

Właściwości cementów wieloskładnikowych CEM V z dużą ilością dodatków mineralnych

Rozwój nowoczesnych technologii betonu uwzględnia w projektowaniu i wykonawstwie obiektów, i konstrukcji betonowych zalety cementów z dużą ilością dodatków mineralnych. Stosowanie dodatków mineralnych do produkcji cementu stwarza duże możliwości ograniczenia emisji CO₂. Zagadnienie to jest szczególnie ważne w przemyśle cementowym. W najbliższej przyszłości należy zakładać, obok cementów hutniczych CEM III zawierających 60-80% żużła S, zwiększoną produkcję cementów wieloskładnikowych CEM V o równie dużych ilościach dodatków mineralnych.

1. Wstęp

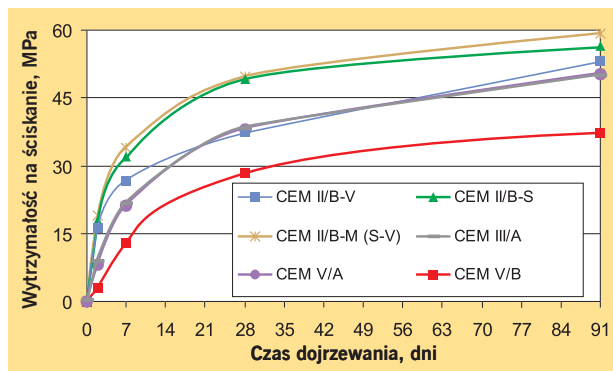
Norma cementowa PN-EN 197-1 [1] podaje zasady klasyfikacji i wymagania dla cementów powszechnego użytku, stanowiących około 98% produkcji cementu w kraju. Przedmiotem klasyfikacji w normie PN-EN 197-1 są nowe rodzaje cementów. Są to cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/M i cementy wieloskładnikowe CEM V, w których istnieje możliwość stosowania kilku dodatków mineralnych równocześnie (tablica 1).

Produkcja cementów wieloskładnikowych według PN-EN 197-1 stwarza możliwości poprawy efektywności produkcji cementu związanej z możliwością stosowania dużych ilości dodatków mineralnych oraz odpowiada wytycznym zrównoważonego rozwoju. Czynniki te powinny wyznaczać w najbliższych latach rozwój produkcji cementów wieloskładnikowych w przemyśle cementowym w Polsce. Należy również podkreślić, że zwiększenie udziału dodatków mineralnych w cemencie przyczyni się do znacznego ograniczenia emisji CO₂ w procesie jego produkcji. Czynniki te są szczególnie istotne z uwagi na przygotowania polskiego przemysłu cementowego do wdrożenia unijnych regulacji prawnych dotyczących między innymi limitów na emisję CO₂ i handlu nimi.

Produkcja cementów wieloskładnikowych jest zatem uzasadniona zarówno z ekonomicznego jak i ekologicznego punktu widzenia. Ponadto, synergistyczny efekt działania kilku dodatków mineralnych korzystnie kształtuje właściwości cementów wieloskładnikowych w porównaniu do cementów zawierających tylko jeden dodatek mineralny.

Tablica 1. Rodzaje cementów powszechnego użytku według tablicy 1 PN-EN 197-1:2002

Rodzaj cementu	Nazwa cementu	Udział dodatku mineralnego w cemencie, % masy				
		żużel wielkopopielowy S	popiół lotny V	pucolana naturalna i przemysł. P i Q	wapień L i LL	pył krzemionkowy D
CEM I	Cement portlandzki	<----- 0 - 5 ----->				
CEM II	Cement portlandzki żużlowy	6 - 35	-	-	-	-
	Cement portlandzki popielowy	-	6 - 35	-	-	-
	Cement portlandzki pucolanowy	-	-	6 - 35	-	-
	Cement portlandzki wapienny	-	-	-	6 - 35	-
	Cement portlandzki krzemionkowy	-	-	-	-	6 - 10
	Cement portlandzki wieloskładnikowy	<----- 6 - 35 ----->				
CEM III	Cement hutniczy	36 - 95	-	-	-	-
CEM IV	Cement pucolanowy	-	<-- 36 - 55 -->		-	-
CEM V	Cement wieloskładnikowy	<----- 36 - 80 ----->		-	-	-



