

Patrycja MIERA*
Politechnika Śląska

WPLYW RODZAJU WŁÓKIEN NA SAMOZAGESZCZALNOŚĆ I MROZODPORNOŚĆ BETONU

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu włókien stalowych falistych i polipropylenowych fibrylowanych na samozagęszczalność mieszanek betonowych oraz mrozoodporność betonów. Badania wykonano na dwóch mieszankach o różnym stosunku wodno-cementowym (w/c) oraz o różnym wskaźniku wypełnienia kruszywa zaczynem (φ_{kz}), różnicując ich skład rodzajem włókien i domieszką napowietrzającą.

INFLUENCE OF FIBERS TYPE ON SELF COMPACTING AND FROST RESISTANCE OF CONCRETE

Summary. In this paper are presented both influence of steel- and polypropylene fibers on self compacting and internal frost resistance of concrete. The researches were carried out on two concrete mixes with different water-cement ratio (w/c), and different paste – filled aggregate (φ_{kz}), differentiating their content with the fibers' type and air entrained admixture.

1. Wprowadzenie

Fibrobeton (beton zbrojony włóknami) jest od dawna znanym i stosowanym materiałem budowlanym. W przypadku nowych betonów, jakimi są fibrobetony samozagęszczalne, istnieje wiele kwestii nierozpoznanych, związanych ze zmianą właściwości reologicznych samozagęszczalnej mieszanki betonowej z dodanymi do niej włóknami. Na podstawie analizy literatury można stwierdzić, iż istnieje niewiele badań wpływu włókien na samozagęszczalność i odporność mrozową betonów samozagęszczalnych (BSZ). Świadczy o tym również brak norm lub jakichkolwiek ustaleń dotyczących projektowania takich betonów o określonych właściwościach.

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Janusz Szwabowski.

Badania wpływu włókien na samozagęszczalność prowadzili S. Grünwald i in. [1] oraz T. Ponikiewski [2]. Wykazali oni, iż wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien stalowych zmniejsza się średnica rozptywu mieszanek betonowych

Badania nad mrozoodpornością BSZ z włóknami polipropylenowymi rozpoczął B. Persson [3]. Stwierdził on, że betony napowietrzane o w/c równym 0,42 i 0,40 oraz udziale objętościowym włókien 0,15% po 300 cyklach zamrażania i rozmrażania wg metody ASTM C 666-92 okazały się niemrozoodporne.

Taki stan wiedzy na temat fibrobetonów samozagęszczalnych skłonił autorkę do podjęcia badań nad wpływem włókien na właściwości reologiczne mieszanki betonowej i mrozoodporności betonu. W badaniach zwrócono szczególną uwagę na wpływ rodzaju włókien, ich kształtu i geometrii (długość i średnica) oraz udziału objętościowego w mieszance betonowej na jej mrozoodporność i samozagęszczalność.

2. Cel i zakres badań własnych

Celem badań było określenie wpływu włókien na samozagęszczalność i mrozoodporność betonów. Wiadomo, że zawartość włókien wpływa na ograniczenie samozagęszczalności mieszanek betonowych. W związku z tym zawężono zakres badań do dwóch poziomów samozagęszczalności mieszanek wyjściowych. Wybrano mieszanki z dolnego i górnego zakresu samozagęszczalności (średnica rozptywu 650 mm i 750 mm). W celu określenia wpływu rodzaju włókien na samozagęszczalność i mrozoodporność betonu, wybrano włókna stalowe i polipropylenowe. Według danych literaturowych [4], włókna te ograniczają skurcz betonu, podwyższają wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie oraz poprawiają mrozoodporność. Spośród włókien stalowych wybrano włókna faliste o długości 30 mm i średnicy 0,7 mm, a wśród włókien polipropylenowych wybrano włókna fibrylowane o długości 19 mm. Długość włókien została dobrana ze względu na maksymalny wymiar kruszywa w stosie okrucowym. Udział objętościowy włókien określono ze względu na zachowanie samozagęszczalności mieszanek betonowych.

