

Konstrukcje metalowe

Wykład XVII

Połączenia spawane

Spis treści

Metody obliczeń → #t / 3

Przykład 1 → #t / 11

Przykład 2 → #t / 22

Przykład 3 → #t / 25

Przykład 4 → #t / 47

Przykład 5 → #t / 63

Przykład 6 → #t / 72

Przykład 7 → #t / 81

Przykład 8 → #t / 89

Przykład 9 → #t / 91

Przykład 10 → #t / 93

Przykład 11 → #t / 95

Zagadnienia egzaminacyjne → #t / 97

Metody obliczeń

Rodzaje spoin (→ #16 / 16)

Spoiny						
Pachwinowe			Czołowe		Otworowe	Szeroko- bruzdowe
„Zwykłe”	Przerywane	Obwodowe	Z pełnym przetopem	Z niepełnym przetopem		
Każdy rodzaj obciążenia		Tylko ściananie	Każdy rodzaj obciążenia		Tylko ściananie	
Obliczanie: jak pachwinowe			Obliczanie: jak czołowe	Obliczanie: jak pachwinowe	Obliczanie: jak otworowe	Obliczanie: jak pachwinowe

Spoiny czołowe z pełnym przetopem

4.7.1 Full penetration butt welds

- (1) The design resistance of a full penetration butt weld should be taken as equal to the design resistance of the weaker of the parts connected, provided that the weld is made with a suitable consumable which will produce all-weld tensile specimens having both a minimum yield strength and a minimum tensile strength not less than those specified for the parent metal.

4.7.1 Spoiny czołowe z pełnym przetopem

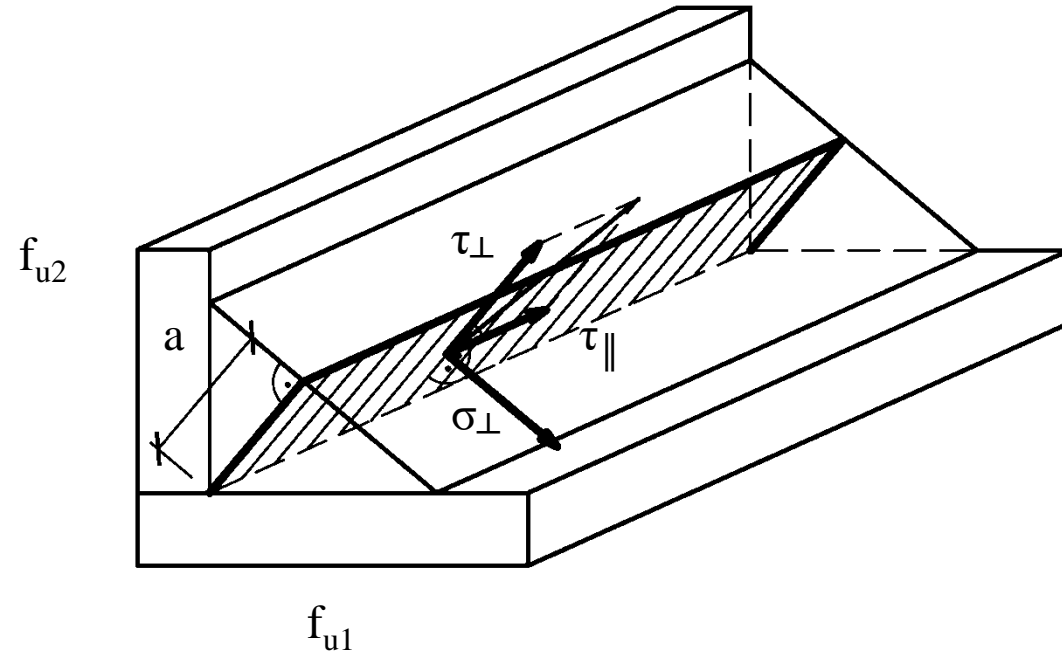
- (1) Nośność obliczeniową spoin czołowych z pełnym przetopem przyjmuje się równą nośności obliczeniowej słabszej z łączonych części, pod warunkiem, że spoina będzie wykonana z odpowiedniego materiału wykazującego przy próbie rozciągania spoiny minimalną granicę plastyczności i minimalną wytrzymałość nie mniejsze od wartości nominalnych dla materiału rodzimego.

Spoiny czołowe z pełnym przetopem

Spełnienie wszystkich wymagań technicznych + wystarczająca nośność elementu słabszego → nie sprawdza się nośności spoin czołowych z pełnym przetopem.

Spoiny pachwinowe, metoda kierunkowa

Rys: Autor



$$\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$$

i

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9f_u / \gamma_{M2}$$

EN 1993-1-8 (4.1)

$$f_u = \min (f_{u1} ; f_{u2})$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

steel	S 235	S 275	S 355	S 420	S 460
β_w	0,80	0,85	0,90	1,00	

EN 1993-1-8
tab 4.1

Spoiny pachwinowe, metoda kierunkowa

Geometria spoin: A J_y J_z A_{Vy} A_{Vz} J_0

Obciążenia (siły przekrojowe): N_{Ed} $M_{y,Ed}$ $M_{z,Ed}$ $V_{y,Ed}$ $V_{z,Ed}$ $M_{T,Ed}$

$$\sigma = \pm N_{Ed} / A \pm M_{y,Ed} z / J_y \pm M_{z,Ed} y / J_z$$

$$\tau_{(1,2)} = \pm \tau (V_{y,Ed} / A_{Vy}, V_{z,Ed} / A_{Vz}, M_{T,Ed} / J_0)$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} + \tau_1 \quad (\text{zazwyczaj } \tau_1 = 0)$$

$$\tau_{\parallel} = \tau_2 \quad (\text{zazwyczaj } \tau_2 = \tau)$$

Spoiny pachwinowe, metoda uproszczona

Geometria spoin: A J_y J_z A_{Vy} A_{Vz} J_0

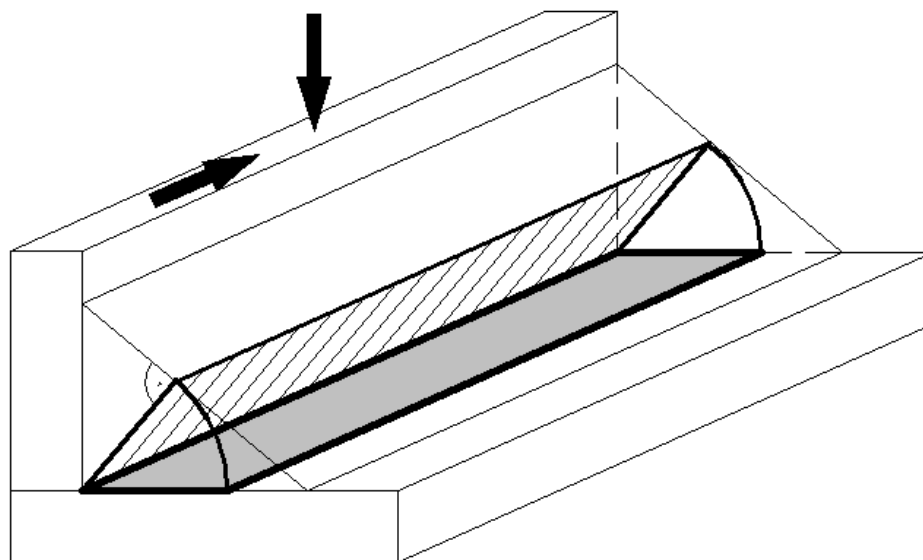
Obciążenia (siły przekrojowe): N_{Ed} $M_{y, Ed}$ $M_{z, Ed}$ $V_{y, Ed}$ $V_{z, Ed}$ $M_{T, Ed}$

$$F_{w, Ed} = (\sigma_{\perp} + \tau_{\perp} + \tau_{\parallel}) a$$

$$F_{w, Rd} = f_u \sqrt{3} a / (\beta_w \gamma_{M2})$$

$$F_{w, Ed} \leq F_{w, Rd}$$

Geometria spoin: charakterystyki geometryczne (A J_y J_z A_{Vy} A_{Vz} J_0) = kład spoiny na płaszczyznę równoległą lub prostopadłą do obciążenia.



Rys: Autor

→ #16 / 23

Geometria spoin pachwinowych

$$a \geq 3 \text{ mm} \quad l_{\min} = \max(6a; 30 \text{ mm})$$

$$0,2 t_2 \leq a \leq 0,7 t_1$$

$$t_2 \geq t_1$$

(PN-B 3200)

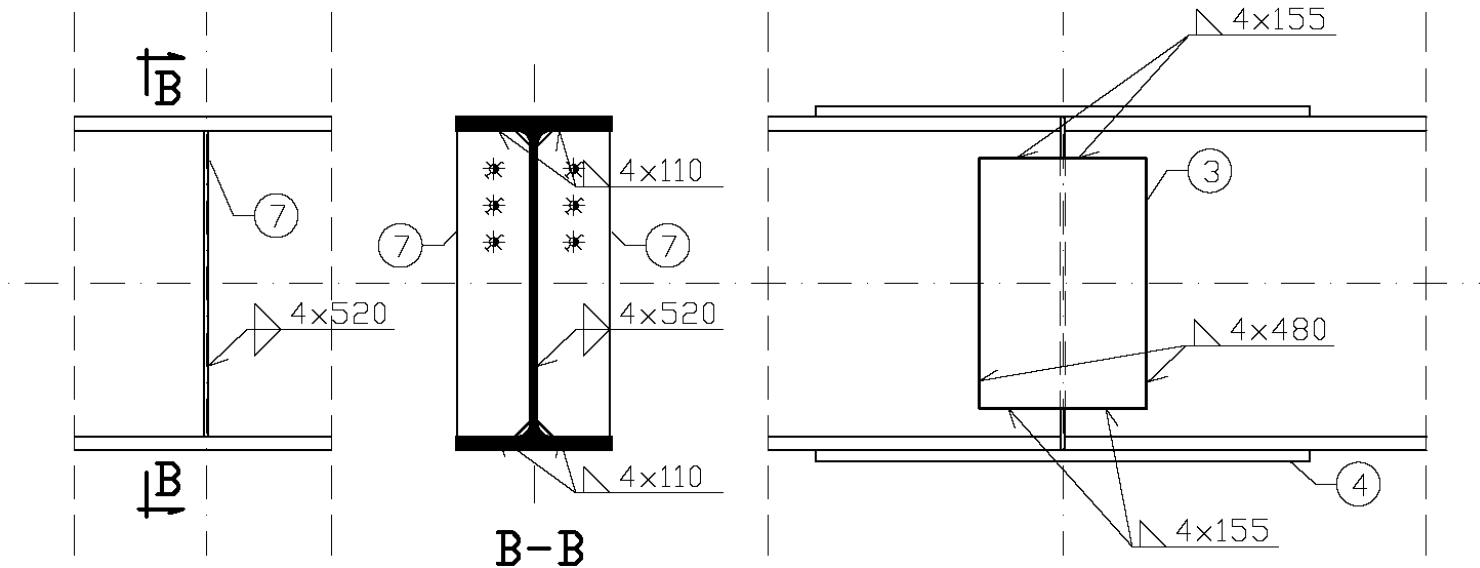
$$150 a \geq 1$$

(EN 1993-1-8)

Przykład 1

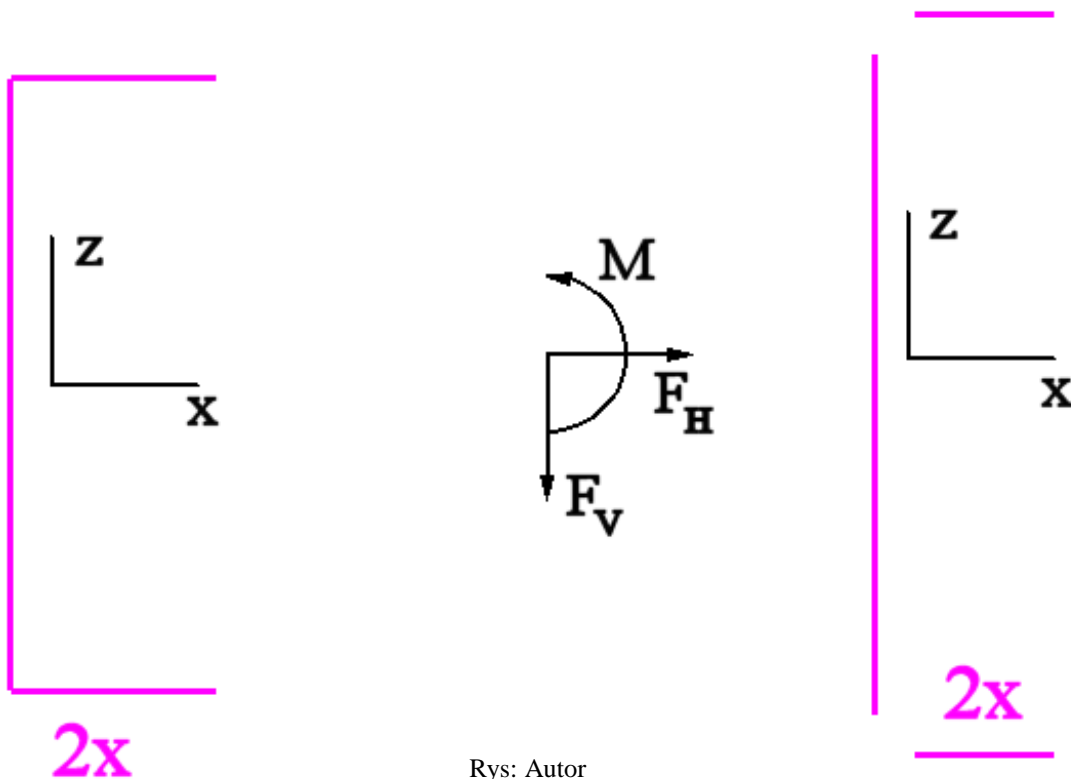
Spoiny pachwinowe

Spoiny między przykładkami i środkiem oraz między zębem poprzecznym a środkiem i półkami

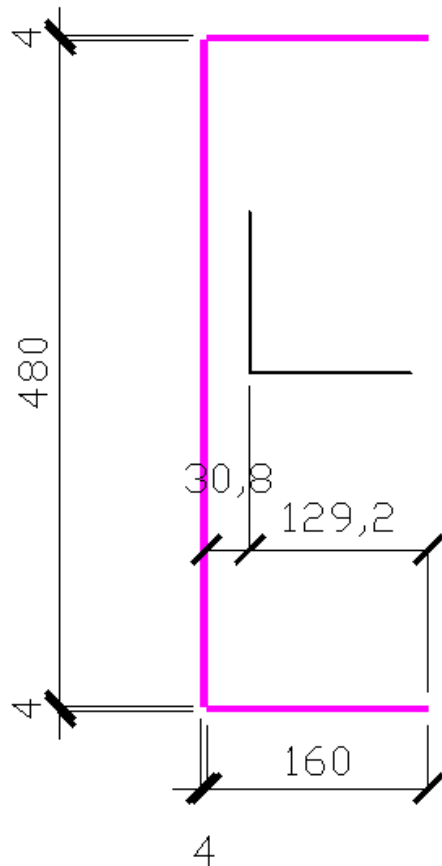


Rys: Autor

Geometria spoin (po lewej przykładki-środek, po prawej zeberko-środek/półki) i obciążenia



Rys: Autor



S235

$$F_H = 154,6 \text{ kN}$$

$$F_V = 201,7 \text{ kN}$$

$$M = 34,1 \text{ kNm}$$

$$A = 2 \cdot 4 \cdot (160 + 480 + 160) = 6\,400 \text{ mm}^2$$

$$J_x = 2 \cdot [4 \cdot 480^3 / 12 + 2 \cdot 4 \cdot 160 \cdot (80+2)^2] = 90\,941\,440 \text{ mm}^4$$

