

Węzeł nr 4 - Połączenie doczołowe belki do słupa**Informacje o węźle**

Polożenie: (x=6.100m, y=1.000m)

Dane projektowe połączenia**Profil belki przy blasze czołowej (HE-AA 167):**

| | | | | | |
|---------------|------------|----------------|------------|-------------|----------|
| Stal: | fy: | 275.0 [MPa] | fu: | 430.0 [MPa] | |
| Wysokość: | 167.0 [mm] | Szerokość: | 180.0 [mm] | Gr. półki: | 7.5 [mm] |
| Gr. środnika: | 5.0 [mm] | Pr. zaokrągl.: | 15.0 [mm] | | |

Profil słupa (HE-AA 283):

| | | | | | |
|---------------|------------|----------------|------------|-------------|-----------|
| Stal: | fy: | 355.0 [MPa] | fu: | 490.0 [MPa] | |
| Wysokość: | 283.0 [mm] | Szerokość: | 300.0 [mm] | Gr. półki: | 10.5 [mm] |
| Gr. środnika: | 7.5 [mm] | Pr. zaokrągl.: | 27.0 [mm] | | |

Blacha czołowa:

| | | | | | |
|-----------|------------|-------------|------------|-------------|-----------|
| Stal: | fy: | 275.0 [MPa] | fu: | 430.0 [MPa] | |
| Wysokość: | 190.0 [mm] | Szerokość: | 180.0 [mm] | Grubość: | 10.0 [mm] |

Parametry śrub:

Typ śrub: M12

Klasa śrub: 8.8

Ilość śrub: 6

Rozstaw poziomy śrub: 100.0 [mm],

Rozstaw pionowy śrub: 40.0 [mm], 40.0 [mm],

Polożenie pierwszego rzędu śrub względem górnej krawędzi blachy: 55.0 [mm]

Parametry spawu łączącego blachę czołową z profilem:

Grubość spoiny półki: 4.0 [mm]

Grubość spoiny środnika: 4.0 [mm]

Obliczenia

Najbardziej niekorzystna kombinacja: ('+0', '+1', '+2')

Nośność na ścinanie (7.0 %)**Nośność śruby na ścięcie trzpienia:**

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 12.0^2}{4} = 113 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.600 \cdot 0.800 \cdot 113}{1.25} = 43.4 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Ed} = 3.0 \text{ kN} \leq 43.4 \text{ kN} = F_{v,Rd}$$

Warunek nośności spełniony.**Nośność śruby na docisk śruby do ścianki otworu:**

Szereg numer: 1

$$\alpha_d = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_{1,min}}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{55.0}{3 \cdot 13.0}; \frac{40.0}{3 \cdot 13.0} - \frac{1}{4}\right) = 0.776$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(0.776; \frac{0.800}{0.430}, 1\right) = 0.776$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 40.0}{13.0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 100.0}{13.0} - 1.7\right) = 2.50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{2.50 \cdot 0.776 \cdot 0.430 \cdot 10.00 \cdot 12.0}{1.25} = 80.0 \text{ kN}$$

Szereg numer: 2

$$\alpha_d = \min\left(\frac{p_{1,min}}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{40.0}{3 \cdot 13.0} - \frac{1}{4}\right) = 0.776$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(0.776; \frac{0.800}{0.430}, 1\right) = 0.776$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 40.0}{13.0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 100.0}{13.0} - 1.7\right) = 2.50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{2.50 \cdot 0.776 \cdot 0.430 \cdot 10.00 \cdot 12.0}{1.25} = 80.0 \text{ kN}$$

Szereg numer: 3

$$\alpha_d = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_{1,min}}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{55.0}{3 \cdot 13.0}; \frac{40.0}{3 \cdot 13.0} - \frac{1}{4}\right) = 0.776$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(0.776; \frac{0.800}{0.430}, 1\right) = 0.776$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 40.0}{13.0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 100.0}{13.0} - 1.7\right) = 2.50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{2.50 \cdot 0.776 \cdot 0.430 \cdot 10.00 \cdot 12.0}{1.25} = 80.0 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,Ed} = 3.0 \text{ kN} \leq 80.0 \text{ kN} = F_{b,Rd}$$

