

Wapień głównym składnikiem cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A,B-M

Na krajowym rynku budowlanym można zaobserwować wzrost stosowania cementów z dodatkami mineralnymi. Szczególnie ten trend jest widoczny w grupie cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A,B.

1. Wprowadzenie

Ten rodzaj cementu jest wytwarzany praktycznie we wszystkich klasach wytrzymałościowych. Producenci cementu starają się dostarczyć na potrzeby przemysłu materiałów budowlanych i budownictwa cementy wieloskładnikowe CEM II/A,B o odpowiedniej wytrzymałości wczesnej i normowej, dobrej urabialności i pozwalających na produkcję trwałych betonów w określonych warunkach aplikacji [1, 4-6].

Coraz częściej w składzie cementu portlandzkiego wieloskładnikowego stosowany jest zmielony wapień (kamień wapienny) [2-4,7-9,17].

Wapień stosowany w produkcji cementu powinien spełniać wymagania jakościowe zawarte w normie PN-EN 197-1:2002 *Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*, które przedstawiają się następująco:

- zawartość węgla wapnia (CaCO_3) powinna wynosić co najmniej 75% masy
- zawartość gliny i itów nie powinna przekraczać 1,20 g/100 g kamienia wapiennego
- całkowita zawartość węgla organicznego (TOC) powinna spełniać jedno z kryteriów:
 - dla kamienia wapiennego LL nie powinna przekraczać 0,20% masy kamienia
 - dla kamienia wapiennego L nie powinna przekraczać 0,50% masy kamienia.

Te ograniczenia zapewniają w procesie produkcji cementów stosowanie czystych, niezaglinionych wapieni, co wyklucza potencjalne możliwości niekorzystnego wpływania zanieczyszczeń na cechy użytkowe cementu w betonie, na przykład brak stałości objętości i mrozoodporności w obecności minerałów ilastych wprowadzanych z wapieniem. Studia literaturowe, jak też liczne już doświadczenia krajowe i zagraniczne, pozwoliły na zauważenie, że zmielony wapień zwiększa szczelność matrycy cementowej w stwardniałym zaczynie, a za-

tem pośrednio wpływa korzystnie na trwałość betonu [7-9,17]. Zwiększenie szczelności betonu wykonanego z cementu zawierającego wapień wiąże się również z oddziaływaniem chemicznym. Przy dużej dyspersji wapienia stwierdza się wzrost reaktywności CaCO_3 względem faz glinianowych. Produktem reakcji jest uwodniony węglanoglinian wapienny $\text{C}_3\text{A}\cdot\text{CaCO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Hydrat ten uszczelnia strukturę zaczynu, co ogranicza porowatość kapilarną i korzystnie wpływa na strukturę strefy kontaktowej kruszywo-zaczynu. Obecność zmielonego wapienia poprawia także urabialność mieszanki betonowej.

Kamień wapienny stosowany w produkcji cementu powinien spełniać wymagania jakościowe zawarte w normie PN-EN 197-1:2002 *Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*, które przedstawiają się następująco:

- zawartość węgla wapnia (CaCO_3) powinna wynosić co najmniej 75% masy
- zawartość gliny i itów nie powinna przekraczać 1,20 g/100 g kamienia wapiennego
- całkowita zawartość węgla organicznego (TOC) powinna spełniać jedno z kryteriów:
 - dla kamienia wapiennego LL nie powinna przekraczać 0,20% masy kamienia
 - dla kamienia wapiennego L nie powinna przekraczać 0,50% masy kamienia.

Te ograniczenia zapewniają w procesie produkcji cementów stosowanie czystych, niezaglinionych wapieni, co wyklucza potencjalne możliwości niekorzystnego wpływania zanieczyszczeń na cechy użytkowe cementu w betonie, na przykład brak stałości objętości i mrozoodporności w obecności minerałów ilastych wprowadzanych z wapieniem.

