

## Węzeł nr 6 - Połączenie doczołowe dwóch belek

### Informacje o węźle

Położenie: (x=7.458m, 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. środka:	5.0 [mm]	Pr. zaokrągl.:	15.0 [mm]		

#### Blacha czołowa:

Stal:	fy:	275.0 [MPa]	fu:	430.0 [MPa]	
Wysokość:	287.0 [mm]	Szerokość:	180.0 [mm]	Grubość:	15.0 [mm]

#### Parametry śrub:

Typ śrub: M16

Klasa śrub: 8.8

Ilość śrub: 6

Rozstaw poziomy śrub: 130.0 [mm],

Rozstaw pionowy śrub: 70.0 [mm], 160.0 [mm],

Położenie pierwszego rzędu śrub względem górnej krawędzi blachy: 30.0 [mm]

#### Parametry spawu łączącego blachę czołową z profilem:

Grubość spoiny półki: 4.0 [mm]

Grubość spoiny środka: 4.0 [mm]

### Obliczenia

Węzeł obciążony siłami zdefiniowanymi przez użytkownika:

#### Nośność na ścinanie (80.7 %)

##### Nośność śruby na ścięciu trzpienia:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 16.0^2}{4} = 201 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.600 \cdot 0.800 \cdot 201}{1.25} = 77.2 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Ed} = 0.2 \text{ kN} \leq 77.2 \text{ kN} = F_{v,Rd}$$

Warunek nośności spełniony.

##### Nośność śruby na docisk śruby do ścianki otworu:

Szereg numer: 1

$$\alpha_d = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_{1,min}}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{30.0}{3 \cdot 0.018}; \frac{70.0}{3 \cdot 0.018} - \frac{1}{4}\right) = 555$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(555; \frac{800}{0.430}, 1\right) = 1.000$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 25.0}{0.018} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 130}{0.018} - 1.7\right) = 2.50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{2.50 \cdot 1.000 \cdot 0.430 \cdot 15.0 \cdot 0.016}{1.25} = 0.206 \text{ kN}$$

Szereg numer: 2

$$\alpha_d = \min\left(\frac{p_{1,min}}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{70.0}{3 \cdot 0.018} - \frac{1}{4}\right) = 1296$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(1296; \frac{800}{0.430}, 1\right) = 1.000$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 25.0}{0.018} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 130}{0.018} - 1.7\right) = 2.50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{2.50 \cdot 1.000 \cdot 0.430 \cdot 15.0 \cdot 0.016}{1.25} = 0.206 \text{ kN}$$

Szereg numer: 3

$$\alpha_d = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_{1,min}}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{27.0}{3 \cdot 0.018}; \frac{160}{3 \cdot 0.018} - \frac{1}{4}\right) = 499$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(499; \frac{800}{0.430}, 1\right) = 1.000$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 25.0}{0.018} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 130}{0.018} - 1.7\right) = 2.50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{2.50 \cdot 1.000 \cdot 0.430 \cdot 15.0 \cdot 0.016}{1.25} = 0.206 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,Ed} = 0.2 \text{ kN} \leq 0.2 \text{ kN} = F_{b,Rd}$$

**Warunek nośności spełniony.****Nośność na rozciąganie (18.9 %)**

Nośność śruby na rozciąganie:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.900 \cdot 0.800 \cdot 157}{1.25} = 90.4 \text{ kN}$$

Nośność śruby na przeciągnięcie trzpienia:

$$B_{p,Rd} = 0.6 \pi d_m t_p f_{up} / \gamma_{M2} = 0.6 \cdot \pi \cdot 25.2 \cdot 15.0 \cdot 0.430 / 1.25 = 245 \text{ kN}$$

Nośność śruby na rozciąganie z uwzględnieniem ścinania:

$$F_{t,v,Rd} = \min\left(1.4 \left(1 - \frac{|F_{v,Ed}|}{F_{v,Rd}}\right), F_{t,Rd}\right) = \min\left(1.4 \left(1 - \frac{|0.167|}{77.2}\right), 90.4\right) = 90.4 \text{ kN}$$

