

Cement z dodatkiem granulowanego żuźla wielkopieczowego składnikiem betonu mrozoodpornego

Wprowadzenie

Obowiązująca norma betonowa PN-EN 206-1:2003 [1] określa wymagania dla betonu narażonego na korozję poprzez cykliczne zamrażanie i rozmrażanie (tabela 1). Norma nie podaje natomiast, jaki rodzaj cementu należy stosować przy tego typu korozji, aby otrzymać beton trwały. Zalecenia dotyczące zakresu stosowania poszczególnych cementów (CEM I – CEM V) podano w krajowym uzupełnieniu do normy PN-EN 206-1 [2]. Według zapisów tej normy, jak i doświadczeń praktycznych, przy wykonywaniu betonów mrozoodpornych można stosować m.in. cement portlandzki CEM I, cement portlandzki żuźlowy CEM II/A,B-S oraz cement hutniczy CEM III/A, B (przy pewnych ograniczeniach) (tabela 2).

Ogólnie przyjęty jest pogląd, że właściwe napowietrzenie betonu jest czynnikiem znacznie poprawiającym odporność betonu na działanie mrozu, zwłaszcza przy stosowaniu środków odładzających [4,7]. Natomiast jeśli nie stosujemy napowietrzania betonu, to zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003, zaleca się badanie jego właściwości użytkowych (mrozoodporności) odpowiednią metodą, porównując z betonem, którego odporność na zamrażanie/rozmrażanie w danej klasie ekspozycji jest potwierdzona. W warunkach krajowych najczęściej w dokumentacjach technicznych można spotkać zalecenia wskazujące na badanie mrozoodporności tzw. metodą zwykłą, opisaną w nieobowiązującej już normie PN-88/B-06250 [3].

W prezentowanej pracy autorzy przeanalizowali problematykę interpretacji wyników badań mrozoodporności wg normy PN-88/B-06250 przy stosowaniu do wykonania betonu cementu hutniczego

CEM III/A 32,5N-NA/HSR/LH z wysoką zawartością granulowanego żuźla wielkopieczowego. Cement ten charakteryzuje się dużym przyrostem wytrzymałości w dłuższych okresach twardnienia, co jest bardzo istotne przy interpretacji wyników badań mrozoodporności [5,6].

Właściwości cementów z dodatkiem granulowanego żuźla wielkopieczowego a metodyka badania mrozoodporności betonu metodą zwykłą według PN-88/B-06250

W metodzie zwykłej badania mrozoodporności według PN-88/B-06250 beton osiąga dany stopień mrozoodporności, jeżeli po wymaganej liczbie cykli zamrażania i rozmrażania (zazwyczaj F150 lub F200) spełnione są następujące warunki:

- spadek wytrzymałości na ściskanie jest mniejszy od 20% (spadek wytrzymałości na ściskanie próbek zamrażanych w stosunku do wytrzymałości próbek niezamrażanych – „świadków”). Procedura badawcza określa, że próbki-świadki przechowywane są w wodzie w temperaturze $+18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, przez ten sam okres, w którym badane próbki poddawane są cyklem zamrażania i rozmrażania. W efekcie obserwuje się ciągły przyrost wytrzymałości świadków, podczas gdy w próbkach zamrażanych ten proces zostaje spowolniony lub zahamowany [4]
- ubytek masy próbek poddanych cyklem zamrażania i odmrażania nie przekracza 5%
- próbki nie wykazują pęknięć.

W przypadku betonów wykonanych z użyciem cementów z dodatkiem granulowanego żuźla wielkopieczowego wyznaczenie spadku wytrzymałości zamrażanych próbek w porównaniu do próbek-świadków nie pozwala w pełni i obiektywnie ocenić rzeczywistej mrozoodporności betonu. Ogólnie znaną cechą charakterystyczną cementów z dodatkami mineralnymi (CEM II – CEM V) jest wolny i umiarkowany przyrost wytrzymałości zapraw (betonów) w okresie wczesnym [6]. Szczególnie jest to widoczne w przypadku stosowania cementu

Tabela 1. Korozja poprzez zamrażanie/rozmrażanie; klasa ekspozycji XF¹⁾ – wymagania dla betonu wg PN-EN 206-1 [1]

