

Prof. zw. dr inż. Jan Bródka, dr hab. inż. Mirosław Broniewicz, inż. Filip Broniewicz

Nośność połączeń spawanych węzłów ram, wykonanych z kształtowników zamkniętych o przekrojach kwadratowych lub prostokątnych i dwuteowników. Część 1

1. Wiadomości ogólne

Węzły ram, których pręty są projektowane z zamkniętych kształtowników o przekrojach kwadratowych (prostokątnych) lub z dwuteowników można podzielić na cztery grupy ze względu na udział takich wyrobów. Są to układy, wykonywane z:

- dwuteowników europejskich zwykle na rygle i dwuteowników szerokostopowych lub europejskich na słupy,
- dwuteowników europejskich zwykle na rygle i kształtowników zamkniętych o przekrojach kwadratowych (prostokątnych) na słupy,
- kształtowników zamkniętych o przekrojach zwykle prostokątnych na rygle i dwuteowników szerokostopowych na słupy,
- kształtowników zamkniętych o przekrojach kwadratowych (prostokątnych) zarówno na rygle, jak też na słupy.

Pierwsza grupa kształtów (według a) jest powszechnie stosowana od wielu lat w konstrukcjach stalowych zarówno w wypadku ram przechyłowych (niestężonych), jak też ram nieprzechyłowych (stężonych). Z tego powodu w niniejszym artykule nie zostały rozpatrzone, gdyż reguły kształtowania ich węzłów i połączeń oraz obliczenia są znane z licznych podręczników i poradników, nie stanowiąc nowości, jak też trudności w rutynowym projektowaniu.

Druga grupa kształtów węzłów (według b) zdobywa obecnie szerszy zakres zastosowania, gdyż projektowanie słupów z kształtowników zamkniętych przynosi korzyści ekonomiczne ze względu na pożądaną sztywność słupów w obu kierunkach zarówno ram nieprzechyłowych jak też przechyłowych. Węzły wówczas są kształtowane jako podatne w wypadku ram stężonych lub w stosunkowo niedużej podatności ram niestężonych.

Trzecia i czwarta grupa kształtów węzłów (według c oraz d) nie budzą szczególnie dużego zainteresowania wśród projektantów konstrukcji stalowych lecz bywają preferowane przez architektów wtedy, kiedy szkielet budynku jest usytuowany poza przegrodami ściennymi. Takie rozwiązania umożliwiają uzyskanie nieszablonowych efektów wizualnych. Trzecia grupa kształtów (według c) ma zastosowanie w projektowaniu belek bezprzekątniowych, jednak wówczas pasy są wykonywane z dwuteowników a słupki z kształtowników zamkniętych. Czwarta grupa kształtów jest stosowana w belkach bezprzekątniowych i wtedy wszystkie pręty są wykonywane z zamkniętych kształtowników najczęściej o przekrojach kwadratowych.

Kształtowniki zamknięte o przekrojach kwadratowych lub prostokątnych są produkowane ze stali niestopowych lub drobnoziarnistych według PN-EN 10210-1 [11] i PN-EN 10219-1 [13] oraz asortymentu zgodnie z PN-EN 10210-2 [12] lub PN-EN 10219-2 [14]. Natomiast dwuteowniki są produkowane według PN-EN 10025 ze stali gatunków i odmian odpowiednio dobranych do zgodności ze stalą wyrobów zamkniętych.

Ze względu na prawidłową ocenę nośności połączeń i niezawodne zachowanie się elementów podczas ich użytkowania należy podczas ich projektowania brać pod uwagę wskazania,

odnoszące się do kruchej pęknięcia oraz ciągliwości międzywarstwowej, podane w PN-EN 1993-1-10 [10].

Do oceny nośności elementów (prętów) rozpatrywanych węzłów i ich połączeń spawanych służą zasady i reguły, ujęte w PN-EN 1993-1-1 [8] i PN-EN 1993-1-8 [9]. Szczegółowe wykładnie tych reguł lub dodatkowe wskazania projektowania obliczania są podane w publikacjach [1] do [5] oraz [15] do [17].

Elementy i ich węzły należy wykonywać, uwzględniając wymagania techniczne dotyczące zgodności elementów konstrukcyjnych i ich wykonania według [6] i [7].

