

Wpływ poziomu wstępnego nawilżenia kruszywa popiołoporytowego na mrozoodporność konstrukcyjnych betonów lekkich

Dr inż. Lucyna Domagała, Katedra Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

W ogólnym przypadku wyższa nasiąkliwość kruszywa postrzegana jest często jako jeden z czynników, który może wpłynąć na obniżenie mrozoodporności betonu. Tymczasem konstrukcyjne betony lekkie, wykonane na kruszywach o zdecydowanie wyższej niż kruszywa zwykłe nasiąkliwości (do 45%), mogą charakteryzować się niekiedy nawet większą mrozoodpornością w stosunku do betonów zwykłych porównywalnych klas wytrzymałości. Taką możliwość potwierdzają liczne publikacje naukowe jak również ocena stanu betonów w istniejących konstrukcjach narażonych na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie [np. 1, 2, 3, 4, 5]. Wyższa mrozoodporność betonów lekkich, w przypadku braku ich napowietrzenia, może wynikać z bardziej korzystnej budowy ich strefy przejściowej, większej kompatybilności modułów sprężystości kruszywa i matrycy cementowej, generalnie niższego modułu sprężystości betonu lekkiego oraz możliwej pracy w obciążonej konstrukcji w stanie niezarysowanym. Badania Fujiki i in. [2] wskazują jednak, że warunkiem uzyskania wyższej mrozoodporności betonów lekkich, w stosunku do betonów zwykłych, jest ograniczenie wstępnego nawilżenia kruszywa do poziomu mniejszego niż 90% porowatości ogólnej betonu. Beton zawierający większe ilości wody zakumulowanej w kruszywie jest narażony na uszkodzenie w wyniku cyklicznego zamrażania i rozmrażania. Klieger i Hansen [3] wykazali, że współczynnik trwałości, będący miarą mrozoodporności badanej wg normy ASTM C666, w przypadku betonów lekkich z kruszywem wstępnie suchym, może być nawet kilkakrotnie wyższy w stosunku do betonów z kruszywem nasączonym. Cytowane powyżej badania wykonano na betonach z kruszywami lekkimi o relatywnie niskiej nasiąkliwości (do 15%). Nie mogą zatem stanowić podstawy do założenia dobrej mrozoodporności betonów lek-

kich z kruszywami innych typów. Zrealizowane badania własne miały na celu ocenę możliwości wykonania mrozoodpornych konstrukcyjnych betonów z kruszywem popiołoporytowym o znacznej nasiąkliwości przy zróżnicowanym poziomie jego wstępnej wilgotności.

2. Opis przeprowadzonych badań

Badania przeprowadzono na 12 seriach betonów lekkich przy uwzględnieniu zmienności: nominalnego wskaźnika wodno-cementowego (0,55 lub 0,37), uziarnienia kruszywa lekkiego (4/8 mm lub 6/12 mm) oraz poziomu wstępnej wilgotności kruszywa. W badaniach uwzględniono trzy stany wstępnej wilgotności kruszywa (w): suchy (w = 0%); wilgotny, odpowiadający nasiąkliwości kruszywa po 30 minutach (w = 17÷18%, zależnie od zastosowanej frakcji kruszywa); oraz nasycony (w = 23÷25%, zależnie od zastosowanej frakcji kruszywa). Pozostałe składniki wykonanych betonów lekkich stanowiły: cement CEM I 42,5R, piasek naturalny oraz woda wodociągowa. Dodatkowo w przypadku mieszanek o niższym nominalnym współczynniku wodno-cementowym (w/c = 0,37) zastosowano superplastyfikator.

