

# Wpływ zbrojenia podłużnego na nośność na ścinanie elementów żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego

Marta Słowik

Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,  
e-mail: m.slowik@pollub.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono analizę wpływu zbrojenia podłużnego na nośność na ścinanie zginanych elementów żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego. Analizę przeprowadzono na podstawie badań własnych autorki oraz na podstawie wyników badań dostępnych w literaturze. Stwierdzono, że zastosowane zbrojenie ma wpływ na nośność analizowanych belek i jest szczególnie istotne w elementach o wskaźniku ścinania  $a/d < 2,5$ . Wyniki badań posłużyły również do wstępnej weryfikacji normowych procedur obliczeniowych dotyczących nośności na ścinanie elementów bez zbrojenia poprzecznego, podanych w normach Eurokod 2, ACI 318 i Model Code 2010.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje betonowe, nośność na ścinanie, zbrojenie podłużne.

## 1. Wprowadzenie

Zagadnienie szacowania nośności na ścinanie belek jest jednym z bardziej skomplikowanych zagadnień w teorii żelbetu. Wynika to ze złożoności mechanizmu pracy w strefach przypodporowych belek w obszarze jednoczesnego działania momentu zginającego i siły poprzecznej. Badania doświadczalne rozpoczęte na szeroką skalę w połowie XX wieku są nadal kontynuowane, co wskazuje, że problem bezpiecznego a zarazem ekonomicznego wymiarowania na ścinanie nie został w sposób satysfakcjonujący rozwiązany i jest wciąż aktualny.

Obszerna baza wyników doświadczalnych, jak również nowe prace teoretyczne skutkują coraz bardziej wnikliwym opisem mechanizmów zniszczenia elementów żelbetowych oraz powstawaniem nowych metod obliczeniowych służących do szacowania ich nośności. Również normowe zasady wymiarowania elementów żelbetowych podlegają ewolucji. Znaczące zmiany można zaobserwować w przypadku wymiarowania elementów zginanych na siły poprzeczne. Rozwój metod obliczania belek ze względu na ścinanie był szeroko referowany w literaturze technicznej zarówno zagranicznej jak i krajowej. Metoda wymiarowania na ścinanie oparta na teorii Boriszańskiego została opisana między innymi przez K. Dąbrowskiego [1]. W obecnie obowiązujących w Polsce przepisach normowych [2] podobnie jak w normie Eurocode 2 [3], wymiarowanie na ścinanie przeprowadza się na podstawie metody kratownicowej. Szczegółową i wnikliwą prezentację rozwoju metod opartych na modelu kratownicowym Mörnscha przedstawiał T. Godycki-Ćwirko np. w pracach [4÷6]. Natomiast w nowej wersji zaleceń *fib* Model Code 2010 [7] metoda kratownicowa została zastąpiona nową procedurą obliczeniową, opracowaną na podstawie zmodyfikowanej teorii pola naprężeń ściskających Modified Compression Field Theory (MCFT). Teoria MCFT została zaprezentowana przez Vecchio i Collinsa [8, 9] i była rozwijana, np. przez E. C. Bentza [10] i V. Sigrista [11]. Opis metody wymiarowania na ścinanie, która została wprowadzona w zaleceniach Model Code 2010 można znaleźć w biuletynie *fib* 57 [12] oraz w najnowszych publikacjach np. [13].

Jednym z zagadnień związanych z wymiarowaniem na ścinanie jest wyznaczanie granicznej nośności elementów bez zbrojenia poprzecznego. Wyniki badań wskazują, że na charakter zniszczenia i nośność tego typu elementów ma wpływ wiele czynników. Wśród nich w pierwszej kolejności wymienić należy wskaźnik ścinania, wytrzymałość betonu, stopień zbrojenia podłużnego oraz wymiary elementu.

W niniejszej pracy przedstawiono analizę wpływu zbrojenia podłużnego na nośność na ścinanie elementów bez zbrojenia poprzecznego. Analizie poddano wyniki badań własnych oraz wybrane wyniki badań dostępne w literaturze [14, 15]. Przeprowadzona analiza dotyczyła zarówno typowych belek o wskaźniku ścinania  $a/d \geq 2,5$ , jak i belek krótkich o  $a/d < 2,5$ . Przedmiotem zainteresowania w przeprowadzonej analizie był wpływ zbrojenia podłużnego na wielkość siły niszczącej. Wyniki badań posłużyły następnie do weryfikacji przepisów normowych, które przedstawiono w p. 2.