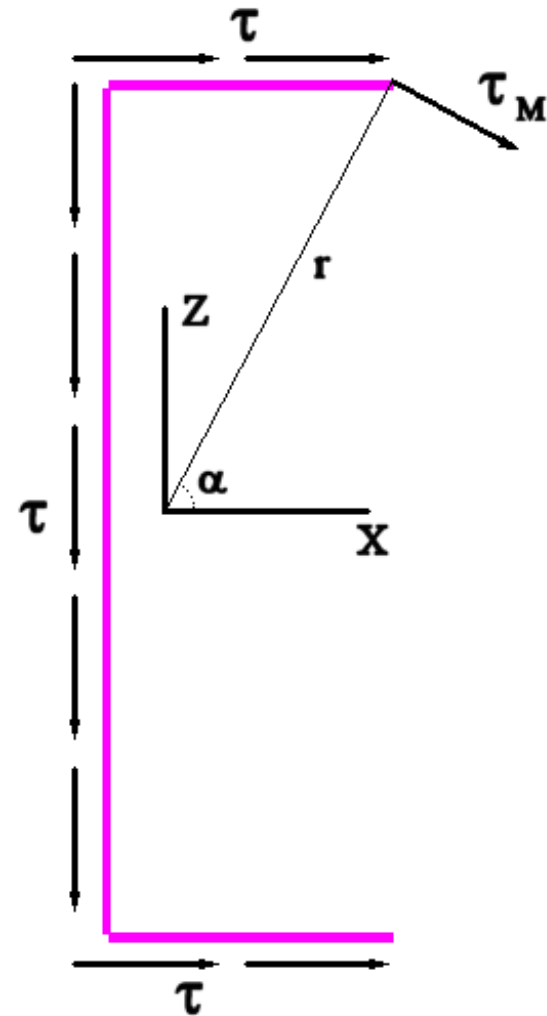
$$J_z = 2 \cdot [2 \cdot 4 \cdot 160^3 / 12 + 2 \cdot 4 \cdot 160 \cdot (129,2 - 80)^2 + 2 \cdot 4 \cdot 480 \cdot (80 + 2 - 30,8)^2] = 28\,060\,535 \text{ mm}^4$$

$$J_o \approx J_x + J_z = 119\,001\,975 \text{ mm}^4$$

Rys: Autor

Najczęściej stosuje się jeden z trzech sposobów przeliczenia sił $F_H + F_V$ na naprężenie ścinające τ :

- a) Obie siły dają tylko naprężenie τ_{\parallel} (równoległe w każdym punkcie do osi spoiny);
- b) F_H daje naprężenie poziome τ ; F_V daje naprężenie pionowe τ ; w zależności od punktu są one równoległe lub prostopadłe do osi spoiny;
- c) F_H działa tylko na poziome odcinki spoin, dając w nich naprężenie τ_{\parallel} ;
 F_V działa tylko na pionowe odcinki spoin, dając w nich naprężenie τ_{\parallel} ;



Przykład 1a

$$\tau = (F_H + F_V) / A = 55,672 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_M = M \bar{r} / J_o$$

$$r_{\max} = \sqrt{[(480+4)^2 + (129,2)^2]} = 500,9 \text{ mm}$$

$$\tau_{M\max} = M r_{\max} / J_o = 143,533 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 15^\circ$$

Rys: Autor

$$\tau_{\parallel F} = \tau = 55,672 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel M} = \tau_{M\max} \cos \alpha = 138,642 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp M} = \tau_{M\max} \sin \alpha = 37,149 \text{ MPa}$$


$$\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \tau_{\parallel M} + \tau_{\parallel F} = 194,314 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \tau_{\perp M} = 37,149 \text{ MPa}$$

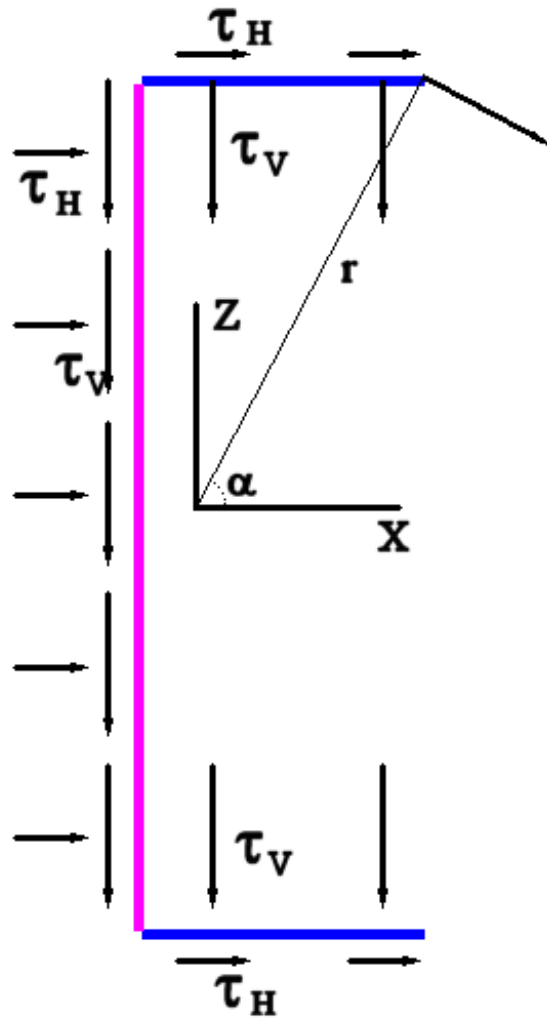
$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360 \text{ MPa}$$

$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 342,657 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Przykład 1b



$$A = 6\,400 \text{ mm}^2$$

$$J_o = 119\,001\,975 \text{ mm}^4$$

$$\tau_H = F_H / A = 24,156 \text{ MPa}$$

$$\tau_V = F_V / A = 31,516 \text{ MPa}$$

$$\tau_{M_{\max}} = M r_{\max} / J_o = 143,533 \text{ MPa}$$

Rys: Autor

$$\tau_{\parallel F} = \tau_H = 24,156 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp F} = \tau_V = 31,516 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel M} = \tau_{Mmax} \cos \alpha = 138,642 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp M} = \tau_{Mmax} \sin \alpha = 37,149 \text{ MPa}$$


$$\tau_{\parallel} = \tau_{\parallel M} + \tau_{\parallel F} = 162,798 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \tau_{\perp F} + \tau_{\perp M} = 68,665 \text{ MPa}$$

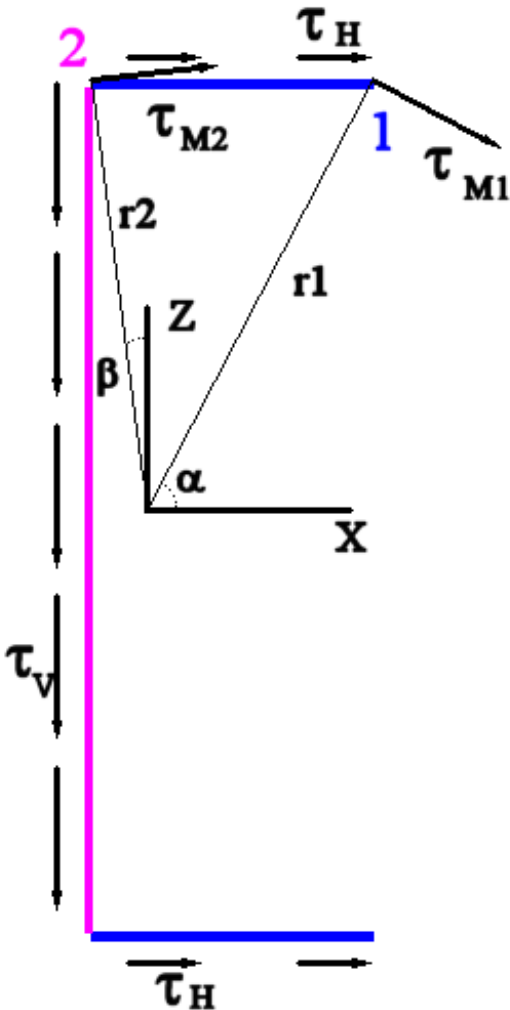
$$\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa}$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360 \text{ MPa}$$

$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 306,030 < 360 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 



Przykład 1c

$$A_H = 2 \cdot 4 \cdot (160 + 160) = 2\,560 \text{ mm}^2$$

$$A_V = 2 \cdot 4 \cdot 480 = 3\,840 \text{ mm}^2$$

$$A = A_H + A_V = 6\,400 \text{ mm}^2$$

$$J_o = 119\,001\,975 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{H1} = F_H / A_H = 60,390 \text{ MPa}$$

$$\tau_{V1} = 0 / A_V = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{M1} = M r_1 / J_o = 143,533 \text{ MPa}$$

$$\tau_{H2} = 0 / A_H = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{V2} = F_V / A_V = 52,526 \text{ MPa}$$


$$\tau_{M2} = M r_2 / J_o = 138,971 \text{ MPa}$$

Rys: Autor

W punkcie 1

$$\tau_{\parallel 1} = \tau_{H1} + \tau_{M1} \cos \alpha = 199,032 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp 1} = \tau_{V1} + \tau_{M1} \sin \alpha = 37,149 \text{ MPa}$$


Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp 1})^2 + 3(\tau_{\parallel 1}^2 + \tau_{\perp 1}^2)]} = 350,670 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp 1} = 0,000 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

W punkcie 2

$$\tau_{\parallel 2} = \tau_{H2} + \tau_{M2} \cos \alpha = 191,223 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp 2} = \tau_{V2} + \tau_{M2} \sin \alpha = 8,726 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp 2})^2 + 3(\tau_{\parallel 2}^2 + \tau_{\perp 2}^2)]} = 331,553 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp 2} = 0,000 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Wnioski

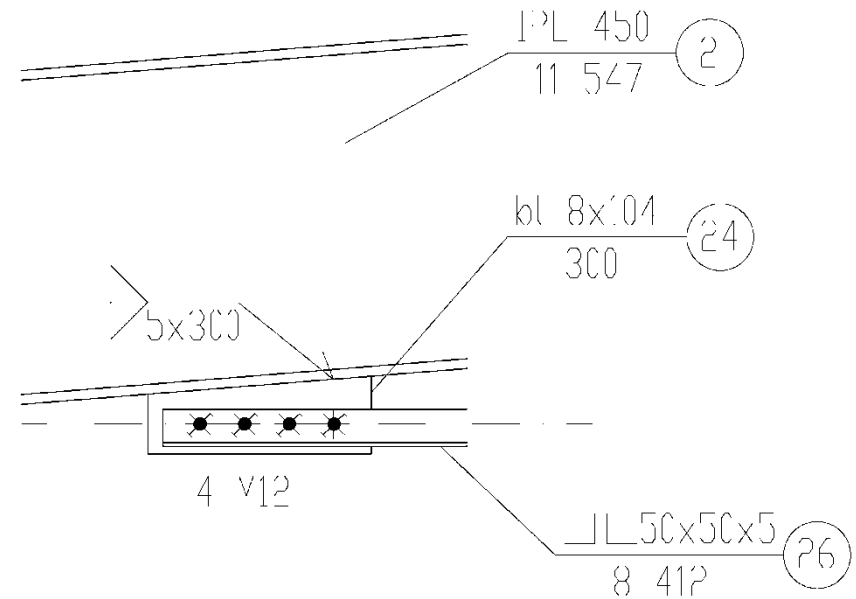
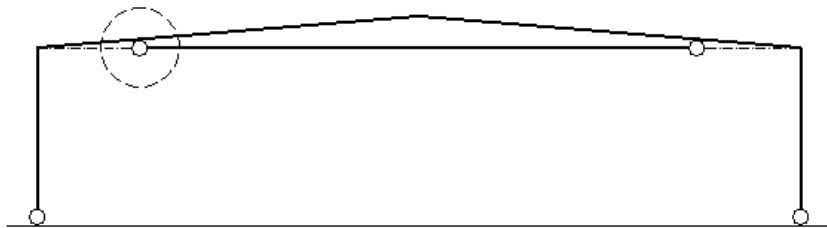
Warunek	1a	1b	1c
$\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} / [f_u / (\beta_w \gamma_{M2})]$	0,952	0,850	0,921
$\sigma_{\perp} / (0,9f_u / \gamma_{M2})$	0,000	0,000	0,000

Wyężenie spoin jest bardzo podobne we wszystkich trzech metodach. Nie ma istotnego znaczenia, która metodę wybierzemy.

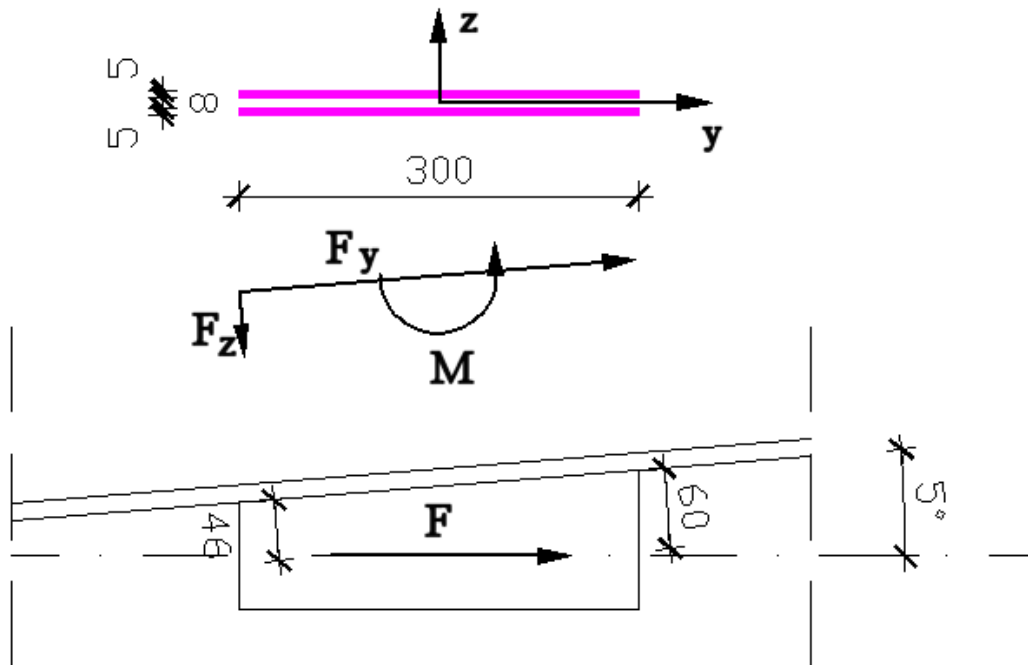
Przykład 2

Spoiny pachwinowe

Spoiny między blachą węzłową a słupem / ryglem



Rys: Autor



Rys: Autor

S235

$$F = 161,5 \text{ kN}$$

$$\alpha = 5^\circ$$

$$e = (46 + 60) / 2 = 53 \text{ mm}$$

$$M = F e = 8,398 \text{ kNm}$$

$$F_y = F \cos \alpha = 160,885 \text{ kN}$$

$$F_z = F \sin \alpha = 14,076 \text{ kN}$$

$$A = 2 \cdot 5 \cdot 300 = 3\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_v = A$$

$$W_z = 2 \cdot 5 \cdot 300^2 / 6 = 150\,000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\max} = F_z / A + M / W_z = 4,692 \text{ MPa} + 55,987 \text{ MPa} = 58,320 \text{ MPa}$$

$$\tau = F_y / A_v = 53,628 \text{ MPa}$$


$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\max} / \sqrt{2} = 37,703 \text{ MPa}$$


$$\tau_{\perp} = \sigma_{\max} / \sqrt{2} = 37,703 \text{ MPa}$$

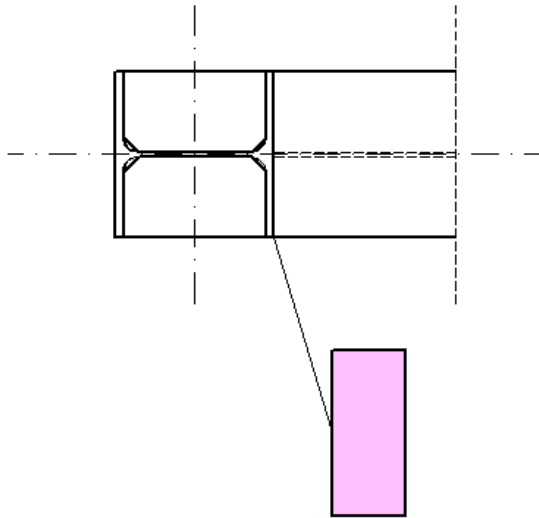
$$\tau_{\parallel} = \tau = 53,628 \text{ MPa}$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360 \text{ MPa}$$

