

WPLYW WŁÓKIEN STALOWYCH NA NOŚNOŚĆ STREF PRZYPODPOROWYCH BELEK ŻELBETOWYCH

Julita Krassowska¹

Politechnika Białostocka, Białystok

Streszczenie. W Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Białostockiej zostały przeprowadzone badania w celu wyjaśnienia możliwości częściowego lub całkowitego zastąpienia strzemion za pomocą stalowego zbrojenia rozproszonego w belkach zginanych. Badano żelbetowe belki jedno- i dwuprzęsłowe. Zbadano trzy serie A modeli belek żelbetowych jednoprzęsłowych, wykonanych z włóknobetonu o zawartości 1,5% włókien stalowych (objętościowo), o zróżnicowanych obustronnie rozstawach stalowych strzemion. Niemal we wszystkich belkach osiągnięto zniszczenie poprzez ścinanie. Wyniki badań wykazały zwiększenie nośności na ścinanie belek z fibrobetonu nawet o 50% w porównaniu z nośnością belek bez zbrojenia rozproszonego. Następną serią B zawierała piętnaście żelbetowych belek dwuprzęsłowych z dodatkiem zbrojenia rozproszonego. Wszystkie belki miały identyczne zbrojenie na zginanie, zbrojenie na ścinanie stanowiły strzemiona o zróżnicowanym rozstawie oraz włókna stalowe w ilości objętościowej: 0, 1,0, 1,5%. Badania belek modelowych żelbetowych ze zbrojeniem mieszanym wykazały przyrost nośności na ścinanie we wszystkich seriach badawczych, zależny od zawartości włókien. Maksymalny przyrost nośności (o 100,7%) nastąpił dla belek z serii B1,5-50/0 (belka dwuprzęsłowa o zawartości włókien 1,5% i rozstawie strzemion w jednym przęśle 50% wymagań PN-EN i w drugim – bez strzemion). Wykazano, że włókna stalowe poprawiają nośność, rysoodporność i zmniejszają ugięcia. Dodatek włókien zmienia charakter pracy konstrukcji na quasi-plastyczny, a zatem powoduje wydłużenie czasu do zniszczenia.

Słowa kluczowe: włókna stalowe, nośność na ścinanie, belki jednoprzęsłowe, belki dwuprzęsłowe

Adres do korespondencji – Corresponding author: Julita Krassowska, Politechnika Białostocka, Katedra Konstrukcji Budowlanych, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, e-mail: j.krassowska@pb.edu.pl

¹ Autorka jest uczestnikiem projektu „Stypendia dla doktorantów województwa podlaskiego”, współfinansowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji, ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego, budżetu państwa oraz środków budżetu Województwa Podlaskiego.

WSTĘP

Zniszczenie elementów żelbetowych w wyniku działania sił poprzecznych spowodowane jest skomplikowanym mechanizmem związanym z wielkością i rodzajem obciążenia, wymiarami i kształtem geometrycznym przekroju poprzecznego oraz właściwościami materiałowymi betonu i stali zbrojeniowej. Projektując strefy przypodporowe, rozpatruje się płaski stan naprężeń określany trzema składowymi: σ_x , σ_y , τ_{xy} . W belkach obciążonych równomiernie naprężenia prostopadłe do osi podłużnej są znikome w porównaniu z naprężeniami równoległymi i z uwagi na to mogą być pomijane. Naprężenia główne oblicza się z poniższych wzorów:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (2)$$