Możliwości stosowania wapienia, zgodnie z aktualną normą PN-EN 197-1, są szerokie. Może on być dodany do składu cementu w ilości $6 \pm 20\%$ masy w przypadku cementu portlandzkiego wapiennego CEM II/A-L (LL), bądź w ilości $21 \pm 35\%$ masy w przypadku cementu portlandzkiego wapiennego CEM II/B-L (LL). Z innymi dodatkami mineralnymi może być stosowany w produkcji cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/A, B-M. Może być także stosowany jako składnik drugorzędny praktycznie we wszystkich rodzajach cementów. Możliwe proporcje składów cementu z udziałem wapienia pokazano w tabeli 1.

W prezentowanej pracy skupiono uwagę na określeniu wpływu dodatku zmielonego wapienia (kamienia wapiennego) na kształtowanie się właściwości fizycznych i mechanicznych cementu portlandzkiego wapiennego CEM II/A,B-LL oraz cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A,B-M w składzie których obok wapienia obecny był granulowany żużel wielkopiecowy [CEM II/A,B-M(LL,S)], popiół lotny krzemionkowy [CEM II/A,B-M(LL,V)] oraz wapienny popiół lotny [CEM II/A,B-M(LL,W)]. Cementy, będące przedmiotem badań, uzyskiwane były poprzez dokładną homogenizację wszyst-

Tabela 1. Rodzaje cementów z dodatkiem kamienia wapiennego wg normy PN-EN 197-1

Rodzaj cementów powszechnego użytku		Skład (udział w procentach masy)									
		Składniki główne							Wapień		Składniki drugorzędne
		Klinkier	S	D	P,Q	V, W	T				
cement portlandzki wapienny	CEM II/A-L	80÷94	-	-	-	-	-	6÷20	-	0÷5	
	CEM II/B-L	65÷79	-	-	-	-	-	21÷35	-	0÷5	
	CEM II/A-LL	80÷94	-	-	-	-	-	-	6÷20	0÷5	
	CEM II/B-LL	65÷79	-	-	-	-	-	-	21÷35	0÷5	
cement portlandzki wieloskładnikowy	CEM II/A-M	80÷94	12÷20							0÷5	
	CEM II/B-M	65÷79	21÷35							0÷5	

gdzie: S – żużel wielkopiecowy; D – pył krzemionkowy; P – pucolana naturalna; Q – pucolana naturalna wypalana; V – popiół lotny krzemionkowy; W – popiół lotny wapienny; T – tupek palony

kich składników głównych cementu. Badania prowadzono na zaczynach, zaprawach i betonach.

2. Materiały i metody stosowane w badaniach

W tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny zastosowanych w badaniach składników cementu: cementu portlandzkiego CEM I 52,5R, mielonego kamienia wapiennego LL, granulowanego żużla wielkopieczowego S, popiołu lotnego krzemionkowego V i wapiennego W. Natomiast w tabeli 2 podano właściwości fizyczne.

Cementy będące przedmiotem badań otrzymano poprzez dokładną homogenizację poszczególnych składników.

Gęstość właściwą badanych cementów wyznaczono doświadczalnie w ultrapiknometrze UPY 1000. Powierzchnię właściwą cementów oznaczono metodą Blaine'a (metoda przepuszczalności powietrza) zgodnie z procedurą badawczą, zamieszczoną w normie PN-EN 196-6:1997 [13].

Oznaczenie konsystencji normowej i czasu wiązania zaczynu cementowego przeprowadza się na aparacie Vicata zgodnie z procedurą zawartą w normie PN-EN 196-3:2006 [12].

Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie cementu wykonuje się na beleczkach o wymiarach 40 × 40 × 160 mm, wykonanych z normowej zaprawy cementowej, zgodnie z normą PN-EN 196-1:2006 [11].

Badania wytrzymałości stwardniałego betonu wykonano zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2002 [15], a mrozoodporności F150 i nasiąkliwości – zgodnie z normą PN-88/B-06250 [10]. Badania te wykonano na próbkach sześciennych o wymiarach 100 mm. Natomiast badania mrozoodporności w obecności soli wykonano według projektu normy prEN 12390-9 [16].