Do kilku mieszanek zastosowano domieszkę napowietrzającą, w celu porównania wpływu włókien i domieszki napowietrzającej na mrozoodporność BSZ. Ilość domieszki napowietrzającej dobrano w taki sposób, aby mieszanka bez włókien po dodaniu domieszki napowietrzającej zawierała 4÷7% powietrza.

Aby zidentyfikować wpływ włókien na samozagęszczalność i mrozoodporność BSZ, badaniom poddano 12 różnych fibrobetonów. Składy poszczególnych mieszanek przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Skład mieszanek betonowych

Symbol mieszanki	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Składniki												
w/c	0,40						0,50					
Φ_{kz}	1,35						1,30					
Mączka wapienna [kg]	54,8						157,6					
Cement CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA [kg]	494,8						367,6					
Woda [kg]	192,4						183,6					
Piasek [kg]							908,8					
Kruszywo żwirowe 2÷8 mm [kg]							432,0					
Kruszywo żwirowe 8÷16 mm [kg]							259,2					
Superplastyfikator (SP) [%mc]	0,94						1,11					
Domieszka napowietrzająca (AEA) [0,0024% ms]	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
Włókna polipropylenowe [%obj.]	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	0,1
Włókna stalowe [%obj.]	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	-

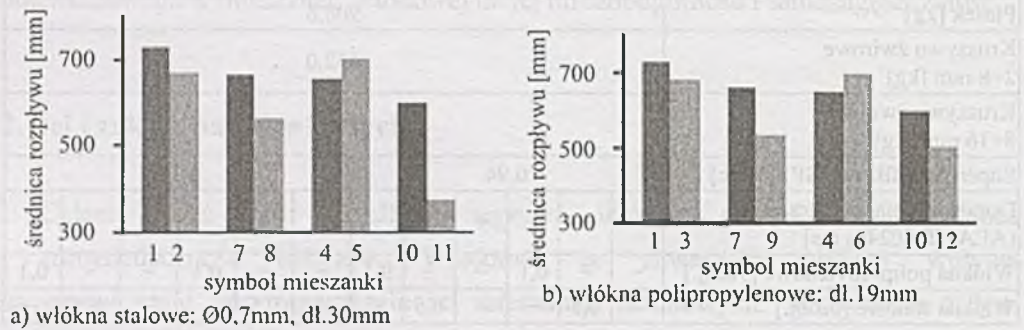
Proces wykonania mieszanek betonowych rozpoczęto od wymieszania suchych składników (z wyjątkiem włókien), następnie dodano wodę z rozproszonym w niej superplastyfikatorem i mieszano jeszcze przez pięć minut. Włókna dodano po wstępnym wymieszaniu wszystkich składników, a domieszkę napowietrzającą zaraz po dodaniu wody. Po 20 minutach (licząc od początku mieszania) przemieszano mieszankę betonową ponownie i wykonano badania średnicy, czasu rozplywu, gęstości objętościowej oraz parametrów reologicznych. Średnicę i czas rozplywu mieszanki określono wg ASTM C 143 [5], gęstość objętościową wg PN-EN 12350-6 [6], a właściwości reologiczne za pomocą reometru BT2. Następnie uformowano próbki do badań wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu oraz mrozoodporności betonu. Do badań wytrzymałości na ściskanie wykonano 3 próbki sześciennie o wymiarze boku 15 cm. Wytrzymałość na ściskanie wykonano wg PN-EN 12390-3 [7]. Do badania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu wykonano 3 próbki prostokątne o wymiarach 15 cm × 15 cm × 60 cm, a badanie wykonano wg PN-EN 12390-5 [8]. Badanie mrozoodporności przeprowadzono na 6 próbkach sześciennych o wymiarze boku 15 cm (3 próbki zamrażane i 3 próbki świadki).

Do badań mrozoodporności betonów zastosowano metodę polegającą na analizie wytrzymałości na ściskanie po 150 cyklach zamrażania i odmrażania wg PN-88/B-06250 [9].