Naprężenia styczne (ścinające) i naprężenia normalne wyznacza się ze wzorów mechaniki budowli:

$$\sigma_{yx} = \frac{M}{W} \quad (3)$$

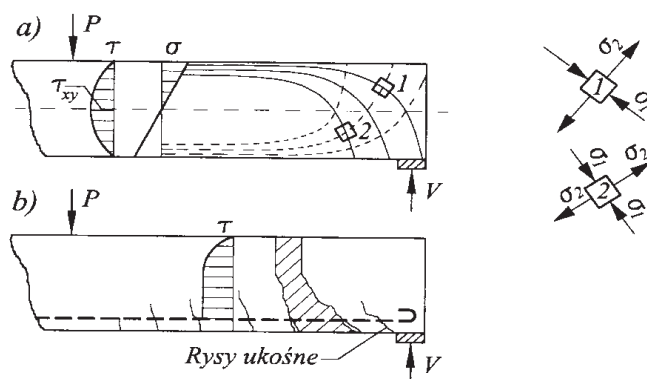
$$\tau = \tau_{xy} = \tau_{yx} = \frac{V \cdot S(x)}{Jb} \quad (4)$$

gdzie: M – moment zginający,
 W – wskaźnik wytrzymałości,
 V – siła poprzeczna,
 J – moment bezwładności,
 $S(x)$ – moment statyczny względem osi x ,
 b – szerokość elementu.

Przedstawiony stan naprężeń utrzymuje się do chwili zarysowania. Rysy ukośne wynikają z działania głównych naprężeń rozciągających (rys. 1).

Po zarysowaniu stan ten zależy od wielu czynników, a między innymi od przyczepności zbrojenia i jego ukształtowania oraz stopnia zbrojenia. Zabezpieczenie elementów żelbetowych przed zniszczeniem wywołanym siłą poprzeczną i momentem zginającym w wyniku działania głównych naprężeń rozciągających wymaga zaprojektowania dodatkowego zbrojenia. Może to być układ w postaci prętów podłużnych, ukośnie odgiętych lub pionowych strzemion.

Strzemiona pracują efektywnie, jednak dopiero po powstaniu ukośnych zarysowań. Główną ich rolą jest przejście naprężeń rozciągających od ścinania po powstaniu układu ukośnego rys. Przenoszenie naprężeń od ścinania w rozwartej rysie odbywa się poprzez interakcję czterech czynników: siły rozciągającej zbrojenie podłużne, wypadkowej naprężeń ściskających w betonie, efektu zazębienia się kruszywa oraz wypadkowej naprężeń w strzemionach.



Rys. 1. Naprężenia w belce w strefie działania siły poprzecznej i momentu: a – kierunki naprężeń głównych w strefie podporowej, b – rysy ukośne jako efekt naprężeń głównych rozciągających

Fig. 1. The stresses in the beam are lateral force and moment a – the principal stress directions in the supporting zone, b – diagonal cracks as a result of tensile principal stress

Stosowanie tradycyjnych strzemion jest efektywne, lecz pociąga za sobą wysokie koszty związane z zużyciem stali zbrojeniowej oraz kosztem montażu w konstrukcji. Podczas formowania belek niewielkie odległości między strzemionami powodują też problemy technologiczne z równomiernym rozmieszczeniem kruszywa w mieszance betonowej, co może prowadzić do ubytków i słabych więzi pomiędzy betonem a prętami zbrojenia.

Alternatywą dla zbrojenia tradycyjnego mogą być włókna stalowe. Badania prowadzone na tych włóknach wykazują zwiększenie odkształcalności betonu przy ściskaniu i rozciąganiu oraz zwiększenie się wytrzymałość betonu na rozciąganie.