Rys. 1. Wytrzymałość cementów wieloskładnikowych

Istotnym czynnikiem hamującym jak dotychczas rozwój produkcji cementów wieloskładnikowych jest brak doświadczeń praktycznych związanych ze stosowaniem tych cementów w technologii betonu. Dotyczy to w szczególności aspektów trwałości betonu: odporności na korozję chemiczną, odporności na działanie środków odładzających czy podatności na karbonatyzację. W niniejszym artykule przedstawiono i omówiono wyniki badań podstawowych właściwości użytkowych oraz odporności na korozję betonów wykonanych z cementów wieloskładnikowych CEM V. Wyniki tych badań wykazały jednoznacznie, że cementy wieloskładnikowe mogą być stosowane do produkcji betonów o dużej odporności na korozję.

2. Materiały zastosowane do badań

Badaniami objęto cementy wieloskładnikowe CEM V/A i CEM V/B, sklasyfikowane w normie PN-EN 197-1 [1]. Jako wzorcowe badano cementy:

- cement portlandzki CEM I
- cementy portlandzkie wieloskładnikowe: CEM II/B-V, CEM II/B-S, CEM II/B-M (S-V)
- cement hutniczy CEM III/A.

Wszystkie cementy wyprodukowano w skali półtechnicznej ze wstępnie zmielonych surowców. Cementy wykonano z klinkieru przemysłowego o przeciętnym składzie fazowym, zawierającym odpowiednio 61% C₃S i 15% C₂S oraz 9% C₃A i 8% C₄AF. Skład cementów do badań zestawiono w tablicy 2.

3. Wyniki badań i ich dyskusja

3.1. Właściwości normowe cementów wieloskładnikowych

Zbadano właściwości fizyczne cementów scharakteryzowanych w punkcie 2. Zastosowano procedury norm PN-EN 196 [2-4], oznaczając normowe cechy fizyczne: wodozadržność, czas wiązania, stałość objętości i wytrzymałość. Wyniki zebrano w tablicy 3 oraz pokazano na rysunku 1.

Wytrzymałość cementów wieloskładnikowych CEM V jest charakterystyczna dla cementów z dodatkami mineralnymi. Są to cementy wolno twardniejące, z dużym przyrostem wytrzymałości w póź-

Tablica 2. Skład cementów zastosowanych do badań

Rodzaj cementu	Składniki cementu, % masy			
	klinkier K S = 3320	popiół V S = 3060	żużel S S = 3800	gips
CEM I	95	-	-	5
CEM II/B-V	62	33	-	5
CEM II/B-S	62	-	33	5
CEM II/B-M (S-V)	62	16,5	16,5	5
CEM III/A	43	-	52	5
CEM V/A (S-V)	43	26	26	5
CEM V/B (S-V)	19	38	38	5

niejszym okresie. Należy zwrócić uwagę na efekt synergii, związany z obecnością dwóch dodatków mineralnych – popiołu V i żużla S – w cementach wieloskładnikowych CEM V i CEM II/B-M (S-V). Po długim czasie dojrzewania wytrzymałość cementu wieloskładnikowego CEM V/A przekracza wytrzymałość cementu CEM III/A. Analogicznie, wytrzymałość cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (S-V) znacznie przekracza wytrzymałość cementów CEM II/B-V i CEM II/B-S z jednym dodatkami. Cementy wieloskładnikowe CEM V wykazują właściwości mogące konkurować z parametrami cementów pucolanowych CEM IV oraz cementów hutniczych CEM III. Szczególnie cement CEM V/A wykazuje korzystne warunki wiązania oraz tempo narastania wytrzymałości.

