

mgr inż. Paulina Iwaniuk*
mgr inż. Julita Krassowska*
prof. dr hab. inż. Andrzej Łapko*

Wzmacnianie stref ścinania belek żelbetowych z lokalnym zastosowaniem włókien stalowych

*Strengthening reinforced concrete beams in shear zones
with local use of steel fibre*

Włókna stalowe dodawane do betonu zmieniają charakter jego pracy, z materiału kruchości staje się on ciałem quasi-plastycznym. Oznacza to, że po przekroczeniu naprężeń pierwszej rysy wykazuje dalej swoją nośność, czasami nawet wzrastającą wraz z wielkością odkształcenia [1]. Zastosowanie włókien stalowych wpływa również na obniżenie skurczu, zwiększenie odporności na ścieranie i udarność, obniżenie modułu sprężystości, podniesienie wartości energii zniszczenia [2]. Pomimo wielu zalet włókna są stosowane przede wszystkim w płytach lub betonie natryskowym [3]. Przeprowadzone dotychczas badania ograniczają się do określania właściwości mechanicznych betonu z dodatkiem włókien stalowych i optymalizacji składu. Nieliczne badania wykazują jednak możliwości zastąpienia zbrojenia prętowego zbrojeniem rozproszonym. Badania przeprowadzone przez J. Katzera wykazują korzystny wpływ włókien na obciążenia zmęczeniowe i uderzeniowe [4]. Pogan stwierdził, że dodatek włókien do betonów konstrukcyjnych prowadzi do redukcji stalowego zbrojenia prętami podłużnymi, a także pozbawienia zbrojenia strzemionami [5]. Badania nad możliwością redukcji zbrojenia na ścinanie przez dodatek włókien stalowych do betonu przeprowadzone zostały w USA przez Dinha i innych [6]. Natomiast w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Białostockiej prowadzono badania w celu określenia wpływu dodatku włókien stalowych na nośność żelbetowych belek na zginanie [7]. Zostały również przeprowadzone badania wpływu włókien bazaltowych (BFRP) na nośność na ścinanie [8].

W artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych wpływu włó-

kien stalowych na nośność ścinania w belkach żelbetowych zbrojonych prętami stalowymi [9]. Badania przeprowadzone na modelach belek miały na celu wyjaśnienie zachowania się takich belek w strefie ścinania oraz określenie ich nośności na ścinanie w celu wykazania możliwości wykorzystania włókien stalowych jako minimum zbrojenia na ścinanie.

Badania materiałowe

Badania właściwości mechanicznych betonu z dodatkiem włókien stalowych polegały na ocenie wytrzymałości na ściskanie oraz rozciąganie przy zginaniu. Badania zostały wykonane przy użyciu cementu portlandzkiego CEM I 32,5R w ilości 400 kg oraz kruszywa o uziarnieniu 0,125 – 4 mm o punkcie piaskowym wynoszącym 95%. Użyto włókien stalowych długości 50 mm i średnicy 1 mm, zakończonych haczykowato. Granica plastyczności stali włókien wynosiła min. 800 MPa.

Wykonano dwie serie badawcze o udziale objętościowym włókien 0% (w belkach referencyjnych) i 1,5% (w belkach z fibrobetonu). Ze względu na zmniejszenie urobialności mieszanki betonowej przez dodanie włókien, użyto domieszki upłynniającej. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu przedstawiono w tabeli 1. Włókna stalowe w ilości 1,5% (w stosunku objętościowym) nie wykazały wpływu na wytrzymałość na ściskanie. Niewielki spadek mógł być spowodowany rozrzutami wyników badań. Otrzymany beton

przypisano do klasy C25/30. Próbkę z dodatkiem włókien stalowych wykazały wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu 4,32 MPa, natomiast próbki bez dodatku włókien 3,04 MPa, co oznacza, że przyrost nośności wyniósł 42%. Zauważono również zmianę mechanizmu zniszczenia belek modelowych. Podczas obciążenia, po pojawieniu się pierwszej rysy, belka nie utraciła nośności. Po osiągnięciu siły niszczącej uległa zniszczeniu przy znacznie większym ugięciu i rozwarciu rysy niszczącej niż belki bez dodatku włókien.

