 i 90 dniach dojrzewania. Natomiast odporność betonu na karbonatyzację, po 28 i 90 dniach dojrzewania, oznaczono zgodnie z prEN 12390-12 [12] – próbki pielęgnowano w wodzie przez cały okres dojrzewania, zgodnie z wytycznymi normy

PN-EN 12390-2 [17], po tym czasie próbki przechowywano przez 14 dni w warunkach powietrzno-suchych, a następnie próbki na 70 dni umieszczono w komorze karbonatyzacyjnej, gdzie stężenie  $CO_2$  wynosiło  $4,0 \pm 0,5\%$ , temperatura była równa  $20 \pm 2^\circ C$ , a wilgotność względna wynosiła  $55\% \pm 5\%$ . Uzyskane wyniki zaprezentowano w tabeli 6.

Wszystkie zaprojektowane betony cechują się bardzo niską głębokością penetracji wody pod ciśnieniem nie przekraczającą 20 mm oraz bardzo małą głębokością karbonatyzacji. Świadczy to o wysokiej szczelności badanych betonów. Najniższą głębokość penetracji wody pod ciśnieniem uzyskano dla betonu referencyjnego (B 1). Wydłużenie okresu dojrzewania betonu w wodzie z 28 dni do 90 dni zwiększa szczelność stwardniałego zaczynu cementowego (tabela 6). Wynika to z wyższego stopnia przereagowania spoiwa cementowo-żużlowego, efektem czego jest ograniczenie wnikania mediów agresywnych do wnętrza struktury betonu.

Mrozoodporność betonu dla stopnia mrozoodporności F150 określono według normy PN-B-06265 [20] na próbkach dojrzewających 28 i 90 dni. Uzyskane wyniki podano w tabeli 7.

Po 28 dniach dojrzewania badane betony, z wyjątkiem betonu referencyjnego B 1, nie były mrozoodporne, ponieważ cechują się spadkami wytrzymałości na ściskanie  $\Delta f_c$  większymi niż 20%. Natomiast po 90 dniach dojrzewania badane betony

**Tabela 6.** Wyniki głębokości penetracji wody pod ciśnieniem i głębokości karbonatyzacji betonu

Czas dojrzewania [dni]	Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem [mm]				Głębokość karbonatyzacji [mm]			
	B 1	B 2 ( $k = 0,6$ )	B 3 ( $k = 0,8$ )	B 4 ( $k = 1,0$ )	B 1	B 2 ( $k = 0,6$ )	B 3 ( $k = 0,8$ )	B 4 ( $k = 1,0$ )
28	6	15	14	15	0	0	0	2
90	5	8	7	11	0	0	0	0



należy zaliczyć do grupy betonów mrozoodpornych dla stopnia mrozoodporności F150, spełniających kryteria zawarte w normie PN-B-06265 [20], co do oceny wizualnej, maksymalnego spadku masy oraz maksymalnego spadku wytrzymałości na ściskanie po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania (F 150). Uzyskane wyniki potwierdzają słuszność przyjętego w normie PN-B-06265 [20] 90-dniowego „czasu równoważnego” dla badań trwałościowych betonu. W celu poprawy mrozoodporności betonu z udziałem GGBFS po upływie 28 dni dojrzewania zaleca się właściwe napowietrzenie mieszanki betonowej.

## 5. Podsumowanie

Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że:

- zastąpienie części cementu portlandzkiego CEM I przez zmielony granulowany żużel wielkopiecowy, w wyniku zwiększenia ilości zaczynu, poprawiło urabialność i konsystencję mieszanki betonowej oraz pozwoliło na zredukowanie ilości superplastyfikatora niezbędnego do uzyskania projektowanej konsystencji. Poprzez zastosowanie zmielonego granulowanego żużla wielkopiecowego z wielkością współczynnika  $k = 0,6$  i  $0,8$ , jako częściowego substytutu cementu portlandzkiego CEM I, uzyskano mniejsze wytrzymałości na ściskanie w okresie początkowym (po 1, 2, 7 i 14 dniach dojrzewania), natomiast wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach i dłuższym terminie była wyższa niż betonu z użyciem cementu portlandzkiego CEM I;
- najwyższą trwałością (najmniejszą głębokością wnikania wody pod ciśnieniem, najmniejszą głębokością karbonatyzacji oraz największą mrozoodpornością) charakteryzował się beton o przyjętych wielkościach współczynnika  $k = 0,6$  i  $0,8$ . Uwzględniając, aspekty aplikacyjne oraz ekologiczne, wielkość współczynnika  $k = 0,8$  w przypadku zastosowania GGBFS jako dodatku typu II w składzie betonu jest wielkością rekomendowaną. Zaleca się określanie właściwości stwardniałego betonu (cech trwałościowych i wytrzymałościowych) zawierającego w swym składzie zmielony granulowany żużel wielkopiecowy po 90 dniach dojrzewania (czas równoważny).

