

Konstrukcje metalowe

Wykład XXI

Inne węzły

Spis treści

Wprowadzenie → #t / 3

Żebra → #t / 5

Węzły kratownic → #t / 37

Styki montażowe kratownic → #t / 70

Podpórki i blachy węzłowe → #t / 82

Zagadnienia egzaminacyjne → #t / 95

Wprowadzenie

W konstrukcjach metalowych stosowane jest wiele różnych węzłów. Większość przedstawiona była na wykładach #18 - 20.



Rys: j-p.com.ua



Rys: microstran.com.au



Rys: resources.scia.net



Rys: zs4-sanok.pl

Rys: amsd.co.uk



Rys: palatinepaints.co.uk

Pozostałe trzy grupy to:

- żebra;
- węzły w kratownicach;
- blachy węzłowe i podpórki dla płatwii, rygielków i stężeń.



Rys: microstran.com.au



Rys: tboake.com



Rys: chinhdaisteel.com



Rys: wikipedia



Rys: palatinepaints.co.uk



Rys: zs4-sanok.pl



Rys: Autor

Żebra

Powody zastosowania żeber w konstrukcjach stalowych:

- Podparcie smukłego środka (zabezpieczenie przed utratą stateczności lokalnej);
- Zwiększenie nośności środka pod siłąskupioną;
- Podparcie smukłej półki (zabezpieczenie przed utratą stateczności lokalnej);
- Podparcie dla belek poprzecznych (węzeł między belką a podciągami).

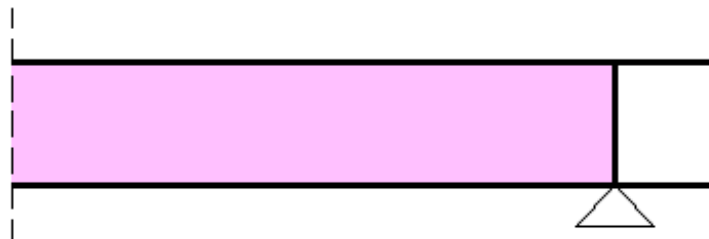


Rys: lmsteelfab.com

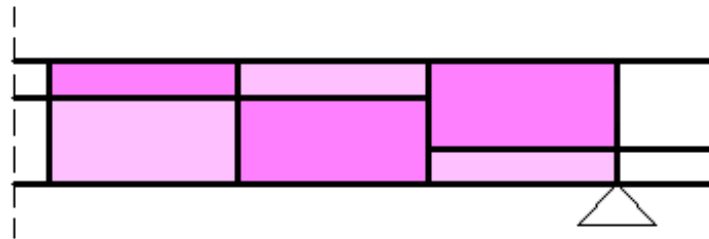


Rys: microstran.com.au

Podparcie smukłego środka i smukłej półki (zabezpieczenie przed utratą stateczności):



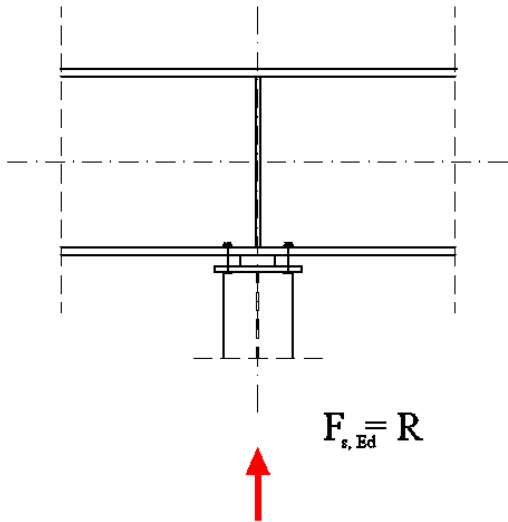
Rys: Autor



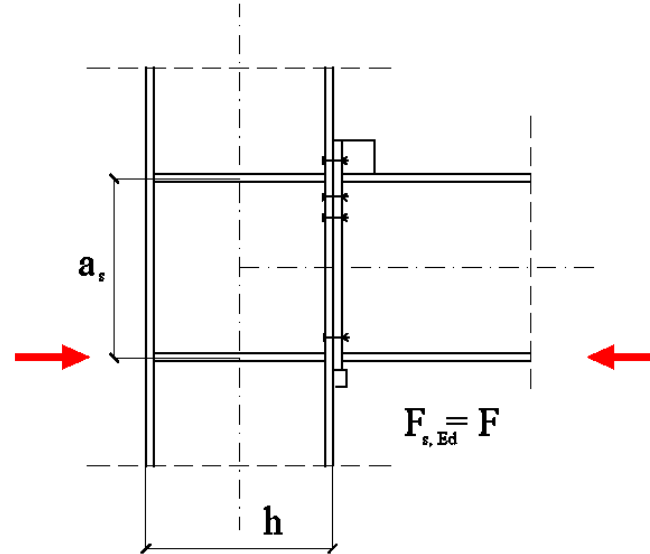
Rys: aceonfrp.com

Jeden duży panel traci stateczność łatwiej niż wiele małych sub-paneli.

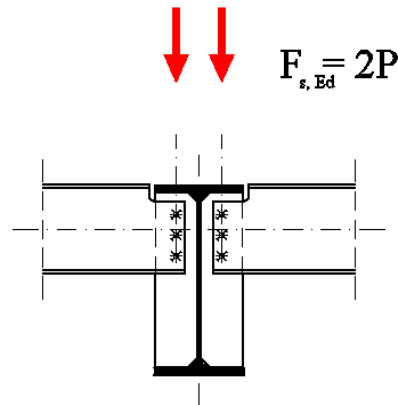
Zwiększenie nośności pod siłą skupioną.



Rys: Autor

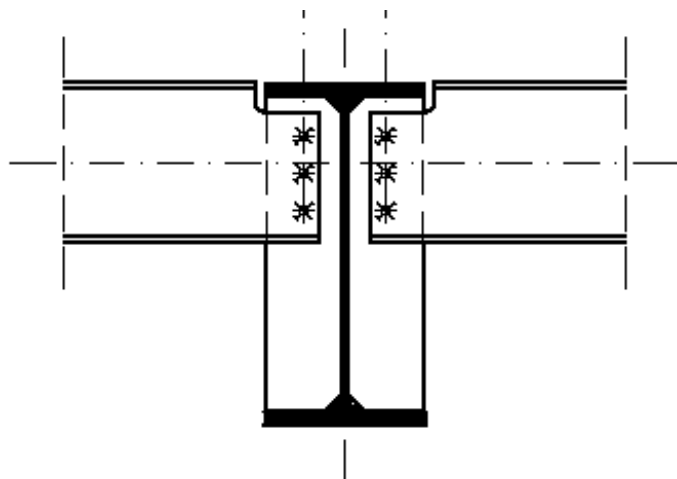


Rys: steelconstruction.info



Rys: microstran.com.au

Oparcie dla belki poprzecznej



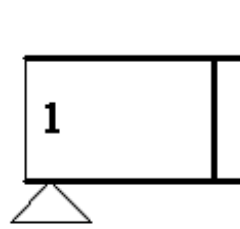
Rys: Autor



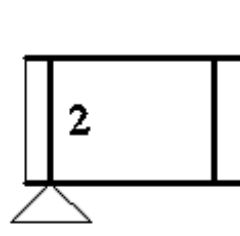
Rys: mscsteel.com

W Eurokodzie opisane jest 7 typów żeber. Ostatni jest wyłącznie wzmiankowany w literaturze.

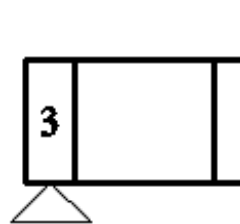
1. Podpora skrajna bez żeber



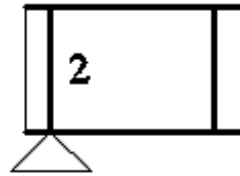
2. Żebro podatne nad podporą skrajną



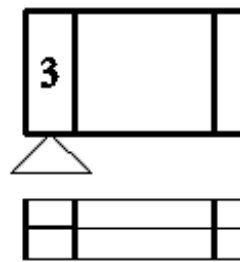
3. Żebro sztywne nad podporą skrajną



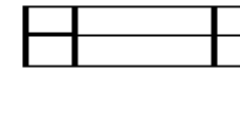
4. Żebro poprzeczne



5. Żebro poprzeczne nad podporą pośrednią

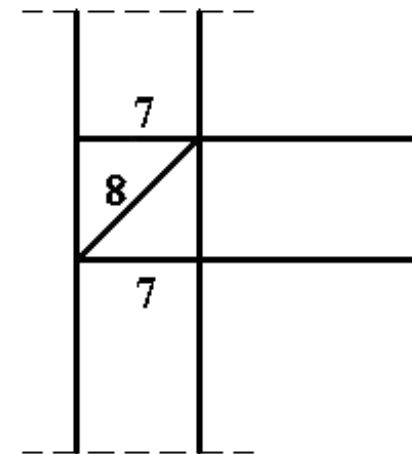
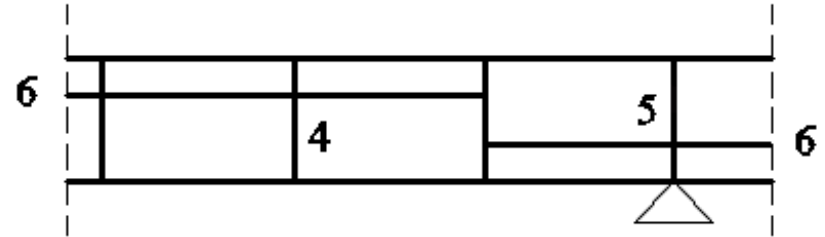


6. Żebra podłużne

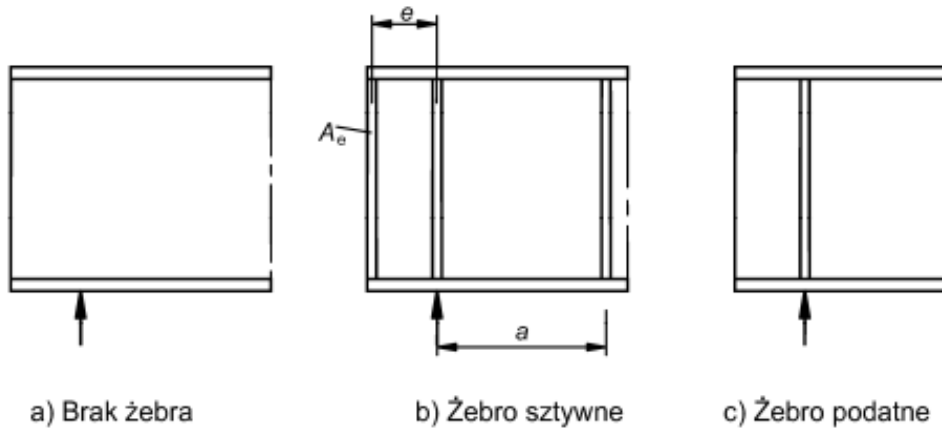


7. Żebra poprzeczne słupa

8. Żebra ukośne



Rys: Autor



Rys: EN 1993-1-5 fig. 5.1

Brak żebra = brak obliczeń wpływu żebra na średnik i półki.

Eurokod nie wyjaśnia, kiedy należy zastosować sztywne lub podatne żebro. Informacje w literaturze nie są do końca jasne, a czasami są sprzeczne. Najczęściej spotykane w literaturze zalecenia dotyczące stosowania sztywnych żeber:

- dla dużych wartości obciążenia;
- dla smukłego średnika, $\lambda_w \geq 1,08$ ($\rightarrow \#t / 27$).

Niestety w Eurocode można znaleźć wiele nieścisłości. Najczęstszym przypadkiem jest:

Złożona sytuacja podzielona na kilka przypadków A, B...

Pełna informacja o postępowaniu w przypadku A

Brak informacji dla przypadku B

Większość takich sytuacji dotyczy różnych zjawisk w sztywnych węzłach śrubowych (na przykład: nośność przekroju netto w przekroju osłabionym otworami na śruby, sztywność połączeń zakładkowych, wpływ siły osiowej na nośność przy zginaniu węzła).

Rzadki przypadek to sprzeczności między różnymi punktami w Eurokodzie. Przykładami są obliczenie nośności betonowej stopy pod słupem podpartym przegubowo lub nośność słupów złożonych.

→ #3 / 95

Wszystkie te problemy zostaną wymienione w przyszłych wykładach.

Niekonsekwencja w analizowanym przypadku:

- EN 1993-1-5 5.1.(2) przedstawia rozróżnienie: nieusztywniony środek ↔ usztywniony środek;
- EN 1993-1-8 rys. 5.1 pokazuje spawaną belkę dwuteową bez usztywnień nad podporami (nieusztywniony środek);
- EN 1993-1-8 5.3.(1) przedstawia informacje tylko dla belek dwuteowych z żebrami przynajmniej nad podporami;
- EN 1993-1-8 nie przedstawił informacji o obliczeniach belek dwuteowych całkowicie bez żeber;
- W związku z tym nie wiadomo, jak rozumieć warunek w punkcie EN 1993-1-5 5.1.(2): kiedy środek jest nieusztywniony i usztywniony;
- Zgodnie z literaturą, belka z żebrami tylko nad podporami może być traktowana jako belka z nieusztywnionym środkiem;
- Brak informacji o obliczeniach dla przypadku „belka całkowicie pozbawiona żeber” oznacza, że takie rozwiązanie nie jest zalecane;
- Spawana belka dwuteowa musi mieć żebra co najmniej nad podporami.

Enigmatyczne „duże wartości obciążenia” oznaczają w praktyce mosty i estakady podsuwnicowe.

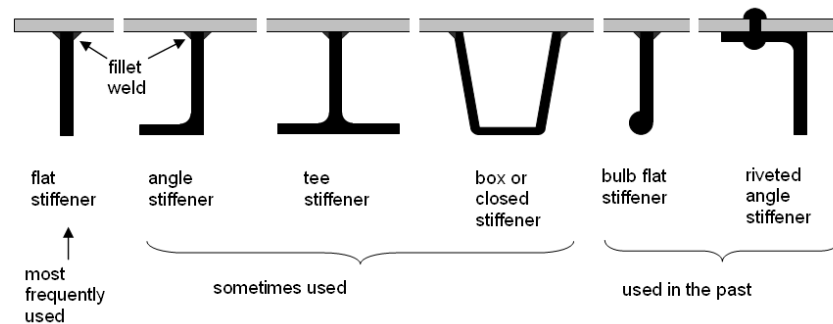


Rys: steelconstruction.info



Rys: ellsenoverheadbridgecrane.com

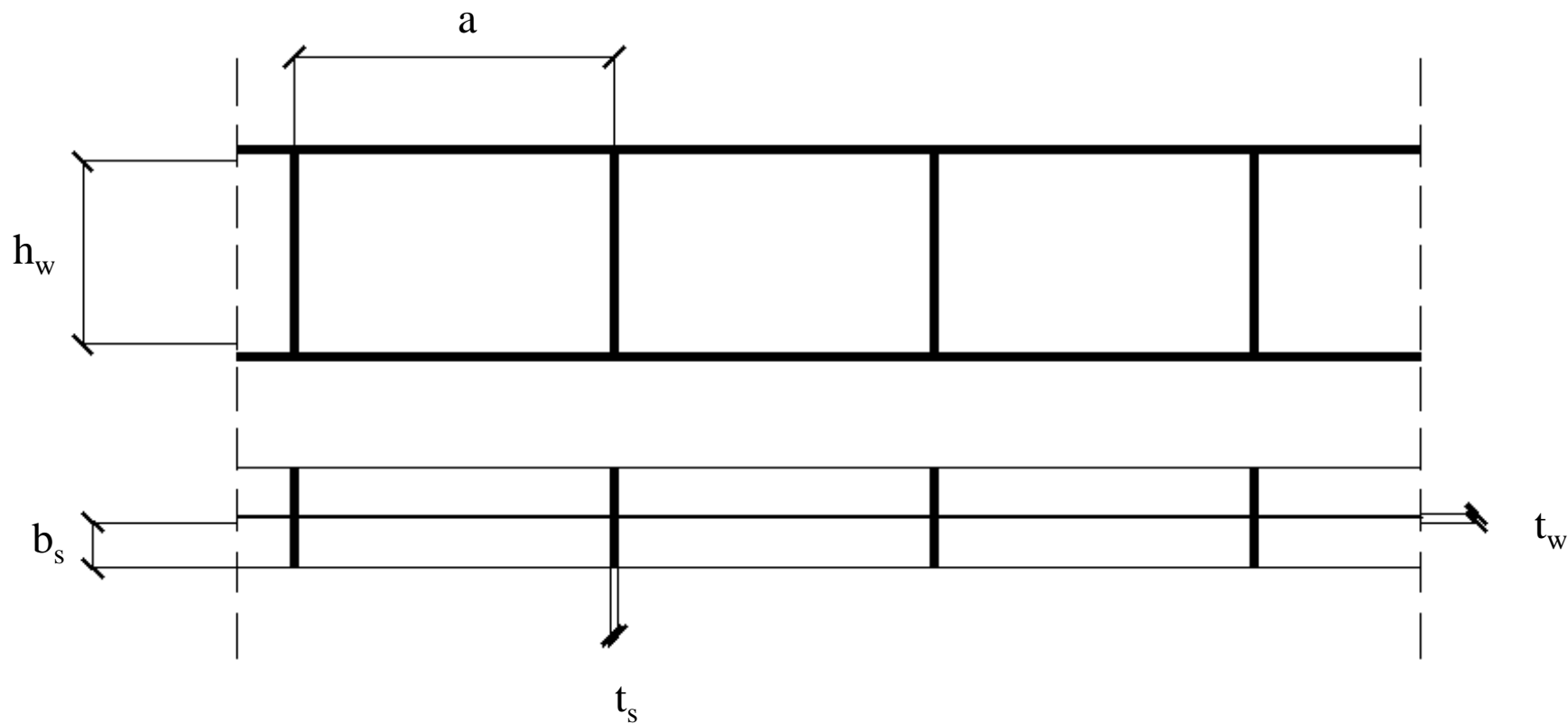
W takich przypadkach nie tylko skrajne ale i pośrednie żebra nadpodporowe są wykonane jako masywne.



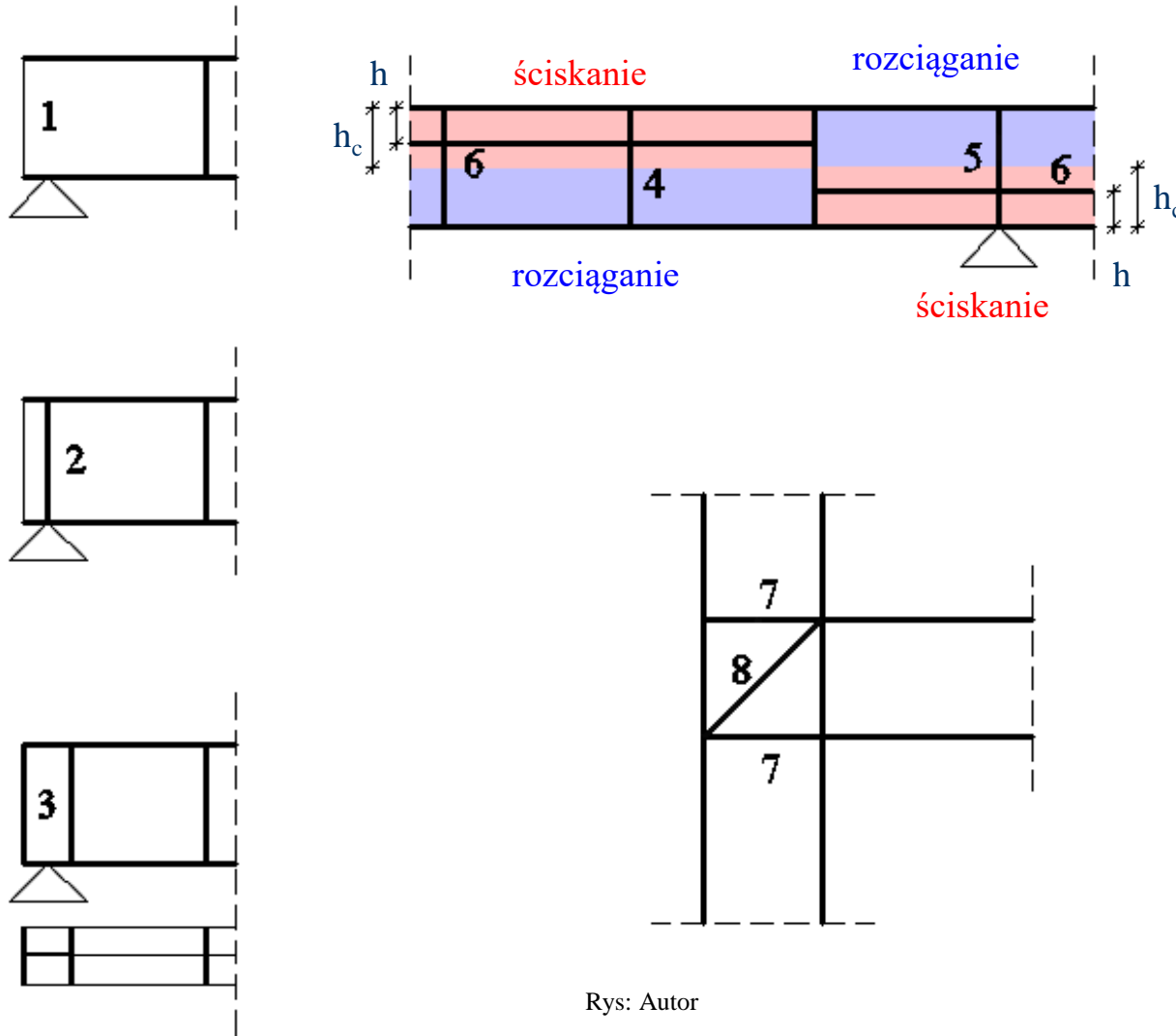
Rys: steelconstruction.info

Geometria żeber:

Rys: Autor



Położenie żeber



Rys: Autor

Pionowe (2, 3, 4, 5): nad podporami, w połączeniach podciągów z belkami poprzecznymi, w miejscach przyłożenia dużych sił skupionych.