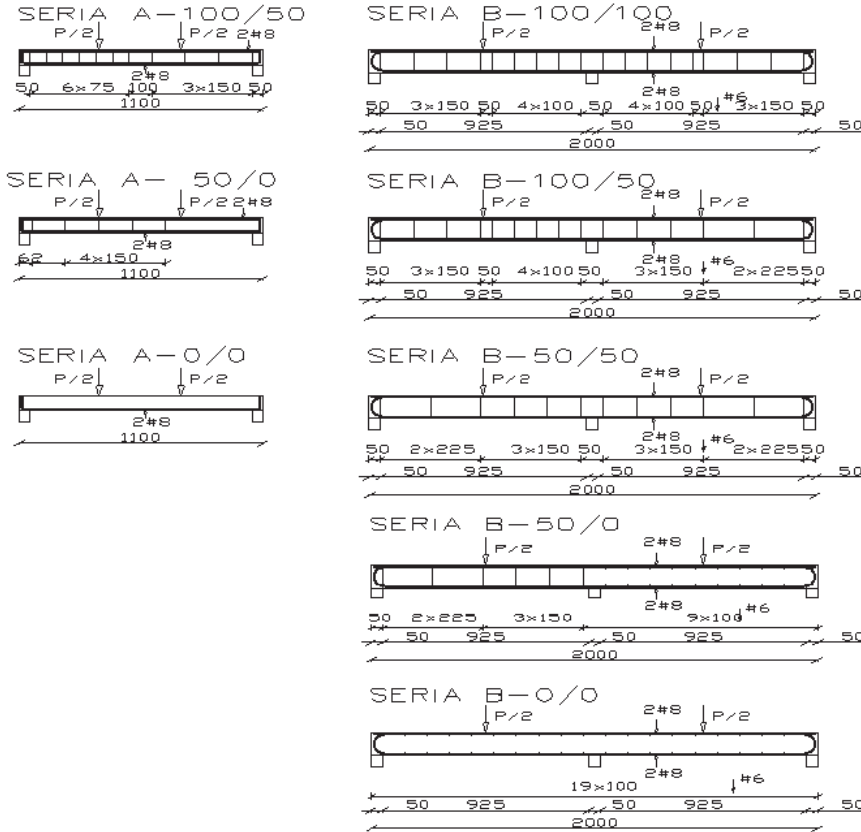
Praktycznie zastosowanie takiego rozwiązania nie jest do dziś potwierdzone wystarczającą liczbą badań. Ostatnio badania takie zostały podjęte na dużą skalę w USA [Domański i Czkwianianc 2004, Parra-Montesinos 2006, Salna i Marciukaitis 2007, Dinh 2009, Dinh i in. 2010, Hasam 2011, Hanzlova i in. 2011] w odniesieniu do belek jednoprzęsłowych. W Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Białostockiej prowadzone są badania nad wpływem włókien na nośność na ścinanie jedno- i dwuprzęsłowych belek żelbetonowych w strefach przypodporowych [Iwaniuk i in. 2013].

W artykule omówiono zachowanie się belek fibrobetonowych o zróżnicowanym schemacie statycznym (jedno- i dwuprzęsłowych), wykazanie udziału objętościowego włókien na nośność na ścinanie oraz rozpatrzono wpływ udziału włókien stalowych jako minimalnego zbrojenia na ścinanie.

MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

W programie badawczym założono, że beton ze zbrojeniem rozproszonym będzie alternatywą dla zbrojenia tradycyjnego (strzemionami) w strefie przypodporowej. Założono dwie serie badawcze: dla belek żelbetonowych jednoprzęsłowych (A) i dwuprzęsłowych (B). Belki serii A miały wymiary $b \times h \times L = 80 \times 120 \times 1100$ mm, natomiast

belki serii B – $b \times h \times L = 80 \times 160 \times 2000$ mm. Układ zbrojenia podłużnego był jednakowy w obu seriach belek (2 pręty $\varnothing 8$ mm). Zbrojenie poprzeczne w każdej z serii badawczej było inne: w pierwszej zgodne z zaleceniami PN-EN 1992-1-1, w następnych zredukowano liczbę strzemion o połowę (rys. 2). Zbrojenie poprzeczne w serii A stanowiły strzemiona o $\varnothing 3$ mm ($f_{yk} = 220$ MPa), w serii B – $\varnothing 6$ mm ($f_{yk} = 410$ MPa). Zadaniem włókien było przejście części lub całości (w seriach bez strzemiona) naprężeń od ścinania.



