

dr hab. inż. Marta Kosior-Kazberuk^{1*)}
mgr inż. Adam Sulewski¹⁾

Odporność betonów ze zbrojeniem rozproszonym na łuszczenie pod wpływem cyklicznego zamrażania i rozmrażania

*Resistance of concrete with steel fibers to surface scaling due to
cyclic freezing and thawing*

DOI: 10.15199/33.2015.05.23

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. W artykule przeanalizowano wpływ dwóch rodzajów włókien stalowych na odporność na powierzchniowe łuszczenie betonu poddanego cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu w obecności roztworu soli odładzającej. Badano dwa typy powierzchni próbek: ciętą i wylewaną. Stwierdzono korzystny wpływ zbrojenia rozproszonego na ograniczenie masy złuszczonego materiału. Skuteczność działania włókien była związana z ich kształtem i wymiarami.

Słowa kluczowe: beton, włókna stalowe, cykliczne zamrażanie i rozmrażanie, złuszczenia.

Abstract. The effect of two types of steel fibers on the surface scaling resistance of concrete subjected to cyclic freezing and thawing in the presence of de-icing salt solution was analyzed. Both the cut and cast surfaces of samples were tested. The dispersed reinforcement was found to improve the scaling resistance significantly. However, the effectiveness of the fibers was related to their shape and dimensions.

Keywords: concrete, steel fibers, cyclic freezing and thawing, scaling.

Podczas oceny przydatności kompozytów cementowych ze zbrojeniem rozproszonym do zastosowań konstrukcyjnych uwagę głównie zwraca się na ich właściwości mechaniczne [1, 2]. Natomiast jest stosunkowo mało rozpoznany zagadnieniem mrozoodporność tego rodzaju materiałów. Wyniki dotychczasowych badań nad mrozoodpornością betonów z dodatkiem włókien są często rozbieżne, co wynika z różnego składu betonów i wykorzystywanych włókien oraz stosowanych metod oceny. Najszerze badania nad wpływem włókien stalowych na odporność betonu na działanie mrozu prowadzili Cantin i Pigeon [3]. Stwierdzili m.in., że włókna stalowe długości 54 i 60 mm nie mają znaczącego wpływu na odporność betonu na powierzchniowe łuszczenie. Natomiast obecność krótkich włókien, długości 3 mm, powodowała ograniczenie degradacji betonu. Sun i in. [4] stwierdzili korzystny wpływ włókien długości 20 mm na odporność na wewnętrzne niszczenie betonu wskutek oddziaływania mrozu, ocenia-

ne na podstawie zmian wartości dynamicznego modułu sprężystości. Podobne efekty uzyskali Niu i in. [5], badając wpływ włókien długości 30 mm. Natomiast Quanbing i Beirong [6] zauważyli, że włókna długości 35 mm znacznie utrudniają prawidłowe napowietrzenie mieszanki betonowej, a tym samym przyczyniają się do pogorszenia mrozoodporności betonu, pomimo zwiększenia wytrzymałości materiału na rozciąganie. Analizując wyniki wspomnianych badań, stwierdzono, że brakuje danych dotyczących wpływu zbrojenia rozproszonego na typowy proces łuszczenia powierzchniowego w warunkach oddziaływania cieczy na wybraną powierzchnię elementu betonowego, sytuacji częściej w warunkach eksploatacji konstrukcji betonowych i żelbetowych. Łuszczenie powierzchni elementu betonowego może być efektem propagacji istniejących defektów lub rozwoju pęknięć od warstwy lodu na powierzchni, w głąb elementu [7]. Zniszczenie mrozowe następuje wówczas, kiedy ciśnienie wewnętrzne, w wyniku procesów termiczno-wilgotnościowych, wytworzy lokalne naprężenia przekraczające wytrzymałość materiału na rozciąganie. Wiele badań [6, 7] wskazuje, że odporność materia-

łu na uszkodzenia mrozowe zależy od jego wytrzymałości i odkształcalności.

W artykule przedstawimy wyniki badań nad wpływem wybranych włókien stalowych na podatność betonu na powierzchniowe łuszczenia w warunkach cyklicznego zamrażania w obecności roztworu soli chlorkowej.