Składy wykonanych betonów, ich parametry oraz podstawowe właściwości po 28 dniach dojrzewania podano w tabeli 1. Wytrzymałość badanych betonów konstrukcyjnych na ściskanie, oznaczona w stanie suchym, zawierała się w przedziale od 25,0 do 83,5 MPa przy gęstości z zakresu 1470 do 1920 kg/m³. Uzyskane wyniki wskazują, że głównym czynnikiem decydującym o wzroście wytrzymałości betonów lekkich jest redukcja wskaźnika wodno-cementowego, zapewniona zmniejszeniem jego nominalnej wartości i/lub ograniczeniem wstępnej wilgotności kruszywa. Dodatkowo przy danym w/c betony wykonane na kruszywie o mniejszej wstępnej wilgotności, ze względu

Tabela 1. Składy i podstawowe właściwości wykonanych betonów lekkich

Ozn.	Parametry mieszanki betonowej				Składniki mieszanki betonowej, [kg/m ³]					Właściwości betonu po 28 dniach **	
	W/C	frakcja	wilg. wstęp. kr. [%]	udział. obj. kr. lekkiego/zaprawy [%]	C*	Sp*	K*	P*	W*	gęstość [kg/m ³]	f _{cm, cube} [MPa]
1Sd	0,55	4/8	0	42 / 68	516	0,0	572	619	284	1800	62,5
1Wd			18	59 / 45	338	0,0	950	406	186	1630	48,5
1Nd			25	68 / 32	239	0,0	1171	288	132	1470	25,0
1Sg		6/12	0	46 / 71	508	0,0	603	610	279	1810	59,5
1Wg			17	61 / 47	336	0,0	945	404	185	1610	45,0
1Ng			23	67 / 34	255	0,0	1110	306	140	1500	30,0
2Sd	0,37	4/8	0	41 / 67	584	14,6	559	700	216	1920	83,5
2Wd			18	58 / 44	386	9,6	935	463	143	1710	64,0
2Nd			25	70 / 31	268	7,0	1191	322	99	1600	40,5
2Sg		6/12	0	43 / 64	555	13,9	569	666	205	1920	79,5
2Wg			17	60 / 44	386	9,6	925	462	142	1710	58,5
2Ng			23	68 / 33	288	7,2	1129	346	107	1560	32,0

* C – CEM I 42,5R, Sp – superplastyfikator, K – kruszywo popiotoporytowe w stanie wstępnego nawilżenia, P – piasek naturalny, W – woda;
** oznaczone w stanie suchym

