

Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/B-M (V-W) 32,5R – skład, właściwości i możliwości zastosowania w budownictwie

Portland composite cement CEM II/B-M (V-W) 32,5R – composition, properties and possibilities of application

godnie z PN-EN 197-1 [1], jako składniki główne cementu (powyżej 5,0%) mogą być stosowane dwa rodzaje popiołów lotnych – popiół krzemionkowy (V) o aktywności pucolanowej i popiół wapienny (W) o aktywności pucolanowo-hydraulicznej [1]. O ile popiół lotny krzemionkowy jest powszechnie stosowany w technologii cementu i betonu od wielu lat, o tyle stosowanie popiołu lotnego wapiennego (W) w składzie cementu nie ma dużej tradycji (jest stosowany w Bośni i Hercegowinie).

Popiół lotny wapienny (W) może być składnikiem cementów portlandzkich popiołowych (CEM II/A, B-W), cementów portlandzkich wieloskładnikowych w mieszaniu z innymi dodatkami (CEM II/A, B-M) i cementów pucolanowych (CEM IV/A, B) [1]. Ten rodzaj popiołu lotnego, w porównaniu z powszechnie stosowanymi popiołami lotnymi krzemionkowymi (V), charakteryzuje się zróżnicowanymi właściwościami fizycznymi oraz zmiennym składem chemicznym i mineralnym. Głównymi składnikami krystalicznymi popiołu lotnego wapiennego są: kwarc; anhydryt; gehlenit; anortyt i $\text{CaO}_{\text{wolno}}$. W przypadku podwyższonej zawartości związków wapnia mogą tworzyć się także fazy charakterystyczne dla klinkieru portlandzkiego i granulowanego żużla wielkopieczowego: gliniany wapienne, belit czy mellilit. Są to aktywne składniki i w głównej mierze odpowiadają za właściwości wiążące popiołów wapiennych [2, 3]. Faza szklista (bez-

postaciowa) w popiołach lotnych wapiennych różni się od fazy szklistej popiołów krzemionkowych, ale także pozytywnie wpływa na aktywność pucolanowo-hydrauliczną [2]. Wyniki prowadzonych w ostatnich latach badań pokazały, że popiół lotny wapienny W może być cennym składnikiem cementów i spoiw mineralnych [4, 5]. Stwierdzono także, że aktywacja mechaniczna (zmielenie popiołu wapiennego) zwiększa jego aktywność hydrauliczno-pucolanową, co skutkuje poprawą właściwości wytrzymałościowych cementów i spoiw [4 – 9].

W artykule zaprezentowano wyniki badań cementu portlandzkiego wieloskładnikowego, CEM II/B-M (V-W) 32,5R, zawierającego mieszaninę popiołów lotnych – krzemionkowego (V) i wapiennego (W). Badane cementy wyprodukowano w skali półtechnicznej. Wnioski z badań zostaną wykorzystane w przemysłowej produkcji tego rodzaju cementu w Cementowni Góraździe.

Skład i właściwości cementu portlandzkiego wieloskładnikowego

Cementy do badań przygotowano na bazie cementu portlandzkiego CEM I 42,5R lub klinkieru portlandzkiego, popiołu krzemionkowego (V) i popiołu wapiennego (W). W tabeli 1 i 2 przedstawiono skład chemiczny i właściwości fizyczne tych składników cementu. Produkcję cementów w skali półtechnicznej prowadzono dwiema metodami. Metoda pierwsza polegała na homogenizacji składników w mieszalniku, tj. cementu portlandzkiego CEM I 42,5R oraz popiołów lotnych (cementy tej serii oznaczono jako MI). W rozwiązaniu tym stosowano popiół wapienny w stanie dostawy (W) i zmielony (W+). W drugim wariantcie cementy wyprodukowano przez wspólny przemiał klinkieru portlandzkiego, popiołów lotnych oraz gipsu w młynie kulowym (cementy tej serii oznaczono jako WP). Tabela 3 zawie-

