

Jacek Nawrot

## **ANALIZA PORÓWNAWCZA NOŚNOŚCI POŁĄCZENIA ŚCINANEGO ZESPOLONEJ BELKI STALOWO-BETONOWEJ DLA DWÓCH WYBRANYCH TYPÓW ŁĄCZNIKÓW**

### **Wprowadzenie**

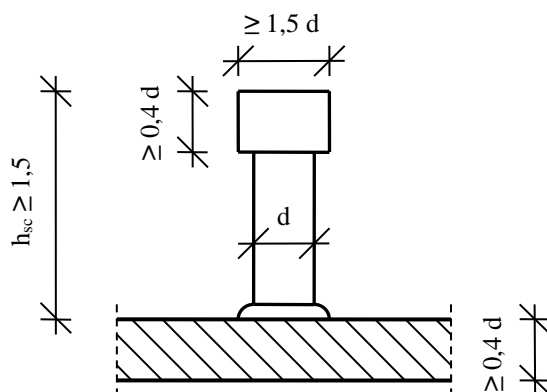
W zespolonych belkach stalowo-betonowych niezwykle istotnym czynnikiem jest połączenie w sposób trwały (zespolecie) stalowej i betonowej części składowej w taki sposób, aby mogły być traktowane jako jeden element konstrukcyjny. Zespolecie polega zazwyczaj na mechanicznym połączeniu obu części składowych i realizowane jest przy użyciu różnego rodzaju łączników. Głównym zadaniem łączników jest przeniesienie podłużnej siły ścinającej jaka powstaje między belką stalową i płytą betonową oraz zabezpieczenie płyty przed odrywaniem od belki. W niniejszym artykule przeprowadzono analizę porównawczą nośności ścinanego połączenia zespolonej belki stalowo-betonowej dla dwóch wybranych typów łączników: łącznika sworzniowego (obecnie najczęściej stosowanego w stropach zespolonych) oraz łącznika z odcinka kształtownika kapeluszowego, którego pomysłodawcą jest autor. Łącznik ten stanowi alternatywę dla aktualnie stosowanych rozwiązań w tym zakresie a z uwagi na prostotę wykonania i montażu może być pożytecznym uzupełnieniem dotychczasowych sposobów zespolenia belki stalowej z płytą betonową wykonaną na blasze fałdowej.

### **1. Charakterystyka analizowanych łączników**

Łączniki sworzniowe z główką są obecnie najpowszechniej stosowanymi łącznikami w konstrukcjach zespolonych. Norma [1] podaje konkretne zalecenia co do ich geometrii (rys. 1) i rozstawu.

Mają one jednakową nośność we wszystkich kierunkach, przenoszą zarówno siły rozwarstwiające jak i zabezpieczają płytę przed odrywaniem od belki - przejmują zarówno ścinanie jak i rozciąganie. Mocuje się je do belki poprzez przypawanie za pomocą specjalnego urządzenia spawalniczego. Łączniki te mogą być stosowane zarówno w stropach z płytą monolityczną jak i prefabrykowaną. Istotną cechą łącz-

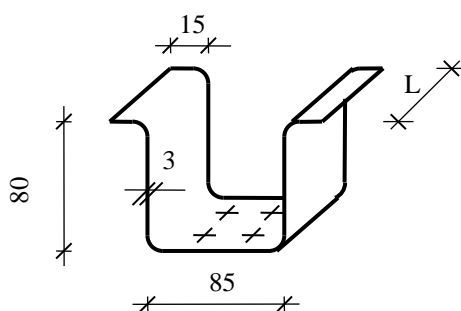
ników do zespolonych stropów stalowo-betonowych jest ich ciągliwość czyli zdolność do takiego odkształcania się, które umożliwia idealnie plastyczne zachowanie się połączenia ścinanego belki z płytą. Dla łączników sworzniowych z główką przyjmuje się, że warunek ten jest spełniony jeżeli ich całkowita długość po zamocowaniu jest nie mniejsza niż czterokrotna średnica (dla zakresu  $d = 16 - 22$  mm).



Rys. 1. Łącznik sworzniowy z główką

Łącznik z odcinka kształtownika kapeluszowego (rys. 2) zaprojektowany został z przeznaczeniem do belek zespolonych z płytą wykonaną na blasze fałdowej. Geometrię łącznika ustalono biorąc pod uwagę najpowszechniej występujące grubości płyt w stropach zespolonych oraz gotowe profile dostępne na rynku. Jediną zmienną, jeśli chodzi o geometrię łącznika jest jego długość, która może być regulowana wg potrzeb. Na podstawie przeprowadzonych badań [2] ustalono, że optymalna długość łącznika zapewniająca równocześnie jego ciągliwość wynosi 60 mm i taki łącznik przyjęto do dalszych rozważań.