2. Węzły o niedużej nośności przy zginaniu

2.1. Węzły technicznie przegubowe

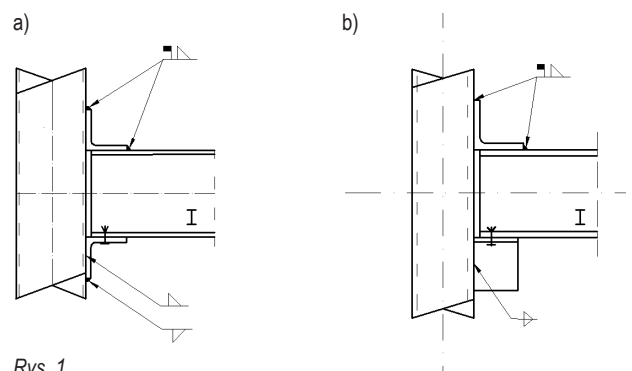
Węzły technicznie przegubowe są stosowane przede wszystkim w ramach nieprzechyłowych (stężonych) o kilku kondygnacjach.

Węzły uważane za przegubowe lub przenoszące nieduże momenty zginające kształtuje się w prosty sposób jako spawane według rys. 1. Stoliki, służące do oparcia i przeniesienia reakcji z belki, wykonuje się z kątowników lub odcinków teowych, które są spawane do słupów w wytwórni konstrukcji stalowych. Umieszczone na nich śruby stabilizują położenie ryglu podczas robót montażowych i biorą udział w przenoszeniu siły podłużnej, działającej w tym elemencie. Kątowniki są spawane na budowie, powodując nieznaczne zwiększenie sztywności węzłów.

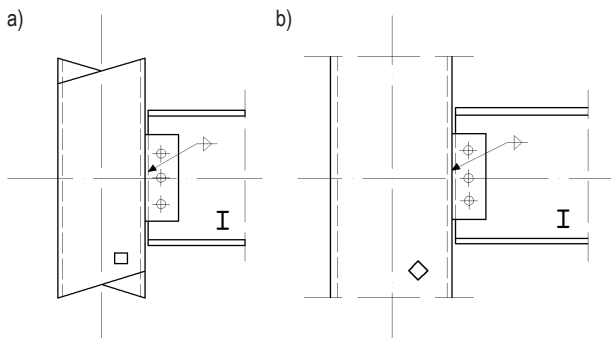
Węzły z płaskimi przykładkami, przyspawanymi do słupów są łączone na śruby ze środkiem ryglu (rys. 2). Słupy mogą być rozmieszczone w osiach głównych środkowych, równoległych do ścianek kształtownika zamkniętego lub o takich osiach, ułożonych w jego przekątnych.

Natomiast gdy jako przykładki są stosowane odcinki dwuteowników (w kształcie teowym również spawane z blach), wówczas ich stopki są spawane do słupa w wytwórni, a środki łączone śrubami ze środkami rygli (rys. 3). Zamiast odcinka teowego do ryglu może być spawana blacha poprzeczna, mocowana do blachy czołowej dwuteownika (rys. 3b).

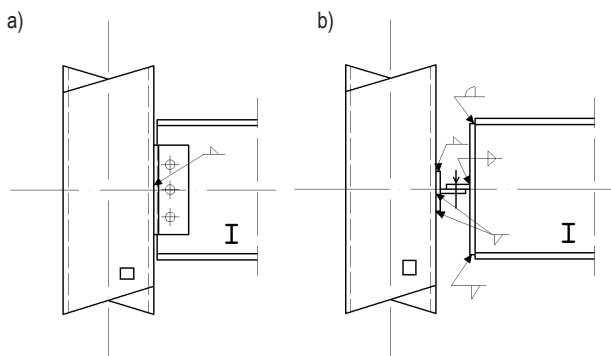
Z kolei na rys. 4 pokazano połączenie blachy węzłowej, umieszczonej na wskroś szerokości zamkniętego kształtownika,



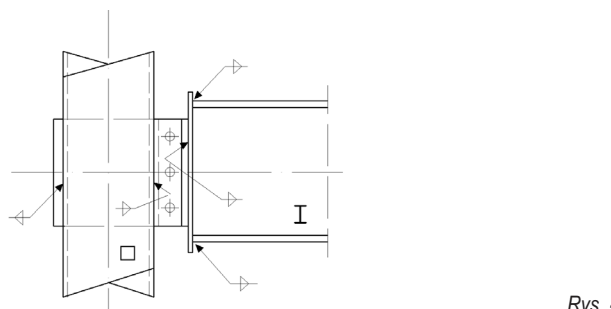
Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