$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 119,641 \text{ MPa} < 360,000 \text{ MPa}$ 

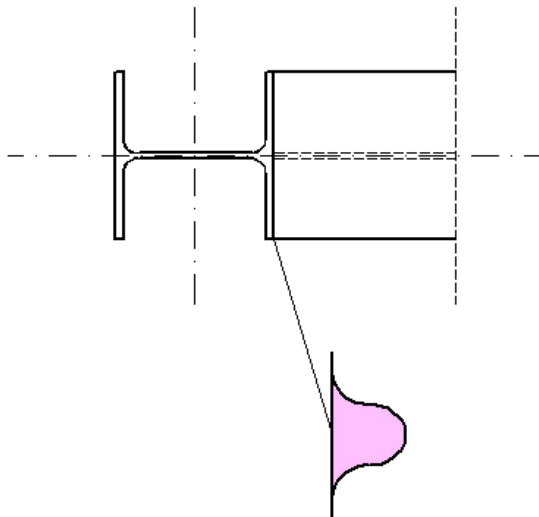
Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 37,703 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 



Przykład policzony dla trzech przypadków:

a) Grubość spoin „tradycyjnie”; $\#t / 10$

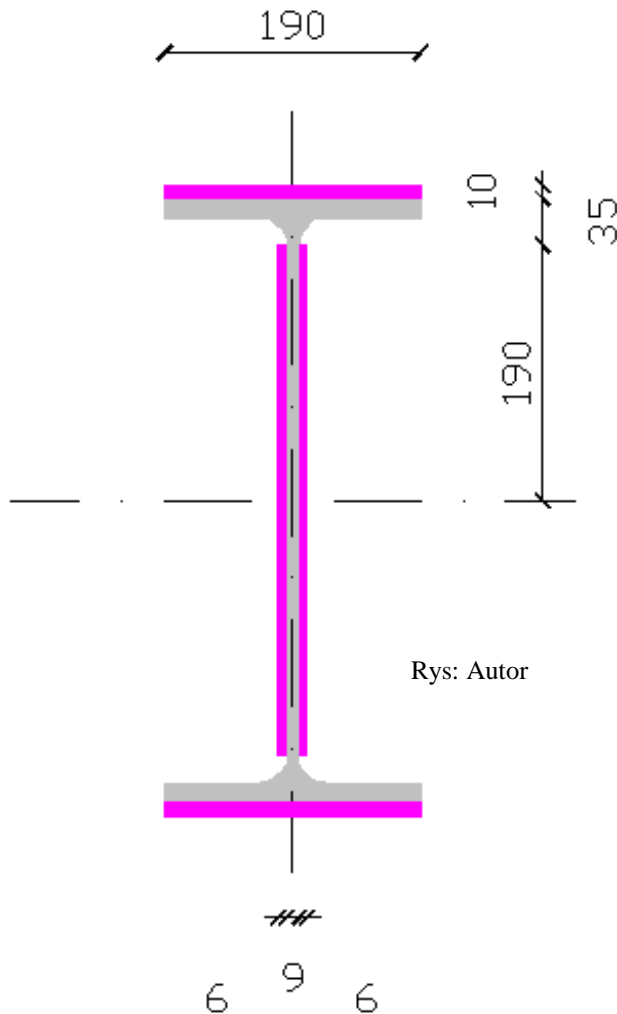
b) Grubość spoin według EN 1993-1-8 p.4.10.(5)



c) Węzeł bez blach poziomych na słupie (nieliniowy rozkład naprężeń w spoinie)

Rys: Autor

Przykład 3a



S235

IPE 450

Blacha czołowa 30 mm

Według #t / 10:

$$0,2 t_2 \leq a \leq 0,7 t_1$$

$$t_2 \geq t_1$$

Półka - blacha:

$$t_f = 14,6 \text{ mm}$$

$$t_{e-p} = 30 \text{ mm}$$

$$t_1 = 14,6$$

$$t_2 = 30$$

$$6 \text{ mm} \leq a \leq 10,2 \text{ mm}$$

$$a = 10 \text{ mm}$$

Środek - blacha:

$$t_w = 9,4 \text{ mm}$$

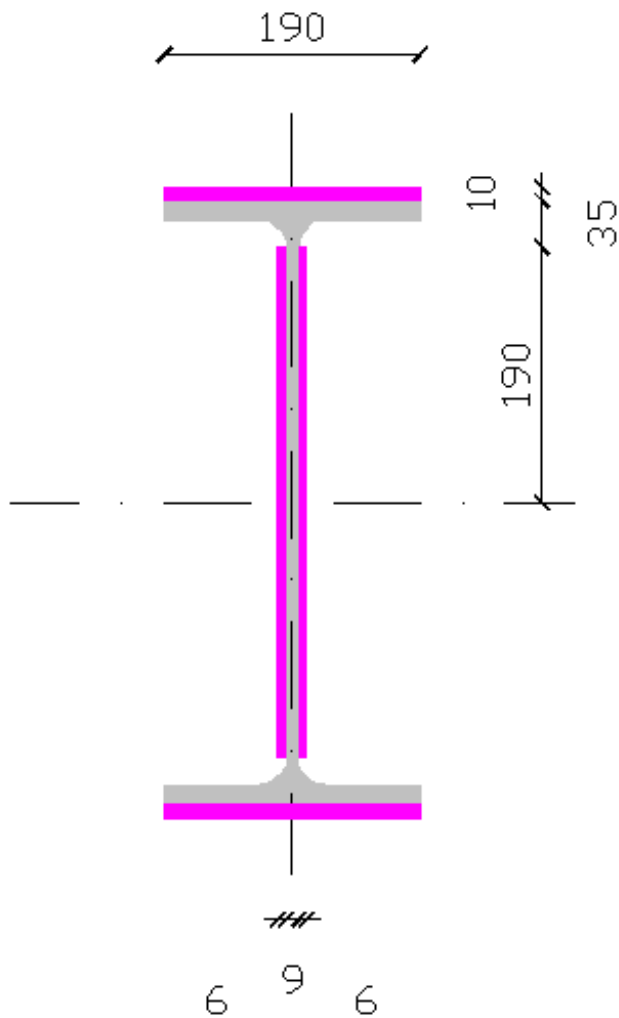
$$t_{e-p} = 30 \text{ mm}$$

$$t_1 = 19$$

$$t_2 = 30$$

$$6 \text{ mm} \leq a \leq 6,6 \text{ mm}$$

$$a = 6 \text{ mm}$$



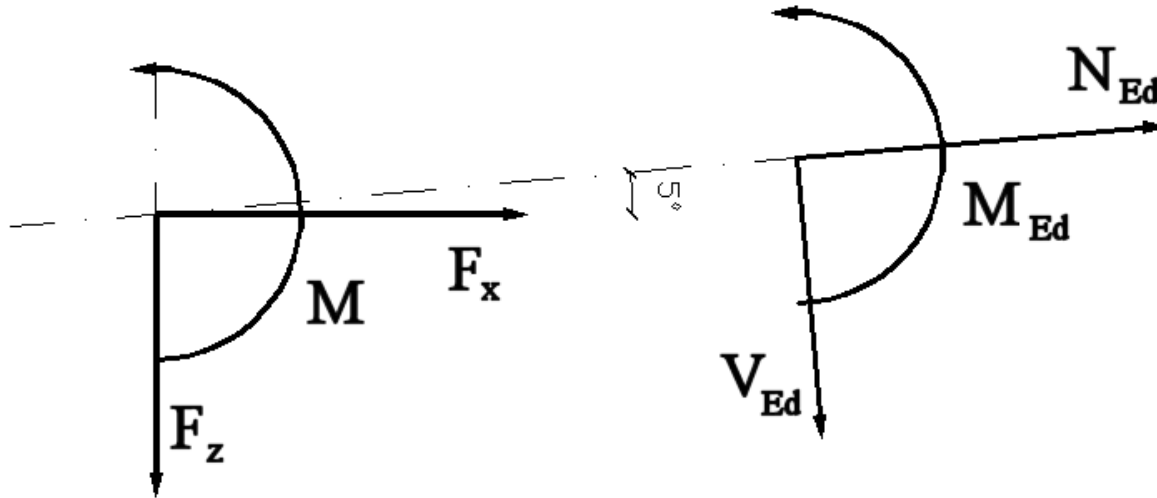
$$A = 2 \cdot 6 \cdot 380 + 2 \cdot 10 \cdot 190 = 8\,360 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot 6 \cdot 380 = 4\,560 \text{ mm}^2$$

$$J_y = 2 \cdot 6 \cdot 380^3 / 12 + 2 \cdot 10 \cdot 190 \cdot (190 + 35 + 5)^2 = 255\,892\,000 \text{ mm}^4$$

Rys: Autor

Rys: Autor



Przeliczenie do płaszczyzny blachy czołowej:

$$\alpha = 5^\circ$$

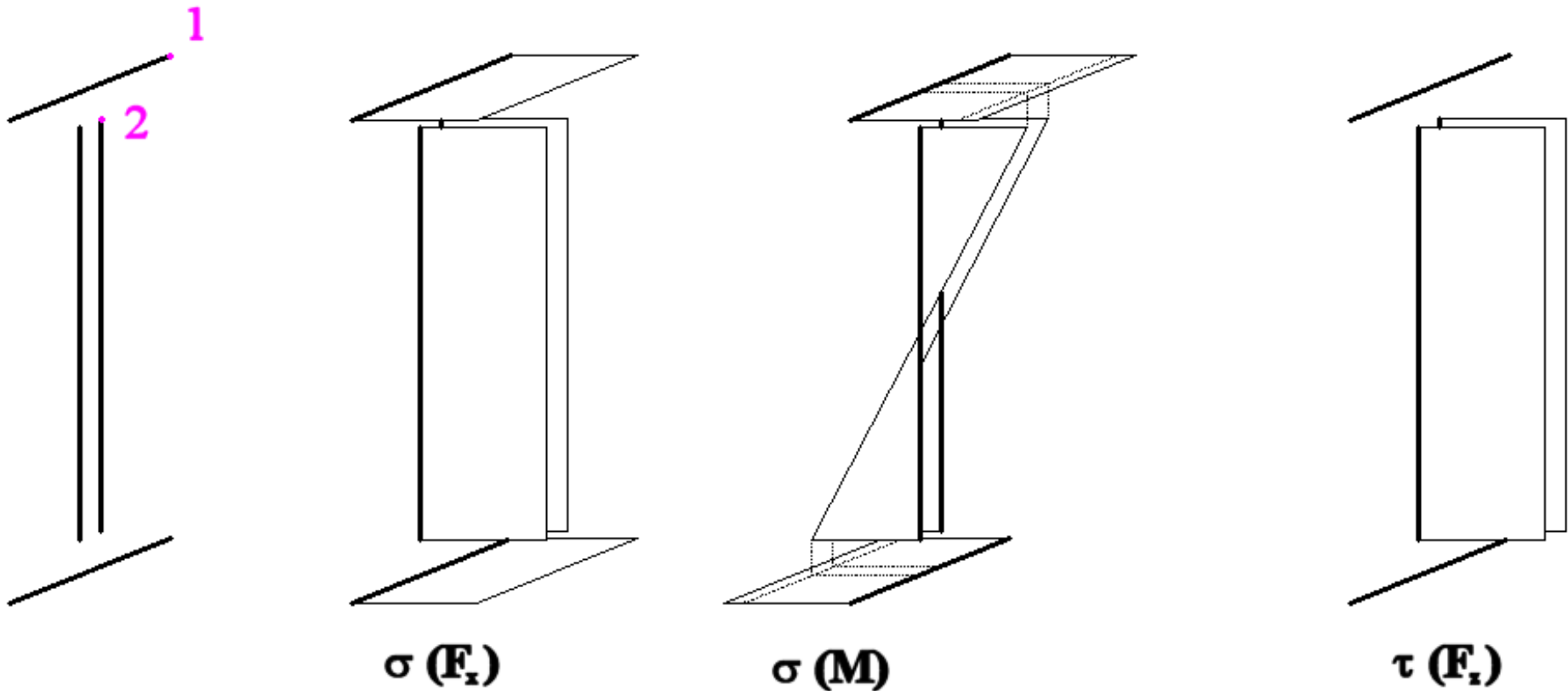
$$M_{Ed} = 247,1 \text{ kNm} \quad N_{Ed} = 213,0 \text{ kN} \quad V_{Ed} = 68,5 \text{ kN}$$

$$M = M_{Ed} = 247,1 \text{ kNm}$$

$$F_x = N_{Ed} \cos \alpha + V_{Ed} \sin \alpha = 218,169 \text{ kN}$$

$$F_z = -N_{Ed} \sin \alpha + V_{Ed} \cos \alpha = 49,675 \text{ kN}$$

Rozkład naprężeń



Rys: Autor

$$\sigma (F_{x1}) = \sigma (F_{x2}) = F_x / A = 26,097 \text{ MPa}$$

$$\sigma (M_1) = M z_1 / J_y$$

$$\sigma (M_2) = M z_2 / J_y$$

$$z_1 = 235 \text{ mm}$$

$$z_2 = 190 \text{ mm}$$

$$\sigma (M_1) = 226,952 \text{ MPa}$$

$$\sigma (M_2) = 183,493 \text{ MPa}$$

$$\tau (F_{z1}) = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau (F_{z2}) = 10,893 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma (F_{x1}) + \sigma (M_1) = 253,049 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \sigma (F_{x2}) + \sigma (M_2) = 209,590 \text{ MPa}$$

$$\tau_1 = \tau (F_{z1}) = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \tau (F_{z2}) = 10,893 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp 1} = \tau_{\perp 1} = \sigma_1 / \sqrt{2} = 178,933 \text{ MPa}$$


$$\sigma_{\perp 2} = \tau_{\perp 2} = \sigma_2 / \sqrt{2} = 148,203 \text{ MPa}$$


$$\tau_{\parallel 1} = \tau_1 = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel 2} = \tau_2 = 10,893 \text{ MPa}$$


$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$
$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$


Punkt 1

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp 1})^2 + 3(\tau_{\parallel 1}^2 + \tau_{\perp 1}^2)]} = 357,866 \text{ MPa} < 360,000 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp 1} = 178,933 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Punkt 2

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp 2})^2 + 3(\tau_{\parallel 2}^2 + \tau_{\perp 2}^2)]} = 297,006 \text{ MPa} < 360,000 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp 2} = 148,203 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Przykład 3b