## 2. Wyznaczanie nośności na ścinanie według wybranych norm

Obliczeniowe wyznaczanie nośności na ścinanie elementów zginanych bez zbrojenia poprzecznego zalecane w różnych normach różni się co do procedur, jak i modeli, na podstawie których te procedury zostały wyprowadzone. Poniżej w tabeli przedstawiono zasady określania nośności podane w normach Eurokod 2 [2], ACI 318 [16] i Model Code 2010 [7]. W zestawionych wzorach zastosowano ujednocnione symbole oraz sprowadzono ich formę do postaci umożliwiającej wykonanie obliczeń przy użyciu jednostek układu SI.

Tabela 1. Normowe zasady wyznaczania nośności na ścinanie zginanych elementów bez zbrojenia poprzecznego

Lp.	Norma	Nośność na ścinanie $V_{Rd,c}$ w N	Dodatkowe wymagania
1	Eurokod 2 [2]	$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d \quad (1)$ $V_{Rd,c} \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} ; v_{\min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}} ; \sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$	$\rho_l < 0,02 ; k \leq 2$ $\sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd}$ $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$ $k_1 = 0,15$
2	ACI 318 [16]	$V_{Rd,c} = \left( 0,16 \sqrt{f_{ck}} + 17 \rho_l \frac{V_{Ed} d}{M_{Ed}} \right) b_w d \quad (2)$ $V_{Rd,c} \leq 0,29 \sqrt{f_{ck}} b_w d$	$\frac{V_{Ed} d}{M_{Ed}} \leq 1,0$ $\sqrt{f_{ck}} \leq 8,3 \text{ MPa}$
3	Model Code 2010 [7]	$V_{Rd,c} = k_v \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} z b_w \quad (3)$ $k_v = \frac{0,4}{(1 + 1500 \epsilon_x)} \cdot \frac{1300}{(1000 + 0,7 k_{dg} z)}$ $\epsilon_x = \frac{M_{Ed} / z + V_{Ed} + 0,5 N_{Ed} - A_p f_{po}}{2(E_s A_s + E_p A_p)} ; k_{dg} = \frac{48}{16 + d_g}$	$z = 0,9 d$ $\sqrt{f_{ck}} \leq 8 \text{ MPa}$ $k_{dg} \geq 1,15$ $\theta = 29^\circ + 7000 \epsilon_x$

Oznaczenia zastosowane w Tab. 1:

$f_{ck}$  - wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie w MPa,

$b_w$  - szerokość przekroju w mm,

$d$  - wysokość użyteczna przekroju w mm,

$\rho_l$  - stopień zbrojenia podłużnego,

- $V_{Ed}$  - siła poprzeczna w rozpatrywanym przekroju w N,  
 $M_{Ed}$  - moment zginający w rozpatrywanym przekroju w Nmm,  
 $N_{Ed}$  - siła podłużna w rozpatrywanym przekroju w N,  
 $\gamma_c$  - współczynnik materiałowy dla betonu,  
 $d_g$  - maksymalna średnica kruszywa w mm,  
 $z$  - ramię sił wewnętrznych w mm,  
 $E_s$  - moduł sprężystości zbrojenia podłużnego w N/mm<sup>2</sup>,  
 $A_s$  - pole przekroju zbrojenia podłużnego w mm<sup>2</sup>,  
 $E_p$  - moduł sprężystości zbrojenia sprężającego w N/mm<sup>2</sup>,  
 $A_p$  - pole przekroju zbrojenia sprężającego w mm<sup>2</sup>,  
 $A_c$  - pole przekroju elementu w mm<sup>2</sup>.

W normie amerykańskiej [16] podano dwa wzory do obliczania nośności elementów bez zbrojenia poprzecznego: podstawowy i rozszerzony. Zamieszczony w Tab. 1 wzór (2) jest wzorem rozszerzonym, ujmującym wpływ stopnia zbrojenia podłużnego na wielkość  $V_{Rd,c}$ . Siła przenoszona przez beton wyrażona w Tab. 1 wzorem (3) została opisana w przypadku III-go poziomu aproksymacji obliczeń, który jest zalecany w Model Code 2010 [7] do projektowania elementów w złożonym stanie obciążenia.