3. Właściwości fizyczne cementów

W większości badanych cementów dodatki mineralne wydłużają czas początku wiązania cementu (tabela 3, rys. 2) w stosunku do cementu portlandzkiego CEM I. Analizując wpływ dodatku mielonego kamienia wapiennego na wodożądność cementu portlandzkiego CEM II/A,B-LL, stwierdzono jej obniżenie (rys. 2a). Wprowadzenie mielonego kamienia wapiennego do składu cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/A,B-M (S-LL), w ilości do 15%, nieznacznie wydłuża początek czasu wiązania oraz obniża wodożądność w stosunku do cementu portlandzkiego żużlowego CEM II/A,B-S (rys. 2b). W przypadku cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/A,B-M (V-LL) obniżenie wodożądności jest znaczące i jest efektem synergicznym związanym z charakterem obydwu dodatków (rys. 2c). W cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A,B-M (W-LL) zwiększając ilość dodatków mineralnych, zmniejszono wodożądność cementu w stosunku do cementu portlandzkiego wapiennego CEM II/A,B-W, a początek czasu wiązania uległ skróceniu. Przy wysokiej zawartości popiołu wapiennego (pow. 15%) nie obserwuje się wpływu kamienia wapiennego na zmianę wodożądności. Należy to wiązać z właściwościami popiołu lotnego wapiennego (rys. 2d).

Tabela 1. Skład chemiczny użytych materiałów

Składnik	Zawartość składnika, % wag.				
	CEM I 52,5R	Mielony kamień wapienny LL	Mielony granulowany żużel wielkopieczowy S	Popiół lotny wapienny W	Popiół lotny krzemionkowy V
straty prażenia	3,3	39,11	0,1	2,91	1,51
części nierozpuszczalne	0,6	Nie badano	0,5	32,83	83,62
SiO ₂	20,1	6,26	37,86	42,94	51
Al ₂ O ₃	4,7	2,06	7,22	17,24	28,26
Fe ₂ O ₃	2,8	1,58	1,24	4,31	6,69
CaO wolne	nie badano	nie badano	nie badano	1,4	0,05
CaO	63,7	48,39	45,45	25,89	3,78
MgO	1,3	1,58	6,25	2,04	2,72
SO ₃	2,7	0,26	0,12	3,47	0,63
Na ₂ O	0,1	0,07	0,54	0,26	1,47
K ₂ O	0,8	0,29	0,55	0,13	3,16
Cl-	0,05	0,012	0,044	0,004	0,01

Tabela 2. Właściwości fizyczne stosowanych materiałów

	CEM I 52,5R	Mielony kamień wapienny LL	Mielony granulowany żużel wielkopieczowy S	Popiół I lotny wapienny W	Popiół lotny krzemionkowy V
Powierzchnia właściwa [cm ² /g]	4300	4000	3700	2310	2250
Gęstość właściwa [g/cm ³]	3,1	2,72	2,85	2,51	2,17

4. Właściwości stwardniałych zapraw

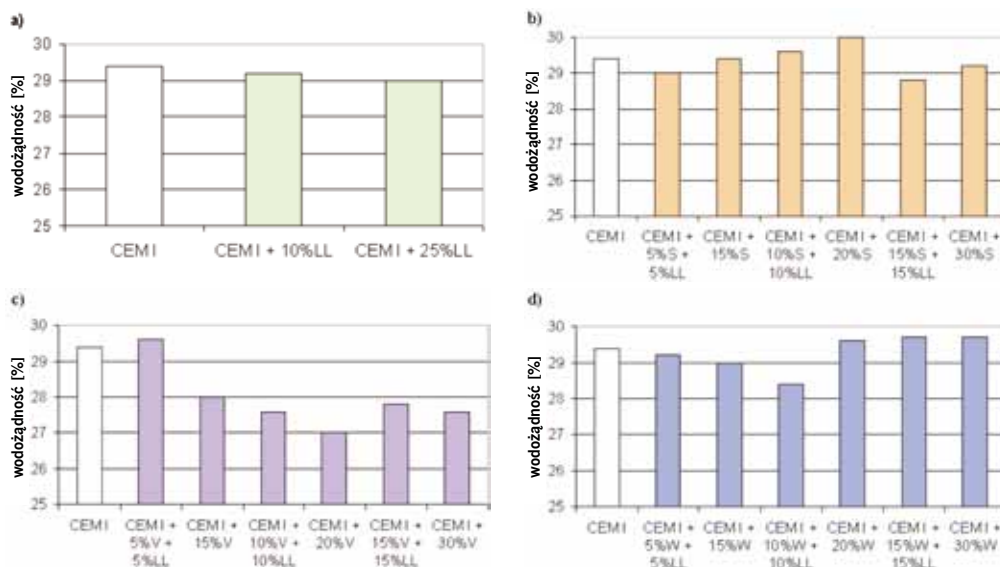
Cement portlandzki wapienny CEM II/A,B-LL zawierający dodatek wapienia w ilości 10% charakteryzuje się zbliżonym poziomem wytrzymałości na ściskanie do cementu portlandzkiego CEM I. Zwiększając ilość wapienia powyżej 10%, następuje obniżenie się wytrzymałości zapraw normowych (rys. 3a). Analizując rezultaty badań wytrzymałościowych cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM

Tabela 3. Właściwości fizyczne cementów

Symbol	Gęstość [g/cm ³]	Powierzchnia właściwa [cm ² /g]	Wodożądność [%]	Początek wiązania [min]
CEM I	3,11	4540	29,4	150
CEM I + 10%LL*	3,05	4480	29,2	140
CEM I + 25%LL	2,96	4390	29	170
CEM I + 5%S + 5%LL	3,07	4680	29	155
CEM I + 10%S + 10%LL	3,04	4490	29,6	185
CEM I + 15%S + 15%LL	3,02	4450	28,8	155
CEM I + 15%S*	3,07	4500	29,4	150
CEM I + 20%S	3,06	4640	30	155
CEM I + 30%S	3,06	4340	29,2	165
CEM I + 5%V + 5%LL	3,01	4540	29,6	215
CEM I + 10%V + 10%LL	2,94	4620	27,6	185
CEM I + 15%V + 15%LL	2,86	4490	27,8	210
CEM I + 15%V*	2,9	4320	28	190
CEM I + 20%V	2,84	4260	27	210
CEM I + 30%V	2,75	4200	27,6	195
CEM I + 5%W + 5%LL	3,04	4650	29,2	160
CEM I + 10%W + 10%LL	2,99	4670	28,4	140
CEM I + 15%W + 15%LL	2,93	4590	29,7	135
CEM I + 15%W*	2,99	4430	29	155
CEM I + 20%W	2,95	4530	29,6	145
CEM I + 30%W	2,88	4320	29,7	115

* – LL wapień, S – granulowany żużel wielkopieczowy, V – popiół lotny krzemionkowy, W – popiół lotny wapienny

Rys. 2. Wodządnosc cementu portlandzkiego wieloskladnikowego:
 a) CEM II/A,B-LL,
 b) CEM II/A,B-M (S-LL) i CEM II/A,B-S,
 c) CEM II/A,B-M (V-LL) i CEM II/A,B-V,
 d) CEM II/A,B-M (W-LL) i CEM II/A,B-W



II/A,B-M zawierającego dwa dodatki, stwierdzono, że najwyższe parametry wytrzymałościowe posiada cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A,B-M (S-LL) (rys. 3b), a najniższe cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A,B-M (V-LL) (rys. 3c). Można zauważyć, że wytrzymałości wczesne (po 2 dniach) w cementach CEM II zawierających dodatek (V,LL) są wyższe niż w cementach zawierających tylko popiół lotny krzemionkowy V (rys. 3c). Wapień wpływa zauważalnie na obniżenie wytrzymałości na ściskanie zapraw wykonanych z cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/A,B-M (W-LL) w stosunku do cementu CEM II/A,B-W (rys. 3d) zawierającego jedynie popiół lotny wapienny.

5. Badania stwardniałego betonu

Zakresem badań objęto cemeny portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/A,B-M zawierające jako składnik główny dodatki: mielony wapień, popiół lotny i granulowany żużel wielkopiecowy.

