

Beton konstrukcyjny wysokiej jakości, ale tylko między spękaniem

Czy beton spękany jest betonem wysokiej jakości? Odpowiedź na tak postawione pytanie jest oczywista dla wszystkich inżynierów: nie jest. Niemniej na budowach zdarzają się nieraz spory o interpretację wyników badań kontrolnych jakości betonu, w których pomija się tę elementarną charakterystykę materiału. Zdarza się to również na budowach betonowych obiektów drogowych.

Nierzadko producenci betonu narzekają, że są „karani” na budowach obiektów inżynierskich z powodu dostarczenia zbyt dobrego materiału, tzn. betonu o wytrzymałości wyższej niż projektowana. Odbywa się to na podstawie negatywnych wyników określania mrozoodporności betonu według PN-B-06250:1988, przywoływanej zarówno w ogólnych, jak i szczegółowych specyfikacjach technicznych. Negatywna ocena stopnia mrozoodporności F150 ma miejsce, gdy:

- a) spadek wytrzymałości betonu na ściskanie po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania Δf_c jest większy niż 20%, tj:

$$\Delta f_c = \frac{f_{c,ref} - f_{c,150}}{f_{c,ref}} \cdot 100\% > 20\%$$

gdzie $f_{c,150}$ oznacza wytrzymałość próbek betonu poddanych 150 normowym cyklom zamrażania i odmrażania w komorze temperaturowej, natomiast $f_{c,ref}$ oznacza wytrzymałość próbek-świadków przechowywanych w tym samym czasie w wodzie o stałej temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$,

- b) ubytek masy próbek betonu poddanych 150 normowym cyklom zamrażania i odmrażania przekracza 5%,
c) próbki po cyklicznym zamrażaniu i odmrażaniu wykazują pęknięcia.

Interpretacja przykładowych wyników badania mrozoodporności betonu

projektowanej klasy B50, zaczerpniętych z niepublikowanej opinii technicznej, wykonanej z udziałem autora, przedstawiona jest poniżej. Badania zostały przeprowadzone na próbkach-odwiertach pobranych z dźwigarów obiektu mostowego, ponieważ wcześniejsze wyniki badań kontrolnych na próbkach formowanych były niejednoznaczne. Wyniki badań podane w tabeli nie pozostawiają żadnych wątpliwości, co do negatywnej oceny mrozoodporności betonu wbudowanego w dźwigary obiektu mostowego.

Dość wysoka wytrzymałość próbek po ich cyklicznym mrożeniu, wynosząca około 51-55 MPa, może jednak być powodem do ewentualnego kwestionowania negatywnej oceny jakości wbudowanego betonu. Przy uwzględnieniu współczynnika 0,85 zgodnie z normą PN-EN 13791:2008, dotyczącą oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji, pomimo redukcji wytrzymałości betonu wskutek cyklicznego mrożenia, wytrzymałość próbek przewyższa wymaganą wytrzymałość w przypadku klasy B50. Pomimo destrukcji beton nadal ma wymaganą klasę, założoną w projekcie konstrukcyjnym, więc jakość betonu jest dobra. Taką argumentację można usłyszeć w sytuacjach spornych i z takiej argumentacji wynika żal wykonawców, że niesłusznie ponoszą konsekwencje dostarczenia betonu wysokiej jakości, utożsamianej z wysoką wytrzymałością na ściskanie. Jest to argumentacja błędna.

