

dr inż. Szymon Swierczyna<sup>1)</sup>  
ORCID: 0000-0001-9593-0590

# Projektowanie jednociętych połączeń na łączniki jednostronne w konstrukcjach z kształtowników giętych

## *Designing of single-shear joints with blind fasteners in cold-formed steel structures*

DOI: 10.15199/33.2021.03.01

**Streszczenie.** Artykuł dotyczy zagadnień związanych z projektowaniem jednociętych połączeń elementów giętych na zimno z zastosowaniem łączników jednostronnych. Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych, propozycje sposobu wyznaczania charakterystyki obciążenie-przemieszczenie oraz wzór do wyznaczania nośności łącznika na docisk. Aby uzasadnić racjonalność przyjętych rozwiązań, zaprezentowano wyniki obliczeń przykładowej ramy kratowej z takimi połączeniami.

**Słowa kluczowe:** łączniki jednostronne; kształtowniki gięte na zimno; nośność i sztywność połączeń.

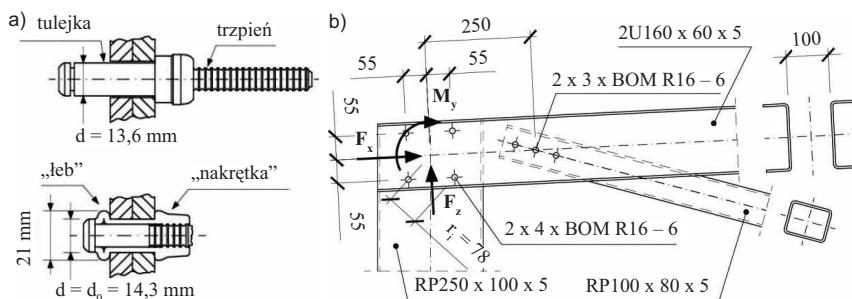
**Abstract.** The paper concerns on issues related to the design of single-shear blind bolted connections of cold-formed steel members. The results of experimental tests, proposals for the method of determining the load-displacement characteristics as well as the formula for determining the bearing capacity of the fastener were presented. To justify the rationality of the adopted solutions, the calculation results of an exemplary lattice frame with such connections are shown.

**Keywords:** blind fasteners; cold-formed steel; resistance and stiffness of joints.

Rozwój budownictwa stalowego przejawia się w dążeniu do kształtowania konstrukcji lekkich, łatwych w wytwarzaniu, transporcie i montażu, co skłania do stosowania elementów o przekroju giętym na zimno [3]. Polscy producenci oferują profile o przekroju otwartym lub zamkniętym, długości do ok. 12 m, a cynkowanie ogniowe nadaje im trwałość oraz estetykę.

W konstrukcjach stalowych bardzo ważne są połączenia, w których często stosuje się śruby zwykłe i sprężone o średnicy M10 ÷ M16 oraz różnego rodzaju wkręty, gwoździe i nity o średnicy poniżej 6,0 mm [11]. Alternatywą dla łączników tradycyjnych są tzw. łączniki jednostronne, np. BOM (*Blind, Over-size, Mechanically locked*) (rysunek 1). Ich zaletą jest możliwość zastosowania w przypadku dostępu do konstrukcji tylko z jednej strony oraz szczelne wypełnienie otworu podczas instalacji (średnica łącznika jest wtedy równa średnicy otworu  $d = d_0$  – rysunek 1a) [8].

W przypadku konstrukcji o rozpiętości kilkunastu metrów, racjonalne jest stosowanie elementów kratownicowych [7]. Użycie łączników jednostronnych oraz wprowadzenie mimośrodków w węzłach umożliwia projektowanie połączeń bez



Rys. 1. Połączenie na łączniki jednostronne typu BOM: a) przekrój łącznika przed i po osadzeniu; b) przykład połączenia w narożu ramy kratowej

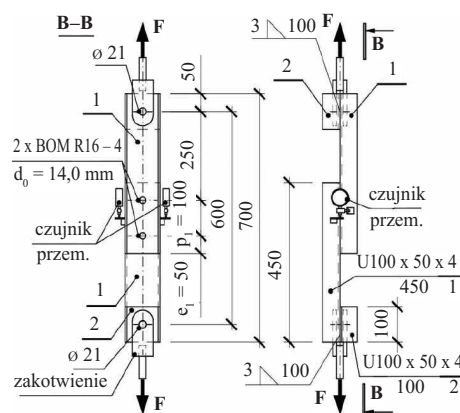
Fig. 1. Joint with BOM blind fasteners: a) cross-section of the fastener before and after installation; b) example of joint at the corner of a lattice frame

blach węzłowych (rysunek 1b), a wykorzystanie profili zamkniętych ogranicza ciężar konstrukcji. Zaproponowana technologia pozwala łatwo scalać konstrukcję z pojedynczych prętów na placu budowy.