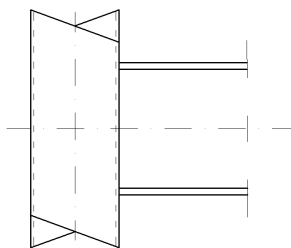
zastosowanego na słup. Dawniej takie połączenie było niezależne, gdyż występowały duże utrudnienia podczas wycinania szczelin i rzadko uzyskiwano ich rozmieszczenie w płaszczyźnie prostopadłej do wycinanej ścianki. Blacha umieszczona w szczelinach była zwykle zwichrzona, co powodowało zniekształcenie połączenia śrubowego w styku z łącznikowym elementem rygla. Obecnie do wycinania szczelin są stosowane palniki sterowane programami komputerowymi, wskutek czego wspomniane utrudnienia nie występują.

Spośród wymienionych węzłów połączenia spawane w odniesieniu do słupów wykazują małą podatność (rys. 1a, 3a), stosunkowo dużą podatność (rys. 1b, 2a, 3b) oraz dużą sztywność (rys. 2b, 4).

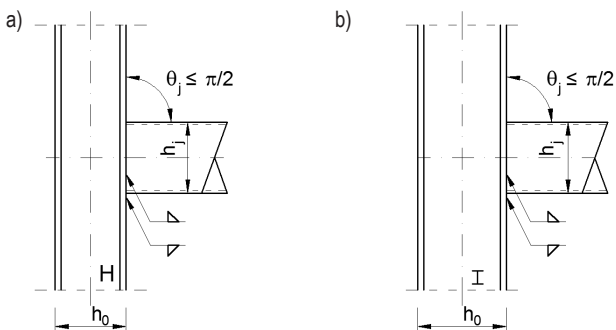
2.2. Węzły podatne

Węzły podatne zazwyczaj są projektowane na połączenia czysto spawane między słupami i ryglami. Przykładowo taki węzeł pokazano na rys. 5. Jego podatność wynika z tego, że stopki dwuteowego rygla przekazują siły, pochodzące od momentu zginającego, działając poprzecznie na ściankę kształtownika zamkniętego. W zależności od sztywności ścianki tego kształtownika powstają w niej przeguby plastyczne, a niekiedy lokalne wyboczenia śródników słupa. Innym przykładem jest rozwiązanie według rys. 6, w którym stopki zamkniętego kształtownika, zastosowanego na rygiel obciążają poprzecznie stopkę dwuteowego słupa. Podobnie występują przeguby plastyczne lecz na ogół śródnik nie ulega zniekształceniu.

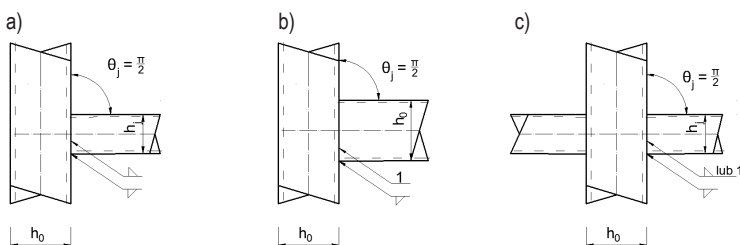
Jeżeli na słupy i rygle zastosowano kształtowniki zamknięte, to węzły zwykle ortogonalne, są kształtowane według rozwiązań, pokazanych na rys. 7. W zależności od ilorazów szerokości



Rys. 5



Rys. 6



Rys. 7

ścianek do ich grubości występuje kilka sposobów zniszczenia węzłów, szczegółowo przedstawionych w PN-EN 1993-1-8 [9].

Węzły belek bezprzekątniowych z zamkniętymi kształtownikami o przekrojach kwadratowych są omówione w rozdz. 6 publikacji [2].

2.3. Ocena nośności węzłów i ich połączeń

Nieujawnioną zasadą projektowania połączeń spawanych węzłów konstrukcji stalowych według PN-EN 1993-1-8 [9] jest wymaganie, aby nośność połączenia była większa od nośności węzła.