Poprzeczne (7): w osiach półek;

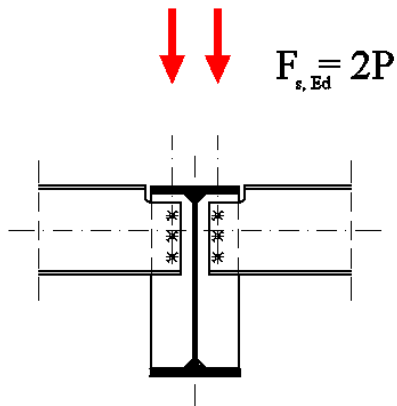
Podłużne (6): $h / h_c = 1/3 - 1/2$;

Ukośne (8): w połączeniach słupów z belkami.

Warunki:

<u>Niezależne od obciążenia</u>		<u>Zależne od obciążenia</u>	
<u>Warunek:</u>	<u>Żebro:</u>	<u>Żebro:</u>	<u>Warunek:</u>
Grubość przyległego elementu (#t / 17)	2, 3, 4, 5, 7	2, 4, 5, 7	Docisk (#t / 22)
Klasa przekroju (#t / 18)	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	2, 4, 5, 7	Ściskanie osiowe (#t / 23-30)
Stateczność na wyboczenie skrętne (#t / 19)	2, 4, 5, 7	6	Nosność przekroju (#t / 31-32)
Sztywne podparcie środka (#t / 20)	2, 4, 5, 7	8	Żebro ukosne (#t / 33-35)
Sztywne skrajne żebro podporowe (#t / 21)	3	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Spoiny (#t / 36)

Grubość żebra w stosunku do grubości sąsiednich elementów:

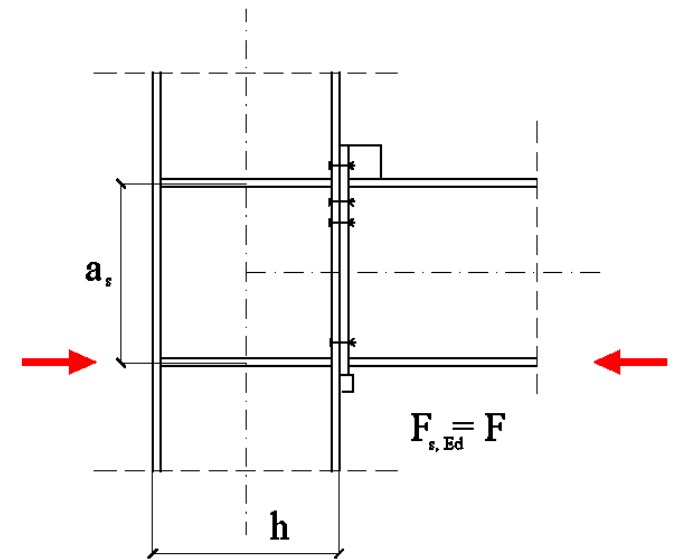


$t_s \geq$ grubość środnika belki drugorzędnej

lub

$t_s \geq$ grubość półki belki

Rys : Autor



Klasa przekroju:

W Eurokodzie nie ma sprecyzowanych wymagań odnośnie klasy przekroju żebra, ale wszystkie formuły operują pełnymi charakterystykami geometrycznymi (a nie efektywnymi, jak dla IV klasy przekroju). Z tego powodu zaleca się przyjąć żebra jako elementy o klasie nie wyższej niż III.

$$b_s / t_s \leq 14 \varepsilon$$

$$b_s, t_s \rightarrow \#t / 14$$

Stateczność na wyboczenie skrętne:

EN 1993-1-5 (9.3)

$$J_T / J_p \geq 5,3 f_y / E$$

$$J_T = b_s t_s^3 / 3$$

$$J_p = b_s^3 t_s / 3 + b_s t_s^3 / 12$$

$b_s, t_s \rightarrow \#t / 14$

Sztywne podparcie środka:

EN 1993-1-5 9.3.3 (9.6)

$$a / h_w \geq \sqrt{2} \rightarrow J_{st} \geq 1,50 h_w^3 t_w^3 / a^2$$

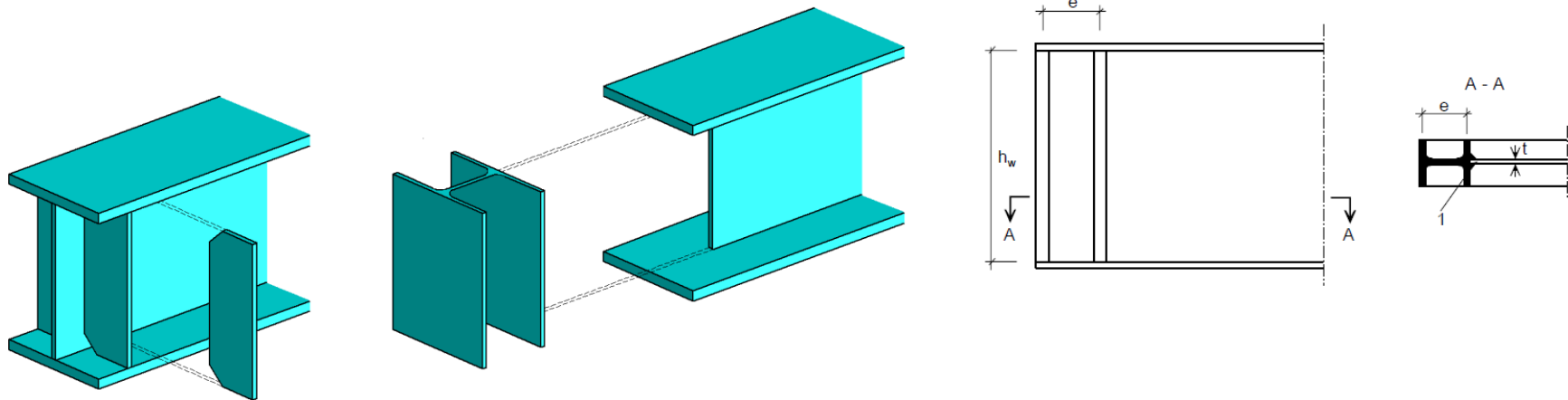
$$a / h_w < \sqrt{2} \rightarrow J_{st} \geq 0,75 h_w t_w^3$$

$$J_{st} = 2 [b_s^3 t_s / 12 + b_s t_s (b_s + t_w)^2 / 4]$$

$a, h_w, t_w, b_s, t_s \rightarrow \#t / 14$

Sztywne skrajne żebro podporowe:

EN 1993-1-5 9.3.1 (3)



EN 1993-1-5 fig. 9.6

Rys: Autor

Dwie pary żeber: $2 A_s$; $W_{s, x}$

$$e \geq 0,1 h_w$$

$$A_s \geq 4 h_w t_w^2 / e \quad (\text{para blach})$$

$$W_{s, x} \geq 4 h_w t_w^2 \quad (\text{dwuteownik goręcowałcowany jako żebro skrajne})$$

$$h_w, t_w \rightarrow \#t / 14$$

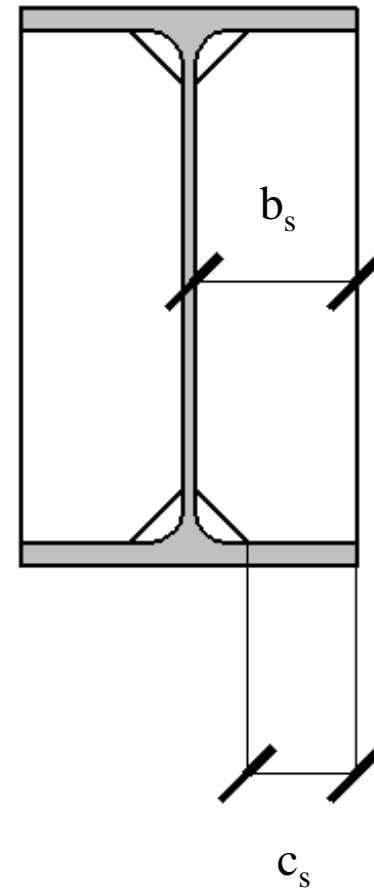
Docisk do półek belki

EN 1993-1-5 9.4 (2)

$$F_{s,Ed} / (2 c_s t_s f_y) \leq 1,0$$

$$b_s, t_s \rightarrow \#t / 14$$

Rys : Autor

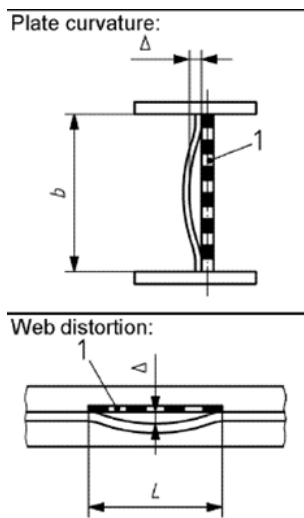


Ściskanie osiowe

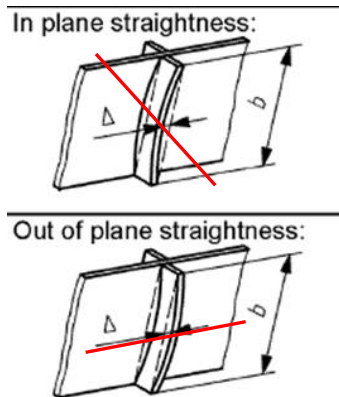
EN 1993-1-5 9.2.1

EN 1993-1-5 9.4 (2)

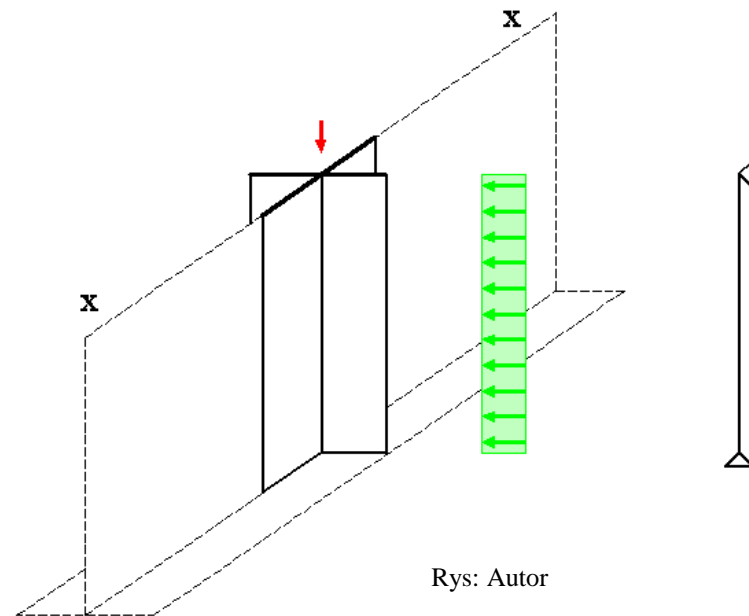
Najbardziej skomplikowana część obliczeń żebra. Należy wziąć pod uwagę niedoskonałości żebra i środka. Efektem tych niedoskonałości jest dodatkowa siła pionowa $\Delta N_{st, Ed}$ i dodatkowe obciążenie ciągłe q .



Rys: EN 1090-2 tab. D.1.1



Rys: EN 1090-2 tab. D.1.5

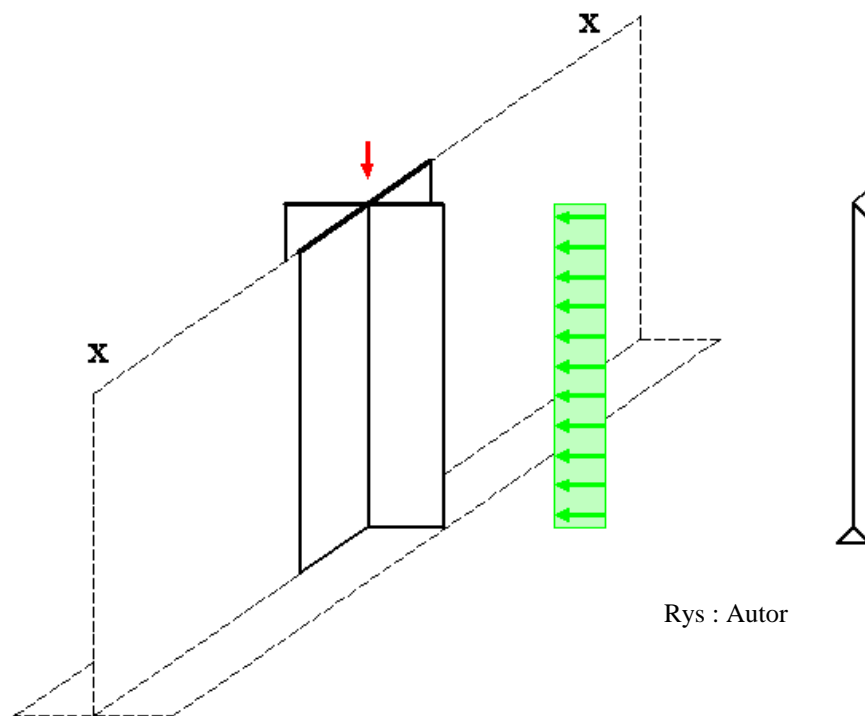


Rys: Autor

- ◆ Żebro traktujemy jak pręt, ściskany osiowo siłą $N_{s, Ed}$;
- ◆ Analizujemy wyboczenie giętnie względem osi x;
- ◆ Przekrojem jest przekrój żebra i współpracującej części środnika (przekrój \perp);
- ◆ Siła osiowa $N_{s, Ed}$ uwzględnia imperfekcje żebra;
- ◆ Uwzględniamy dodatkowo imperfekcje środnika, reprezentowane przez dodatkowe obciążenie q ;
- ◆ Analizujemy interakcję między siłą osiową $N_{s, Ed}$, wyboczeniem względem x i momentem zginającym $M_{s, Ed}$ (q).



Rys: lmsteelfab.com



Rys : Autor

$$N_{s, Ed} = \max (F_{s, Ed} + \Delta N_{st} ; V_{Ed}^* + \Delta N_{st} ; 0)$$

$F_{s, Ed}$ – siła przyłożona do żebra (z belki poprzecznej, z podpory...); możliwy jest przypadek $F_{s, Ed} = 0$ (gdy jedyną funkcją żebra jest podparcie wiotkiego środника $\rightarrow \#t / 26$);

$$\Delta N_{st} = \sigma_m b^2 / \pi^2 - \text{wpływ imperfekcji żebra (} b = h_w \text{ dla żeber);}$$

$V_{Ed}^* = \max [V_{Ed} - f_{yw} h_w t_w / (\bar{\lambda}_w \gamma_{M1} \sqrt{3}) ; 0]$ – część siły większa niż nośność „gołego” środnika

V_{Ed} – siła ścinająca w odległości $0,5 h_w$ od krańca panelu z największą siłą ścinającą;

$$\gamma_{M1} = 1,0;$$

$$\bar{\lambda}_w \rightarrow \#t / 27;$$

$$\sigma_m \rightarrow \#t / 28;$$

$N_{s, Ed} = \Delta N_{st}$ (gdy jedyną funkcją zebra jest podparcie wiotkiego środka)

$N_{s, Ed} > \Delta N_{st}$

Warunki ze str. #t / 25 są spełnione, jeżeli:

Konieczność sprawdzenia całego algorytmu obliczeniowego (#t / 23 - 30):

$$J_{st} \geq (1 + 300 w_0 u / b) (\sigma_m b^4) / (E \pi^4)$$

$$J_{st} = 2 [b_s^3 t_s / 12 + b_s t_s (b_s + t_w)^2 / 4]$$

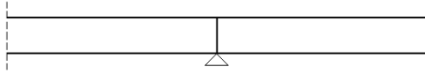
$$q = \pi \sigma_m (w_0 + w_{el}) / 4$$

$$\sigma_m \rightarrow \#t / 28;$$

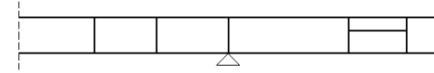
$$w_0, u, w_{el} \rightarrow \#t / 29;$$

$$b = h_w$$

Wpływ smukłości na nośność:



Rys: Autor



$$\bar{\lambda}_w = h_w / (86,4 t_w \varepsilon)$$

$$\bar{\lambda}_w = h_w / (37,4 t_w \varepsilon \sqrt{k_\tau})$$

EN 1993-1-5 A.3

$$\alpha = a / h_w$$

	$\alpha < 1,0$	$\alpha \geq 1,0$
k_τ	$k_{zts} + 4,00 + 5,34 / \alpha^2$	$k_{zts} + 5,35 + 4,00 / \alpha^2$

$$k_{zts} = \max \{ [2,1 \sqrt[3]{(J_{st} / h_w)}] / t_w ; [9 h_w^2 \sqrt[4]{(J_{st} / (h_w t_w^3))}] / a^2 \}$$

J_{st} – względem osi z dla żeber podłużnych;

Jeśli brak żeber podłużnych, $k_{zts} = 0$

$$\sigma_m = (\sigma_{cr, c} / \sigma_{cr, p}) (1 / a_1 + 1 / a_2) N_{eq-axial} / b$$

$$\sigma_{cr, c} = \pi^2 E t_w^2 / [12 (1 - \nu^2) a^2] \approx 190\,000 (t_w / a)^2 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{cr, p} = k_\sigma (28,4 \varepsilon)^2 f_y (t_w / b)^2 \approx 190\,000 k_\sigma (t_w / b)^2 \text{ [MPa]}$$

$$a = (a_1 + a_2) / 2 \text{ (zazwyczaj } a = a_1 = a_2)$$

$$b = h_w$$

Rozkład naprężeń (ściskanie – dodatnie)				Szerokość współpracująca b_{eff}		
				$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff}$		
				$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Parametr niestateczności miejscowej k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

k_σ – dla środka
zgodnie z EN 1993-1-5 tab. 4.1

$N_{eq-axial} \rightarrow \#t / 29;$

$$w_0 = s / 300$$

$$s = \min (a_1 ; a_2 ; b)$$

$$w_{el} = b / 300$$

$$u = \max [1,0 ; \pi^2 E e_{\max} \gamma_{M1} / (f_y 300 b)]$$

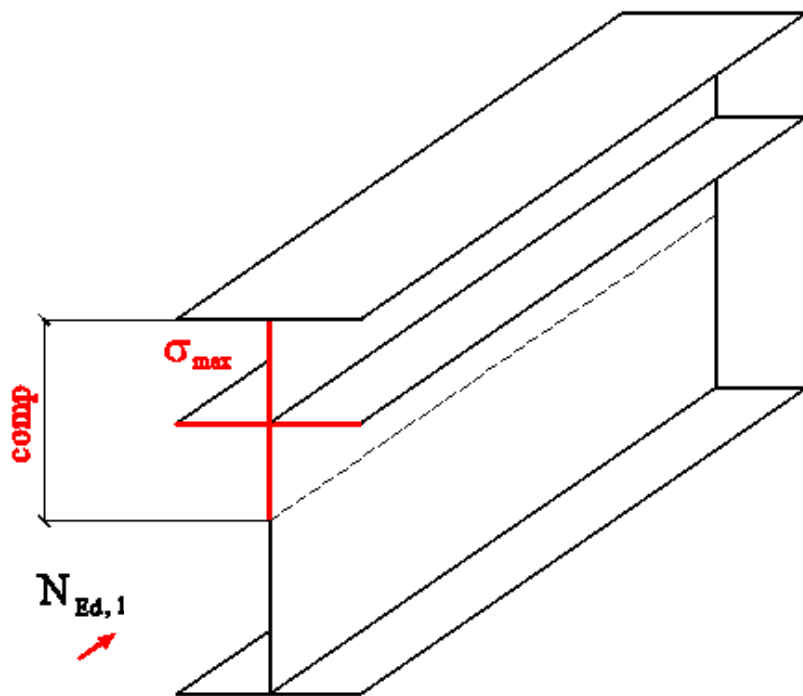
$$e_{\max} = b_s / 2$$

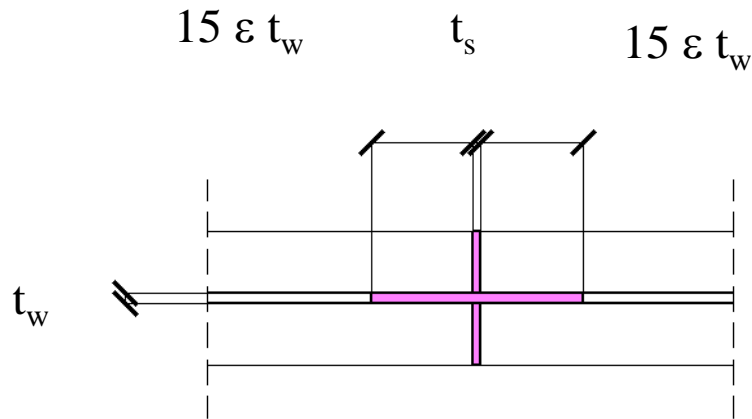
$$b = h_w$$

$$N_{eq-axial} = \max (N_{Ed,1} ; \sigma_{\max} A / 2)$$

σ_{\max} jest analizowane, gdy w belce jest zginanie lub zginanie i siła osiowa (M_{Ed} lub $M_{Ed} + N_{Ed,1}$)

