

# Wpływ wytrzymałości betonu 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 zestawiono zasady wymiarowania na ścinanie zginanych elementów żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego zamieszczone w normach Eurokod 2, ACI 318 i Model Code 2010. Podano również, na podstawie jakich metod wyprowadzono wzory normowe. Bardziej szczegółowo omówiono najnowsze przepisy *fib* Model Code, gdyż zostały one oparte na innym modelu niż dotychczasowe zalecenia. Następnie porównano nośność na ścinanie wyznaczoną według wyżej wymienionych norm z wynikami badań dostępnymi w literaturze w celu weryfikacji normowych procedur obliczeniowych ze szczególnym uwzględnieniem wpływu cech wytrzymałościowych betonu na nośność na ścinanie elementów bez zbrojenia poprzecznego.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje betonowe, nośność na ścinanie, modele ścinania.

## 1. Wprowadzenie

Jednym ze sposobów zniszczenia, które może wystąpić w zginanych belkach żelbetowych jest zniszczenie na ścinanie. Ma ono miejsce w strefach przypodporowych, w których występuje równoczesne działanie momentu zginającego i siły poprzecznej. Ten typ zniszczenia może spowodować redukcję nośności belki poniżej pełnej nośności na zginanie i jest szczególnie niebezpieczny w elementach bez zbrojenia poprzecznego.

Mając na uwadze jak ważne jest wyznaczenie nośności na ścinanie w belkach bez zbrojenia poprzecznego, w ostatnich latach przeprowadzono wiele badań dotyczących tego zagadnienia. Zaobserwowano, że parametrem mającym podstawowy wpływ na charakter zniszczenia jest wskaźnik ścinania  $M/Vd$ , który w przypadku elementów obciążonych jedną lub dwiema siłami skupionymi może być wyrażony również jako stosunek odległości przyłożonego obciążenia od podpory  $a$  do wysokości użytecznej przekroju  $d$ . W belkach zginanych o  $a/d \geq 2,5$  bardzo często obserwowano nagłe zniszczenie na ścinanie tuż po pojawieniu się rys ukośnych podczas gdy nośność elementów zginanych o  $a/d < 2,5$  była znacząco wyższa od siły poprzecznej, przy której dochodziło do zarysowania ukośnego. Wynika to ze zmiany mechanizmu pracy elementu. W elementach o wskaźniku ścinania  $a/d < 2,5$  wzrost nośności tłumaczy się efektem tarczowym oraz możliwością przekazania części siły poprzecznej bezpośrednio na podporę [1]. Dlatego w literaturze technicznej wyodrębnia się dwie lub nawet trzy, jak np. w raporcie ASCE-ACI Task Committee 426 [2], grupy elementów zginanych: typowe belki smukłe (slender beams) o  $a/d \geq 2,5$ ; belki krótkie (short beams) o  $1,0 < a/d < 2,5$  i belki ściany (deep beams) o  $a/d \leq 1,0$ , dla których zalecane są odrębne reguły wymiarowania.

W przypadku belek smukłych bez zbrojenia poprzecznego stwierdzono, że oprócz wskaźnika ścinania o nośności i charakterze zniszczenie decydują również inne parametry takie jak cechy wytrzymałościowe betonu, stopień zbrojenia podłużnego a także wielkość elementu. W referacie przeanalizowano wpływ wytrzymałości betonu na nośność belek bez zbrojenia poprzecznego o wskaźniku ścinania  $a/d > 2,5$ .

W wyniku badań doświadczalnych stwierdzono, że w zginanych elementach smukłych o typowych stopniach zbrojenia podłużnego w granicach  $1+3\%$ , ukośne zarysowanie prowadzi najczęściej do nagłego, kruchego zniszczenia. Ten typ zniszczenia nazywany jest „diagonal tension failure”. Tak więc w tego typu elementach o ich nośności decyduje pojawienie się rys ukośnych. Zarysowanie kojarzy się zwykle z osiągnięciem przez beton wytrzymałości na rozciąganie. Wyniki badań eksperymentalnych pokazują

jednak, że średnie naprężenie główne rozciągające, przy którym dochodzi do powstania rysy ukośnej jest zwykle niższe niż wytrzymałość betonu na rozciąganie.