Tabela 1. Skład chemiczny surowców stosowanych w badaniach

Rodzaj składnika	Zawartość [% masy]									
	strata praż.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl ⁻
Cement portlandzki CEM I	3,5	19,5	4,9	2,9	63,3	1,3	2,8	0,1	0,9	0,05
Klinkier	0,4	22,7	4,9	2,4	66,7	1,0	0,4	0,4	0,4	0,01
Popiół lotny krzemionkowy (V)	1,5	51,0	28,3	6,7	3,8	2,7	0,6	1,5	3,2	0,01
Popiół lotny wapienny (W)	2,6	33,6	19,3	5,4	31,3	1,8	4,5	0,3	0,1	0,00

Tabela 2. Właściwości fizyczne surowców stosowanych w badaniach

Rodzaj składnika	Gęstość [g/cm ³]	Powierzchnia właściwa wg Blaine'a [cm ² /g]	Miałkość – pozostałość na sicie 0,045 mm [%]
Cement portlandzki CEM I 42,5R	3,11	3730	–
Popiół lotny krzemionkowy (V)	2,24	2520	34,3
Popiół lotny wapienny (W)	2,62	2860	38,0
Zmielony popiół lotny wapienny (W+)	2,75	3870	10,5

* Politechnika Śląska, Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.

** Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych Oddział w Krakowie

Tabela 3. Skład przygotowanych cementów CEM II/B-M (V-W) 32,5R

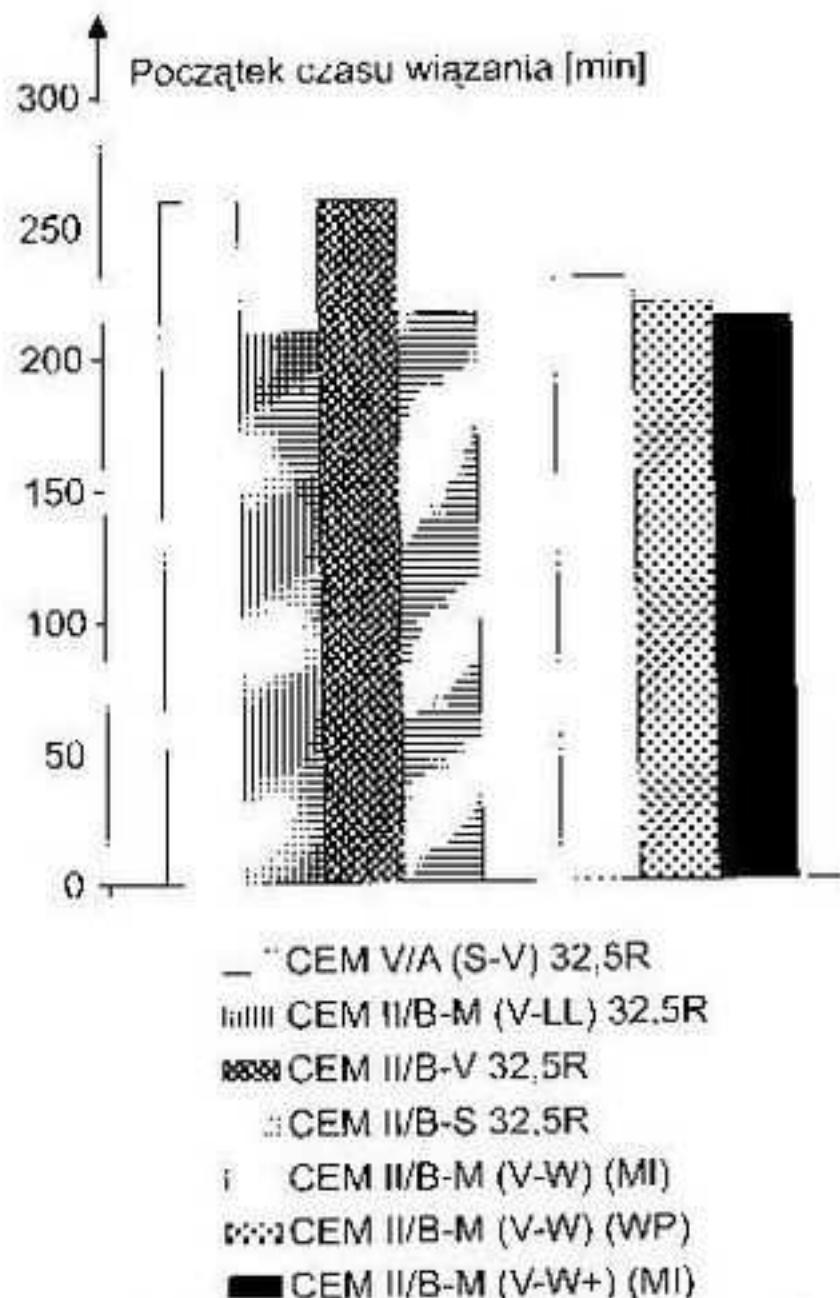
Opis cementu	Udział składników [%]			
	cement portlandzki CEM I 42,5R	klinkier portlandzki	popiół lotny krzemionkowy (V)	popiół lotny wapienny (W)
CEM II/B-M (V-W) (MI)	70,0	-	15,0	15,0
CEM II/B-M (V-W) (WP)*	-	66,7	14,3	14,3
CEM II/B-M (V-W+) (MI)	70,0	-	15,0	15,0