W wypadku połączeń węzłów, pokazanych na rys. 1, w PN-EN 1993-1-8 nie wskazano reguł oceny części węzła, spoin pachwinowych, jak też śrub. Nie mogąc wyprowadzić sposobu oceny z tej normy, warto postąpić się wskazaniem wytycznych amerykańskich. Na ich podstawie można przyjmować:

- Kątowniki 100 × 100 mm o grubości co najmniej 6 mm i długości 100 mm.
- Spoiny pachwinowe we wskazanych miejscach o grubości co najmniej 4 mm.
- Po 2 śruby M20 klasy 8.8.
- W wypadku węzła z rys. 1a) jest pożądanym projektować dodatkowo mniejszy kątownik, spawany w wytwórni do słupa lecz podczas montażu do środnika rygla, aby przenieść bezpiecznie siłę poprzeczną z rygla. To połączenie należy sprawdzać obliczeniem.
- W wypadku węzła z rys. 1b) grubość stopki teowego stolika powinna wynosić co najmniej 10 mm, a szerokość większa od stopki rygla. Aby przenieść bezpiecznie siłę poprzeczną z rygla, spoinę pachwinową, łączącą go ze słupem, należy sprawdzić obliczeniem. Śrubę umieszcza się w odstępnie 67 mm od lica słupa. Ten odstęp powinien wynosić co najmniej $0,5l_p$ (gdzie l_p – długość stolika mierzona wzdłuż rygla). Ponadto zaleca się, aby grubość środnika teowego przekroju spełniała zależność:

$$t_p \geq t_{bw}(f_{by}/f_{py}) \quad \text{oraz} \quad t_p \geq ca_w$$

przy czym:

t_{bw} – grubość środnika dwuteowego rygła,

f_{by} – granica plastyczności stali rygła,

f_{py} – granica plastyczności stolika,

a_w – grubość spoiny pachwinowej, łączącej stolik ze słupem,

$c = 1,5$ w wypadku $f_{py} = 350$ MPa,

$c = 2,0$ w wypadku $f_{py} = 250$ MPa.

Zaleca się stosować elektrody o wytrzymałości spoina 480 MPa.

W wypadku połączenia węzła, pokazanego na rys. 2a), w PN-EN 1993-1-8 [9] również nie wskazano kompletu reguł oceny nośności. Proponuje się postępować w sposób następujący:

Nośność części składowych węzła i połączenia śrubowego oblicza się zgodnie z regułami PN-EN 1993-1-8 w odniesieniu do obciążenia siłą poprzeczną V_{Ed} , przekazywaną z rygła na słup.

Nośność połączenia spawanego ustalać, biorąc pod uwagę siłę poprzeczną oraz moment zginający $M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e_2$ (gdzie e_2 – odstęp osi śruby od brzegu ścianki słupa, przy czym τ_v naprężenie od siły poprzecznej oblicza się według reguł PN-EN 1993-1-8, a naprężenie τ_M od momentu zginającego wyznacza się, rozpatrując docisk ekwiwalentnej siły $N_{1,Ed} = M_{Ed}/(h_p - 2e_1)$, przy czym h_p jest wysokością przykładki, a e_1 odstępem śruby od brzegu, będącego szerokością przykładki.

Przyjmując arbitralnie docisk na polu o wymiarach $h_1 = 2e_1$ oraz t_1 , ustala się obliczeniową nośność $N_{1,Rd}$ zgodnie z Tablicą 7.13, podaną w PN-EN 1993-1-8 w odniesieniu do blachy podłużnej, przy czym powinno być $N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$.

Wartości składowych naprężeń stycznych w spoinach pachwinowych wynoszą:

$$\tau_v = 0,5V_{Ed}/(h_p a_w) \quad \text{oraz} \quad \tau_M = 0,5N_{1,Ed}/(h_1 a_w)$$

Nośność połączenia spawanego sprawdza się w sposób następujący:

$$\tau_{max} = (\tau_v^2 + \tau_M^2)^{0,5} \leq f_{vwd}$$

przy czym:

f_{vwd} – obliczeniowa nośność spoiny pachwinowej, określona w PN-EN 1993-1-8,

a_w – grubość spoiny pachwinowej.

W wypadku połączenia, pokazanego na rys. 2b), sprawdza się naprężenie τ_{max} , uznając węzeł za prawie sztywny, przy czym τ_M oblicza się zgodnie z regułami podanymi w [9].