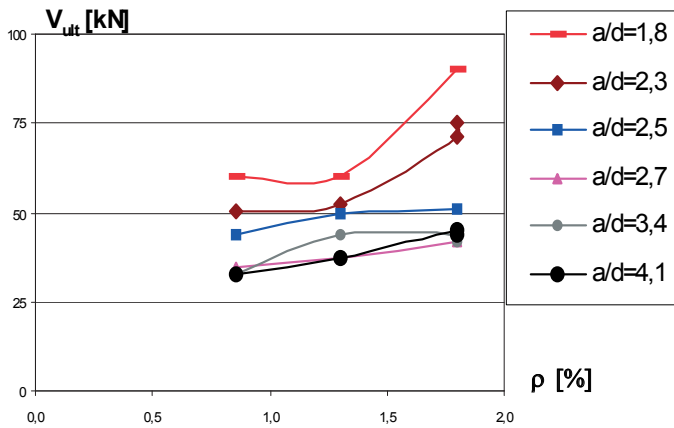
### 3. Badania doświadczalne

Większość badań doświadczalnych przeprowadzonych na betonowych belkach zbrojonych podłużnie bez zbrojenia poprzecznego, których wyniki można znaleźć w literaturze, dotyczy oceny wpływu wskaźnika ścinania i skali elementu na charakter zniszczenia i nośność badanych belek a relatywnie mniej miejsca zajmuje analiza wpływu zbrojenia podłużnego na wielkość sił niszczących. W celu oceny wpływu zbrojenia podłużnego na nośność na ścinanie elementów bez zbrojenia poprzecznego przeanalizowano wyniki badań własnych oraz wyniki badań G. N. J. Kaniego [14] i A. H. Shuaiba, D. M. Lue [15].

#### 3.1. Badania własne

Badania własne były przeprowadzone na belkach o stałym przekroju poprzecznym  $b_w \times h = 120 \times 250$  mm, wykonanych z betonu o wytrzymałości na ściskanie 35,0 MPa. W belkach różnicowany był stopień zbrojenia podłużnego  $\rho = 0,86; 1,3; 1,8$  % i badania były przeprowadzone przy różnym wskaźniku ścinania  $a/d$  od 1,8 do 4,1. Jako zbrojenie podłużne zastosowano pręty żebrowane o średnicy 12 i 18 mm ze stali o granicy plastyczności  $f_y = 548$  MPa i 453 MPa.

Poprzeczne siły niszczące uzyskane w badaniach przy różnym wskaźniku ścinania przedstawiono na rys. 1 w zależności od stopnia zbrojenia podłużnego. Można zauważyć, że zastosowany przekrój zbrojenia miał wpływ na nośność belek i był wyraźnie bardziej istotny w przypadku elementów o  $a/d < 2,5$ , charakteryzujących się najwyższym stopniem zbrojenia podłużnego  $\rho = 1,8$  %. To spostrzeżenie jest zgodne z wynikami badań, które zostały zacytowane w raporcie ASCE-ACI Committee 426 [17]. Na ich podstawie stwierdzono, że zmniejszenie stopnia zbrojenia podłużnego poniżej 1,5 % skutkuje znaczącym spadkiem nośności na ścinanie w elementach żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego.

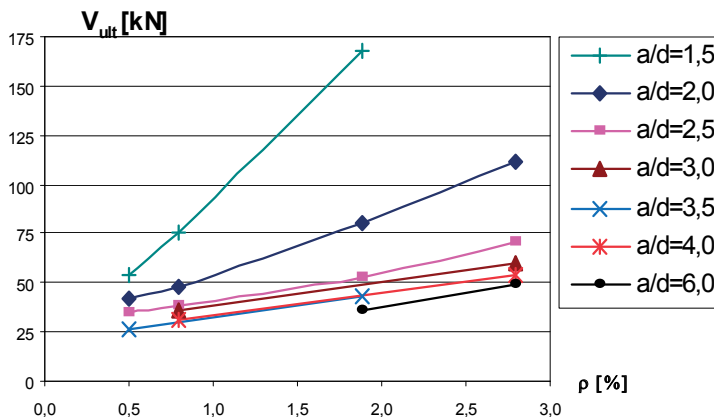


Rys. 1. Nośność belek na ścinanie w zależności od stopnia zbrojenia uzyskana w badaniach własnych