### Badanie połączeń

Badano zachowanie się połączeń na elementach próbnych rozciąganych osiowo (rysunek 2). Dotychczasowe wyniki badań [6, 8, 10] obejmują 55 elementów i uwzględniają połączenia ścianek ze stali o  $f_u = 340 \div 540$  MPa i grubości  $t = 3 \div 5$  mm na łączniki BOM R10 do R16, osadzone w otworach o średnicy  $d_0 = 9 \div 14,5$  mm.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność między obciążeniem ścinającym pojedynczy łącznik  $F_j = 0,5F$ , a wzajemnym przemieszczeniem  $\delta$  w pięciu jednakowych

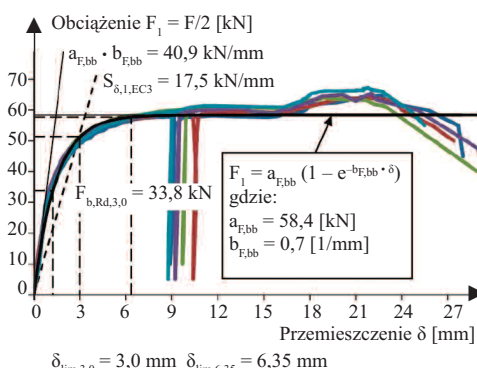


Rys. 2. Element próbny rozciągany osiowo  
Fig. 2. Axially loaded specimen

elementach próbnych o parametrach:  $f_u = 522$  MPa;  $t = 4,0$  mm;  $d_0 = 14,0$  mm;  $e_j/d_0 = 3,57$  (rysunek 2). Uzyskana zależność jest charakterystyczna w przypadku połączeń typu dociskowego [9].

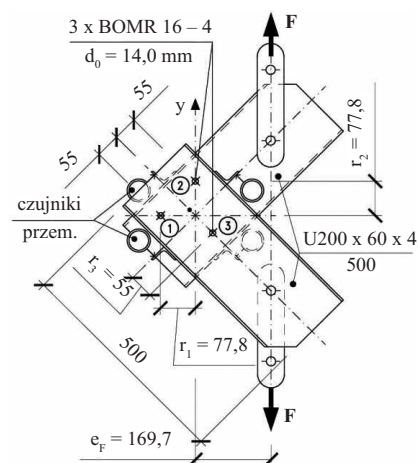
<sup>1)</sup> Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; szymon.swierczyna@polsl.pl

Wyniki badań opisano za pomocą funkcji wykładniczej (rysunek 3), gdzie  $a_{F_{bb}}$  określa siłę powodującą uplastycznienie w złączu, zaś iloczyn  $a_{F_{bb}}$  i  $b_{F_{bb}}$  stanowi początkową sztywność translacyjną połączenia. Ukośna linia przerywana na rysunku 3 reprezentuje sztywność  $S_{\delta,1,EC3} = 17,5$  kN/mm obliczoną sposobem pokazanym w [12], w którym sztywność połączeń zakładkowych wyznacza się na podstawie metody składnikowej w EC3 [5].



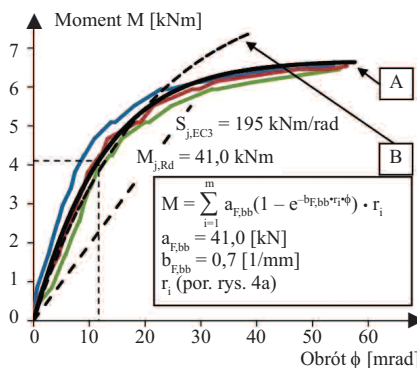
**Rys. 3. Zależność obciążenie-przemieszczenie w przypadku połączenia blach ze stali S355 grubości 4 mm i łącznika BOMR16-4**  
Fig. 3. Load-deformation characteristic for connection of plates 4 mm thick made of steel S355 and BOMR16-4 fastener

W węzłach konstrukcji prętowych, oprócz siły osiowej może występować również moment zginający i siła poprzeczna (rysunek 1b). W związku z tym badano elementy rozciągane mimośrodowo z 2, 3, 4 i 5 łącznikami. Na rysunku 4 przedstawiono połączenie na trzy łączniki, w którym  $f_u = 367$  MPa,  $t = 4,0$  mm,  $d_0 = 14,0$  mm.