## 2. Nośność na ścinanie w ujęciu normowym

W przepisach normowych dotyczących projektowania konstrukcji żelbetowych, w odniesieniu do wyznaczania nośności na ścinanie elementów poddanych momentowi zginającemu i siły poprzecznej są stosowane metody oparte na różnych modelach ścinania. Poniżej przedstawiono zasady wymiarowania na ścinanie elementów bez zbrojenia poprzecznego podane w normach Eurokod 2 [3, 4], ACI 318 [5] i Model Code 2010 [6] oraz ogólne założenia metod na podstawie których wyprowadzono wzory normowe. Bardziej szczegółowo omówiono najnowsze przepisy *fib* Model Code, gdyż zostały one wyprowadzone na podstawie innych założeń niż dotychczasowe zalecenia.

### 2.1. Eurokod 2

W zaleceniach międzynarodowych EN 1992-1-1:2004 [3], które obowiązują obecnie w Polsce [4] i w wielu krajach Europy, podstawą wyprowadzenia wzorów do wymiarowania belek na siły poprzeczne jest zmodyfikowany model kratownicy Mörscha. Szeroki komentarz dotyczący tego zagadnienia był prezentowany na wcześniejszych konferencjach naukowych w Krynicy, między innymi przez prof. Godyckiego [7, 8] i prof. Knauffa [9], jak i w licznych publikacjach [10-14].

W przypadku elementów nie wymagających obliczania zbrojenia na ścinanie norma Eurokod 2 podaje wzór na wartość obliczeniową nośności na ścinanie,  $V_{Rd,c}$  w N, w postaci:

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (1)$$

gdzie:

$f_{ck}$  - wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie w MPa,  
 $b_w$  - najmniejsza szerokość strefy rozciąganej w mm,  
 $d$  - wysokość użyteczna przekroju w mm,  
 $\rho_l$  - stopień zbrojenia rozciąganego, które sięga na odległość nie mniejszą niż  $(l_{bd} + d)$  poza rozważany przekrój, lecz nie więcej niż 0,02,

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0,2 f_{cd} \text{ - naprężenie wywołane siłą podłużną w MPa,}$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}},$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c \text{ i } k_1 = 0,15 \text{ - wartości zalecane.}$$

Zaznaczyć należy, że w postanowieniach krajowych w zakresie stosowania normy Eurokod 2 został wprowadzony inny współczynnik materiałowy dla betonu w sytuacji obliczeniowej trwałej ( $\gamma_c = 1,4$ ) w porównaniu do normy europejskiej ( $\gamma_c = 1,5$ ). Projektowanie konstrukcji z betonu wg zasad Eurokodu 2 odnosi się do betonów o wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie do 90 MPa.

### 2.2. ACI 318

Amerykańskie przepisy normowe [5] zostały wyprowadzone na podstawie badań doświadczalnych przeprowadzonych w latach 50-tych XX wieku. W komentarzu do normy znajduje się odwołanie do szerokich badań z tego okresu przeprowadzonych między innymi przez Kani [15, 16].

W normie ACI 318 [5] nośność strefy przypodporowej belek niezbrojonych poprzecznie wyrażona jest wzorem podstawowym 11-3 lub rozbudowanym 11-5. Po zamianie jednostek stosowanych w USA na jednostki SI otrzymuje się wzory:

$$V_c = 0,17\sqrt{f'_c}b_wd \quad (2)$$

$$V_c = \left( 0,16\sqrt{f'_c} + 17\rho\frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \leq 0,29\sqrt{f'_c}b_w d \quad (3)$$

w których:

$V_c$  w N,

$f'_c$  - wytrzymałość betonu na ściskanie – odpowiednik wytrzymałości

charakterystycznej w MPa,

$\rho$  - stopień zbrojenia podłużnego ( $A_s/b_w d$ ),

$V_u$  - siła poprzeczna w rozpatrywanym przekroju w N,

$M_u$  - moment zginający w rozpatrywanym przekroju w Nmm,

$d$  - wysokość użyteczna przekroju w mm,

$b_w$  - szerokość przekroju w mm,

z tym że wartość ilorazu  $\frac{V_u d}{M_u}$  należy przyjmować w obliczeniach nie większą niż 1,0.