(MI) – cement wyprodukowany przez mieszanie; (WP) – cement wyprodukowany przez wspólny przemiał; * – udział gipsu: 4,7%

ra opis oraz skład cementów wyprodukowanych w skali półtechnicznej.

Otrzymane cementy poddano badaniom właściwości fizycznych, mechanicznych oraz trwałościowych (przenikalność chlorków). Gęstość, powierzchnię właściwą, wodożądność, początek czasu wiązania oraz badanie wytrzymałości na ściskanie prowadzono zgodnie z procedurami zawartymi w odpowiednim arkuszu PN-EN 196. Przenikalność jonów chlorkowych przez zaprawę normową oznaczono wg procedury zawartej normie ASTM C 1202. W tabeli 4 przedstawiono właściwości użytych w badaniach cementów.

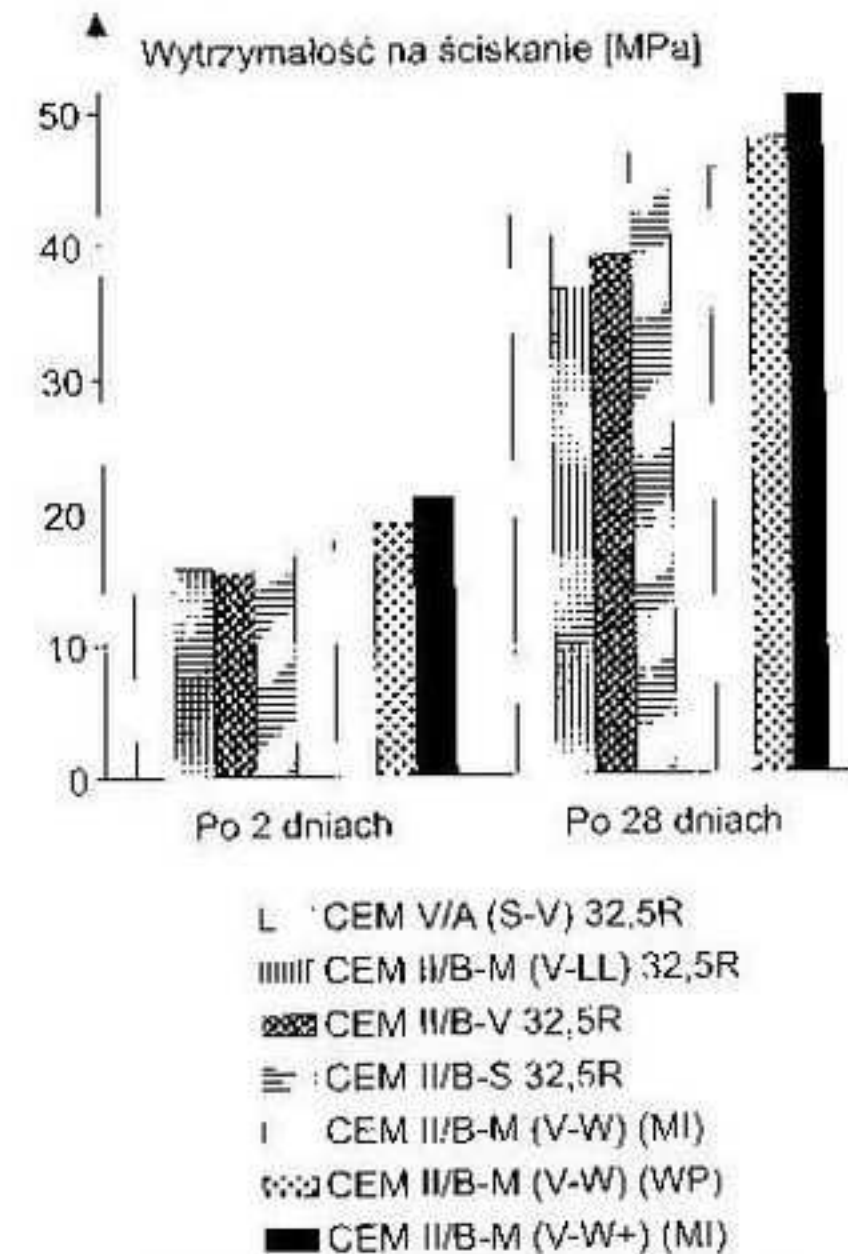
Wyniki badań zaprezentowane w tabeli 4 pokazują, że wodożądność cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V-W) 32,5R kształtuje się na poziomie 28,0 – 29,5% i jest zbliżona do wodożądności cementu wieloskładnikowego CEM V/A (S-V) 32,5R i cementu hutniczego CEM III/A 32,5N z oferty Górażdże Cement S.A. [10]. Początki czasu wiązania cementu CEM II/B-M (V-W) 32,5R są porównywalne z czasem wiązania cementu portlandzkiego żużlowego CEM II/B-S 32,5R i cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V-LL) 32,5R, co pokazano na rysunku 1. Poziom wytrzymałości na ściskanie zapraw normowych po 2 i 28 dniach (rysunek 2),



