

Przemysław ŚWIERCZ*
Politechnika Świętokrzyska

WPLYW CYKLICZNEGO ZAMRAŻANIA-ROZMRAŻANIA NA EFEKTY PRZEMIAN FAZOWYCH WODY W PORACH WYBRANYCH ZAPRAW CEMENTOWYCH

Streszczenie. W przedstawionym artykule autor prezentuje próbę oceny destrukcji mrozowej zapraw cementowych przez badanie efektów odkształceniowych związanych z zamrażaniem wody w porach, rejestrowanych metodą Różnicowej Analizy Odkształceń (RAO).

THE INFLUENCE OF FREEZING-THAWING CYCLES ON THE EFFECTS OF WATER PHASE CHANGES IN POROUS OF SELECTED CEMENT MORTARS

Summary. The paper presents the analysis of relations between frost resistance of mortars and strain effects connected with water freezing in mortars, tested with the RAO technique.

1. Wstęp

O mrozoodporności zapraw oraz betonów cementowych decydują różne czynniki materiałowe i technologiczne, jak również warunki eksploatacyjne. Różne są również metody oceny mrozoodporności, a o złożoności problemu świadczy fakt, iż wciąż nie dopracowano się jednej, uniwersalnej metody wpisanej w europejską normę betonową.

Tekstura stwardniałej matrycy cementowej zależy głównie od wskaźnika w/c, rodzaju cementu oraz czasu i warunków dojrzewania. Produkty hydratacji o zróżnicowanym kształcie wraz z pozostałościami niewodnionego cementu wypełniają dostępną przestrzeń według pewnego klucza o mniej lub bardziej losowym charakterze [1]. Od odległości pomiędzy nimi

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Zbigniew Rusin, prof. Politechniki Świętokrzyskiej.

zależą właściwości wody, która wypełnia część tej przestrzeni. Adsorbowana woda trudniej odparowuje i zamarza w niższych temperaturach. Podczas zamrażania krystalizacja wody następuje w większych porach, wywołując trwałe uszkodzenia okolicznych drobnych elementów matrycy i ich przemieszczanie, przebudowując mikrostrukturę w sposób, który w niektórych konfiguracjach materiałowych (w/c, rodzaj cementu) może znacznie wpływać na trwałość betonu podczas eksploatacji.

2. Cel i zakres badań

Celem przedstawionych badań była ocena postępu destrukcji mrozowej nienapowietrzonej zaprawy cementowej o niskim wskaźniku wodno-cementowym przez badanie efektów odkształceniowych związanych z zamarzaniem wody w porach, rejestrowanych metodą Różnicowej Analizy Odkształceń. Zakres badań obejmował obserwacje efektów odkształceniowych rejestrowanych metodą RAO w 1., 58. i 115. cyklu zamrażania.

Autor zrealizował przedstawiony program badań zainspirowany wynikami uzyskanymi podczas realizacji projektu badawczego nr 5 T07E 016 25, pt. „Prognozowanie mrozoodporności betonów o współczynnikach w/c < 0,45” [2].

3. Charakterystyka badanych zapraw

Przedmiotem badań były zaprawy cementowe przygotowane z tych samych składników i zgodnie z procedurami przyjętymi w powołanym wcześniej projekcie badawczym [2]. Do wykonania próbek użyto piasku kwarcowego (suszonego do stałej masy w temp. 105 °C), powszechnie stosowanych cementów: CEM I 32,5R; CEM II/B-V 32,5R; CEM III/A 32,5N oraz wody wodociągowej. Stosunek wagowy cement:piasek wynosił 1:2. Składniki dozowane były wagowo. Przy wykonaniu zapraw o w/c równym 0,37 zastosowano superplastyfikator, uwzględniając wodę zawartą w dozowanej domieszce. Świeża zaprawa była odpowietrzana metodą próżniowania z jednoczesnym wibrowaniem.

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe cechy techniczne badanych zapraw oznaczone po 28 dniach ich dojrzenia.