W przepisach normy amerykańskiej w odniesieniu do wymiarowania na ścinanie występuje ograniczenie wartości  $\sqrt{f'_c}$  do 100 psi, co odpowiada charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie 69 MPa. Zostało to podyktowane, jak podano w komentarzu do normy, brakiem wystarczającej liczby wyników badań elementów z betonu o wyższej wytrzymałości.

### 2.3. Model Code 2010

Podstawą do opracowania nowych zaleceń normowych w Model Code 2010 [6] jest tzw. zmodyfikowana teoria pola naprężeń ściskających Modified Compression Field Theory (MCFT). Teoria ta została opisana przez Vecchio i Collinsa [17, 18] a modele betonu w złożonym stanie naprężenia wynikające z teorii MCFT były prezentowane również na konferencji w Krynicy [19].

W nowej normie *fib* Model Code z 2010 roku w odniesieniu do wymiarowania na ścinanie wyróżniono różne poziomy aproksymacji, różniące się kompletnością zastosowanej metody i co za tym idzie dokładnością uzyskanych wyników. Poziom I-szy aproksymacji ma zastosowanie do opracowania koncepcji nowo projektowanych elementów i do projektowania typowych elementów konstrukcyjnych zarówno z jak i bez zbrojenia poprzecznego. Poziom II-gi odnosi się do projektowania elementów ze zbrojeniem poprzecznym w postaci strzemion o przekroju minimalnym a poziom III-ci (lub wyższe) do projektowania elementów w złożonym stanie obciążenia bez względu na ilość zastosowanego zbrojenia poprzecznego.

W normie [6] założono, że siła poprzeczna miarodajna do wymiarowania  $V_{Ed}$  jest siłą w przekroju oddalonym o odległość  $z=0,9d$  od lica podpory. Siła ta powinna być przeniesiona przez beton i zbrojenie poprzeczne:

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \quad (4)$$

gdzie:

$V_{Rd,c}$  - obliczeniowa siła przenoszona przez beton

$V_{Rd,s}$  - obliczeniowa siła przenoszona przez zbrojenie poprzeczne.

Siła przenoszona przez beton jest wyrażona wzorem:

$$V_{Rd,c} = k_v \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} z b_w \quad (5)$$

w którym:

$k_v$  - współczynnik określający udział betonu w przenoszeniu siły poprzecznej,

$\gamma_c$  - współczynnik materiałowy dla betonu przyjmowany tak samo jak w normie EN 1992-1-1:2004 [3] (1,5 i 1,2 odpowiednio w sytuacji obliczeniowej trwałej i przejściowej).

W normie Model Code 2010 znajduje się zastrzeżenie, że wartość  $\sqrt{f_{ck}}$  przyjmowana przy obliczaniu siły przenoszonej przez beton nie powinna być większa niż 8 MPa. Wynika to z faktu zaobserwowanych dużych rozrzutów wyników badań doświadczalnych w przypadku elementów wykonanych z betonów o wyższej wytrzymałości ( $f_{ck} > 64$  MPa).

