

## Węzeł nr 37 - Połączenie zakładkowe w kratownicy

### Informacje o węźle

Położenie: (x=1.000m, y=3.000m)

### Obliczenia dla połączenia elementu 60 do blachy:

#### Nośność spoin (0.3 %)

Kombinacja: ('-0', '-1', '+K2', '+3')

Moment zginający w środku połączenia:

$$M_{Ed} = M_{Ed}^* - N_{Ed} e_N - V_{Ed} e_V = 0.000 + 1.53 \cdot 0.000 + 0.011 \cdot 0.309 = -0.003 \text{ kNm}$$

Pole przekroju:

$$A_w = 22.5 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności względem osi x:

$$I_{w,x} = 156 \text{ cm}^4$$

Moment bezwładności względem osi z:

$$I_{w,z} = 900 \text{ cm}^4$$

Biegunowy moment bezwładności:

$$I_{w,0} = I_{w,z} + I_{w,x} = 900 + 156 = 1060 \text{ cm}^4$$

Naprężenia styczne po kierunku osi x spowodowane działaniem siły tnącej:

$$\tau_x = \frac{N_{Ed}}{n A_w} = \frac{1.53}{1 \cdot 22.5} = 0.068 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne po kierunku osi z spowodowane działaniem siły tnącej::

$$\tau_z = \frac{V_{Ed}}{n A_w} = \frac{0.011}{1 \cdot 22.5} = 0.000 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne po kierunku osi x spowodowane działaniem momentu:

$$\tau_{Mx} = -\frac{M_{0,Ed} z}{n I_{w,0}} = -\frac{-0.314 \cdot 2.75}{1 \cdot 1060} = 0.001 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne po kierunku osi z spowodowane działaniem momentu:

$$\tau_{Mz} = \frac{M_{0,Ed} x}{n I_{w,0}} = \frac{-0.314 \cdot (-9.11)}{1 \cdot 1060} = 0.003 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne wypadkowe:

$$\tau = \sqrt{(\tau_x + \tau_{Mx})^2 + (\tau_z + \tau_{Mz})^2} = \sqrt{(0.068 + 0.001)^2 + (0.000 + 0.003)^2} = 0.069 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia dopuszczalne

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

$$\tau_{\text{lim},l} = \frac{f_{u,l}}{\sqrt{3} \beta_{w,l} \gamma_{M2}} = \frac{36.0}{\sqrt{3} \cdot 0.800 \cdot 1.25} = 20.8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{lim},m} = \frac{f_{u,m}}{\sqrt{3} \beta_{w,m} \gamma_{M2}} = \frac{36.0}{\sqrt{3} \cdot 0.800 \cdot 1.25} = 20.8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{lim}} = \min(\tau_{\text{lim},m}, \tau_{\text{lim},l}) = \min(20.8, 20.8) = 20.8 \text{ kN/cm}^2$$

Warunek naprężeń:

$$\tau = 0.069 \text{ kN/cm}^2 \leq 20.8 \text{ kN/cm}^2 = \tau_{\text{lim}}$$

### Obliczenia dla połączenia elementu 59 do blachy:

#### Ścinanie śruby (4.2 %)

Kombinacja: ('+0', '+1', '+K2', '+3')

Moment zginający w środku połączenia:

$$M_{Ed} = M_{Ed}^* - N_{Ed} e_N - V_{Ed} e_V = -0.004 - 4.06 \cdot 0.000 - 0.014 \cdot 0.300 = 0.001 \text{ kNm}$$

Siły w śrubie; Kombinacja: ('+0', '+1', '+K2', '+3'):

$$F_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} - \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} z_0 = -4.06/3 - \frac{0.001}{5000} \cdot 0.000 = -1.35 + 0.000 = -1.35 \text{ kN}$$

$$F_{z,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} + \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} x_0 = \frac{-0.014}{3} + \frac{0.001}{5000} \cdot (-50.0) = -0.005 - 0.006 = -0.011 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2} = \sqrt{(-1.35)^2 + (-0.011)^2} = 1.35 \text{ kN}$$

Pole przekroju czynne przy ścinaniu:

$$A_s = 84.3 \text{ mm}^2$$

Nośność śruby na ścinanie:

$$F_{v,Rd} = \frac{n a_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 0.600 \cdot 0.800 \cdot 84.3}{1.25} = 32.4 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Ed} = 1.35 \text{ kN} \leq 32.4 \text{ kN} = F_{v,Rd}$$

#### Docisk śruby do ścianki blachy profilu (5.1 %)

Kombinacja: ('+0', '+1', '+K2', '+3')

