

Przemysław ŚWIERCZ*
Politechnika Świętokrzyska, Kielce

BADANIA ODPOWIETRZANYCH ZAPRAW CEMENTOWYCH PODDANYM ZAMROŻENIU PRZY WYKORZYSTANIU METODY RAO

Streszczenie. W przedstawionym referacie autorzy prezentują wyniki badań stopnia krystalizacji wody w porach zapraw cementowych ocenianego metodą Różnicowej Analizy Odształceń (RAO), w kontekście wykazania różnic pomiędzy powszechnie stosowanymi cementami.

INVESTIGATION OF NON AIR ENTRAINED CEMENT MORTARS EXPOSED TO FREEZING

Summary. The investigation results of a degree of water crystallization estimated with the RAO technique in terms of differences among popular cements is presented in the paper.

1. Wstęp

Wysoką mrozoodporność matrycy cementowej można uzyskać stosując technikę napowietrzania. Napowietrzanie, efektywny i stosunkowo prosty zabieg technologiczny, czasem nastęrcza inżynierom trudności, zwłaszcza w sytuacjach gdy mieszanka betonowa jest transportowana na znaczne odległości lub zawiera niewielkie ilości wody zarobowej. Dodatkowy problem stanowi kompatybilność domieszek napowietrzających z cementami, oraz z innymi domieszkami powszechnie stosowanymi w technologii betonu. Alternatywą dla techniki napowietrzania jest wykonanie mieszanki bez środków napowietrzających, przy jednoczesnym znacznym obniżeniu wskaźnika w/c. Dodatkowym efektem jest wówczas możliwość uniknięcia znacznego spadku wytrzymałości.

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

Otwarte pozostają pytania, jakie kryterium przyjmować dla wartości w/c niezbędnej do osiągnięcia satysfakcjonującej mrozoodporności, i które z dodatków mineralnych w cementach (wg normy PN-EN 197-1:2002 mamy ponad 120 kompozycji mineralnych) uwzględnić w stosunku w/c. Dodatki mineralne upowszechniły się w latach siedemdziesiątych XX wieku, jako materiały obniżające koszt produkcji cementu i stanowiące jego częściowy substytut. Obecnie zmieniło się ich znaczenie, nazywane są głównymi składnikami cementu (PN-EN 197-1 :2002), pozwalającymi na kształtowanie pożądaných cech betonu.

Wśród powszechnie stosowanych cementów najlepiej rozpoznane, w kontekście mrozoodporności, są cementy z grupy CEM I. W tym przypadku obniżenie wskaźnika w/c do poziomu 0,37 powinno być wystarczającym zabiegiem dla zapewnienia trwałości mrozowej w warunkach eksploatacyjnych.

W przypadku cementów CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V, o odmiennym składzie mineralnym, nie ma wyraźnego kryterium dla doboru wskaźnika w/c. Nie wiemy, w jakim stopniu dodatkowe składniki mineralne cementu utrudniają możliwość wykonania mrozoodpornej matrycy cementowej.

2. Cel i zakres badań

Celem przedstawianych badań jest doświadczalna ocena wpływu obecności wybranych dodatków mineralnych na możliwość osiągnięcia wysokiej trwałości mrozowej nienapowietrzanej zaprawy cementowej o niskim wskaźniku wodno-cementowym.

Prezentowane wyniki badań stanowią część projektu badawczego Nr KBN 5 T07E 016 25, pt. „Prognozowanie mrozoodporności betonów o współczynnikach w/c < 0,45” [5].

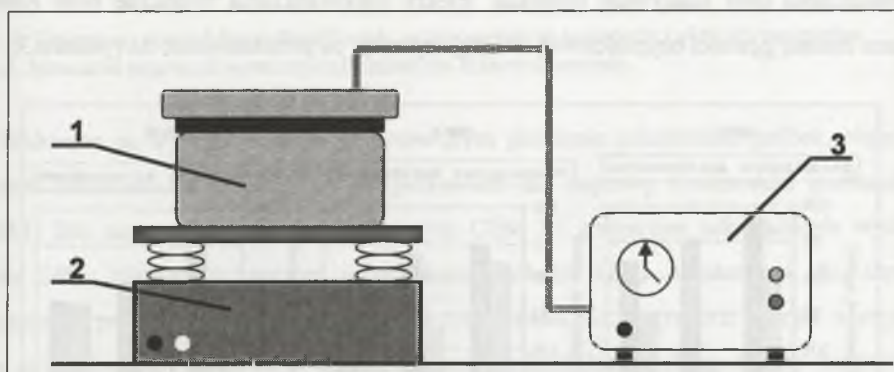
W referacie przedstawiono wyniki badań RAO dla nienapowietrzanych zapraw cementowych.