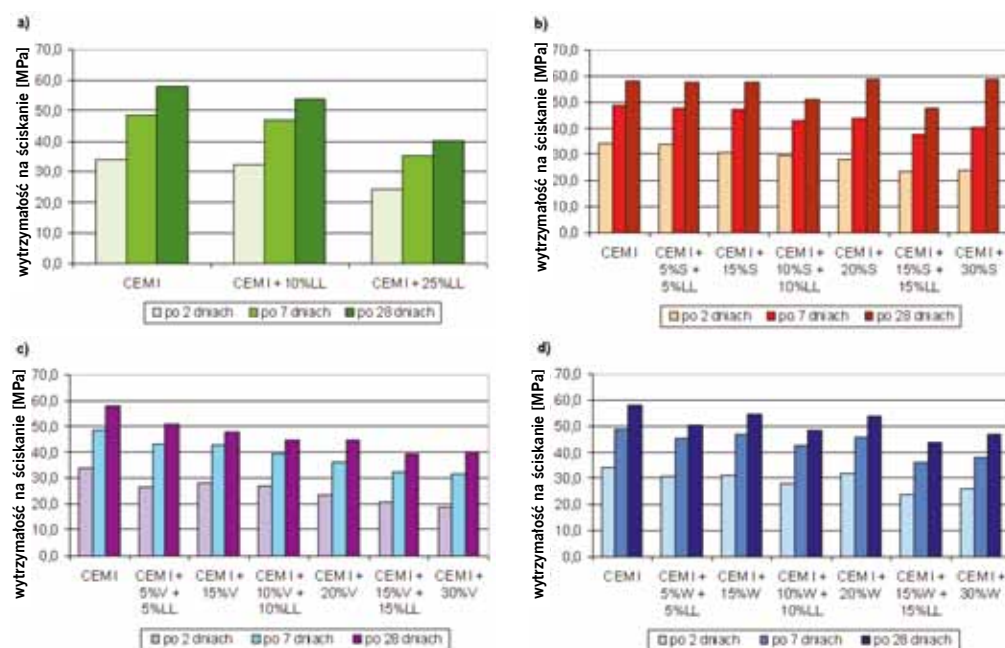
W badaniach wytrzymałościowych stwardniałego betonu stwierdzono, że wytrzymałość na ściskanie betonu z cementu portlandzkiego wapiennego CEM

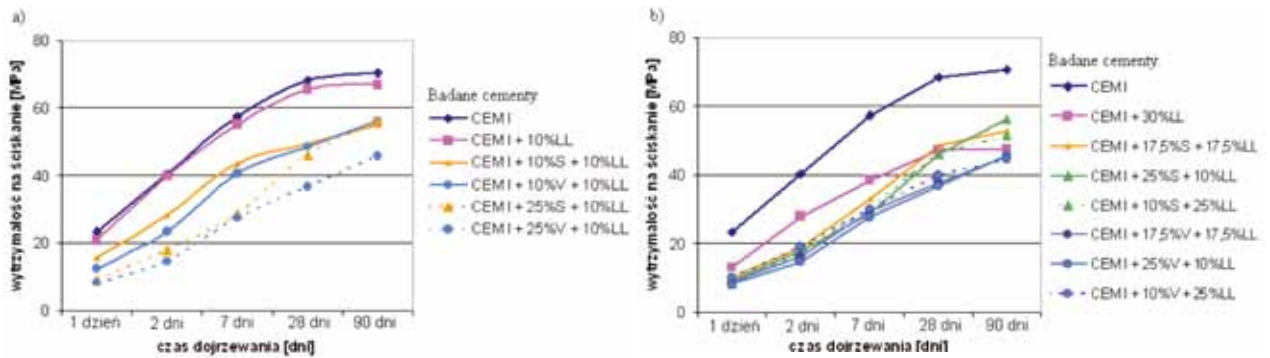
II/A-LL z 10% zawartością kamienia wapiennego jest porównywalna do wytrzymałości uzyskanej dla cementu portlandzkiego CEM I 52,5R (rys. 4a). Ten sam wniosek wyciągnięto wcześniej, badając zaprawy normowe. Zwiększając ilość wapienia, w składzie wszystkich badanych cementów wieloskładnikowych w stosunku do drugiego dodatku, uzyskano obniżenie wytrzymałości na ściskanie betonu (rys. 4). W dłuższych okresach twardnienia (28 dni i dłużej), w przypadku betonów na cementach z wyższą zawartością dodatków mineralnych innych niż zmieszany wapień, można zauważyć wpływ aktywności pucolanowej (popiół lotny V) i hydrauliczno-pucolanowej (granulowany żużel) na wytrzymałość stwardniałego betonu.