Opis badań doświadczalnych

Mieszanki betonowe wykonano z zastosowaniem cementu portlandzkiego CEM I 42,5N-HSR/NA, przeznaczonego do wykonywania betonów do konstrukcji eksploatowanych w warunkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania. Zawartość cementu we wszystkich badanych betonach wynosiła 350 kg/m³. Założono stałą wartość współczynnika w/c = 0,40. Jako kruszywo zastosowano mieszaninę piasku o uziarnieniu do 2 mm oraz kruszywa grubego naturalnego o ziarnach do 8 mm. Przyjęto stały stos okruszowy we wszystkich betonach.

Zbrojeniem rozproszonym były włókna stalowe (A i B), których właściwości podano w tabeli 1. Zbrojeniem rozproszonym zastąpiono część kruszywa. Włókna wprowadzono w ilości 30 i 60 kg/m³, tj. 0,38% i 0,76% objętości mieszanki betonowej, co mieściło się w gra-

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

^{*)} Autor do korespondencji;
e-mail: m.kosior@pb.edu.pl

Tabela 1. Właściwości stosowanych włókien

Table 1. Properties of fibres used

Właściwości	A	B
	Dramix Hi Perform OL 6/1.16	Dramix RC-65/35-BN
Kształt	proste	haczykowane
Długość [mm]	6	35
Średnica [mm]	0,16	0,55
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	2000	1345
Moduł sprężystości [GPa]	210	

nicach zalecanych i stosowanych w praktyce [2, 3, 5]. W celu prawidłowego rozprzodzenia włókien w mieszance betonowej zastosowano superplastyfikator FM-2, na bazie polikarboxylatów, dozowany wraz z wodą zarobową w ilości 0,6% masy cementu. Porównawczo, badano także właściwości betonu bez dodatku włókien.

Elementy próbne miały wymiar 100 x 100 x 400 mm. Po rozformowaniu próbki przechowywano w wodzie wodociągowej w temperaturze $18 \pm 2^\circ\text{C}$, do czasu przeprowadzenia właściwego badania. Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu określono, wykorzystując próbki beleczkowe. Do badania wytrzymałości na ściskanie, gęstości objętościowej i nasiąkliwości wodą wycięto kostki o wymiarach 100 x 100 x 100 mm, a do oceny odporności na powierzchniowe łuszczenie oraz podciągania kapilarnego roztworu soli chlorkowej – płytki 100 x 100 x 50 mm. Odporność betonów na zamrażanie i rozmrażanie w obecności 3% roztworu NaCl, której miarą jest masa złuszczeń powierzchniowych, badano zgodnie z procedurą opracowaną na podstawie normy PKN-CEN/TS 12390-9 (slab test) [8]. Podatność na powierzchniowe łuszczenie oceniano zarówno na powierzchniach ciętych, jak i wylewanych. Próbki poddano 100 cyklom zamrażania i rozmrażania.

Omówienie wyników badań

Wybrane właściwości, określone po 28 dniach dojrzewania, charakteryzujące badane betony przedstawiono w tabeli 2. Obecność włókien stalowych nie wpłynęła znacząco na właściwości fizyczne badanych betonów, takie jak gęstość objętościowa, nasiąkliwość wodą i zdolność do kapilarnego podciągania roztworu soli, natomiast nieznacznie zwiększyła wytrzymałość na ściskanie

Tabela 2. Średnie wyniki wytrzymałości na ściskanie f_{cm} , wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu f_{ctm} , gęstości objętościowej ρ , nasiąkliwości wagowej wodą η_w , podciągania kapilarnego przez powierzchnię wylewaną η_{kap1} , podciągania kapilarnego przez powierzchnię ciętą η_{kap2}

 Table 2. Mean test results of compressive strength f_{cm} , flexural strength f_{ctm} , bulk density ρ , water absorptivity η_w , capillary suction for cast surface η_{kap1} , capillary suction for cut surface η_{kap2}

Oznaczenie betonu	Zawartość włókien	Parametry					
		f_{cm} [MPa]	f_{ctm} [MPa]	ρ [kg/m ³]	η_w [%]	η_{kap1} [kg/m ²]	η_{kap2} [kg/m ²]
0	–	67,7	5,0	2333	3,9	3,4	3,4
A 0,38	0,38%	70,3	6,2	2276	4,1	3,0	3,5
A 0,76	0,76%	73,8	6,7	2250	3,8	3,3	3,4
B 0,38	0,38%	68,0	6,5	2240	4,0	3,4	3,5
B 0,76	0,76%	70,1	7,9	2362	4,2	3,4	3,6

betonów i w znaczny sposób wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu. Wyniki pomiarów skumulowanej masy złuszczeń z powierzchni ciętej i wylewanej próbek betonów z włóknami pokazano odpowiednio na rysunkach 1 i 2.