S235

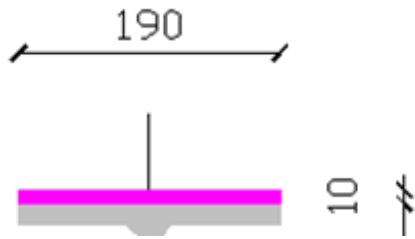
IPE 450

EN 1993-1-8 4.10.(5):

Nośność spoin półka-blacha = nośność półki na siłę osiową

IPE 450 → $b_f = 190 \text{ mm}$; $t_f = 14,6 \text{ mm}$

$$N_{Rd, f} = b_f t_f f_y / \gamma_{M0} = 651,890 \text{ kN}$$



Rys: Autor

$$A = 10 \cdot 190 = 1\,900 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = N_{Rd,f} / A = 343,100 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 242,608 \text{ MPa}$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$

$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

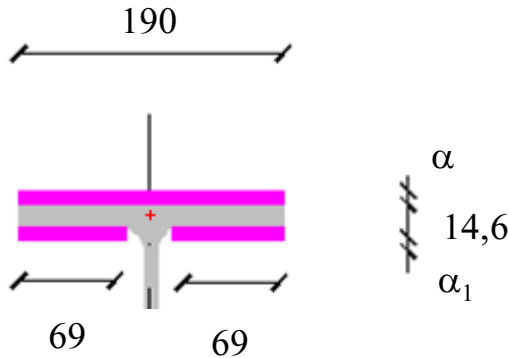
Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp 1})^2 + 3(\tau_{\parallel 1}^2 + \tau_{\perp 1}^2)]} = 485,216 \text{ MPa} > 360,000 \text{ MPa}$ 🚫

Warunek 2: $\sigma_{\perp 1} = 242,608 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 👍

Przyjęcie spoin zgodnie doświadczeniem może się okazać za słabe w świetle Eurokodu

Wzrost nośności: spoiny po obu stronach półki

Rys: Autor



Zalecenie: Środek ciężkości spoin pokrywa się ze środkiem ciężkości półki.

$$190 \cdot a \cdot (14,6 + a) / 2 = 2 \cdot 69 \cdot a_1 \cdot (14,6 + a_1) / 2$$
$$a_1 \approx 1,3 a$$

Metoda uproszczona:

$$\sigma = N_{Rd} / (\Sigma l_i a)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$$

$$F_{w, Ed} = (\sigma_{\perp} + \tau_{\perp}) a$$

Wzór może być zastosowany dla $a = \text{const}$; w analizowanym przypadku $\min(a ; a_1) = a$ oraz

$$\Sigma l_i a = \Sigma l_i a_i$$

$$F_{w, Rd} = f_u \sqrt{3} a / (\beta_w \gamma_{M2})$$

$$F_{w, Ed} \leq F_{w, Rd}$$

$$\begin{aligned}\Sigma l_i a_i &= b_f + 2 (b_f - 2r - t_w) / 2 = 190 \cdot a + 2 (190 - 2 \cdot 21 - 9,4) \cdot a_1 / 2 = \\ &= 190 \cdot a + 2 (190 - 2 \cdot 21 - 9,4) \cdot 1,3 \cdot a / 2 = 370,18 \cdot a\end{aligned}$$

$$\sigma = N_{Rd} / (\Sigma l_i a_i)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$$

$$F_{w, Ed} = (\sigma_{\perp} + \tau_{\perp}) a = 2 \sigma a / \sqrt{2} = \sqrt{2} \sigma a = \sqrt{2} N_{Rd} a / (370,18 a) = \sqrt{2} N_{Rd} / 370,18$$

$$F_{w, Rd} = f_u \sqrt{3} a / (\beta_w \gamma_{M2})$$

$$F_{w, Ed} \leq F_{w, Rd}$$

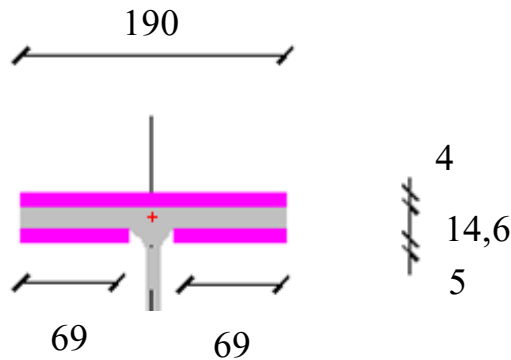
$$\sqrt{2} N_{Rd} / 370,18 \leq f_u \sqrt{3} a / (\beta_w \gamma_{M2})$$

$$\sqrt{2} N_{Rd} \beta_w \gamma_{M2} / (370,18 \sqrt{3} f_u) \leq a$$

$$4,0 \text{ mm} \leq a$$

Przyjęto 4 mm nad półką i $1,3 \cdot 4 = 5$ mm pod półką.

Rys: Autor



Nośność spoin = nośność półki:

$$A = 190 \cdot 4 + 2 (190 - 2 \cdot 21 - 9,4) \cdot 5 / 2 = 1\,453 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = N_{Rd, f} / A = 448,651 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 317,244 \text{ MPa}$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$

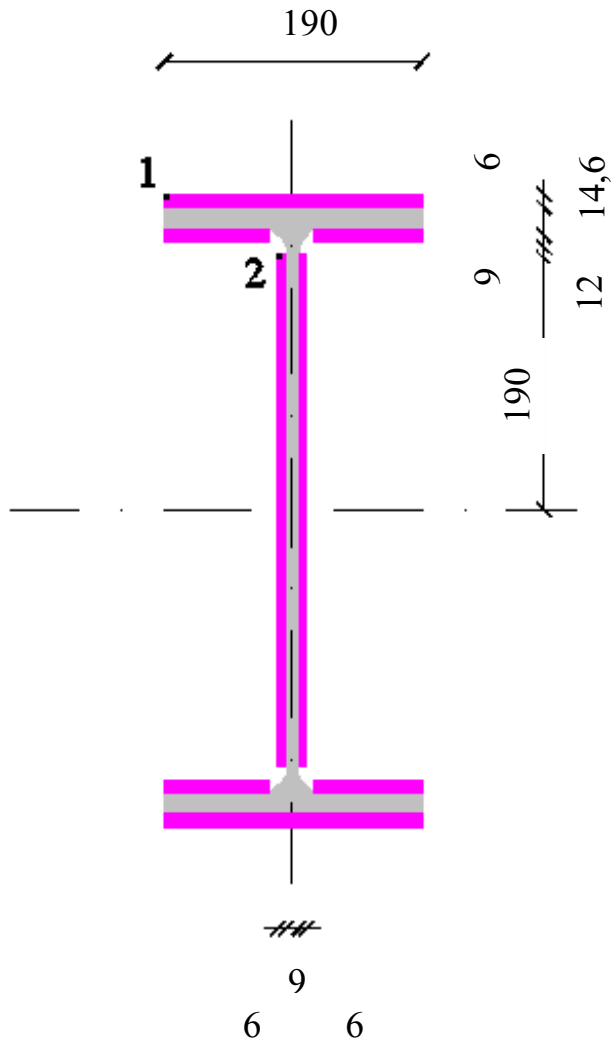
$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel 1}^2 + \tau_{\perp 1}^2)]} = 634,488 \text{ MPa} > 360,000 \text{ MPa}$ 🚫

Warunek 2: $\sigma_{\perp 1} = 317,244 \text{ MPa} > 259,200 \text{ MPa}$ 🚫

Spoiny przyjęte według metody uproszczonej są za słabe.

Warunek „nośność spoin = nośność półki”, spełniony jest dopiero dla 7 mm nad półką i 9 mm pod półką; niemal dwukrotnie więcej niż z metody uproszczonej.



„Pełna” nośność” (moment zginający + siła osiowa + ścinanie):

$$A = 2 \cdot 6 \cdot 380 + 2 \cdot 6 \cdot 190 + 4 \cdot 9 \cdot 69 = 9\,324 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot 6 \cdot 380 = 4\,560 \text{ mm}^2$$

$$J_y = 2 \cdot 6 \cdot 380^3 / 12 + 2 \cdot 6 \cdot 190 \cdot (450 / 2 + 3)^2 + 4 \cdot 9 \cdot 69 \cdot (190 + 12 + 4,5)^2 = 279\,318\,869 \text{ mm}^4$$

Tak samo jak w metodzie 3a, trzeba sprawdzić punkty 1 i 2

Rys: Autor

$$\sigma (F_{x1}) = \sigma (F_{x2}) = F_x / A = 23,402 \text{ MPa}$$

$$\sigma (M_1) = M_{Ed} z_1 / J_y$$

$$\sigma (M_2) = M_{Ed} z_2 / J_y$$

$$z_1 = 231 \text{ mm}$$

$$z_2 = 190 \text{ mm}$$

$$\sigma (M_1) = 204,355 \text{ MPa}$$

$$\sigma (M_2) = 168,084 \text{ MPa}$$

$$\tau (F_{z1}) = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau (F_{z2}) = 10,893 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma (F_{x1}) + \sigma (M_1) = 227,757 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \sigma (F_{x2}) + \sigma (M_2) = 191,486 \text{ MPa}$$

$$\tau_1 = \tau (F_{z1}) = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \tau (F_{z2}) = 10,893 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp 1} = \tau_{\perp 1} = \sigma_1 / \sqrt{2} = 161,049 \text{ MPa}$$


$$\sigma_{\perp 2} = \tau_{\perp 2} = \sigma_2 / \sqrt{2} = 135,401 \text{ MPa}$$


$$\tau_{\parallel 1} = \tau_1 = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel 2} = \tau_2 = 10,893 \text{ MPa}$$


$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$
$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$


Punkt 1

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp 1})^2 + 3(\tau_{\parallel 1}^2 + \tau_{\perp 1}^2)]} = 322,650 \text{ MPa} > 360,000 \text{ MPa}$ 

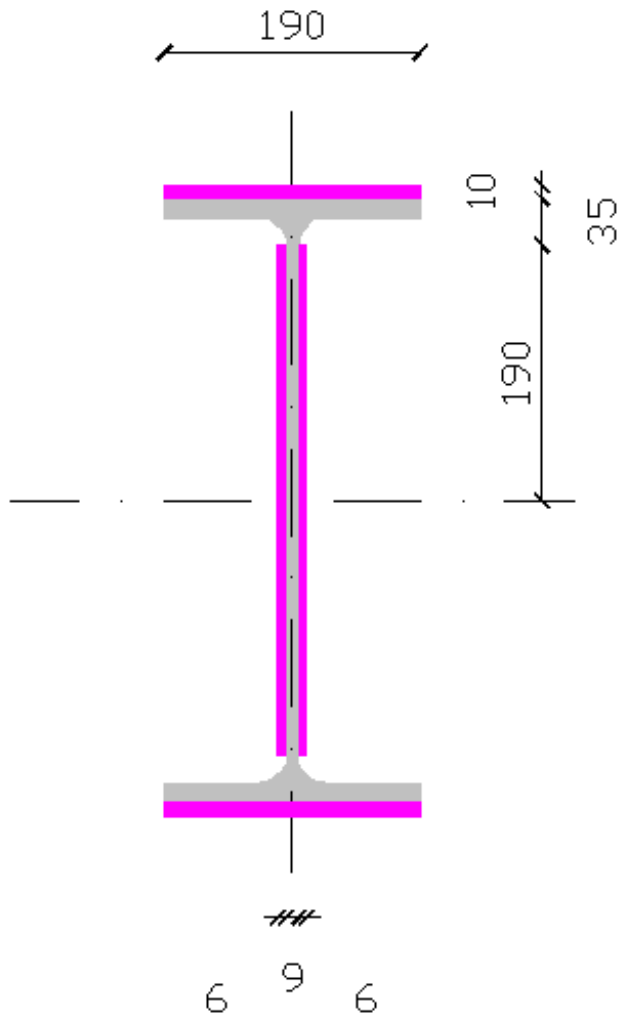
Warunek 2: $\sigma_{\perp 1} = 161,049 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Punkt 2

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp 2})^2 + 3(\tau_{\parallel 2}^2 + \tau_{\perp 2}^2)]} = 271,458 \text{ MPa} < 360,000 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp 2} = 135,401 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Przykład 3c

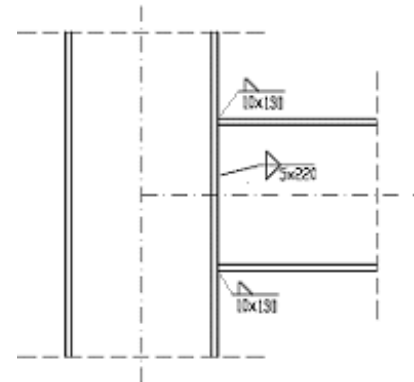


S235

IPE 450 (belka)

HEB 600 (słup)

Gdy brak żeber usztywniających na słupie, należy zredukować długość spoin (EN 1993-1-8 p.4.10.(2))



Rys: Autor

Efektywna długość spoin:

$$b_{\text{eff}} = \min (b_{\text{bf}} \ ; \ t_{\text{cw}} + 2s + 7 k t_{\text{cf}})$$

IPE 450 (belka) $\rightarrow b_{\text{bf}} = 190 \text{ mm}$; $t_{\text{bf}} = 14,6 \text{ mm}$

HEB 600 (słup) $\rightarrow t_{\text{cf}} = 30 \text{ mm}$; $t_{\text{cw}} = 15,5 \text{ mm}$; $r = 27 \text{ mm}$

Słup gorącowalcowany: $s = r$

Słup spawany: $s = a \sqrt{2}$

$$k = \min [1,0 \ ; \ (t_{\text{cf}} / t_{\text{bf}})(f_{y, \text{cf}} / f_{y, \text{bf}})]$$

IPE 450 (belka) $\rightarrow b_{bf} = 190 \text{ mm}$; $t_{bf} = 14,6 \text{ mm}$

HEB 600 (słup) $\rightarrow t_{cf} = 30 \text{ mm}$; $t_{cw} = 15,5 \text{ mm}$; $r = 27 \text{ mm}$

Słup gorącowalcowany: $s = r = 27 \text{ mm}$

$$k = \min [1,0 ; (t_{cf} / t_{bf})(f_{y, cf} / f_{y, bf})] = \min (1,0 ; 2,055) = 1,0$$

Efektywna długość spoin:

$$b_{eff} = \min (b_{bf} ; t_{cw} + 2s + 7 k t_{cf}) = \min (190 ; 15,5 + 2 \cdot 27 + 7 \cdot 1 \cdot 30) = \\ = \min (190 ; 279,5) = 190 \text{ mm}$$

W analizowanej sytuacji nie ma potrzeby redukcji długości spoin. Reszta obliczeń taka sama jak w poprzednich przypadkach (np. 3b).