Warunek nośności spełniony.**Nośność na rozciąganie (3.3 %)**

Nośność śruby na rozciąganie:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.900 \cdot 0.800 \cdot 84.3}{1.25} = 48.6 \text{ kN}$$

Nośność śruby na przeciągnięcie trzpienia:

$$B_{p,Rd} = 0.6 \pi d_m t_p f_{up} / \gamma_{M2} = 0.6 \cdot \pi \cdot 19.9 \cdot 10.00 \cdot 0.430 / 1.25 = 128 \text{ kN}$$

Nośność śruby na rozciąganie z uwzględnieniem ścinania:

$$F_{t,v,Rd} = \min\left(1.4 \left(1 - \frac{|F_{v,Ed}|}{F_{v,Rd}}\right), F_{t,Rd}\right) = \min\left(1.4 \left(1 - \frac{|3.04|}{43.4}\right), 48.6\right) = 48.6 \text{ kN}$$

Nośność blachy czołowej:

Najbardziej niekorzystny układ szeregów śrub: 1+2+3)

Szereg numer: 1

Długości efektywne śrub:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(175, 162) = 162 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 162 \text{ mm}$$

Szereg numer: 2

Długości efektywne śrub:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(175, 133) = 133 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 133 \text{ mm}$$

Szereg numer: 3

Długości efektywne śrub:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(175, 160) = 160 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 160 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 1+2+3:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 456 \cdot 10,00^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 3139 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 456 \cdot 10,00^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 3139 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 3139 / 43,0 = 292 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 3139 + 40,0 \cdot 6,00 \cdot 48,6}{43,0 + 40,0} = 216 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 6,00 \cdot 48,6 = 291 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(292, 216, 291) = 216 \text{ kN}$$

Nośność całkowita na rozciąganie:

$$N_{ep,Ed} = \Sigma F_{t,ep,Rd} = 216,12 = 216 \text{ kN}$$

Nośność środka belki w strefie rozciągania:

Najbardziej niekorzystny układ szeregów śrub: 1+2+3)

Króćciec teowy 1+2+3:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_y / \gamma_{M0} = 456 \cdot 5,00 \cdot 0,275 \cdot 1,000 = 627 \text{ kN}$$

Nośność całkowita na rozciąganie:

$$N_{wb,Ed} = \Sigma F_{t,wb,Rd} = 627,89 = 627 \text{ kN}$$

Nośność zginanego pasa słupa:

Najbardziej niekorzystny układ szeregów śrub: 1+2+3)

Szereg numer: 1

Długości efektywne śrub:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(117, 131) = 117 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 131 \text{ mm}$$

Szereg numer: 2

Długości efektywne śrub:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(80,0, 40,0) = 40,0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 40,0 \text{ mm}$$

Szereg numer: 3

Długości efektywne śrub:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(117, 131) = 117 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 131 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 1+2+3:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 274 \cdot 10,5^2 \cdot 0,355 / 1,000 = 2689 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 303 \cdot 10,5^2 \cdot 0,355 / 1,000 = 2970 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 2689 / 24,6 = 436 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 2970 + 30,8 \cdot 6,00 \cdot 48,6}{24,6 + 30,8} = 268 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 6,00 \cdot 48,6 = 291 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(436, 268, 291) = 268 \text{ kN}$$

Nośność całkowita na rozciąganie:

$$N_{fc,Ed} = \Sigma F_{t,fc,Rd} = 268,98 = 268 \text{ kN}$$

Nośność środka słupa przy poprzecznym rozciąganiu:

Najbardziej niekorzystny układ szeregów śrub: 1+2+3)

Króciec teowy 1+2+3:

Szerokość efektywna środka słupa przy rozciąganiu:

$$b_{eff,t,wc} = 274 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,000$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(b_{eff,t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(274 \cdot 7,50 / 3,25)^2}} = 0,810$$

$$\beta = 1,0 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0,810$$

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,810 \cdot 274 \cdot 7,50 \cdot 0,355}{1,000} = 592 \text{ kN}$$