Rys: Autor





$$M_{s, Ed} = q h_w^2 / 8$$

$$\chi_x = \chi_x(c, \perp, l_{cr}) \text{ (zgodnie z wyk \#5)}$$

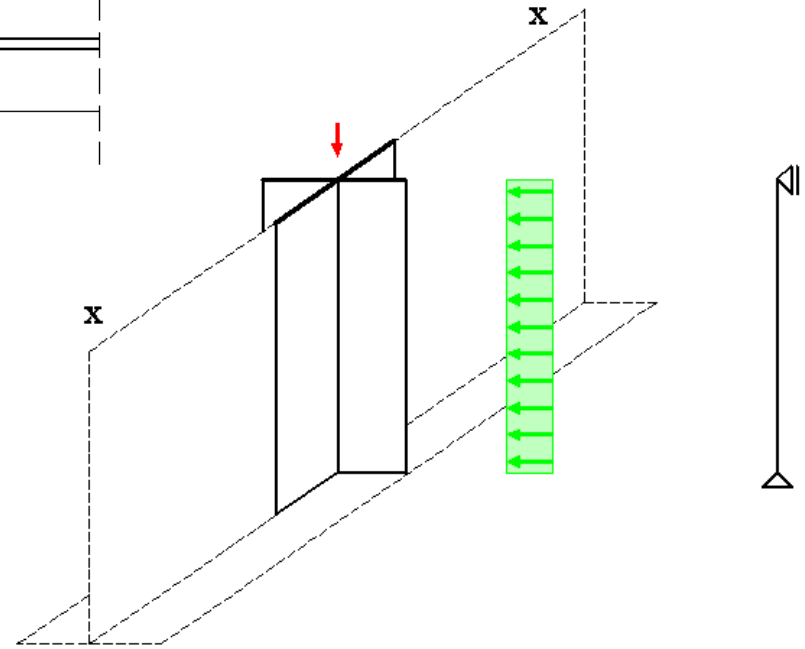
$$l_{cr} = 0,75 h_w$$

$$N_{Rd} = A_{\perp} f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{Rd} = W_{\perp, x, el} f_y / \gamma_{M0}$$

$$N_{s, Rd} / (\chi_x N_{Rd}) + M_{s, Ed} / M_{Rd} \leq 1,0 - \Delta_{0, x}$$

Rys: Autor



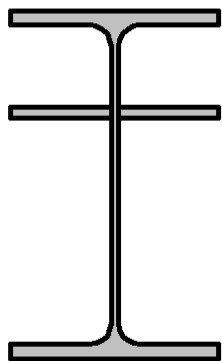
Klasa przekroju \perp	1 or 2	3 or 4
$\Delta_{0, x}$	$0,1 + 0,2 [(W_{\perp, x, pl} / W_{\perp, x, el}) - 1]$	0,1

EN 1993-1-1 NA.20

Nośność przekroju (żebra podłużne)

EN 1993-1-5 9.3.4

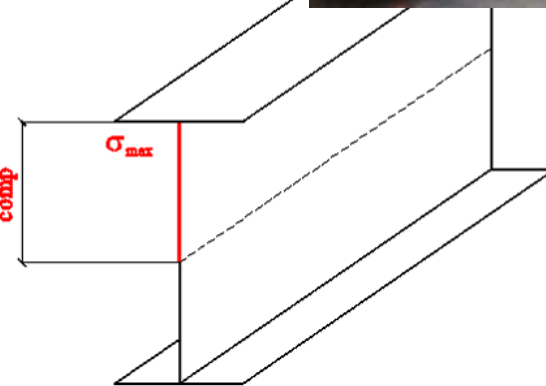
Dwie metody analizy:



Rys: hebsteelstructure.en.made-in-china.com



Rys: Autor



1.

Żebra podłużne są traktowane jako część przekroju; ustala się na nowo klasę przekroju i charakterystyki geometryczne

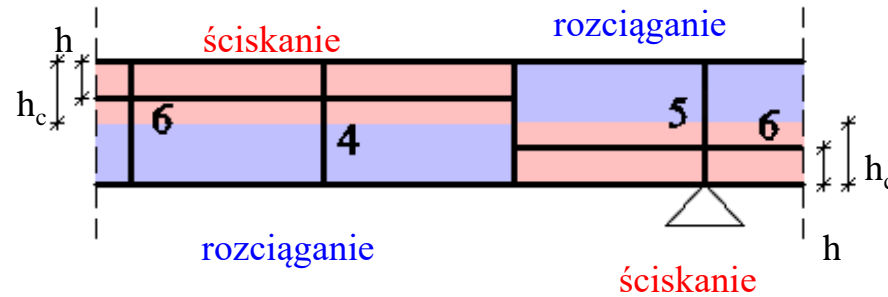
2.

$$N_{Ed,eq} = \sigma_{comp, max} A_{comp} / 2$$

$$N_{Rd} = 2 b_{h-s} t_{h-s} f_y$$

$$N_{Ed,eq} / N_{Rd} \leq 1,0$$

Żebra podłużne według starej Polskiej Normy PN-B 3200



Rys: Autor

$$J_{st} \geq k h_w t_w^3$$

J_{st} – względem osi pionowej (z) przekroju belki;

$$0,25 \leq h / h_c \leq 0,33 \quad \text{and} \quad 0,5 \leq a / h_w \leq 2,0 :$$

$$k = 4 \sqrt{[(a / h_w)^3 \delta]}$$

$$0,05 \leq \delta = (b_s t_s) / (t_w h_w) \leq 0,20$$

$$a, h_w, t_w, b_s, t_s \rightarrow \#t / 14$$

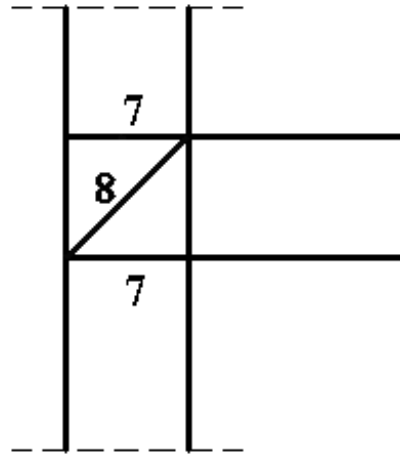
$$h / h_c = 0,5 \quad \text{and} \quad a \geq h_w$$

$$k = \max \{ 3,0 \sqrt{[(a / h_w)^3 \delta]} ; 0,7 \sqrt{(a / h_w)^3} \}$$

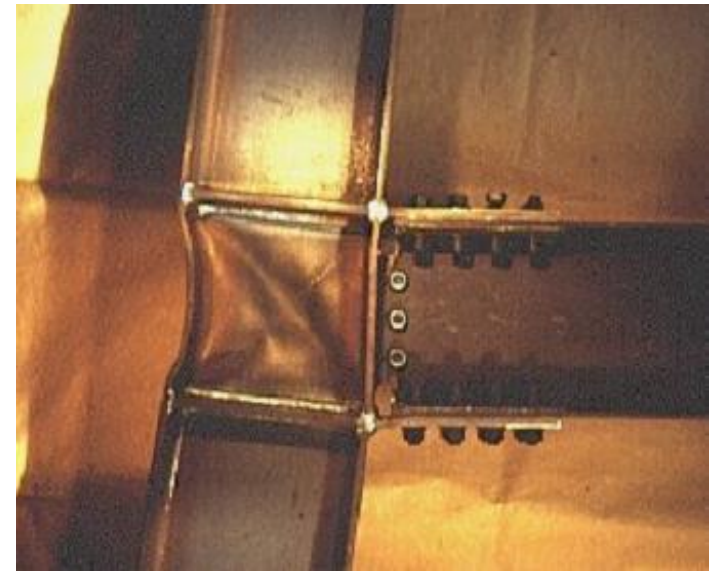
Żebra ukośne



Rys: microstran.com.au

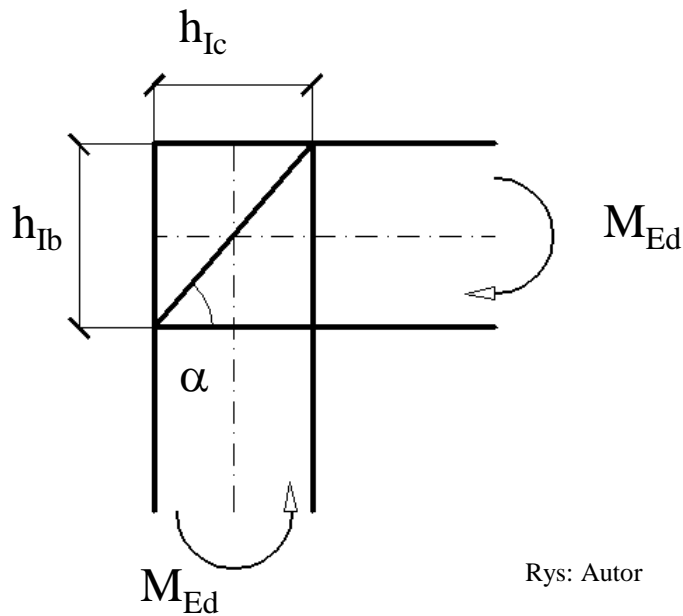


Rys: Autor

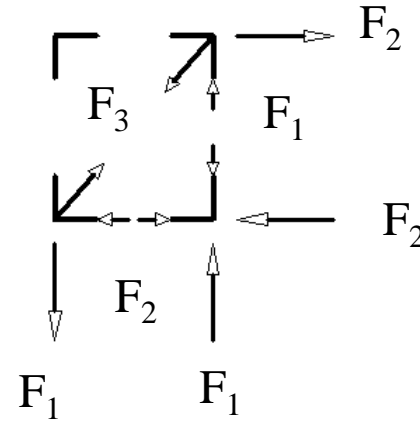


Rys: fgg.uni-lj.si

- ◆ Możliwość zwiększenia nośności i sztywności poprzecznie ścinanego środka słupa ;
- ◆ Rzadko używane, niemal wyłącznie w węzłach rygiel-słup w słupach zewnętrznych;
- ◆ Brak informacji w Eurokodzie;
- ◆ Brak jasnych wytycznych w literaturze;



Rys: Autor

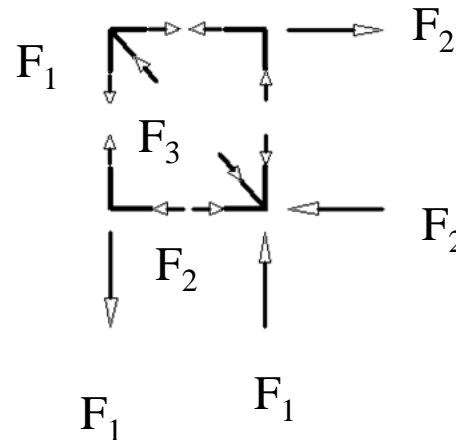
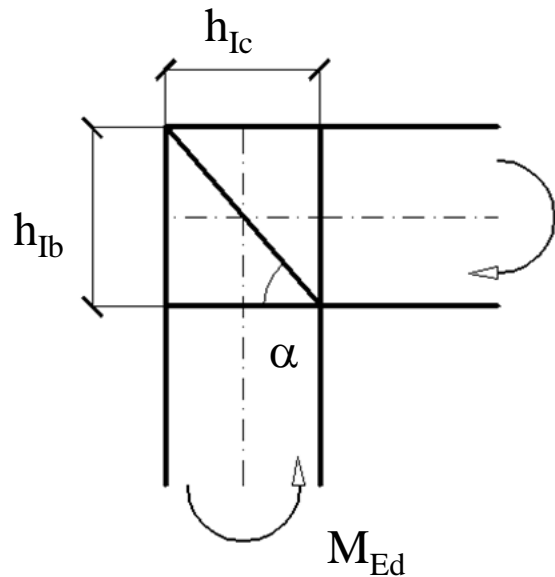


Rozciągane żebra ukośne

$$F_1 = M_{Ed} / h_{Ic}$$

$$F_2 = M_{Ed} / h_{Ib}$$

$$F_3 = \sqrt{(F_1^2 + F_2^2)}$$



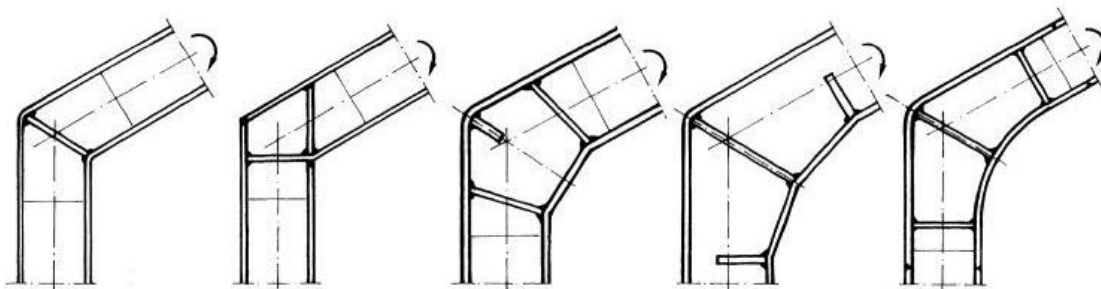
Ściskane żebra ukośne (częściej stosowane)



Rys: microstran.com.au



Rys: skcthailand.com



Rys: chodor-projekt.net

Zgodnie z sugestiami w literaturze, jeśli żebra i spoiny mają wystarczającą nośność do przeniesienia siły F_3 :

- ♦ nośność środnika słupa przy ścinaniu $V_{wp, Rd} \rightarrow \infty$ (\rightarrow #19);
- ♦ sztywność środnika słupa przy ścinaniu $k_2 \rightarrow \infty$ (\rightarrow #15);

Spoiny

Żebra pionowe i poprzeczne:

wykład #17 przykład 1, $F_V = \max (F_{s, Ed} ; V_{Ed}^* ; 0) \rightarrow \#t / 25;$

Żebra podłużne:

wykład #17 przykład 6a, s_1, t_1 w maksymalnej wartości dla rozważanego elementu;

Żebra ukośne:

wykład #17 przykład 1, $F_y = F_3 \rightarrow \#t / 34;$

Węzły kratownic

Dla elementów stalowych stosowanych jako część kratownicy muszą być spełnione wymagania dotyczące wytrzymałości i stateczności (\rightarrow #9). Dla węzłów sytuacja jest dużo bardziej skomplikowana. Spełnione musi być bardzo wiele warunków.

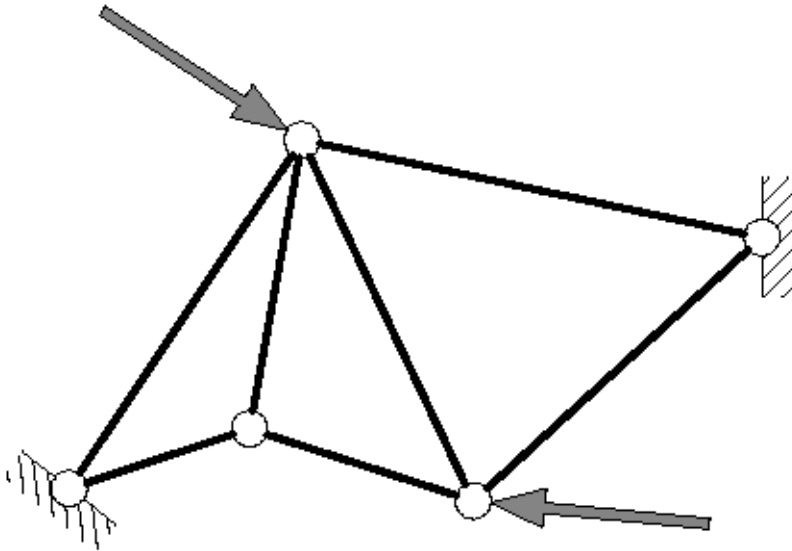
Najważniejsze z nich to:

- rzeczywiste zachowanie kratownicy;
- nośność węzła.

Kratownica zachowuje się jak kratownica idealna tylko wtedy, gdy spełnionych jest wiele warunków dotyczących węzłów. Inaczej kratownica zachowuje się raczej jak rama. Zadowolenie / niezadowolenie z tych dodatkowych wymagań zmienia zachowanie kratownicy i zmienia jej model statyczny (\rightarrow #t / 38 - 50).

Dodatkowo wiele różnych typów miejscowych niestabilności i miejscowej koncentracji naprężeń jest bardzo ważnych dla wytrzymałości połączeń (\rightarrow #t / 51 - 56).

Definicja



Rys: Autor

→ #9 / 3

Kratownica (idealna, w teorii):

- Wszystkie pręty o osiach prostych;
- Wszystkie połączenia przegubowe;
- Tylko siły skupione w węzłach;

Wzory Schwedlera-Żurawskiego dla pręta prostego:

$$\begin{aligned}d M(x) / dx &= Q(x) \\d Q(x) / dx &= q(x)\end{aligned}$$

Siły tylko w węzłach → brak obciążenia typu $q(x)$ (czyli $q(x) = 0$):

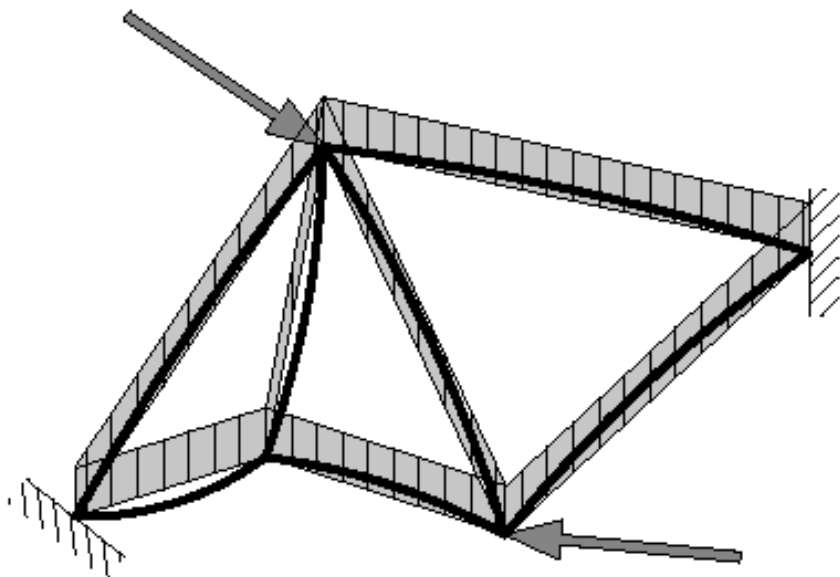
$$Q(x) = \text{const} = C \rightarrow M(x) = C x + A$$

Przeguby:

$$M(0) = 0 \rightarrow A = 0 \quad ; \quad M(L) = 0 \rightarrow C = 0$$

$$M(x) = 0 \quad ; \quad Q(x) = 0$$

Zatem występują tylko siły osiowe



Rys: Autor




Kratownica realna:

- Pręty nieproste (imperfekcje);
- Węzły nieidealne (sztywne? podatne?);
- Ciężar własny działa po długości prętów;

Jest to raczej zbliżone do ramy

→ #9 / 4

Ścisłe rozróżnienie między pracą konstrukcji jak kratownica i jak rama wymaga analizy trzech grup zagadnień (EN 1993-1-8 5.1.5):

- ◆ Wymagania ogólne i dodatkowe oraz kształt węzłów konstrukcji (→ #9 / 47 - 50); 
- ◆ sposób przyłożenia obciążeń do konstrukcji (→ #9 / 50); 
- ◆ Wartości mimośrodków w węzłach (→ #9 / 47, 51 - 53). 

Konsekwencje spełnienia / niespełnienia (spełnienia częściowego) wymogów są różne, w zależności od grupy wymagań. Zasadniczo bierze się pod uwagę 5 różnych modeli statycznych kratownicy / ramy.

Im więcej warunków jest niespełnionych, tym bardziej model statyczny kratownicy zbliża się do ramy o węzłach sztywnych.