### 3.2. Badania Kaniego [14]

W badaniach, które przeprowadził Kani przyjęty był stały przekrój belek  $b_w \times h = 152 \times 305$  mm. Badaniami objęto elementy wykonane z betonu o wytrzymałości  $f_{c,\phi 15/30} = 26,7$  MPa, obciążone dwiema siłami skupionymi przy  $a/d = 1,0$  do  $6,0$ . Belki były zbrojone prętami o granicy plastyczności  $f_y = 352$  MPa i zastosowano 4 stopnie zbrojenia podłużnego:  $\rho = 0,5; 0,8; 1,88; 2,8$  %. Uzyskane w wyniku badań niszczące siły poprzeczne zestawiono na rys 2.

Analizując zależność  $V_{ult}$  od stopnia zbrojenia podłużnego uzyskaną na podstawie wyników badań Kani (rys.2) można zaobserwować proporcjonalny wzrost nośności na ścinanie belek wraz ze wzrostem stopnia zbrojenia podłużnego. Wpływ stopnia zbrojenia na nośność belek jest szczególnie widoczny w elementach badawczych o małym wskaźniku ścinania  $a/d = 1,5$  i  $2,0$ , w których zwiększenie stopnia zbrojenia podłużnego z  $0,5$  % do  $1,88$  % spowodowało ponad dwukrotny wzrost nośności na ścinanie. Natomiast we wszystkich belkach o wskaźniku ścinania  $a/d \geq 2,5$  ten wzrost przebiega podobnie i nie jest już tak znaczący.

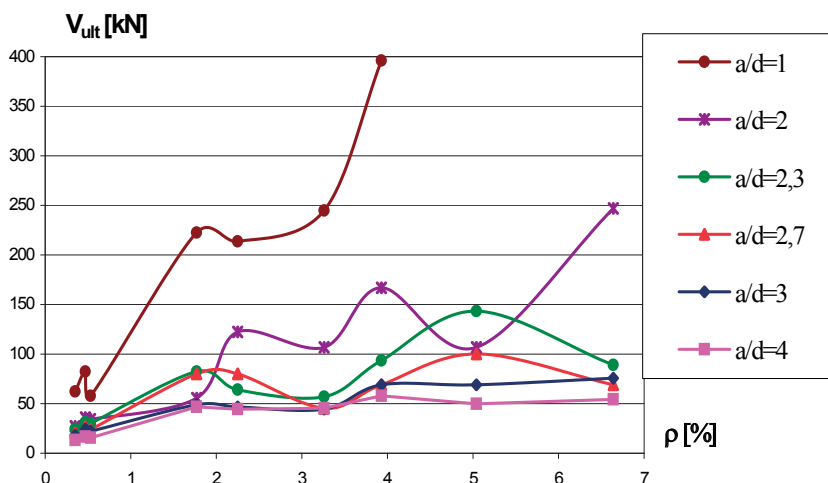


Rys. 2. Wykres zależności nośności belek na ścinanie od stopnia zbrojenia podłużnego sporządzony na podstawie wyników badań Kaniego

### 3.3. Badania przeprowadzone przez Shuaiba i Lue [15]

Badania zostały przeprowadzone na belkach wykonanych z betonu o wysokiej wytrzymałości. Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie wyniosła 64 MPa. Badane belki miały przekrój prostokątny o wymiarach  $b_w \times h = 127 \times 254$  mm. Podczas badań belki były obciążane dwiema siłami skupionymi przy  $a/d = 1,0$  do  $4,0$ . Belki były zbrojone prętami o granicy plastyczności  $f_y = 414$  MPa. Stopień zbrojenia podłużnego zmieniał się w szerokich granicach, od niskiego:  $\rho = 0,35; 0,47; 0,53$  %; poprzez typowy  $\rho = 1,77; 2,25; 3,26; 3,93$  % aż do bardzo wysokiego  $\rho = 5,04; 6,64$  %.