Oznaczenie klasy ekspozycji	Opis środowiska Przykłady występowania klas ekspozycji	Wartości graniczne dla betonu			
		Maks. w/c	Min. zawartość cementu, kg	Min. klasa betonu	Min. zawartość powietrza, %
XF1	Umiarkowane nasycenie wodą Pionowe powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie	0,55	300	C30/37	-
XF2	Umiarkowane nasycenie wodą ze środkami odładzającymi Pionowe powierzchnie betonowe konstrukcji drogowych i mostowych narażone na zamarzanie i działanie środków odładzających z powietrza	0,55	300	C25/30	4,0
XF3	Silne nasycenie wodą bez środków odładzających Poziome powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie	0,50	320	C30/37	4,0
XF4	Silne nasycenie wodą ze środkami odładzającymi Jezdnie dróg i mostów narażone na działanie środków odładzających Strefy rozbryzgu w budowlach morskich narażone na zamarzanie	0,45	340	C30/37	4,0

¹⁾ dla klas ekspozycji XF należy stosować kruszywo zgodne z PN-EN 12620:2004 o odpowiedniej odporności na zamrażanie/rozmrażanie

Tabela 2. Zakres stosowania cementów z dodatkiem granulowanego żuźla wielkopieczowego do produkcji betonu w klasie ekspozycji XF (x – akceptowany zakres stosowania) [2]

Rodzaj cementu	XF1	XF2	XF3	XF4
CEM I	x	x	X	X
CEM II/A,B-S	x	x	X	X
CEM III/A,B	x	X	X	x ¹⁾
	x	X	X	x ²⁾

¹⁾ Klasa wytrzymałości $\geq 42,5$ lub klasa wytrzymałości $\geq 32,5\text{R}$ z udziałem granulowanego żuźla wielkopieczowego w ilości $\leq 50\%$ (masowo).
²⁾ Dopuszcza się stosowanie CEM III/B wyłącznie w przypadku:
 • elementów konstrukcji budowlanych w wodzie morskiej, jeśli: $w/c \leq 0,45$; minimalna klasa wytrzymałości C35/45 i zawartość cementu $\geq 340 \text{ kg/m}^3$;
 • trasy najazdu sprzętu mobilnego, jeśli: $w/c \leq 0,35$; minimalna klasa wytrzymałości C40/50 i zawartość cementu $\geq 360 \text{ kg/m}^3$

hutniczego CEM III z wysoką zawartością granulowanego żużla wielkopieczowego. Stopień hydratacji cementu hutniczego CEM III w okresie normowym (28 dni) jest znacznie niższy w porównaniu z cementem portlandzkiego CEM I (tabela 3) [5]. Z zamieszczonych w tabeli 3 danych widać, że pomimo różnicy w stopniu hydratacji cement portlandzki CEM I i hutniczy CEM III charakteryzują się podobną wytrzymałością na ściskanie po 28 dniach twardnienia.

Proces twardnienia cementu hutniczego CEM III jest dłuższy w porównaniu do cementu portlandzkiego CEM I, co skutkuje wyższym przyrostem wytrzymałości w dłuższym czasie oraz pozytywnymi zmianami w strukturze i teksturze betonu [6]. Potwierdzenie tego faktu uzyskano w zrealizowanych badaniach w Laboratorium Materiałów Budowlanych Górażdże Cement SA w Strzelcach Opolskich.

Badania przeprowadzono dla betonu nienapowietrzonego i napowietrzonego, do przygotowania którego zastosowano cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA (zawartość granulowanego żużla wielkopieczowego ok. 62%) oraz cement portlandzki CEM I 32,5R jako spoiwo porównawcze. Skład mieszanek betonowych przedstawiał się następująco:

- **beton bez napowietrzenia:**
 - ♦ cement (CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA; CEM I 32,5R): 350 kg
 - ♦ kruszywo 0/16 mm (piasek 0/2 mm; żwir 2/8 mm i 8/16 mm): 1896 kg
 - ♦ woda: 168 l
 - ♦ w/c = 0,48
 - ♦ superplastyfikator: 1,10 – 1,75 kg (ilość zależna od rodzaju cementu)
- **beton napowietrzony** – cement, kruszywo i woda jak w recepturze na beton nienapowietrzony oraz:
 - ♦ superplastyfikator: 0,70 – 1,50 kg (ilość zależna od rodzaju cementu)
 - ♦ domieszka napowietrzająca: 0,20 – 0,25 kg.