**Rys. 4. Element próbny rozciągany mimośrodowo**  
Fig. 4. Eccentrically loaded specimen

Na rysunku 5 zilustrowano wyniki badania trzech jednakowych elementów jako zależność momentu zginającego  $M = F e_f$  i wzajemnego kąta obrotu  $\phi$ .



**Rys. 5. Charakterystyka moment-obrót w przypadku połączenia na trzy łączniki**  
Fig. 5. Moment-rotation characteristics for a joint with three fasteners

Krzywą A określono na podstawie sposobu obliczania dowolnego połączenia zakładkowego w złożonym stanie obciążenia [10]. Wartość momentu  $M_{j,Rd} = 4,1$  kNm odpowiada wyczerpaniu nośności przez najbardziej wyteżony łącznik nr 3 (rysunek 4). Krzywą B wyznaczono w sposób uproszczony, zgodnie ze wzorem podanym na rysunku 5, który pomija interakcję momentu i siły poprzecznej. Nachylenie prostej przerywanej odpowiada sztywności obrotowej wężła  $S_{j,EC3} = 195$  kNm/rad wg [12].

**Sposób prognozowania charakterystyki obciążenie-przemieszczenie**

Aby umożliwić prognozowanie charakterystyki obciążenie-przemieszczenie, przeprowadzono analizę, w której poszukiwano zależności między pomierzonymi wartościami wytrzymałości na rozciąganie  $f_u$  łączonych ścianek, ich grubością  $t$  i średnicą łącznika  $d = d_0$ , a doświadczalnie ustalonymi wartościami  $a_{F_{bb}}$  i  $b_{F_{bb}}$  [8]. Wyniki badań oraz przyjęte na ich podstawie zależności przedstawiono na rysunku 6, zaś wyznaczone parametry funkcji wykładniczych naniesiono na rysunki 3 i 5.

**Nośność łącznika na docisk**

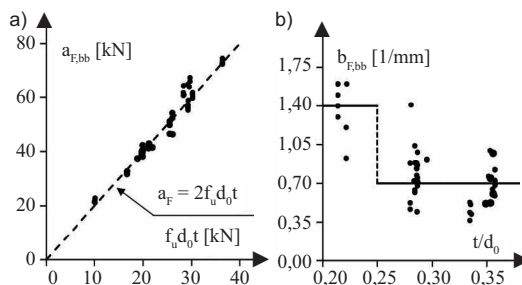
Na rysunku 3 zaznaczono wartość przemieszczeń granicznych  $\delta_{lim,3.0} = 3,0$  mm zgodnie z wytycznymi europejskimi [1] oraz  $\delta_{lim,6.35} = 6,35$  mm wg [2], które proponuje się jako kryteria ustalania nośności

na docisk. Kierując się potrzebą ograniczenia odkształcalności połączeń [8, 10], nośność łączników BOM określano, przyjmując kryterium  $\delta_{lim,3.0}$ . Uwzględniając zależności zdefiniowane na rysunku 6, funkcję nośności można zapisać w postaci:

$$r_i = \alpha_{bb,3.0} \cdot f_u \cdot d_0 \cdot t \quad (1)$$

gdzie:

$\alpha_{bb,3.0}$  – współczynnik docisku = 1,76 dla  $t/d_0 \geq 0,25$  oraz 1,97 w pozostałych przypadkach.



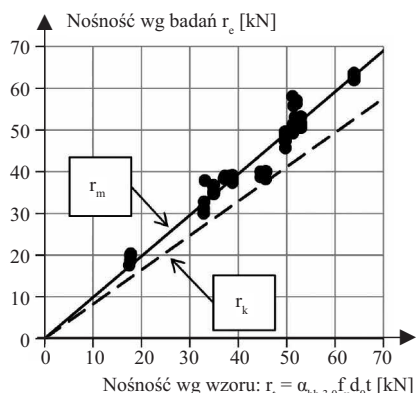
**Rys. 6. Parametry funkcji wykładniczej: a) zależność między parametrem  $a_{F_{bb}}$  i iloczynem  $f_u d_0 t$ ; b) zależność między parametrem  $b_{F_{bb}}$  i stosunkiem  $t/d_0$**   
Fig. 6. Parameters of the exponential function: a) relation between  $a_{F_{bb}}$  parameter and product of  $f_u d_0 t$ ; b) relation between  $b_{F_{bb}}$  parameter and ratio of  $t/d_0$

W celu określenia nośności charakterystycznej zależność (1) poddano procedurze oceny normowej zgodnie z łącznikiem D8.2 do PN-EN1990 [4]. Wyniki przedstawiono na rysunku 7, gdzie współrzędne punktów odpowiadają na osi pionowej wartościom nośności  $r_e$  pomierzonym w poszczególnych elementach próbnych, zaś na osi poziomej wartościom teoretycznym  $r_t$ , wg wzoru (1) dla pomierzonych wartości  $f_u$ ,  $d_0$  oraz  $t$ .