Wytrzymałość na ściskanie betonu z cementu CEM II/A,B-M (S-LL) w okresie wczesnym (2 dni) nieznacznie różni się od wytrzymałości cementu portlandzkiego żużlowego CEM II/A,B-S, natomiast wytrzymałość normowa (28 dni) ulega obniżeniu wraz ze wzrostem ilości mielonego kamienia wapiennego w składzie cementu (rys. 4).

Wprowadzając do cementu wieloskładnikowego CEM II/A-M (V-LL) do 10% kamienia wapienne-

Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie normowych zapraw cementowych:
 a) CEM II/A,B-LL,
 b) CEM II/A,B-M (S-LL) i CEM II/A,B-S,
 c) CEM II/A,B-M (V-LL) i CEM II/A,B-V,
 d) CEM II/A,B-M (W-LL) i CEM II/A,B-W





go, można zauważyć niewielkie zmiany w wytrzymałości na ściskanie w okresie do 28 dni (rys. 4a). W dłuższym okresie twardnienia (90 dni) wyższe poziomy wytrzymałości są osiągane przez cementy z wyższą zawartością popiołu lotnego (rys. 4). W przypadku cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V-LL) obserwowane są znaczne spadki wytrzymałości (rys. 4b).

W badaniach nasiąkliwości betonu stwierdzono, że udział 10% kamienia wapiennego w składzie cementu nie wpływa w znaczącym stopniu na nasiąkliwość betonu z cementu portlandzkiego wapiennego CEM II/A-LL w stosunku do cementu portlandzkiego CEM I (rys. 5). Podobne zależności uzyskano dla cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/A-M (S-LL) zawierającego 10% kamienia wapiennego i 10% granulowanego żużla wielkopieczowego. Natomiast nasiąkliwość betonu na cemencie portlandzkim wieloskładnikowego CEM II/A-M (V-LL) zawierającego 10% wapienia i 10% popiołu lotnego krzemionkowego jest wyższa w stosunku do omawianych wcześniej cementów (rys. 5).

Wraz ze zwiększaniem ilości mielonego kamienia wapiennego w składzie cementu zwiększa się nasiąkliwość betonu. Najwyższą nasiąkliwością charakteryzowały się betony na cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A,B-M (V-LL) zawierające dodatek popiołu lotnego i wapienia (rys. 5).

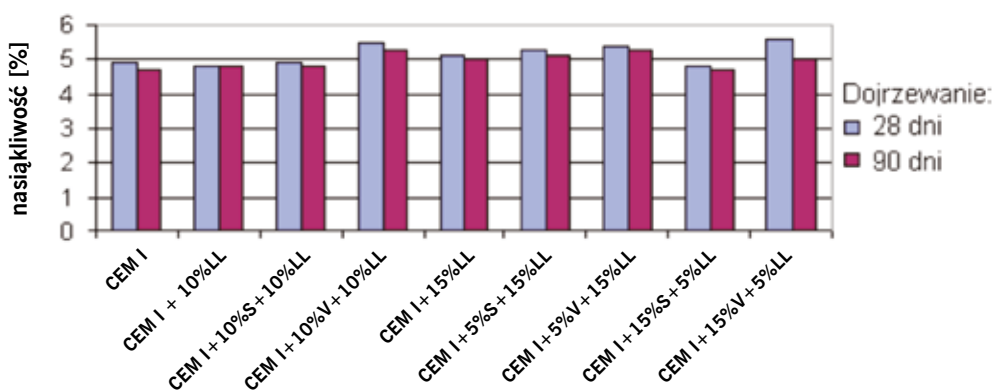
W badaniach mrozoodporności betonu z wykorzystaniem metody zwykłej wg PN-B-06250 [10] dla stopnia mrozoodporności F150 stwierdzono, że podwyższona zawartość zmielonego wapienia w składzie cementu wieloskładnikowego CEM II/A,B-LL (powyżej 10%) i cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A,B-M (V-LL) wpływa negatywnie na tę właściwość (rys. 6). W przypadku cementu portlandzkiego wieloskładnikowe-