3. Charakterystyka badanych zapraw

Przedmiotem badań były zaprawy cementowe o zróżnicowanym współczynniku w/c, wynoszącym odpowiednio 0,30; 0,37; 0,45. Do wykonania próbek użyto piasku o uziarnieniu zgodnym z normą PN EN 196-1, 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 w stanie suchym (piasek suszono do stałej masy w temperaturze 105°C). Do wykonania zapraw o w/c równym 0,30 i 0,37 zastosowano superplastyfikator Tricosal MAXIFLOW FM, uwzględniając wodę zawartą w dozowanej domieszce. Zaprawy wykonywano w mieszarce zgodnej z PN-85/B-04500, a świeża zaprawa była odpowietrzana metodą próżniowania i jednoczesnego wibrowania.

Mieszanki zapraw i betonów wykazują znaczny poziom samonapowietrzenia (tym wyższy, im mniejsza jest wartość w/c). Dlatego dla lepszego porównania podjęto próbę usunięcia nadmiaru powietrza z mieszanek.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat stanowiska do odpowietrzania zapraw. Próbkę zaprawy była wstępnie wibrowana przez 15 s, po czym poddawano ją próżniowaniu bez wibrowania przez 15 s i z wibrowaniem przez kolejnych 30 s. Z wykonanych zapraw formowano kostki o wymiarach 15x15x15, z których następnie odwiercano próbki do badań RAO.

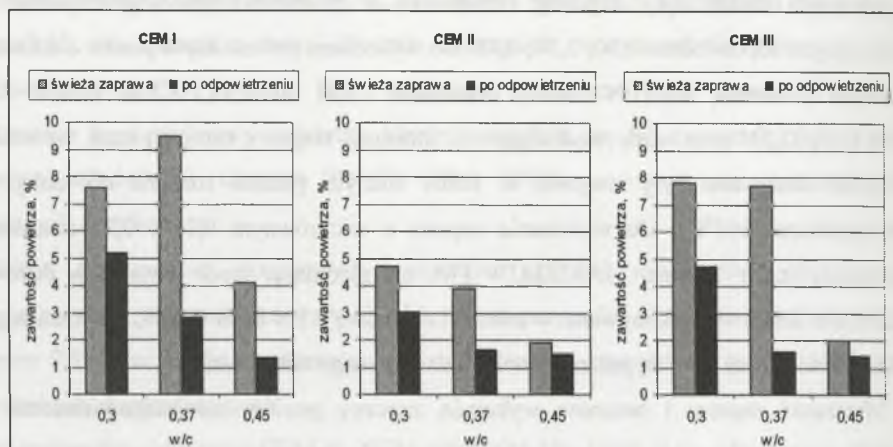


Rys. 1. Schemat stanowiska do odpowietrzania zapraw: 1- szczelny stalowy zbiornik, 2- stolik wibracyjny, 3- pompa próżniowa

Fig. 1. Diagram of the experimental stand for deaeration of mortars: 1- tight steel tank, 2- vibrating table, 3- the vacuum-pump

Zawartość powietrza oznaczano metodą ciśnieniową zgodnie z normą PN-EN 1015-7 przy użyciu aparatu pomiarowego firmy TESTING nr fabryczny 1487. Na rysunku 2