Uzyskane w wyniku badań niszczące siły poprzeczne zestawiono na rys 3. Analizując zależność siły niszczącej od stopnia zbrojenia można zauważyć, że ze wzrostem zastosowanego zbrojenia siły niszczące mają tendencję do wzrostu, szczególnie w belkach badanych przy niskim wskaźniku ścinania. W badanych belkach wykonanych z betonu o wysokiej wytrzymałości uzyskano jednak większe rozrzuty wyników i wpływ zbrojenia na nośność nie był tak harmonijny jak uzyskiwany w przypadku belek wykonanych z typowych betonów konstrukcyjnych.



Rys. 3. Wykres zależności nośności belek na ścinanie od stopnia zbrojenia podłużnego sporządzony na podstawie wyników badań Shuaiba i Lue

### 3.4. Wnioski z badań

W przypadku belek żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego do zniszczenia elementu najczęściej dochodzi w strefie przypodporowej ze względu na jednoczesne działanie momentu zginającego i siły poprzecznej. Charakter zniszczenia w dużej mierze zależy od wskaźnika ścinania i wymiarów elementu. Dodatkowym parametrem mogącym mieć wpływ na nośność tego typu elementów jest zbrojenie podłużne. Przykładowe wyniki badań zaprezentowane powyżej wyraźnie to obrazują pokazując jednocześnie, że inny jest udział zbrojenia podłużnego w przenoszeniu siły poprzecznej w belkach o wysokiej smukłości ścinania a inny w elementach o wskaźniku ścinania  $a/d < 2,5$ .

W typowych belkach o wysokiej smukłości ścinania, gdy  $a/d \geq 2,5$  zauważalny jest stosunkowo nieznaczny wzrost nośności na ścinanie wraz ze zwiększeniem stopnia zbrojenia podłużnego. W przypadku tych elementów często obserwowane jest kruche

zniszczenie w wyniku pojawienia się rysy ukośnej i w związku z tym na wielkość sił niszczących znaczący wpływ ma wytrzymałość betonu. Zagadnienie to było przedstawione na konferencji w Krynicy w 2013 roku (Słowik [18]).

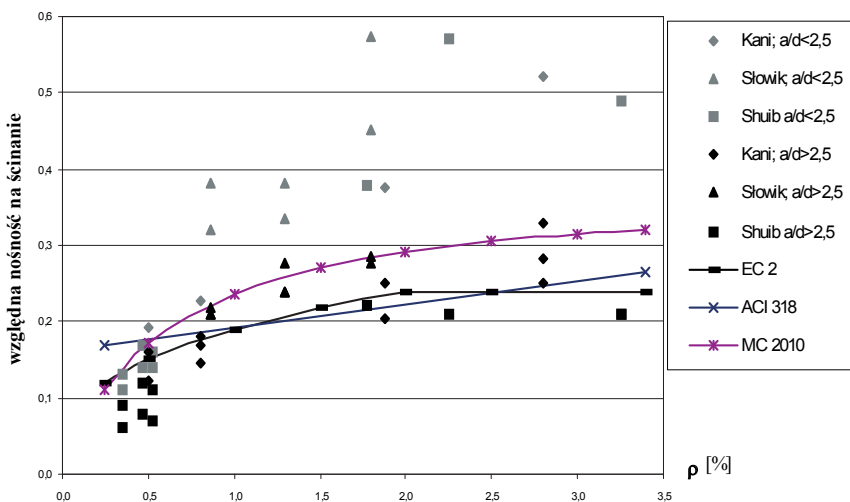
Natomiast w elementach o  $a/d < 2,5$  dochodzi do powolnego rozwoju rys ukośnych i wzrostu siły niszczącej znacznie powyżej siły powodującej zarysowanie ukośne. Taki charakter zniszczenia powoduje, że zastosowane zbrojenie podłużne w większym stopniu wpływa na nośność na ścinanie niż w belkach o wysokim wskaźniku ścinania.