Wnioski

Warunek	Punkt	Przykład a	Przykład b, uproszczona	Przykład b, drugie podejście	Przykład c
$\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} / [f_u / (\beta_w \gamma_{M2})]$	1	0,994		0,896	0,896
	2	0,690		0,621	0,621
$\sigma_{\perp} / (0,9f_u / \gamma_{M2})$	1	0,825		0,754	0,754
	2	0,572		0,522	0,522
Nośność spoin = nośność półki, EN 1993-1-8 4.10.(5)		Nie	Nie	Tak	Tak

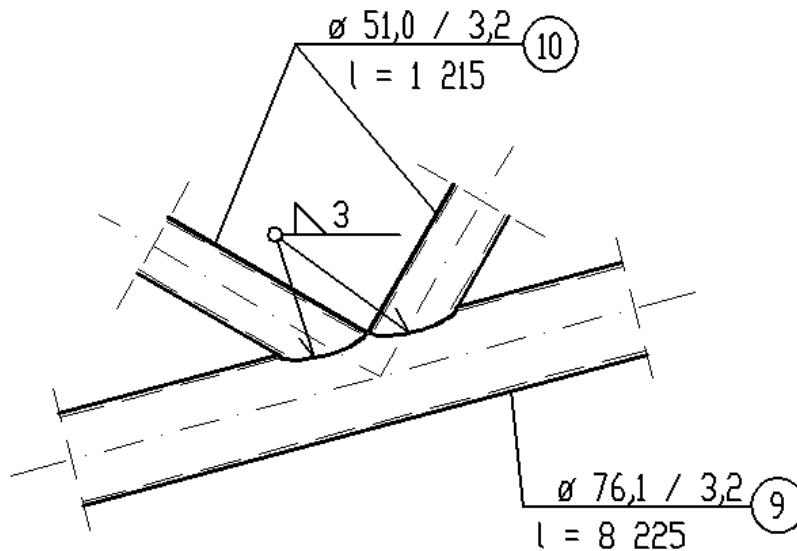
Spoiny według doświadczenia mogą nie spełniać warunku EN 1993-1-8 4.10.(5);

Spoiny przyjęte według uproszczonej metody mogą być zbyt słabe;

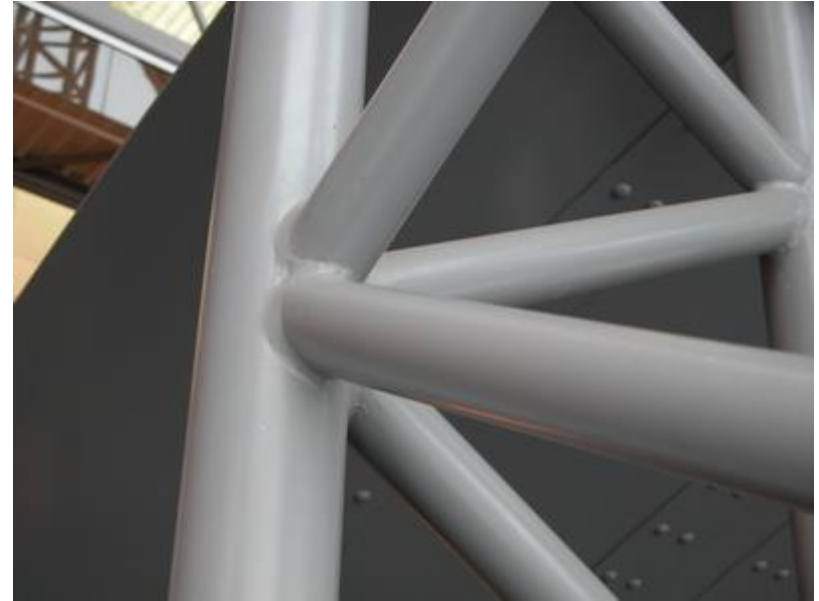
W przypadku braku usztywnień poziomych należy zmniejszyć długość spoin poziomych.

Przykład 4

Spoiny pachwinowe



Rys: Autor



Rys: tboake.com

Spoiny między prętami kratownicy
stalowej (przekroje rurowe).

Sytuacja rozpatrzona jest w dwu przypadkach:

- a) Kratownica idealna;
- b) Kratownica nieidealna;

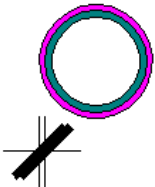
Zgodnie z zapisami Eurokodu EN 1993-1-8, musimy spełnić wiele warunków by można było realną kratownicę liczyć jak idealną (tylko siły osiowe). Czasami, gdy część warunków nie jest spełniona, musimy dodatkowo uwzględnić niewielkie momenty zginające, przyłożone w węzłach kratownicy. Więcej informacji pokazane będzie na wykładzie #21.

Przykład 4a

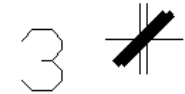
S235



CHS średnica 51 mm
CHS grubość ścianki 3,2 mm



grubośćspoiny 3 mm



$$A = \pi \cdot [(51 / 2 + 3)^2 - (51 / 2)^2] = 509 \text{ mm}^2$$

3,2

$$N_{Ed} = 64,73 \text{ kN}$$

Rys: Autor

$$\sigma = N_{Ed} / A = 127,171 \text{ MPa}$$


$$\tau = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 89,923 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \tau = 0,000 \text{ MPa}$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$

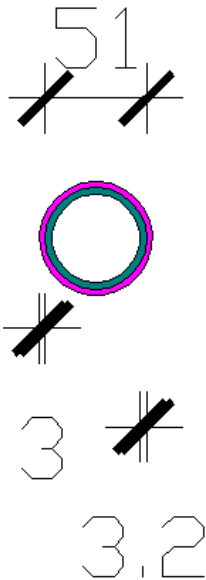
$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 254,342 \text{ MPa} < 360,000 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 89,923 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Przykład 4b

S235



$$A = \pi \cdot [(51 / 2 + 3)^2 - (51 / 2)^2] = 509 \text{ mm}^2$$

$$J = \pi \cdot [(51 / 2 + 3)^4 - (51 / 2)^4] / 4 = 186\,080 \text{ mm}^4$$

$$W = J / (r + a) = 186\,080 / (51 / 2 + 3) = 6\,529 \text{ mm}^3$$

$$N_{Ed} = 64,73 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2,24 \text{ kNm}$$

Rys: Autor

$$\sigma = N_{Ed} / A + M_{Ed} / W = 127,171 + 343,085 \text{ MPa} = 470,256$$
$$\tau = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 332,521 \text{ MPa}$$
$$\tau_{\parallel} = \tau = 0,000 \text{ MPa}$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$

$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 665,042 \text{ MPa} > 360,000 \text{ MPa}$ 🙅

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 332,521 \text{ MPa} > 259,200 \text{ MPa}$ 🙅

Wnioski

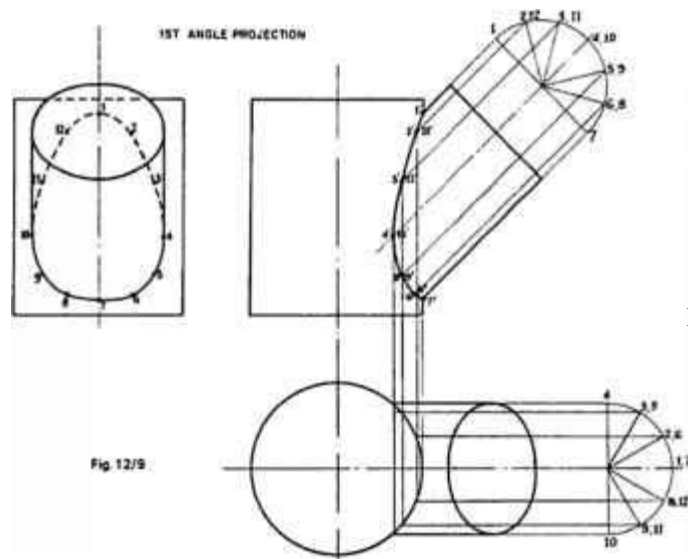
Warunek	4a	4b
$\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} / [f_u / (\beta_w \gamma_{M2})]$	0,707	1,847
$\sigma_{\perp} / (0,9f_u / \gamma_{M2})$	0,347	1,283

Nawet przy małym momencie zginającym, wyężenie spoin w kratownicy jest znacznie większe, niż ich nośność. M.in. Dlatego ważne jest dokładne spełnienie wszystkich warunków definiujących idealną kratownicę.

Powyższe obliczenia oparte są na bardzo dużym uproszczeniu. Przede wszystkim, powierzchnia spoiny jest znacznie większa niż tylko pierścień wokół CHS. Dotyczy to spoiny między CHS a płaskim elementem dla osi CHS prostopadłej do płaszczyzny. W przypadku połączenia CHS-CHS kształt spoiny jest znacznie bardziej skomplikowany.

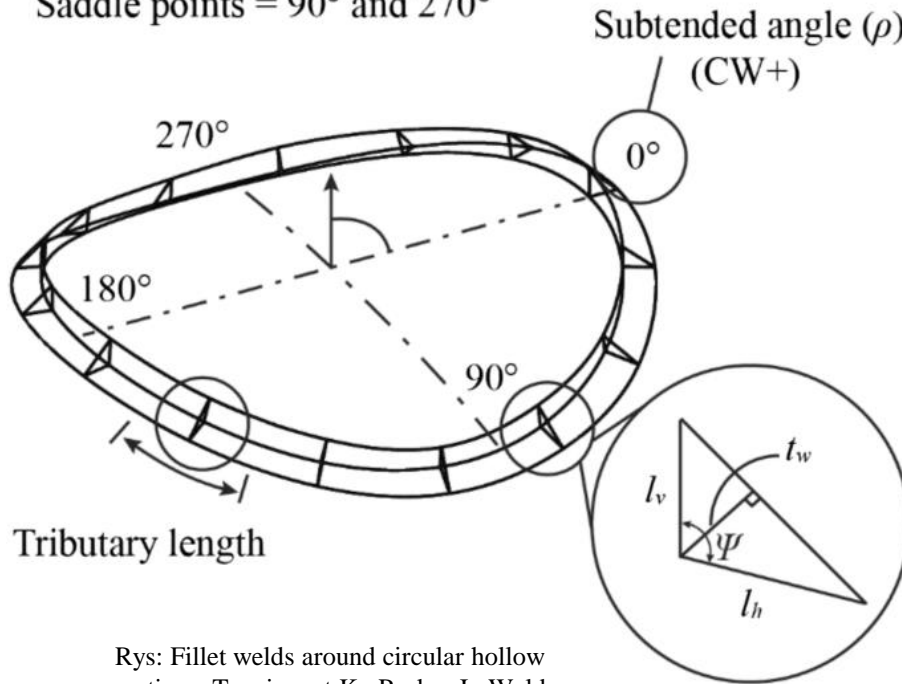


Rys: pclgroupcncmachine.com



Rys: joshuanava.biz

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



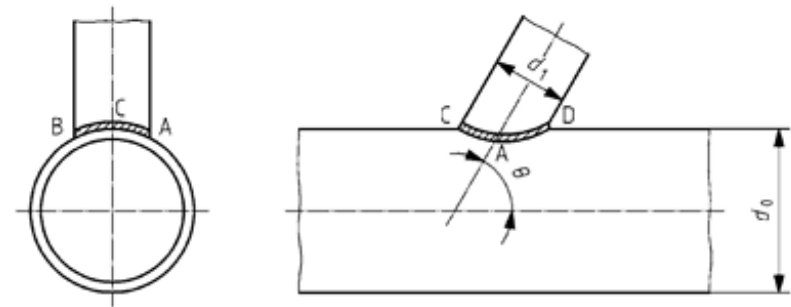
Rys: Fillet welds around circular hollow sections, Tousignant K., Packer J., Weld World 63, 421–433 (2019)

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

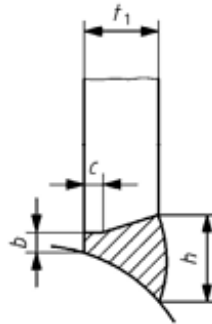
- $\Psi \geq 120^\circ$ (spoiny pachwinowe testowane eksperymentalnie);
- $120^\circ > \Psi > 60^\circ$ „zwykłe” spoiny pachwinowe);
- $\Psi \leq 60^\circ$ (spoiny pachwinowe liczone jako czołowe z niepełnym przetopem).

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:

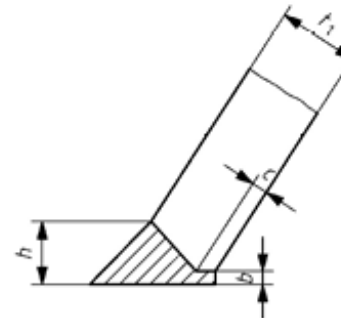


gdy $d_1 < d_0$

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

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

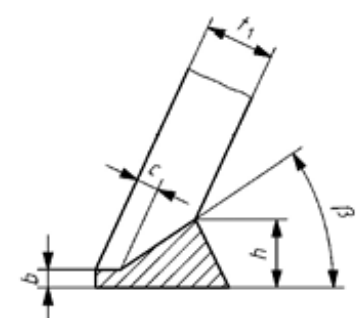
Szczegóły C:



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

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

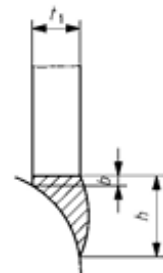
Szczegóły D:



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

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

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

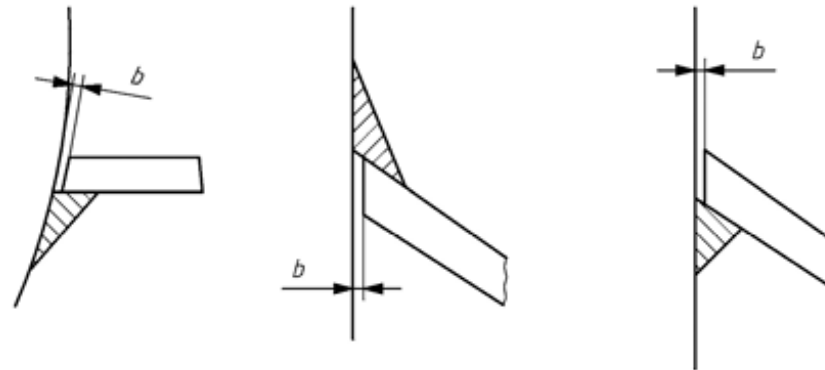
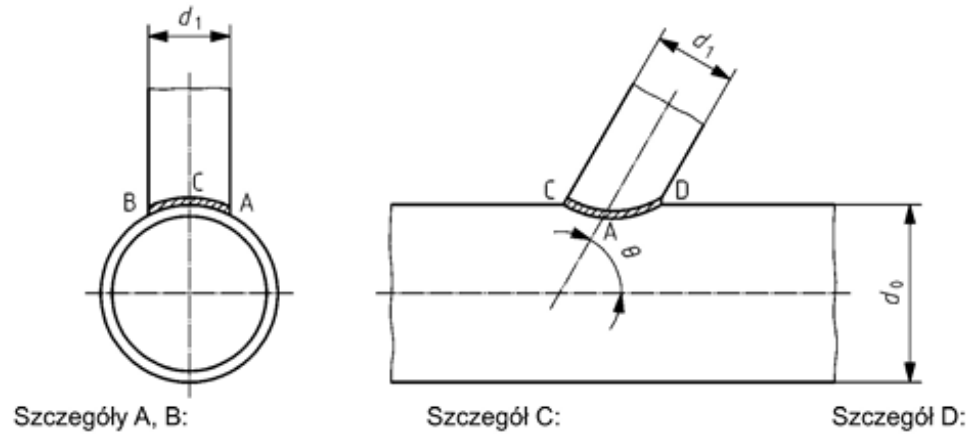


gdy $d_1 = d_0$

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

Rys: EN 1090-2 fig. E2

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



Rys: EN 1090-2 fig. E3

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

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

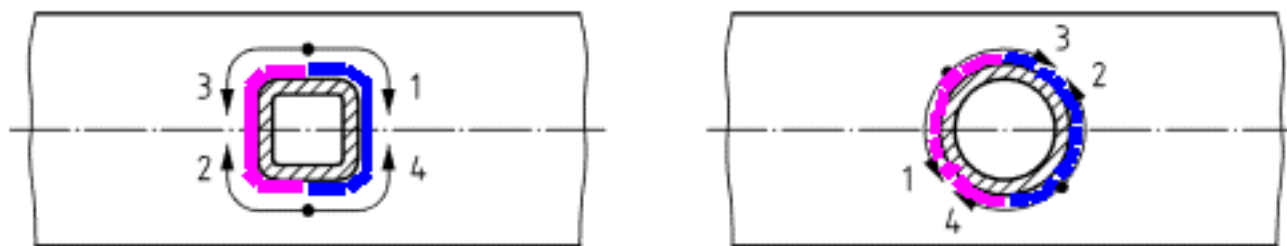
Gdy $\theta < 60^\circ$, w strefie C stosuje się spoinę czołową (jak na Rysunku E.2)

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

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

Wniosek: zmiana typu spoiny (**pachwinowa** / **czołowa**) zalecane jest w przypadku połączenia dwu CHS i dwu RHS.

