

Węzeł nr 5 - Połączenie belki ze słupem na blachę węzłową

Informacje o węźle

Położenie: (x=-6.000m, y=2.500m)

Dane projektowe połączenia belki numer 4 do słupa

Blacha przykładki:

Stal:	S 235	fy:	235 [MPa]
Wymiary:	250.0 [mm]	440.0 [mm]	12.0 [mm]

Połączenie przykładki do belki:

Połączenie śrubowe kategorii A

Ilość śrub: 10

Typ śrub: M24

Klasa śrub: 8.8

Ścinana część śruby: Gwintowana

Połączenie przykładki do słupa:

Połączenie spawane

Grubość spoiny: 5.0 [mm]

Wysokość: 440.0

Obliczenia dla połączenia belki numer 4 do słupa

Ścinanie śruby (93.2 %)

Kombinacja: ('-0', '-1', '+2', '+K3', '+K4')

Moment zginający w środku połączenia:

$$M_{Ed} = M_{Ed}^* - N_{Ed} e_N - V_{Ed} e_V = 88.6 \cdot 0.000 - 434 \cdot 0.420 = -93.8 \text{ kNm}$$

Siły w śrubie; Kombinacja: ('-0', '-1', '+2', '+K3', '+K4'):

$$F_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} - \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} z_0 = 0.000/10 - \frac{-93800}{144000} \cdot (-160) = 0.000 - 104 = -104 \text{ kN}$$

$$F_{z,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} + \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} x_0 = \frac{434}{10} + \frac{-93800}{144000} \cdot (-40.0) = 43.4 + 26.1 = 69.5 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2} = \sqrt{(-104)^2 + 69.5^2} = 125 \text{ kN}$$

Pole przekroju czynne przy ścinaniu:

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

Nośność śruby na ścinanie:

$$F_{v,Rd} = \frac{n \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 0.600 \cdot 0.800 \cdot 353}{1.25} = 134 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Ed} = 125 \text{ kN} \leq 134 \text{ kN} = F_{v,Rd}$$

Docisk śruby do ścianki blachy profilu (64.8 %)

Kombinacja: ('-0', '-1', '+2', '+K3', '+K4')

Moment zginający w środku połączenia:

$$M_{Ed} = M_{Ed}^* - N_{Ed} e_N - V_{Ed} e_V = 88.6 \cdot 0.000 - 0.000 + 434 \cdot 0.420 = -93.8 \text{ kNm}$$

Siły w śrubie; Kombinacja: ('-0', '-1', '+2', '+K3', '+K4'):

$$F_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} - \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} z_0 = 0.000/10 - \frac{-93800}{144000} \cdot (-160) = 0.000 - 104 = -104 \text{ kN}$$

$$F_{z,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} + \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} x_0 = \frac{434}{10} + \frac{-93800}{144000} \cdot (-40.0) = 43.4 + 26.1 = 69.5 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2} = \sqrt{(-104)^2 + 69.5^2} = 125 \text{ kN}$$

Współczynniki:

$$\alpha_{d,x} = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{80.0}{3 \cdot 26.0} - \frac{1}{4}\right) = 0.776$$

$$\alpha_{b,x} = \min\left(\alpha_{d,x}; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(0.776; \frac{0.800}{0.360}, 1\right) = 0.776$$

$$k_{1,x} = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 60.0}{26.0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 80.0}{26.0} - 1.7\right) = 2.50$$

Nośność śruby na docisk po kierunku osi x:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{nk_{1,x}\alpha_{b,x}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 2.50 \cdot 0.776 \cdot 0.360 \cdot 12.0 \cdot 24.0}{1.25} = 160 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,x,Ed} = |-104 \text{ kN}| \leq 160 \text{ kN} = F_{b,x,Rd}$$

Współczynniki:

$$\alpha_{d,z} = \min\left(\frac{e_2}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{60.0}{3 \cdot 26.0}; \frac{80.0}{3 \cdot 26.0} - \frac{1}{4}\right) = 0.769$$

$$\alpha_{b,z} = \min\left(\alpha_{d,z}; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(0.769; \frac{0.800}{0.360}, 1\right) = 0.776$$

$$k_{1,z} = \min\left(2.5; \frac{1.4p_1}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(2.5; \frac{1.4 \cdot 80.0}{26.0} - 1.7\right) = 2.50$$

Nośność śruby na docisk po kierunku osi z:

$$F_{b,z,Rd} = \frac{nk_{1,z}\alpha_{b,z}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 2.50 \cdot 0.769 \cdot 0.360 \cdot 12.0 \cdot 24.0}{1.25} = 159 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,z,Ed} = 69.5 \text{ kN} \leq 159 \text{ kN} = F_{b,z,Rd}$$

Docisk śruby do ścianki blachy węzłowej (70.0 %)

Kombinacja: ('-0', '-1', '+2', '+K3', '+K4')

Moment zginający w środku połączenia:

$$M_{Ed} = M_{Ed}^* - N_{Ed} e_N - V_{Ed} e_V = 88.6 \cdot 0.000 - 0.000 + 434 \cdot 0.420 = -93.8 \text{ kNm}$$

Siły w śrubie; Kombinacja: ('-0', '-1', '+2', '+K3', '+K4'):

$$F_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} - \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} z_0 = 0.000/10 - \frac{-93800}{144000} \cdot (-160) = 0.000 - 104 = -104 \text{ kN}$$

$$F_{z,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} + \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} x_0 = \frac{434}{10} + \frac{-93800}{144000} \cdot (-40.0) = 43.4 + 26.1 = 69.5 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2} = \sqrt{(-104)^2 + 69.5^2} = 125 \text{ kN}$$