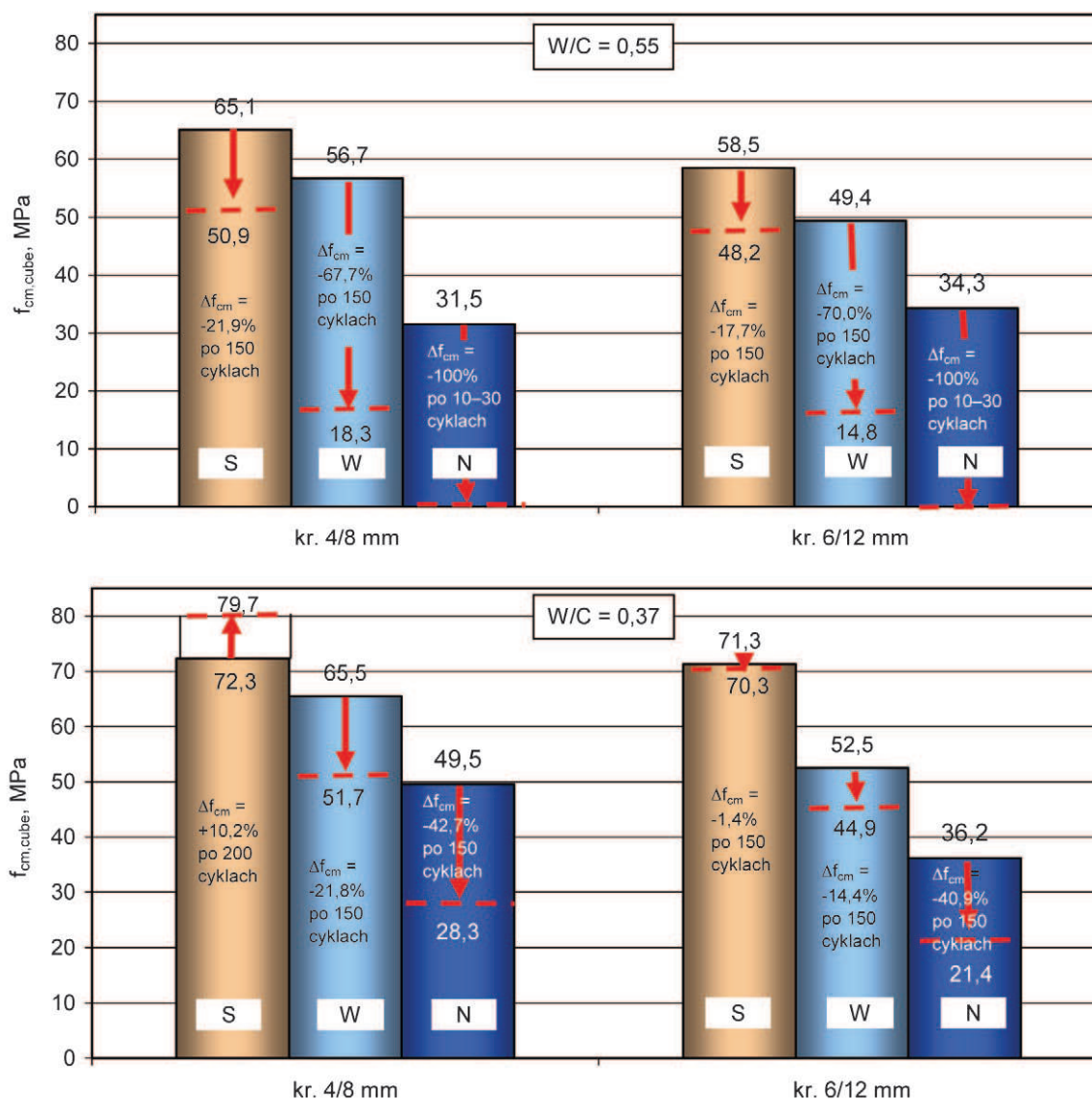
na zapewnienie odpowiedniej urabialności mieszanki betonowej, wymagały zastosowania zwiększonej ilości zaprawy cementowej. W rezultacie większy udział w betonie bardziej wytrzymałej matrycy cementowej w stosunku do porowatego kruszywa sprzyjał wzrostowi wytrzymałości. Ze względu na wytrzymałość, pewne znaczenie okazał się mieć również rozmiar kruszywa. Zastosowanie drobniejszej frakcji 4/8 mm zamiast 6/12 wpływało na wzrost wytrzymałości betonu lekkiego rzędu 3,0 do 7,5 MPa. Efekt ten nie był jednak widoczny w przypadku, gdy kruszywo 4/8 mm zawierało pewną ilość ziaren rozkruszonych (beton 1Nd), w rezultacie czego jego wytrzymałość na miążdżenie była niższa niż frakcji 6/12 mm.

3. Wyniki badań mrozoodporności i ich analiza

Badania mrozoodporności próbek betonów lekkich przeprowadzono zgodnie z normą PN-88/B-06250. Przez pierwsze 28 dni dojrzewania próbki do badań były normowo przechowywane w komorze klimatyzacyjnej (RH > 95% i T ≈ 20°C), a następnie przez kolejne 11 miesięcy umożliwiono im wysychanie w warunkach wilgotności RH ≈ 50% i w temperaturze T ≈ 20°C. Zatem w przeciwieństwie do badań [2, 3], uszkodzenia próbek w wyniku badania mrozoodporności głównie mogły być spowodowane zamrażającą wodą, która została zaabsorbowana przez beton, a nie taką, która nie zdążyła odparować z jego struktury. Na rysunku 1 przedstawiono wyniki badań mrozoodporności badanych betonów lekkich, obejmujące wytrzymałości na ściskanie próbek w stanie nasyconym, zarówno referencyjnych jak i poddanych cyklicznemu zamrażaniu i odmrażaniu, z uwzględnieniem procentowego spadku wytrzymałości i liczby cykli. W analizie wyników nie brano pod uwagę kryterium ubytku masy próbek. Wobec oznaczania masy próbek w stanie nasyconym,

kryterium to nie jest miarodajne. W przypadku bowiem spękania próbek, zamiast spadku masy najczęściej rejestruje się jej wzrost.