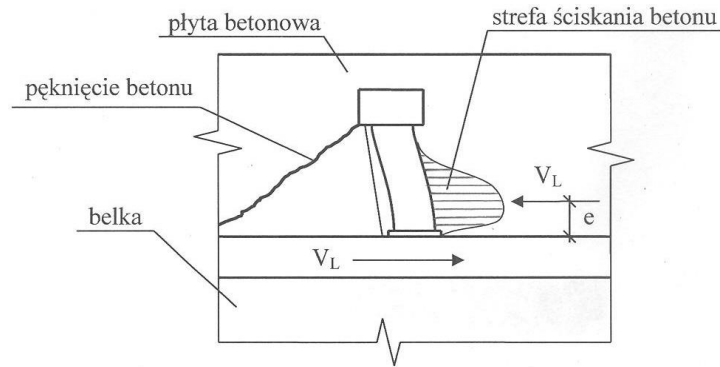
Mocowanie do belki odbywa się za pomocą czterech gwoździ wstrzeliwanych. Dzięki górnym odgięciom ścianek łącznika na obydwie strony zabezpiecza on płytę przed odrywaniem się od belki.



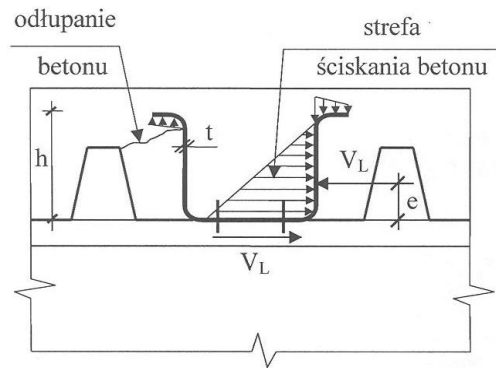
Rys. 2. Łącznik z odcinka kształtownika kapeluszowego.

## 2. Schemat pracy analizowanego połączenia

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono schematy przenoszenia siły ścinającej w połączeniu belki stalowej z płytą betonową dla rozpatrywanych łączników.



Rys. 3. Połączenie ścinane z łącznikiem sworzniowym



Rys. 4. Połączenie ścinane z łącznikiem z odcinka kształtownika kapeluszowego

Siła rozwarstwiająca  $V_L$  działająca na styku górnej półki belki stalowej z płytą betonową jest równoważona przez wypadkową naprężeń ściskających w betonie, która działa na pewnym mimośrodku  $e$  mierzonym od dolnej krawędzi płyty. Korpus łącznika sworzniowego a także ścianki łącznika z odcinka kształtownika kapeluszowego będą podlegały ścinaniu i zginaniu a beton przylegający do powierzchni łącznika u jego podstawy będzie poddany działaniu wysokich naprężeń ściskających, których wartość zależy od położenia ich wypadkowej oraz od wartości siły ścinającej [3]. Położenie wypadkowej zależy od relacji, jaka zachodzi między sztywnością betonu i stali. Jeżeli moduł sprężystości betonu zmierza do nieskończoności, to mimośrodek  $e$  zmierza do zera, jeżeli moduł zmierza do zera to mimośrodek  $e$  zmierza do połowy wysokości łącznika. W przypadku połączenia ścinanego zespolonej belki stalowo-betonowej zrealizowanego za pomocą łączników sworzniowych, jego nośność będzie uzależniona od wytrzymałości i sztywności łączni-

ków oraz betonu, co znajduje odzwierciedlenie we wzorach (2) i (3) określających obliczeniową nośność pojedynczego łącznika. Dla zespolenia przy użyciu łączników z odcinka kształownika kapeluszowego - z uwagi na większą powierzchnię docisku ścianek łącznika do betonu - o nośności połączenia decyduje nośność mocujących go gwoździ [4].

### 3. Nośność łączników dla celów projektowych

Nośność połączenia (zespolenia) jest wystarczająca, jeśli podłużna siła ścinająca  $V_L$  obliczona zgodnie z [1] jest nie większa od iloczynu obliczeniowej nośności łącznika  $P_{Rd}$  i ilości łączników rozmieszczonych na odcinku belki między przekrojem, w którym występuje maksymalny moment zginający a podporą  $n_f$ :

$$V_L \leq n_f P_{Rd} \quad (1)$$

Nośność obliczeniowa łącznika sworzniowego przyjmowana jest, jako mniejsza spośród wartości:

$$P_{Rd} = 0,8 f_u \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{\gamma_v} \quad (2)$$

$$P_{Rd} = 0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} \frac{1}{\gamma_v} \quad (3)$$

gdzie:

$f_u$  - wytrzymałość na rozciąganie materiału łącznika

$d$  - średnica sworznia

$\gamma_v$  - częściowy współczynnik bezpieczeństwa równy 1,25

$E_{cm}$  - wartość średnia siecznego modułu sprężystości betonu

$h_{sc}$  - wysokość sworznia po przypawaniu

$\alpha$  - współczynnik, którego wartość należy przyjmować:

$$\alpha = 0,2(h_{sc}/d + 1) \text{ dla } 3 \leq h_{sc}/d \leq 4 \quad (4)$$

$$\alpha = 1 \text{ dla } h_{sc}/d \geq 4 \quad (5)$$

Dla płyt zespolonych wykonanych na blachach fałdowych nośności łączników redukuje się współczynnikami  $k_1$  (jeżeli fałdy blachy są równoległe do osi podłużnej belki) i  $k_2$  (jeżeli fałdy blachy są prostopadłe do osi podłużnej belki). Szczegółowy sposób określania wartości współczynników redukcyjnych podany jest w normie [1].

Nośność obliczeniowa łącznika z odcinka kształownika kapeluszowego mocowanego za pomocą gwoździ wstrzeliwanych (dla płyty na blasze fałdowej) określona na podstawie badań wyrażona jest wzorem:

$$P_{Rd} = \frac{f_u}{f_{ut}} \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} \leq \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} \quad (6)$$

gdzie:

$f_u$  - podawana przez producenta wytrzymałość na rozciąganie materiału łącznika,

$f_{ut}$  - rzeczywista wytrzymałość na rozciąganie materiału łącznika,

$\gamma_v$  - częściowy współczynnik bezpieczeństwa równy 1,25,

$P_{Rk}$  - nośność charakterystyczna łącznika.

Dla łącznika długości 60 mm mocowanego czterema gwoździami wstrzeliwanymi Hilti Ø 4,5 mm obliczeniowa nośność wynosi 54,7 kN, i jak wykazały przeprowadzone badania [2], [4] jest pochodną nośności mocujących go gwoździ. Ponieważ łącznik jest przewidziany do stropów na blasze fałdowej nie określano jego nośności w płycie jednolitej (bez blachy).

## Podsumowanie

Sposób przenoszenia podłużnej siły ścinającej dla obu rozważanych przypadków jest podobny a różnice - jeśli chodzi o potencjalne mechanizmy zniszczenia - wynikają z różnic w geometrii i sposobie mocowania.

Przekroczenie nośności połączenia ścinanego zespolonej belki stalowo-betonowej, wykonanego z zastosowaniem łączników sworzniowych - z uwagi na nośność samego łącznika - może wystąpić na skutek zniszczenia łącznika (ścięcia albo rozerwania) lub kruszenia się betonu w strefie docisku łącznika.

W przypadku zespolenia za pomocą łącznika z odcinka kształtownika kapeluszowego zniszczenie połączenia następuje poprzez ścięcie lub wyciągnięcie mocujących go gwoździ (wymiary łącznika zostały celowo dobrane w taki sposób aby wyeliminować inne postacie zniszczenia).

## Literatura

- [1] PN-EN 1994-1-1 Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [2] Nawrot J., Kucharczuk W.: Badanie nośności nowych łączników do zespolonych stropów stalowo-betonowych, *Inżynieria i Budownictwo* nr 12, 2004, s.654-657.
- [3] Kucharczuk W., Labocha S.: *Konstrukcje zespolone stalowo-betonowe budynków*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2008.
- [4] Kucharczuk W., Nawrot J.: Badanie nośności granicznej modelu stropu stalowo-betonowego zespolonego za pomocą łącznika nowego typu, *Konstrukcje zespolone*, red. nauk. Tadeusz Biliński, T.VII, Zielona Góra: Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2005, s.235-245.

### **Streszczenie**

W artykule przeanalizowano i porównano schemat pracy połączenia ścinanego zespolonej belki stalowo-betonowej dla dwóch wybranych sposobów zespolenia. Zaprezentowano modele zniszczenia dla obu rozważanych przypadków oraz omówiono czynniki wpływające na nośność łączników. Podano nośności obliczeniowe łączników jakie należy przyjmować do celów projektowych.

### **Comparative analysis of the shear connection capacity of steel-concrete composite beam for two types of connectors**

#### **Abstract**

The article analyzes and compares the operating diagram shear connection composite steel-concrete beams for the two fixation methods. Failure modes are presented for both the considered cases and discusses the factors affecting the strength. In the article computational loads of the connectors for design purposes has been given.