**Nośność blachy czołowej:**

Najbardziej niekorzystny układ szeregów śrub: 1 2 3)

Szereg numer: 1

Długości efektywne śrub:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(130, 90.0) = 90.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 90.0 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 1:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 90,0 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 1392 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 90,0 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 1392 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 1392 / 25,5 = 218 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 1392 + 30,0 \cdot 2,00 \cdot 90,4}{25,5 + 30,0} = 148 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2,00 \cdot 90,4 = 180 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(218, 148, 180) = 148 \text{ kN}$$

Szereg numer: 2

Długości efektywne śrub:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(364, 295) = 295 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 295 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 2:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 295 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 4574 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 295 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 4574 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 4574 / 58,0 = 315 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 4574 + 25,0 \cdot 2,00 \cdot 90,4}{58,0 + 25,0} = 164 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2,00 \cdot 90,4 = 180 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(315, 164, 180) = 164 \text{ kN}$$

Szereg numer: 3

Długości efektywne śrub:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(364, 294) = 294 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 294 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 3:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 294 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 4560 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 294 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 4560 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 4560 / 58,0 = 314 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 4560 + 25,0 \cdot 2,00 \cdot 90,4}{58,0 + 25,0} = 164 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2,00 \cdot 90,4 = 180 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(314, 164, 180) = 164 \text{ kN}$$

Nośność całkowita na rozciąganie:

$$N_{ep,Ed} = \Sigma F_{t,ep,Rd} = 148,00 + 164,76 + 164,42 = 477 \text{ kN}$$

**Nośność środnika belki w strefie rozciągania:**

Najbardziej niekorzystny układ szeregów śrub: 1 2 3)

Króćciec teowy 1:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_y / \gamma_{M0} = 90,0 \cdot 5,00 \cdot 0,275 \cdot 1,000 = 123 \text{ kN}$$

Króćciec teowy 2:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_y / \gamma_{M0} = 295 \cdot 5,00 \cdot 0,275 \cdot 1,000 = 406 \text{ kN}$$

Króćciec teowy 3:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_y / \gamma_{M0} = 294 \cdot 5,00 \cdot 0,275 \cdot 1,000 = 405 \text{ kN}$$

Nośność całkowita na rozciąganie:

$$N_{wb,Ed} = \sum F_{t,wb,Rd} = 123.75 + 406.63 + 405.39 = 935 \text{ kN}$$

**Nośność całkowita węzła na rozciąganie:**

Nośność całkowita:

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

$$N_{j,Rd} = \min(935.8; 477.2) = 477.2 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$N_{j,Ed} = 90.0 \text{ kN} \leq 477.2 \text{ kN} = N_{j,Rd}$$

**Warunek nośności spełniony.**

**Nośność na zginanie (22.6 %)**

**Nośność pasa i środka belki w strefie ściskania:**

Nośność na ścinanie:

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

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

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

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:

$$|V_{Ed}| = 1.000 \text{ kN} < 96.8 \text{ kN} = 0.5 \cdot V_{pl,Rd}$$

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 blachy czołowej:**

Szereg śrub 1 rozpatrywany indywidualnie:

Długości efektywne szeregu 1:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(130, 90.0) = 90.0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 90.0 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 1:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 90.0 \cdot 15.0^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 1392 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 90.0 \cdot 15.0^2 \cdot 0.275 / 1.000 = 1392 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 1392 / 25.5 = 218 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 1392 + 30.0 \cdot 2.00 \cdot 90.4}{25.5 + 30.0} = 148 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2.00 \cdot 90.4 = 180 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(218, 148, 180) = 148 \text{ kN}$$

Szereg śrub 2 rozpatrywany indywidualnie:

Długości efektywne szeregu 2:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(364, 295) = 295 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 295 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 2:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 295 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 4574 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 295 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 4574 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 4574 / 58,0 = 315 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 4574 + 25,0 \cdot 2,00 \cdot 90,4}{58,0 + 25,0} = 164 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2,00 \cdot 90,4 = 180 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(315, 164, 180) = 164 \text{ kN}$$

Szereg śrub 3 rozpatrywany indywidualnie:

Długości efektywne szeregu 3:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc}) = \min(364, 294) = 294 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 294 \text{ mm}$$

Obliczeniowa nośność półki króćca teowego 3:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 294 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 4560 \text{ kNmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_p^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 294 \cdot 15,0^2 \cdot 0,275 / 1,000 = 4560 \text{ kNmm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 4 M_{pl,1,Rd} / m = 4 \cdot 4560 / 58,0 = 314 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 4560 + 25,0 \cdot 2,00 \cdot 90,4}{58,0 + 25,0} = 164 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2,00 \cdot 90,4 = 180 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(314, 164, 180) = 164 \text{ kN}$$

**Nośność środka belki w strefie rozciągania:**

Króciec teowy 1:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 90,0 \cdot 5,00 \cdot 0,275 \cdot 1,000 = 123 \text{ kN}$$

Króciec teowy 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:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 294 \cdot 5,00 \cdot 0,275 \cdot 1,000 = 405 \text{ kN}$$

**Nośności całkowite poszczególnych szeregów śrub:**

Szereg 1:

$$F_{t,1,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{c,fb,Rd} = 448,8 \\ F_{t,1,ep,Rd} = 148,0 \\ F_{t,1,wb,Rd} = 123,8 \end{array} \right\} = 123,8 \text{ kN}$$

Szereg 2:

$$F_{t,2,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{c,fb,Rd} - F_{t,1,Rd} = 448,8 - 123,8 = 325,1 \\ F_{t,2,ep,Rd} = 164,8 \\ F_{t,2,wb,Rd} = 406,6 \end{array} \right\} = 164,8 \text{ kN}$$

**Nośności węzła na zginanie:**

$$M_{j,Rd} = \sum_1^2 h_r F_{tr,Rd} = 0,1933 \cdot 123,8 + 0,1232 \cdot 164,8 = 44,2 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$M_{j,Ed} = 10,0 \text{ kNm} \leq 44,2 \text{ kNm} = M_{j,Rd}$$

**Warunek nośności spełniony.**

**Interakcja zginania i rozciągania (41.5 %)**

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} = \frac{10000}{44221} + \frac{90.0}{477} = 0.415 \leq 1.0$$

**Warunek nośności spełniony.****Nośność spoin (28.6 %)**

Parametry spoin:

$$A_w = 21.7 \text{ cm}^2, A_{w,w} = 4.88 \text{ cm}^2, I_{w,y} = 2075 \text{ cm}^4$$

Naprężenia normalne:

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{I_{w,y}} z_p = \frac{1000}{2075} 8.35 = 8.17 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne prostopadłe do osi spoiny:

$$\tau_{\perp} = \sigma \cdot \cos(\theta) = 8.17 \cdot \cos(45.0) = 5.78 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia normalne prostopadłe do osi spoiny:

$$\sigma_{\perp} = \sigma \cdot \sin(\theta) = 8.17 \cdot \sin(45.0) = 5.78 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne równoległe do osi spoiny:

$$\tau_{\parallel} = V_{Ed} / A_{w,w} = 1.000 / 4.88 = 0.000 \text{ kN}$$

Warunki nośności spoin:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{5.78^2 + 3(5.78^2 + 0.000^2)} = 11.6 \text{ kN/cm}^2 \leq 40.5 \text{ kN/cm}^2 = \frac{43.0}{0.850 \cdot 1.25} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

**Warunek spełniony.**

$$|\sigma_{\perp}| = 5.78 \text{ kN/cm}^2 \leq 31.0 \text{ kN/cm}^2 = \frac{0.9 \cdot 43.0}{1.25} = \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

**Warunek spełniony.**