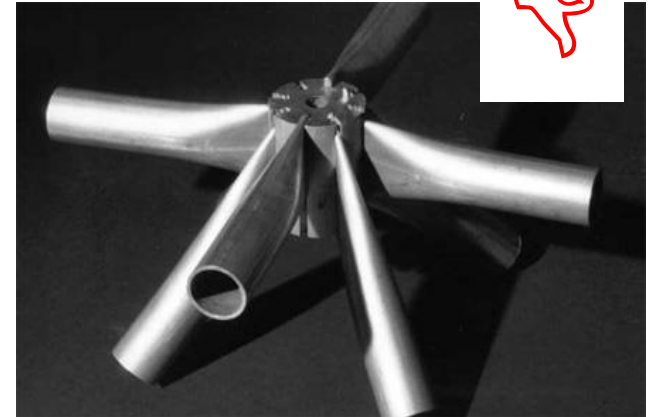
→ #9 / 46

Dodatkowe wymagania węzłów dla kratownic

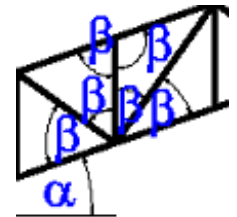
(EN 1993-1-8 7.1):

- ◆ Pasy → □ □ ○ I; ■
- ◆ Skratowanie → □ □ ○ ; ■
- ◆ Deformacje końców prętów są niedopuszczalne; ■
- ◆ $f_y (\square \square \circ) \leq 460 \text{ MPa}$; ■
- ◆ $f_y (\square \square \circ) > 355 \text{ MPa} \rightarrow f_{y, obl} = 0,9 f_y$; ■
- ◆ $t (\square \square \circ) \geq 2,5 \text{ mm}$; ■
- ◆ $t_{pas} (\square \square \circ) \leq 25 \text{ mm}$; ■
- ◆ Elementy ściskane → I lub II klasa przekroju; ■
- ◆ $\beta_i \geq 30^\circ$; ■
- ◆ Rozmieszczenie elementów (mimośrod) muszą być spełnione (→ #9 / 51-53); ■
- ◆ Kształt węzłów (EN 1993-1-8 fig. 7.1) musi być spełniony (→ #9 / 48); ■
- ◆ (Długość elementu) / (wysokość przekroju) > 6 (EN 1993-1-8 5.1.5.(3)); ■

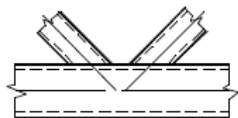
→ #9 / 47



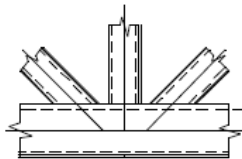
Rys: tatasteelconstruction.com



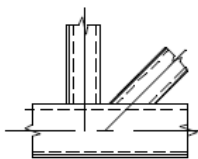
Rys : Autor



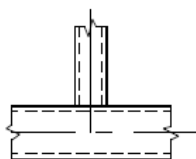
Węzeł K



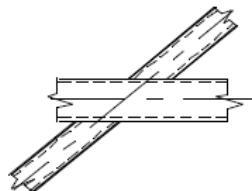
Węzeł KT



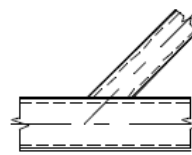
Węzeł N



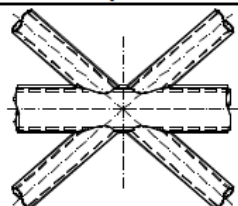
Węzeł T



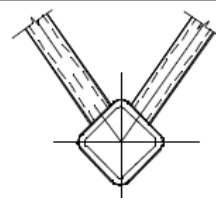
Węzeł X



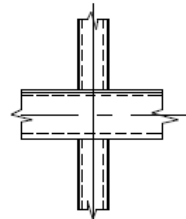
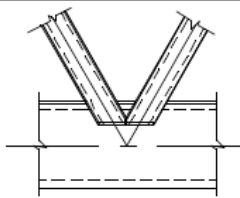
Węzeł Y



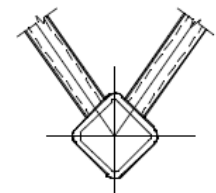
Węzeł DK



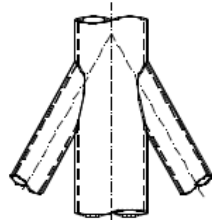
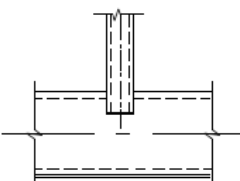
Węzeł KK



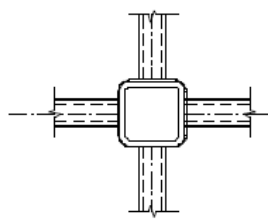
Węzeł X



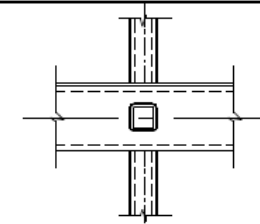
Węzeł TT



Węzeł DY



Węzeł XX



Dopuszczalne rodzaje węzłów
 EN 1993-1-8 fig. 7.1
 (zakres ważności formuł nośności:
 EN 1993-1-8 tab. 7.1, 7.8, 7.9, 7.20)

Rys: EN 1993-1-8 fig. 7.1

→ #9 / 48

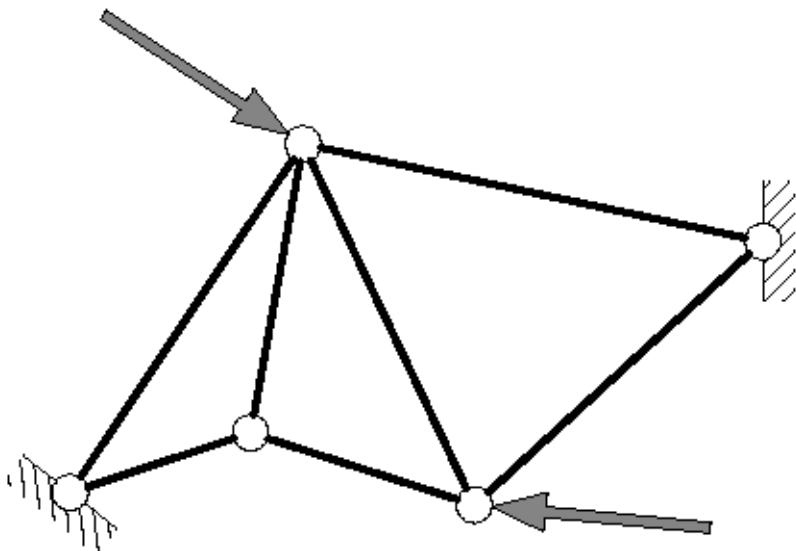
Dla każdego typu połączenia spełnione muszą być dodatkowe wymagania szczegółowe. Są one przedstawione w kilku tablicach w EN 1993-1-8; symbole wyjaśnione zostały w EN 1993-1-8 1.5.(4), (5), (6).

Węzeł		Tab.	Uwagi
Pas	Skratowanie		
CHS	CHS	7.1	-
RHS	CHS, RHS	7.8, 7.9	-
I	CHS, RHS	7.20	-
C	CHS, RHS	7.21	Ceowniki są dopuszczone, ale pod uwagę należy brać lokalne momenty zginające (co oznacza, że konstrukcja nie jest idealną kratownicą).

Wymagania dodatkowe, przedstawione w powyższych tablicach mają postać ogólną:

$$\min \leq (\text{wysokość przekroju skratowania}) / (\text{grubość jego ścianki}) \leq \max$$

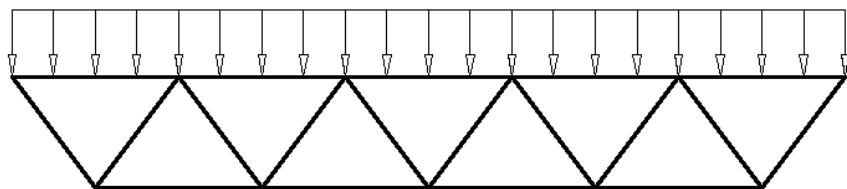
→ #9 / 49



Kratownica idealna:

- Pręty o osiach prostych; ■
- Węzły przegubowe; ■
- Obciążenia wyłącznie w węzłach; ■

Rys: Autor

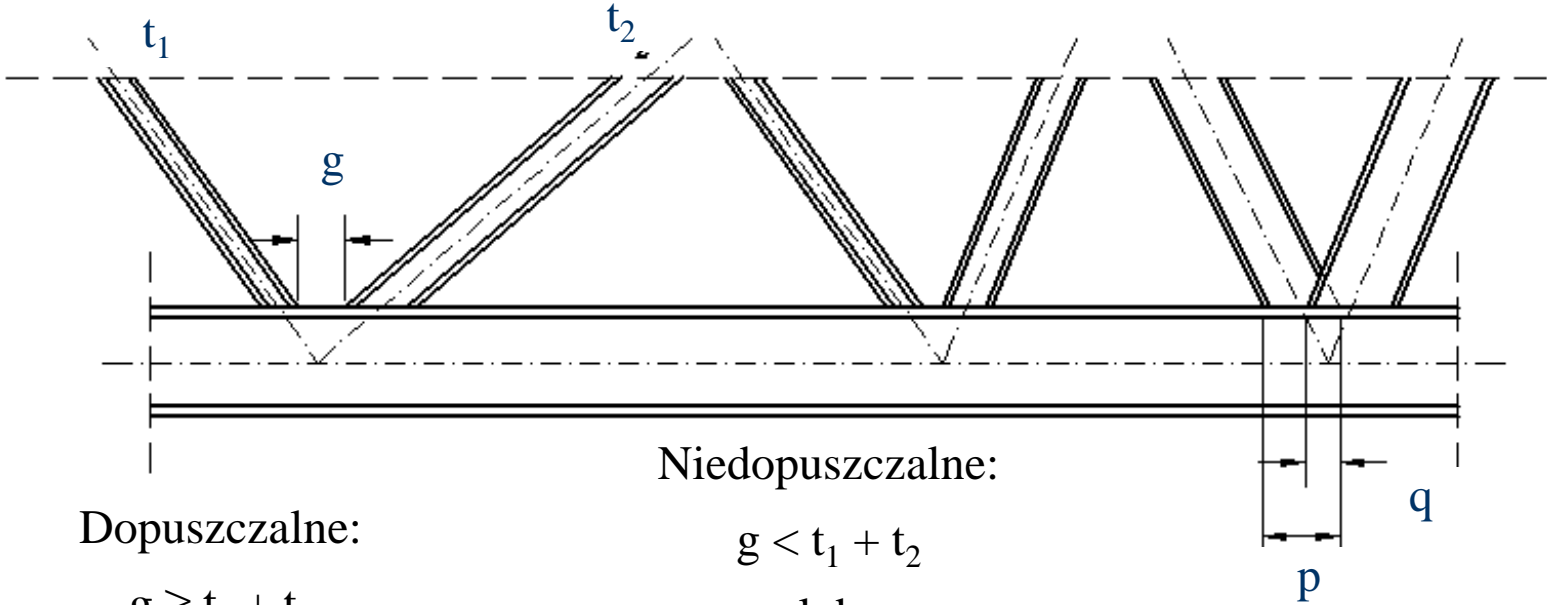


Płatew kratowa nie spełnia wymogu „obciążenia wyłącznie w węzłach”.

→ #9 / 50



Rys : Autor



Dopuszczalne:

$$g \geq t_1 + t_2$$

Niedopuszczalne:

$$g < t_1 + t_2$$

lub

$$q / p < 0,25$$

Dopuszczalne:

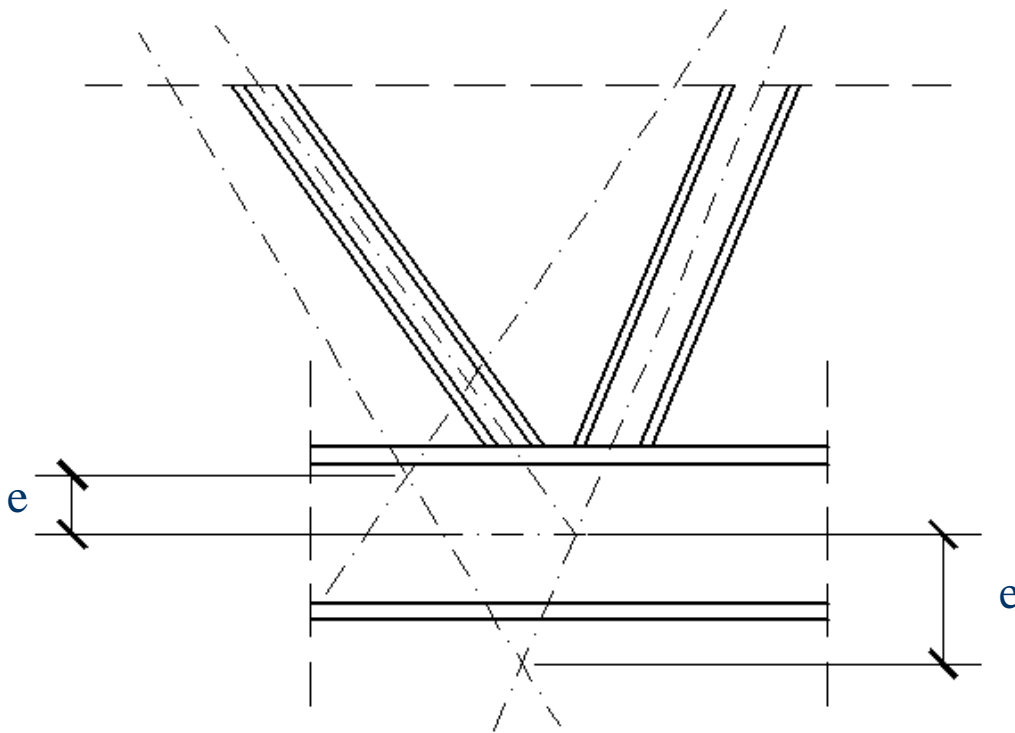
$$q / p \geq 0,25$$

EN 1993-1-8 p.7.1

→ #9 / 51



Rezultat:



Rys : Autor

Jest możliwe, że będziemy musieli poprzesuwać osie prętów, by spełnić wymaganie

$$g \geq t_1 + t_2 \text{ lub } q / p \geq 0,25$$

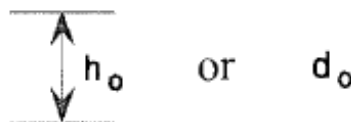
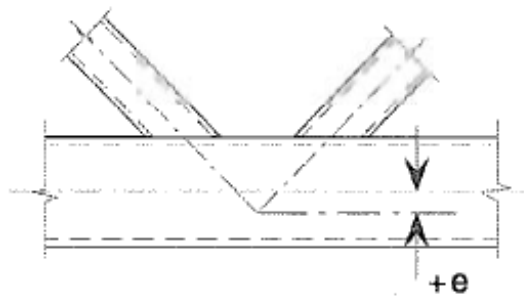
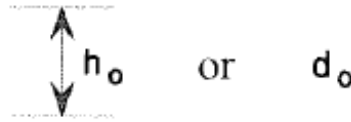
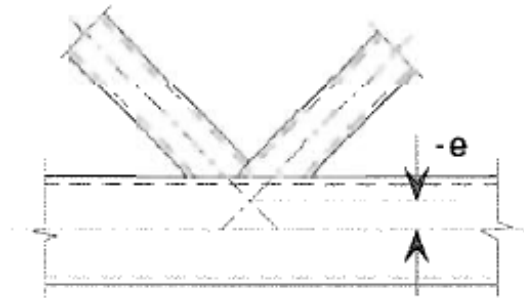
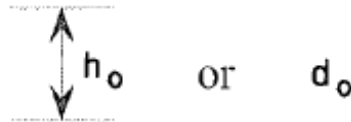
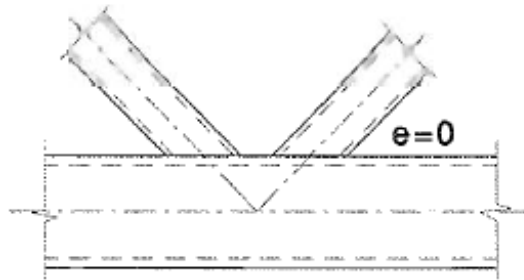
Tym samym pojawią się mimośrodowość.

Spowodują one pojawienie się niezerowych wartości momentów zginających.

→ #9 / 52



Rys: EN 1993-1-8 fig. 5.3



EN 1993-1-8 fig. 5.3

Dopuszczalne wielkości mimośrodków:

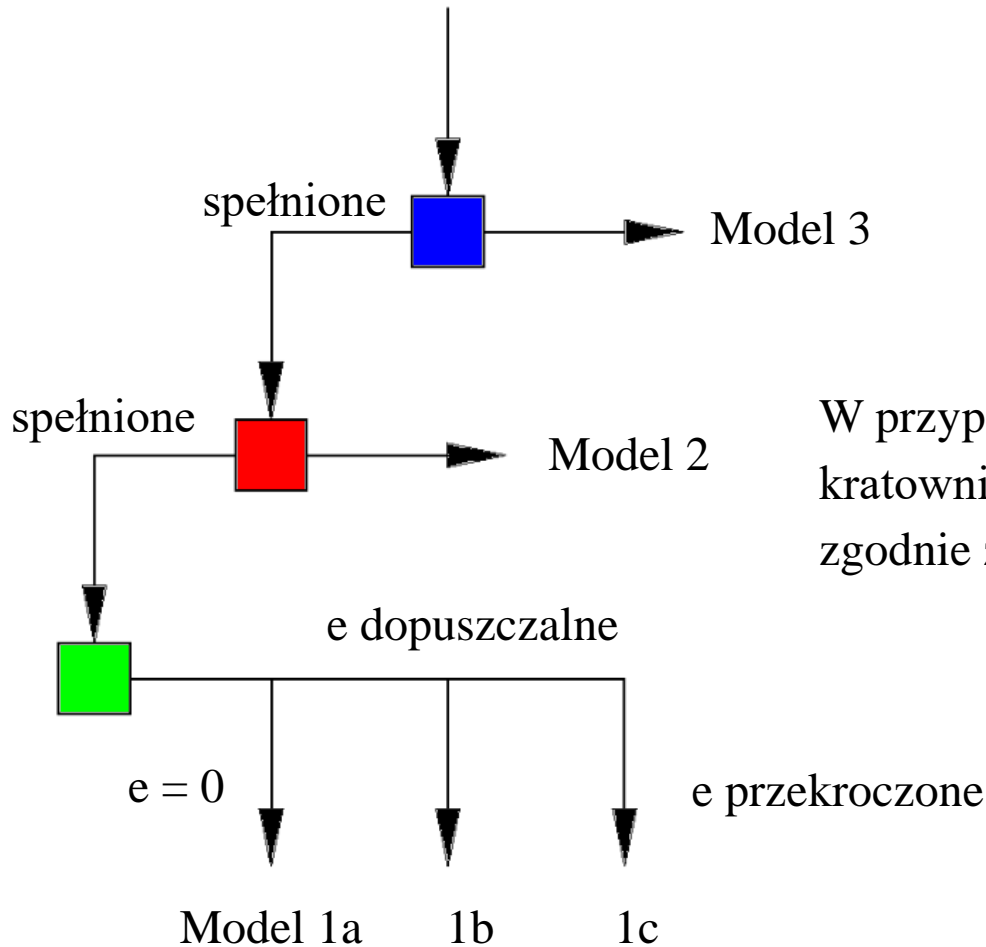
$$-0,55 a_0 \leq e \leq +0,25 a_0$$

$$a_0 = h_0 \text{ lub } d_0$$

EN 1993-1-8 (5.1a), (5.1b)

Pojawiają się trzy możliwości:

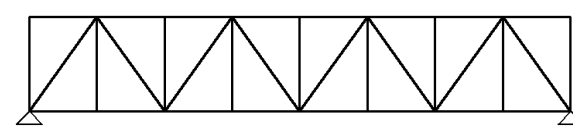
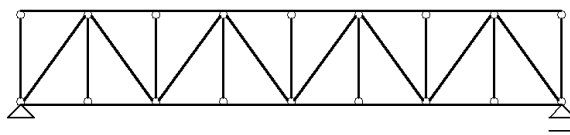
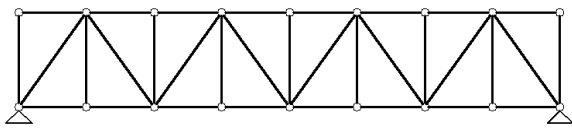
- $e = 0$;
- mimośrodowość o wartościach dopuszczalnych;
- przekroczenie wartości dopuszczalnych.



W przypadku modelu 2 oraz 3, statyka kratownicy musi być policzona ponownie, zgodnie z nowym modelem statycznym.

5 różnych modeli zachowania się konstrukcji:

→ #9 / 55



1. Kratownica idealna

2. Kratownica o ciągłych
pasach

3. Rama

Podrodzaje: 1a, 1b, 1c.