Rys. 1. Początek czasu wiązania cementów z cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V-W), jest zbliżony do wytrzymałości uzyskiwanych przy stosowaniu cementu portlandzkiego żużlowego CEM II/B-S 32,5R. Warto również zauważyć, że w przypadku cementu zawierającego popiół zmielony CEM II/B-M (V-W+) (MI) wyniki wytrzymałości są wyraźnie wyższe. Potwierdza to zaobserwowaną wcześniej zależność, że zmielenie popiołu wapiennego zwiększa jego aktywność [4, 5]. Kolejnym potwierdzeniem tej tezy jest również to, że wytrzymałość cementu wyprodukowanego przez wspólny przemiał składników CEM II/B-M (V-W) (WP) była wyższa niż cementu wyprodukowanego przez mieszanie CEM II/B-M (V-W) (MI).

Na podstawie wyników przenikalności jonów chlorkowych przez zaprawę, zamieszczonych w tabeli 4 i pokazanych na rysunku 3, stwierdzono, że stosowanie cementów CEM II/B-M (V-W) 32,5R

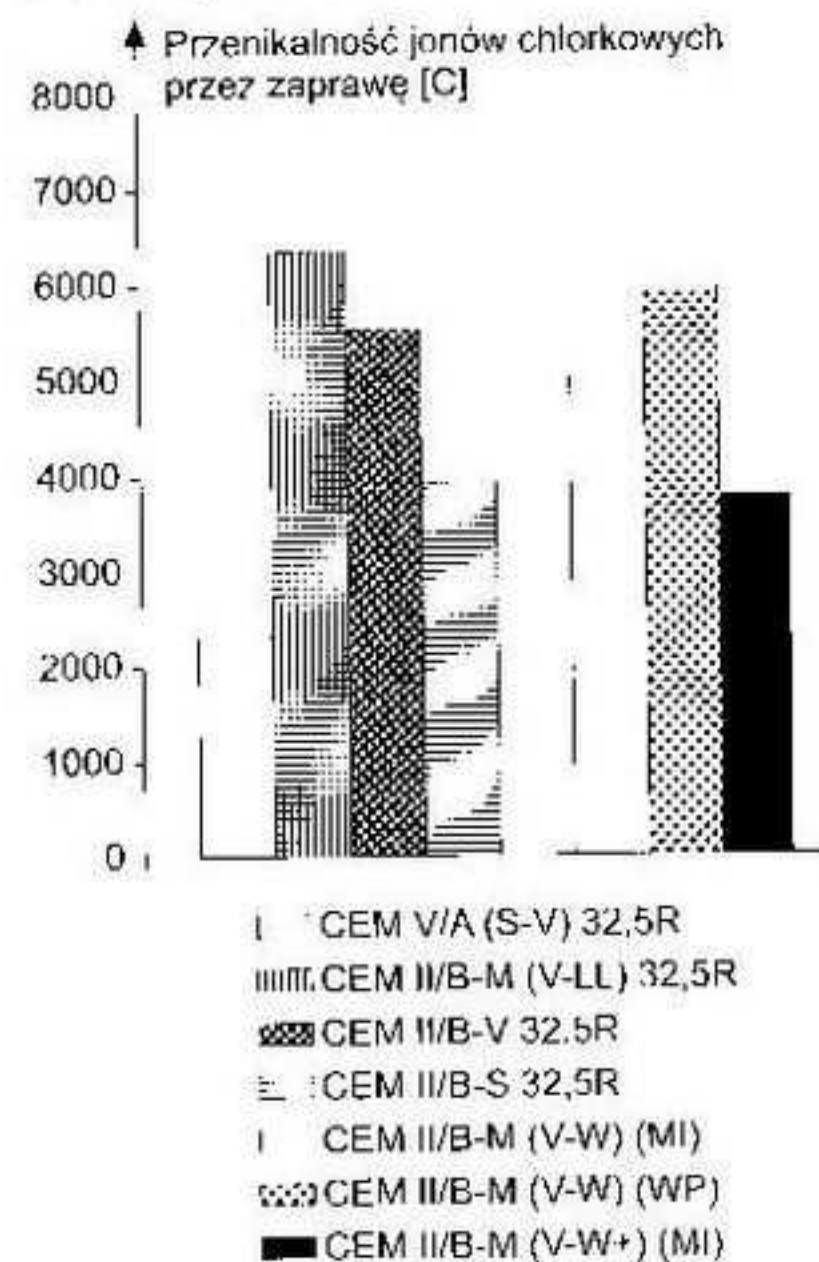