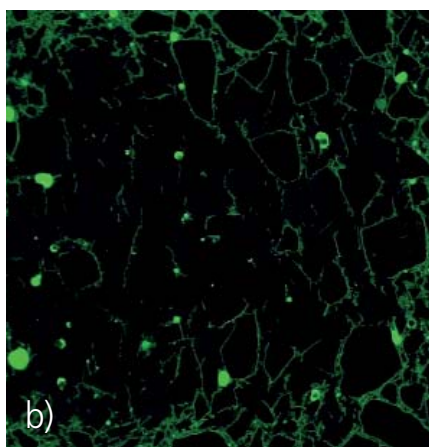
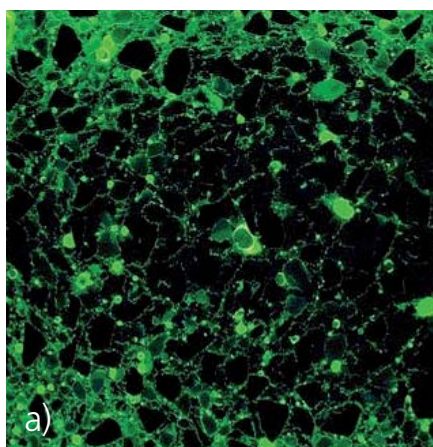
Nieporozumienie wynika m.in. z powodu niedostatecznie precyzyjnej definicji normowej mrozoodporności: wytrzymałość próbek po mrożeniu odnosi się do próbek w tym samym wieku, dojrzewających w warunkach sprzyjających intensywnej hydratacji cementu w betonie, tj. próbek zanurzonych w wodzie o temperaturze około 20°C . Powyższy iloraz wytrzymałości odzwierciedla jednocześnie destrukcyjny wpływ zamrażania i korzystny wpływ przedłużonej hydratacji cementu, zatem trudno odseparować działanie obu czynników. Możliwym, chociaż też uproszczonym, wyjściem z tej sytuacji byłoby przyjęcie definicji mrozoodporności według normy litewskiej LST 1428.17:1997, według której wytrzymałość odniesienia określa się przed rozpoczęciem zamrażania. Stosowana w Ameryce Północnej norma ASTM C666, a także europejski dokument normalizacyjny CEN/TR 15177, definiują mrozoodporność betonu na podstawie współczynnika sprężystości i zmian długości próbek, a nie na podstawie wytrzymałości na ściskanie. Wynika to z obserwacji, że wskutek cyklicznego oddziaływania mrozu szybko zachodzą zmiany właściwości sprężystych betonu – uszkodzenia pojawiają się wewnątrz badanych próbek, chociaż pozostają często niewidoczne na ich powierzchniach. Chodzi tu o drobne spęknięcia betonu, nazywane częściej zarysowaniami (rys. 1).

Zarysowania w betonie radykalnie redukują szczelność i odporność beto-

Tabela. Przykładowe wyniki badań mrozoodporności betonu w próbkach-odwiertach z dźwigarów obiektu mostowego – na podstawie niepublikowanego opracowania, wykonanego z udziałem autora w 2006 roku

Wytrzymałość na ściskanie (wartości średnie)				Ubytek masy	
Próbki po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania, MPa	Próbki porównawcze, MPa	Średni spadek wytrzymałości, %	Wartość wymagana, %	Próbki po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania, %	Wartość wymagana, %
54,6	82,6	33,9	≤ 20	-0,8 ¹⁾	≤ 5
51,3	84,0	38,9	≤ 20	-0,9 ¹⁾	≤ 5

¹⁾ wzrost masy



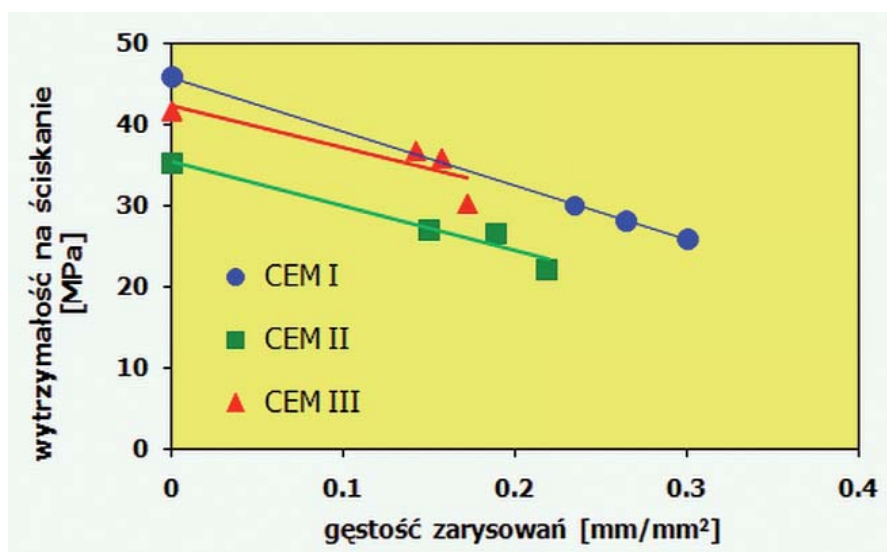
Rys. 1. Widok drobnych spękań wewnętrznych betonu wywołanych oddziaływaniem mrozu, widocznych na przekroju w świetle ultrafioletowym

- a) Cykliczne zamrażanie i odmrażanie próbek w temperaturze od -20 do +20 °C,
- b) Krótkotrwałe zamrożenie betonu przed stwardnieniem do -5°C

