

Anna CEGLARSKA<sup>\*</sup>  
Politechnika Świętokrzyska

## WPŁYW ZAMROŻENIA MŁODEGO BETONU NA JEGO WŁAŚCIWOŚCI PO 28 DNIACH DOJRZEWANIA

**Streszczenie.** W artykule rozważono wpływ jednokrotnego zamrożenia młodego betonu na jego właściwości po 28 dniach dojrzewania. Zakres badań obejmował określenie zmian zachodzących w strukturze warstwy powierzchniowej betonu pod kątem jego trwałości mrozowej. Oznaczono wpływ jednokrotnego zamrożenia na zmianę wytrzymałości na ściskanie, nasiąkliwość powierzchniową oraz mrozoodporność stwardniałego betonu. Badano serię próbek wykonanych z betonu klasy C 20/25, sporządzanych z cementu portlandzkiego CEM I 42,5R oraz kruszywa dolomitowego.

## EFFECT OF FREEZING GREEN CONCRETE ON ITS CHARACTERISTICS AFTER 28 DAYS' CURING

**Summary.** The article discusses the effect of a single freezing of green concrete on its characteristics after 28 days' curing. The tests included the determination of changes occurring in the structure of superficial layer in respect of its frost resistance. The effect of a single freezing on the change of compression strength, capillary action and frost resistance of hardened concrete was determined. A series of samples made from concrete class C 20/25 made from Portland cement CEM I 42,5R and dolomite aggregate were tested.

### 1. Wprowadzenie

Najczęściej cytowanymi wytycznymi dla robót betonowych prowadzonych w okresie zimowym jest instrukcja ITB [1]. Ten dość obszerny dokument uległ w wielu miejscach zdezaktualizowaniu wobec dużego postępu w budownictwie [2].

Oddziaływania ujemnych temperatur na młody beton mogą być szkodliwe. Szczególnie negatywny wpływ na jakość betonu może wywierać zamarznięcie wody

---

<sup>\*</sup> Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk, prof. Politechniki Świętokrzyskiej.

zarobowej. Podkreślić należy, że wpływ ten w bardzo istotny sposób zależy od czasu, jaki upłynął od wykonania mieszanki betonowej do chwili, w której woda ulegnie zamarznięciu. Jednak najbardziej szkodliwe jest zamarznięcie świeżo ułożonego betonu w czasie zbliżonym do czasu wiązania cementu, ponieważ nieodwracalnie zostaje zużyta część cementu powodująca obniżenie wytrzymałości betonu [3].

Rozróżnia się dwa rodzaje odporności: warunkową i stałą [4]. Beton uzyskuje odporność stałą, jeżeli jednokrotne zamrożenie nie spowoduje spadku wytrzymałości na ściskanie większego niż 50% [5]. Zalecenia najczęściej określają zakres wytrzymałości  $f_{cmin}$ , po uzyskaniu której beton uważa się za odporny na działanie mrozu. CSA Standard w Kanadzie zaleca uzyskanie przez beton minimalnej wytrzymałości na ściskanie na poziomie 7,0 MPa [6], natomiast ACI przyjmuje wytrzymałość powyżej 3,5 MPa [7]. Szwecja poleca uzyskanie przez beton minimalnej wytrzymałości wynoszącej 5,0 MPa [8]. Neville sugeruje wytrzymałość  $f_{cmin} = 3,5$  MPa, natomiast inni autorzy  $f_{cmin} = 2$  MPa dla betonów z cementu portlandzkiego [9].

Przedstawione w referacie wyniki badań własnych mają na celu określenie wpływu zamrażania, w zależności od poziomu temperatury ujemnej oraz czasu wstępnego dojrzewania w normalnych warunkach, na zmianę struktury warstwy powierzchniowej betonu w kontekście jego późniejszej trwałości mrozowej. Analizowano wpływ dwóch podstawowych czynników: różnych poziomów temperatury ujemnej ( $T_{min}$ ) i czasu wstępnego dojrzewania ( $t_0$ ) na właściwości stwardniałego betonu.