Warto również zauważyć, że w przypadku cementu zawierającego popiół zmielony CEM II/B-M (V-W+) (MI) wyniki wytrzymałości są wyraźnie wyższe. Potwierdza to zaobserwowaną wcześniej zależność, że zmielenie popiołu wapiennego zwiększa jego aktywność [4, 5]. Kolejnym potwierdzeniem tej tezy jest również to, że wytrzymałość cementu wyprodukowanego przez wspólny przemiał składników CEM II/B-M (V-W) (WP) była wyższa niż cementu wyprodukowanego przez mieszanie CEM II/B-M (V-W) (MI).



Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie cementów CEM II/B-M (V-W) 32,5R w porównaniu z innymi cementami

Tabela 4. Właściwości cementów CEM II/B-M (V-W) 32,5R

Właściwość	CEM II/B-M (V-W) (MI)	CEM II/B-M (V-W) (WP)	CEM II/B-M (V-W+) (MI)
Wodożądność [%]	28,3	29,2	28,6
Początek czasu wiązania [min]	230	220	215
Koniec czasu wiązania [min]	320	300	365
Gęstość [g/cm ³]	2,89	2,93	2,92
Powierzchnia właściwa [cm ² /g]	3730	4130	3960
Wytrzymałość na ściskanie –			
– po 2 dniach	17,8	19,1	21,0
– po 7 dniach	32,6	33,5	34,1
– po 28 dniach	45,5	47,7	50,9
– po 90 dniach	60,4	61,0	59,9
Przenikalność jonów chlorkowych [C]			
– po 28 dniach	5010	5940	3780
– po 90 dniach	3670	4090	2480