go CEM II/A,B-M (S-LL) beton spełnia wymagania stawiane betonom mrozoodpornym (spadek wytrzymałości niższy od 20%), a spadki wytrzymałości są niewiele większe w porównaniu z betonem na cemencie portlandzkim CEM I 52,5R (rys. 6). Podobne wyniki uzyskano w badaniach mrozoodporności w obecności soli odladzających (rys. 7) według procedury zawartej w projekcie normy prEN12390-9 (56 cykli) [16]. Największą odpornością na złuszczenia powierzchniowej warstwy charakteryzował się beton na cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A-M (S-LL). Większy udział wapienia w składzie cementu, w stosunku do granulowanego żużla wielkopieczowego w cemencie CEM II/A,B-M (S-LL) lub popiołu lotnego krzemionkowego w cemencie CEM II/A,B-M (V-LL), zmniejszała odporność betonu na powierzchniowe złuszczenie (rys. 7b). Wszystkie badane cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/A,B-M (V-LL) dają duże spadki wytrzymałości i znaczące ilości złuszczeń po badaniu mrozoodporności (dopuszczalna ilość złuszczeń $\leq 1 \text{ kg/m}^2$), co praktycznie ogranicza możliwość ich stosowania w tych warunkach środowiskowych. Poprawę mrozoodporności można uzyskać poprzez właściwe napowietrzanie betonu [4,18]. Wydłużając czas twardnienia przed badaniem mrozoodporności do 90 dni, można zauważyć poprawę odporności dla cementów zawierających popiół lub granulowany żużel wielkopieczowy.

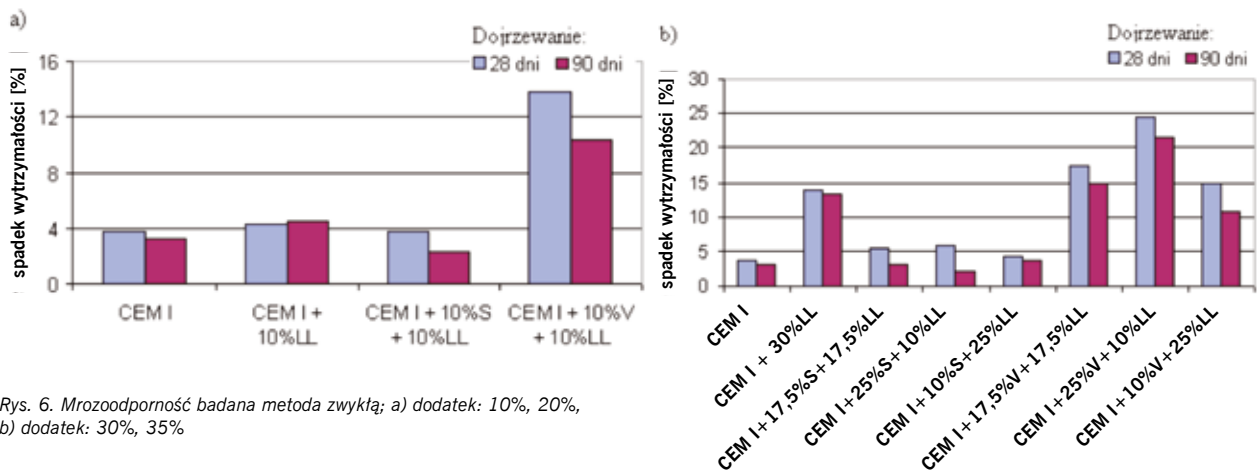
6. Podsumowanie

Właściwości cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A,B-M zawierających, obok wapienia LL, granulowany żużel wielkopieczowy S, popiół lotny krzemionkowy V lub popiół lotny wapienny W zależą głównie od rodzaju stosowanych kompozycji (S-LL, V-LL, W-LL) oraz zastosowanych proporcji w składzie cementu.