Rys. 2. Schemat zbrojenia belek badawczych
Fig. 2. Diagram of testing reinforcement concrete beams

Belki serii A i B zostały obciążone w każdym prześle jedną siłą skupioną. Dla belek serii A siła poprzeczna miała stałą wartość, natomiast w serii B przy środkowej podporze wartość siły była dwukrotnie większa.

W pierwszym cyklu belki obciążano i odciążano do poziomu 15 kN. Następnie obciążano je z krokiem 5 kN do zniszczenia.

Do modyfikacji mieszanki betonowej użyto włókien zakończonych haczykowatymi końcami o długości 50 mm i średnicy 1 mm. Włókna zostały wykonane z drutu gładkiego, ciągniętego na zimno, wykonanego ze stali niskowęglowej ($f_{yk} = 800$ MPa). Włókna

stalowe dozowano do mieszanki betonowej w ilości 0, 1,0, 1,5% w stosunku objętościowym. W tabeli 1 zaprezentowano uzyskane wytrzymałości średnie włóknobetonu na ściskanie i rozciąganie. Prezentowane wyniki zostały określone zgodnie z normą PN-EN 1992-1-1. Odchylenie standardowe dla poszczególnych wytrzymałości spełnia warunki normowe i nie przekracza wartości granicznej, tzn. $0,2f_{cm}$.

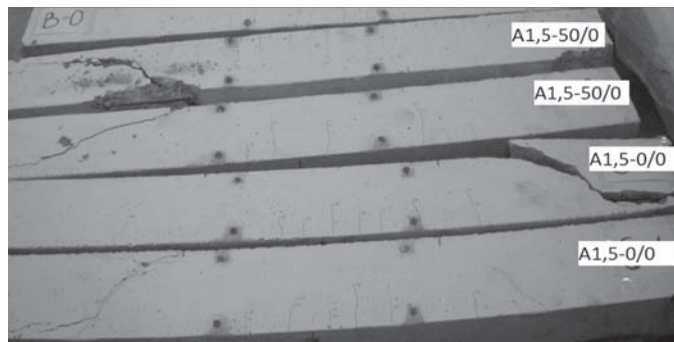
Tabela 1. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie

Table 1. The results of compressive and tensile strength

Serie – Series	Ilość włókien [%] Number of fibers	Wytrzymałość średnia na ściskanie [MPa] Average compressive strength	Odchylenie standardowe The standard deviation	Przyrost wytrzymałości na ściskanie [%] The increase in compressive strength	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa] Tensile strength in bending	Odchylenie standardowe The standard deviation	Przyrost wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu [%] The increase in tensile strength in bending
Seria A	0	30,58	3,13	–	3,04	0,37	–
	1,5	29,62	0,98	–3,14	4,32	1,45	41,79
Seria B	0,0	28,73	1,88	–	3,97	0,28	–
	1,0	29,88	1,5	4,01	4,49	0,16	13,09
	1,5	30,84	0,62	7,35	5,09	0,48	28,19

BADANIA BELEK MODELOWYCH JEDNOPRZĘŚLOWYCH

Zniszczenie belek nastąpiło przez ścinanie po stronie zmniejszonej liczby strzemion. Na rysunku 3 przedstawiono obrazy zniszczenia belek wybranych serii. Zaobserwowano, że zniszczenie belek z włóknami nie miało kruchego charakteru, lecz beton wykazał cechy materiału quasi-plastycznego.



