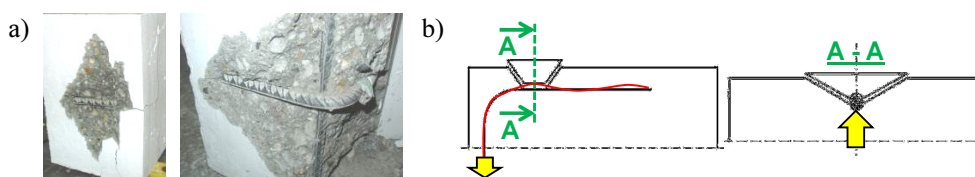


## NOŚNOŚĆ ZARYSOWANEJ OTULINY NA WYŁAMANIE

Radosław KUPCZYK  
 Politechnika Śląska, Gliwice

### 1. Wprowadzenie

W badaniach [1] strzemiona zakotwione w betonie hakiem prostym  $90^\circ$  ukształtowanym wg PN [2] i PN-EN [3] utraciły nośność wskutek wyłamania otuliny przez prostujący się zagięty koniec pręta (rys. 1a). Obserwowany mechanizm zniszczenia jest wg autora efektem sumy dwóch oddziaływań zbrojenia na beton na określonym odcinku haka pręta - rys. 1b. Pierwsze z nich polega na powstaniu w betonie podczas wrywania zbrojenia żebrowanego, naprężeń radialnych [4]. Natomiast drugie oddziaływanie związane jest z naciskiem poprzecznym fragmentu strzemienia za zagięciem (od zginania pręta).

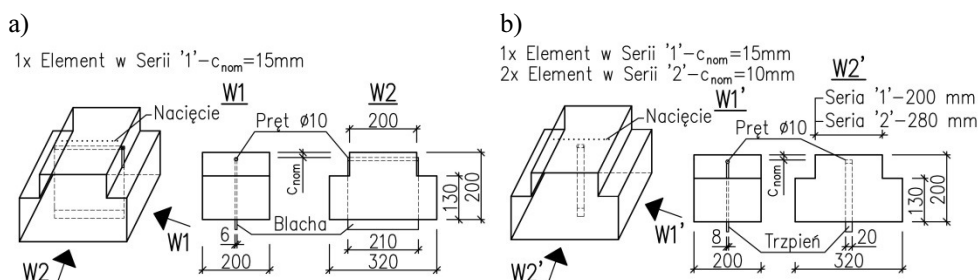


Rys. 1 Pręt zakotwiony hakiem prostym  $90^\circ$ : a) badania [1], b) mechanizm zniszczenia  
 Fig. 1 Stirrup with hook  $90^\circ$ : a) tests [1], b) the failure mechanism

W relacjonowanych badaniach podjęto próbę orientacyjnego oszacowania na drodze badań doświadczalnych, nośności zarysowanej otuliny betonowej na wyłamanie przez odcinek prosty pręta. W badaniach chodziło o określenie wartości oporu jaki beton przeciwstawia prostowaniu pręta poza zagięciem. Uzyskane w ten sposób wyniki spróbowano skonfrontować z przepisami normy [2]. Badania przy założeniu otuliny niezarysowanej przedstawiono m.in. w pracy [5].

### 2. Elementy badawcze

Badania przeprowadzono w 2 seriach. Każda z nich składała się z 2 elementów (rys. 2) w kształcie odwróconej litery T o wymiarach gabarytowych bloku betonowego  $320 \times 200 \times 200$  mm. W połowie szerokości elementu z zachowaniem otuliny (od góry)  $c_{nom} \approx 10$  (seria '2') lub 15 mm (seria '1') wstawiono blachę (seria '1') o wymiarach  $220 \times 210 \times 6$  mm lub trzpień  $220 \times 20 \times 8$  mm (seria '1' i '2') z krawędziowo od góry przyspawanym prętem żebrowanym średnicy 10 mm. Otulinę zbrojenia nacięto wzdłuż pręta (na całej długości elementów), poprzez umieszczenie w deskowaniu blachy grubości 0,5 mm, którą po wstępnym związaniu betonu usunięto.

