

Wpływ napowietrzenia na odporność mrozową betonów zawierających popiół lotny wapienny

Dr hab. inż., prof. PŚI, Zbigniew Giergiczny, mgr inż Katarzyna Synowiec,
Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych, Politechnika Śląska, Gliwice

1. Wprowadzenie

Trwałość kompozytów cementowych w określonych warunkach środowiskowych jest głównym kryterium oceny ich jakości. Miarą trwałości w naszych warunkach klimatycznych jest m.in. odporność betonu na działanie mrozu. Odporność betonu na działanie niskich temperatur jest szczególnie ważna w stanie nasycenia wodą oraz w obecności środków odladzających [1, 2].

Mrozoodporność betonu jest uzależniona od wielu czynników materiałowych i technologicznych. Brak jest jednak jednoznacznej relacji pomiędzy zawartością popiołu lotnego w składzie betonu a jego odpornością na działanie mrozu [3]. Ocena trwałości betonu z popiołami lotnymi była przedmiotem licznych badań [1, 3], zasadniczo w odniesieniu do popiołów lotnych krzemionkowych. Efekty stosowania popiołów lotnych wapiennych w składzie betonu są znacznie mniej rozpoznane [4]. Ocenę wpływu na właściwości betonu tego rodzaju popiołów lotnych przedstawiono w pracy [5]. Norma PN-EN 206-1 [6] stanowi, że jednym z czynników zwiększających odporność betonu na działanie mrozu jest jego właściwe napowietrzenie. Poprzez właściwe napowietrzenie rozumieć należy wprowadzenie do betonu równomiernie rozmieszczonych, drobnych pęcherzyków powietrza, których zadaniem jest kompensowanie naprężeń powstających wskutek zamrażania wody w porach kapilarnych [4].

2. Metodyka badawcza

Z uwagi na mechanizm zniszczenia można wyróżnić dwa rodzaje mrozoodporności: mrozoodporność wewnętrzną

(czynniki destrukcyjne oddziałują na całą objętość betonu, powodując uszkodzenie wewnętrzne betonu) oraz mrozoodporność zewnętrzną (czynniki destrukcyjne oddziałują na jedną powierzchnię betonu, powodując łuszczenie powierzchni).

Mrozoodporność wewnętrzną oznaczono tzw. metodą zwykłą, opisaną w normie PN-88/B-06250 [7]. Cykl zamrażania–odmrażania w tej metodzie polega na kolejnym zamrażaniu całej próbki w powietrzu i odmrażaniu jej w wodzie, okres trwania pełnego cyklu wynosi co najmniej 6 h. Mrozoodporność wewnętrzną oznaczana jest, jako stopień mrozoodporności betonu F przy określonej liczbie cykli zamrażania i odmrażania, jaką musi wytrzymać betonu (badane F150). Oznaczenie wykonano po 28 i 90 dniach dojrzewania w warunkach laboratoryjnych. Przygotowane próbki (6 próbek sześciennych 100 mm) w stanie nasycenia wodą umieszczono w komorze zamrażarki, po 150 cyklach rozmrażania i zamrażania oznaczono wytrzymałość na ściskanie. Równocześnie 6 z próbek (świadków) przez cały czas badania przechowywano w wodzie o temperaturze $18 \pm 2^\circ\text{C}$, po czym również oznaczono ich wytrzymałość na ściskanie. Wyniki porównano i obliczono spadek wytrzymałości na ściskanie próbek zamrażanych względem próbek świadków.

Ocenę odporności na złuszczenie (mrozoodporność zewnętrzną) betonów wykonano w oparciu o wytyczne zawarte w normie przedmiotowej PN-EN 13877-2 [8]. Wyróżnia ona trzy kategorie betonów (tab. 1) w zależności od ilości złuszczonego materiału.

Oznaczenie mrozoodporności zewnętrznej wykonano metodą „slab test”. Polega ona na określeniu masy

Tabela 1. Kryteria oceny mrozoodporności wg normy PN-EN13877-2 [8]

Kategoria	Ubytek masy po 28 cyklach m_{28}	Ubytek masy po 56 cyklach m_{56}	Stopień ubytku m_{56}/m_{28}
FT0	brak wymagań	brak wymagań	brak wymagań
FT1	średnio $< 1,0 \text{ kg/m}^2$ (żaden pojedynczy wynik $> 1,5 \text{ kg/m}^2$)	brak wymagań	brak wymagań
FT2	średnio $\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$	średnio $< 1,0 \text{ kg/m}^2$ (żaden pojedynczy wynik $> 1,5 \text{ kg/m}^2$)	$\leq 2,0 \text{ kg/m}^2$

Tabela 2. Właściwości cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R i popiołu lotnego wapiennego