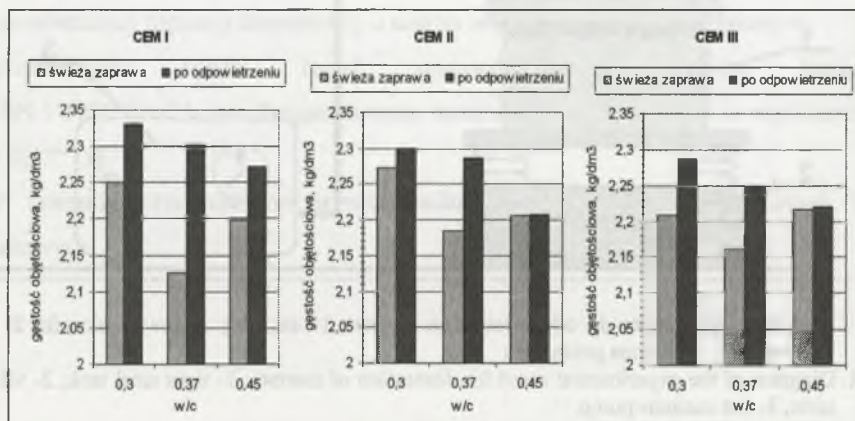
przedstawiono wyniki pomiarów zawartości powietrza w świeżych zaprawach przed i po odpowietrzeniu.



Rys. 2. Zawartość powietrza w świeżej zaprawie

Fig. 2. Air content in fresh mortar

Największe efekty odpowietrzania widoczne były dla mieszanek o $w/c = 0,37$. W przypadku zapraw o $w/c = 0,30$ mniejszy efekt odpowietrzania związany jest z większą spistością świeżej zaprawy. Dla zapraw o $w/c = 0,45$, zwłaszcza z cementów z dodatkami, zawartość powietrza wynosiła do 2%, w związku z czym obserwowane efekty procesu odpowietrzania były relatywnie mniejsze. Efekty odpowietrzania widoczne były również poprzez zmianę gęstości objętościowej świeżej zaprawy, co przedstawiono na rysunku 3.



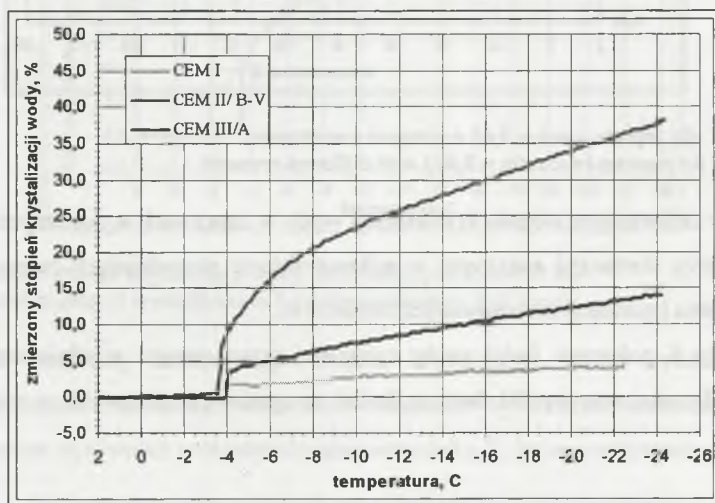
Rys. 3. Zmiana gęstości objętościowej świeżej zaprawy, wywołana odpowietrzeniem

Fig. 3. Change of volumetric density of fresh mortar as a result of deaerating

4. Metodyka badań i analiza uzyskanych wyników

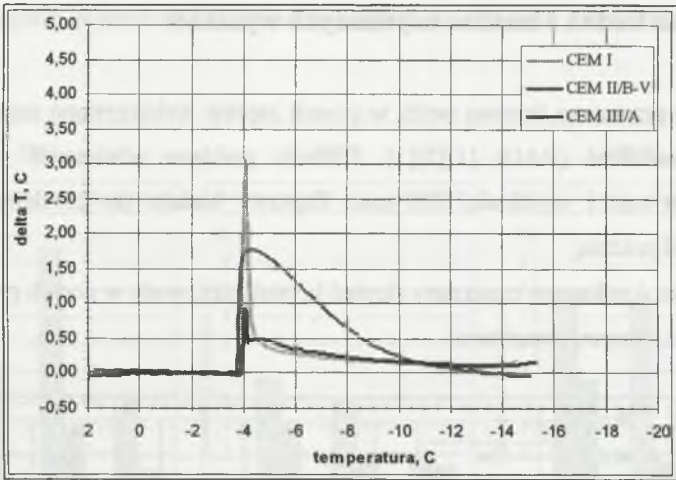
Do oceny przemiany fazowej wody w porach zapraw wykorzystano metodę Różnicowej Analizy Odształceń (RAO) [1][2][3]. Badaniu poddano odwiercane próbki walcowe o średnicy 50 mm i wysokości 150 mm. Zaprawy badano po 28 dniach dojrzewania, nasączone pod próżnią.