Uzyskane wyniki badań potwierdziły możliwość wykonania mrozoodpornych betonów konstrukcyjnych z kruszywem lekkim o znacznej nasiąkliwości. Niemniej jednak, jedynie 4 spośród 12 serii betonów lekkich o zróżnicowanych składach i technologii wykonania spełniły kryteria mrozoodporności wg PN-88/B-06250 po 150÷200 cyklach zamrażania i rozmrażania. Podobnie jak w przypadku betonów zwykłych, na mrozoodporność lekkich betonów kruszywowych istotny wpływ wywiera nominalny współczynnik wodno-cementowy. Generalnie, wszystkie betony lekkie wykonane na matrycy cementowej o w/c = 0,37 wykazywały niższe spadki wytrzymałości po badaniu mrozoodporności w stosunku do betonów wykonanych z matrycą o w/c = 0,55. Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku badanych betonów lekkich, ograniczenie w/c nie jest warunkiem wystarczającym do uzyskania ich wysokiej mrozoodporności. Ze względu na ich mrozoodporność bardziej istotnym czynnikiem, niż wskaźnik wodno-cementowy, jest poziom wstępnej wilgotności kruszywa. Proces wstępnego nawilżenia kruszywa lekkiego powoduje bowiem ograniczenie jego mechanizmu absorpcyjnego w mieszance betonowej. W rezultacie, betony wykonane na kruszywach o większej wstępnej wilgotności zawierają mniej szczelną matrycę cementową. Dodatkowo, jak wykazano w [6], mniejsza szczelność betonów z kruszywem o większej wstępnej wilgotności związana jest również z występowaniem w ich strukturze, a w szczególności w ich strefie przejściowej, zwiększonej ilości opóźnionego ettringitu i towarzyszących mu mikrorys. Z przeprowadzonych badań jednoznacznie wynika, że betony lekkie z wstępnie



Rys. 1. Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie przed i po badaniu mrozoodporności betonów lekkich z kruszywem popiołoporytowym wstępnie suchym (S), wilgotnym (W) i nasyconym (N) wraz z zaznaczonymi spadkami (Δf_{cm})

nasyconym kruszywem popiołoporytowym, bez względu na nominalny współczynnik wodno-cementowy czy rozmiar kruszywa, nie spełniają kryterium spadku wytrzymałości $\Delta f_{cm, cube} \leq 20\%$. W przypadku wyższego współczynnika wodno-cementowego (0,55) betony z kruszywem wstępnie nasyconym ($w = 23 \div 25\%$) rozpadały się zaledwie po 10÷30 cyklach. Redukcja w/c do 0,37 umożliwiła realizację 150 cykli zamrażania i rozmrażania dla betonów z kruszywem wstępnie nasyconym, niemniej jednak towarzyszące im spadki wytrzymałości również były zbyt wysokie (41 ÷ 43%). W przypadku badanych betonów lekkich warunkiem uzyskania wysokiej mrozoodporności było ograniczenie wstępnej wilgotności kruszywa. W rezultacie, nawet przy wysokim w/c (0,55) beton wykonany z kruszywem wstępnie suchym (1Sg) okazał się mrozoodporny. Przy niższym współczynniku wodno-cementowym (0,37) mrozo-

odporność uzyskano nawet przy zastosowaniu kruszywa o wstępnej wilgotności 17÷18%. Najwyższą mrozoodporność wykazały natomiast betony wykonane na kruszywem wstępnie suchym i przy $w/c = 0,37$ (2Sd i 2Sg). Nie obserwowano tu nie tylko wizualnych oznak zniszczenia i spadku wytrzymałości po 150 cyklach, ale również po 200. O ile występowała pewna zależność między rozmiarem ziaren kruszywa lekkiego a wytrzymałością betonu, o tyle nie obserwuje się takiej zależności w przypadku mrozoodporności. W rezultacie, betony lekkiej wytrzymałości, wykonane z mocniejszej frakcji 4/8 mm, niejednokrotnie wykazywały większy spadek wytrzymałości po badaniu mrozoodporności w porównaniu do betonów z kruszywem 6/12 mm o tej samej wstępnej wilgotności, wykonanych z takiej samej zaprawy. Fakt ten należy prawdopodobnie tłumaczyć większą zawartością ziaren przekruszonych w kru-