## 2. Opis badań

Badania wykonano na próbkach o składzie podanym w tabeli 1:

Tabela 1

Skład mieszanki betonowej

Składniki mieszanki betonowej.	Ilość [kg/m <sup>3</sup> ]
Cement portlandzki CEM I 42,5	334
Piasek 0÷2mm	625
Grys wapienny 4/8 mm	581
Grys wapienny 8/16 mm	581
Woda	181
Stosunek w/c	0,54

W badaniach zastosowano cement CEM I 42,5R, piasek naturalny frakcji 0÷2 mm, kruszywo grube wapienne frakcji 4/8, 8/16 mm. Zakres badań obejmował wykonanie 9 serii próbek z betonu klasy C20/25. Równolegle prowadzono badania na próbkach zamrażanych i świadkach dojrzewających w warunkach laboratoryjnych, w wodzie o temperaturze +18°C. Każda seria umieszczana była w komorze klimatyzacyjnej, gdzie podlegała wstępnemu dojrzewaniu przez  $t_0 = 2, 5, 8$  godzin, a następnie próbki schładzano w powietrzu o temperaturze  $T_{\min} = -5^\circ\text{C}, -10^\circ\text{C}, -15^\circ\text{C}$  przez 24 godziny.

Wytrzymałość betonu na ściskanie określano na próbkach w kształcie walca o  $\phi 8$  cm i wysokości 8 cm, jednokrotnie zamrożonych, rozformowanych i przechowywanych przez kolejnych 27 dni w wodzie o temperaturze +18°C. Wytrzymałość betonu na ściskanie określono po 3, 7, 14 i 28 dniach.

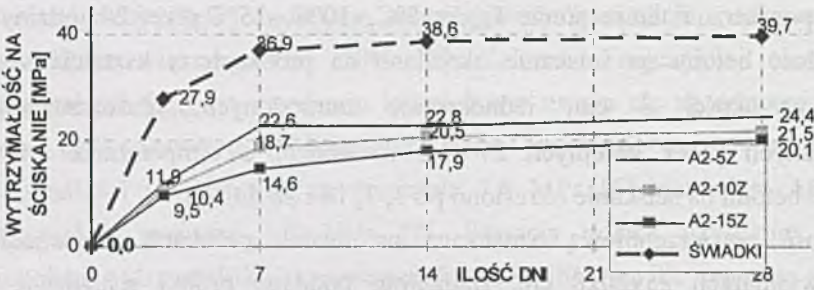
Nasiąkliwość powierzchniową oznaczano na dwóch próbkach prostopadłościennych o wymiarach 25x20x8 cm. Badaniom poddano próbki schładzane do temperatur  $T_{\min}$  z wstępnym zamrażaniem po  $t_0 = 2, 5, 8$  godzinach. Próbki zamrożone rozformowano po 24 godzinach, a następnie przechowywano w wodzie o temperaturze +18°C przez pierwsze 7 dni, a kolejne 20 dni w środowisku powietrzno-suchym w temperaturze +18°C. Nasiąkliwość powierzchniową oznaczano przez pomiary zmiany masy próbek.

Badania wstępne mrozoodporności stwardniałego betonu określano na próbkach sześciennych o boku 15 cm, które uprzednio zostały zamrożone do temperatury  $T_{\min}$  po okresie wstępnego dojrzewania  $t_0$ . Górna powierzchnia była odsłonięta, boki zostały zaizolowane styropianem o grubości 5 cm. Próbki jednokrotnie zamrożone po rozformowaniu dojrzewały w wodzie do 28 dnia w temperaturze +18°C. Po upływie tego czasu próbki te poddawano cyklom zamrażania w powietrzu przez 4 godziny, w temperaturze -18°C oraz rozmrożeniu w wodzie, w temperaturze +18°C przez 4 godziny. Ocenę uszkodzeń mrozowych oceniano wizualnie oraz przez pomiar zmian masy próbek.

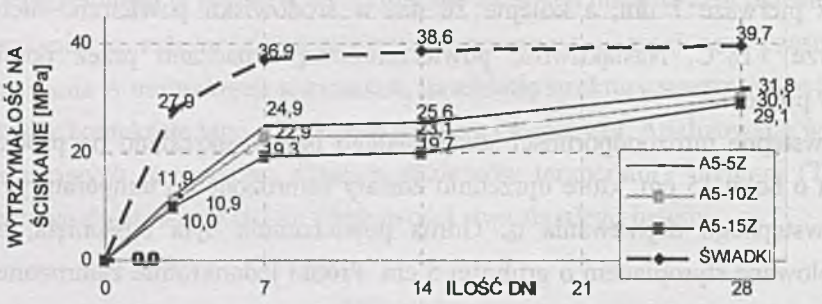
### 3. Analiza badań

Wyniki pomiarów wytrzymałości na ściskanie ( $f_{cm}$ ) dla próbek świadków oraz jednokrotnie zamrożonych przedstawiono na rysunkach 1, 2, 3. W pracy przyjęto następujące oznaczenia dla poszczególnych serii próbek, np. symbol A2-5Z oznacza, że próbki podlegały wstępnemu dojrzewaniu przez 2 godziny, a następnie zostały zamrożone do temperatury -5°C. Z analizy wykresów 1÷3 wynika ogólna tendencja,