Analizując zależność masy złuszczeń od liczby cykli zamrażania i rozmrażania stwierdzono, że powierzchnia wy-

lewana próbek była znacznie bardziej podatna na łuszczenie niż powierzchnia cięta. W przypadku betonu kontrolnego średnia masa złuszczeń po 100 cyklach z powierzchni ciętej wyniosła 1,96 kg/m², a z wylewanej – 3,4 kg/m². Na wynik badania miały wpływ odmienne właściwości fizyczne i chemiczne powierzchni wylewanej w porównaniu z ciętą. Wprowadzenie włókien stalowych znacznie poprawiło odporność betonu na powierzchniowe łuszczenie, jednak wpływ włókien był różny w zależności od ich cech i badanej powierzchni. Zarówno w przypadku powierzchni ciętej, jak i wylewanej, korzystniejsze efekty, polegające na ograniczeniu masy złuszczonego materiału, uzyskano, gdy beton zawierał proste, drobne włókna A. Porównanie wyników oznaczenia masy złuszczeń z powierzchni ciętej (rysunek 1) próbek betonów z prostymi, drobnymi włóknami A i grubszymi z haczykowatymi zakończeniami B wskazują, że odporność na łuszczenie w niewielkim stopniu zależy od zawartości włókien. Masa złuszczeń zwiększała się wraz z liczbą cykli zamrażania i rozmrażania i po 100 cyklach wyniosła 0,36 i 0,42 kg/m² w przypadku betonów z włóknami A, a z włóknami B – 0,64 i 0,58 kg/m², odpowiednio w przypadku mniejszej i większej zawartości zbrojenia rozproszonego. Podczas zamrażania powierzchni wylewanej (rysunek 2), efektywność oddziaływania włókien była bardziej zróżnicowana. Zwiększenie zawartości włókien A z 0,38% do 0,76% spowodowało ograniczenie średniej masy złuszczonego materiału o ok. 20%. W przypadku betonów z włóknami B, różnice średniej masy złuszczeń były znacznie większe. Skumulowana masa złuszczeń z powierzchni próbek betonu zawierającego 0,76% włókien B wyniosła 0,85 kg/m². Natomiast masa złuszc-

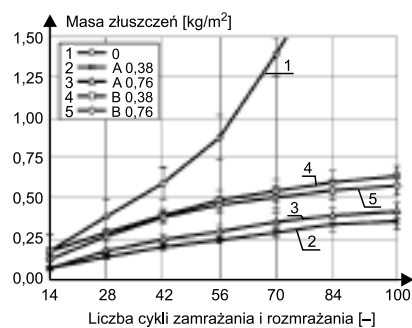

Rys. 1. Wyniki oznaczenia masy złuszczeń m z powierzchni ciętej w zależności od liczby cykli zamrażania i rozmrażania n oraz rodzaju i zawartości włókien stalowych

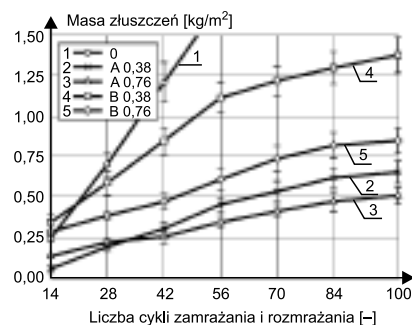
 Fig. 1. Mass of scaling m from cut surface vs number of freeze-thaw cycles n as well as the type and content of steel fibers

Rys. 2. Wyniki oznaczenia masy złuszczeń m z powierzchni wylewanej w zależności od liczby cykli zamrażania i rozmrażania n oraz rodzaju i zawartości włókien stalowych

 Fig. 2. Mass of scaling m from cast surface vs number of freeze-thaw cycles n as well as the type and content of steel fibers