Tabela 1

Cechy techniczne stwardniałych zapraw

	CEM I 32,5R		CEM II/B-V 32,5R		CEM III/A32,5N	
	0,37	0,45	0,37	0,45	0,37	0,45
w/c						
Wytrzymałość na ściskanie, MPa	52,6	43,2	36,3	29,5	40,6	36,6
Gęstość objętościowa, g/cm ³	2,14	2,05	2,04	1,98	2,09	2,00
Nasiąkliwość wagowa, %	8,0	10,5	9,5	11,6	9,1	12,4

4. Metodyka badań i analiza uzyskanych wyników

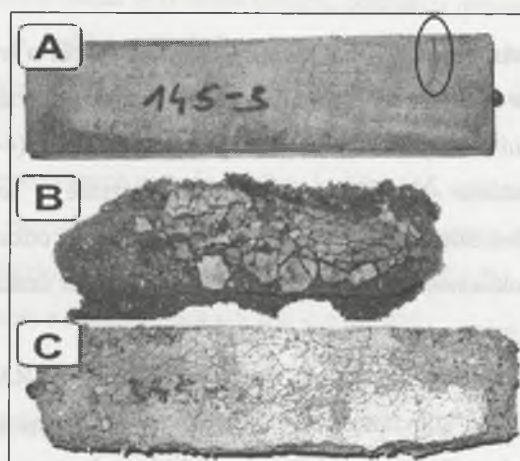
Do oznaczenia mrozoodporności zapraw przygotowano próbki o wymiarach 4x4x16 cm. Badania prowadzono w automatycznej komorze, gdzie cykle zamrażania-rozmrażania były zgodne z wymaganiami normy ASTM C 666 [3], procedura B (4-godzinne zamrażanie w powietrzu o temperaturze $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$, 2-godzinne rozmrażanie w wodzie o temperaturze $5\pm 2^{\circ}\text{C}$). Oceniano stopień zniszczenia struktury charakteryzowany odkształceniami liniowymi próbki mierzonymi z dokładnością do 0,01 mm ($\pm 0,005$ mm) oraz uszkodzenia powierzchni – wizualnie i z ubytkiem masy.

Jako wynik badań metodą Różnicowej Analizy Odkształceń (RAO) [1], [2] uzyskano krzywe obrazujące efekty odkształceniowe wywołane zamrażaniem wody w próbkach zapraw. Efektem przemiany fazowej wody w porach badanych zapraw jest względna zmiana objętości zamrażanej próbki ΔV w funkcji temperatury. Do badań przygotowano próbki o objętości zbliżonej do badanych belek. Z uformowanych kostek 15x15x15 cm odwiercono walce o średnicy 5 cm i wysokości 15 cm. Badaniu poddano zaprawy dojrzewające przez 90 dni w warunkach laboratoryjnych i nasączone wodą w warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego.

Przyjęto następującą metodykę badań: próbki walcowe, po pierwszym teście RAO, trafiły do automatycznej komory, gdzie wraz z belkami przechodziły 56 cykli zamrażania-rozmrażania. Następnie poddawano je drugiemu testowi RAO, kolejnym 56 cyklom w automatycznej komorze i trzeciemu testowi RAO. W ten sposób uzyskano wyniki testów RAO w 1., 58. i 115. cyklu zamrażania.

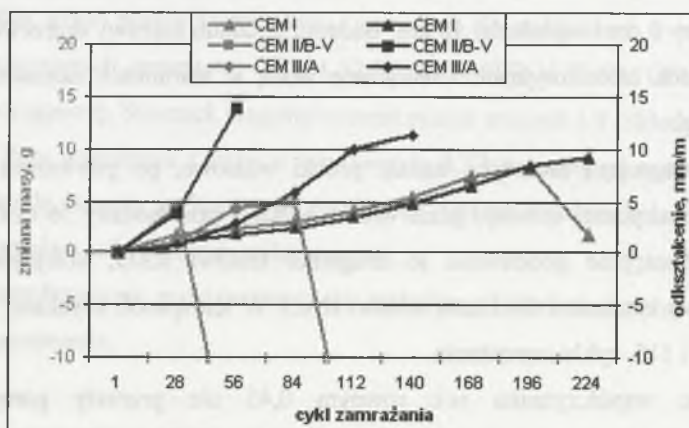
Zaprawy o współczynniku w/c równym 0,45 nie przeszły pomyślnie testów mrozoodporności. Na rysunku 1 przedstawiono widok próbek po 112 cyklach zamrażania. Dla zaprawy z cementem CEM I zanotowano nieznaczny przyrost masy i odkształcenie