W przypadku III-go poziomu aproksymacji, ogólne wzory podane w [6], na podstawie których można wyznaczyć kąt pochylenia naprężeń ściskających  $\theta$  (wzór 6), odkształcenie w kierunku podłużnym w środku wysokości przekroju  $\varepsilon_x$  (wzór 7) oraz współczynnik  $k_v$  przy  $\rho_w = 0$  (wzór 8) mają postać:

$$\theta = 29^\circ + 7000\varepsilon_x \quad (6)$$

$$\varepsilon_x = \frac{M_{Ed} / z + V_{Ed} + 0,5N_{Ed} - A_p f_{po}}{2(E_s A_s + E_p A_p)} \quad (7)$$

$$k_v = \frac{0,4}{(1+1500\varepsilon_x)} \cdot \frac{1300}{(1000+0,7k_{dg}z)} \quad (8)$$

gdzie:  $z$  w mm,

$E_s A_s$  - moduł sprężystości i pole przekroju zbrojenia podłużnego,

$E_p A_p$  - moduł sprężystości i pole przekroju zbrojenia sprężającego,

$$k_{dg} = \frac{48}{16 + d_g} \geq 1,15$$

$d_g$  - maksymalna średnica kruszywa w mm.

Na poziomie I-szym aproksymacji współczynnik  $k_v$  przy  $\rho_w = 0$  wyznacza się ze wzoru uproszczonego (9), wynikającego z przyjęcia kąta  $\theta = 36^\circ$  i następujących ograniczeń:  $f_{ck} \leq 64$  MPa,  $f_{yk} \leq 500$  MPa,  $d_g \geq 10$  mm.

$$k_v = \frac{200}{(1000 - 1,3z)} \leq 0,15 \quad (9)$$

### 3. Nośność na ścinanie na tle badań doświadczalnych

Przedstawione powyżej zastawienie wybranych zaleceń normowych z zakresu obliczania nośności na ścinanie zginanych elementów żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego wskazuje na zróżnicowanie stosowanych obecnie metod wymiarowania. Na uwagę zasługuje fakt wprowadzenia nowych przepisów w normie *fib* Model Code z 2010 roku. Wynika to zapewne z faktu, że dotychczasowe przepisy normalizacyjne nie były wystarczająco zgodne z uzyskiwanymi wynikami badań. Problem ten był ostatnio szeroko dyskutowany na łamach prasy naukowo-technicznej, szczególnie amerykańskiej i dotyczy przede wszystkim elementów o dużych wymiarach przekroju, wykonanych z betonu o wyższej wytrzymałości i gdy występuje wysoki poziom naprężeń w zbrojeniu podłużnym. Przykładem tej dyskusji w Polsce jest artykuł Paczkowskiego i Nowaka [20], w którym autorzy na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej stwierdzili znaczące rozbieżności wyników badań z wartościami obliczonymi na podstawie różnych modeli. W [20] przeanalizowano wzory zaproponowane przez Froscha i Zsuttego oraz wzory z normy ACI 318 i Eurokodu 2.

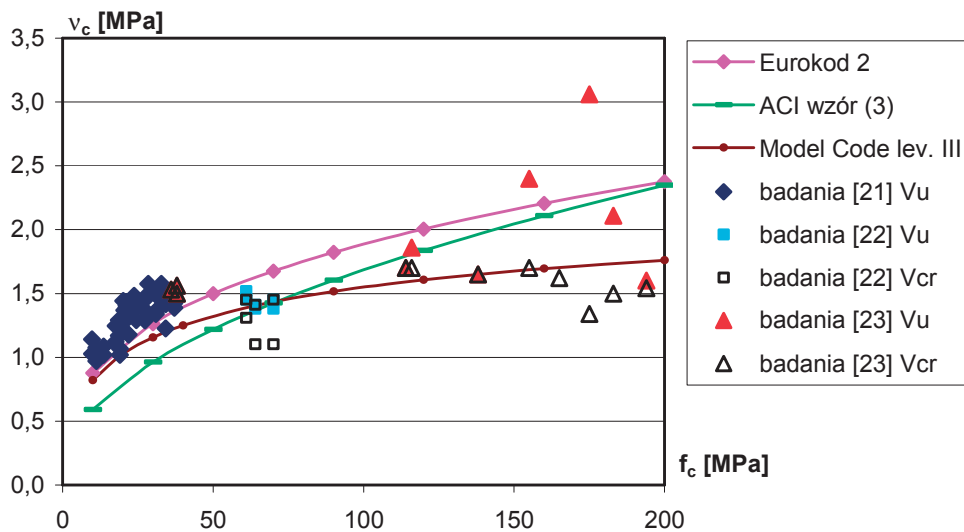
W celu wstępnej weryfikacji nowej metody zaproponowanej w zaleceniach *fib* Model Code z 2010 roku porównano nośność na ścinanie obliczoną na podstawie wzorów (6)÷(8) z wynikami badań dostępnymi w literaturze. Do analizy wybrano badania przeprowadzone w trzech ośrodkach badawczych: Surrey w Wielkiej Brytanii (badania Desai [21]), North Carolina w Stanach Zjednoczonych (badania Shuaib, Lue [22]) i Saitama w Japonii