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Ajdukiewicz A., Beton a rozwój zrównoważony, Budownictwo-Technologie-Architektura 3(27)2004, str. 38–44
- [2] Alberici S., de Beer J., van der Hoorn I., Maarten S., Fly ash and blast-furnace slag for cement manufacturing, BEIS Res. Pap. 19(2017)

**Tabela 7.** Wyniki mrozoodporności betonu dla stopnia F150

Oznaczenie betonu	Termin rozpoczęcia badania mrozoodporności po okresie dojrzewania							
	28 dni				90 dni			
	Średni spadek masy $\Delta m_f$ [%]	Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek świadków $f_{F1}$ [MPa]	Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek po badaniu mrozoodporności $f_{F2}$ [MPa]	Spadek wytrzymałości na ściskanie $\Delta f_f$ [%]	Średni spadek masy $\Delta m_f$ [%]	Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek świadków $f_{F1}$ [MPa]	Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek po badaniu mrozoodporności $f_{F2}$ [MPa]	Spadek wytrzymałości na ściskanie $\Delta f_f$ [%]
B 1	-1,0	89,2	77,1	13,6	0,2	92,9	84,9	8,7
B 2 ( $k = 0,6$ )	-0,2	99,6	78,9	20,7	0,1	100,1	97,4	2,7
B 3 ( $k = 0,8$ )	-1,0	98,5	75,5	23,4	0,1	97,9	94,9	3,1
B 4 ( $k = 1,0$ )	-0,6	81,3	51,9	36,2	0,5	84,4	79,8	5,4

- [3] Baran T., Ograniczenie emisji gazów i pyłów związane z wykorzystaniem odpadów w przemyśle cementowym, Materiały Budowlane 12/2019, str. 4–7
- [4] Boukendakdji O., Kadri E. H., Kenai S., Effects of granulated blast furnace slag and superplasticizer type on the fresh properties and compressive strength of self-compacting concrete., Cem. Concr. Res. 34(2012), str. 583–590
- [5] Czarnecki L., Kurdowski W., Tendencje kształtujące przyszłość betonu, Materiały Konferencji Dni Betonu 2006, Stowarzyszenie Producentów Cementów 2006, str. 47–64
- [6] Giergiczyński Z., Fly ash and slag, Cem. Concr. Res. 124 (2019)
- [7] Górażdże Cement S.A., Cementy z dodatkiem granulowanego żużla wielkopiecowego – rodzaje, właściwości, zastosowanie, 2017
- [8] Neville A. M., Właściwości betonu, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków, 2012
- [9] Ryou J. S., Song I. H., Kim S. S., Lee J., New technology of blastfurnace slag activation with recycling water from ready-mixed concrete production, Cement Wapno Beton 1/2013, str. 33–38
- [10] Wood K., Twenty years of experience with slag cement, in Proc. Slag Cem. Semin. Univ. Alabama, Birmingham, 1981
- [11] PN-EN 15167-1:2007: Mielony granulowany żużel wielkopiecowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie – Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności, 2007
- [12] prEN 12390-12:2010: Testing hardened concrete – Part 12: Determination of the potential carbonation resistance of concrete: Accelerated carbonation method, 2010
- [13] PN-EN 12350-2:2019-07: Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka, 2011
- [14] PN-EN 12350-7:2019-08: Badania mieszanki betonowej – Część 7: Badania zawartości powietrza – Metody ciśnieniowe, 2011
- [15] PN-EN 12390-3:2019-07: Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań, 2011
- [16] PN-EN 12390-8:2019-08: Badania betonu – Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem, 2011
- [17] PN-EN 12390-2:2011: Badania betonu – Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych, 2011
- [18] PN-EN 197-1:2012: Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku, 2012
- [19] PN-EN 206+A1:2016-12: Beton Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność, 2016
- [20] PN-B-06265:2018-10: Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A1:2016-12, 2018