Brak podrodzajów

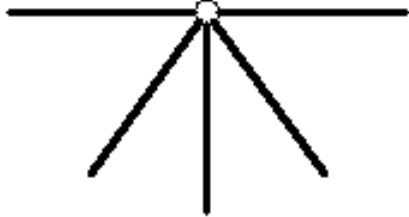
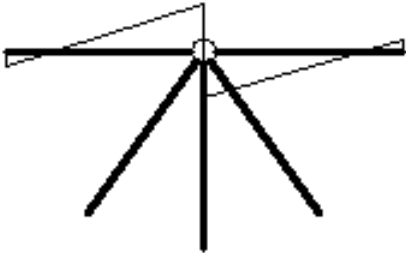
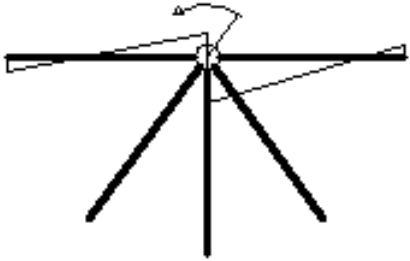
Tylko węzły przegubowe

Oba rodzaje węzłów

Tylko węzły sztywne

Siły osiowe we wszystkich
elementach, momenty
zginające w elementach lub
węzłach w zależności od
podrodzajuSiły osiowe w elementach;
dodatkowo momenty
zginające i siły ścinające w
pasachKomplet sił przekrojowych w
węzłach i elementach

Dla kratownicy idealnej (1) rozpatrujemy dodatkowo trzy podtypy:

		
<p>1a. Brak momentów zginających</p>	<p>1b. Momenty zginające działające na pasy</p>	<p>1c. Momenty zginające działające na pasy i węzły</p>
<p>Kratownica idealna: wyłącznie siły osiowe w węzłach i elementach.</p>	<p>Większość prętów – siły osiowe; część pasów – siły osiowe i momenty zginające; węzły – siły osiowe.</p>	<p>Większość prętów – siły osiowe; część pasów – siły osiowe i momenty zginające; węzły – siły osiowe i momenty zginające.</p>

Rys: Autor

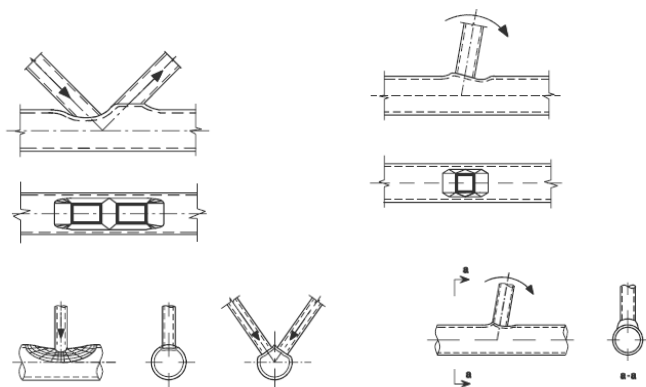
→ #9 / 56

Zgodnie z EN 1993-1-8, istnieje 6 typów zniszczenia węzła, przedstawionych na fig. 7.3, 7.4. :

Rys: tatasteel.com



1. Zniszczenie przystykowe pasa (nie wystąpi dla dwuteownika)

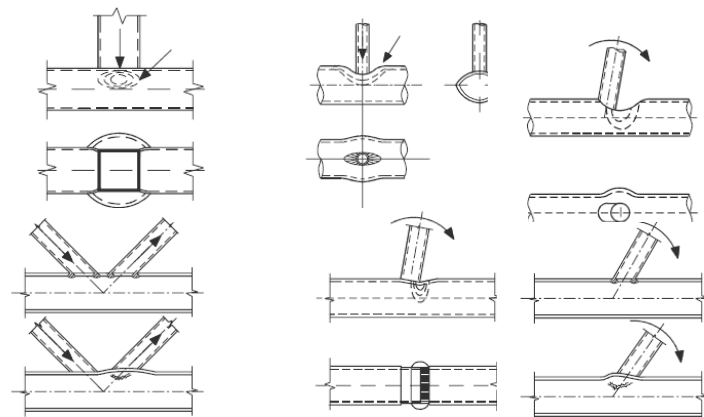


2. Zniszczenie boków / środka pasa

Rys: R. Feng, Y. Liu, J. Zhu, Tests of CHS-to-SHS tubular connections in stainless steel, Engineering Structures, 199/ 2019



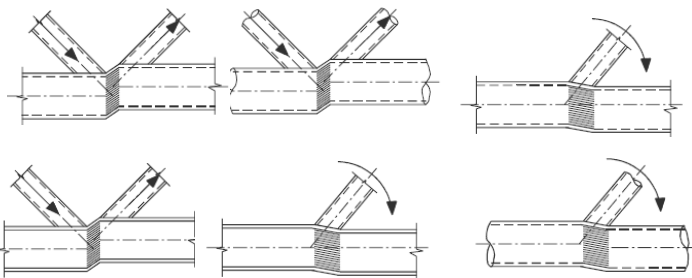
Rys: EN 1993-1-8 fig 7.3, 7.4



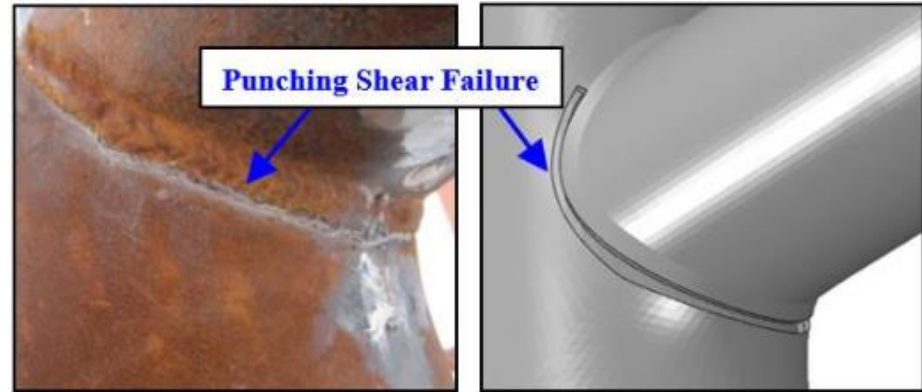
3. Ścięcie pasa



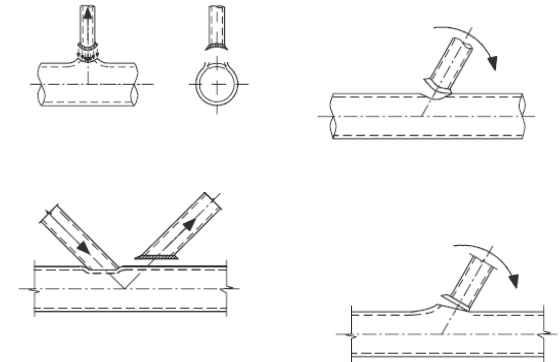
Rys: O. P. Videira, Composite Truss Bridge Decks, Universidade Technica de Lisboa 2009



4. Przebicie ścianki (nie wystąpi dla dwuteownika)



Rys: EN 1993-1-8 fig 7.3, 7.4

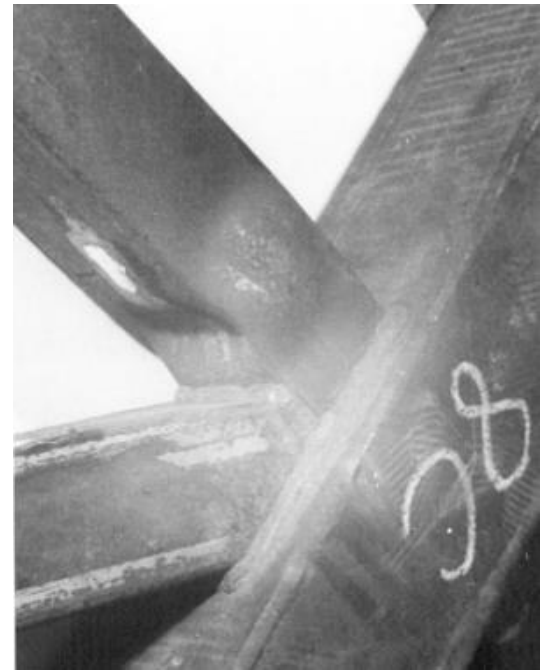


5. Zniszczenie elementu skratowania

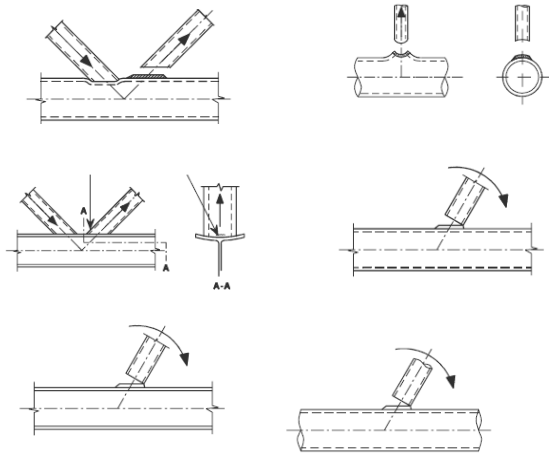


Rys: eqclearinghouse.org

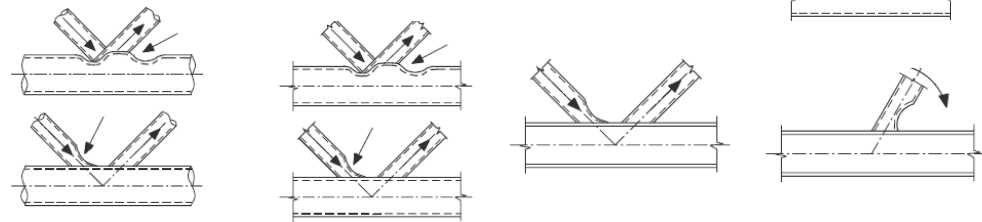
6. Wyboczenie miejscowe



Rys: J. Packer, theoretical analysis of welded steel joints in rectangular hollow sections. PhD thesis, University of Nottingham. , 1978



Rys: EN 1993-1-8 fig 7.3, 7.4



Dla różnych kształtów węzła i różnych przekrojów prętów skratowania (CHS, RHS, I), najbardziej niebezpieczne są odmienne mechanizmy zniszczenia. Wzory opisujące nośności odniesione są do najniebezpieczniejszych mechanizmów.

Węzły obciążone są przez siły osiowe ($N_{i, Ed}$) pochodzące ze skratownia. W wielu przypadkach należy wziąć pod uwagę lokalne zginanie. W przypadku kratownic płaskich bierze się pod uwagę zginanie w płaszczyźnie (in plane, ip) kratownicy ($M_{ip, i, Ed}$). W przypadku kratownic wielopasowych, także i zginanie w płaszczyźnie prostopadłej (out of plane, op) do kratownicy ($M_{op, i, Ed}$) musi być wzięte pod uwagę.

Wzory na nośność węzłów ($N_{i, Rd}$, $M_{ip, i, Rd}$, $M_{op, i, Rd}$) zależą od kształtu węzła i konkretnej formy zniszczenia. Są one przedstawione w EN 1993-1-8, tab. 7.2-7.7, 7.10-7.19, 7.21, 7.22, 7.24. Sposób sprawdzania nośności zależy od rodzaju przekroju skratowania (CHS, RHS, I).

Nośność

Przekrój	Rozdział	Sprawdzenie poprawności procedury	Tabela	Wzór ogólny	Uwagi
CHS - CHS	7.4	Tab. 7.1	7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7	$N_{i, Ed} / N_{i, Rd} +$ $(M_{ip, i, Ed} / M_{ip, i, Rd})^2 +$ $M_{op, i, Ed} / M_{op, i, Rd} \leq 1,0$	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Dopuszczalne są blachy węzłowe ◆ Tab. 7.4 - I/H to nie jest pas
C/R HS - RHS	7.5	Tab. 7.8, 7.9,	7.10, 7.11, 7.12, 7.13, 7.14, 7.15, 7.16, 7.17, 7.18, 7.19,	$N_{i, Ed} / N_{i, Rd} +$ $M_{ip, i, Ed} / M_{ip, i, Rd} +$ $M_{op, i, Ed} / M_{op, i, Rd} \leq 1,0$	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Dopuszczalne są blachy węzłowe
C/R HS - I / H	7.6	Tab. 7.20	7.21, 7.22	$N_{i, Ed} / N_{i, Rd} +$ $M_{ip, i, Ed} / M_{ip, i, Rd} \leq 1,0$	
C/R HS - C	7.7	Tab. 7.23	7.24	Różne wzory	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Momenty zginające muszą być zawsze wzięte pod uwagę

Współcześnie (Eurokod) sprawdzić trzeba trzy aspekty dla każdego węzła:

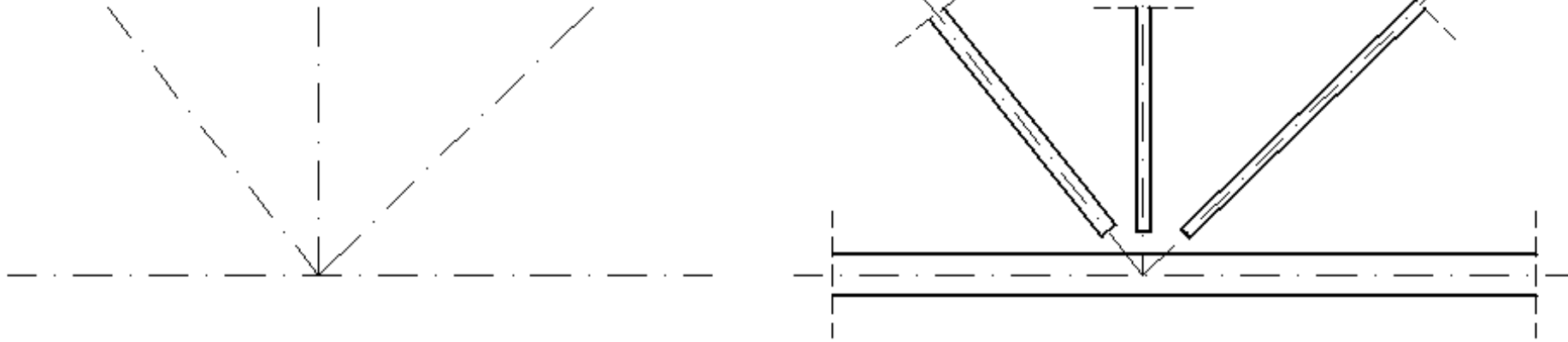
Sztywność (#t / 39-49)

Nośność (#t / 50-55)

Połączenia (spoiny; #17 /przyk. 4)

Kratownica starego typu (projektowana „pod rządami” starej Polskiej Normy) -
liczono tylko elementy łączące (spoiny lub połączenia śrubowe); rysowano blachy
węzłowe; idealność przegubu połączeń była przyjmowana bez sprawdzania.

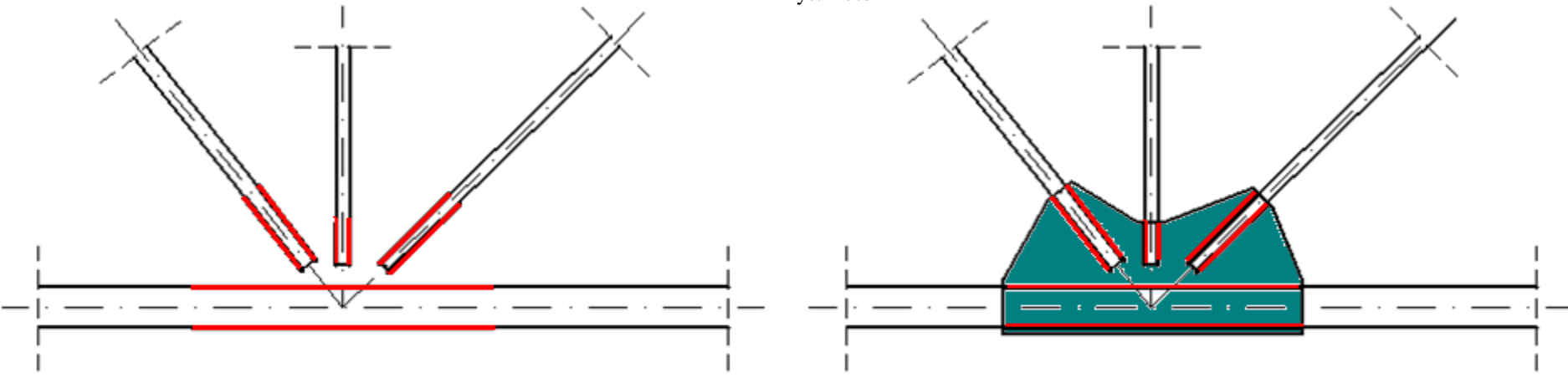
Stary typ:



Rys : Autor

Osie przecinają się w jednym punkcie;
Końce prętów muszą być jak najbliżej siebie;

Rys: Autor



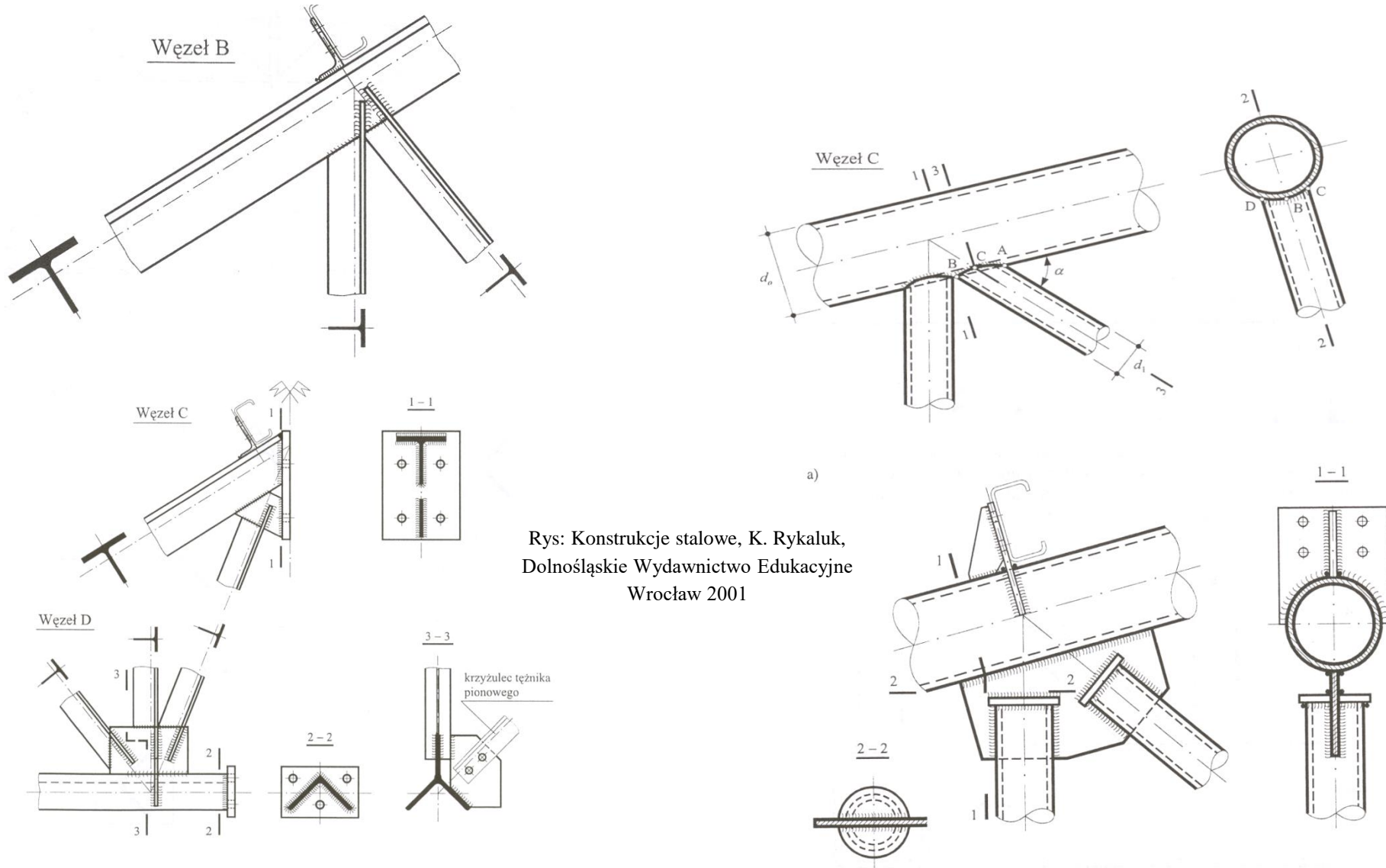
Na prętach należy zaznaczyć długość zajmowaną przez elementy łączące (długość spoiny /
miejsce na śruby);

Zarys blachy węzłowej = końce elementów łączących;



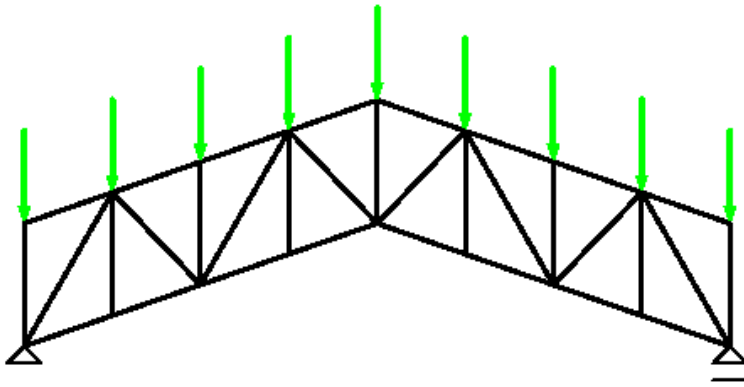
Kąty wklęsłe nie są dopuszczalne.