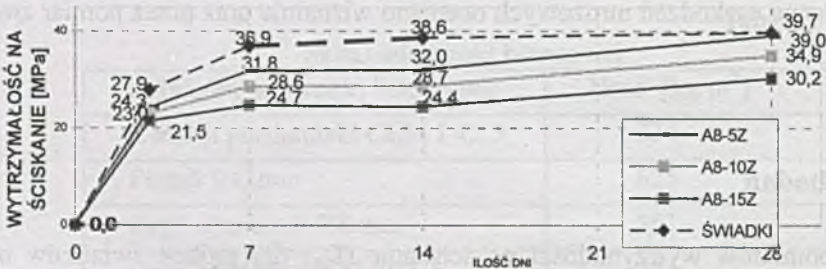
że beton zamrożony do niższej temperatury  $T_{min}$  po krótszym czasie wstępnego dojrzewania powoduje najwyższe spadki wytrzymałości na ściskanie. Na wykresie słupkowym (rys. 4) przedstawiono spadki wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania betonów wcześniej zamrożonych w stosunku do wytrzymałości betonów dojrzewających w warunkach normowych.



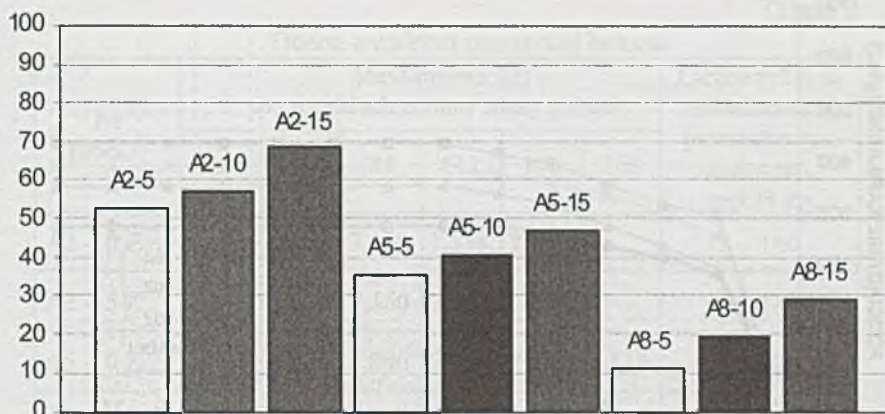
Rys. 1. Zmiana wytrzymałości  $f_{cm}$  betonu po  $t_0 = 2$  h wstępnego dojrzewania  
 Fig. 1. Change of concrete strength  $f_{cm}$  after  $t_0 = 2$  h of initial curing



Rys. 2. Zmiana wytrzymałości  $f_{cm}$  betonu po  $t_0 = 5$  h wstępnego dojrzewania  
 Fig. 2. Change of concrete strength  $f_{cm}$  after  $t_0 = 5$  h of initial curing



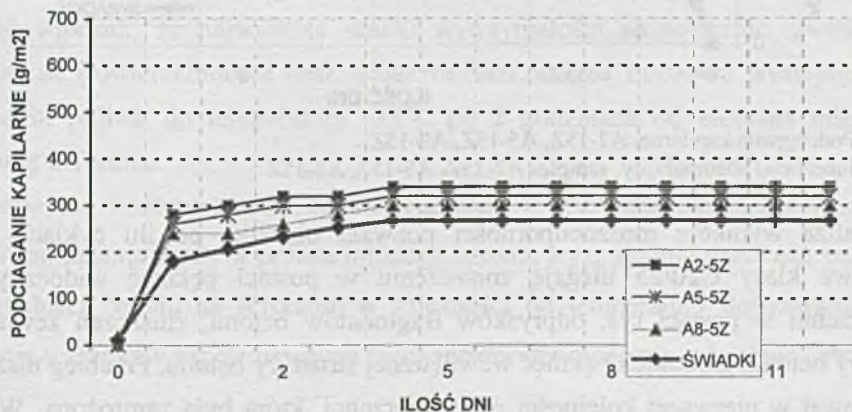
Rys. 3. Zmiana wytrzymałości  $f_{cm}$  betonu po  $t_0 = 8$  h wstępnego dojrzewania  
 Fig. 3. Change of concrete strength  $f_{cm}$  after  $t_0 = 8$  h of initial curing