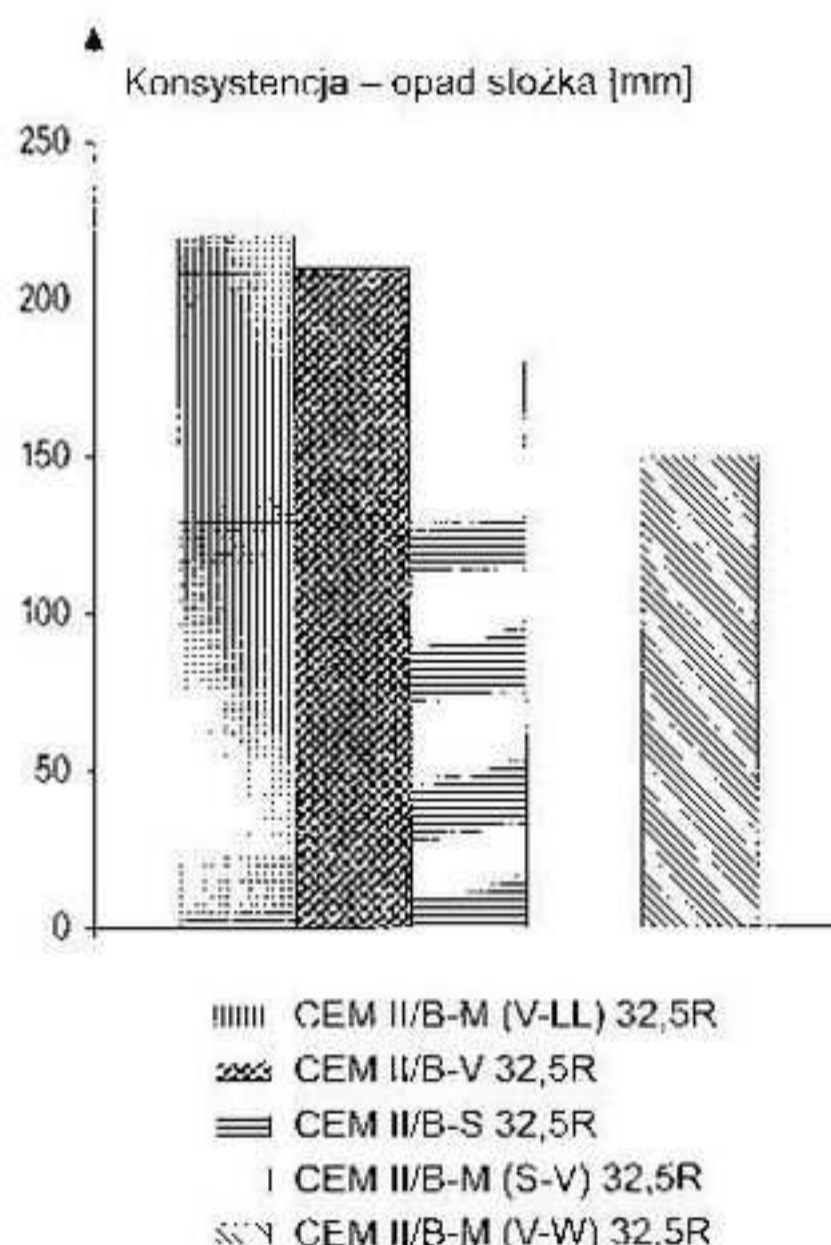
Rys. 3. Przenikalność jonów chlorkowych przez zaprawę normową w zależności od stosowanego cementu

nie powoduje zwiększenia migracji jonów chlorkowych przez stwardniałą zaprawę w porównaniu z innymi, powszechnie stosowanymi cementami portlandzkimi wieloskładnikowymi CEM II. Stosowanie w składzie cementu domielonego popiołu lotnego wapiennego (W+) uszczelnia strukturę (aktywność) i utrudnia penetrację jonów chlorkowych (rysunek 3).