Moment zginający w środku połączenia:

$$M_{Ed} = M_{Ed}^* - N_{Ed} e_N - V_{Ed} e_V = -0.004 - 4.06 \cdot 0.000 - 0.014 \cdot 0.300 = 0.001 \text{ kNm}$$

Siły w śrubie; Kombinacja: ('+0', '+1', '+K2', '+3'):

$$F_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} - \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} z_0 = -4.06/3 - \frac{0.001}{5000} \cdot 0.000 = -1.35 + 0.000 = -1.35 \text{ kN}$$

$$F_{z,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} + \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} x_0 = \frac{-0.014}{3} + \frac{0.001}{5000} \cdot (-50.0) = -0.005 - 0.006 = -0.011 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2} = \sqrt{(-1.35)^2 + (-0.011)^2} = 1.35 \text{ kN}$$

Współczynniki:

$$\alpha_{d,x} = \min \left( \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right) = \min \left( \frac{30.0}{3 \cdot 13.0}; \frac{50.0}{3 \cdot 13.0} - \frac{1}{4} \right) = 0.769$$

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

$$k_{1,x} = \min \left( \frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7 \right) = \min \left( \frac{2.8 \cdot 25.0}{13.0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 60.0}{13.0} - 1.7 \right) = 2.50$$

Nośność śruby na docisk po kierunku osi x:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{n k_{1,x} \alpha_{b,x} f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 2.50 \cdot 0.769 \cdot 0.360 \cdot 4.00 \cdot 12.0}{1.25} = 26.6 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,x,Ed} = |-1.35 \text{ kN}| \leq 26.6 \text{ kN} = F_{b,x,Rd}$$

Współczynniki:

$$\alpha_{d,z} = \min\left(\frac{e_2}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{25.0}{3 \cdot 13.0}; \frac{60.0}{3 \cdot 13.0} - \frac{1}{4}\right) = 0.641$$

$$\alpha_{b,z} = \min\left(\alpha_{d,z}; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(0.641; \frac{0.800}{0.360}, 1\right) = 0.769$$

$$k_{1,z} = \min\left(\frac{2.8e_1}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_1}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 30.0}{13.0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 \cdot 50.0}{13.0} - 1.7\right) = 2.50$$

Nośność śruby na docisk po kierunku osi z:

$$F_{b,z,Rd} = \frac{nk_{1,z}\alpha_{b,z}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 2.50 \cdot 0.641 \cdot 0.360 \cdot 4.00 \cdot 12.0}{1.25} = 22.2 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,z,Ed} = |-0.011 \text{ kN}| \leq 22.2 \text{ kN} = F_{b,z,Rd}$$

### Docisk śruby do ścianki blachy węzłowej (1.6 %)

Kombinacja: ('+0', '+1', '+K2', '+3')

Moment zginający w środku połączenia:

$$M_{Ed} = M_{Ed}^* - N_{Ed} e_N - V_{Ed} e_V = -0.004 - 4.06 \cdot 0.000 - 0.014 \cdot 0.300 = 0.001 \text{ kNm}$$

Siły w śrubie; Kombinacja: ('+0', '+1', '+K2', '+3'):

$$F_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} - \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} z_0 = -4.06/3 - \frac{0.001}{5000} \cdot 0.000 = -1.35 + 0.000 = -1.35 \text{ kN}$$

$$F_{z,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} + \frac{M_{0,Ed}}{\sum r_i^2} x_0 = \frac{-0.014}{3} + \frac{0.001}{5000} \cdot (-50.0) = -0.005 - 0.006 = -0.011 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2} = \sqrt{(-1.35)^2 + (-0.011)^2} = 1.35 \text{ kN}$$

Współczynniki:

$$\alpha_{d,x} = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{50.0}{3 \cdot 13.0} - \frac{1}{4}\right) = 1.03$$

$$\alpha_{b,x} = \min\left(\alpha_{d,x}; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(1.03; \frac{0.800}{0.360}, 1\right) = 1.000$$

$$k_{1,x} = \min\left(2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(2.5; \frac{1.4 \cdot 60.0}{13.0} - 1.7\right) = 2.50$$

Nośność śruby na docisk po kierunku osi x:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{nk_{1,x}\alpha_{b,x}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 2.50 \cdot 1.000 \cdot 0.360 \cdot 10 \cdot 12.0}{1.25} = 86.4 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,x,Ed} = |-1.35 \text{ kN}| \leq 86.4 \text{ kN} = F_{b,x,Rd}$$

Współczynniki:

$$\alpha_{d,z} = \min\left(\frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(\frac{60.0}{3 \cdot 13.0} - \frac{1}{4}\right) = 1.29$$

$$\alpha_{b,z} = \min\left(\alpha_{d,z}; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(1.29; \frac{0.800}{0.360}, 1\right) = 1.000$$

$$k_{1,z} = \min\left(2.5; \frac{1.4p_1}{d_0} - 1.7\right) = \min\left(2.5; \frac{1.4 \cdot 50.0}{13.0} - 1.7\right) = 2.50$$