Kratownice starego typu i nowoczesne są projektowane z blachami węzłowymi lub bez blach węzłowych

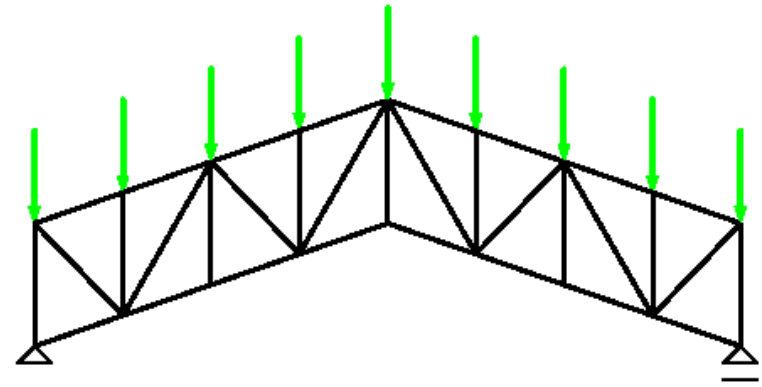


Rys: Konstrukcje stalowe, K. Rykaluk,
Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne
Wrocław 2001

Różnice w sposobie skratowania kratownicy

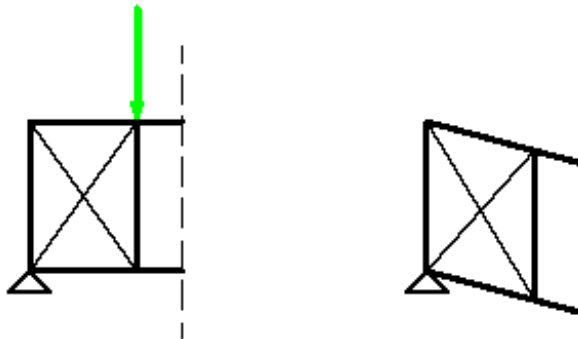


Rys: Autor

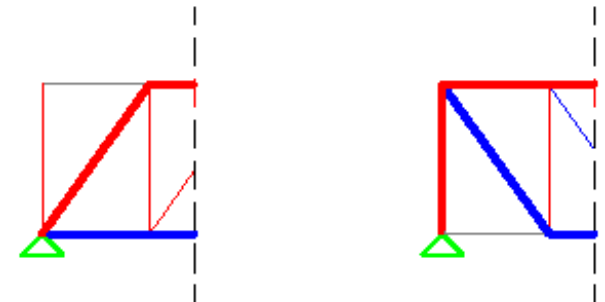
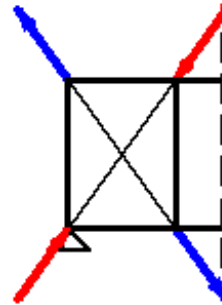


→ #9 / 95

Deformacje: wydłużenie
(rozciąganie) i skrócenie
(ściskanie):

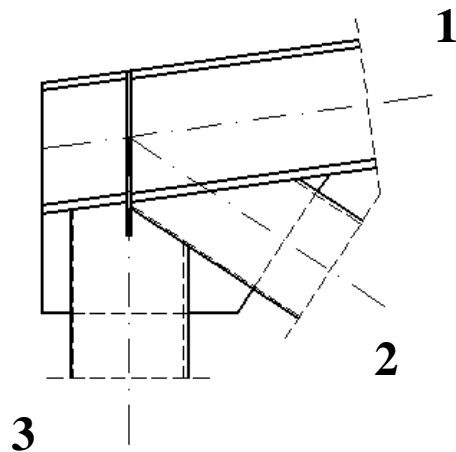
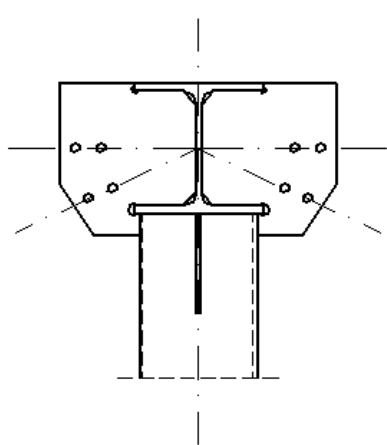


Rys: Autor

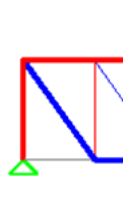


Rys: Autor

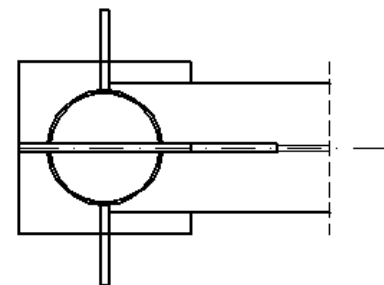
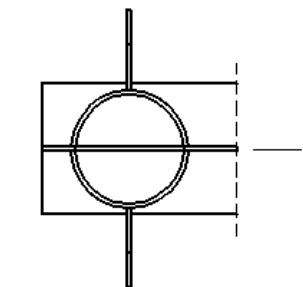
Przekazanie sił z pasów na
podporę i pręty zerowe:



Pręty z największymi siłami
powinny dochodzić do węzłów jak
najbliżej.



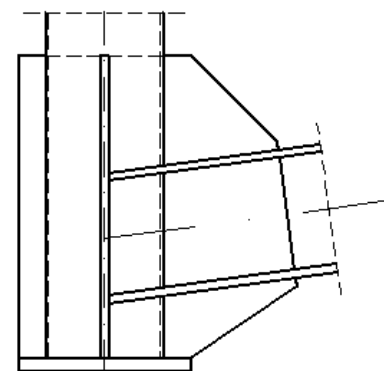
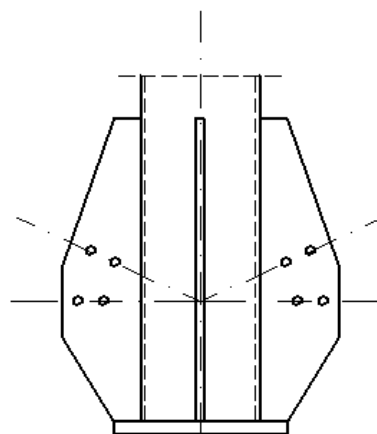
Siły: $|1| \approx |2| > |3| > |4|$



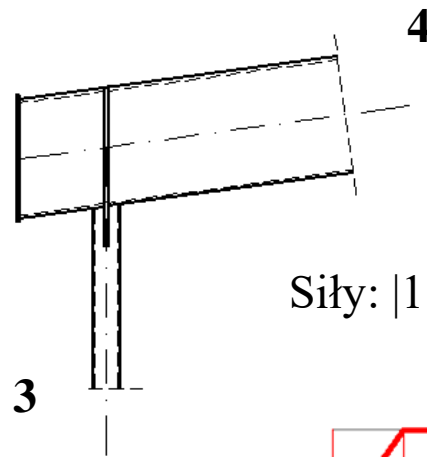
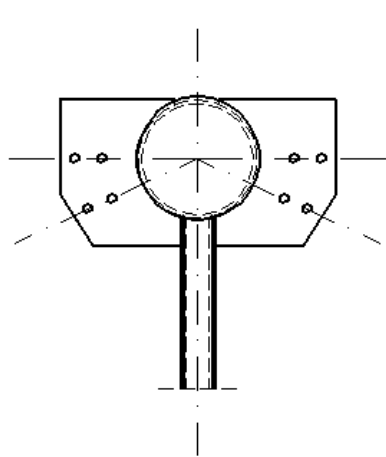
3

Rys: Autor

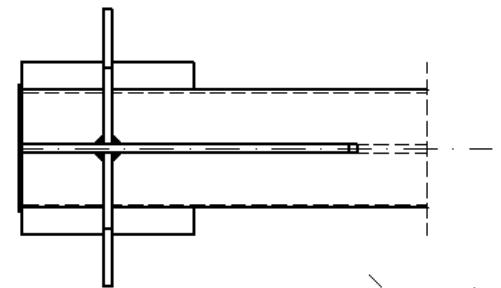
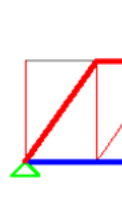
Przykład: skratowanie CHS, pasy
HEB



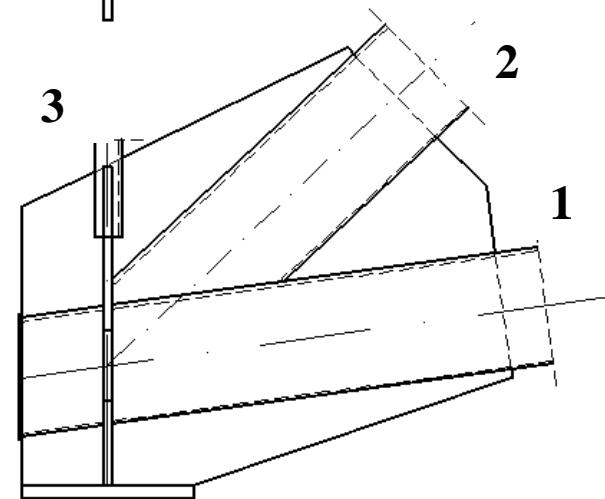
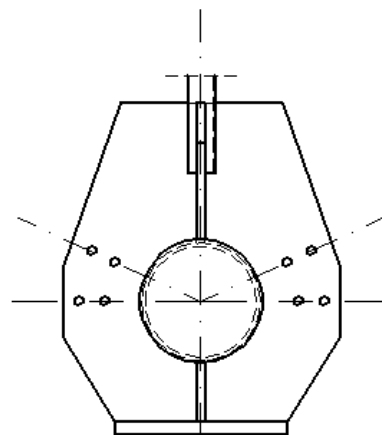
4



Siły: $|1| \approx |2| > |3| > |4|$

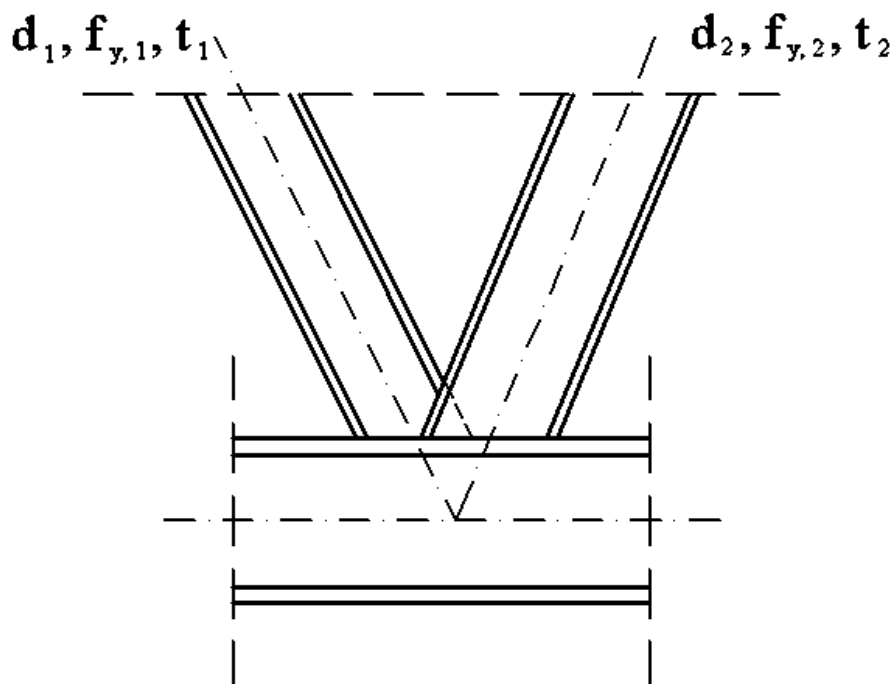


Rys: Autor



Przykład: skratowanie CHS, pasy CHS

Gdy zachodzi potrzeba podcięcia nakładających się prętów skratowania, podcinamy „słabszy” z nich:



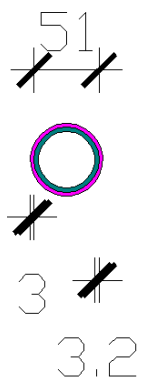
$$d_1 \leq d_2$$

oraz

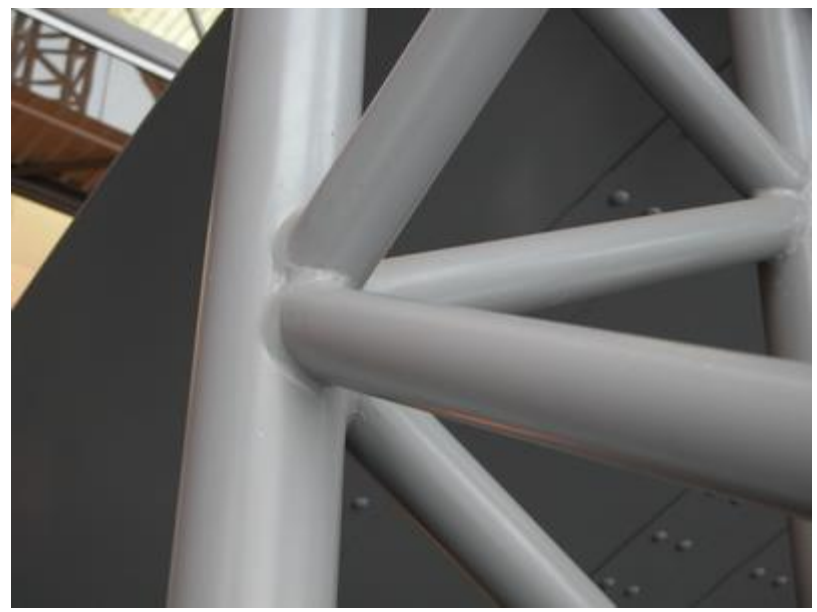
$$f_{y,1} t_1 \leq f_{y,2} t_2$$

Rys: Autor

EN 1993-1-8 7.1



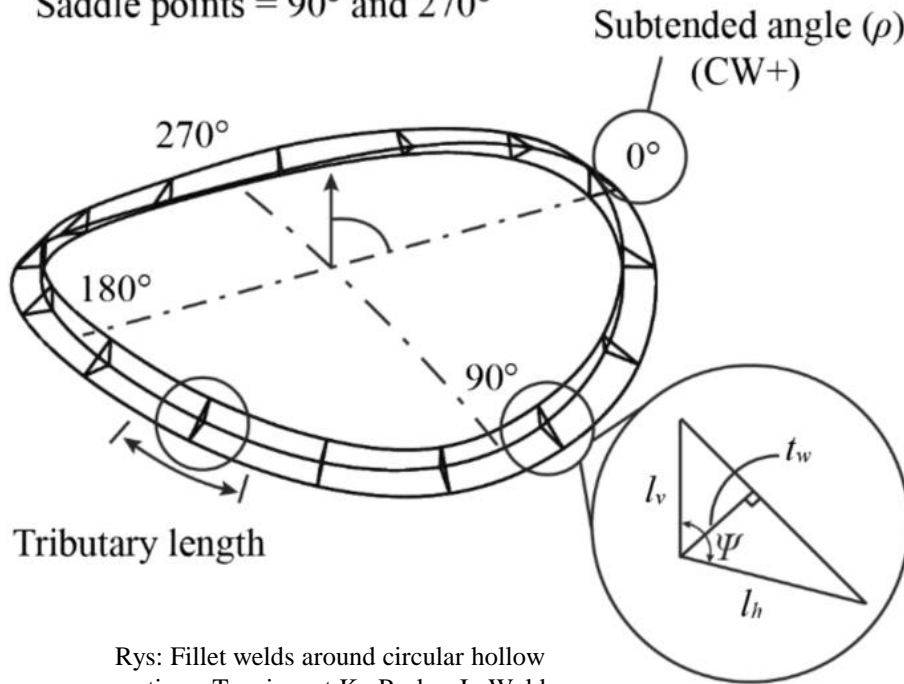
Rys: Autor



Rys: tboake.com

Spoiny: przykład 4 wykład #17

Crown points = 0° and 180°
 Saddle points = 90° and 270°



Rys: Fillet welds around circular hollow sections, Tousignant K., Packer J., Weld World 63, 421–433 (2019)

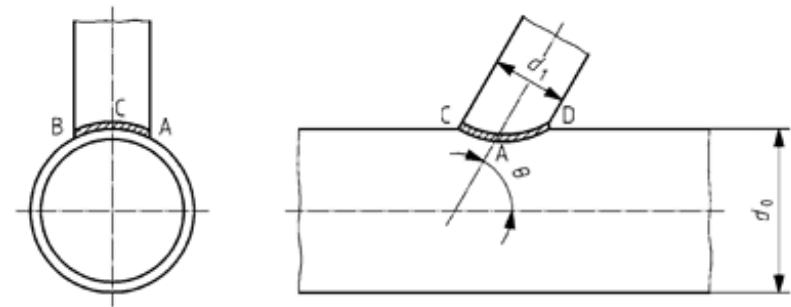
Kąt Ψ między dwoma CHS zmienia się wzdłuż spoiny. Możliwe jest, że w jednym węźle wystąpią wszystkie trzy zakresy:

- $\Psi \geq 120^\circ$ (spoiny pachwinowe testowane eksperymentalnie);
- $120^\circ > \Psi > 60^\circ$ „zwykłe” spoiny pachwinowe);
- $\Psi \leq 60^\circ$ (spoiny pachwinowe liczone jako czołowe z niepełnym przetopem).

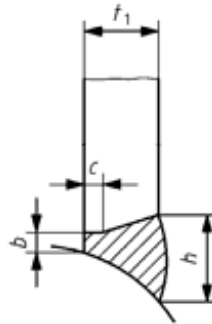
→ #17 / 56

Dlatego też wymagania techniczne określają konieczność stosowania zarówno spoin czołowych, jak i pachwinowych, w zależności od wartości kąta.

Norma EN 1090-2 przedstawia wymagania techniczne dotyczące wykonywania spoin CHS-CHS. Wymagania techniczne dotyczące spoin **czołowych** przedstawiono na rys. E2.



Szczegóły A, B:

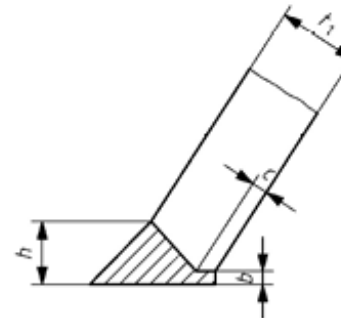


gdy $d_1 < d_0$

$b = 2 \text{ mm do } 4 \text{ mm}$

$c = 1 \text{ mm do } 2 \text{ mm}$

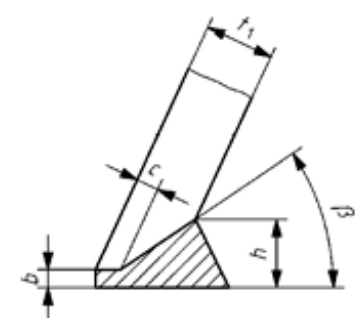
Szczegóły C:



$b = 2 \text{ mm do } 4 \text{ mm}$

$c = 1 \text{ mm do } 2 \text{ mm}$

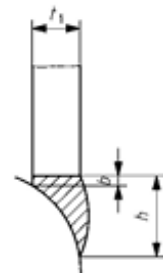
Szczegóły D:



$b = 2 \text{ mm do } 4 \text{ mm}$

$c = 1 \text{ mm do } 2 \text{ mm}$

Gdy $\theta < 60^\circ$, w strefie D stosuje się spoinę pachwinową (jak na Rysunku E.3)



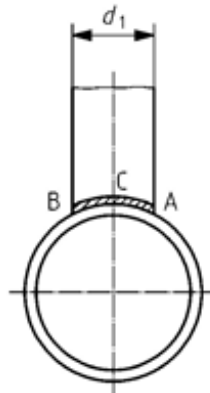
gdy $d_1 = d_0$

$b = \text{max } 2 \text{ mm}$

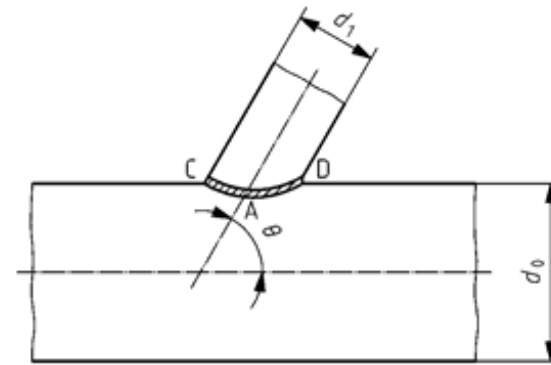
Rys: EN 1090-2 fig. E2

→ #17 / 57

Z kolei wymagania techniczne dla spoin **pachwinowych** przedstawiono na rys. E2.



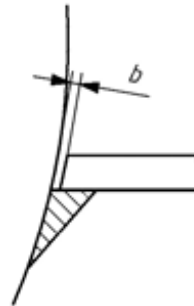
Szczegóły A, B:



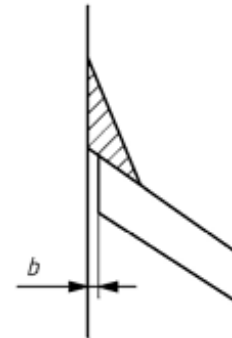
Szczegóły C:

Szczegóły D:

→ #17 / 58

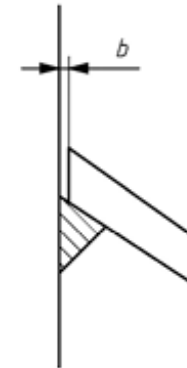


$b = \max 2 \text{ mm}$



$60^\circ \leq \theta < 90^\circ$
 $b = \max 2 \text{ mm}$

Gdy $\theta < 60^\circ$, w strefie C stosuje się spoinę czołową (jak na Rysunku E.2)



$30^\circ \leq \theta < 90^\circ$
 $b = \max 2 \text{ mm}$

Przy mniejszych kątach pełny przetop nie jest wymagany, o ile grubość spoiny jest wystarczająca

Rys: EN 1090-2 fig. E3

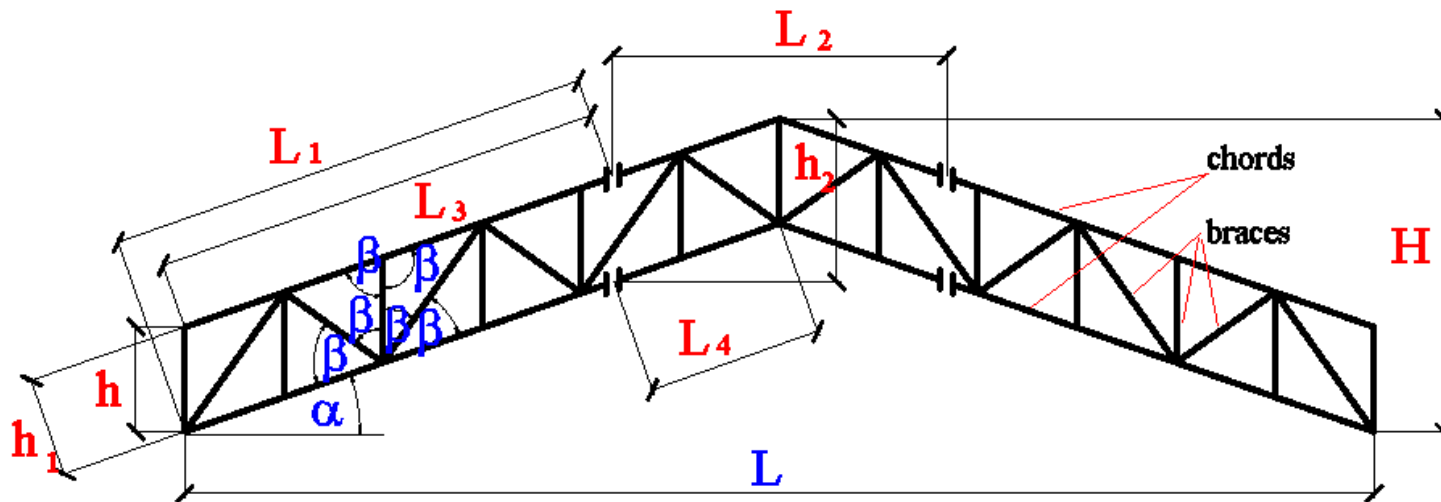
Wnioski

Dokładna analiza spoin w przypadku połączeń CHS jest niezwykle skomplikowana:

- spoina tworzy linię krzywą w trzech wymiarach;
- kąt rozwarcia między ściankami CHS zmienia się wzdłuż złącza;
- zaleca się stosowanie zarówno spoin czołowych, jak i pachwinowych w jednym węźle;
- współpraca tych dwóch typów spoin jest słabo opisana w literaturze.