Założenia do badań belek modelowych ze zbrojeniem mieszanym

W zależności od zawartości włókien stalowych i szkieletu zbrojenia modele belek zostały podzielone na trzy serie: A, B i C. W każdej serii wykonano po trzy belki (tabela 2). Belki z serii A zbrojono na ścinanie strzemionami o rozstawie po jednej stronie osi symetrii ustalonym wg PN-EN 1992-1-1, natomiast po drugiej stronie – o rozstawie dwukrotnie większym. W serii B po jednej stronie belek strzemiona miały rozstaw dwukrotnie większy, niż ustalony z PN-EN 1992-1-1, natomiast po stronie drugiej nie zastosowano w ogóle strzemion. Belki serii C były całkowicie pozbawione strzemion.

Badania miały na celu określenie ugięcia belek, pomiar szerokości rys prostopadłych i ukośnych oraz określenie nośności na ścinanie i/lub zginanie. W strefie ścisanej zastosowano pręty 2 \varnothing 6 mm, a w rozciąganej 2 \varnothing 8 mm.

Tabela 1. Wytrzymałość na ściskanie matrycy betonowej z dodatkiem włókien stalowych

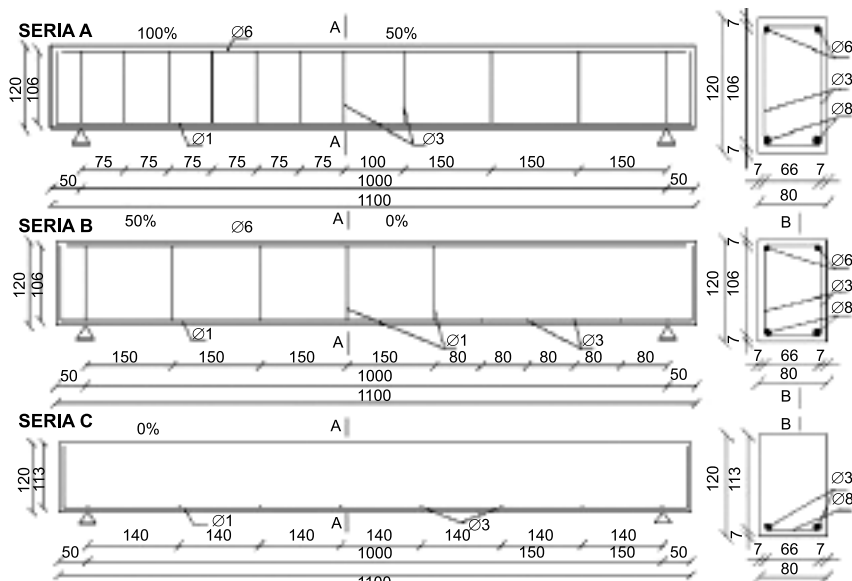
Ilość włókien Vf [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Przyrost wytrzymałości na ściskanie [%]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa]	Przyrost wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu [%]
0	30,58	–	3,04	–
1,5	29,62	-3,14	4,32	42,11

* Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Tabela 2. Zawartość włókien i rozstaw strzemion w belkach modelowych poszczególnych serii

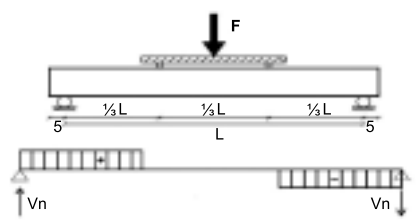
Seria	Zawartość włókien stalowych [%]		Szkielec zbrojenia, rozstaw strzemion wg PN-EN	
	0	1,5	1/2 rozpiętości belki	1/2 rozpiętości belki
	Liczba elementów [szt]			
A	1	2	100%	50%
B	1	2	50%	0%
C	1	2	0%	

Strzemiona konstrukcyjne i klamry spinające wykonano z drutu $\varnothing 3$ mm. Punkty podparcia belek umieszczano w odległości 5 cm od zewnętrznej krawędzi belek, uzyskując rozpiętość 1000 mm. Schemat zbrojenia na zginanie i ścinanie przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Rysunek zbrojenia belek modelowych serii A, B i C

Każdy element belkowy został obciążony siłami skupionymi w układzie czteropunktowym, co zapewniło stały rozkład siły poprzecznej na rozpiętości belek wg rysunku 2. Po wstępnych cyklach obciążenia przeprowadzono testy badawcze belek, aż do ich zniszczenia. Belki obciążano stopniowo, po każdym kroku dokonując odczytów ugięć w środ-



Rys. 2. Schemat obciążenia belek modelowych

ku rozpiętości i na podporach oraz pomiarów odkształceń betonu w strefie środkowej belek. W fazie wystąpienia rys rozpozczęto pomiar ich szerokości. Za nośność na ścinanie przy zginaniu belek przyjmowano wartość sił niszczących na poziomie, na którym zarejestrowano po raz pierwszy spadek ich nośności.