#### 4. Analiza porównawcza wyników badań z nośnością wyznaczoną na podstawie wybranych norm

Pomimo wielu podobieństw między programem badań własnych a wybranymi badaniami zaprezentowanymi w punkcie 3.2 i 3.3, nie wszystkie parametry badań udało się zachować na tym samym poziomie. Elementy badawcze różnią się głównie wytrzymałością betonu oraz nieznacznymi wymiarami przekroju. Biorąc pod uwagę, że parametry te mogą mieć wpływ na uzyskane siły niszczące stwierdzono, że wyniki badań własnych i wyniki uzyskane w badaniach Kaniego oraz Shuaiba i Lue nie mogą być porównywane bezpośrednio. W celu ich porównania, na podstawie otrzymanych sił niszczących wyznaczono względne naprężenia ścinające przy zniszczeniu  $V_{ult}/(b_w d \sqrt{f_{ck}})$ . Dodatkowo wyniki badań zestawiono w dwóch grupach w zależności od wskaźnika ścinania  $a/d$ . W pierwszej grupie umieszczono elementy o  $a/d < 2,5$  (są to belki o  $a/d = 1,8$  i  $2,3$  z badań własnych, belki o  $a/d = 2,0$  z badań Kani i belki o  $a/d = 2,0$  i  $2,3$  z badań Shuaiba i Lue), natomiast do drugiej grupy zaliczono belki o  $a/d \geq 2,5$  (są to belki o  $a/d = 2,7$ ;  $3,4$  i  $4,1$  z badań własnych, belki o  $a/d = 2,5$ ;  $3,0$ ;  $3,5$ ;  $4,0$  z badań Kani i belki o  $a/d = 2,7$ ;  $3,0$ ;  $4,0$  z badań Shuaiba i Lue). Tak przygotowane zbiory wyników badań, obejmujące wyznaczone wartości względnych naprężeń ścinających przy zniszczeniu  $V_{ult}/(b_w d \sqrt{f_{ck}})$ , zestawiono w zależności od stopnia zbrojenia podłużnego na rys. 4.

W celu weryfikacji obliczeniowych metod wyznaczania nośności na ścinanie elementów bez zbrojenia poprzecznego, obowiązujących w normie Eurokod 2, normie amerykańskiej ACI 318 i zaleceniach *fib* Model Code 2010, na rys. 4 naniesiono również względną nośność na ścinanie wyznaczoną na podstawie wzorów zestawionych w tab. 1. Przy obliczaniu względnej nośności na ścinanie, miarodajny do obliczeń przekrój przyjęto w odległości  $z = d$  od podpory, tak jak jest to zalecane w normach. Porównanie wyników badań z obliczeniami możliwe jest tylko w przypadku belek o  $a/d > 2,5$ . Elementy o mniejszym wskaźniku ścinania należy wymiarować na podstawie innych procedur. Np. w normie ACI 318 belki o  $l_o < 4h$  (czyli  $a/d < 2,2$ ) są określane jako „deep beams” – belki ściany i wymiarowane na podstawie modeli ST (strut and tie). W normie Eurokod 2 element zginany jest traktowany jak belka ściana gdy  $l_o < 3h$ .

Na podstawie przedstawionego na rys. 4 zestawienia wyników badań i obliczeń można wnioskować, że w normowych formułach obliczeniowych służących do określania nośności na ścinanie uwzględniono wpływ stopnia zbrojenia w różny sposób. Najlepsze dopasowanie obliczeń do wyników badań belek o  $a/d > 2,5$  zestawionych w pracy uzyskano w przypadku Eurokodu 2.



Rys. 4. Porównanie wyników badań doświadczalnych

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań doświadczalnych można stwierdzić, iż zbrojenie podłużne jest parametrem, który ma wpływ na nośność na ścinanie żelbetowych elementów bez zbrojenia poprzecznego. Jak istotny jest ten wpływ na wielkość sił niszczących zależy również od wskaźnika ścinania. W belkach o wskaźniku ścinania  $a/d \geq 2,5$ , wraz ze wzrostem stopnia zbrojenia podłużnego obserwowany jest równomierny wzrost nośności na ścinanie. Natomiast w belkach o  $a/d < 2,5$  wpływ stopnia zbrojenia jest bardziej widoczny. Jest to spowodowane zmianą charakteru pracy w strefie przypodporowej belek. Przyłożenie obciążenia skupionego w odległości  $a < 2,5d$  powoduje przekazywanie części siły poprzecznej bezpośrednio na podporę. Wymiarowanie zaleca się wykonywać wówczas na podstawie modeli ST.