3. Wyniki badań i ich analiza

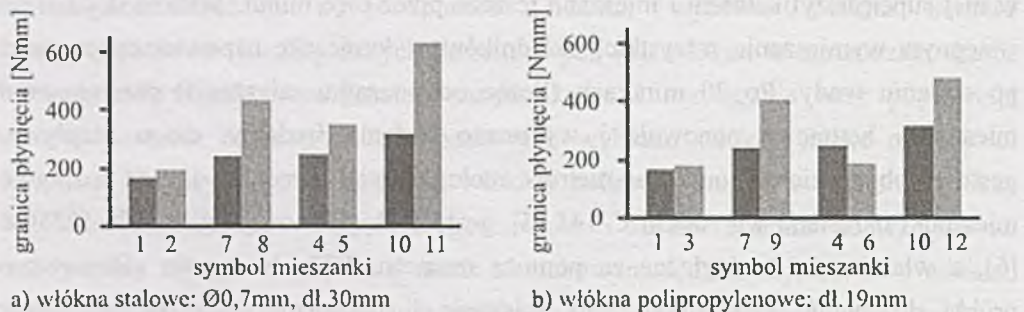
3.1. Analiza wpływu włókien na samozagęszczalność mieszanek betonowych

Badanie wykazało, iż włókna pogarszają samozagęszczalność (rys. 1 i 2). Taki sam efekt zaobserwowali w swoich badaniach S. Grünwald i in. [1] oraz T. Ponikiewski [2].



Rys. 1. Wpływ udziału objętościowego włókien na średnicę rozplywu BSZ

Fig. 1. Influence of fiber's amount on flow's diameter of self compacting concrete (SCC)

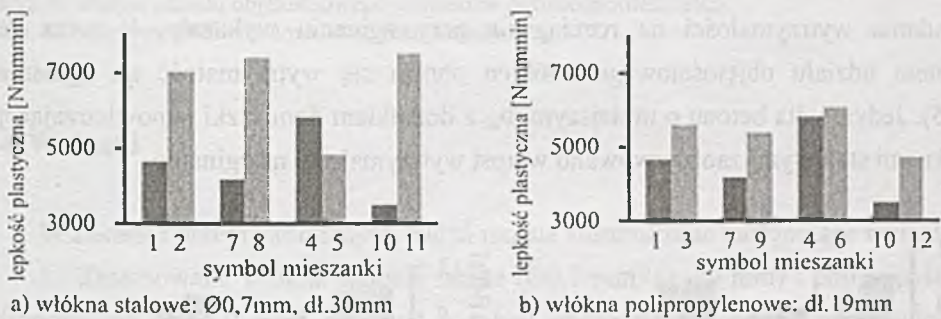


Rys. 2. Wpływ udziału objętościowego włókien na granicę plynięcia BSZ

Fig. 2. Influence of fiber's amount on yield value of SCC

Za dolną granicę samozagęszczalności uważa się średnicę rozplywu 500 mm [10] i granicę plynięcia poniżej 600 Nmm , natomiast za górną granicę samozagęszczalności uważa się średnicę rozplywu 850 mm [10]. W mieszanekach o większym Φ_{Kz}

z domieszką napowietrzającą dodatek włókien spowodował niewielki wzrost średnicy rozplywu w porównaniu z mieszankami bez domieszki napowietrzającej. W mieszankach o mniejszym Φ_{kz} z dodatkiem włókien i domieszką napowietrzającą zaobserwowano utratę samozagęszczalności. Tak więc stopień zmian samozagęszczalności zależy nie tylko od charakterystyk włókien, lecz również od właściwości mieszanek betonowych. Podobny wpływ zaobserwowano dla lepkości plastycznej. Lepkość plastyczna wzrasta wraz z dodatkiem włókien. BSZ z włóknami stalowymi wykazały większy przyrost lepkości plastycznej niż BSZ z włóknami polipropylenowymi (rys. 3).