Wyniki badań

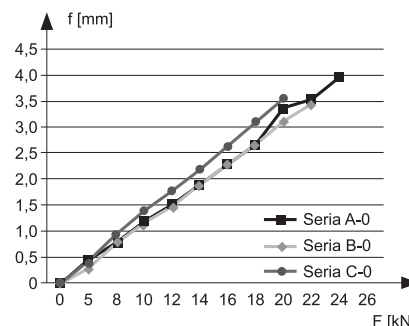
Wpływ włókien stalowych na nośność na ścinanie. Wyniki badań belek żelbetowych zestawiono w tabeli 3. Użytkano przyrost nośności belek z trzech serii badawczych z dodatkiem włókien stalowych, w porównaniu z belkami bez włókien. Największy przyrost nośności na ścinanie zanotowano w przypadku serii C, dla belek pozbawionych strzemion.

Tabela 3. Wyniki badań belek serii A, B i C. Belki A-0, B-0 i C-0 – referencyjne (bez włókien)

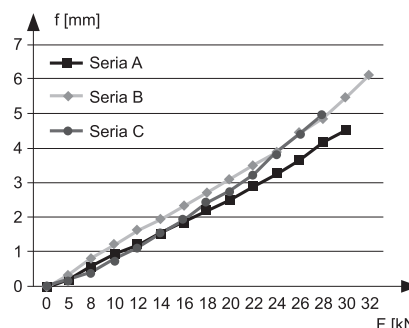
Elementy w serii badawczej	Siła niszcząca [kN]	Przyrost nośności na ścinanie
A-0	24	–
A-1 i A2	34	41,7%
B-0	22	–
B-1 i B-2	32	45,5%
C-0	20	–
C-1 i C-2	30	50,0%

gły gwałtownemu zniszczeniu, lecz zachowywały spójność kształtu. Efektem tego było powstawanie większej liczby rys ukośnych. Belki kontrolne (bez dodatku włókien) ulegały kruchemu pękaniu i gwałtownemu zniszczeniu po pojawieniu się pierwszej ukośnej rysy. Zauważono, że włókna stalowe zachowywały się jak mikrostrzemiona, które do ostatniego momentu zespały dwie oddzielające się części elementu badawczego.

Wpływ włókien stalowych na ugięcie. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono zależność ugięcia f od siły obciążającej F dla poszczególnych serii badawczych. Wyniki badań wykazały, że pod wpływem siły obciążającej belki z dodatkiem włókien wykazywały mniejsze ugięcia. Szerokość rys ukośnych okazała się również mniejsza w przypadku elementów ze zbrojeniem rozproszonym, w porównaniu z belkami kontrolnymi bez włókien.



Rys. 3. Zależność ugięcia f od siły niszczącej F w przypadku elementów bez dodatku włókien



Rys. 4. Zależność ugięcia f od siły niszczącej F w przypadku elementów z dodatkiem włókien

Włókna stalowe rozmieszczone równomiernie w mieszance betonowej przejęły właściwości strzemion (naprężenia rozciągające w betonie). Zaobserwowany przyrost nośności wyniósł ok. 50% w porównaniu z belkami referencyjnymi (pozbawionymi włókien).

Wpływ włókien stalowych na model zniszczenia. Niemal we wszystkich belkach osiągnięto model zniszczenia przez ścinanie. Zniszczenia nastąpiły po tej stronie belki, po której zastosowano mniejszą liczbę strzemion lub nie zastosowano ich w ogóle.

Fibrobeton w badanych belkach wykazał wyraźne właściwości quasi-plastyczne. Po osiągnięciu wartości sił niszczących, belki z dodatkiem włókien nie ule-



ARBOCEL® - Rysy pod kontrolą

- wyjątkowe włókna na bazie celulozy, redukujące ilość powstających rys i spękań tynków, szpachli i farb



RETENMAIER POLSKA
SP. z o.o.

Al. Jerozolimskie 181
02-222 Warszawa
Tel. + 48 (22) 608 51 09
Fax + 48 (22) 608 51 51

Związane jest to ze zmianą charakteru pracy tworzywa kompozytowego belek na quasi-plastyczny.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono, że:

- we wszystkich seriach badawczych belek fibrobetonowych z dodatkiem włókien stalowych nastąpiła poprawa nośności na ścinanie w porównaniu z belkami czysto żelbetowymi; przyrost nośności oceniono na 42 – 50%;
- stosowanie włókien stalowych z haczykowatymi końcami długości 50 mm i średnicy 1 mm, w ilości 1,5% w całej objętości mieszanki betonowej, pozwala na całkowite wyeliminowanie zbrojenia na ścinanie;
- stosowanie zbrojenia włóknami stalowymi zamiast tradycyjnego zbrojenia na ścinanie pozwoliłoby na skrócenie czasu wykonywania robót, a dodatkowo na obniżenie ich kosztów.