liniowe rzędu 2,5 mm/m, widoczne były również spękania powierzchni próbek (rys. 1A). Po 220 cyklach zamrażania odkształcenie osiągnęło wartość 9 mm/m. Zanotowano również spadek masy związany z uszkodzeniami powierzchni próbek (rys. 2). Zaprawa z cementem CEM II/B-V (rys. 1B) uległa całkowitemu zniszczeniu już po 86 cyklach zamrażania. Ostatnie odkształcenie, jakie udało się zmierzyć przed całkowitą destrukcją próbek, miało wartość 14 mm/m. Zanotowane znaczne ubytki masy odzwierciedlają istotne uszkodzenia powierzchni próbek. Również zaprawy z cementem hutniczym CEM III/A cechowały się znacznymi odkształceniami (10 mm/m) i widocznymi na rys. 1C uszkodzeniami powierzchni po 112 cyklach zamrażania. Całkowite zniszczenie próbek nastąpiło po 140 cyklach.



Rys. 1. Uszkodzenia zamrażanych próbek o $w/c = 0,45$

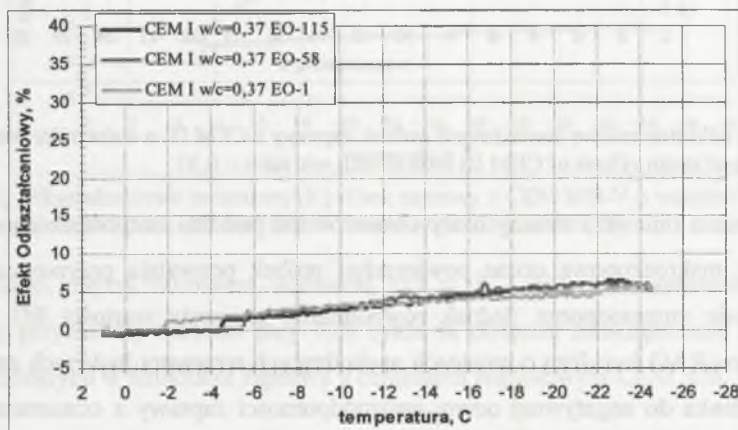
Fig. 1. Surface defects of the frozen samples (w/c ratio = 0,45)



Rys. 2. Odkształcenia liniowe i zmiany masy zamrażanych próbek o $w/c = 0,45$

Fig. 2. Linear deformations of the frozen samples (w/c ratio = 0,45)

Zgodnie z oczekiwaniami, zaprawa z cementem CEM I o wskaźniku $w/c = 0,37$ przeszła pomyślnie testy mrozoodporności, nie zanotowano żadnych odkształceń liniowych ani uszkodzeń powierzchni próbek (rys. 4). Efekt odkształceniowy związany z zamrażaniem wody w porach zaprawy (rys. 3) odnotowany podczas 1., 58. i 115. cyklu zamrażania, osiągał tę samą wartość rzędu 6%. Świadczy to o tym, że matryca cementowa nie ulega przebudowie (uszkodzeniom) na skutek zamrażania wody w systemie porów i jest odporna na działania mrozu.