Na rysunku 7 wartość średnią funkcji nośności reprezentuje prosta  $r_m = b \cdot r_t$ , gdzie współczynnik korekcyjny  $b = 0,986$  został dopasowany do punktów na wykresie metodą najmniejszych kwadratów. Współczynnik korelacji wartości  $r_e$  oraz  $b \cdot r_t$  wynosi 0,955. Prosta przerywana  $r_k$  odpowiada nośności charakterystycznej, przy czym  $r_k/r_m = 0,834$ . Nośność obliczeniową połączenia na jeden łącznik można określać zgodnie z wzorem:

$$F_{b,Rd,bb,3.0} = \frac{0,822 \alpha_{bb,3.0} f_u d_0 t}{\gamma_{M2}} \quad (2)$$

Wartość nośności  $F_{b,Rd,3.0} = 33,8$  kN naniesiono na rysunku 3. Można stwier-



**Rys. 7. Porównanie wartości nośności uzyskanych w badaniach doświadczalnych i wg wzoru (1)**

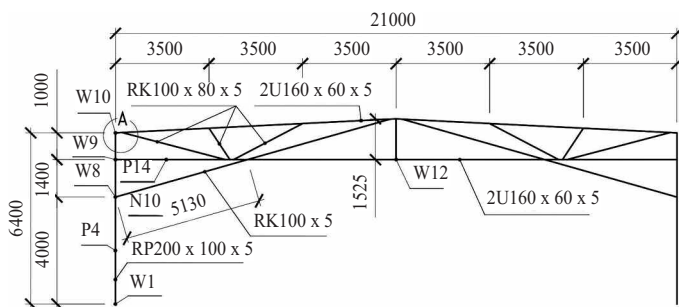
Fig. 7. Comparison of the bearing resistance values according to the experimental test and the formula (1)

dzić, że jest ona określona ze znacznym zapasem bezpieczeństwa. Oszacowano, że w przypadku przyjęcia kryterium  $\delta_{lim,6.35}$ , nośność jest o ok. 17% większa i wynosi  $F_{b,Rd,6.35} = 39,5$  kN.

**Przykładowa rama**

W celu potwierdzenia racjonalności proponowanych rozwiązań zaprojektowano ramę kratową o rozpiętości 21 m (rysunek 8) i rozstawie układów poprzecznych co 4,5 m. Przyjęto ustrój bezpłatniowy z pokryciem z blach trapezowych. Stateczność w kierunku podłużnym zapewnia tarcza w płaszczyźnie połączy dachowej wraz ze stężeniami pionowymi i ściennymi. Pręty skratowania połączone z pasami niewspółśrodkowo, bez blach węzłowych. Obliczenia wykonano za pomocą programu Robot Structural Analysis.

W obliczeniach uwzględniono ciężar własny, śnieg (strefa 2) oraz wiatr (strefa 1). Zależność między obciążeniem węzła siłą  $F_x$  i  $F_z$  (rysunek 1b) a odpo-



**Rys. 8. Rama z kształtowników giętych z jednociętymi połączeniami na łączniki jednostronne (detal A na rysunku 1b)**

Fig. 8. Cold-formed steel frame with single-shear blind bolt joints (detail A on Figure 1b)

wiadającymi im przemieszczeniami  $\delta_x$  i  $\delta_z$  opisano za pomocą funkcji wykładniczej jak na rysunku 3, zaś zależność między momentem  $M_y$  a obrotem  $\phi$  w węźle zgodnie z funkcją uproszczoną przedstawioną na rysunku 5. Parametry  $a_{F,bb}$  i  $b_{F,bb}$  przyjęto na podstawie zależności zdefiniowanych na rysunku 6. Wybrane wyniki obliczeń uzyskane przy założeniu węzłów sztywnych, przegubowych i podatnych, przedstawiono w tabelach 1 i 2.