Na rysunku 4 pokazano zmierzony stopień krystalizacji wody w porach próbki dla zapraw o $w/c = 0,45$ z różnymi cementami.



Rys. 4. Zmierzony stopień krystalizacji wody w zaprawach wykonanych z różnych cementów
Fig. 4. Measured degree of water crystallization for different cements

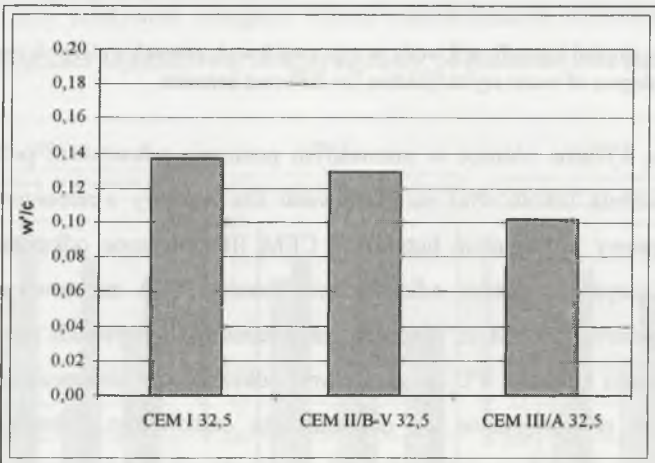
Widoczne są wyraźne różnice w notowanym poziomie odształceń próbek. Najniższy poziom odształcenia (około 4%) zarejestrowano dla zaprawy z cementem portlandzkim CEM I. Dla zaprawy z cementem hutniczym CEM III zmierzone odształcenie wyniosło około 14%. Najwyższy poziom odształcenia (około 35%) zanotowano dla zaprawy z cementem popiołowym CEM II. Początek zamarzania dla wszystkich zapraw następował przy przechłodzeniu o około 4°C , a gwałtowne odształcenia obserwowane na początku krystalizacji były proporcjonalne do odształcenia całkowitego. Obserwowane różnice w stopniu krystalizacji wody znajdują również potwierdzenie w rejestrowanych parametrach ΔT , będących różnicą temperatur pomiędzy wnętrzem próbki badanej i próbki wzorcowej. Wykres zależności ΔT od temperatury wewnątrz próbki wzorcowej przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Delta_T dla zapraw o $w/c = 0,45$ z różnymi cementami
 Fig. 5. Delta_T for mortars (w/c ratio = 0,45) with different cements

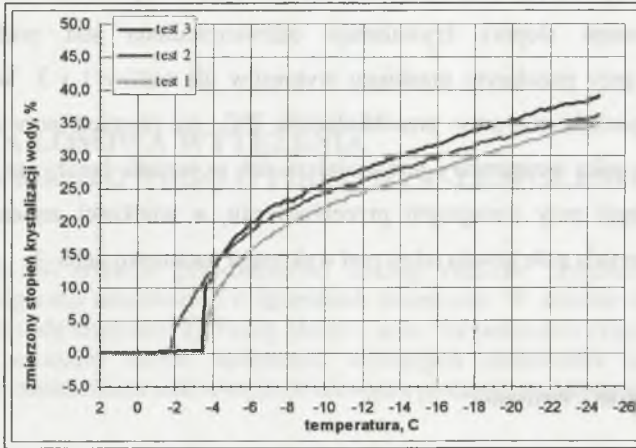
Różnice w zmierzonym stopniu krystalizacji wody w zaprawach wykonanych z badanych cementów należy tłumaczyć różnicami w mikrostrukturze stwardniałych zapraw, będących pochodną stopnia hydratacji zastosowanych cementów.