szywie 4/8 mm, które szybciej ulegają destrukcji w wyniku cyklicznego zamrażania i rozmrażania niż słabsze, ale nieuszkodzone ziarna frakcji 6/12 mm. Należy podkreślić, że przeprowadzone badania nie wskazują na bezpośrednią zależność między wytrzymałością betonów lekkich na ściskanie a ich mrozoodpornością. Na przykład, betony IWg i 2Nd o prawie identycznej wytrzymałości ($f_{cm} \approx 49,5$ MPa) wykazywały całkowicie różne spadki wytrzymałości, odpowiednio 70,0 i 42,7%. Jeszcze większe zróżnicowanie spadku wytrzymałości wykazują betony IWd ($\Delta f_{cm} = 67,7\%$) i 1Sg ($\Delta f_{cm} = 17,7\%$) o podobnej średniej wytrzymałości: odpowiednio 56,7 i 58,5 MPa. Analogicznie, brak również bezpośredniej relacji, często wskazywanej w literaturze tematycznej, między zawartością cementu w betonie lekkim a jego mrozoodpornością. Przykładowo, beton 2Wg z wstępnie nawilżonym kruszywem 6/12 mm ($w = 17\%$) o zawartości cementu 386 kg/m^3 ($w/c = 0,37$) uzyskał mniejszy spadek wytrzymałości po 150 cyklach ($\Delta f_{cm} = 14,4\%$) w porównaniu z betonem 1Sg wykonanym na takim samym kruszywie w stanie suchym o zawartości cementu 508 kg/m^3 ($w/c = 0,55$) ($\Delta f_{cm} = 17,7\%$).

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania mrozoodporności oraz analiza uzyskanych wyników wskazują na możliwość wykonania mrozoodpornych betonów lekkich, nawet pomimo zastosowania kruszywa porowatego o znacznej nasiąkliwości. Podstawowym warunkiem uzyskania wysokiej mrozoodporności takich betonów, przy braku ich napowietrzenia, jest ograniczenie wstępnej wilgotności kruszywa lekkiego. W przy-

padku wstępnego nasycania kruszywa lekkiego wodą, nawet zastosowanie matrycy cementowej o relatywnie niskim współczynniku wodno-cementowym nie gwarantuje wysokiej mrozoodporności betonu. Pod względem jakościowym wpływ współczynnika wodno-cementowego na mrozoodporność betonów lekkich jest analogiczny jak dla betonów zwykłych. Jego redukcja sprzyja wzrostowi odporności betonu na cykliczne zamrażanie – rozmrażanie. Rozmiar zastosowanego kruszywa lekkiego okazał się nie mieć większego wpływu na mrozoodporność badanych betonów lekkich. Pod tym względem większe znaczenie niż wytrzymałość na miążdżenie kruszywa spiekane, zdeterminowaną w znacznym stopniu jego rozmiarem, miał sam udział ziaren rozkruszonych w kruszywie.

Zrealizowane badania wykazały również brak bezpośredniej zależności między wytrzymałością czy gęstością betonu lekkiego, a jego mrozoodpornością. Podobnie, zawartość cementu czy nominalny wskaźnik wodno-cementowy nie mogą być miarodajnym wyznacznikiem odporności konstrukcyjnego betonu lekkiego na cykliczne zamrażanie – rozmrażanie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BE96-3942/R25, EuroLightCon, 2000
- [2] Fujiki K., Kokubu K., Hosaka T., IV CANMET/ACI/JCI Int. Conf., Tokushima, 1998, p. 791
- [3] Klieger P., Hanson J., ACI Journal, No. 1, 1961, p. 779
- [4] Kockal N., Ozturan T., Construction and Building Materials, Vol. 25, 2011, p. 1430
- [5] Pospichal O., Kucharczyková B., Misák P., Vymazal T., Procedia Engineering, Vol. 2, No. 1, April 2010, p. 521
- [6] Domagała L., Cement-Wapno-Beton, No. 2, 2011, p. 101

18 – 20

wrzesień

2014

POLSKA, WARSZAWA
EXPO XXI

WARSAW BUILD 2014

MIĘDZYNARODOWE TARGI BUDOWLANE I WNĘTRZARSKIE W WARSZAWIE

-  BUDOWA I KONSTRUKCJA
-  PROJEKTOWANIE I WNĘTRZA
-  OKNA I DRZWI