Współczynniki:

$$\alpha_{d,x} = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{65.0}{3 \cdot 26.0}; \frac{80.0}{3 \cdot 26.0} - \frac{1}{4}\right) = 0.776$$

$$\alpha_{b,x} = \min\left(\alpha_{d,x}; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(0.776; \frac{0.800}{0.360}, 1\right) = 0.776$$

$$k_{1,x} = \min\left(2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(2.5; \frac{1.4 \cdot 80.0}{26.0} - 1.7\right) = 2.50$$

Nośność śruby na docisk po kierunku osi x:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{nk_{1,x}\alpha_{b,x}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 2.50 \cdot 0.776 \cdot 0.360 \cdot 11.1 \cdot 24.0}{1.25} = 148 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,x,Ed} = |-104 \text{ kN}| \leq 148 \text{ kN} = F_{b,x,Rd}$$

Współczynniki:

$$\alpha_{d,z} = \min\left(\frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{80.0}{3 \cdot 26.0} - \frac{1}{4}\right) = 0.776$$

$$\alpha_{b,z} = \min\left(\alpha_{d,z}; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(0.776; \frac{0.800}{0.360}, 1\right) = 0.776$$

$$k_{1,z} = \min\left(\frac{2.8e_1}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_1}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 65.0}{26.0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 80.0}{26.0} - 1.7\right) = 2.50$$

Nośność śruby na docisk po kierunku osi z:

$$F_{b,z,Rd} = \frac{nk_{1,z}\alpha_{b,z}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 2.50 \cdot 0.776 \cdot 0.360 \cdot 11.1 \cdot 24.0}{1.25} = 148 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,z,Ed} = 69.5 \text{ kN} \leq 148 \text{ kN} = F_{b,z,Rd}$$

Nośność przykładki na rozerwanie blokowe (71.6 %)

Kombinacja: ('+0', '+1', '+2')

Ze względu na występujące ściskanie w blasze nie uwzględniono rozerwania blokowego siłą normalną w obliczeniach.

Przekrój netto rozciągany dla blachy ścinanej:

$$A_{nt} = [(n_1 - 1)(p_1 - d_0) - e_1 - 0.5d_0]t = [(2 - 1)(80.0 - 26.0) - 65.0 - 0.5 \cdot 26.0]12.0 = 1270 \text{ mm}^2$$

Przekrój netto ścinany dla blachy ścinanej:

$$A_{nv} = [(n_2 - 1)(p_2 - d_0) - e_2 - 0.5d_0]t = [(5 - 1)(80.0 - 26.0) - 60.0 - 0.5 \cdot 26.0]12.0 = 3160 \text{ mm}^2$$

Nośność na rozerwanie blokowe grupy śrub obciążonej siłą ścinającą i momentem zginającym:

$$V_{eff,2,Rd} = 0.5 \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0.5 \cdot 0.360 \cdot 1270 / 1.25 + 0.235 \cdot 3160 / (\sqrt{3} \cdot 1.000) = 611 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$V_{Ed} = 437 \text{ kN} \leq 611 \text{ kN} = V_{eff,2,Rd}$$

Nośność blachy profilu na rozerwanie blokowe (0.0 %)

Ze względu na występujące ściskanie w blasze nie uwzględniono rozerwania blokowego siłą normalną w obliczeniach.

Nośność spoin łączących przykładkę ze słupem (60.5 %)

Kombinacja: ('-0', '-1', '+2', '+K3', '+K4')

Siły w środku połączenia:

$$M_{Ed} = M_{Ed}^* - N_{Ed} e_N - V_{Ed} e_V = 88.6 \cdot 0.000 - 434 \cdot 0.275 = -30.8 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed}^* \cdot \cos \alpha - V_{Ed}^* \cdot \sin \alpha = 0.000 \cdot \cos(0.000) - 434 \cdot \sin(0.000) = 0.000 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = N_{Ed}^* \cdot \sin \alpha + V_{Ed}^* \cdot \cos \alpha = 0.000 \cdot \sin(0.000) + 434 \cdot \cos(0.000) = 434 \text{ kN}$$

Pole przekroju:

$$A_w = 22.0 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności względem osi y:

$$I_{w,y} = 3550 \text{ cm}^4$$

Naprężenia normalne w spoinie:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{n A_w} + \frac{M_{Ed}}{n I_y} z = \frac{0.000}{2 \cdot 22.0} + \frac{-3080}{2 \cdot 3550} \cdot 22.0 = -9.55 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia normalne prostopadłe w spoinie:

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = -6.75 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne prostopadłe w spoinie:

$$\tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = -6.75 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne równoległe w spoinie:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{n A_w} = \frac{434}{2 \cdot 22.0} = 9.87 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia wypadkowe:

$$\tau_{\parallel} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{(-6.75)^2 + 3((-6.75)^2 + 9.87^2)} = 21.8 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia dopuszczalne

$$\beta_{w,l} = 0.800, \beta_{w,m} = 0.800$$

$$\tau_{\text{lim},l} = \frac{f_{u,l}}{\beta_{w,l} \gamma_{M2}} = \frac{36.0}{0.800 \cdot 1.25} = 36.0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{lim},m} = \frac{f_{u,m}}{\beta_{w,m} \gamma_{M2}} = \frac{36.0}{0.800 \cdot 1.25} = 36.0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{lim}} = \min(\tau_{\text{lim},m}, \tau_{\text{lim},l}) = \min(36.0, 36.0) = 36.0 \text{ kN/cm}^2$$

Warunek naprężeń:

$$\tau = 21.8 \text{ kN/cm}^2 \leq 36.0 \text{ kN/cm}^2 = \tau_{\text{lim}}$$