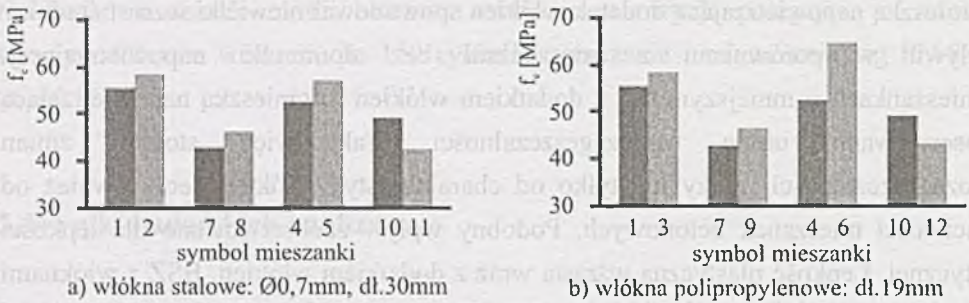


Rys. 3. Wpływ udziału objętościowego włókien na lepkość plastyczną BSZ

Fig. 3. Influence of fiber's amount on plastic viscosity of SCC

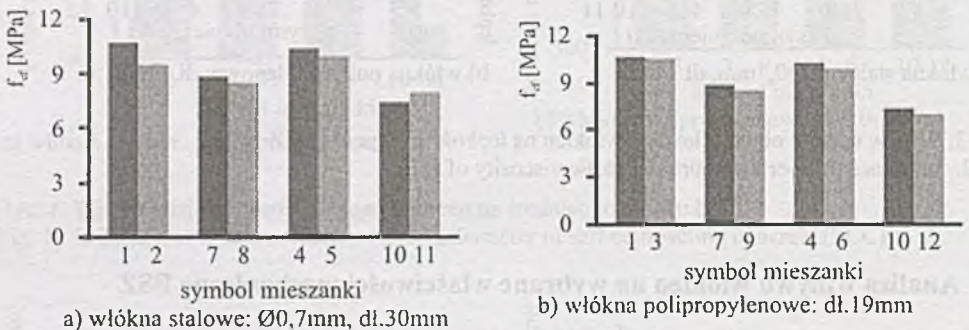
3.2. Analiza wpływu włókien na wybrane właściwości mechaniczne BSZ

Wraz ze zwiększeniem udziału objętościowego włókien wzrasta wytrzymałość na ściskanie (rys. 4). Dla betonów o większym Φ_{kz} obserwuje się większy przyrost wytrzymałości na ściskanie. Przyrost wytrzymałości jest związany z ilością włókien wprowadzonych do mieszanek. Udział objętościowy włókien był ograniczony warunkiem samozagęszczalności mieszanek betonowych. Według źródeł literaturowych, zalecany udział objętościowy włókien stalowych w betonach samozagęszczalnych to 1,5 i 2,0%, natomiast polipropylenowych to 0,2, a nawet 0,3%. Nie odnotowano wpływu rodzaju włókien na wytrzymałość na ściskanie.



Rys. 4. Wpływ udziału objętościowego włókien na wytrzymałość na ściskanie (f_c) BSZ
 Fig. 4. Influence of fiber's amount on compressive strength (f_c) of SCC

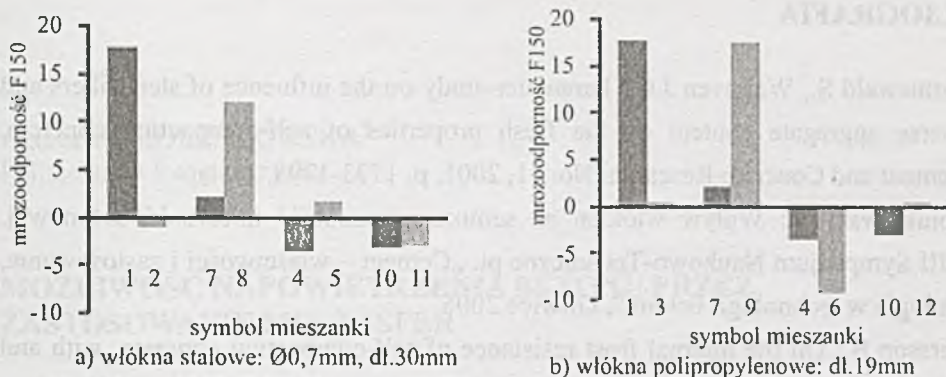
Badania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu wykazały, iż wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien obniża się wytrzymałość na zginanie (rys. 5). Jedynie dla betonu o mniejszym Φ_{kz} z dodatkiem domieszki napowietrzającej i włóknami stalowymi zaobserwowano wzrost wytrzymałości na zginanie.