Właściwości cementu CEM I 42,5 R		Właściwości popiołu lotnego wapiennego		
		stan	dostawa (W)	zmielony (W+)
Wodoządnosc [% masy]	26,6	Miałkość (pozostałość na sicie 0,045 mm) [%]	38	10,5
Początek czasu wiązania [min.]	192	Wodoządnosc [%]	108	100
Zmiana objętości, Le Chatelier [mm]	0,4	Wskaźnik aktywności 28 dni [%]	87,2	87,2
Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach [MPa]	25,9	Wskaźnik aktywności 90 dni [%]	99,8	101,4
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	51,9	Starta prażenia [% masy]	2,56	

Tabela 3. Receptury mieszanek betonowych o współczynniku w/cef = 0,45

Oznaczenie	Dodatek popiołu lotnego [%]	w/c _{ef}	CEM I 42,5 R	Popiół lotny wapienny	Cement efektywny	Woda	Piasek 0–2 mm	Żwir 2–8 mm	Żwir 8–16 mm	Superplastyfikator	Domieszka napowietrzająca
CEM I	0	0,45	350	–	350	158	675	510	695	–	–
1-20%	20		325	65	351	158	660	495	680	0,38	–
1-33%	33		310	102	351	158	650	490	670	0,60	–
1M-20%	20		325	65	351	158	660	495	680	0,46	–
1M-33%	33		310	102	351	158	650	490	670	0,54	–
CEM I N	0	0,45	350	–	350	158	675	510	695	0,2	0,075
1-20% N	20		325	65	351	158	660	495	680	0,37	0,15
1-33% N	33		310	102	351	158	650	490	670	0,46	0,2
1M-20% N	20		325	65	351	158	660	495	680	0,37	0,21
1M-33% N	33		310	102	351	158	650	490	670	0,77	0,48

złuszczonego materiału z górnej powierzchni próbek cyklicznie zamrażanej i odmrażanej w obecności 3% roztworu NaCl. Oznaczenie przeprowadzono po 28 i 90 dniach dojrzewania betonu w warunkach normowych. Z próbek sześciennych (150 mm) wycięto, prostopadłe do powierzchni zacieranej, próbki o wymiarze 150×150×50 mm. Wszystkie powierzchnie próbek, z wyjątkiem badanej, oklejono silikonem i umieszczono w styropianowej formie, której brzegi wystawały ponad powierzchnię na wysokość 20 mm. Na badaną powierzchnię próbki wylano 3% roztwór NaCl, i całość umieszczono w komorze zamrażarki na 56 cykli. Po przeprowadzeniu oznaczenia zważono ilość złuszczonego materiału.

3. Charakterystyka składników i skład badanych betonów

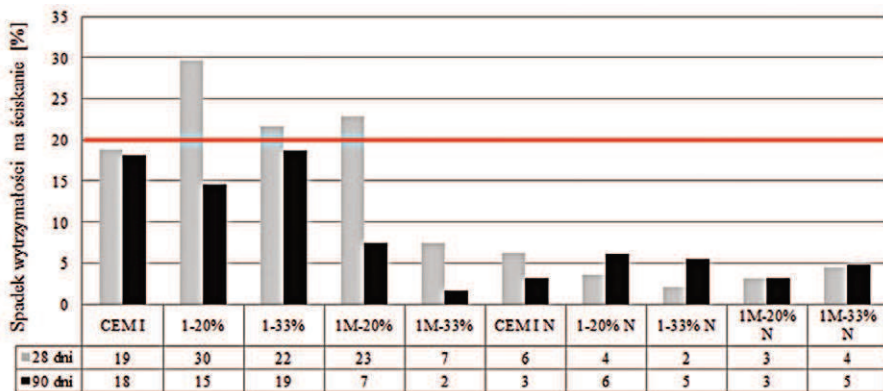
Betony przygotowano z cementu portlandzkiego CEM I 42,5R (tab. 2), jako dodatek typu II zastosowano popiół lotny wapienny (tab. 2) w stanie dostawy i zmielony, w ilościach 20 i 33% w stosunku do masy cementu. Beton wykonano na kruszywie naturalnym o uziarnieniu ciągłym (piasek 0÷2 mm, żwir 2÷8 mm, 8÷16 mm). Dla zapewnienia odpowiedniej konsystencji (S3) mieszanki betonowej, przy założonym wskaźniku w/c = 0,45, za-

stosowano superplastyfikator polimerowy. W celu napowietrzenia mieszanek betonowych użyto domieszki napowietrzającej na bazie modyfikowanych żywic korzennych, przeznaczonej do produkcji betonu i zapraw o podwyższonej mrozoodporności i odporności na sole odladzające. Efektem zastosowania domieszki było napowietrzenie betonów do zawartości powietrza ok. 6%. Receptury badanych betonów zamieszczono w tabeli 3.