Właściwości zaprojektowanych mieszanek betonowych pokazano w tabeli 4.

Badania mrozoodporności wykonano dla stopnia mrozoodporności F150. Proces badawczy rozpoczynało po upływie 28 dni (jest to najczęściej wskazywany termin rozpoczęcia badań w dokumentacjach projektowych) oraz po 56 i 90 dniach. Wyniki podano w tabeli 5 (beton nienapowietrzony) i tabeli 6 (beton napowietrzony).

Omówienie wyników badań

Przeprowadzone badania mrozoodporności metodą zwykłą wg PN-88/B-06250 wykazały, że zarówno betony napowietrzony (tabela 6) jak i nienapowietrzony (tabela 5), wykonane przy użyciu cementu portlandzkiego CEM I 32,5R i cementu hutniczego CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA, spełniły wymagania dla stopnia mrozoodporności F150.

Korzystniejsze rezultaty osiągnięto dla betonów napowietrzonych. Spadki wytrzymałości były znacznie mniejsze, zwłaszcza kiedy badaniom poddano próbki po 28 dniach twardnienia. Także ubytek masy dla próbek napowietrzanych był mniejszy w stosunku do ubytku masy próbek betonu nienapowietrzanego (tabela 5 i 6). Należy jednak

Tabela 3. Stopień hydratacji i rozwój wytrzymałości cementu portlandzkiego CEM I i cementów hutniczych CEM III [5]

Rodzaj i klasa cementu	Zawartość granulowanego żużla wielkopieczowego, % m.c.	Stopień hydratacji (H) i rozwój wytrzymałości cementu w MPa, po upływie					
		2 dni		7 dni		28 dni	
		H, %	MPa	H, %	MPa	H, %	MPa
CEM I 32,5R	-	61	23	80	42	91	50
CEM I 42,5R	-	71	28	82	43	93	53
CEM III/A 42,5N	45	39	19	56	35	69	55
CEM III/A 32,5N	55	36	10	49	29	60	50
CEM III/B 32,5N	75	21	8	33	27	39	46

Tabela 4. Właściwości mieszanek betonowych

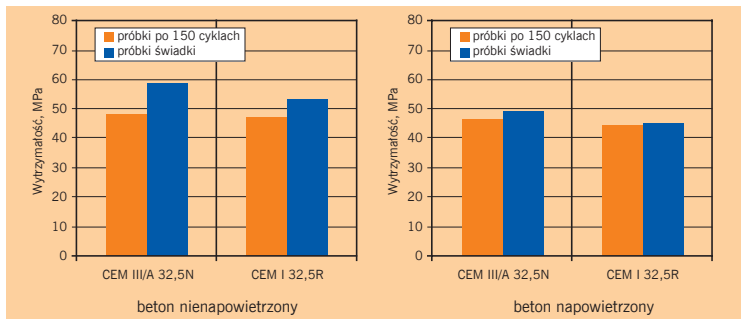
Rodzaj betonu	Właściwość	Wynik badania	
		CEM I 32,5R	CEM III/A 32,5N
Beton nienapowietrzony	opad stożka	120 mm	120 mm
	rozpływ	410 mm	430 mm
	zawartość powietrza	1,8 %	1,9 %
Beton napowietrzony	opad stożka	130 mm	130 mm
	rozpływ	430 mm	440 mm
	zawartość powietrza	5,5 %	6,0 %

Tabela 5. Beton bez napowietrzenia – wyniki badań mrozoodporności

Właściwość		CEM III/A 32,5N -LH-HSR/NA			CEM I 32,5R		
		28 dni	56 dni	90 dni	28 dni	56 dni	90 dni
Wytrzymałość na ściskanie $f_{cm, cube}$, MPa	próbek przed badaniem mrozoodporności	52,5	58,6	59,8	52,3	54,2	55,7
	próbek po 150 cyklach zamrażania/rozmarzania	48,6	54,6	59,5	47,5	50,1	53,6
	próbek-świadków	59,2	63,3	64,3	53,5	56,6	57,1
Spadek wytrzymałości próbek po 150 cyklach w stosunku do wytrzymałości świadków, %		17,9	13,7	7,3	11,2	11,5	6,1
Ubytek masy próbek po 150 cyklach, %		0,4	0,4	0,2	0,5	0,3	0,3