Rys. 3. Model zniszczenia belek jednoprzęsłowych serii A

Fig. 3. Model of destruction single-span beams Series A

W tabeli 2 zestawiono wyniki badania nośności elementów poszczególnych serii (kolumna 2). Dla wszystkich trzech serii badawczych uzyskano przyrost nośności belek z dodatkiem włókien stalowych w porównaniu z belkami bez włókien (kolumna 3). Włókna

stalowe rozmieszczone równomiernie w mieszance betonowej przejęły funkcję strzemion (przejmowały naprężenia rozciągające w betonie). Największy przyrost nośności na ścinanie zanotowano dla serii A1,0-0/0 (dla belek pozbawionych strzemion o zawartości włókien stalowych 1,0%). Zaobserwowany przyrost nośności wyniósł około 60% w porównaniu z belkami referencyjnymi (pozbawionych włókien) dla belki serii A1,0-0/0.

Tabela 2. Wyniki badań dla belek z serii A
Table 2. The test results for beams of series A

Elementy w serii badawczej Elements in research series	Poprzeczna siła niszcząca, V_n [kN] Shear destructive force	Przyrost nośności na ścinanie [%] Increase shear capacity	Teoretyczna siła niszcząca [kN] Theoretical destructive force	Przyrost nośności na ścinanie dla badań doświadczalnych [%] The increase in shear capacity for experimental research
1	2	3	4	5
A0-100/50 ^P	12	0,0	11,9	0,7
A1,5-100/50 ^l	17	41,7	–	–
A1,5-100/50 ^P	17	41,7	11,9	42,9
A0-50/0 ^P	11	–	9,98	10,2
A1,5-50/0 ^P	16	45,5	9,98	60,3
A1,5-50/0 ^P	16	45,5	9,98	60,3
A0-0/0 ^P	10	–	9,98	0,2
A1,5-0/0 ^P	16	60,0	9,98	60,3
A1,5-0/0 ^P	15	50,0	9,98	50,3

^l Belka uległa zniszczeniu przy zginaniu – Beam was destroyed in bending.

^{LP} Zniszczenie nastąpiło po lewej lub prawej stronie – Destruction occurred on the left or right side.

Obliczenia belek jednoprzęsłowych na działanie siły poprzecznej przeprowadzono na podstawie PN-EN 1992-1-1.

Obliczeniowa siła poprzeczna przenoszona przez element bez zbrojenia na ścinanie:

$$V_{Rd,c} = [c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}] \cdot b_w \cdot d = [0,18 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,012 \cdot 30 \text{ MPa})^{\frac{1}{3}}] \times 0,08 \text{ m} \cdot 0,105 \text{ m} = 9,98 \text{ kN} \quad (5)$$

lecz nie mniej niż

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 30 \text{ MPa}^{\frac{1}{2}} \cdot 0,08 \text{ m} \cdot 105 \text{ m} = 4,55 \text{ kN} \quad (6)$$

Obliczeniowa siła poprzeczna przenoszona przez zbrojenie na ścinanie:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot z \cdot \cot \theta \quad (7)$$

Obliczając siłę niszczącą, uwzględniono zsumowanie składowych nośności betonu i zbrojenia:

- dla belek o rozstawie strzemion 7,5 cm

$$V_{Rd,c1} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 9,98 + \frac{0,14 \cdot 22,0}{7,5} \cdot 9,45 \cdot 1 = 13,86 \text{ kN} \quad (8)$$

- dla belek o rozstawie strzemion 15 cm

$$V_{Rd,c2} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 9,98 + \frac{0,14 \cdot 22,0}{15} \cdot 9,45 \cdot 1 = 11,92 \text{ kN} \quad (9)$$

- dla belek bez strzemion

$$V_{Rd,c3} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 9,98 + 0 = 9,98 \text{ kN} \quad (10)$$

W tabeli 2 przedstawiono nośność obliczeniową (w kolumnie 6) w porównaniu z nośnościami teoretycznymi (w kolumnie 5). Wartości sił poprzecznych z przeprowadzonych badań dla każdej z serii badawczej zawierającej włókna stalowe były znacznie większe od obliczonych nośności teoretycznych. W przypadku belek bez zbrojenia poprzecznego wzrost nośności wyniósł nawet około 60%.