(badania Perera, Mutsuyoshi [23]). Wyboru badań dokonano w taki sposób, by były one ze sobą jak najbardziej zbliżone pod względem warunków przeprowadzenia badań i wymiarów elementów. Ocena efektu skali nie była przedmiotem wybranych badań i nie podlega dyskusji w pracy. W niniejszej pracy skoncentrowano się na analizie wpływu cech wytrzymałościowych betonu na nośność belek na ścinanie. Podstawowe parametry wymienionych badań zestawiono w tabelicy 1.

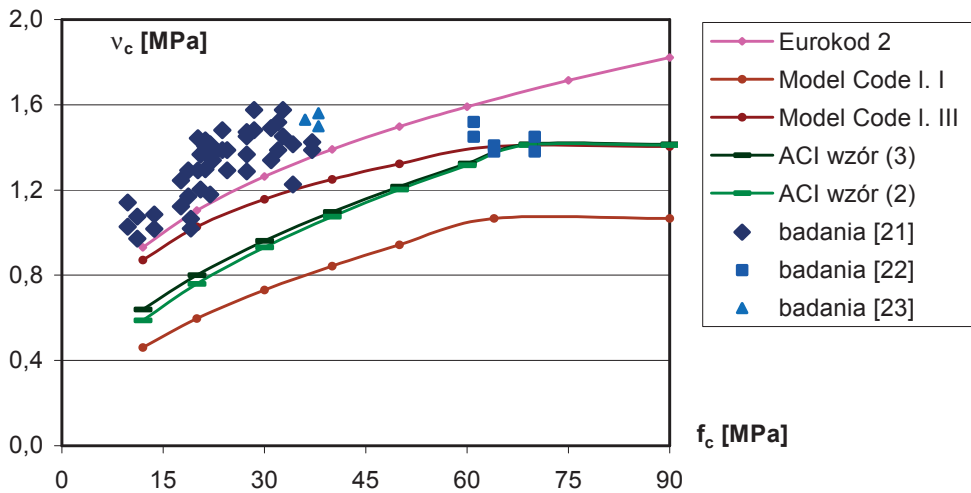
Tabela 1. Parametry badań

Lp.	Badania	$b \times h$ [m]	$a/d$	$\rho$ [%]	$f_c$ [MPa]
1	Desai [21]	$0,2 \times 0,3$	3,6	1,8	$10 \div 37$
2	Shuaib, Lue [22]	$0,13 \times 0,25$	3,0; 4,0	1,8; 3,3	$61 \div 70$
3	Perera, Mutsuyoshi [23]	$0,2 \times 0,3$	3,0; 3,5; 4,0	3,0	$36 \div 38$ i $114 \div 194$

W wybranych badaniach wszystkie elementy uległy zniszczeniu w wyniku wyczerpania nośności w strefie przypodporowej przed osiągnięciem momentu zginającego, wynikającego z nośności zbrojenia podłużnego. Elementy niszczyły się na skutek powstania rysy ukośnej a zniszczenia przybierało nagły kruchy charakter. Badanie wykazały, że nośność belek  $V_u$  była niewiele wyższa od siły poprzecznej przy której dochodziło do powstania rysy ukośnych  $V_{cr}$ . Na rysunku 1 przedstawiono wartości sił poprzecznych odniesione do przekroju elementu  $v_u = V_u / b_w d$  i  $v_{cr} = V_{cr} / b_w d$  otrzymane w wyniku badań oraz obliczone na podstawie zestawionych przepisów normowych ze wzorów (1), (3) oraz (5)÷(8) w zależności od wytrzymałości betonu na ściskanie. Natomiast na rysunku 2 zestawiono graniczne naprężenia ścinające  $v_u$ , obliczone na podstawie norm: Eurokod 2, ACI 318 i Model Code 2010 przy uwzględnieniu przyjętych w normach granicznych wartości wytrzymałości betonu, dla których ważne są wzory normowe.