→ #17 / 62

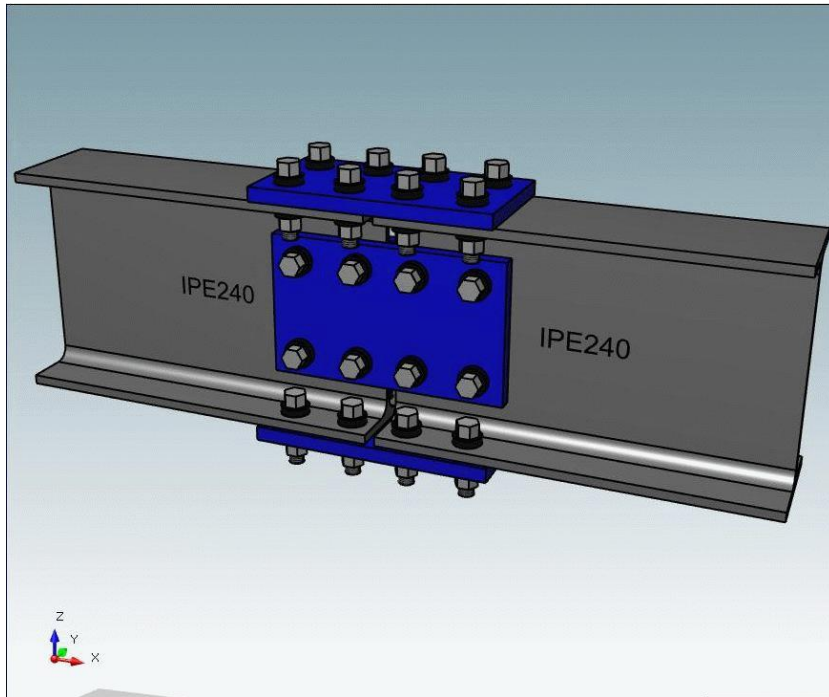
Styki montażowe kratownic



Rys: Autor

Z powodu skrajni transportowej dłuższe konstrukcje przewożone są w segmentach. Najlepiej jeśli największa długość elementu (L_1 or L_2) nie przekracza 12,00 m. Segmenty należy scalić w całość na placu budowy.

Dla dwuteowników stosuje się styki uniwersalne.



Rys: gsi-eng.eu

Rys: encrypted-tbn0.gstatic.com



Rys: zs4-sanok.pl

Dla rur stosuje się styki kołnierzowe – rodzaj styku doczołowego.

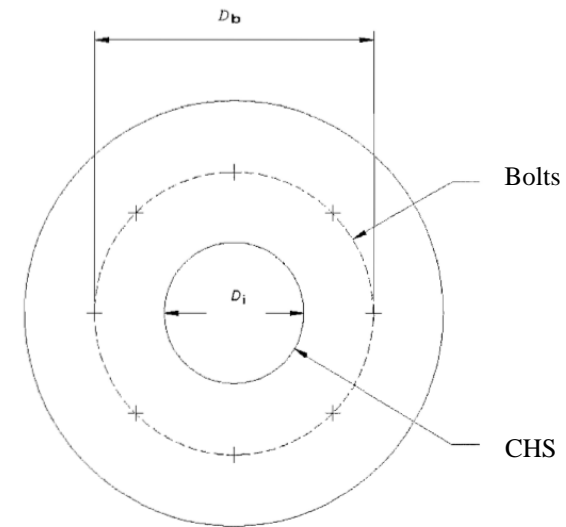
Problemem jest to, że w EN 1993-1-8 sztywne węzły doczołowe są przedstawione tylko dla dwuteowników. Tak samo w starej Polskiej normie PN B 03200.

Węzeł taki jest wzmiankowany w EN 1993-3-1. Informacja jest jednak niekompletna:

- Zalecane są śruby sprężające;
- Średnica musi być większa niż 12 mm;
- Siła w jednej śrubie $N_b = N_{Ed} k_p / n$

n – ilość śrub, $k_p = 1,2$ dla śrub sprężających; 1,8 dla śrub „normalnych”

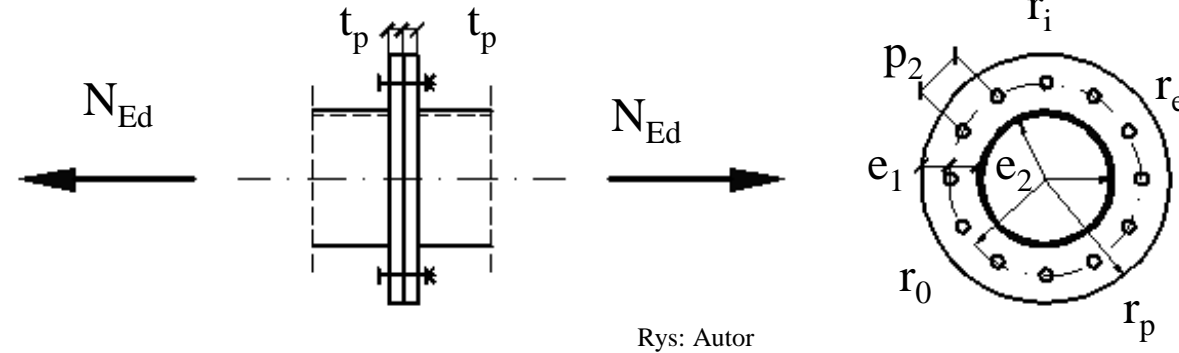
- Grubość kołnierza należy obliczyć z nośności na ścinanie wzdłuż obwodu wyznaczonego przez śruby (ale brak informacji o sposobie obliczenia nośności półki na ścinanie);
- Musi też być sprawdzona nośność na moment $M = N_{Ed} (D_b - D_i) / 2$ (brak informacji jak policzyć nośność blachy)).



Rys: EN 1993-3-1 fig. 6.1

Uogólnienie metod dotyczących sprawdzania nośności styku doczołowego z dwuteownika na rurę przedstawione jest w literaturze.

Uogólnienie dla	Pozycja	Uwagi	Str
PN B 03200	J. Bródka, M. Broniewicz, Konstrukcje stalowe z rur, Arkady 2001	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Odrębne procedury dla CHS i RHS; ◆ Brak analizy wpływu żeber podłużnych na nośność; ◆ Metody bardzo podobne, jedynie kilka drobnych różnic; 	
EN 1993-1-8	Access Steel SN044a-EU Design models for splices in structural hollow, Internet edition		#t / 74 - 76



Rys: Autor

$$r_e = r_i + t_{\text{CHS}}$$

$$r_0 = r_e + e_2$$

$$r_p = r_0 + e_1$$

d_0 – średnica otworu

n – liczba śrub

$$r_p = 2 r_0 - r_i$$

$$N_{\text{Rd}} = \min(N_{\text{Rd1}} ; N_{\text{Rd2}})$$

$$N_{\text{Rd1}} = t_p^2 f_{yp} \pi k / (2 \gamma_{M0})$$

$$k = [k_2 + \sqrt{(k_2^2 - 4k_1^2)}] / (2 k_1)$$

$$k_1 = \ln(r_0 / r_i)$$

$$k_2 = k_1 + 2$$

$$N_{\text{Rd2}} = n F_{t, \text{Rd}} / k_3$$

$$F_{t, \text{Rd}} \rightarrow \#18 / 50$$

$$k_3 = 1 - 1 / k + 1 / (k k_5)$$

$$k_5 = \ln(r_{\text{eff}} / r_0)$$

$$r_{\text{eff}} = r_e + e_2 + e_{\text{eff}}$$

$$e_{\text{eff}} = \min(e_2 ; 1,25 e_1)$$

$$2,2 d_0 \leq p_2 \leq \min(14 t_p ; 200 \text{ mm})$$

$$d_0 = d + 2 \text{ mm} \quad (d \leq 24 \text{ mm})$$

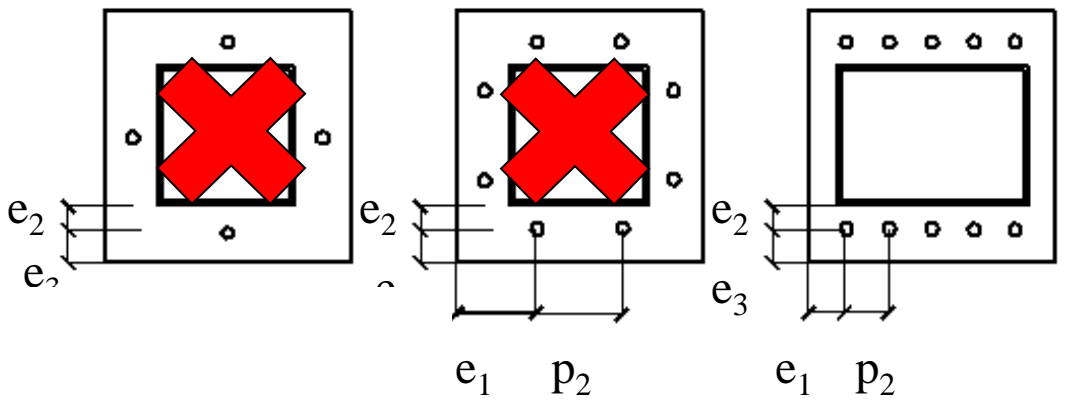
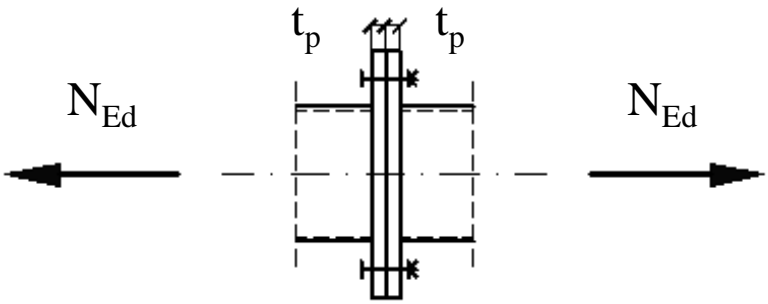
$$d_0 = d + 3 \text{ mm} \quad (d > 24 \text{ mm})$$

$$1,2 d_0 \leq e_2 \leq (1,5 - 2,0) d$$

$$1,2 d_0 \leq e_1$$

$$N_{\text{Ed}} / N_{\text{Rd}} \leq 1,0$$

Dodatkowo spoiny muszą być policzone jak w wyk. #17 przykład 4.



$$12 \text{ mm} \leq t_p \leq 26 \text{ mm}$$

$$4 \leq n \leq 2 + 2 h_{RHS} / p_2$$

$$d_0 = d + 2 \text{ mm} \quad (d \leq 24 \text{ mm})$$

$$d_0 = d + 3 \text{ mm} \quad (d > 24 \text{ mm})$$

$$b_{red} = e_2 + t_{RHS} - d / 2$$

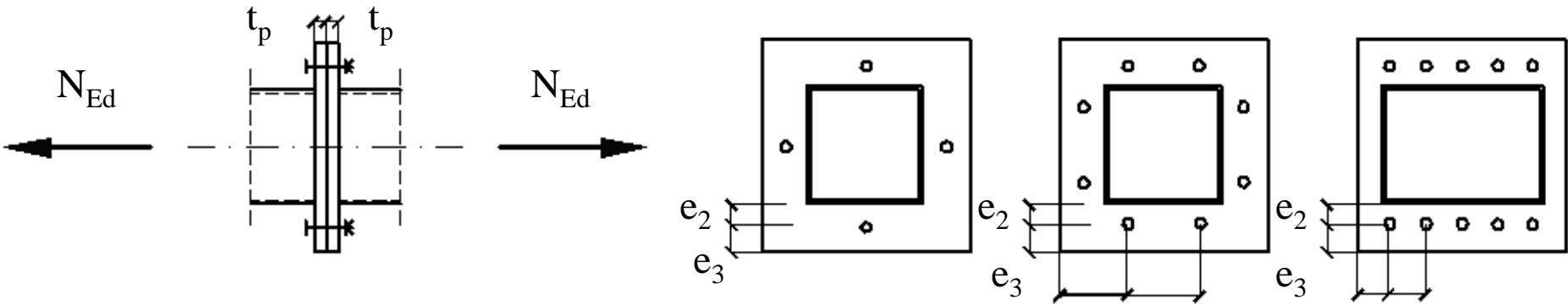
$$1,2 d_0 \leq e_2 \leq (1,5 - 2,0) d$$

n – liczba śrub

$$1,2 d_0 \leq e_1$$

$$2,2 d_0 \leq p_2 \leq \min (5,0 d ; 14 t_p ; 200 \text{ mm})$$

$$e_3 = 1,25 e_2$$



$$\sqrt{\{K N_{Ed} / [n (1+\delta)]\}} \leq t_p \leq \sqrt{(K N_{Ed} / n)}$$

$$K = 4 b_{red} / (0,9 f_{yp} p_2 / \gamma_{M0})$$

$$\delta = 1 - d_0 / p_2$$

$$N_{Rd} = \min (n F_{t,Rd} ; n B_{p,Rd} ; N_{1,Rd})$$

$$F_{t,Rd} \rightarrow \#18 / 50$$

$$B_{p,Rd} \rightarrow \#18 / 95$$

$$N_{1,Rd} = t_p^2 (1 + \delta a_1) n / (K \gamma_{M2})$$

$$a_1 =$$

$$= [(K S_{Rt} / t_p^2) - 1] (e_3 + 0,5 d) / [\delta (e_3 + e_2 + t_{RHS})]$$

$$S_{Rt} = A_s \cdot \min (0,65f_{ub} ; 0,85f_{yb})$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} \leq 1,0$$

Dodatkowo spoiny muszą być policzone jak w wyk. #17 przykład 4.

W powyższych procedurach przyjmuje się, że wystarczająca nośność węzła oznacza również pełną sztywność. Brak analizy wpływu żeber na nośność i sztywność. Oczywiście ich użycie powinno zwiększyć zarówno nośność, jak i sztywność. Z drugiej strony Eurokod preferuje tańsze konstrukcje, czyli bez żeber (mniej materiałów i robocizny).



Rys: encrypted-tbn0.gstatic.com



Rys: en.wikiarquitectura.com

Kształt i położenie spoin pomiędzy rurą a kołnierzem są bardzo ważne w przypadku analizy zmęczenia materiału. Nośność zmęczeniową można zmniejszyć prawie 2-krotnie (z 71 MPa do 40 MPa) w przypadku złego rozwiązania spoin.

71			11) Tube socket joint with 80% full penetration butt welds.	11) Weld toe ground. $\Delta\sigma$ computed in tube.
40			12) Tube socket joint with fillet welds.	12) $\Delta\sigma$ computed in tube.

Rys: EN 1993-1-9 tab. 8.5

Zastosowanie żeber jest sposobem na zmniejszenie ryzyka zmęczenia.
Wzory do sprawdzania FAT LS (EN 1993-1-9 (8.1), (8.2), (8.3)):

Rys: encrypted-tbn0.gstatic.com



$$\Delta\sigma_E / (1,5 f_y) \leq 1,0$$

$$\Delta\tau_E / (1,5 f_y / \sqrt{3}) \leq 1,0$$

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_E / (\Delta\sigma_C \gamma_{Mf}) \leq 1,0$$

$$\gamma_{Ff} \Delta\tau_E / (\Delta\tau_C \gamma_{Mf}) \leq 1,0$$

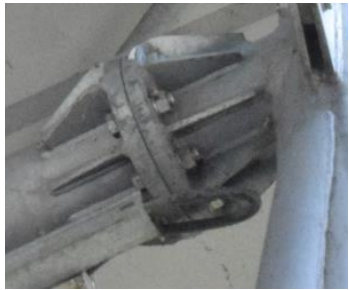
$$(\gamma_{Mf} \gamma_{Ff} \Delta\sigma_E / \Delta\sigma_C)^3 + (\gamma_{Mf} \gamma_{Ff} \Delta\tau_E / \Delta\tau_C)^5 \leq 1,0$$

$\Delta\sigma_E$, $\Delta\tau_E$ – amplitudy naprężeń pomiędzy dwoma przeciwnymi skrajnymi obciążeniami (maksymalne rozciąganie – maksymalne ściskanie);

f_y – granica plastyczności;

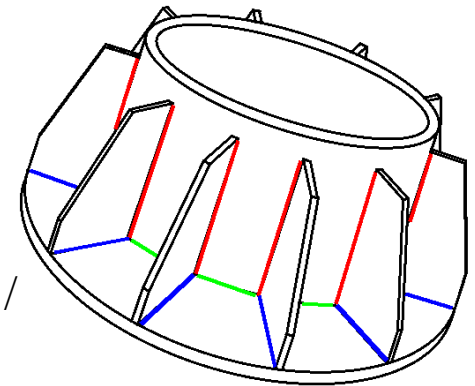
$\Delta\sigma_C$, $\Delta\tau_C$ – nośności zmęczeniowe;

Żebra → dłuższe spoiny → większa powierzchnia spoin → mniejsze naprężenia (#17 / przyk 9) → mniejsze amplitudy naprężeń



Rys: Autor

Rys: Autor



Przykład nieprawidłowego rozwiązania węzła zakładkowego w kratownicy. Nośność blach węzłowych jest taka sama jak nośność pasa, ale sztywność jest znacznie niższa niż sztywność pasa.

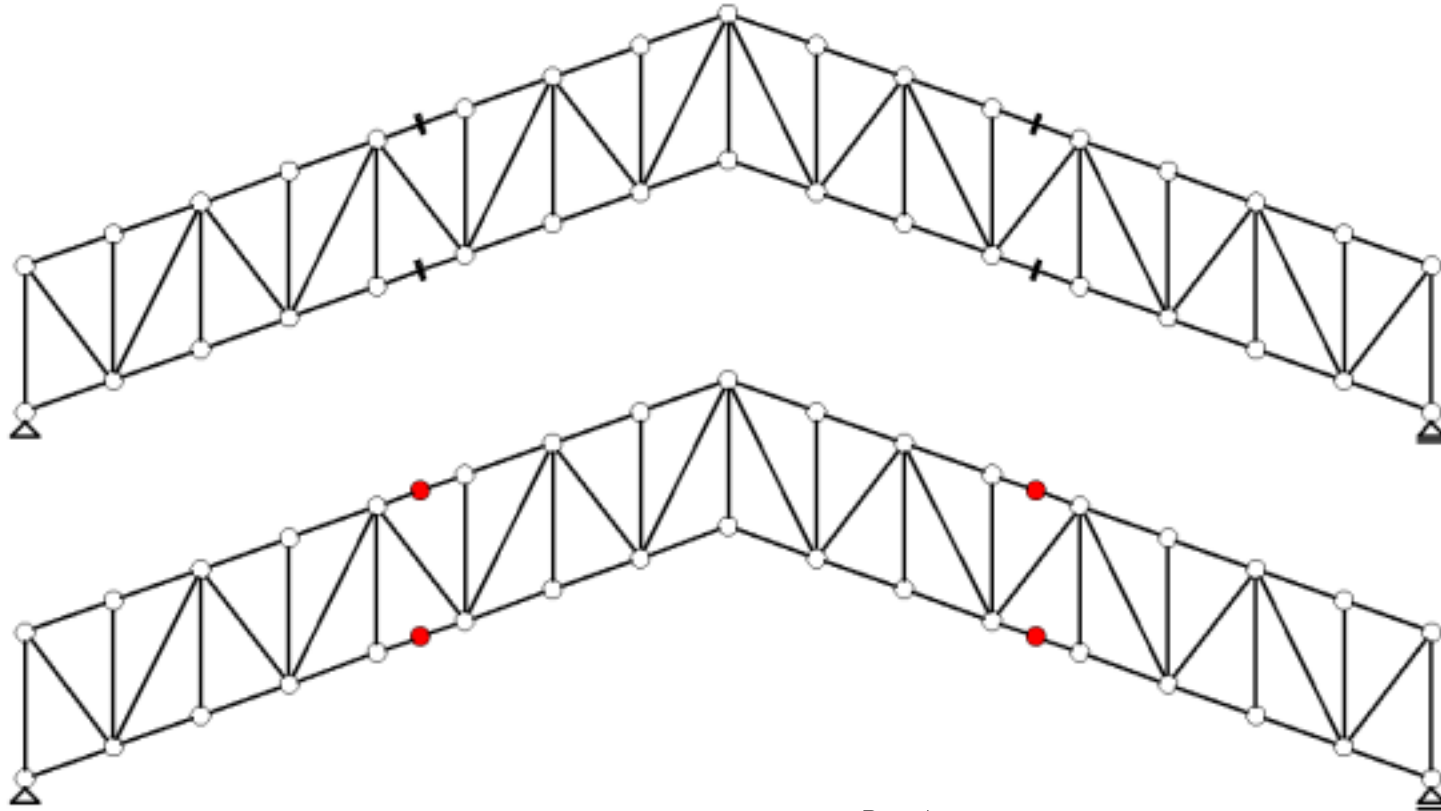


Rys: construsoftbimawardscom



Rys: construsoftbimawardscom

Takie rozwiązanie powoduje, że w kratownicy pojawiają się nieprzewidziane przeguby i zamienia je w mechanizm. Węzły muszą mieć nie tylko odpowiednią nośność, ale także sztywność.