3.2. Właściwości betonu z cementów wieloskładnikowych

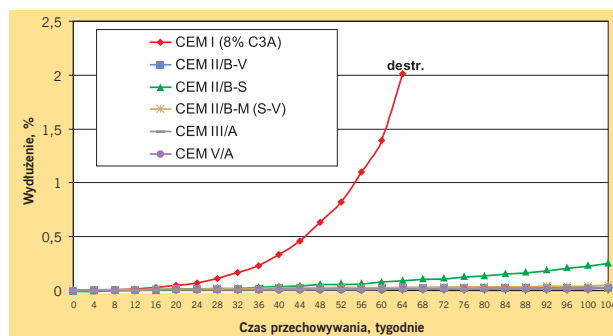
Badaniami objęto betony z cementów o składzie i właściwościach scharakteryzowanych w punktach 2 i 3.1 artykułu. Z cementów przygotowano mieszanki betonowe o tym samym składzie i przy stałym współczynniku w/c = 0,55 oraz udziale piasku i kruszywa w postaci żwirów rzecznych. Skład mieszanki kruszywowej dobrany został z uwzględnieniem zaleceń normy PN-88/B-06250 „Beton zwykły” [5]. Udział poszczególnych składników mieszanki betonowej był następujący: cement – 350 kg, piasek 0/2 mm – 610,5 kg, żwir 2/8 mm – 592,5 kg, żwir 2/16 mm – 647,5 kg, w/c = 0,55.

Mieszanki betonowe przygotowywano przez mieszanie składników betonu w mieszarce przeciwbieżnej i zagęszczanie na stoliku wibracyjnym. Wytrzymałość betonu z badanych cementów zestawiono w tablicy 4.

Właściwości badanych betonów odzwierciedlają charakterystyczne cechy cementów z dodatkami mineralnymi. Cementy portlandzkie CEM II/B kształtują umiarkowane tempo narastania wytrzymałości betonu, zapewniając wskaźnik R2/R28 w granicach 0,3-0,5. Beton z cementu wieloskładnikowego CEM V/A charakteryzuje się wolnym tempem narastania wytrzymałości i wskaźnikami R2/R28 poniżej 0,3. Przy umiarkowanym zużyciu cementu i współczynniku w/c = 0,55 klasa betonu z cementów z dodatkami mineralnymi wynosiła C25/30 lub C30/37.

Tablica 3. Właściwości badanych cementów

Rodzaj cementu	Powierzchnia właściwa, [cm ² /g]	Czas wiązania, [h min]		H ₂ O [%]	LeCh [mm]	Wytrzymałość na zginanie, [MPa] po dniach				Wytrzymałość na ściskanie, [MPa] po dniach			
		początek	koniec			2	7	28	91	2	7	28	91
CEM I	3800	2 25	3 25	27,1	1	5,6	7,1	7,4	8,2	28,4	43,1	49,0	54,1
CEM II/B-V	3540	3 35	4 55	27,2	1	3,4	5,2	7,1	9,2	16,4	26,5	37,6	53,1
CEM II/B-S	4030	2 25	3 25	26,1	0	3,6	6,2	8,7	8,4	18,0	32,1	49,1	56,5
CEM II/B-M (S-V)	4320	3 25	4 25	26,5	2	4,1	6,3	8,5	8,9	19,0	33,9	49,8	59,3
CEM III/A	4000	4 05	5 15	26,3	1	2,0	5,0	8,7	9,3	8,9	21,8	38,3	50,0
CEM V/A (S-V)	3810	4 25	5 25	26,5	2	1,9	4,8	9,0	9,6	8,1	21,1	37,9	50,1
CEM V/B (S-V)	3720	5 05	8 55	27,0	1	1,0	3,7	7,0	8,6	3,1	13,0	28,6	37,2



Rys. 2. Wydłużenie beleczek wykonanych z zapraw z cementów z dodatkiem popiołu i żużla

3.3. Trwałość betonu z cementów wieloskładnikowych

Bogate doświadczenia krajowe i zagraniczne dotyczące korozji betonów i zapraw z cementów z dodatkami mineralnymi dotyczą prawie wyłącznie cementów z pojedynczym dodatkiem [7-12]. Dlatego też podjęto badania mające na celu ocenę trwałości betonu z cementów wieloskładnikowych [13-17]. Badania dotyczyły odporności betonu przechowywanego w środowiskach korozyjnych najczęściej odpowiedzialnych za niszczenie betonu. Poniżej przedstawiono wybrane wyniki badań w tym zakresie.

3.3.1. Odporność na korozję siarczanową

Zbadano odporność na korozję siarczanową zapraw wykonanych z cementów podanych w tablicy 2, stosując metodę podaną w normie polskiej PN-B-19707 [18], opartej na projekcie normy europejskiej prENV 196-XX [19]. Metoda polega na pomiarze zmian liniowych beleczek z zaprawy cementowej przechowywanych w roztworze Na₂SO₄. Uzyskane wyniki odkształceń liniowych zapraw przedstawiono na rysunku 2.