Rys. 1. Zależność granicznych naprężeń ścinających od wytrzymałości betonu



Rys. 2. Graniczne naprężenia ścinające obliczone z uwzględnieniem przyjętych w normach ograniczeń co do wytrzymałości betonu

Na podstawie przedstawionego na rys. 1 zestawienia wyników badań i obliczeń można wnioskować, że w odniesieniu do całego zakresu wytrzymałości betonu, przebieg nośności na ścinanie najlepiej opisuje reguła podana w nowych zaleceniach Model Code 2010 przy III-cim poziomie aproksymacji obliczeń. Przepisy normy amerykańskiej znacznie odbiegają od wyników badań i to zarówno w przypadku zwykłych betonów konstrukcyjnych jak i betonów o wysokich wytrzymałościach. Norma Eurokod 2 daje stosunkowo dobrą zgodność z wynikami badań jedynie w przypadku betonów zwykłych.

W raporcie ASCE-ACI Committee z 1998 roku [24] można znaleźć stwierdzenie, że siła poprzeczna, przy której powstaje zarysowanie ukośne jest krytycznym parametrem decydującym o nośności zginanych elementów żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego. Przy przyjęciu, że o nośności elementów bez zbrojenia poprzecznego decyduje naprężenie ścinające powodujące zarysowanie ukośne  $v_{cr} = V_{cr} / b_w d$ , obliczona nośność elementów na podstawie analizowanych przepisów normowych w porównaniu do wyników badań jest zawyżona w elementach wykonanych z betonów wysokowartościowych. Stąd uzasadnione jest zastosowanie górnej granicy wytrzymałości betonu w obliczeniach. Zestawione na rys. 2 wyniki obliczeń granicznych naprężeń ścinających, wyznaczonych przy uwzględnieniu zalecanej maksymalnej wartości wytrzymałości betonu przyjmowanej we wzorach norm ACI 318 – wzory (2) i (3) i Model Code 2010 – wzory (5) ÷ (9) dla I-go i III-go poziomu aproksymacji obliczeń, pokazują, że tak wyznaczone wartości są po stronie bezpiecznej w odniesieniu do prezentowanych badań.

#### 4. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że żelbetowe elementy zginane, które ulegają zniszczeniu na skutek działania siły poprzecznej w strefie przypodporowej bez osiągnięcia pełnej nośności na zginanie, wynikającej z zastosowanego zbrojenia podłużnego powinny być wymiarowane na podstawie sił wywołujących zarysowanie ukośne. Dotyczy to szczególnie elementów wykonanych z betonów o wysokich wytrzymałościach, które są bardziej podatne na kruche zniszczenie.

W normie Model Code 2010 [6] przedstawiono nowe ujęcie obliczeniowe zagadnienia dotyczącego nośności na ścinanie elementów żelbetowych, które jest oparte na zmodyfikowanej teorii pola naprężeń ściskających. Teoria ta odnosi się do opisu zachowania betonu w złożonym stanie naprężenia i z tego względu znalazła zastosowanie w normie [6] do wymiarowania belek w strefie przypodporowej.

Przeprowadzona w pracy analiza ma ograniczony charakter i wskazuje, że problem

szacowania nośności zginanych elementów żelbetowych bez zbrojenia poprzecznego wymaga dalszych badań i analiz.