BADANIA BELEK DWUPRZĘSŁOWYCH

W trakcie eksperymentu belki dwuprzęsłowe poddano badaniom krótkotrwałym (schemat belek na rys. 2). Mierzone były wartości sił poprzecznych przy podporach oraz całkowita siła niszcząca. W tabeli 3 przedstawiono wartości sił niszczących oraz ich przyrosty w porównaniu z wartościami sił niszczących w belkach referencyjnych (przy zerowej liczbie włókien). Maksymalny przyrost nośności średnio o 100% nastąpił dla belek serii B1,5-50/0 (zawartość włókien 1,5% i rozstaw strzemion 50% w jednym przęśle i 0% w drugim zgodnie z zaleceniami PN-EN 1992-1-1).

Tabela 3. Wyniki badań dla belek z serii B

Table 3. The test results for beams of series B

Elementy w serii badawczej Elements in research series	Siła niszcząca [kN] Shear destructive force	Przyrost nośności na ścinanie [%] Increase shear capacity	Poprzeczna siła niszcząca V_n [kN] Theoretical destructive force	Teoretyczna siła poprzeczna [kN] The increase in shear capacity for experimental research	Przyrost nośności na ścinanie dla badań doświadczalnych [%] Elements in research series
1	2	3	4	5	6
B0-100/100 ^{SL}	80,6	–	30,6	27,6	10,9
B1,0-100/100 ^{SP}	110,0	36,5	32,6	27,6	18,1
B1,5-100/100	114,7 ¹	42,3	–	–	–

Tabela 3, cd.
Table 3, cont.

1	2	3	4	5	6
B0-100/50 ^{SL}	57,8	–	23,4	22,78	2,7
B1,0-100/50 ^{SL}	93,4	61,6	25,5	22,78	11,9
B1,5-100/50 ^{L+P}	109,7	89,8	29,9	22,78	31,3
B0-50/50	60,7	–	23,9	22,78	4,9
B1,0-50/50 ^L	64,1*	–	–	–	–
B1,5-50/50 ^{P+SL}	102,7	69,2	25,3	22,78	11,1
B0-50/0 ^{SL}	29,9	–	10,9	13,14	–
B1,0-50/0 ^{SL}	47,6	59,2	15,15	13,14	15,3
B1,5-50/0 ^{SL}	60,0	100,7	18,85	13,14	43,5
B0-0/0 ^{SL+P}	33,1	–	13,6	13,14	3,5
B1,0-0/0 ^{SL+P}	47,0	42,0	14,5	13,14	10,4
B1,5-0/0 ^{SL+P}	52,8	59,5	17,65	13,14	34,3

*Belka uległa zwichrzeniu – Beam has lateral-torsional buckling.

¹Belka uległa zniszczeniu przy zginaniu – Beam was destroyed in bending.

^{LPS}Zniszczenie nastąpiło po lewej, prawej stronie lub na środkowej podporze – Destruction occurred on the left, the right or at the central support.

Obliczenia belek jednoprzęsłowych na działanie siły poprzecznej przeprowadzono na podstawie PN-EN 1992-1-1.

Obliczeniowa siła poprzeczna przenoszona przez element bez zbrojenia na ścinanie:

$$V_{Rd,c} = [c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}] \cdot b_w \cdot d = [0,18 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,008 \cdot 29^{\frac{1}{3}})] \times 0,08 \cdot 0,16 = 13,14 \text{ kN} \quad (11)$$

lecz nie mniej niż

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 29^{\frac{1}{2}} \cdot 0,08 \cdot 0,16 = 6,82 \text{ kN} \quad (12)$$

Obliczeniowa siła poprzeczna przenoszona przez zbrojenie na ścinanie:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot z \cdot \cot \theta \quad (13)$$

Obliczając siłę niszczącą, uwzględniono zsumowanie składowych nośności betonu i zbrojenia:

– dla belek o rozstawie strzemion 10 cm

$$V_{Rd,c1} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 13,14 + \frac{0,566 \cdot 41,0}{10,0} \cdot 14,4 \cdot \text{ctg} 33^\circ = 34,84 \text{ kN} \quad (14)$$

- dla belek o rozstawie strzemion 15 cm

$$V_{Rd,c2} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 13,14 + \frac{0,566 \cdot 41,0}{15,0} \cdot 14,4 \cdot \text{ctg} 33^\circ = 27,6 \text{ kN} \quad (15)$$

- dla belek o rozstawie strzemion 22,5 cm

$$V_{Rd,c3} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 13,14 + \frac{0,566 \cdot 41,0}{22,5} \cdot 14,4 \cdot \text{ctg} 33^\circ = 22,78 \text{ kN} \quad (16)$$

- dla belek bez strzemion

$$V_{Rd,c4} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 13,14 + 0 = 13,14 \text{ kN} \quad (17)$$

W tabeli 3 (kolumna 4) przedstawiono również wartości sił poprzecznych otrzymanych z badań doświadczalnych w przęsle, które uległo zniszczeniu, oraz teoretyczne nośności na ścinanie tego przęsła. W większości przypadków belki serii B ulegały zniszczeniu poprzez ścinanie (rys. 4) na podporze środkowej (B1,0-100/100; B0-50/50; B1,0-50/50; B1,5-50/50; B0-50/0; B1,0-50/0; B1,5-50/0; B0-0/0; B1,0-0/0; B1,0-0/0). Belki serii B1,5-100/100 uległy zniszczeniu poprzez zginanie. W jednej z belek serii B1,5-50/50 zniszczenie nastąpiło na środkowej podporze, jednakże zachowanie się podczas obciążenia belki było nietypowe. Po powstaniu rysy ukośnej na środkowej podporze nastąpiło przekazanie naprężeń na podporę skrajną. Siła poprzeczna podpory skrajnej osiągnęła wartość 25,3 kN, natomiast jej teoretyczna nośność na ścinanie wynosiła 22,8 kN. Następnie ponownie obciążenie zostało przekazane na podporę środkową, która uległa zniszczeniu.



Rys. 4. Model zniszczenia belek dwuprzęsłowych serii B

Fig. 4. Model of destruction two-span beams Series B

W kolumnie 5 opisano wartości teoretyczne siły poprzecznej, obliczone zgodnie ze wzorami (13) – (17). Wartości sił poprzecznych belek referencyjnych (bez dodatku włókien stalowych) były porównywalne z teoretycznymi obliczeniami nośności elementu z uwzględnieniem składowych nośności betonu i zbrojenia. Natomiast belki zawierające zbrojenie rozproszone wykazały wzrost doświadczalnej siły poprzecznej nawet o 43,5% dla serii B1,5-50/0.

PODSUMOWANIE

Fibrobeton znajduje coraz szersze zastosowanie w budownictwie. Charakteryzuje się zarówno podwyższonymi właściwościami fizycznymi i mechanicznymi, jak i samą trwałością użytkowania.

Celem niniejszych badań było wykazanie możliwości częściowego lub całkowitego zastąpienia zbrojenia na ścinanie fibrobetonami z włóknami stalowymi. Przeprowadzone badania i analiza uzyskanych wyników badań pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. We wszystkich seriach badawczych dla belek włóknobetonowych z dodatkiem włókien stalowych zauważono poprawę nośności na ścinanie w porównaniu z belkami ze zbrojeniem tradycyjnym. Przyrost nośności na ścinanie oceniono do 60% dla belek jednoprzęsłowych (seria A) i 30–100% dla belek dwuprzęsłowych (seria B). Świadczy to o efektywności w przenoszeniu naprężeń głównych w strefach ścinania.