Porównując wyniki badań z nośnością na ścinanie elementów bez zbrojenia poprzecznego obliczoną na podstawie wybranych norm stwierdzono, że w przypadku belek o wysokiej smukłości ścinania we wszystkich procedurach uwzględniono wzrost nośności na ścinanie wraz ze wzrostem stopnia zbrojenia podłużnego. Najlepsze dopasowanie analizowanych wyników badań z wartościami obliczonymi na podstawie prezentowanych norm uzyskano w przypadku Eurokodu 2.

Przeprowadzona w pracy analiza wskazuje, że problem szacowania nośności zginanych elementów żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego wymaga dalszych badań i analiz.

## Literatura

- 1 Dąbrowski K. Nośność i rysoodporność strefy przypodporowej belek żelbetowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej, Budownictwo, z. 45, Warszawa 1967.
- 2 PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków. PKN, Warszawa 2008.
- 3 EN 1992-1-1:2004, Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization, 2004.
- 4 Godycki-Ćwirko T. Ścinanie w żelbecie. Arkady, Warszawa 1968.



- 5 Godycki-Ćwirko T., Wesołowski M. Graniczna siła poprzeczna przenoszona przez element żelbetowy bez zbrojenia poprzecznego w ujęciu normy europejskiej i polskiej. XLVII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, t. II, Konstrukcje betonowe, Opole-Krynica 2001, 67-74.
- 6 Godycki-Ćwirko T., Wesołowski M. Bezpieczne wymiarowanie ścinania ze zmiennym kątem  $\alpha$  w kratownicach zastępczych wg norm EC 2003, DIN 2001, PN2002. Przegląd Budowlany, 4/2006, 36-39
- 7 Model Code 2010, First complete draft, fib Bulletin 56, Vol. 2, 2010.
- 8 Vecchio F. J., Collins M. P. The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear. Journal of ACI, 83 (2), 1986, 219-231.
- 9 Vecchio F. J., Collins M. P. Predicting the Response of Reinforced Concrete Beams Subjected to Shear Using the Modified Compression Field Theory. Journal of ACI, 85 (4), 1988, 256-268.
- 10 Bentz E. C., Vecchio F. J., Collins M. P. The Simplified MCFT for Calculating the Shear Strength of Reinforced Concrete Elements. ACI Structural Journal, 103 (4), 2006, 614-624.
- 11 Sigrist V. Generalized Stress Field Approach for Analysis of Beams in Shear. ACI Structural Journal, 108 (4), 2011, 479-487.
- 12 fib Bulletin 57, Shear and punching shear in RC and FRC elements. Technical report, 2010, str. 268
- 13 Sigrist V. i inni, Background to the fib Model Code 2010 shear provisions- part 1: beams and slabs. Structural Concrete 14, No 3, 2013, 195-203.
- 14 Kani G. N. J. Basic Facts Concerning Shear Failure. Journal of ACI, June 1966, 675-692.
- 15 Shuaib A. H., Lue D. M. Flexural-Shear Interaction of Reinforced High-Strength Concrete Beams. ACI Structural Journal, July-August, 1987, 330-341.
- 16 ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318R-02), American Concrete Institute, 2002.
- 17 ASCE-ACI Commeeette 426 Report, The Shear Strength of Reinforced Concrete Members. Journal of the Structural Division, Vol. 99, No. ST6, June 1973, 1091-1187.
- 18 Słowik M. The Influence of Concrete Strength on Shear Capacity of Reinforced Concrete Members without Shear Reinforcement. 59 Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, materiały konferencyjne, Lublin-Krynica 2013.

## **The influence of longitudinal reinforcement on shear capacity of reinforced concrete members without shear reinforcement**

**Marta Słowik**

*Department of Building Structures, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University  
of Technology, e-mail: m.slowik@pollub.pl*

**Abstract:** In the paper, the influence of longitudinal reinforcement on shear capacity of reinforced concrete members without shear reinforcement is discussed. The problem is analyzed on the basis of the author's own test results and tests results reported in the professional literature. It has been concluded that longitudinal reinforcement has an effect on shear capacity especially in members of shear span-to-depth ratio  $a/d < 2,5$ . The test results have also been used to verify standard methods of calculating the shear capacity in reinforced concrete members without shear reinforcement given in Eurocode 2, ACI Standard 318 and Model Code 2010.

**Keywords:** concrete structures, shear capacity, longitudinal reinforcement