## Literatura

- 1 Bodzak P. Efekt tarczowy w żelbetowych elementach prętowych bez zbrojenia poprzecznego. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 11/2006, str. 607-610
- 2 The Shear Strength of Reinforced Concrete Members. *Journal of the Structural Division*, Vol. 99, No. ST6, June 1973, str. 1091-1187
- 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 PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków. PKN, Warszawa 2008
- 5 ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318R-02), American Concrete Institute, 2002
- 6 Model Code 2010, First complete draft, *fib Bulletin* 56, Vol. 2, 2010
- 7 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, str. 67-74
- 8 Godycki Ćwirko T., Wesołowski M. O minimalnym zbrojeniu poprzecznym elementów żelbetowych. XLIX Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, t. III, Konstrukcje betonowe, Materiały budowlane, Warszawa-Krynica 2003, str. 33-40
- 9 Knauff M. Uwagi o obliczaniu belek żelbetowych na ścinanie według Eurokodu. Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB Krynica 2008, t. VI, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, str. 213-220
- 10 Dąbrowski K. Obliczanie konstrukcji żelbetowych na ścinanie według Eurokodu 2 i PN-84/B-03264. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 7/1992, str. 233-236
- 11 Godycki Ćwirko T., Wesołowski M. Minimal Transverse Reinforcement of Reinforced Concrete Members. *Archives of Civil Engineering*, LI, 4, 2005, str. 533-559
- 12 Godycki Ćwirko T., Wesołowski M. Minimalne zbrojenie na ścinanie w konstrukcjach żelbetowych. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 2/2006, str. 83-87
- 13 Godycki-Ćwirko T., Wesołowski M. Bezpieczne wymiarowanie ścinania ze zmiennym kątem  $\theta$  w kratownicach zastępczych wg norm EC 2003, DIN 2001, PN2002. *Przegląd Budowlany*, 4/2006, str. 36-39
- 14 Knauff M. Projektowanie konstrukcji z betonu według Eurokodu – podstawowe założenia i zasady. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 276, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, z. 58, Rzeszów 2011, str. 135-154
- 15 Kani G. N. J.: Basic Facts Concerning Shear Failure. *Journal of ACI*, June 1966
- 16 Kani G. N. J.: The Riddle of Shear Failure and Its Solution. *Journal of ACI*, April 1964
- 17 Veccio F. J., Collins M. P. The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear. *Journal of ACI*, 83 (2), 1986, str. 219-231
- 18 Veccio 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, str. 256-268
- 19 Bijak I., Goszczyński S., Wawszczak W. Model konstytutywny betonu w dwuosiowym stanie naprężenia. XLIV Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1998, str. 13-20
- 20 Paczkowski P., Nowak A.S. Shear Resistance of Reinforced Concrete Beams without Web Reinforcement. *Architecture Civil Engineering Environment ACEE*, No. 1/2008, str. 99-112
- 21 Desai S.: Influence of Constituents of Concrete on Its Tensile Strength and Shear Carrying Capacity. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 55, No. 1, February 2003, str. 77-84
- 22 Shuaib H. A., Lue D. M.: Flexure-Shear Interaction of Reinforced High-Strength Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, July-August 1987, str. 330-341
- 23 Perera S. V. T., Mutsuyoshi H. Shear Behavior of Reinforced High-Strength Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, Vol. 110, No.1, January-February, 2013, str. 43-52

- 24 Recent Approaches to Shear Design of Structural Concrete. Journal of Structural Engineering, December 1998, str. 1375-1417

## **The Influence of Concrete Strength on Shear Capacity of Reinforced Concrete Members without Shear Reinforcement**

**Marta Slowik**

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

**Abstract:** In the paper, dimensioning rules for shear capacity in reinforced concrete members without shear reinforcement given in Eurocode 2, ACI Standard 318 and Model Code 2010 are described. The *fib* Model Code recommendations are described in more detailed way as they are based on a new concept. The shear strength calculated on the basis of the mentioned codes is later compared to the results of test from professional literature in order to verify standard methods and to analyze the influence of concrete strength on shear capacity in beams without stirrups.

**Keywords:** concrete structures, shear strength, models for shear.