Nośność całkowita na rozciąganie:

$$N_{wc,Ed} = \Sigma F_{t,wc,Rd} = 592,90 = 592 \text{ kN}$$

Nośność całkowita węzła na rozciąganie:

Nośność całkowita:

$$N_{j,Rd} = \min(N_{fc,Rd}; N_{wb,Rd}; N_{wc,Rd}; N_{ep,Rd})$$

$$N_{j,Rd} = \min(269,0; 627,9; 592,9; 216,1) = 216,1 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$N_{j,Ed} = 7,1 \text{ kN} \leq 216,1 \text{ kN} = N_{j,Rd}$$

Warunek nośności spełniony.

Nośność na zginanie (38.7 %)

Nośność środka słupa przy poprzecznym ściskaniu:

Szerokość efektywna środka słupa przy ściskaniu:

$$s_p = \min(t_p + c, 2t_p) = \min(10,00 + 5,34, 2 \cdot 10,00) = 15,3 \text{ mm}$$

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + z_{f,t} + z_{f,b} + 5(t_{fc} + s) + s_p = 7,50 + 5,66 + 5,66 + 5(10,5 + 27,0) + 15,3 = 221 \text{ mm}$$

Smukłość płytowa:

$$d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + r_c) = 283 - 2(10,5 + 27,0) = 208 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}} = 0,932 \sqrt{\frac{221 \cdot 208 \cdot 0,355}{210 \cdot 7,50^2}} = 1,10$$

Współczynnik redukcyjny ze względu na wyboczenie miejscowe:

$$\bar{\lambda}_p > 0,72 \Rightarrow \rho = (\bar{\lambda}_p - 0,2) \bar{\lambda}_p^2 = (1,10 - 0,2) 1,10^2 = 0,745$$

Maksymalne ściskające naprężenia normalne w części płaskiej środka słupa:

$$\sigma_{com,Ed} = 4.62 \text{ MPa}$$

$$0,7 f_{y,wc} = 0,7 \cdot 355 = 248 \text{ MPa}$$

Współczynnik redukcyjny:

$$\sigma_{com,Ed} \leq 0,7 f_{y,wc} \Rightarrow k_{wc} = 1$$

Współczynnik redukcyjny ze względu na interakcję ze ścinaniem:

$$\beta = 1.000$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(b_{eff,c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(221 \cdot 7.50 / 3.25)^2}} = 0.864$$

$$\beta = 1,0 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.864$$

Nośności nieuzębrowanego środka słupa przy poprzecznym ściskaniu:

$$F_{c,wc,Rd,1} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.864 \cdot 1.000 \cdot 221 \cdot 7.50 \cdot 0.355}{1.000} = 509 \text{ kN}$$

$$F_{c,wc,Rd,2} = \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} = \frac{0.864 \cdot 1.000 \cdot 0.745 \cdot 221 \cdot 7.50 \cdot 0.355}{1.000} = 379 \text{ kN}$$

Nośność środka słupa przy poprzecznym ściskaniu:

$$F_{c,wc,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd,1}; F_{c,wc,Rd,2}) = \min(509; 379) = 379 \text{ kN}$$

Nośność pasa i środka belki w strefie ściskania:

Nośność na ścinanie:

$$A_v = \min(A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f, \eta h_w t_w)$$

$$A_v = \min(3656 - 2 \cdot 180 \cdot 7.50 + (5.00 + 2 \cdot 15.0) 7.50, 1.20 \cdot 152 \cdot 5.00) = 1219 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1219 (0.275 \cdot \sqrt{3})}{1.000} = 193 \text{ kN}$$

Nośność na zginanie (przekrój belki klasy 1):

$$M_{y,c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{260311 \cdot 0.275}{1.000} = 71585 \text{ kNmm}$$

Pominięto wpływ ścinania na nośność przy zginaniu:

$$|V_{Ed}| = 18.2 \text{ kN} < 96.8 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd}$$