Badania wykazały, że dodatki mineralne żużla wielkopieczowego S i popiołu krzemionkowego V wyraźnie zwiększają odporność cementu na agresję siarczanową.

3.3.2. Odporność na wodę morską

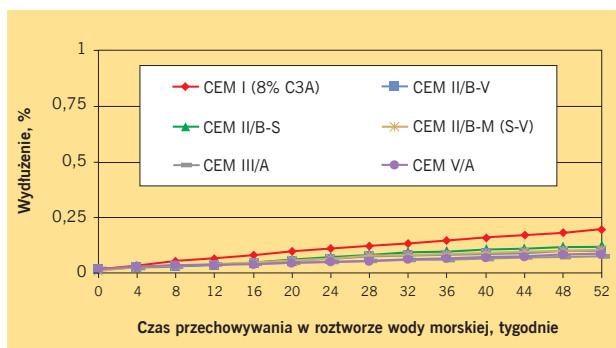
Odporność na korozję wywołaną działaniem wody morskiej zbadano metodą opisaną w projekcie normy europejskiej prENV 196-XX [19]. Metoda polega na pomiarze zmian liniowych beleczek z zaprawy cementowej przechowywanych w roztworze sztucznej wody morskiej o następującym składzie: NaCl 30,0 g, MgCl₂·6H₂O 6,0 g, MgSO₄·7H₂O 5,0 g, CaSO₄·2H₂O 1,5 g, KHCO₃ 0,2 g, woda 1000 ml. Uzyskane wyniki odkształceń liniowych zapraw przedstawiono na rysunku 3.

Brak w normie prENV 196-XX kryterium trwałości w przypadku cementów odpornych na działanie wody morskiej utrudnia jednoznaczną ocenę cementów. Dotychczasowe badania zapraw cementowych przechowywanych w wodzie morskiej [17] wykazały jednakże, że ocena powinna opierać się na pomiarach wytrzymałości. Oznaczono zatem wytrzymałość na ściskanie za-

Tablica 4. Wytrzymałość betonu z cementów wieloskładnikowych

Rodzaj cementu	Wytrzymałość na ściskanie, [MPa] po dniach			Klasa betonu*	Narastanie wytrzymałości*
	2	28	91		
CEM I	23,6	46,4	51,6	C 35/45	szybkie (R2/R28 ≥ 0,5)
CEM II/B-V	11,7	32,2	43,5	C 25/30	umiarkowane (R2/R28=0,3-0,5)
CEM II/B-S	14,5	40,3	45,8	C 30/37	
CEM II/B-M (S-V)	16,4	40,3	47,2	C 30/37	
CEM V/A	7,2	32,5	37,6	C 25/30	wolne (R2/R28=0,15-0,3)

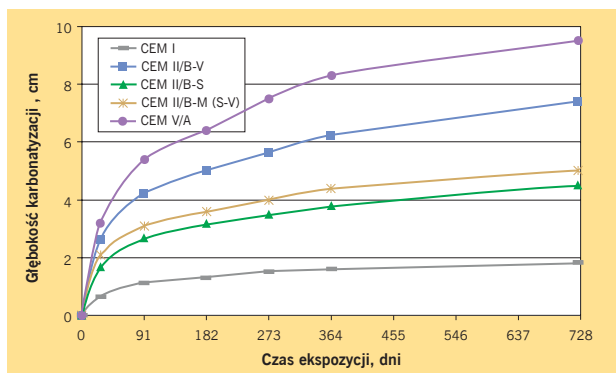
*Określono na podstawie normy PN-EN 206-1 [6].



Rys. 3. Wydużenie beleczek z zapraw cementowych przechowywanych w wodzie morskiej

praw po roku przechowywania w wodzie morskiej oraz zapraw kontrolnych, przechowywanych w wodzie destylowanej. Wyniki badań zestawiono w tablicy 5.