Przykładki z blachy są stosowane także w złączu zastrzału ze słupem z zamkniętego kształtownika. W takim węźle występuje siła N_{Ed} w dołączanym elemencie, a jako jego łącznik służy najczęściej jedna śruba. Blacha węzłowa jest łączona ze słupem spoinami pachwinowymi. W wypadku dużego obciążenia N_{Ed} projektuje się dwie blachy na spoiny czółowe. Zastrzał nachylony względem słupa pod ostrym kątem θ obciąża połączenie spawane składowymi siłami:

$$V_{Ed} = N_{Ed} \cos \theta \quad \text{oraz} \quad H_{Ed} = N_{Ed} \sin \theta \leq N_{1,Rd}$$

oraz związanymi z nimi momentami zginającymi:

$$M_{V,Ed} = V_{Ed} e_2 \quad \text{i} \quad M_{H,Ed} = \pm H_{Ed} e_H$$

gdy e_H jest mimosrodem, wynikającym z położenia składowej prostopadłej do słupa w wypadku niepokrywania się jej przyłożenia z osią połączenia spawanego.

Wartość $N_{1,Rd}$ oblicza się, jak wskazano wcześniej, jednak przyjmując wartość podwojoną.

Te składowe siły powodują w spoinach powstanie naprężeń:

- w wypadku jednej blachy węzłowej:

$$\tau_v = 0,5N_{Ed} \cos \theta / (h_p a_w), \quad \tau_H = N_{Ed} \sin \theta / (h_p a_w),$$

$$\tau_{MV} = 0,5N_{Ed} e_2 \cos \theta / W_w \quad \text{oraz} \quad \tau_{MH} = \pm 0,5N_{Ed} e_H \sin \theta / W_w$$

przy czym $W_w = a_w h_p^2 / 6$ jest wskaźnikiem wytrzymałości jednej spoiny pachwinowej.

$$\tau_{max} = [\tau_v^2 + (\tau_H + \tau_{MV} + \tau_{MH})^2]^{0,5} \leq f_{vwd}$$

- w wypadku dwóch blach węzłowych:

$$\tau_v = 0,5N_{Ed} \cos \theta / (h_p t_p) \quad \sigma_H = 0,5N_{Ed} \sin \theta / (h_p t_p),$$

$$\sigma_{MV} = 0,5N_{Ed} e_2 \cos \theta / W_p \quad \text{oraz} \quad \sigma_{MH} = \pm 0,5N_{Ed} e_H \sin \theta / W_p,$$

przy czym $W_p = t_p h_p^2 / 6$ jest wskaźnikiem wytrzymałości jednej spoiny czółowej.

$$\sigma_{max} = [(\sigma_H + \sigma_{MV} \pm \sigma_{MH})^2 + 3\tau_v^2]^{0,5} \leq f_y$$

przy czym:

t_p – grubość blachy węzłowej,

f_y – granica plastyczności stali zastosowanej na blachę węzłową lub słup, przyjmowana o wartości mniejszej.

W wypadku połączenia węzła, pokazanego na rys. 3a), obciążenia jego części składowych, połączeń śrubowych spawanych przeprowadza się według reguł, podanych w PN-EN 1993-1-8 wtedy, kiedy szerokość stopki teowej przykładki jest nieznacznie mniejsza od szerokości ścianki słupa. W takiej sytuacji projektowej można uznać, że węzeł jest prawie sztywny. Ogólniejszy sposób oceny podano w [17].

Natomiast w wypadku węzła, pokazanego na rys. 3b), dokonuje się sprawdzenia połączenia blachy węzłowej w ryglu i teowej przykładki ze słupem.

Oceny połączenia blachy węzłowej z rygłem dokonuje się zgodnie z regułami, podanymi w PN-EN 1993-1-8 (patrz punkt 4.10 tej normy).

Z kolei podczas sprawdzania połączenia elementu teowego ze słupem bierze się pod uwagę tylko spoiny pachwinowe, ułożone wzdłuż słupa, pomijając istnienie odcinków poprzecznych. Naprężenia oblicza się zgodnie z regułami, podanymi w [9], ustalając obciążenia, wskazane w odniesieniu do węzła według rozwiązania z rys. 2b).