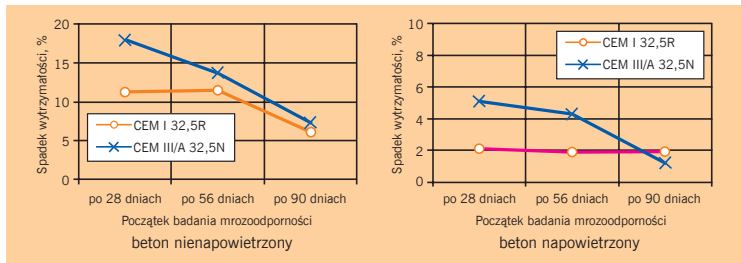
Tabela 6. Beton napowietrzony – wyniki badań mrozoodporności

Właściwość		CEM III/A 32,5N -LH-HSR/NA			CEM I 32,5R		
		28 dni	56 dni	90 dni	28 dni	56 dni	90 dni
Wytrzymałość na ściskanie $f_{cm, cube}$, MPa	próbek przed badaniem mrozoodporności	44,6	50,1	52,5	45,2	44,9	44,7
	próbek po 150 cyklach zamrażania/rozmarzania	46,5	50,5	54,6	43,9	44,5	45,8
	próbek-świadków	49,0	52,8	55,3	45,9	45,4	46,7
Spadek wytrzymałości próbek po 150 cyklach w stosunku do wytrzymałości świadków, %		5,1	4,3	1,2	2,1	1,9	1,9
Ubytek masy próbek po 150 cyklach, %		0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0



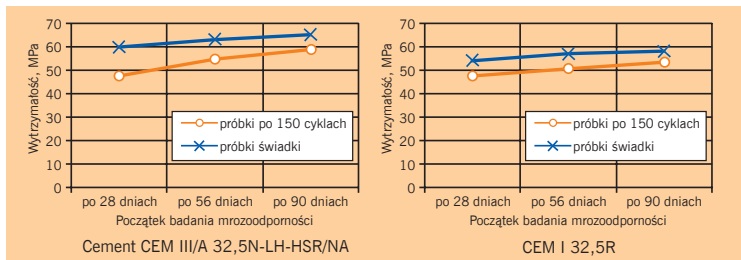
Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie próbek po 150 cyklach zamrażania/rozmarzania i próbek-świadków – początek badania mrozoodporności po 28 dniach

zauważyć, że poziom wytrzymałości na ściskanie betonu na cemencie hutniczym CEM III po badaniu mrozoodporności jest porównywalny lub wyższy niż betonu na cemencie portlandzkim CEM I, pomimo że spadki wytrzymałości w stosunku do świadków są znacznie wyższe. Szczególnie jest to



Rys. 2. Wpływ okresu dojrzewania na spadek wytrzymałości próbek po 150 cyklach zamrażania/rozmarzania w stosunku do świadków

widoczne dla próbek poddanych korozji mrozowej po 28 dniach twardnienia (rys. 1 i 2). Rozpoczęcie procedury badania mrozoodporności po dłuższych okresach dojrzewania betonu (56, 90 dni) daje niższe spadki wytrzymałości próbek zamrażanych, szczególnie dla cementu hut-



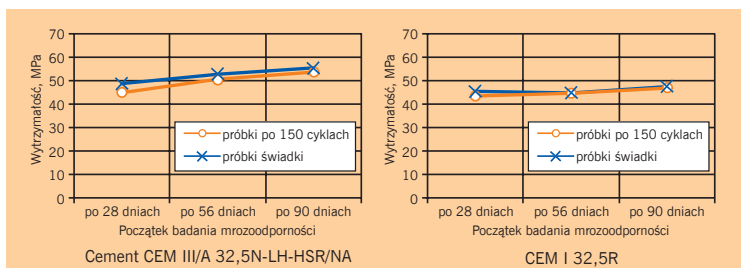
Rys. 3. Wpływ okresu dojrzewania na wytrzymałość na ściskanie próbek po 150 cyklach zamrażania/rozmarzania i próbek-świadków – beton nienapowietrzony

niczego CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA, w stosunku do świadków (rys. 2). W przypadku betonu na cemencie hutniczym CEM III/A obserwowany jest ciągły przyrost wytrzymałości w długich okresach twardnienia, który jest znacznie większy niż dla cementu portlandzkiego CEM I (rys. 3 i 4).