Zespół badawczy planuje przeprowadzenie kolejnych serii badań na elementach zginanych w skali naturalnej, w tym również belek dwuprzęsłowych, wykonanych z fibrobetonów z włóknem bazaltowym.

Streszczenie

Zespół Politechniki Białostockiej przeprowadził badania w celu wyjaśnienia możliwości częściowego lub całkowitego zastąpienia strzemion za pomocą stalowego zbrojenia rozproszonego w belkach zginanych. Zbadano trzy serie modeli belek żelbetowych o rozpiętości 1100 mm i przekroju poprzecznym 120 x 80 mm, wykonanych z fibrobetonu o zawartości 1,5% włókien stalowych (objętościowo), zbrojonych na zginanie prętami 2 Ø 8 (o stopniu zbrojenia 1%), o zróżnicowanych obustronnie rozstawach stalowych strzemion. W każdej serii wykonano po trzy belki identycznie zbrojone na zginanie i ścinanie: dwie z fibrobetonu i jedną referencyjną (o symbolach A-0, B-0 i C-0) z betonu bez włókien. Wolnopodparte belki obciążano w układzie czteropunktowym, co zapewniło stały rozkład siły poprzecznej na rozpiętości belek. Niemal we wszystkich belkach osiągnięto model zniszczenia przez ściananie. Wyniki badań wskazały na zwiększenie nośności na ścinanie belek z fibrobetonu nawet o 50%, w porównaniu z nośnością belek bez zbrojenia rozproszonego. Okazało się, że włókna stalowe mogą częściowo zastępować zbrojenie strzemionami w belkach żelbetowych.

Słowa kluczowe: fibrobeton, włókna stalowe, belki żelbetowe, nośność na ścinanie

Abstract

Team of Białystok Technical University conducted a study in order to clarify the possibility of partial or total replacement of stirrups with steel fibers in bending beams. Three series of models examined reinforced concrete beams with a span of 1100 mm and 120 x 80 mm cross section, made of a fiber-containing steel fibers 1.5% (by volume), the bending reinforcement bars 2 Ø 8 (with a degree of reinforcement of 1%), with varying spacing on both sides of steel stirrups. In each series were performed identically to the three beams reinforced bending and shear: two fiber-and one reference (with the symbols A-0, B-0 and C-0) of the concrete without fiber. In almost all beams model was achieved by the destruction of the wall. The results showed an increase of shear capacity of fiber-beams up to 50%, compared to the load beam without fiber reinforcement. It was found that the steel fibers can be partially substituted for the reinforcement stirrup concrete beams.

Literatura

- [1] Jasiczak J., Mikołajczak P.: Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami. Oficyna Wydawnicza Politechnika Poznańska, Poznań 2003.
- [2] Jamróży Z.: Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
- [3] Owsiak Z.: Materiały kompozytowe wybrane zagadnienia. Kielce 2006.
- [4] Katzer J.: Współczesne fibrokompozyty cementowe. Inżynier Budownictwa 2009.
- [5] Katzer J.: Kształtowanie właściwości wybranych fibrokompozytów cementowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2010.
- [6] Pogan K.: Wzmacnianie konstrukcji kompozytami FRP. Inżynier Budownictwa 2010.
- [7] Dinh H.H., Parra-Montesinos G.J., Weght J.K.: Shear Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrup Reinforcement, ACI Structural Journal, September-October 2010, 597 – 607.
- [8] Smoktunović A., Smoktunović D., Grygo R., Łapko A.: Efektywność zbrojenia prętami i włóknem rozproszonym w belkach żelbetowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 2011.
- [9] Krassowska J., Łapko A.: The Influence of the Bazalt Fibres on the Shear and Flexural Capacity of Reinforced Concrete Continuous Deams, 1st International Conference for PhD Students in Civil Engineering, Cluj-Napoca, Romania 2012.
- [10] Iwaniuk P.: Wzmacnianie stref ścinania belek żelbetowych z lokalnym zastosowaniem fibrobetonu z włóknami stalowymi. Praca magisterska pod opieką prof. A. Łapko, Politechnika Białostocka, 2011 r.