W wypadku połączeń węzła, pokazanego na rys. 4 przy obciążeniu siłą poprzeczną, przekazywana z rygła na słup, w PN-EN 1993-1-1 [8] i PN-EN 1993-1-8 [9] w zasadzie podano komplet reguł do oceny nośności części składowych oraz połączeń śrubowego i spawanego. Gdy rozpatruje się połączenie spawane blachy węzła ze słupem, wówczas przeprowadza się następujące obliczenia:

- Moment zginający wynosi:

$$M_{Ed} = V_{Ed} (0,5h_c + e_2),$$

powodując w odcinkach spoin pachwinowych pary sił ścinających:

$$V_{M,Ed} = M_{Ed} / h_c$$

- Spoiny są obciążone siłami sumarycznymi:

$$V_{V,Ed} = 0,5V_{Ed} \pm V_{M,Ed}$$

- Silniej obciążone odcinki spoin przenoszą:

$$\max V_{V,Ed} = V_{Ed} (1 + e_2 / h_c)$$

- Maksymalne naprężenie ścinające spoinę wynosi:

$$\tau_{max} = 0,5V_{Ed} (1 + e_2 / h_c) / (h_p a_w) < f_{vwd}$$

przy czym h_c jest wysokością ścianki zamkniętego kształtownika słupa.

Jeżeli węzeł będzie obciążony dużą siłą H_{Ed} , prostopadłą do słupa, to nośność węzła, wynikająca z uplastycznienia ścianki, można ustalać, biorąc pod uwagę badania Kosetskiego (patrz [5]).

W wypadku węzła, pokazanego na rys. 5, oceny nośności węzła dokonuje się, przyjmując wartość $M_{ip,1,Rd}$ według Tablicy 7.13 w PN-EN 1993-1-8:

$$M_{Ed} \leq M_{ip,1,Rd} = N_{1,Rd}(h_{fb} - t_{fb}),$$

przy czym:

h_{fb} – wysokość dwuteownika rygła,

t_{fb} – grubość jego stopki.

Zgodnie z Tablicą 7.13 wartość $N_{1,Rd}$ przyjmuje się w wypadku blachy poprzecznej, rozpatrując uplastycznienie ścianki słupa, jej przebicie lub zgniecenie boków słupa.

Połączenie stopek rygła na spoiny pachwinowe sprawdza się, biorąc pod uwagę szerokość współpracującą o wartości:

$$b_{eff} = 10t_0(b_j/b_0)[f_{y0}t_0/(f_{yj}t_j)] \leq b_j,$$

i obliczając naprężenie:

$$\tau_M = F_{Ed}/(2b_{eff}a_w) \leq f_{vwd},$$

gdzie:

$$F_{Ed} = M_{Ed}/(h_{fb} - t_{fb}) \leq N_{1,Rd}.$$

Symbole mają znaczenie:

b_0 – szerokość kształtownika zamkniętego, z którego wykonano słup,

b_j – szerokość stopki dwuteownika rygła,

t_0 – grubość ścianki słupa,

t_j – grubość stopki rygła,

f_{y0} – granica plastyczności stali, z której wykonano słup,

f_{yj} – granica plastyczności stali, z której wykonano rygiel.

Siła poprzeczna V_{Ed} jest przenoszona przez połączenie, ułożone między środkiem rygła, a ścianką słupa. Można posłużyć się uproszczoną metodą obliczania nośności spoin pachwinowych, uzyskując:

$$\tau_v = V_{Ed}/(2l_w a_w) \leq f_{vwd},$$

przy czym:

$$l_w = h_{fb} - 2(t_{fb} - r_b),$$

r_b – promień zaokrąglenia między stopką a środkiem dwuteownika.

W wypadku węzłów, pokazanych na rys. 6 przy $\theta_j = \pi/2$ można postępować w podobny sposób, uwzględniając, że:

$$F_{Ed} = M_{Ed}/(h_j - t_j) \leq N_{1,Rd},$$

gdzie:

h_j – wysokość zamkniętego kształtownika, zastosowanego na rygiel,

t_j – grubość ścianki tego kształtownika.

Wartość $M_{ip,1,Rd}$ ustala się z Tablicy 7.22 w PN-EN 1993-1-8, natomiast $N_{1,Rd}$ z Tablicy 7.21 w odniesieniu do węzła typu T, stosując współczynnik 0,5.

Oceny naprężeń w złączu pasa rygła z pasem dwuteowego słupa dokonuje się zgodnie z regułami punktu 4.10 w PN-EN 1993-1-8, jeżeli szerokość ścianki rygła jest zbliżona do szerokości ścianki słupa (wzór 4.8 tej normy). Gdy tak nie jest, co raczej występuje rzadko, wówczas słup w obszarze rygła należy usztywnić żebrami, a węzeł rozpatrywać jako sztywny.