Jak wykazały wyniki oznaczeń zmian liniowych i wytrzymałości zapraw przechowywanych w wodzie morskiej w temperaturze 20°C, dużą odporność na korozję mają zaprawy z cementów zawierających bardzo duże ilości dodatków mineralnych żużla i popiołu, tj. cementu hutniczego CEM III/A i cementu wieloskładnikowego



Rys. 4. Karbonatyzacja betonów wykonanych z cementów z dodatkami żużla i popiołu, w/c betonu = 0,55

Tablica 5. Właściwości zapraw przechowywanych w wodzie morskiej o temperaturze 20°C

Zaprawa z cementu	Wydużenie [%]	Wytrzymałość na ściskanie po pierwszym roku		
		w wodzie [MPa]	w wodzie morskiej [MPa]	stosunek wytrzymałości na ściskanie (woda morska/H ₂ O) [%]
CEM I (8% C3A)	0,180	73,8	48,7	66,0
CEM II/B-V	0,081	74,6	54,2	72,7
CEM II/B-S	0,110	75,3	51,8	68,8
CEM II/B-M (S-V)	0,088	75,4	52,8	70,0
CEM III/A	0,058	66,8	54,8	82,0
CEM V/A	0,069	68,6	57,3	83,5

CEM V/A. Zaprawy te wykazują małe zmiany liniowe oraz dużą wytrzymałość względną, przekraczającą 80% (tabl. 5). Wytrzymałość względną pozostałych zapraw była znacznie mniejsza.

3.3.3. Podatność na karbonatyzację

Pomiary karbonatyzacji betonów wykonanych z cementów wymienionych w tablicy 2 wykonano w oparciu o metodę podaną w projekcie normy europejskiej [20]. Metoda opiera się na wytycznych RILEM CPC 18 [21], gdzie do oceny podatności betonu na karbonatyzację przyjmuje się głębokość karbonatyzacji mierzoną na przełamie kostek betonowych o wymiarach 10x10x50 cm. Głębokość skarbonatyzowanej warstwy określa się za pomocą wskaźnika fenoloftaleinowego. Badania podatności na karbonatyzację rozpoczynano, gdy beton uzyskiwał wytrzymałość 15±1 MPa. Do tego czasu belki betonowe dojrzewały w warunkach wilgotnych (RH>90%) i były izolowane przed dostępem CO₂. Do badań przygotowano mieszanki o konsystencji plastycznej o różnym współczynniku wodno-cementowym; w/c = 0,55 i w/c = 0,44. Obniżenie stosunku wodno-cementowego przy zachowaniu zbliżonej konsystencji mieszanki betonowej uzyskano poprzez zastosowanie dobranej ilości domieszki superplastyfikatora formaldehydowo-melaminowego. Zmiany stosunku wodno-cementowego mogą istotnie wpływać na proces karbonatyzacji i są uwzględniane w normie PN-EN 206-1 [6] jako czynnik ochrony strukturalnej betonu. Badane betony były poddawane cyklem ekspozycji w warunkach atmosfery powietrzno-suchej przy RH = 65±5% i o stężeniu CO₂ = 0,03-0,035 mol z okresowym zanurzaniem próbek w wodzie.

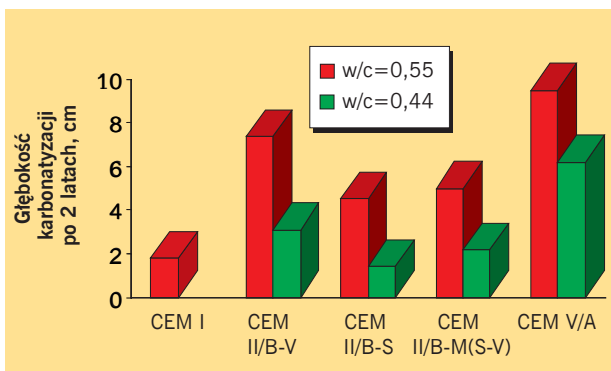
Wyniki pomiarów głębokości karbonatyzacji betonu o w/c = 0,55 przedstawiono na rysunku 4. Zestawiono głębokość karbonatyzacji warstw powierzchniowych betonu zmierzoną w ustalonych odstępach czasu, do 2 lat.