1, 2, 3, 4 - kolejność wykonywania spoin w celu zminimalizowania odkształceń i naprężeń resztkowych.



Rys: EN 1090-2 fig. E1

Nośność takiego typu spoiny można obliczyć tak jak dla spoiny mieszanej.

Spoiny mieszane

Współpraca różnego typu spoin (pachwinowe + obwodowe, pachwinowe + otworowe)

Geometrię spoin otworowych i/lub spoin obwodowych należy dodać do geometrii spoin pachwinowych „normalnych” :

$$A = A_{\text{plug}} + A_{\text{all round}} + A_{\text{„normal”}}$$

$$J_y = J_{\text{plug, y}} + J_{\text{all round, y}} + J_{\text{„normal”, y}}$$

$$J_z = J_{\text{plug, z}} + J_{\text{all round, z}} + J_{\text{„normal”, z}}$$

Bardziej skomplikowana jest interakcja między spoinami czołowymi i pachwinowymi.
Informacje przedstawiono wyłącznie w literaturze, a nie w Eurokodzie.

$$\text{Area} = A_{\text{butt}} + A_{\text{fillet}} \cdot 0,5$$

W takim przypadku dopuszcza się obciążenie tylko siłą osiową. Następny krok obliczeń według obliczeń spoin pachwinowych „normalnych”.

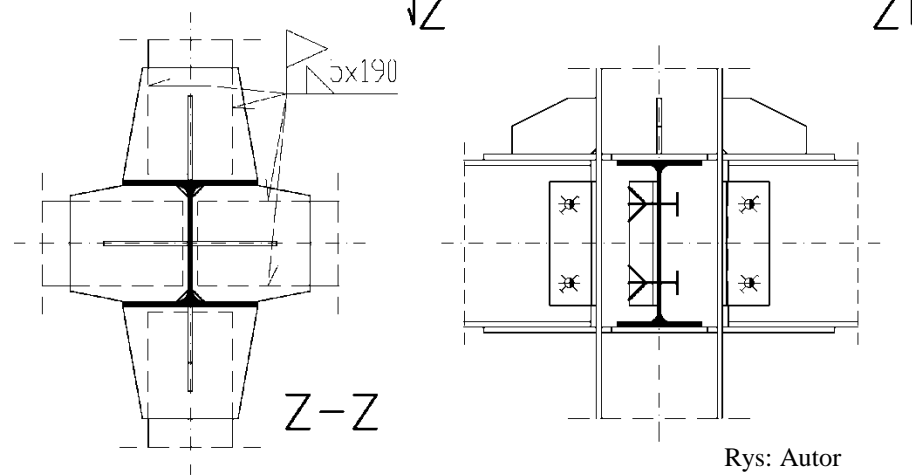
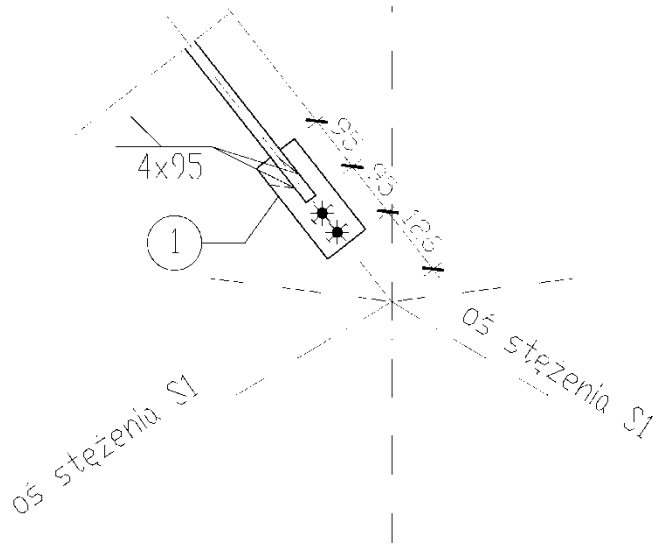
Wnioski

Dokładna analiza spoin w przypadku połączeń CHS jest niezwykle skomplikowana:

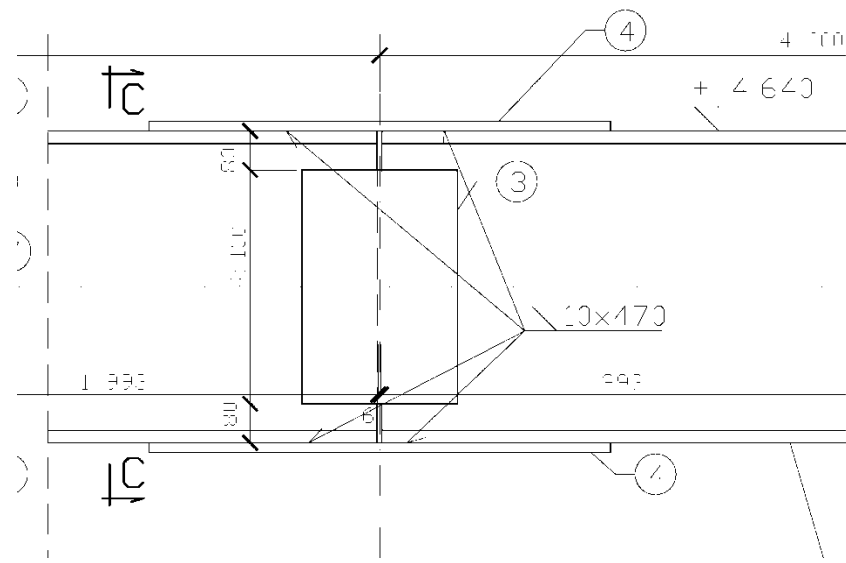
- spoina tworzy linię krzywą w trzech wymiarach;
- kąt rozwarcia między ściankami CHS zmienia się wzdłuż złącza;
- zaleca się stosowanie zarówno spoin czołowych, jak i pachwinowych w jednym węźle;
- współpraca tych dwóch typów spoin jest słabo opisana w literaturze.

Przykład 5

Spoiny pachwinowe



Rys: Autor



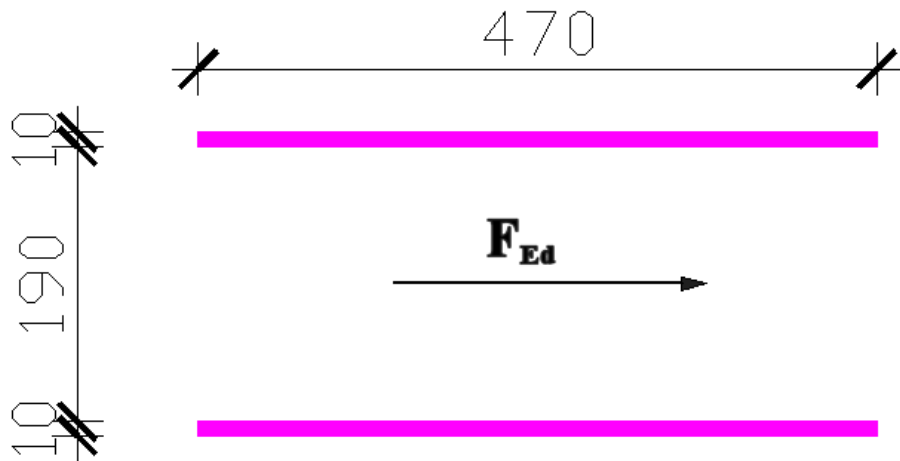
Spoiny między blachą węzłową a stężeniem, między nakładką a półką

Przykład przeanalizowany będzie dla dwu przypadków:

a) Gdy $l_{\text{weld}} \leq 150$ a

b) Gdy $l_{\text{weld}} > 150$ a

Przykład 5a



S235

$$A_v = 2 \cdot 10 \cdot 600 = 12\,000 \text{ mm}^2$$

$$F_{Ed} = 2\,374,3 \text{ kN}$$

Rys: Autor


$$\sigma = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau = F_{Ed} / A_v = 197,833 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \tau = 197,833 \text{ MPa}$$

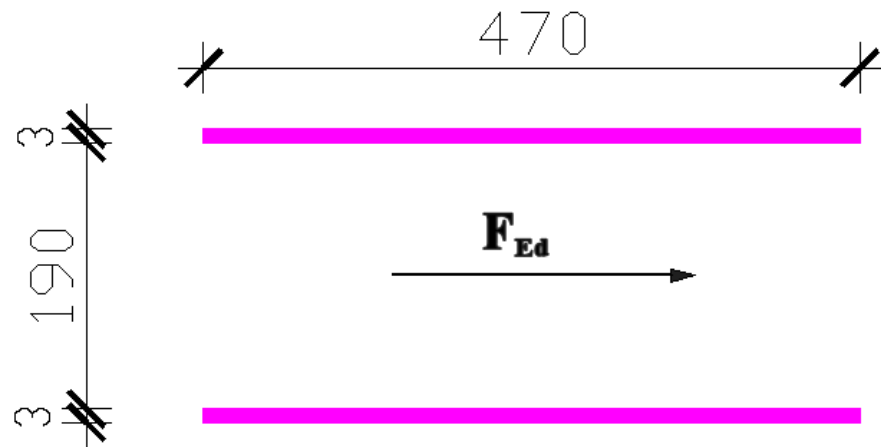
$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$
$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 342,657 \text{ MPa} < 360,000 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

W tej sytuacji jest pewien problem...

Przykład 5b



$$A_v = 2 \cdot 3 \cdot 600 = 3\,600 \text{ mm}^2$$

$$F_{Ed} = 712,3 \text{ kN}$$

Siła = 30% 5a

Powierzchnia = 30% 5a

Wyężenie takie samo

Ale...

$$l = 600 \text{ mm} > 150 a = 450 \text{ mm}$$

Długa spoina

Rys: Autor



Dla długich spoin wykres naprężeń staje się nieliniowy po długości spoiny. Wartości na końcach są wyższe niż w części centralnej. W modelu matematycznym przyjmujemy jednorodny rozkład naprężeń - może się okazać że na końcach naprężenia przekroczą nośność i dojdzie do zniszczenia spoiny.

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} \leq \beta_{LW} f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$

Warunek 2: $\sigma_{\perp} \leq 0,9 \beta_{LW} f_u / \gamma_{M2}$

Wartość β_{LW} dla różnych rodzajów spoiny:

Długość spoiny:	0 - ∞		
Pomiędzy półką a środkiem w dwuteownikach spawanych	1,0		
Długość spoiny:	L < 1,700 m	1,700 m < L < 8,500 m	L > 8,500 m
Pomiędzy żebrami poprzecznymi i belką w dwuteownikach spawanych	1,0	1,1 - L / 17	0,6
Długość spoiny:	L < 150 a	150 a < L < 900 a	L > 900 a
Wszystkie pozostałe przypadki	1,0	1,2 - 0,2 L / (150 a)	0,0

EN 1993-1-8 (4.9), (4.10)

$$\beta_{LW} = 1,2 - 0,2 \cdot 600 / 450 = 0,933$$

$$\beta_{LW} f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 336,000 \text{ MPa}$$


$$0,9 \beta_{LW} f_u / \gamma_{M2} = 241,920 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau = F_{Ed} / A_v = 197,861 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2} = 0,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \tau = 197,861 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 342,705 \text{ MPa} > 336,000 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa} < 241,920 \text{ MPa}$ 

Wnioski

Warunek	5a	5b
$\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} / [f_u / (\beta_w \gamma_{M2})]$	0,952	1,020
$\sigma_{\perp} / (0,9f_u / \gamma_{M2})$	0,000	0,000

Może się okazać, że przy wydłużaniu spoin wyteżenie w nich będzie rosło, a ich nośność będzie spadać.

Dla kątowników istotna jest odległość między środkiem ciężkości przekroju a
środkiem ciężkości spoin. Należy rozważyć dwie możliwości:

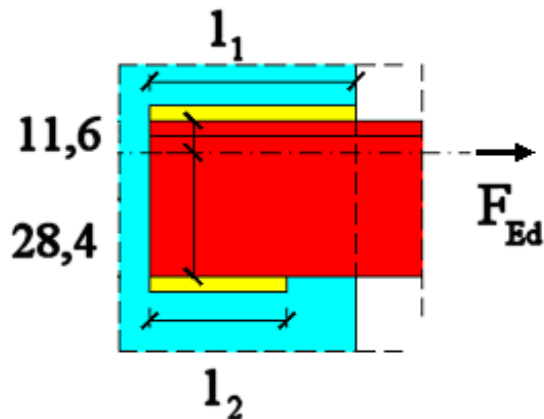
a) Odległość = 0

b) Odległość \neq 0

Przykład 6a

Różne długości spoin, brak mimośrodów

(Środek ciężkości spoin w tym samym miejscu,
co środek ciężkości kątownika)



Rys: Autor

S235

L 40x40x5

$a = 3 \text{ mm}$

$F_{Ed} = 182,2 \text{ kN}$

$$e_1 = 11,6 + a / 2 = 13,1 \text{ mm}$$

$$e_2 = 28,4 + a / 2 = 29,9 \text{ mm}$$

$$e_1 \cdot l_1 = e_2 \cdot l_2$$

$$l_1 = 2,284 l_2$$

Założenie:

$$l_1 = 205 \text{ mm}$$

$$l_2 = 90 \text{ mm}$$

$$\Sigma l = l_1 + l_2 = 295 \text{ mm}$$


$$A_v = a \Sigma l = 3 \cdot 295 = 885 \text{ mm}^2$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$

$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 0 \text{ MPa}$$

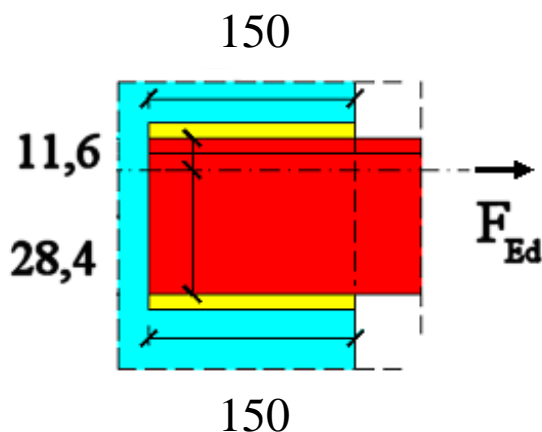
$$\tau_{\parallel} = \tau = F_{Ed} / A_v = 205,877 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 356,587 < 360,000 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Przykład 6b