2. Uzyskano dobrą zbieżność między wynikami badań doświadczalnych a nośnością teoretyczną na ścinanie według PN-EN 1992-1-1. Belki z dodatkiem włókien stalowych charakteryzowały się większą nośnością w porównaniu z teoretyczną: o 10–60% belki serii A i do 40% w serii B.

3. Badania wykazały, że stosowanie włókien stalowych z haczykowatymi końcami o długości 50 mm i średnicy 1 mm, w ilości 1,5% w objętości mieszanki betonowej, pozwala na wyeliminowanie zbrojenia na ścinanie. Jednak ze względów konstrukcyjnych nie jest zalecana całkowita rezygnacja ze strzemion, które stanowią swego rodzaju uzupełnienie szkieletu zbrojenia.

4. Stosowanie zbrojenia włóknami stalowymi zamiast tradycyjnego zbrojenia na ścinanie pozwala na skrócenie czasu wykonywania prac.

PIŚMIENNICTWO

- Dinh H.H., 2009. Shear behavior of steel fiber reinforced concrete beams without stirrup reinforcement. Doctoral dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Dinh H.H., Parra-Montesinos G.J., Weght J.K., 2010. Shear Behavior of Steel Fiber – Reinforced Concrete Beams without Stirrup Reinforcement. *ACI Structural Journal*, September–October, 597–607.
- Domański T., Czkwianianc A., 2004. Influence of steel fibers on the strains in shear zones in two-span beams. *Proceedings of the National Conference on the Research Problems in Civil Engineering*, Krynica, 26–29.

- Hanzlova H., Kratky J., Heran R., 2011. Analysis of shear failure of flexural fibre concrete beams reinforced with rebars of two ductility classes". 4th WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology. Greece.
- Hasam E.Y., 2011. Shear Stress Prediction "Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrups". ACI Structural Journal, May–June.
- Iwaniuk P., 2011. Wzmacnianie stref ścinania belek żelbetowych z lokalnym zastosowaniem fibrobetonu z włóknami stalowymi. Praca magisterska. Politechnika Białostocka, Białystok.
- Iwaniuk P., Krassowska J., Łapko A., 2013. Wzmacnianie stref ścinania belek żelbetowych z lokalnym zastosowaniem włókien stalowych. Materiały Budowlane 10, 32–34.
- Parra-Montesinos G.J., 2006. Shear Strength of beams with deformed steel fibers. Concrete International, November.
- PN-EN 1992-1-1 Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- Salna R., Marciukaitis G., 2007. The influence of shear span ratio on load capacity of steel fiber reinforced concrete elements with various steel fiber volumes. Journal of Civil Engineering and Management XIII, 3, 215–209.

EFFECT OF STEEL FIBER ON CAPACITY OF SUPPORTED ZONES IN THE REINFORCED CONCRETE BEAM

Abstract. The Department of Building Structures Białystok University of Technology conducts scientific research to clarify the possibility of partial or total replacement of stirrups by steel fibers. Research was carried for reinforced concrete beams with one or two spans. There were investigated three series A models single-span reinforced concrete beams made with steel fiber content of 1.5% (by volume) and differentiated steel stirrups spacing on both sides of the beam. Failure mode by shear was achieved almost in all the beams. The results showed increased of shear capacity of fiber reinforcement concrete beams up to 50% compared to the beams without fibers. The next series B had fifteen two-spans reinforced concrete beams with the addition of steel fibers. Designed the same tensile reinforcement, stirrups in a varied spacing and steel fibers in an amount by volume of 0, 1.0, 1.5%. Research of model reinforced concrete beams with mixed reinforcement showed an increase in the shear capacity of all the test series. Maximum capacity increase of 100.7% occurred for beams of series B1,5-50/0. Steel fibers improve the load capacity, crack resistance and reduce deflection. The addition of fibers changes the nature of the behavior of the structure in the quasi-plastic and therefore extending the time to complete destruction.

Key words: steel fibers, Shear load capacity, single-span beams, two-span beam

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 25.08.2014