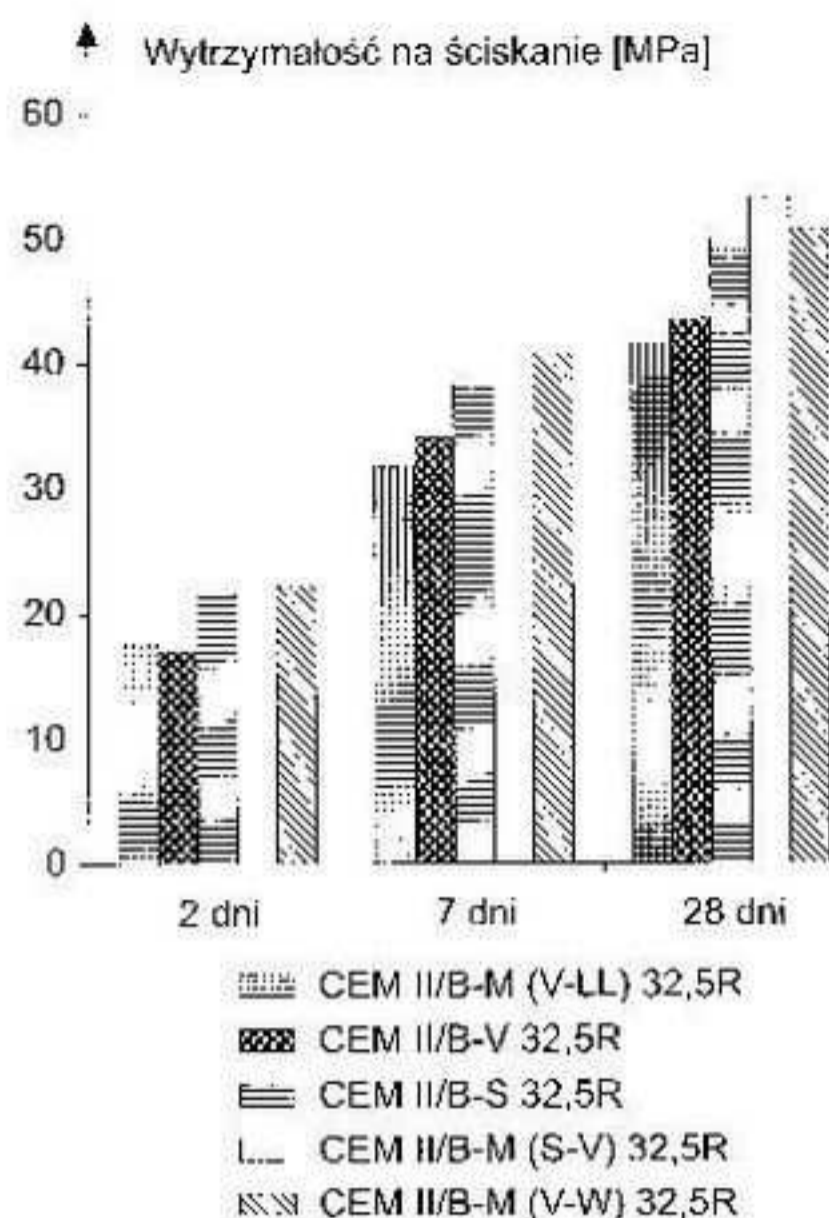
Możliwości zastosowania w budownictwie

W celu oceny możliwości zastosowania cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V-W) 32,5R w budownictwie przygotowano beton zawierający 350 kg cementu, 612 kg kruszywa 0 – 2 mm i 1250 kg kruszywa 2 – 16 mm w przeliczeniu na 1 m³. Wskaźnik woda/cement wynosił 0,45. W celu porównania przygotowano także betony o identycznym składzie na bazie dostępnych na rynku cementów CEM II i CEM V. Do wszystkich betonów dodano jednakową ilość superplastyfikatora – 0,5% masy cementu. Betony zostały poddane badaniu konsystencji oraz wytrzymałości na ściskanie po 2, 7 i 28 dniach twardnienia.