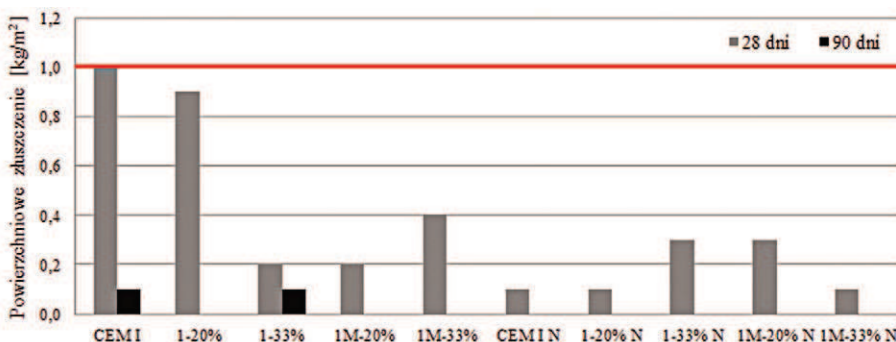
4. Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w sposób graficzny na rysunkach 1 i 2.

Wprowadzenie popiołu lotnego wapiennego do betonu spowodowało obniżenie odporności na działanie mrozu. W przypadku popiołu w stanie dostawy spadek wytrzymałości po badaniu mrozoodporności próbek dojrzewających 28 dni przekraczał 20%. Dodatek do betonu popiołu lotnego wapiennego zmielonego skutkował zmniejszonym spadkiem wytrzymałości betonu. Zaobserwowano przy tym, że popiół lotny stosowany w większych ilościach (33%) powoduje mniejsze spadki wytrzymałości betonu. Po 90 dniach dojrzewania spadki wytrzymałości na ściskanie po badaniu mrozoodporności są mniejsze, ale zaobserwowane tendencje utrzymały się.



Rys. 1.
Wyniki badania mrozoodporności wewnętrznej F150



Rys. 2
Wyniki badania mrozoodporności w obecności soli odładzających (powierzchniowe złuszczenie)

Istotną poprawę mrozoodporności betonów uzyskano poprzez napowietrzenie mieszanek betonowych. W żadnym z napowietrzonych betonów spadek wytrzymałości po 28 dniach nie był większy niż 10% (większość wyników oscylowała wokół 5%). W terminie późniejszym (po 90 dniach dojrzewania) zaobserwowano nieznacznie większe spadki wytrzymałości, co może być związane np. z większą karbonatyzacją betonów napowietrzonych.

Wyniki badań mrozoodporności w obecności soli odładzających (rys. 2, powierzchniowe złuszczenie) pozwalają wysunąć wnioski zbieżne z już opisanymi dla badania mrozoodporności wewnętrznej. Zaobserwowano, że po 28 dniach złuszczenie jest znacznie mniejsze w przypadku betonów z domieszką napowietrzającą, z kolei po 90 dniach dojrzewania żadna z badanych próbek betonów napowietrzonych nie uległa złuszczeniu na powierzchni. Zgodnie z kryterium oceny (tab. 1) betony napowietrzane z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego można przypisać do kategorii FT2. Największym złuszczeniem charakteryzował się beton nienapowietrzony bez dodatku popiołu lotnego wapiennego.

5. Podsumowanie

Podsumowując uzyskane rezultaty badań należy stwierdzić, iż praktyczne stosowanie wapiennych popiołów lotnych w technologii betonu mrozoodpornego warunkowane jest równoczesnym stosowaniem domieszki napowietrzającej. Betony napowietrzane zawierające w składzie popiół lotny wapienny charakteryzują się

zblizoną odpornością wewnętrzną na działanie ujemnych do betonów napowietrzonych bez dodatku. Odporność na powierzchniowe złuszczenie w obecności soli odładzających betonów z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego również jest wyższa w przypadku betonów napowietrzonych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Giergiczny Z., Popiół lotny w składzie cementu i betonu, wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2013
- [2] Giergiczny Z., Hawrot K., Żak A., Suitability evaluation of calcareous fly ash as an active mineral additive for ordinary concrete, Roads and Bridges Vol. 12 (1/2013), p. 83–97
- [3] Jackiewicz-Rek W., Kształtowanie mrozoodporności betonów wysokopopiołowych, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2010
- [4] Glinicki M., Dąbrowski M., Air void system parameters and frost resistance of air-entrained concrete containing calcareous fly ash, Roads and Bridges Vol. 12 (1/2013), p. 41–55
- [5] Giergiczny Z. z zespołem, Wpływ popiołu jako dodatku typu II do betonu na właściwości mieszanki betonowej i wytrzymałość betonu, Raport z zad. 8 POIG 01.01.02.-24-005/09 pt. Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego, <http://www.smconcrete.polsl.pl/>
- [6] PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [7] PN-88/B-06250 Beton zwykły
- [8] PN-EN13877-2 Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych

Praca współfinansowana z Programu Badań Stosowanych NCBiR projekt PST – 1/RB4/2012 „Innowacyjne cementy napowietrzające beton” ICNB, ID 180621.