Na rysunku 6 pokazano ilości wody związanej przez cement w odniesieniu do masy cementu [4]. Przytoczone wyniki dotyczą badań zaczynów cementowych o wskaźniku w/c równym 0,45



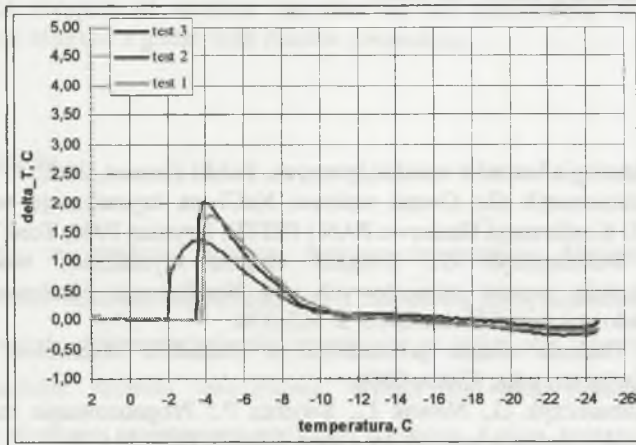
Rys. 6. Stopień związania wody przez cement [4]
 Fig. 6. Degree of assimilating water in cement [4]

Każdą próbkę badanej zaprawy poddawano testom RAO trzykrotnie. Na rysunku 7 pokazano trzy kolejne pomiary dla zaprawy z cementem popiołowym CEM II/B-V o $w/c = 0,45$.



Rys. 7. Zmierzony stopień krystalizacji wody dla 3 kolejnych testów RAO
Fig. 7. Measured degree of crystallization for 3 the successive RAO tests

Widoczne przyrosty zmierzonego stopnia krystalizacji wody wyraźnie świadczą o zmianach (uszkodzeniach), zachodzących w materiale wywołanych mrozem. Zachodzące zmiany widoczne są również w rejestrach parametru ΔT , które przedstawił na rysunku 8.



Rys. 8. ΔT dla 3 kolejnych testów RAO
Fig. 8. ΔT for 3 successive RAO tests

Wykresy zmierzonego stopnia krystalizacji w testach pierwszym i trzecim wyglądają podobnie, rozpoczęcie krystalizacji nastąpiło przy podobnym przechłodzeniu, a wielkość stopnia krystalizacji jest większa w teście trzecim. Rejestry parametru ΔT potwierdzają przechłodzenie, przy którym rozpoczęła się krystalizacja wody w testach 1 i 3. Większa wartość zmierzonego stopnia krystalizacji odzwierciedlona jest większym pikiem temperaturowym przy podobnym przebiegu wykresów dla testów 1 i 3. W teście drugim krystalizacja rozpoczęła się przy przechłodzeniu 2°C , co również potwierdza parametr ΔT , wielkość piku temperatury jest mniejsza niż w testach 1 i 3, ponieważ początek krystalizacji nastąpił przy mniejszym przechłodzeniu, a wielkości zmierzonego stopnia krystalizacji odpowiada pole powierzchni pod wykresem parametru ΔT .

5. Podsumowanie i wnioski

Obserwacje procesu zamarzania wody w porach matrycy cementowej przy wykorzystaniu metody RAO sugerują występowanie istotnych różnic w mikrostrukturze matryc wykonanych z różnych cementów.

Zaobserwowano również istotne różnice w obrębie tej samej zaprawy poddawanej kilkakrotnemu zamrażaniu. Świadczy to o zmianach zachodzących w ich mikrostrukturze, wywołanych przemianami fazowymi wody.

LITERATURA

1. Rusin Z.: Technologia betonów mrozoodpornych. Polski Cement, 2002.
2. Rusin Z., Stelmaszczyk G.: Ocena wpływu NaCl na krystalizację wody w porach kruszywa. XLII Konferencja Naukowa PAN i PZITB, Krynica 1996, Tom VI, s.87-94.
3. Świercz P., Stelmaszczyk G.: Związek stopnia krystalizacji wody w porach z mrozoodpornością zapraw cementowych. VI Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa, Gliwice 2005, s. 363-370.
4. Marczak M.: Badania własne prowadzone w Zakładzie Materiałów Budowlanych. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2006.
5. Rusin Z., Stelmaszczyk G., Nowak Ł., Świercz P.: Prognozowanie mrozoodporności betonów o współczynnikach $w/c < 0,45$. Grant KBN 5 T07E 016 25.