Rys. 4. Wytrzymałość na ściskanie betonów: a) dodatki mineralne w cemencie w ilości: 10%, 20% i 35%, b) dodatki mineralne w cemencie w ilości: 30% i 35%



Rys. 5. Nasiąkliwość betonu



Rys. 6. Mrozoodporność badana metoda zwykłą; a) dodatek: 10%, 20%, b) dodatek: 30%, 35%

Analizując uzyskane wyniki badań własnych, można postawić tezę, że wapień może być wartościowym składnikiem cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A,B-M, szczególnie jeśli jego zawartość w składzie cementu wieloskładnikowego CEM II/A,B-M zawiera się w zakresie od 5 do 10÷15%. Zwiększając ilość wapienia w składzie cementu powyżej tej granicy (pow. 15%), należy liczyć się z obniżeniem właściwości mechanicznych i cech trwałościowych.

dr hab. inż. Zbigniew Giergiczny, prof. Pol. Śl. Politechnika Śląska, Centrum Technologiczne Betotech Sp.z o.o. w Dąbrowie Górniczej
mgr inż. Magdalena Piechówka-Mielnik Politechnika Wroclawska

Literatura

- 1 P.C. Aitcin, *Binders for durable and sustainable concrete*, wyd. Taylor & Francis Group, 2008
- 2 V. Bonavetti, H. Donza, V. Rahhal, E. Irassar, *Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement*, CCR 30 (2000), pp. 703-708
- 3 P. Boos, R. Härdtl, *Experience report Portland limestone cement*, Report Heidelberg Cement Technology Center, 2004
- 4 S. Chłędziński, A. Garbacik, *Cementy wieloskładnikowe w budownictwie*, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2008
- 5 Z. Giergiczny, *Dodatki mineralne – niezastąpione składniki współczesnego cementu i betonu*, *Materiały Budowlane*, nr 3, 2009, s. 46-50
- 6 Z. Giergiczny, J. Małolepszy, J. Szwabowski, J. Śliwiński, *Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji*, Instytut Śląski, Opole 2002
- 7 Z. Giergiczny, M. Piechówka, M. Sokołowski, *Właściwości cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/A,B-M zawierającego wapieni (L, LL)*, „*Budownictwo, Technologie, Architektura*”, 2009, nr 3, s. 54-56
- 8 Ch. Muller, K. Severins, *Durability of concrete made with Portland-limestone and Portland-composite cements CEM II-M (S-LL)*, *Concrete Technology Reports 2004-2006*, pp. 29-53
- 9 Ch. Muller, *Performance of Portland-composite cements*, *Cement International 2/2006*, vol. 4, pp. 112-119
- 10 PN-88/B-06250 *Beton zwykły*
- 11 PN-EN 196-1:2006 Część 1: *Metody badania cementu. Oznaczenie wytrzymałości*
- 12 PN-EN 196-3:2006 *Metody badania cementu. Część 3: Oznaczenie czasów wiązania i stałości objętości*
- 13 PN-EN 196-6:1997 *Metody badania cementu. Oznaczenie stopnia zmielenia*
- 14 PN-EN 197-1 *Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*
- 15 PN-EN 12390-3:2002 *Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania*
- 16 prEN 12390-9 *Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling*
- 17 S.Tsivilis, E. Chaniotakis, G. Kakali, G. Batik, *An analysis of the properties of Portland limestone cements and concrete*, *CCC 24 (2002)*, pp. 371-378
- 18 P. Boss, Z. Giergiczny, *Testing the Frost resistance of concrete with different cement types – experience from laboratory and practice*, *Architecture, Civil Engineering, Environment*, vol. 3, No.2, 2010, pp. 41-52

Rys. 7. Mrozoodporność betonów badana w obecności soli odladzających; a) dodatek: 10%, 20%, b) dodatek: 30%, 35%