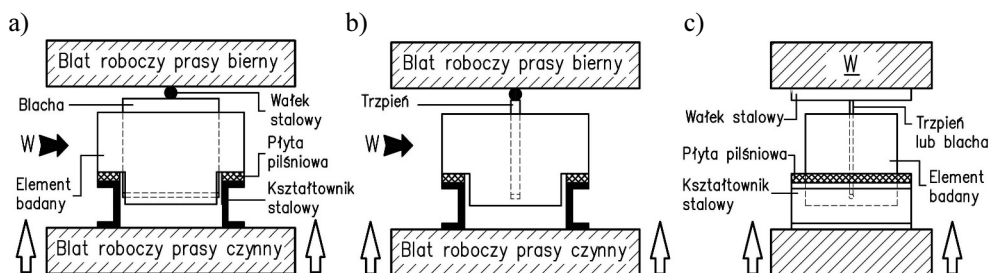


Rys. 2 Elementy badane z: a) blachą, b) trzpieniem  
Fig. 2 Test specimens with: a) the plate, b) the pin

W celu redukcji tarcia powstałego pomiędzy betonem a wypychaną w procesie obciążania stalową blachą lub trzpieniem, w modelach badanych na styku obu materiałów (poza powierzchnią połączenia betonu z prętem) wstawiono dwie warstwy poślizgowe z folii PCV.

### 3. Stanowisko badawcze i przebieg badania

W celu przeprowadzenia badania, każdy element ustawiono w pozycji T na dolnym blacie prasy hydraulicznej, poprzez oparcie jego bocznych wsporników na kształtownikach stalowych i podkładkach wyrównawczych z miękkiej płyty pilśniowej (rys. 3).



Rys. 3 Stanowisko badawcze elementów z: a) blachą, b) trzpieniem, c) widok „W”  
Fig. 3 Test stand of elements with: a) the plate, b) the pin, c) view “W”

W dalszym etapie na wystającej blasze lub trzpieniu w górnej części elementu, poprzecznie ustawiono wałek stalowy, który następnie dociśnięto blatem górnym urządzenia. Obciążenie o przyroście 0,5 kN/s, powodujące wypychanie z elementu badawczego stalowego wkładu z dospawanym prętem, realizowano poprzez przemieszczenie pionowe dolnego blatu prasy. Badania prowadzono w jednym cyklu. W efekcie obciążania doprowadzono do wyłamania betonu w miejscu otuliny pręta zbrojeniowego.

### 4. Wyniki badań materiałowych betonu

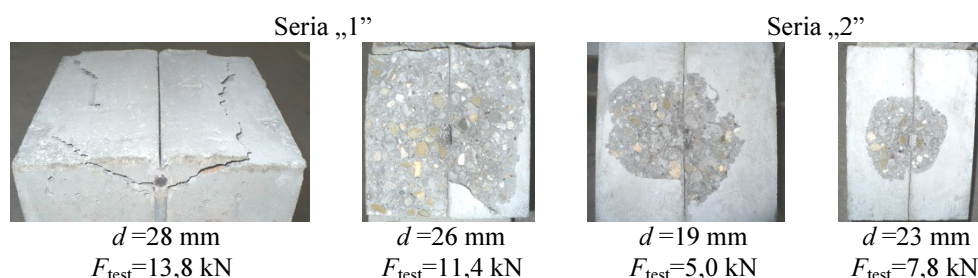
Do wykonania elementów badawczych zastosowano beton wytworzony na cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R i kruszywie o maksymalnej średnicy ziaren 16 mm. W dniu badania elementów, tj. po 6 dniach dojrzewania betonu, określono dla każdej serii na 3 próbkach kostkowych 150×150×150 mm średnie wartości parametrów mechanicznych materiału – tablica 1.

Tabela 1. Średnie wartości parametrów mechanicznych betonu (w MPa)

Świadki elementów	Wytrzymałość na ściskanie (kostki) $f_{c,cube}$	Wytrzymałość na ściskanie (walce) $f_{c,core}=0,8 \times f_{c,cube}$	Wytrzymałość na rozciąganie wg norm PN [2] i PN-EN [3] $f_{ctm}=0,3 \times f_{c,core}^{2/3}$
Serii „1”	26,8	21,4	2,31
Serii „2”	25,7	20,6	2,25

## 5. Wyniki badań i analiza

W wszystkich badanych elementach doszło do wyłamania otuliny. Zauważono, że rysy niszczące rozpoczynały się od krawędzi górnej blachy (pod prętem zbrojeniowym). Widok zniszczonych elementów oraz pomierzone ekstremalne siły  $F_{test}$  powodujące wyłamanie otuliny wraz z „wysokościami użytecznymi przekroju”  $d$  (wg dokonanej inwentaryzacji betonowych bloków po badaniach) zamieszczono na rys. 4.