Rys. 5. Wpływ udziału objętościowego włókien na wytrzymałość na zginanie (f_{ct}) BSZ
 Fig. 5. Influence of fiber's amount on tensile strength at bending (f_{ct}) of SCC

W badaniach mrozoodporności zaobserwowano poprawę tej właściwości dla betonów o większym wskaźniku Φ_{kz} i mniejszym stosunku w/c (rys. 6). Nie odnotowano istotnej różnicy pomiędzy mrozoodpornością betonów z włóknami stalowymi a polipropylenowymi. W betonach z domieszką napowietrzającą zaobserwowano mniejszy wpływ włókien na mrozoodporność. Jedynie dla betonu o mniejszym stosunku w/c z włóknami stalowymi oraz domieszką napowietrzającą odnotowano 2% spadek mrozoodporności F150.

Włókna polipropylenowe poprawiły mrozoodporność betonów o mniejszym wskaźniku w/c z domieszką napowietrzającą.



Rys. 6. Wpływ udziału objętościowego włókien na mrozoodporność BSZ

Fig. 6. Influence of fiber's amount on frost resistance of SCC

4. Wnioski

W zakresie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Zastosowane włókna stalowe faliste ($\text{Ø}0,7 \text{ mm} \times \text{dl. } 30 \text{ mm}$) i polipropylenowe fibrylowane (dl. 19 mm) redukują rozptyw mieszanki betonowej oraz zwiększają granicę płynięcia i lepkość plastyczną.

2. Domieszka napowietrzająca dodana do mieszanki betonowej w mniejszym stopniu redukuje średnicę rozptywu niż same włókna.

3. W mieszankach betonowych o większym Φ_{kz} wprowadzona domieszka napowietrzająca i włókna zwiększyły średnicę rozptywu.

4. Włókna stalowe i polipropylenowe zwiększają wytrzymałość na ściskanie BSZ, a obniżają wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu BSZ.

5. W betonach o stosunku $w/c = 0,4$ i wskaźniku $\Phi_{kz} = 1,35$ włókna poprawiają mrozoodporność, natomiast w betonach o $w/c = 0,5$ i wskaźniku $\Phi_{kz} = 1,30$ obniżają ją.

Przeprowadzone badania były badaniami rozpoznawczymi. Posłużą one do zaplanowania badań zasadniczych, w których badania wpływu włókien na mrozoodporność zostaną przeprowadzone w znacznie szerszym zakresie, w zależności od rodzaju włókien i ich udziału objętościowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Grünewald S., Walraven J.C.: Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete. Cement and Concrete Research, No. 31, 2001, p. 1793-1798.
2. Ponikiewski T.: Wpływ włókien na samozagęszczalność mieszanki betonowej. VIII Sympozjum Naukowo-Techniczne pt. „Cement – właściwości i zastosowanie, reologia w technologii betonu”, Gliwice 2006.
3. Persson B.: On the internal frost resistance of self-compacting concrete, with and without polypropylene fibers. Materials and Structures, No. 39, 2006, p. 707-716.
4. Śliwiński J.: Beton zwykły – projektowanie i podstawowe właściwości. Polski Cement, Kraków 1999.
5. ASTM C 143 “Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete”.
6. PN-EN 12350-6 „Badania mieszanki betonowej. Część 6: Gęstość”.
7. PN-EN 12390-3 „Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania”.
8. PN-EN 12390-5 „Badania betonu. Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badania”.
9. PN-88/B-06250 „Beton zwykły”.
10. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use, May 2005, www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Brandt