Z charakterystyk pokazanych na rysunku 4 wynika wyraźna zależność zwiększonej podatności na karbonatyzację betonu ze wzrostem ilości dodatków mineralnych w cemencie. Najmniejszą karbonatyzację wykazuje beton z cementu CEM I bez dodatków. Beton z cementu CEM V/A, zawierający 52% popiołu i żużla wykazuje natomiast największą ze wszystkich badanych betonów głębokość karbonatyzacji, która wynosiła ponad 9 mm po 2 latach ekspozycji. Podane wyżej zależności dotyczą betonu o w/c = 0,55. Obniżenie współczynnika wodno-cementowego betonu bardzo efektywnie wpływa na zmniejszenie głębokości karbonatyzacji warstw powierzchniowych betonu. Badane betony o w/c = 0,44 wykonane z cementów zawierających dodatki żużla i/lub popiołu wykazują znacznie mniejsze wartości karbonatyzacji w porównaniu do betonów o w/c = 0,55 (rys. 5). Szczególnie korzystne wyniki uzyskano dla betonów wykonanych z cementu portlandzkiego CEM II/B-S. Obniżenie współczynnika wodno-cementowego gwarantuje stopień karbonatyzacji betonu z cementu żużlowego porównywalny z cementem portlandzkim CEM I (rys. 4). Nieduże wartości karbonatyzacji wykazują również betony o w/c = 0,44 wykonane z cementów CEM II/B-V i CEM II/B-M (S-V) (rys. 5).

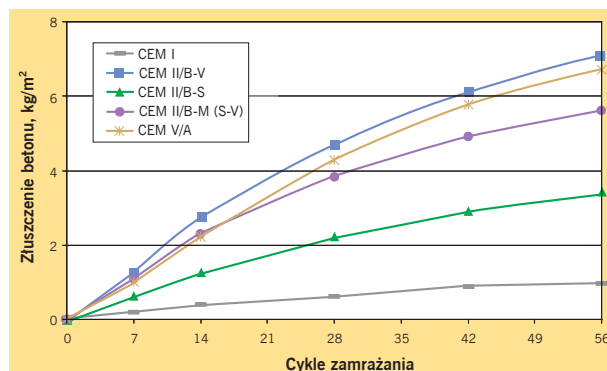
Wyniki badań zestawione na rysunkach 4 i 5 potwierdzają możliwość efektywnej stymulacji procesu karbonatyzacji betonu poprzez modyfikację szczelności struktury w wyniku obniżenia współczynnika wodno-cementowego. Rozwiązanie to, uwzględniane w wytycznych normy PN-EN 206-1 [6], jest bardzo efektywne dla cementów z dodatkami mineralnymi. W porównaniu do cementu CEM I, są to cementy wolno twardniejące, co za tym idzie kształtujące szczelną strukturę stwardniałego betonu po dłuższym czasie dojrzewania. Dlatego też, pomimo tej samej wytrzymałości betonów poddanych oddziaływaniu CO₂, karbonatyzacja betonów wykonanych z cementów z dodatkami mineralnymi jest zdecydowanie wyższa.

3.3.4. Odporność na działanie środków odladzających

Korozyjne działanie mrozu na beton zostało ujęte w normie betonowej PN-EN 206-1 [6] jako jedna z sześciu podstawowych



Rys. 5. Wpływ w/c na głębokość karbonatyzacji betonu po dwóch latach przechowywania w laboratorium



Rys. 6. Ubytek masy próbek betonów po różnych cyklach zamrażania w roztworze NaCl

klas ekspozycji. Proces niszczenia betonu uwzględniany jest w projektowaniu składu betonu poprzez ustalenie wymagań co do minimalnej zawartości cementu i klasy betonu oraz poprzez ograniczenie współczynnika wodno-cementowego. Uwzględniono ponadto napowietrzenie betonu oraz stosowanie kruszyw odpornych na działanie mrozu. Równocześnie rozróżniono oddziaływanie mrozu przy braku środków odładzających (klasa ekspozycji XF1, XF3) i w ich obecności (XF2, XF4).

Wspomniana norma nie zajmuje się jednakże doбором rodzaju cementu, co może mieć znaczny wpływ na trwałość betonu, szczególnie w przypadku stosowania środków odładzających. Potwierdza to literatura przedmiotu [8, 11, 15]. Wyniki badania odporności na działanie środków odładzających [15] wskazują na dużą odporność betonów wykonanych z cementu portlandzkiego CEM I. Przedmiotem licznych badań i dyskusji jest natomiast trwałość betonów wykonanych z cementów z dodatkami mineralnymi. Należy podkreślić brak doświadczeń ze stosowaniem cementów wieloskładnikowych do produkcji konstrukcji i obiektów betonowych narażonych na działanie soli odładzających.