Wyniki zaprezentowane na rysunkach 4 i 5 wskazują, że pod względem konsystencji i wytrzymałości na ściskanie beton wykonany na cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/B-M (V-W) 32,5R ma zbliżone właściwości do betonu wykonanego



Rys. 4. Konsystencja betonów (w/c = 0,45; zawartość cementu 350 kg/m³)



Rys. 5. Wytrzymałość na ściskanie betonów (w/c = 0,45; zawartość cementu 350 kg/m³) na cemencie portlandzkim żużlowym CEM II/B-S 32,5R. Poziom wytrzymałości wczesnej betonu (po 2 dniach) na cemencie CEM II/B-M (V-W) jest wyższy niż na cemencie CEM II/B-V i CEM II/B-M (V-LL).

Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/B-M (V-W) 32,5R z powodzeniem można stosować do produkcji betonu towarowego od klasy wytrzymałościowej C 8/10 do C 30/37, wykonywania prefabrykatów drobnowymiarowych (bloczki, pustaki), produkcji elementów poddawanych obróbce cieplnej i stabilizacji gruntu w budownictwie drogowym.

Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki badań cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V-W) 32,5R pokazują, że ten rodzaj cementu charakteryzuje się właściwościami zbliżonymi do innych powszechnie stosowanych cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/B (CEM II/B-M (V-LL) 32,5R; CEM II/B-V 32,5R; CEM II/B-M (S-V)) i cementu wieloskładnikowego CEM V/A (S-V) 32,5R LH.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V-W) 32,5R zawierającego w swoim składzie mieszaninę popiołów lotnych: krzemionkowego (V) i wapiennego (W). Właściwości fizyczne i mechaniczne tego rodzaju cementu są zbliżone do właściwości cementów portlandzkich

wieloskładnikowych CEM II (CEM II/B-V, CEM II/B-M (S-V)) i cementu wieloskładnikowego CEM V/A (S-V), obecnych na rynku od wielu lat.

Abstract

The paper presents the test results of composite Portland cement CEM II/B-M (V-W) 32,5R containing the mixture of fly ashes: siliceous (V) and calcareous (W). The physical and mechanical properties of the cement are similar to the ones of composite Portland cements CEM II (CEM II/B-V, CEM II/B-M (S-V)) and the composite cement CEM V/A (S-V), all present on the market for many years.

Badania współfinansowane w ramach Projektu POIG nr POIG 01.01.02-24-005/09 „Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego”.

Literatura

- [1] PN-EN 197-1:2002 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [2] Giergiczny Z.: Rola popiołów lotnych wapiennych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.
- [3] Antiohos S., Maganari K., Tsimas S.: Evaluation of blends of high and low calcium fly ashes for use as supplementary cementing materials. Cement and Concrete Composites, 27 (2005), p. 349–356.
- [4] Dziuk D.: „Aktywność dodatków mineralnych stosowanych w produkcji cementu i betonu” – Wybrane zagadnienia z dziedziny budownictwa – badania naukowe doktorantów – Materiały konferencyjne X Konferencji Naukowej Doktorantów Wydziałów Budownictwa – Szczyrk 2009, str. 283–290.
- [5] Dziuk D., Giergiczny Z., Garbacik A.: „Aktywność popiołu lotnego wapiennego w porównaniu z innymi dodatkami mineralnymi stosowanymi w produkcji cementu” - Materiały konferencyjne „Popioły z energetyki” – Warszawa 2010, str. 43–56.
- [6] Papadakis V. G.: „Effect of fly ash on Portland cement systems Part II. Highcalcium fly ash”, Cement and Concrete Research, 30 (2000) 1647–1654.
- [7] Felekoglu B., Türkel S., Kalyoncu H.: „Optimization of fineness to maximize the strength activity of highcalcium ground fly ash – Portland cement composites”, Construction and Building Materials, 23 (2009) 2053–2061.
- [8] Tsimas S., Moutsatsou Tsima A.: „Highcalcium fly ash as the fourth constituent in concrete: problems, solutions and perspectives”, Cement & Concrete Composites, 27 (2005) 231–237.
- [9] Wei S., Handonga Y., Binggen Z.: „Analysis of mechanism on waterreducing effect of fine ground slag, highcalcium fly ash, and lowcalcium fly ash”, Cement and Concrete Research, 33 (2003) 1119–1125.
- [10.] Praca zbiorowa „Cement-Kruszywa-Beton w Ofercie Grupy Górażdże”. Chorula, 2011.