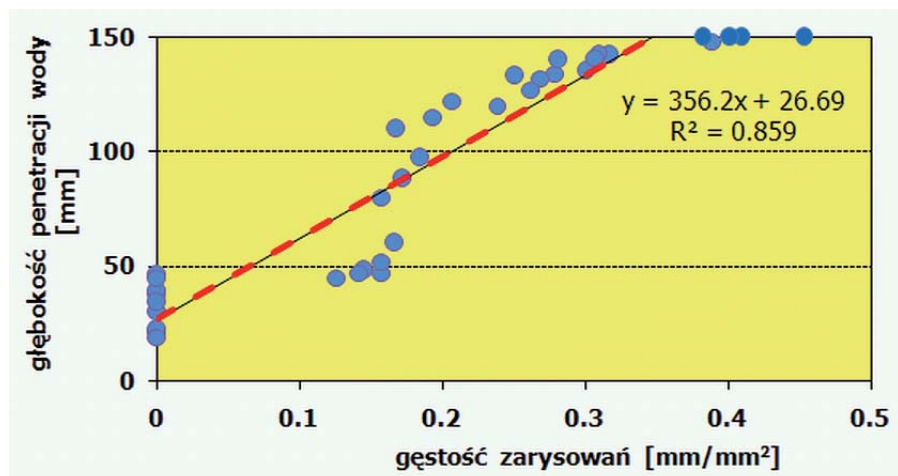
na równoczesne oddziaływanie środowisk agresywnych, czego nie uwzględniają metody badań i oceny betonu. W konsekwencji równoczesnego oddziaływania środowisk XC, XD i XF obecność zarysowań w betonie obniża trwałość konstrukcji.

Odwołując się do spornego przykładu betonu przedstawionego w tabeli oraz do rys. 2 można wysunąć uzasadnione przypuszczenie, że zaobserwowanemu spadkowi wytrzymałości o 34-39% towarzyszyło powstanie znacznych zarysowań w betonie. Dlatego, pomimo dość wysokiej wytrzymałości próbek po cyklicznym mrożeniu, trzeba uznać niedostateczną jakość betonu z uwagi na przewidywaną przy-

nu w otulinie zbrojenia na penetrację mediów agresywnych. Badania w tym zakresie przeprowadzono w ramach rozprawy doktorskiej A. Litorowicz, wykonanej pod opieką autora. Jak widać z rys. 2 i 3, wzrost gęstości* zarysowań w przekroju próbek betonu wpływa na radykalne obniżenie wytrzymałości na ściskanie i na wzrost głębokości penetracji wody w próbki. Zaobserwowano też podobne uzależnienie współczynnika migracji jonów chlorkowych od gęstości zarysowań. W związku z tym, należy przewidywać radykalne obniżenie odporności betonu w otulinie zbrojenia na penetrację jonów agresywnych oraz gazów agresywnych, takich jak CO₂. Na ogół elementy konstrukcji inżynierskich są narażone



Rys. 2 Wpływ gęstości zarysowań w przekroju betonu na wytrzymałość na ściskanie



Rys. 3 Wpływ gęstości zarysowań w przekroju betonu na głębokość penetracji wody pod ciśnieniem

➤ spieszoną karbonatyzację i skażenie chlorkami betonu w otulinie zbrojenia.

W konkluzji trzeba stwierdzić, że przy projektowaniu składu betonu

przeznaczonego na konstrukcje inżynierskie potrzebna jest ocena jego podatności na powstawanie rys przy rozmaitych oddziaływaniach

mechanicznych i środowiskowych. Nie można bowiem ograniczać się do projektowania betonu wysokiej trwałości jedynie „między rysami”. Przydatne są tu koncepcje i metody mechaniki pęknięcia rozwijane od ponad 30 lat w odniesieniu do betonu, aczkolwiek jak dotąd niewzględniane szeroko w normach technicznych.

Więcej wiadomości na temat związków trwałości z mikrostrukturą można znaleźć w monografii „Trwałość betonu w nawierzchniach drogowych. Wpływ mikrostruktury, projektowanie materiałowe, diagnostyka” wydanej przez IBDiM w Warszawie w tym roku.

* stosunek długości dendrytycznej rys, identyfikowanych w wyniku cyfrowej analizy obrazów, do całkowitej powierzchni przekroju

MICHAŁ A. GLINICKI