Pomiary odporności betonów na działanie środków odładzających wykonano metodą podaną w projekcie europejskiej prEN 12390-9 [22]. Metoda opiera się na normie szwedzkiej: SS 13 72 44 [23], w której do oceny odporności betonu na zamrażanie i rozmrażanie w 3% roztworze NaCl przyjmuje się masę złuszczonego materiału po 56 cyklach. W świetle klasyfikacji środowisk agresywnych podanych w normie PN-EN 206-1 [6] badane betony podane zostały korozijnemu działaniu środowiska agresywnego XF4. Badania trwałości przeprowadzono na próbkach betonów o składzie podanym w punkcie 3.2, zmieniając współczynnik wodno-cementowy, czas dojrzewania i stosując środki napowietrzające. Badania takie wykonano dla betonów z cementów zawierających dodatki żużla i/lub popiołu, wymienionych w tabelicy 2. Przygotowano następujące próbki betonów: o w/c = 0,55; o w/c = 0,44, o w/c = 0,44 napowietrzony. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

Badania betonów o w/c = 0,55 wykazały, że najlepszą odporność na zamrażanie i działanie 3-procentowego roztworu NaCl wykazał beton z cementu CEM I i jako jedyny spełnił kryterium mrozoodporności wg normy SS 13 72 44 [23], tj. masa złuszczeń po 56 cyklach poniżej 1,0 kg/m² powierzchni betonu. Wszystkie pozostałe betony wykazały niedostateczną mrozoodporność i kilkukrotnie wyższe masy złuszczonego materiału. Obniżenie współczynnika wodno-cementowego betonu bardzo efektywnie wpływa na zmniejszenie wartości złuszczeń warstw powierzchniowych betonu (rys. 7).

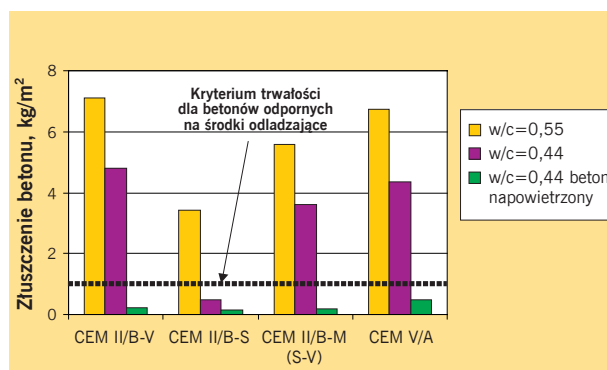
Wyniki badań betonów nienapowietrzonych z mniejszym w/c = 0,44 wykazały, że zmniejszenie ilości wody w mieszance betonowej bardzo korzystnie wpływa na poprawę odporności betonów na działanie środków odładzających (rys. 7). Szczególnie korzystne wyniki uzyskano w przypadku próbek z cementu portlandzkiego żużlowego CEM II/B-S. Pomimo wyraźnego zmniejszenia ubytku



masy pod działaniem środków odładzających, pozostałe próbki betonów z tej serii wykazały niedostateczną odporność na środki odładzające. Wyniki badań próbek betonów napowietrzonych o w/c = 0,44 wykazały, że betony te, niezależnie od rodzaju zastosowanego cementu, posiadają dużą odporność na środki odładzające (rys. 7). Takie wyniki potwierdzają słuszność założeń normy PN-EN 206-1, według której projektowanie konstrukcji i obiektów betonowych narażonych na działanie środków odładzających zakłada stosowanie betonów napowietrzonych i o obniżonym w/c.

4. Wnioski

- 1 Cementy wieloskładnikowe CEM V, zawierające 36-80% dodatku żużla i pucolany, wykazują korzystne właściwości mogące konkurować z parametrami cementów pucolanowych CEM IV oraz cementów hutniczych CEM III.
- 2 Właściwości betonów z cementów wieloskładnikowych CEM V odzwierciedlają charakterystyczne cechy tych cementów. Betony z tych cementów wykazują wolne tempo narastania wytrzymałości w początkowym okresie twardnienia i duży przyrost wytrzymałości w późniejszym okresie.