Nośność pasa i środka belki w strefie ściskania:

$$F_{c,fb,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb}) = 71585 / (167 - 7.50) = 448 \text{ kN}$$

Nośność panelu środka słupa przy ścinaniu:

Obliczeniowa nośność przy ścinaniu panelu środka słupa:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0.9 \cdot 0.355 \cdot A_{vc} Q}{\sqrt{3} \cdot 1.000} = 599 \text{ kN}$$

Nośność blachy czołowej:

Szeregi śrub 1, 2 rozpatrywane indywidualnie:

Długości efektywne szeregu 1:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(270, 253) = 253 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 253 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 1:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 253 \cdot 10.00^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 1743 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 253 \cdot 10.00^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 1743 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 1743 / 43.0 = 162 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 1743 + 40.0 \cdot 2.00 \cdot 48.6}{43.0 + 40.0} = 88.9 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2.00 \cdot 48.6 = 97.1 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(162, 88.9, 97.1) = 88.9 \text{ kN}$$

Długości efektywne szeregu 2:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(270, 224) = 224 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 224 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 2:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 224 \cdot 10.00^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 1540 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 224 \cdot 10.00^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 1540 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 1540 / 43.0 = 143 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 1540 + 40.0 \cdot 2.00 \cdot 48.6}{43.0 + 40.0} = 83.9 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2.00 \cdot 48.6 = 97.1 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(143, 83.9, 97.1) = 83.9 \text{ kN}$$

Szeregi śrub jako część grupy szeregów śrub (grupa: 1+2):

Długości efektywne szeregu 1:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(175, 162) = 162 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 162 \text{ mm}$$

Długości efektywne szeregu 2:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(175, 133) = 133 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 133 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 1+2:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 295 \cdot 10.00^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 2033 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 295 \cdot 10.00^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 2033 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 2033 / 43.0 = 189 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 2033 + 40.0 \cdot 4.00 \cdot 48.6}{43.0 + 40.0} = 142 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 4.00 \cdot 48.6 = 194 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(189, 142, 194) = 142 \text{ kN}$$

Szereg śrub 3 rozpatrywany indywidualnie:

Długości efektywne szeregu 3:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(270, 251) = 251 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 251 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 3:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 251 \cdot 10.00^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 1730 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 251 \cdot 10.00^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 1730 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 1730 / 43.0 = 161 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 1730 + 40.0 \cdot 2.00 \cdot 48.6}{43.0 + 40.0} = 88.5 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2.00 \cdot 48.6 = 97.1 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd} F_{T,2,Rd} F_{T,3,Rd}) = \min(161, 88.5, 97.1) = 88.5 \text{ kN}$$

Nośność środka belki w strefie rozciągania:

Króciec teowy 1:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 253 \cdot 5.00 \cdot 0.275 \cdot 1.000 = 348 \text{ kN}$$

Króciec teowy 2:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 224 \cdot 5.00 \cdot 0.275 \cdot 1.000 = 308 \text{ kN}$$

Króciec teowy 1+2:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 295 \cdot 5.00 \cdot 0.275 \cdot 1.000 = 406 \text{ kN}$$

Króciec teowy 3:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 251 \cdot 5.00 \cdot 0.275 \cdot 1.000 = 346 \text{ kN}$$

Nośność zginanego pasa słupa:

Szeregi śrub 1, 2 rozpatrywane indywidualnie:

Długości efektywne szeregu 1:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(154, 223) = 154 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 223 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 1:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 154 \cdot 10.5^2 \cdot 0.355 / 1.000 = 1515 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 223 \cdot 10.5^2 \cdot 0.355 / 1.000 = 2187 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 1515 / 24.6 = 245 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 2187 + 30.8 \cdot 2.00 \cdot 48.6}{24.6 + 30.8} = 132 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2.00 \cdot 48.6 = 97.1 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd} F_{T,2,Rd} F_{T,3,Rd}) = \min(245, 132, 97.1) = 97.1 \text{ kN}$$