Taka sama długość spoin, mimośród



Rys: Autor

S235

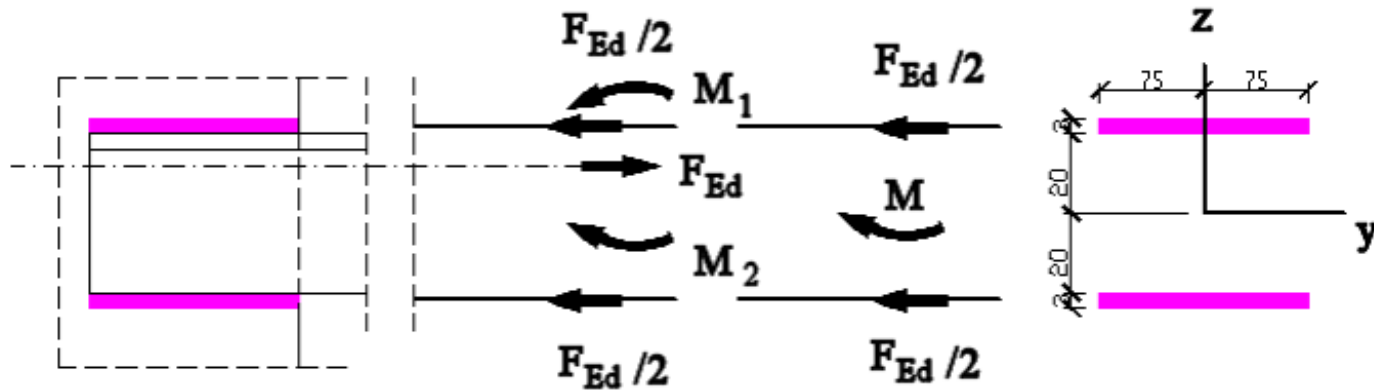
L 40x40x5

$a = 3 \text{ mm}$

$F_{ed} = 182,2 \text{ kN}$

$$A_v = 2 \cdot 3 \cdot 150 = 900 \text{ mm}^2$$

Rys: Autor



$$M_1 = e_1 F_{Ed} / 2 = 1,194 \text{ kNm}$$

$$M_2 = e_2 F_{Ed} / 2 = 2,724 \text{ kNm}$$

$$M = M_2 - M_1 = 1,530 \text{ kNm}$$

$$J_y = 2 \cdot 3 \cdot 150 \cdot (21,5)^2 = 416\,025 \text{ mm}^4$$

$$J_z = 2 \cdot 3 \cdot 150^3 / 12 = 1\,687\,500 \text{ mm}^4$$

$$J_o = J_y + J_z = 2\,103\,525 \text{ mm}^4$$

Obliczenia takie same jak dla przykładu 1:

$$\tau_F = F_{Ed} / A_v = 205,877 \text{ MPa}$$

$$\tau_M = M r_{\max} / J_o$$

$$r_{\max} = \sqrt{(75^2 + 23^2)} = 78,4 \text{ mm}$$

$$\sin \alpha = 23 / 78,4$$

$$\tau_M = 57,029 \text{ MPa}$$

$$\tau_{M \parallel} = \tau_M \sin \alpha = 16,731 \text{ MPa}$$

$$\tau_{M \perp} = \tau_M \cos \alpha = 54,521 \text{ MPa}$$


$$\sigma = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \tau_{M \parallel} + \tau_F = 222,608 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \tau_{M \perp} = 54,521 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa}$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$
$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 396,964 \text{ MPa} > 360,000 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Wnioski

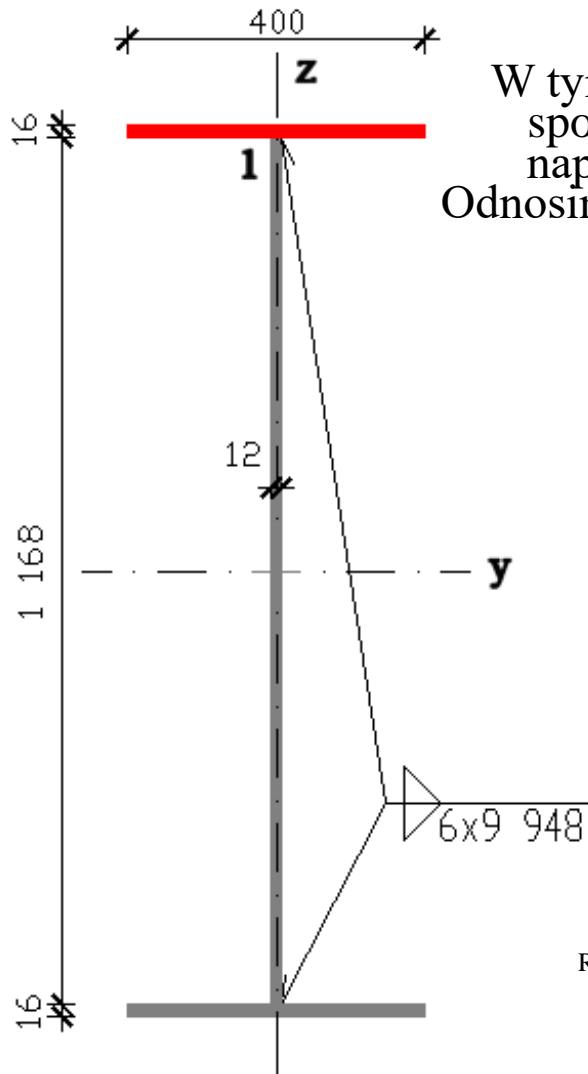
Warunek	6a	6b
$\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} / [f_u / (\beta_w \gamma_{M2})]$	0,991	1,103
$\sigma_{\perp} / (0,9f_u / \gamma_{M2})$	0,000	0,000

Efekt niezerowego mimośrodów daje istotne zwiększenie wytrzymałości spoiny nawet dla małych wartości mimośrodów.

Spoiny między półką a środkiem w dwuteowniku spawanym

Przykład 7

Spoiny pachwinowe



W tym przypadku naprężenia w spoinach jest takie samo jak naprężenie w dwuteowniku. Odnosimy się do geometrii belki, nie spoin.

S235

a = 6 mm

$$A_I = 2 \cdot 16 \cdot 400 + 1168 \cdot 12 = 26816 \text{ mm}^2$$

$$A_{vI} = 1168 \cdot 12 = 14016 \text{ mm}^2$$

$$J_{yI} = 12 \cdot 1168^3 / 12 + 2 \cdot 16 \cdot 400 \cdot (1168 / 2 + 16 / 2)^2 = 6079352832 \text{ mm}^4$$

$$S_y = 16 \cdot 400 \cdot (1168 / 2 + 16 / 2) = 3788800 \text{ mm}^3$$

$$z_1 = 1168 / 2 = 584 \text{ mm}$$

$$W_{yII} = J_{yI} / z_1 = 10409850 \text{ mm}^3$$

$$M_{Ed} = 1254,2 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1325,9 \text{ kN}$$

Rys: Autor

Rozważone zostanie trzy przypadki:

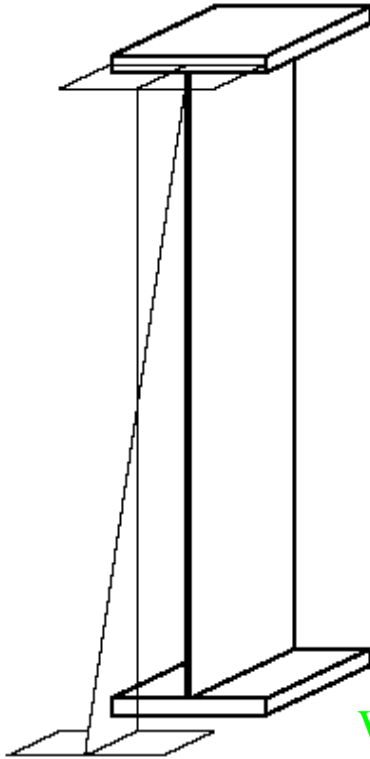
a) Spoiny pachwinowe ciągłe

b) Spoiny pachwinowe przerywane

c) Spoiny pachwinowe ciągłe i dodatkowe obciążenie poprzeczne

Rys: Autor

Przykład 7a



$$\sigma_1 = M_{Ed} / W_{yII} = 120,482 \text{ MPa}$$
$$\tau_1 = V_{Ed} S_y / (2 a J_{yI}) = 68,861 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \sigma_1 + \tau_1 = 189,343 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

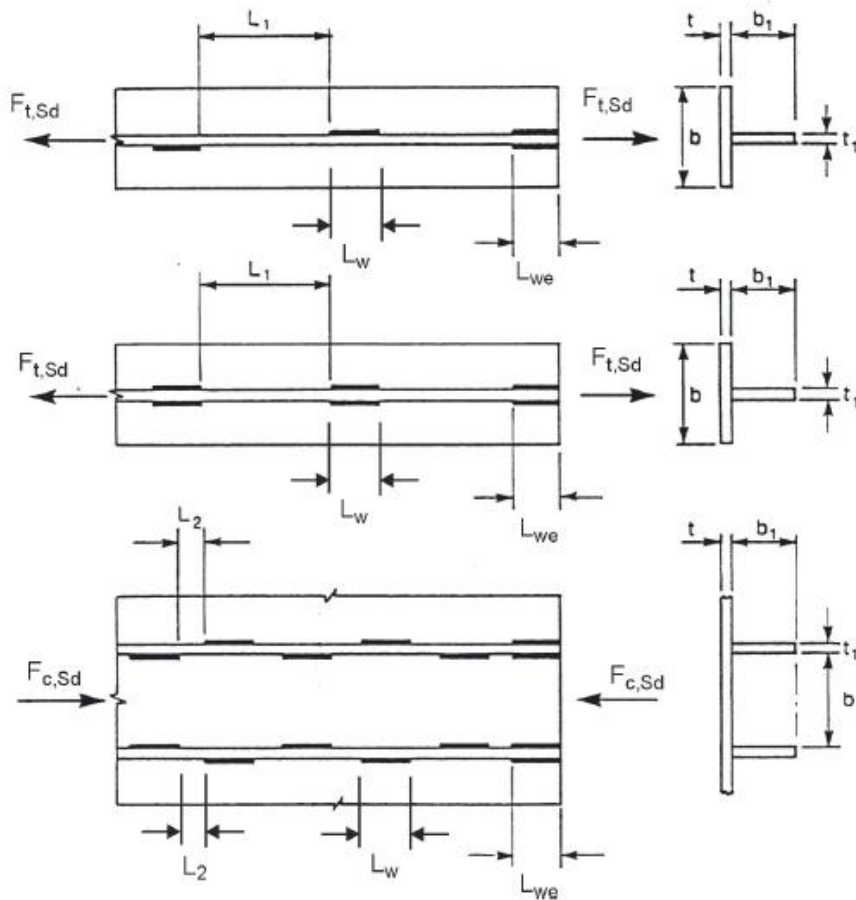
$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$

$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 267,771 \text{ MPa} < 360,000 \text{ MPa}$ 👍

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 👍

Przykład 7b



Rys: EN 1993-1-8 fig 4.1

Spoiny pachwinowe przerywane zmniejszają sumaryczną długość spoin i zużycie elektrod. Tego typu spoiny można stosować wyłącznie do połączeń typu półka-środek. Dlatego nie można ich stosować w przypadku takim jak w przykładzie 5b. W analizowanym przypadku (\rightarrow #16 / 19):

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$t = 16 \text{ mm}$$

$$b_1 = 1\,168 \text{ mm}$$

$$t_1 = 12 \text{ mm}$$

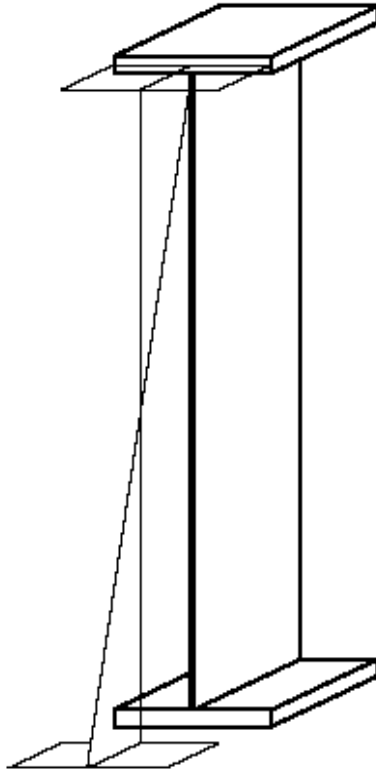
$$L_w \geq \min(0,75 b ; 0,75 b_1) = \\ = \min(300 ; 876) = 300 \text{ mm}$$

$$L_2 \leq \min(12 t ; 12 t_1 ; 0,25 b ; 200 \text{ mm}) = \\ = \min(192 ; 144 ; 100 ; 200) = 100 \text{ mm}$$

Przyjęto:

$$L_w = 350 \text{ mm}$$

$$L_2 = 50 \text{ mm}$$



$$\tau_{\parallel} = (\sigma_1 + \tau_1) (L_w + L_1) / L_w = 216,392 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$

$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

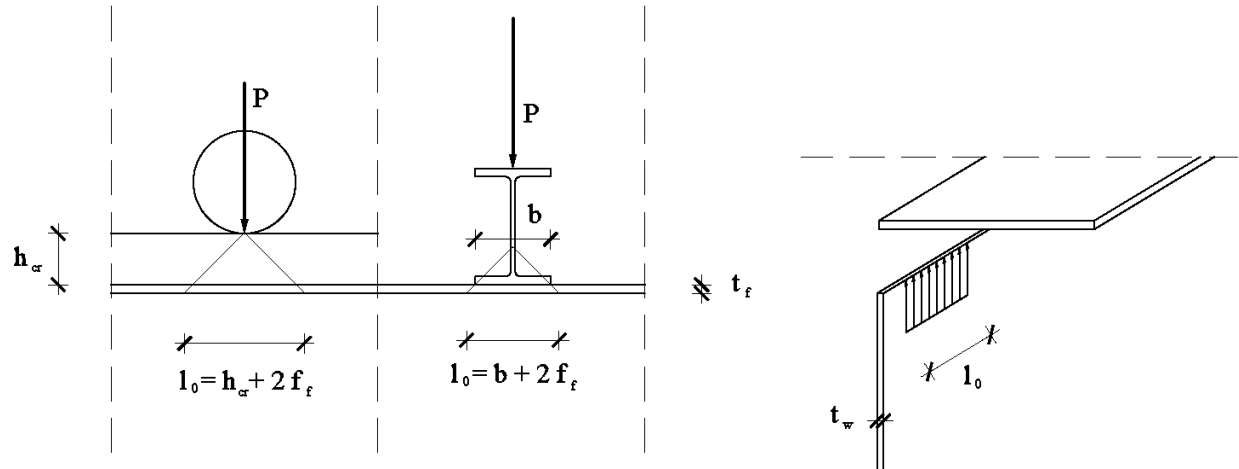
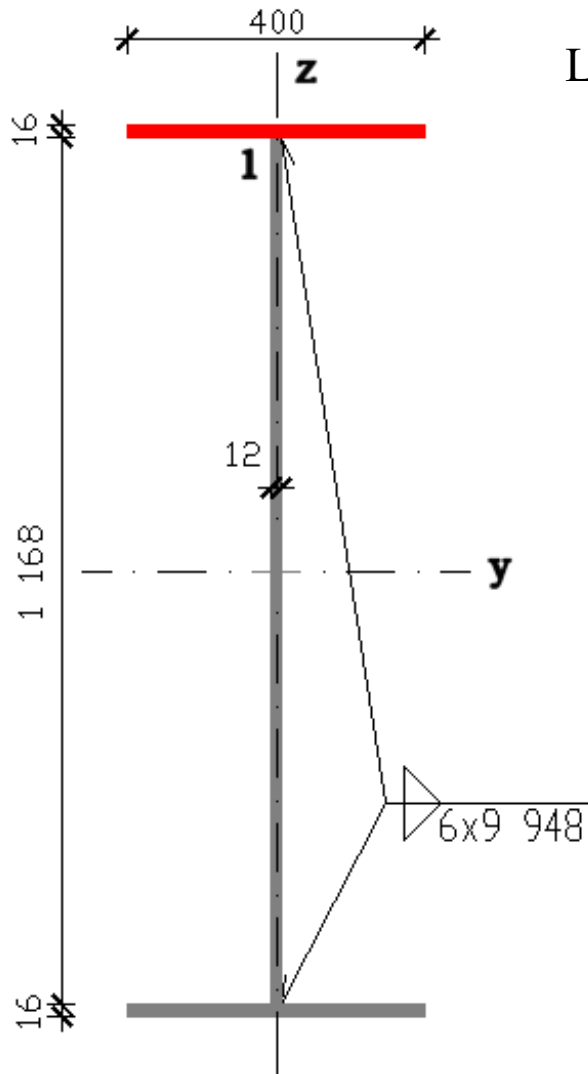
Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 374,802 \text{ MPa} > 360,000 \text{ MPa}$ 🙅

Rys: Autor

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 0,000 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 👍

Przykład 7c

Lokalne obciążenie poprzeczne od suwnicy lub belki poprzecznej



Rys: Autor

S235


$P = 136,4 \text{ kN}$


$l_0 = 212 \text{ mm}$

$$\sigma_z = P / (l_0 \cdot 2 \cdot a) = 53,616 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \sigma_1 + \tau_1 = 189,343 \text{ MPa}$$
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \sigma_z / \sqrt{2} = 37,912 \text{ MPa}$$

$$f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360,000 \text{ MPa}$$
$$0,9f_u / \gamma_{M2} = 259,200 \text{ MPa}$$

Warunek 1: $\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} = 336,603 \text{ MPa} < 360,000 \text{ MPa}$ 

Warunek 2: $\sigma_{\perp} = 37,912 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$ 

Wnioski

Warunek	7a	7b	7c
$\sqrt{[(\sigma_{\perp})^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)]} / [f_u / (\beta_w \gamma_{M2})]$	0,744	1,041	0,935
$\sigma_{\perp} / (0,9f_u / \gamma_{M2})$	0,000	0,000	0,146

Spoiny przerywane mogą się okazać za słabe.