Rys. 4 Widok zbadanych elementów wraz z siłami niszczącymi  $F_{test}$  i wysokością  $d$   
Fig. 4 View of elements after tests with values of breaking forces  $F_{test}$  and useful section  $d$

Uzyskane siły z badań elementów z trzpieniem porównano z wartościami obliczonymi na podstawie wzoru (1) (znajdującym się w normie PN [2]), obejmujący przypadek betonu niezarysowanego i wzoru (2) (na podstawie [4]), który uwzględnia obecność rysy w otulinie.

$$F_{cal,1} = f_{ctm} \cdot u_p \cdot d \quad (1)$$

$$F_{cal,2} = 2u_p \left( -\phi(f_{ctm} + f_{c,core}) - df_{c,core} \right) + \left( (f_{ctm} + f_{c,core}) \left( \phi^2(f_{ctm} + f_{c,core}) + 2d\phi f_{c,core} + d^2 f_{c,core} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

gdzie:

$f_{ctm}$  – wytrzymałość betonu na rozciąganie wg tabeli 1,

$u_p$  – obwód kontrolny: - dla elementów z blachą:  $u_p = 2 \times 200 = 400 \text{ mm}$ ,

- dla elementów z trzpieniem wg wzoru:  $u_p = (4 \cdot 200 \text{ mm} + 2\pi d + 4 \cdot 10 \text{ mm}) / 2$ ,

$d$  – wysokość użyteczna przekroju wg rys. 4.

Tabela 2. Porównanie wyników z badań do wartości obliczonych wg wzorów (1) i (2)

Elementy serii „1”	$F_{test} / F_{cal,1}$	$F_{test} / F_{cal,2}$	Elementy serii 2”	$F_{test} / F_{cal,1}$	$F_{test} / F_{cal,2}$
z blachą	-	0,75	z trzpieniem	0,98	1,55
z trzpieniem	1,34	1,92	z trzpieniem	1,14	1,70

W tym wypadku jest to konieczne ponieważ występują tutaj jednocześnie oba wymienione przypadki (jeden na kierunku prostopadłym oraz drugi na kierunku równoległym do przebiegu rysy). Inna sytuacja ma miejsce przy rozpatrywaniu elementu z blachą, który to jest zgodny tylko z modelem pracy otuliny z rysą (wzór (2)). Wyniki przeprowadzonej analizy zamieszczono w tab. 2.

## 6. Podsumowanie

Wszystkie elementy badawcze uległy zniszczeniu zgodnie z założeniem, tj. z uwagi na wyłamanie betonu w miejscu otuliny przez wkład stalowy. Rysy niszczące (wyznaczone w badaniu z blachą) były pochylone pod zmiennym kątem wynoszącym od  $19^\circ$  do  $31^\circ$ .

Porównanie wyników doświadczalnych z wartościami obliczonymi w sposób analityczny (wzór (2)), uwzględniający obecność rysy w wypadku elementu badanego z blachą, wykazało relację wynoszącą 0,75. Wyniki badań z trzpieniem, czyli krótkim elementem wyłamującym, okazały się być bardziej zbliżone (od 0,98 do 1,34) do rozwiązań wg metody (wprowadzonej do PN [2]) zakładającej brak zarysowania betonu.

Powyższa analiza wyników doświadczalnych i analitycznych wydaje się sugerować, że wzór (1) może być brany pod uwagę przy szacowaniu nośności cienkich (wysokość użyteczna  $d \approx 20 \div 25$  mm) zarysowanych warstw elementów, wyłamywanych na krótkich odcinkach (20 mm) przy wytrzymałości kostkowej betonu na ściskanie  $f_{c,cube} \approx 25$  MPa. Natomiast obliczenia wg wzoru (2) wykazały istotne zawyżenie nośności w porównaniu z wynikiem otrzymanym w badaniu wyłamywania otuliny przez element o kształcie liniowym (blacha). Przeprowadzone badania miały charakter rozpoznawczy i w obu przypadkach konieczne są odpowiednio liczne dalsze badania doświadczalne.

## Literatura

- [1] Starosolski W., Kupczyk R.: Badania zakotwień strzemion, XXV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 2010, vol. IV, s. 21÷66.
- [2] PN-B-03264: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie, PKN, Warszawa, grudzień 2002.
- [3] PN-EN 1992-1-1: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, PKN, Warszawa, wrzesień 2008.
- [4] Tepfers R.: A theory of bond applied to overlapped tensile reinforcement splices for deformed bars, Chalmers Tekniska Högskola, Bygg-och miljöteknik, Konstruktionsteknik, Betongbyggnad, Göteborg, 1973.
- [5] Kupczyk R.: Nośność otuliny betonowej na przebicie. Badania doświadczalne i teoretyczne w budownictwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2012, s. 295÷302.

## CAPACITY OF THE CRACK CONCRETE COVER ON BREAKING

### Summary

The paper presents the results of four concrete T-shaped elements, with internally placed steel plate or pin with edge-welded reinforced bar 10 mm. As a result of pushed out the steel element from model the concrete cover  $c_{nom} = 10$  or 15 mm was broke open. Good agreement was obtained for the test results and concrete punching shear capacity determined according to PN-B-03264:2002.