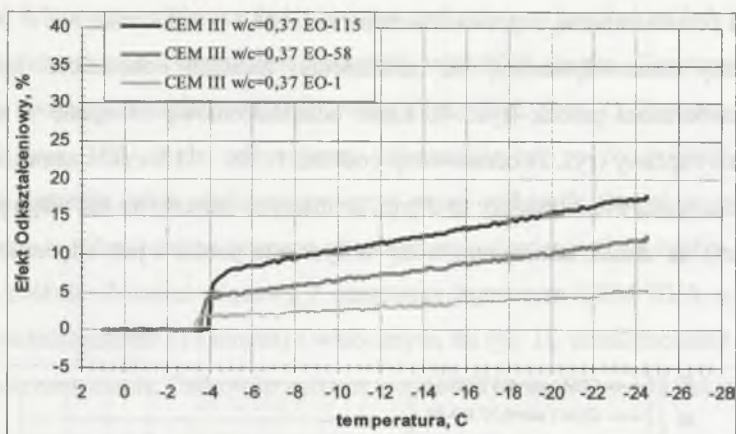


Rys. 3. Efekty odkształceniowe zamrażanych próbek zaprawy z CEM I o wskaźniku $w/c = 0,37$
 Fig. 3. Measured strain effects of CEM I mortar with w/c ratio = 0,37



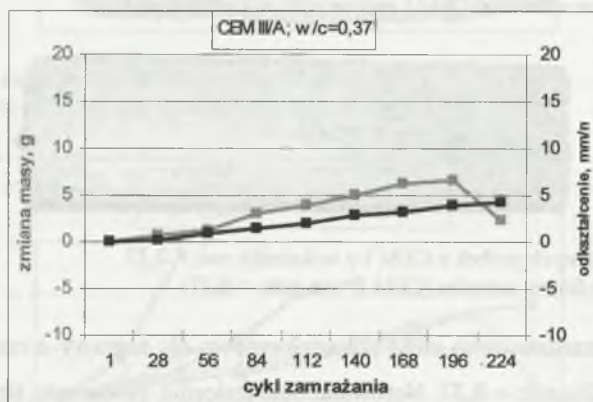
Rys. 4. Widok zamrażanych próbek z CEM I o wskaźniku $w/c = 0,37$
 Fig. 4. Surface of the frozen samples (CEM I, w/c ratio = 0,37)

Na rysunku 5 przedstawiono efekt odkształceniowy dla zaprawy z cementem hutniczym CEM III o wskaźniku $w/c = 0,37$. Notowane odkształcenie zwiększało się wraz z kolejnymi cyklami i przyjmowało wartości: 5% przy 1., 12% przy 58. i 18% przy 155. cyklu zamrażania.



Rys. 5. Efekty odkształceniowe zamrażanych próbek zaprawy z CEM III o wskaźniku w/c = 0,37
 Fig. 5. Measured strain effects of CEM III mortar with w/c ratio = 0,37

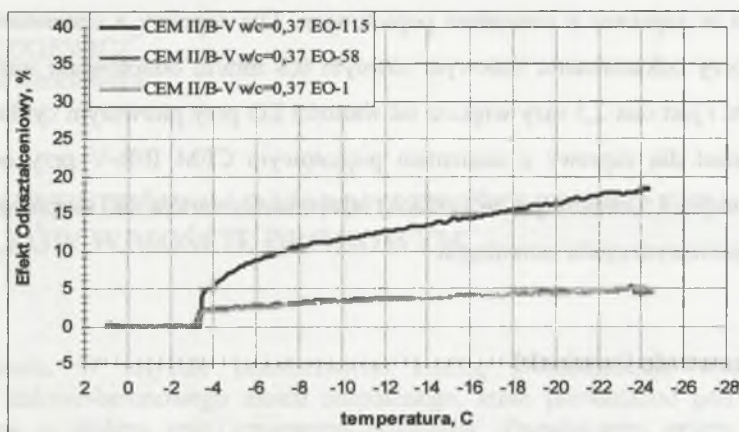
Odształcenia liniowe i zmiany masy obserwowane podczas bezpośredniego zamrażania (rys. 6) oraz makroskopowa ocena powierzchni próbek pozwalają przypuszczać, że taka zaprawa będzie mrozoodporna. Jednak równomierne przyrosty wartości EO odnotowane podczas testów RAO świadczą o zmianach zachodzących wewnątrz badanych zapraw. Może to być przesłanka do negatywnej oceny mrozoodporności zaprawy z cementem hutniczym CEM III/A o wskaźniku w/c = 0,37.