Przykład 8

Spoiny w belkach azurowych

Rys: rfstearns.com

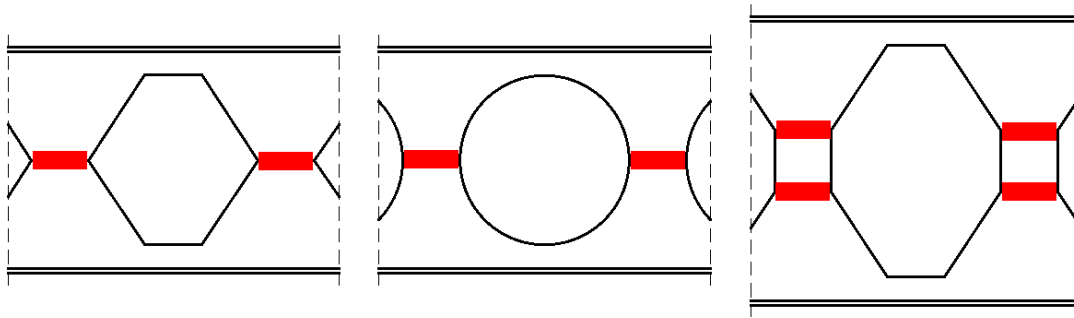


Rys: gunungsteel.com

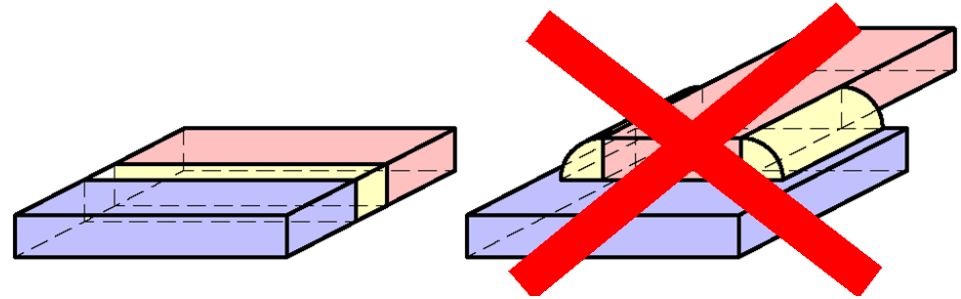
Rys: H. W. Al-Thabhawe, A. Mohammed, Experimental study for strengthening octagonal castellated steel beams using circular and octagonal ring stiffeners, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 584 / 2019



Spoiny między dwoma częściami dwuteownika lub połową dwuteownika i dodatkową płytką dystansową.



Rys: Autor



W takich miejscach spoin nie jest możliwe nakładanie się elementów węzła. Wszystkie części muszą leżeć w tej samej płaszczyźnie. Możliwe są więc tylko spoiny czołowe.

Spoiny czołowe: spełnione wymagania techniczne dla spoiny + wystarczająco nośny słabszy element → obliczenia nośności spoiny nie są konieczne (→ #t / 5)

Przykład 9

Węzeł kratownicowy montażowy

Rys: encrypted-tbn0.gstatic.com



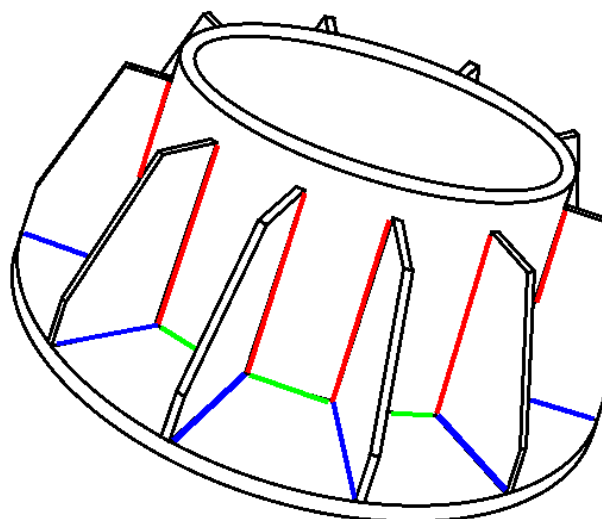
Rys: Autor

Spoiny między:

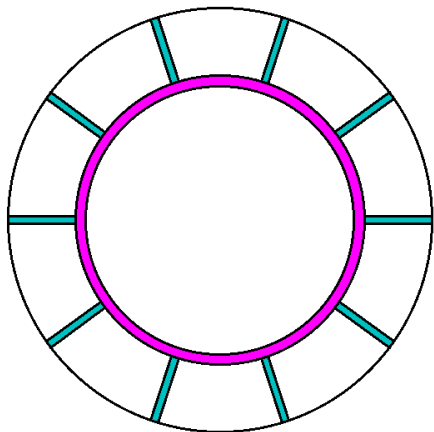
prętem i kołnierzem, powierzchnia A_1

prętem i żebrami podłużnymi, powierzchnia A_2

żebrami i kołnierzem, powierzchnia A_3



Rys: Autor



Siła osiowa N_{Ed} będzie w węźle rozdzielona między końcowy odcinek pręta i żebra:

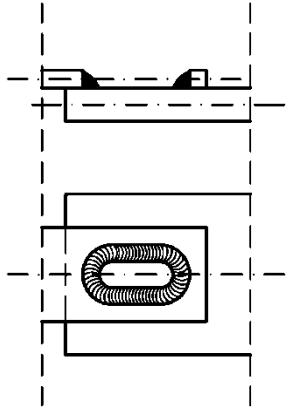
$$N_{Ed, CHS} = N_{Ed} \frac{A_{CHS}}{A_{CHS} + A_{St}}$$

$$N_{Ed, St} = N_{Ed} \frac{A_{St}}{A_{CHS} + A_{St}}$$

Spoiny między	Siła	Orientacja siły w stosunku do spoiny	Obliczenia według przykładu	Naprężenia
prętem i kołnierzem	$N_{Ed, CHS}$	Prostopadłe	#4a	$\sigma = N_{Ed, CHS} / A_1$ $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$ $\tau_{\parallel} = 0$
prętem i żebrami podłużnymi	$N_{Ed, St}$	Równoległe	#5a	$\tau_{\parallel} = N_{Ed, St} / A_2$ $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$
żebrami i kołnierzem	$N_{Ed, St}$	Prostopadłe	#3a	$\sigma = N_{Ed, St} / A_3$ $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$ $\tau_{\parallel} = 0$

Przykład 10

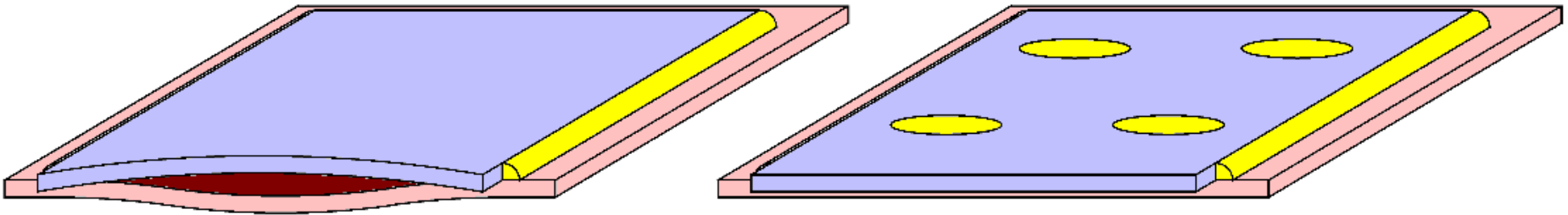
Spoiny pachwinowe obwodowe



Rys: Autor

Pomocnicze dla dużych nakładek, przykładek,
wzmocnień środka itp.
(Dla zapewnienia lepszej współpracy blach i
zabezpieczenia przed wyboczeniem blach)

Obliczenia wedle tej samej metody co w przykładzie 1

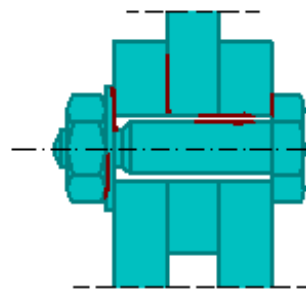


Szczelinowa

Rys: epg.science.cmu.ac.th



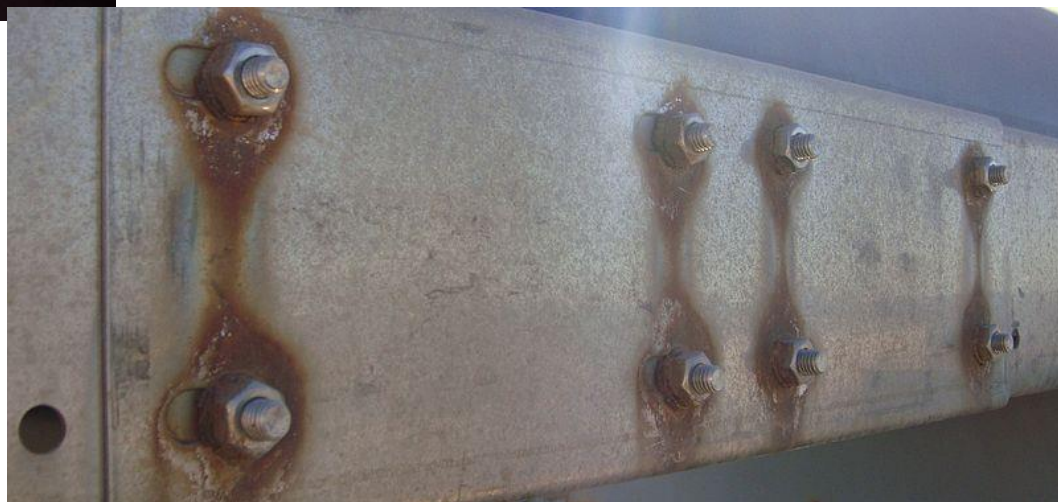
Rys: Autor



Ograniczona cyrkulacja powietrza i ograniczony dostęp tlenu, nierównomierne rozmieszczenie trudno i łatwo rozpuszczalnych soli na powierzchni szczeliny, zwiększona agresywność środowiska wewnątrz szczeliny

→ #7 / 18

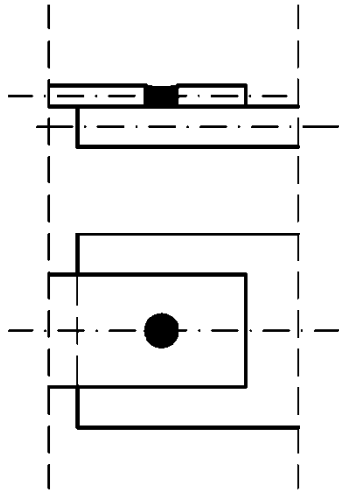
Kontaktowa (bimetaliczna; dwa różne metale lub dwa różne stopy): ogniwo galwaniczne w przypadku obecności wody / elektrolitu



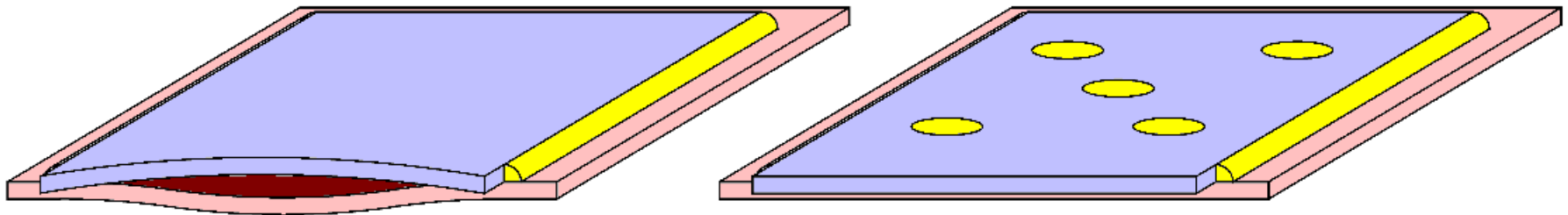
Rys: wikipedia

Przykład 11

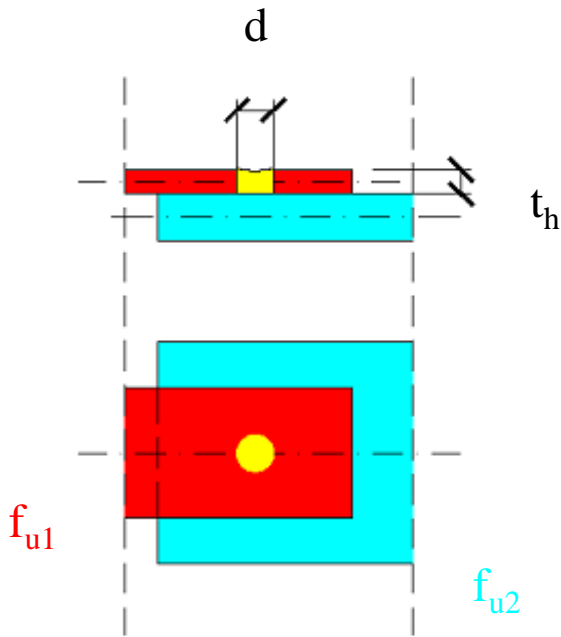
Spoiny otworowe



Pomocnicze dla dużych nakładek, przykładek, wzmocnień środka itp.
(Dla zapewnienia lepszej współpracy blach i zabezpieczenia przed wyboczeniem blach)



Rys: Autor



Obliczenia analogicznie jak w przykładzie 1

$$F_{w, Rd} = A_w f_u / (\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2})$$

$$A_w = \pi d^2 / 4$$

$$f_u = \min (f_{u1} ; f_{u2})$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Rys: Autor

stal	S 235	S 275	S 355	S 420	S 460
β_w	0,80	0,85	0,90	1,00	

EN 1993-1-8 tab 4.1

Zagadnienia egzaminacyjne

Wstępny dobór geometrii spoin pachwinowych

Nośność spoin pachwinowych

Przeliczenie sił przekrojowych na naprężenia dla różnych rodzajów spoin

Dziękuję za uwagę

© 2025 dr inż. Tomasz Michałowski

tmichal@usk.pk.edu.pl