**Tabela 1. Siły wewnętrzne w wybranych prętach ramy**  
Table 1. Internal forces in the selected bars of the frame

Pręt/węzeł (rys. 8)	Siły w SGN	Węzły			Różnice	
		sztywne	przegubowe	podatne	([5]/[3]-1) ·100%	([5]/[4]-1) ·100%
P4/W1	$M_y$ [kNm]	42,3	0	20,1	-52,5	-
	$F_x$ [kN]	79,8	81,1	78	-2,3	-3,8
	$F_z$ [kN]	-22,4	-16	-17,1	-23,7	6,9
P14/W9	$M_y$ [kNm]	-4,5	0	-2,6	-42,2	-
	$F_x$ [kN]	-79,8	-76	-76,7	-3,9	0,9
	$F_z$ [kN]	-2,5	-1,4	-1,7	-32,0	21,4

**Tabela 2. Przemieszczenia charakterystycznych węzłów ramy**  
Table 2. Displacements of characteristic nodes of frame

Węzeł (rys. 8)	Przemieszczenia w SGU [cm]	Węzły			Przemieszczenia graniczne
		sztywne	przegubowe	podatne	
W10	poziome $u_x$	0,8	2,7	2,0	H/150 = 4,3
W12	pionowe $u_z$	-2,2	-2,5	-3,7	L/350 = 6,0

Największa różnica sił wewnętrznych istnieje w przecie P4 (węzeł W1) oraz w pasie dolnym P14 (węzeł W9), gdzie wartości  $M_y$  w przypadku węzłów podatnych są mniejsze odpowiednio o 52% i 42% od wartości uzyskanych w przypadku węzłów sztywnych (tabela 1). Sposób modelowania węzłów miał również wpływ na wartość przemieszczeń (tabela 2). Ugięcie rygla  $u_z$  wyznaczone w przypadku węzłów podatnych jest większe niż węzłów przegubowych, co jest związane z podatnością połączeń na przesuwanie. Natomiast

przemieszczenie poziome  $u_x$  w narożu jest mniejsze ze względu na częściowe zamocowanie słupa w węźle podporowym.

Przedstawiona konstrukcja spełnia kryteria nośności i użyteczności (tabela 2) podane w EC3, a jej ciężar własny nie przekracza 0,19 kN/m<sup>2</sup>, co może uzasadniać praktyczne zastosowanie opisanego rozwiązania.

**Literatura**

[1] ECCS TC7 TWG 7.10. Connections in Cold-formed Steel Structures. The testing of connections with mechanical fasteners in steel sheeting and sections. ECCS No 124, 2nd edition, 2009.

[2] Frank K. H., J. A. Yura. 1981. „An experimental study of bolted shear connections”. Report No. FHWA/RD-81/148. U.S. Department of Transportation 1981.

[3] Piekarczyk Marek, Edyta Pięciórak. 2005. „O zastosowaniach kształtowników profilowanych na zimno jako podstawowych elementów nośnych w halach”. *Inżynieria i Budownictwo* 12: 695 – 698.

[4] PN-EN 1990:2004. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.

[5] PN-EN 1993-1-8:2006. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów.

[6] Słowiński Kamil, Walter Wuwer. 2016. „Blind-bolted shear connections for axially compressed RHS columns strengthened with open sections”. *Journal of Constructional Steel Research* 127: 15 – 27.

[7] Swierczyna Szymon, Walter Wuwer. 2011. „Thin-walled latticed frame with semi-rigid bolted joints”. *Proceedings of 12th International Conference on Metal Structures*: 256 – 257. Wrocław.

[8] Swierczyna Szymon, Walter Wuwer. 2016. „Resistance and stiffness of blind bolt lap joints in cold-formed steel structures”. *Technical transactions: Civil Engineering 2-B/2016*, 197 – 217.

[9] Swierczyna Szymon. 2020. „Study on bolted and blind-bolted single shear connections of cold-formed steel members”. *Architecture Civil Engineering Environment* 13 (3): 45 – 60

[10] Wuwer Walter. 2005. „Investigations and calculation of lap-joints with special blind bolts”. *Archives of Civil Engineering*, 253 – 280.

[11] Wuwer Walter. 2002. „Próba oceny podatności węzłów w systemach konstrukcyjnych z kształtowników giętych”. *Inżynieria i Budownictwo* 10: 573 – 577.

[12] Wuwer Walter, Jan Zamorowski, Szymon Swierczyna. 2012. „Lap joints stiffness according to Eurocode EC3 and experimental investigations results”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering (ACME17)*: 95 – 104.

Przyjęto do druku: 01.02.2021 r.