Długości efektywne szeregu 2:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(154, 223) = 154 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 223 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 2:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 154 \cdot 10.5^2 \cdot 0.355 / 1.000 = 1515 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 223 \cdot 10.5^2 \cdot 0.355 / 1.000 = 2187 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 1515 / 24.6 = 245 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 2187 + 30.8 \cdot 2.00 \cdot 48.6}{24.6 + 30.8} = 132 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2.00 \cdot 48.6 = 97.1 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd} F_{T,2,Rd} F_{T,3,Rd}) = \min(245, 132, 97.1) = 97.1 \text{ kN}$$

Szeregi śrub jako część grupy szeregów śrub (grupa: 1+2):

Długości efektywne szeregu 1:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(117, 131) = 117 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 131 \text{ mm}$$

Długości efektywne szeregu 2:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(117, 131) = 117 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 131 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 1+2:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 234 \cdot 10,5^2 \cdot 0,355 / 1,000 = 2298 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 263 \cdot 10,5^2 \cdot 0,355 / 1,000 = 2579 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 2298 / 24,6 = 372 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 2579 + 30,8 \cdot 4,00 \cdot 48,6}{24,6 + 30,8} = 200 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 4,00 \cdot 48,6 = 194 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(372, 200, 194) = 194 \text{ kN}$$

Szereg śrub 3 rozpatrywany indywidualnie:

Długości efektywne szeregu 3:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(154, 223) = 154 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 223 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 3:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 154 \cdot 10,5^2 \cdot 0,355 / 1,000 = 1515 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 223 \cdot 10,5^2 \cdot 0,355 / 1,000 = 2187 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 1515 / 24,6 = 245 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 2187 + 30,8 \cdot 2,00 \cdot 48,6}{24,6 + 30,8} = 132 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2,00 \cdot 48,6 = 97,1 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(245, 132, 97,1) = 97,1 \text{ kN}$$

Nośność środnika słupa przy poprzecznym rozciąganiu:

Króciec teowy 1:

Szerokość efektywna środnika słupa przy rozciąganiu:

$$b_{eff,t,wc} = 154 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,000$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(b_{eff,t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(154 \cdot 7,50 / 3,25)^2}} = 0,926$$

$$\beta = 1,0 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0,926$$

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,926 \cdot 154 \cdot 7,50 \cdot 0,355}{1,000} = 381 \text{ kN}$$

Króciec teowy 2:

Szerokość efektywna środnika słupa przy rozciąganiu:

$$b_{eff,t,wc} = 154 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,000$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(b_{eff,t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(154 \cdot 7,50 / 3,25)^2}} = 0,926$$

$$\beta = 1,0 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0,926$$

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,926 \cdot 154 \cdot 7,50 \cdot 0,355}{1,000} = 381 \text{ kN}$$

Króciec teowy 1+2:

Szerokość efektywna środnika słupa przy rozciąganiu:

$$b_{eff,t,wc} = 234 \text{ mm}$$

$$\beta = 1.000$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(b_{eff,t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(234 \cdot 7.50 / 3.25)^2}} = 0.851$$

$$\beta = 1,0 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.851$$

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.851 \cdot 234 \cdot 7.50 \cdot 0.355}{1.000} = 531 \text{ kN}$$

Króciec teowy 3:

Szerokość efektywna środka słupa przy rozciąganiu:

$$b_{eff,t,wc} = 154 \text{ mm}$$

$$\beta = 1.000$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(b_{eff,t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+1,3(154 \cdot 7.50 / 3.25)^2}} = 0.926$$

$$\beta = 1,0 \Rightarrow \omega = \omega_1 = 0.926$$

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.926 \cdot 154 \cdot 7.50 \cdot 0.355}{1.000} = 381 \text{ kN}$$

Nośności całkowite poszczególnych szeregów śrub:

Szereg 1:

$$F_{t,1,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{c,fb,Rd} = 448.8 \\ V_{\phi,Rd} / \beta = 599.2 \\ F_{c,wc,Rd} = 379.9 \\ F_{t,1,fc,Rd} = 97.1 \\ F_{t,1,ep,Rd} = 88.9 \\ F_{t,1,wc,Rd} = 381.8 \\ F_{t,1,wb,Rd} = 348.8 \end{array} \right\} = 88.9 \text{ kN}$$