Rys. 4. Spadki wytrzymałości 28-dniowej próbek zamrażanych w stosunku do wytrzymałości świądków

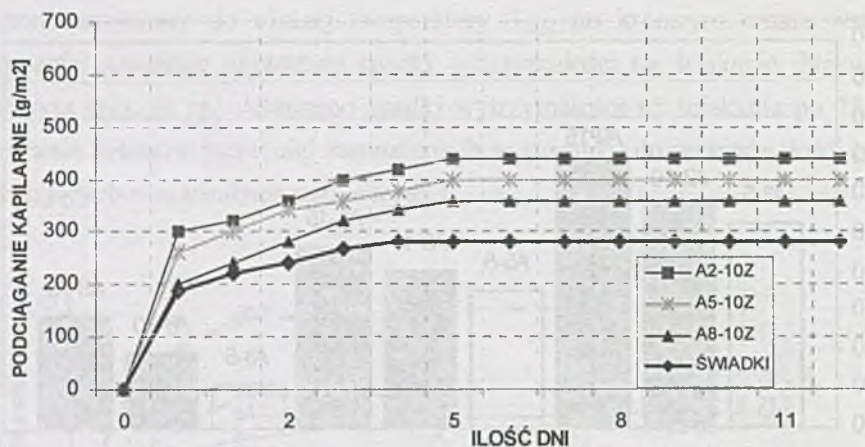
Fig. 4. Strength decrease after 28 days of frozen samples in comparison with strength of stirrups

Nasiąkliwość powierzchniową dla próbek zamrożonych oraz świądków po 28 dniach dojrzewania przedstawiono na rys. 5, 6, 7. Widoczne jest, że im niższa temperatura zamrażania  $T_{min}$  oraz krótszy czas dojrzewania, tym większy wzrost podciągania kapilarnego (powstanie mikrorys) w warstwie powierzchniowej betonu. Należy zauważyć, że zamrożenie próbek do temperatury  $-15^{\circ}\text{C}$  powoduje znaczny wzrost podciągania kapilarnego w stosunku do świądków niż ma to miejsce w przypadku próbek zamrażanych do temperatury  $-5^{\circ}\text{C}$  i  $-10^{\circ}\text{C}$ .



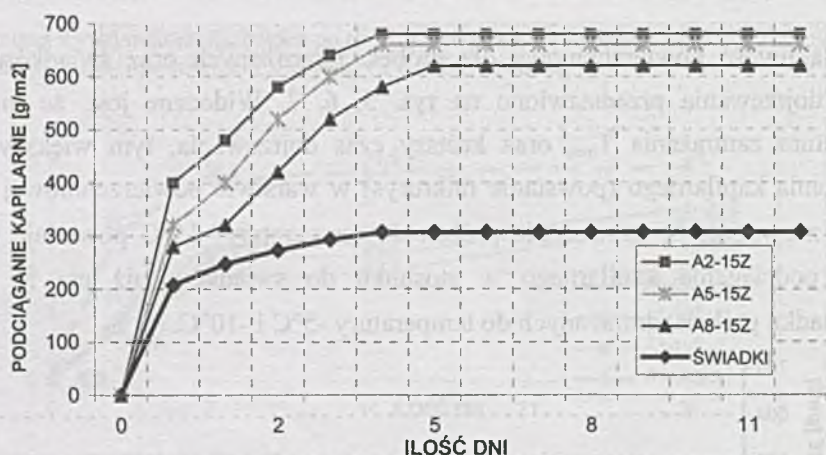
Rys. 5. Podciągania kapilarne, próbki A2-5Z, A5-5Z, A8-5Z