Rys. 6. Odształcenia liniowe zamrażanych próbek z CEM III/A o w/c = 0,37
 Fig. 6. Linear deformations of the frozen samples (CEM III/A, w/c ratio = 0,37)

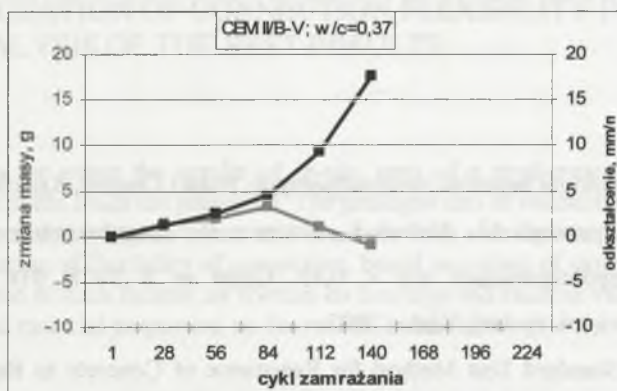
Zanotowane efekty odkształceniowe dla zaprawy z cementem popiołowym CEM II/B-V wynosiły około 5% przy 1. i 58. cyklu oraz 18% przy 115. cyklu zamrażania (rys. 7). Belki

poddane bezpośredniej ocenie mrozoodporności uległy zniszczeniu po 140 cyklach zamrażania (rys. 9), a zanotowane odkształcenie liniowe osiągnęło wartość 18 mm/m (rys. 8).



Rys. 7. Efekty odkształceniowe zamrażanych próbek zaprawy z CEM II/B-V o wskaźniku w/c = 0,37
Fig. 7. Measured strain effects of CEM II/B-V mortar with w/c ratio = 0,37

Brak różnic między notowaną wartością EO w 1. i 56. cyklu zamrażania i niemal czterokrotny przyrost tej wartości przy 115. cyklu są obrazem niebezpiecznie gwałtownych zmian zachodzących w strukturze zaprawy z cementem popiołowym CEM II/B-V.



Rys. 8. Odkształcenia liniowe zamrażanych próbek z CEM II/B-V o w/c = 0,37
Fig. 8. Linear deformations of the frozen samples (CEM II/B-V, w/c ratio = 0,37)



Rys. 9. Widok zamrażanych próbek z CEM II/B-V o wskaźniku w/c = 0,37
Fig. 9. Surface of the frozen samples (CEM II/B-V, w/c ratio = 0,37)

Porównanie wartości parametru EO i odkształcenia liniowego po 56. cyklu zamrażania dla zapraw z cementami CEM II/B-V i CEM III/A potwierdza niekorzystny charakter zmian zachodzących w zaprawie z cementem popiołowym. Dla zaprawy z cementem hutniczym CEM III/A przy odkształceniu liniowym równym 0,8 mm/m odnotowano wartość EO na poziomie 12% i jest ona 2,5 razy większa od wartości EO przy pierwszym cyklu zamrażania (5%). Natomiast dla zaprawy z cementem popiołowym CEM II/B-V przy odkształceniu liniowym równym 2,5 mm/m (po 56 cyklach) odnotowano wartość EO na poziomie 5%, tak samo jak w pierwszym cyklu zamrażania.

5. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione wyniki potwierdzają możliwości wykorzystania metody RAO do porównawczej oceny zamrażania wody w porach i diagnostyki betonów pod względem mrozoodporności. Określenie kryterium podziału materiałów na mrozoodporne i niemrozoodporne na podstawie uzyskanych metodą RAO wyników wymaga dalszych badań z uwzględnieniem w analizach innych cech materiałowych, takich jak: nasiąkliwość objętościowa, porowatość, objętość porów kapilarnych i powietrznych.

LITERATURA

1. Rusin Z.: Technologia betonów mrozoodpornych. Polski Cement, Kraków 2002.
2. Rusin Z., Stelmasczyk G., Nowak Ł., Świercz P.: Prognozowanie mrozoodporności betonów o współczynnikach $w/c < 0,45$. Grant nr 5 T07E 016 25. Maszynopis Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2007.
3. ASTM C666. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. ASTM International 2003.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Ślusarek, prof. w Politechnice Śląskiej