Szereg 2:

$$F_{t,2,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{c,fb,Rd} - F_{1,t,Rd} = 448.8 - 88.9 = 360.0 \\ V_{\phi,Rd} / \beta - F_{1,t,Rd} = 599.2 - 88.9 = 510.3 \\ F_{c,wc,Rd} - F_{1,t,Rd} = 379.9 - 88.9 = 291.1 \\ F_{t,2,fc,Rd} = 97.1 \\ F_{t,2,ep,Rd} = 83.9 \\ F_{t,2,wc,Rd} = 381.8 \\ F_{t,2,wb,Rd} = 308.1 \\ F_{t,1+2,fc,Rd} - F_{1,t,Rd} = 194.2 - 88.9 = 105.4 \\ F_{t,1+2,ep,Rd} - F_{1,t,Rd} = 142.7 - 88.9 = 53.8 \\ F_{t,1+2,wc,Rd} - F_{1,t,Rd} = 531.9 - 88.9 = 443.0 \\ F_{t,1+2,wb,Rd} - F_{1,t,Rd} = 406.8 - 88.9 = 317.9 \end{array} \right\} = 53.8 \text{ kN}$$

Szereg 3:

$$F_{t,3,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} F_{c,fb,Rd} - (F_{1,t,Rd} + F_{2,t,Rd}) = 448.8 - 142.7 = 306.2 \\ V_{\varphi,Rd} / \beta - (F_{1,t,Rd} + F_{2,t,Rd}) = 599.2 - 142.7 = 456.5 \\ F_{c,wc,Rd} - (F_{1,t,Rd} + F_{2,t,Rd}) = 379.9 - 142.7 = 237.3 \\ F_{t,3,fc,Rd} = 97.1 \\ F_{t,3,ep,Rd} = 88.5 \\ F_{t,3,wc,Rd} = 381.8 \\ F_{t,3,wb,Rd} = 346.2 \end{array} \right) = 88.5 \text{ kN}$$

Nośności węzła na zginanie:

$$M_{j,Rd} = \sum_1^3 h_r F_{tr,Rd} = 0.1203 \cdot 88.9 + 0.0803 \cdot 53.8 + 0.0403 \cdot 88.5 = 18.6 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$M_{j,Ed} = 7.2 \text{ kNm} \leq 18.6 \text{ kNm} = M_{j,Rd}$$

Warunek nośności spełniony.

Interakcja zginania i rozciągania (42.0 %)

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} = \frac{7193}{18565} + \frac{7.08}{216} = 0.420 \leq 1.0$$

Warunek nośności spełniony.

Nośność spoin (18.8 %)

Parametry spoin:

$$A_w = 19.3 \text{ cm}^2, A_{w,w} = 4.88 \text{ cm}^2, I_{w,y} = 1795 \text{ cm}^4$$

Naprężenia normalne:

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{I_{w,y}} z_p = \frac{719}{1795} \cdot 6.10 = 2.81 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne prostopadłe do osi spoiny:

$$\tau_{\perp} = \sigma \cdot \cos(\theta) = 2.81 \cdot \cos(45.0) = 1.99 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny:

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cdot \sin(\theta) = 2.81 \cdot \sin(45.0) = 1.99 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne równoległe do osi spoiny:

$$\tau_{\parallel} = V_{Ed} / A_{w,w} = 18.2 / 4.88 = 3.74 \text{ kN}$$

Warunki nośności spoin:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{1.99^2 + 3(1.99^2 + 3.74^2)} = 7.60 \text{ kN/cm}^2 \leq 40.5 \text{ kN/cm}^2 = \frac{43.0}{0.850 \cdot 1.25} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Warunek spełniony.

$$|\sigma_{\perp}| = 1.99 \text{ kN/cm}^2 \leq 31.0 \text{ kN/cm}^2 = \frac{0.9 \cdot 43.0}{1.25} = \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

Warunek spełniony.