Rys: Autor

Podpórki i blachy węzłowe

Podpórki i blachy węzłowe to elementy o mniejszym znaczeniu. Często nie są one sprawdzane obliczeniowo, ponieważ wartości obciążenia są bardzo małe. Rozwiązania systemowe są często stosowane w przypadku płatwii zimnogiętych i rygli ściennych.

Te elementy są ważne dla:

- Podparcia płatwii;
- Podparcia rygielków;
- Połączenia ze ściągami;
- Połączenia ze stężeniami;
- Połączenia z podwieszaniem.



Rys: zed-purlins.co.uk



Rys: voestalpine.com



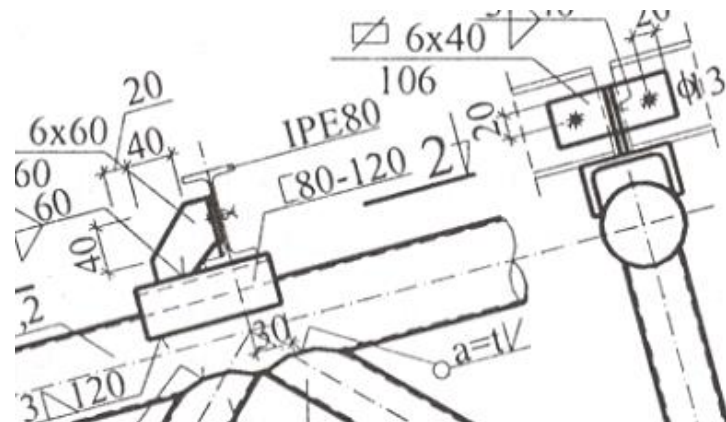
Rys: kingspan.com



Rys: Autor

Podparcie płattwii

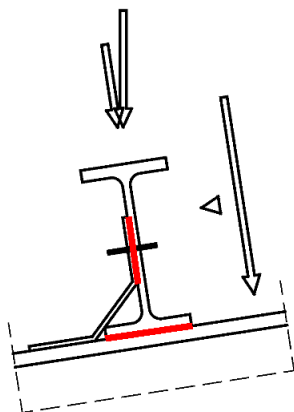
Goręcowałcowanych



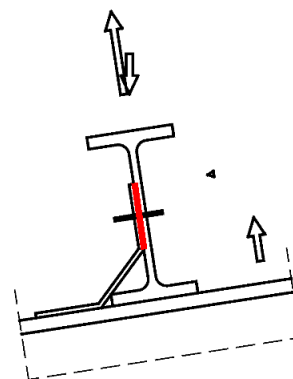
Rys: M. Gwóźdź, M. Maślak, Przykłady projektowania wybranych stalowych konstrukcji prętowych, Politechnika Krakowska 2003

→ #8 / 39

Śnieg + ciężar własny +
parcie wiatru:
przez kontakt między
dolną półką a
dźwigarem; środnikiem i
podpórką



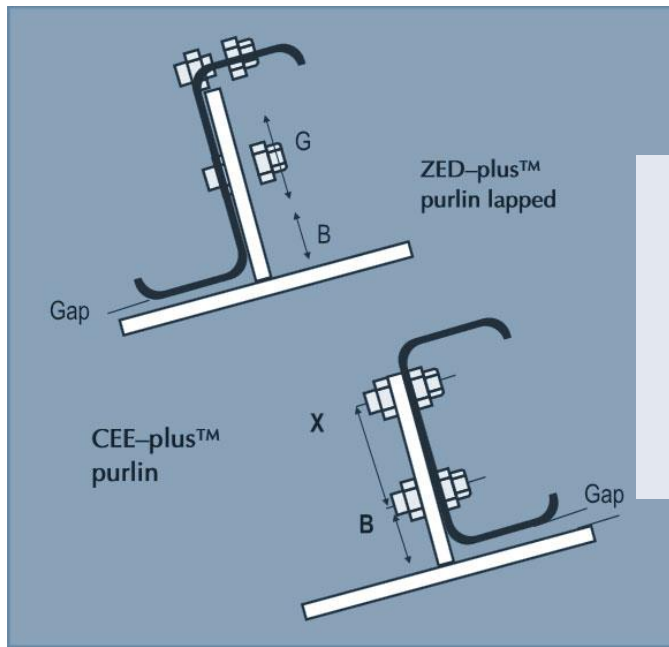
Rys: Autor



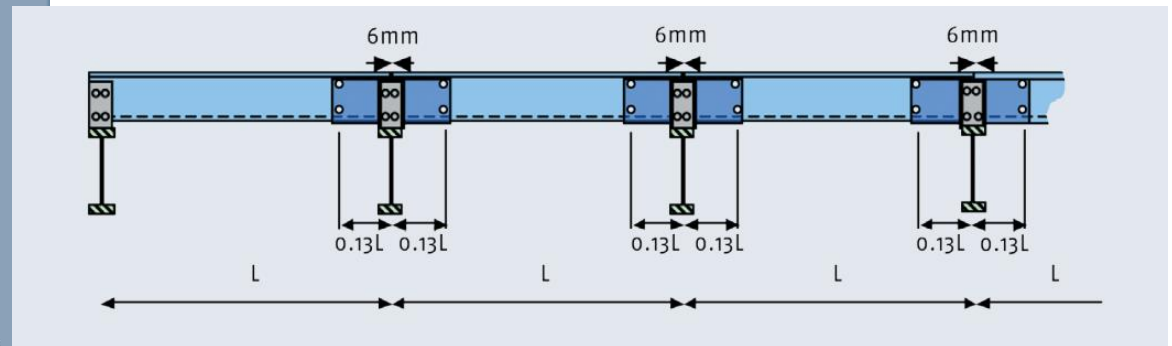
Ssanie wiatru większe
niż ciężar własny:
przez kontakt między
środnikiem i podpórką;
ściananie śruby

5. Zalecenia dla płatwii zimnogiętych

Płatwie zimnogięte są mocowane nad górną powierzchnią dźwigara z niewielką szczeliną. Pozwala to uniknąć kolizji dźwigar-płatew w wyniku imperfekcji zamocowania płatwi, oraz lokalnych deformacji płatwii przy jej dociskaniu do dźwigara. Płatew zimnogięta to przekrój cienkościenny. Nawet niewielkie odkształcenia mogą znacząco zmienić jego przekrój i zmniejszyć nośność na zginanie.

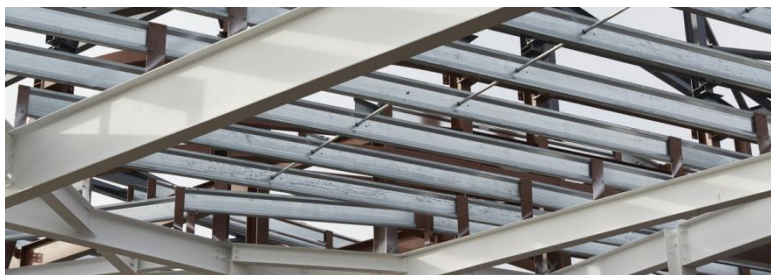


Rys: gsepl.net

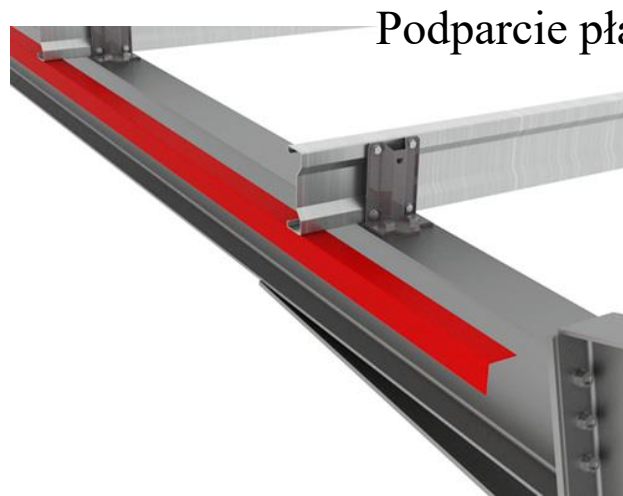


Rys: ruuki.com

→ #6 / 68



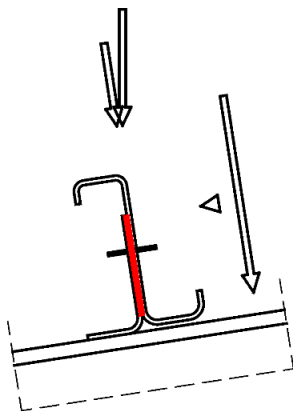
Rys: steel.ie



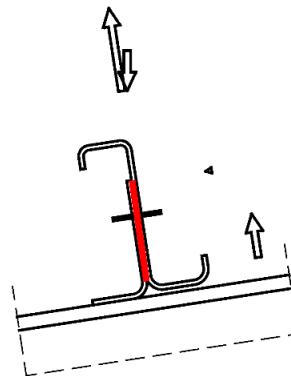
Rys: kingspan.com

→ #8 / 41

Śnieg + ciężar własny +
 parcie wiatru:
 przez kontakt między
 środkiem i podpórką;
 ścinanie śruby



Rys: Autor

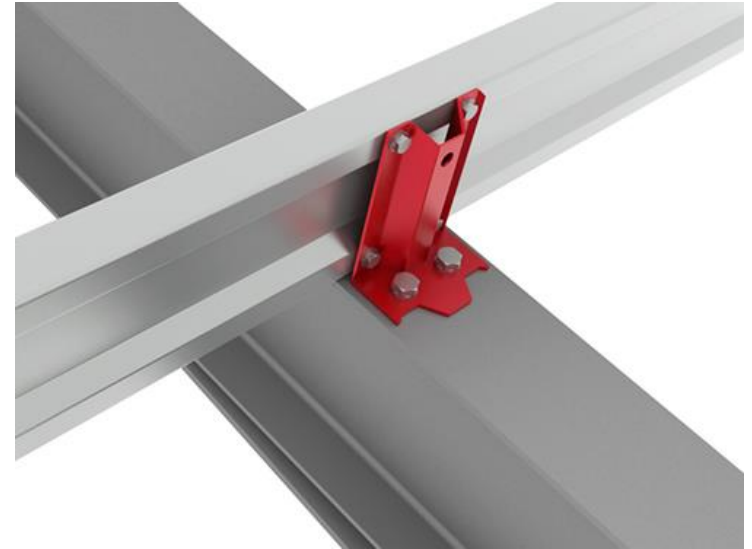


Ssanie wiatru większe
 niż ciężar własny:
 przez kontakt między
 środkiem i podpórką;
 ścinanie śruby

Podparcie płattwii może zostać wykonane w formie krótkiego kawałka kątownika, blachy węzłowej lub rozwiązania systemowego



Rys: Autor



Rys: steel.ie



Rys: builderbill-diy-help.com



Rys: indiamart.com

Sposób podparcia rygielków zależy w dużej mierze od jego przekroju: zinnogięte, gorącowalcowane ceowniki, RHS.



RysAutor



Rys: devisdepro.com



RysAutor

Podpórki rygielków są zazwyczaj wykonywane w taki sam sposób: krótkie kawałki kątownika, rozwiązania systemowe lub blachy węzłowe. RHS i rygielki zimnogięte są często mocowane śrubami samogwintującymi



Rys: indooroutdoors.co.uk



Rys: indiamart.com



Rys: magnabuild.co.uk



Rys: kobexstal.pl



Rys: tues.ru

Stężenia sztywne są przede wszystkim mocowane poprzez blachy węzłowe.



Rys: exp.ncree.org



Rys: atlastube.com



Rys: designboom.com

Stężenia sztywne są w większości przypadków
łączone przez blachy węzłowych.



Rys: exp.ncree.org

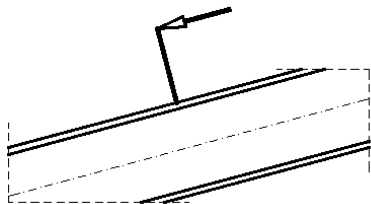


Rys: atlastube.com



Rys: designboom.com

Wszystkie te węzły traktujemy jako przegubowe.



Rys: Autor



Rys: Autor

Podpory płatwi są zginane w kierunku równoległym do powierzchni dachu, ale wartość tej siły jest bardzo mała. Sprawdzenie wytrzymałości nie jest obowiązkowe przy tak małej wartości oddziaływania.



Rys: builderbill-diy-help.com

W kierunku podłużnym podpora jest połączona z płatwią za pomocą dwóch (prawie przegubowo) lub czasami jednej śruby (idealne połączenie przegubowe). Zgodnie z informacjami #t / 84, obliczenia połączenia śrubowego muszą być wykonane tylko dla dużej wartości ssania wiatru.

Obliczanie podpór dla rygli ściennych może być bardziej skomplikowane niż dla płatwi. Siła pionowa pochodzi z ciężaru własnego obudowy i rygli; może mieć znaczną wartość. Należy sprawdzić momenty zginające przyłożone do blach węzłowych lub krótkich wsporników. Tak samo, wytrzymałość połączenia śrubowego, obliczona jest jako kategoria A.



RysAutor



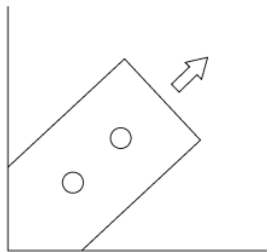
Rys: devisdepro.com



RysAutor

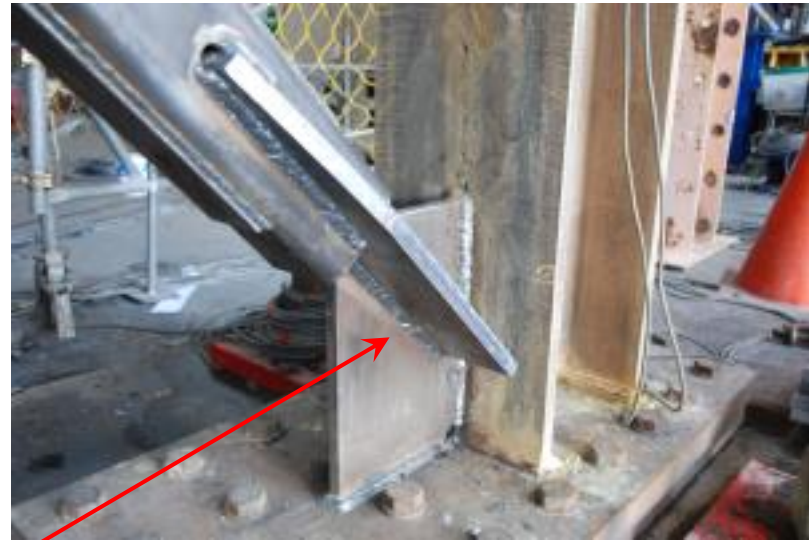


Rys: designboom.com



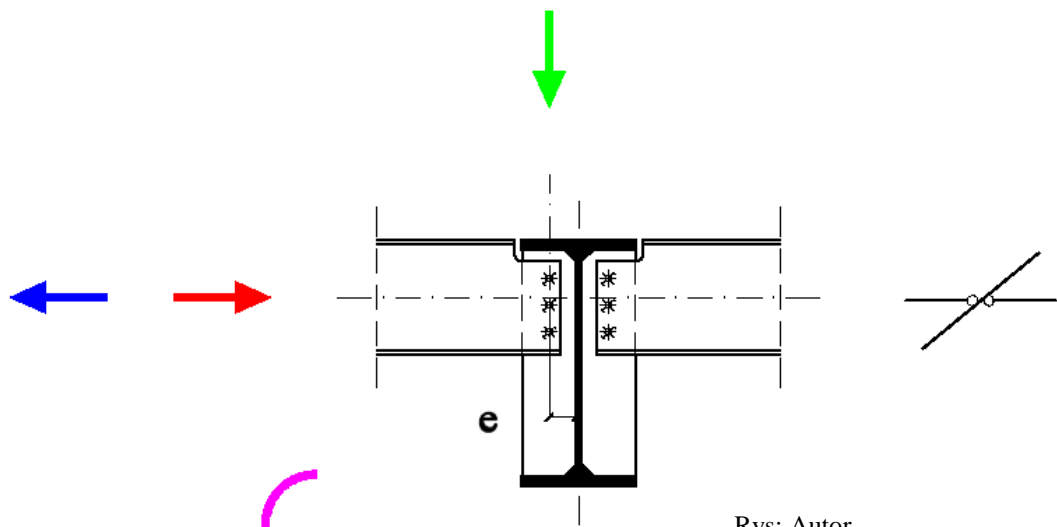
Rys: Autor

W przypadku stężeń i wieszaków siła jest przyłożona osiowo do blachy węzłowej. Jest to klasyczna kategoria połączenia śrubowego A: ścięcie, docisk rozerwanie i powierzchnia netto blachy.

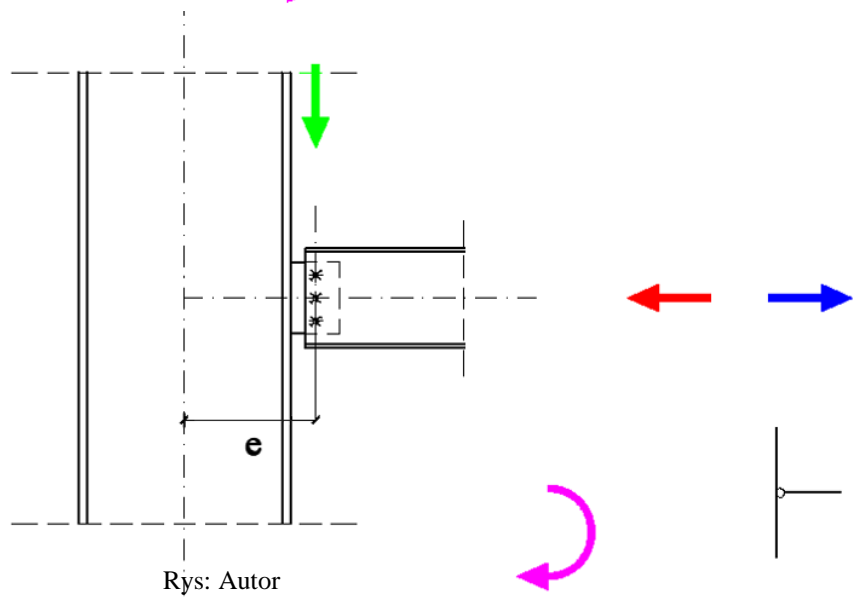


Rys: exp.ncree.org

Spawane połączenia nie są zalecane na montażu, ale czasami są stosowane. Obliczenia przedstawiono w wyk #17, przykład #5.



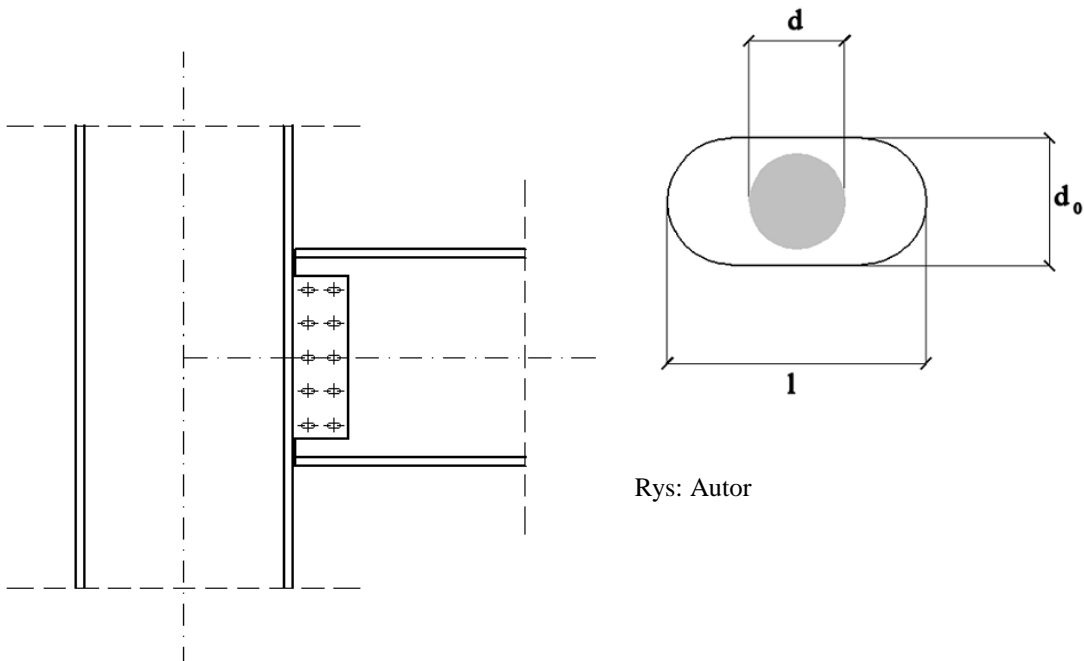
Rys: Autor



Rys: Autor

Istnieją mimośrodory między teoretycznymi (oś słupa, oś belki) a rzeczywistymi (oś śrub) podporami elementów (belki drugorzędnej, rygli ściennych). Wpływ tych mimośrodów nie jest jasno zdefiniowany. Część pozycji literatury ignoruje mimośrodory, część zaleca uwzględnienie drugorzędного momentu zginającego z mimośrodów i siły pionowej.

Dodatkowym zaleceniem jest stosowanie otworów podłużnych w przypadku podparcia przegubowego belek drugorzędnych lub rygli ściennych.



Rys: Autor



Rys: tekla-detailed-structural-fabrication.com

Zagadnienia egzaminacyjne

Rodzaje modeli statycznych kratownicy

Formy zniszczeń węzłów kratownicy

Rola i rozmieszczenie żeber poziomych i pionowych

Obliczanie żeber pionowych - algorytm

Dziękuję za uwagę

© 2025 dr inż. Tomasz Michałowski

tmichal@usk.pk.edu.pl