Jeżeli jest $\theta_j < \pi/2$, to należy siłę F_{Ed} umieszczać względem słupa pod tym kątem, a następnie uwzględnić powstające składowe siły prostopadłą i równoległą do stopki słupa.

W wypadku węzła, pokazanego na rys. 7, jego nośność ustala się według reguły, w odniesieniu do $M_{ip,1,Rd}$ podanych w Tablicy 7.14, zamieszczonej w [9], przy czym należy spełnić zależność:

$$M_{Ed} \leq M_{ip,1,Rd}.$$

Podczas sprawdzania nośności spoin pachwinowych wartość F_{Ed} ustala się, jak wskazano uprzednio. We wzorze na b_{eff} wartość b_j odnosi się obecnie do szerokości kształtownika rygła.

Naprężenia w złączu pasa rygła z pasem słupa ustala się

$$\tau_M = F_{Ed}/(b_{eff}a_w),$$

natomiast przy obciążeniu siłą poprzeczną wzorem podanym wcześniej, lecz wtedy jest:

$$l_w = h_j - 2(t_j + r),$$

przy czym r jest zaokrągleniem wewnętrznym naroża kształtownika rygła.

Gdy węzły są projektowane zgodnie z kształtami, pokazanymi na rys. 5, lecz rygle są umieszczone po obu stronach słupa, to każde połączenie jest sprawdzane w sposób omówiony uprzednio, na obciążenie, przykładane z każdej strony.

Piśmiennictwo

- [1] Bródka J.: Konstrukcje stalowe z kształtowników zamkniętych. Tom 1. PWT Rzeszów 2016.
- [2] Bródka J., Kozłowski A., Ligocki I., Łąguna J., Ślęczka L.: Projektowanie i obliczanie połączeń i węzłów konstrukcji stalowych. Tom 1. PWT. Rzeszów 2013.
- [3] Dutta D., Wardenier J., Yeoman N., Sakae K., Bucak Ö., Packer J.A.: Design Guide for Fabrication, Assambly and Erection of Hollow Section Structures. TÜV-Verlag GmbH. Köln 1998.
- [4] Kurobane Y., Packer J.A., Wardenier J., Yeoman N.: Design Guide for Structural Hollow Section Column Connections. TÜV-Verlag Rheinland GmbH. Köln 2004.
- [5] Packer J.A., Henderson J.E.: Hollow Structural Section Connections and Trusses. A Design Guide. Second Edition. Canadian Institute of Steel Construction. Toronto 1997.
- [6] PN-EN 1090-1:2009 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 1: Wymagania techniczne dotyczące zgodności elementów konstrukcyjnych.
- [7] PN-EN 1090-2: 2009 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 2: Wymagania techniczne dotyczące wykonania konstrukcji stalowych.
- [8] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [9] PN-EN 1993-1-8: 2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 8: Projektowanie węzłów.
- [10] PN-EN 1993-1-10: 2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 10: Dobór stali ze względu na kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową.
- [11] PN-EN 10210-1: 2007 Kształtowniki zamknięte wykonane na gorąco ze stali konstrukcyjnych niestopowych i drobnziarnistych – Część 1: Warunki techniczne dostawy.
- [12] PN-EN 10210-1:2007 Kształtowniki zamknięte wykonane na gorąco z stali konstrukcyjnych i drobnziarnistych – Część 2: Tolerancje, wymiary i wielkości statyczne.
- [13] PN-EN 10219-1:2007 Kształtowniki zamknięte ze szwem wykonane na zimno ze stali konstrukcyjnych i drobnziarnistych – Część 1: Warunki techniczne dostawy.
- [14] PN-EN 10219-2:2007 Kształtowniki zamknięte ze szwem wykonane na zimno ze stali konstrukcyjnych i drobnziarnistych – Część 2: Tolerancje, wymiary i wartości statyczne.
- [15] Recommendations for the Design and Fabrication of Tubular Structures in Steel. 3rd edition. Architectural Institute of Japan. Tokyo 1990.
- [16] Static design procedure for welded hollow section joints. Recommendations 3rd Edition. International Institute of Welding. Commission XV. Doc. XV=1127-09.
- [17] Wardenier J., Packer J.A., Zhao X.-L., van der Vegte G.J.: Hollow sections in structural applications. Bouewen met staal. Zoetemer 2001.