Rys. 7. Wpływ w/c betonu i środków napowietrzających na jego odporność na działanie soli odładzających



foto: Archiwum

- 3 Zaprawy z cementów wieloskładnikowych wykazują bardzo dużą odporność na korozję chemiczną wywołaną działaniem siarczanów oraz wody morskiej.
- 4 Betony wykonane z cementów z dodatkami popiołu i żużla są bardziej podatne na karbonatyzację. Głębokość karbonatyzacji betonu wykonanego z cementów zawierających te dodatki jest kilkakrotnie większa od betonu wykonanego z cementu portlandzkiego CEM I bez dodatków. Wzmoczoną odporność na karbonatyzację betonów wykonanych z cementów z dodatkami mineralnymi można jednakże uzyskać poprzez obniżenie współczynnika wodno-cementowego i uszczelnienie struktury stwardniałego betonu.
- 5 Betony z cementów portlandzkich CEM I wykazują najlepszą odporność na działanie środków odladzających. Obniżenie współczynnika wodno-cementowego betonu z równoczesnym stosowaniem domieszek napowietrzających pozwala na uzyskanie betonów o dużej odporności na sole odladzające także w przypadku betonów wykonanych z cementów z dodatkami mineralnymi. Takie wyniki uzyskano również dla betonu z cementu wieloskładnikowego CEM V/A, zawierającego 52% dodatków popiołu i żużla.

dr inż. Sławomir Chłędziński
dr inż. Albin Garbaciak

Instytut Mineralnych Materiałów Budowlanych, O/Kraków

Literatura

- 1 PN-EN 197-1:2002 Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria dotyczące cementów powszechnego użytku
- 2 PN-EN 196-1:1996 Metody badań cementu – oznaczanie wytrzymałości
- 3 PN-EN 196-3:1996 Metody badań cementu – oznaczanie czasu wiązania i stałości objętości
- 4 PN-EN 196-6:1997 Metody badań cementu – oznaczanie stopnia zmielenia
- 5 PN-B-04500:1985 Beton zwykły
- 6 PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 7 J. Calleja, 7th ICCB Paryż, t. I, s. VII-2/1, Paryż 1980
- 8 G. Fagerlund, Trwałość konstrukcji betonowych, Arkady, Warszawa 1997
- 9 P.K. Mehta, Concrete in the marine environment, Elsevier Sc. Publishing, 1991
- 10 W. Kurdowski, Chemia cementu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991
- 11 Z. Rusin, Technologia betonów mrozoodpornych, Polski Cement, Kraków 2002
- 12 M. Gruener, Korozja i ochrona betonu, Arkady, Warszawa 1983
- 13 S. Peukert, A. Garbaciak, S. Chłędziński, Właściwości i trwałość betonu a nowe rodzaje cementów, Konferencja „Dni Betonu”, s. 281-294, Szczyrk 8-10.10.2002
- 14 A. Garbaciak, S. Chłędziński, Badania trwałości betonu w świetle procedur europejskich CEN. Ochrona przed korozją, nr 6/2003, s. 155-159
- 15 S. Chłędziński, Odporność betonów z cementów z dodatkami mineralnymi na zamrażanie w obecności 3% roztworu NaCl, „Cem.-Wap.-Bet.”, nr 1/2005, s. 33-42
- 16 S. Chłędziński, Wpływ obniżonej temperatury na odporność zapraw z cementów z dodatkami mineralnymi na korozję siarczanową, „Cem.-Wap.-Bet.”, nr 4/2005, s. 204-214
- 17 S. Chłędziński, Wpływ obniżonej temperatury na odporność zapraw z cementów z dodatkami mineralnymi na działanie wody morskiej, „Cem.-Wap.-Bet.”, nr 5/2005, s. 283-294
- 18 PN-B-19707:2003 Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i ocena zgodności
- 19 prENV 196-XX:1995 Determination of the resistance of cements to attack by sulphate solution or by sea water
- 20 CEN Method for determination of the relative carbonation performance of a test concrete against one of established carbonation performance. Original draft dated 26.06.1995. Modified by University of Dundee, 18.12.1998, CEN/TC 51/WG 12, Document N 101.
- 21 RILEM CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation depth, Draft Recommendation (1984)
- 22 prENV 12390-9 Testing hardened concrete. Part 9: Freeze-thaw resistance. Scaling
- 23 Svensk Standard SS 13 72 44 Concrete testing. Hardened concrete. Frost resistance



foto: Michał Braszczylecki