Fig. 5. Superficial absorbability, samples A2-5Z, A5-5Z, A8-5Z



Rys. 6. Podciągania kapilarne, próbki A2-10Z, A5-10Z, A8-10Z

Fig. 6. Superficial absorptivity, samples A2-10Z, A5-10Z, A8-10Z



Rys. 7. Podciągania kapilarne, A2-15Z, A5-15Z, A8-15Z

Fig. 7. Superficial absorptivity, samples A2-15Z, A5-15Z, A8-15Z

Analiza wyników mrozoodporności pozwala określić, po ilu cyklach próbki betonowe klasy C20/25 ulegają zniszczeniu w postaci pęknięć widocznych na powierzchni w postaci rys, odprysków fragmentów betonu, złuszczeń zewnętrznej warstwy betonu, głębokich pęknięć wewnętrznej struktury betonu. Przebieg niszczenia następował w pierwszej kolejności od powierzchni, która była zamrożona. W miarę kolejnych cykli zamrażania pojawiały się spękania i rysy widoczne na powierzchni próbki. Towarzyszył temu wzrost masy związany z absorpcją wody. Chociaż niszczenie próbek następowało w podobny sposób, to w próbkach zamrażanych przez 24 godziny w niższych temperaturach  $T_{\min}$  po krótszym okresie dojrzewania  $t_0$  uszkodzenia pojawiały się szybciej i miały charakter nasilony.

Tabela 2

## Ocena trwałości mrozowej betonu

Nr próbki:	Masa próbki: [g] po n cyklach zmiany masy próbek						Liczba cykli do uszkodzenia, tj. powstania rys, złuszczeń, spękań itp.
	28	56	84	112	140	168	
A2 -10 Z	7,15	7,172	7,189	7,218	7,291	-	140
A2 -15 Z	7,14	7,150	7,160	7,217	-	-	112
A5 -10 Z	7,06	7,076	7,086	7,089	7,096	7,114	168
A8 -5 Z	7,319	7,329	7,339	7,352	7,361	7,367	168
A8 -10 Z	7,049	7,053	7,059	7,068	7,072	7,084	158
A8 -15 Z	7,203	7,219	7,221	7,222	7,293	-	140

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki oznaczeń wytrzymałości na ściskania, nasiąkliwości powierzchniowej oraz mrozoodporności pozwalają stwierdzić, że im niższa temperatura zamrożenia  $T_{\min}$  i krótszy czas wstępnego dojrzewania  $t_0$ , tym większe uszkodzenia struktury młodego betonu. Badania stwardniałego betonu pozwalają wysunąć wniosek, że największe spadki wytrzymałości na ściskanie, zwiększona nasiąkliwość powierzchniowa oraz widoczne uszkodzenia mrozowe występują przy zamrożeniu próbek do temperatury  $-15^{\circ}\text{C}$  po 2 godzinach od ułożenia mieszanki betonowej w formie.

Planuje się kontynuowanie badań własnych w kierunku określenia przebiegu procesu zamrażania wody w próbce młodego betonu, wyznaczenie przyrostu wczesnej wytrzymałości betonu na ściskanie w zależności od temperatury dojrzewania oraz określenia warunków zapewniających pełną mrozoodporność stwardniałego betonu.

## BIBLIOGRAFIA

1. Wytyczne wykonywania robót budowlano-montażowych w okresie obniżonych temperatur. Instrukcja ITB nr 282, Warszawa 1995.
2. Bajorek G.: Betonowanie zimą. Budownictwo Technologie Architektura, nr 4, październik 2007, Polski Cement, s. 48-53.
3. Śliwiński J.: Betonowanie zimą. Budownictwo Technologie Architektura, nr 1, styczeń 2000, Polski Cement, s. 28-30.
4. Wawrzeńczyk J.: Diagnostyka mrozoodporności betonu cementowego. Monografie, Studia, Rozprawy, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2002.
5. Krause P.: Wpływ oporu cieplnego osłony termoizolacyjnej na warunki dojrzewania betonu w niskich temperaturach otoczenia. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Gliwice 2005.
6. Pogorzelski J.A.: Ostrożnie z niestacjonarnymi badaniami przewodności cieplnej. Prace ITB nr 1/200, Warszawa 2000.
7. ACI 306R-88 Cold weather concreting. ACI Manual of Concrete Practice, Part 2-1992: Construction Practices and Inspection Pavements, Detroit, Michigan 2004.
8. Jamróży Z.: Beton i jego technologie. PWN, Warszawa 2003.
9. Neville A.M.: Właściwości betonu. Polski Cement, Kraków 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jacek Śliwiński