Rys. 4. Wpływ okresu dojrzewania na wytrzymałość na ściskanie próbek po 150 cyklach zamrażania/rozmarzania i próbek-świadków – beton napowietrzony

Podsumowanie

Badanie mrozoodporności betonu metodą zwykłą według normy PN-88/B-06250 nie w pełni pozwala określić odporność betonu na działanie



mrozu w przypadku stosowania cementów z dodatkami granulowanego żużla wielkopiecowego, w szczególności cementu hutniczego CEM III z wysoką zawartością granulowanego żużla wielkopiecowego. W praktyce niewłaściwa interpretacja uzyskanych wyników badań mrozoodporności „metodą zwykłą” jest często przyczyną nieporozumień pomiędzy dostawcą betonu a inwestorem i nadzorem budowlanym. Charakterystyczne dla cementów CEM II i CEM III wysokie przyrosty wytrzymałości próbek-świadków w dłuższym okresie twardnienia i wynikające z tego duże spadki wytrzymałości próbek zamrażanych w stosunku do świadków mogą w skrajnych przypadkach powodować dyskwalifikację betonu, pomimo że po badaniu mrozoodporności posiada on projektowaną klasę wytrzymałości.

Zdaniem autorów, jeżeli poziom wytrzymałości na ściskanie betonu na cementach z dodatkiem granulowanego żużla wielkopiecowego (CEM II, CEM III) po badaniu mrozoodporności pozwala zakwalifikować beton do projektowanej klasy wytrzymałości, to można uznać go za mrozoodporny. Oczywiście pod warunkiem, że na badanych próbkach nie ma spękań, a ubytek masy jest zgodny z wymaganiami normy.

W celu uniknięcia opisanych problemów można w dokumentacji projektowej wprowadzić zapis pozwalający rozpocząć badanie mrozoodporności po 56 lub 90 dniach dojrzewania betonu. Umieszczenie takiego terminu badania w dokumentacji technicznej pozwoli z jednej strony w bardziej obiektywny sposób oddać właściwości betonów wykonanych z użyciem cementów CEM II i CEM III, a z drugiej strony pozwoli na uniknięcie dyskusji związanych z interpretacją wyników mrozoodporności.

Przeprowadzone badania jednoznacznie wykazały pozytywny wpływ właściwego napowietrzenia betonu na jego odporność na działanie mrozu. Dlatego napowietrzenie betonu powinno być szeroko stosowanym zabiegiem przy wykonywaniu obiektów budowlanych narażonych na działanie mrozu. Przy stosowaniu napowietrzenia należy liczyć się ze spadkiem wytrzymałości na ściskanie (rys. 1), co powinno być uwzględnione przy opracowywaniu receptur betonu określonej klasy wytrzymałościowej.

dr hab. inż. Zbigniew Giergiczny
Górażdże Cement SA, Politechnika Opolska
mgr inż. Marcin Sokolowski
Górażdże CEMENT SA

Literatura

- 1 PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 2 PN-B-6265:2004 Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003
- 3 PN-88/B-06250 Beton zwykły
- 4 Z. Rusin, Technologia betonów mrozoodpornych, Polski Cement, Kraków 2002
- 5 K. Rendchen, Hüttensandhaltiger Zement, Verlag Bau + Technik, Düsseldorf 2002
- 6 Z. Giergiczny, J. Małolepszy, J. Szwabowski, J. Śliwiński, Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji, Wydawnictwo Instytut Śląski w Opolu, Opole 2002
- 7 G. Fagerlund, Trwałość konstrukcji betonowych, Arkady, Warszawa 1997