Nośność śruby na docisk po kierunku osi z:

$$F_{b,z,Rd} = \frac{nk_{1,z}\alpha_{b,z}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 2.50 \cdot 1.000 \cdot 0.360 \cdot 10 \cdot 12.0}{1.25} = 86.4 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,z,Ed} = |-0.011 \text{ kN}| \leq 86.4 \text{ kN} = F_{b,z,Rd}$$

### Nośność blachy profilu na rozerwanie blokowe (2.0 %)

Kombinacja: ('-0', '-1', '+4')

Przekrój netto rozciągany dla blachy rozciąganej:

$$A_{nt} = (n_2 - 1)(p_2 - d_0)t = (1 - 1)(60.0 - 13.0)4.00 = 0.000 \text{ mm}^2$$

Przekrój netto ścinany dla blachy rozciąganej:

$$A_{nv} = 2[(n_1 - 1)(p_1 - d_0) - e_1 - 0.5d_0]t = 2[(3 - 1)(50.0 - 13.0) - 30.0 - 0.5 \cdot 13.0]4.00 = 780 \text{ mm}^2$$

Nośność na rozerwanie blokowe grupy śrub obciążonej mimośrodowo:

$$N_{eff,2,Rd} = 0.5 \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0.5 \cdot 0.360 \cdot 0.000 / 1.25 + 0.235 \cdot 780 / (\sqrt{3} \cdot 1.000) = 105 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$N_{Ed} = 2.08 \text{ kN} \leq 105 \text{ kN} = N_{eff,2,Rd}$$

Przekrój netto rozciągany dla blachy ścinanej:

$$A_{nt} = [(n_1 - 1)(p_1 - d_0) - e_1 - 0.5d_0]t = [(3 - 1)(50.0 - 13.0) - 30.0 - 0.5 \cdot 13.0]4.00 = 390 \text{ mm}^2$$

Przekrój netto ścinany dla blachy ścinanej:

$$A_{nv} = [(n_2 - 1)(p_2 - d_0) - e_2' - 0.5d_0]t = [(1 - 1)(60.0 - 13.0) - 25.0 - 0.5 \cdot 13.0]4.00 = 74.0 \text{ mm}^2$$

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

$$V_{eff,2,Rd} = 0.5 \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0.5 \cdot 0.360 \cdot 390 / 1.25 + 0.235 \cdot 74.0 / (\sqrt{3} \cdot 1.000) = 66.2 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$V_{Ed} = |-0.016 \text{ kN}| \leq 66.2 \text{ kN} = V_{eff,2,Rd}$$

### Nośność blachy głównej na rozerwanie blokowe (0.8 %)

Kombinacja: ('-0', '-1', '+4')

Przekrój netto rozciągany dla blachy rozciąganej:

$$A_{nt} = (n_2 - 1)(p_2 - d_0)t = (1 - 1)(60.0 - 13.0)10 = 0.000 \text{ mm}^2$$

Przekrój netto ścinany dla blachy rozciąganej:

$$A_{nv} = 2[(n_1 - 1)(p_1 - d_0) - e_1' - 0.5d_0]t = 2[(3 - 1)(50.0 - 13.0) - 30.0 - 0.5 \cdot 13.0]10 = 1950 \text{ mm}^2$$

Nośność na rozerwanie blokowe grupy śrub obciążonej mimośrodowo:

$$N_{eff,2,Rd} = 0.5 \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0.5 \cdot 0.360 \cdot 0.000 / 1.25 + 0.235 \cdot 1950 / (\sqrt{3} \cdot 1.000) = 264 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$N_{Ed} = 2.08 \text{ kN} \leq 264 \text{ kN} = N_{eff,2,Rd}$$

### Obliczenia dla połączenia blachy węzłowej do pasa:

Obliczenia połączenia spawanego dokonano traktując blachę węzłową jako tarczę sztywną.

**Nośność spoin (0.9 %)**

Kombinacja: ('+0', '+1', '+K2', '+3')

Pole przekroju:

$$A_w = 30.0 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności względem osi x:

$$I_{w,x} = 0.625 \text{ cm}^4$$

Moment bezwładności względem osi z:

$$I_{w,z} = 9000 \text{ cm}^4$$

Biegunowy moment bezwładności:

$$I_{w,0} = I_{w,z} + I_{w,x} = 9000 + 0.625 = 9000 \text{ cm}^4$$

Naprężenia styczne po kierunku osi x spowodowane działaniem siły tnącej:

$$\tau_x = \frac{N_{Ed}}{nA_w} = \frac{-3.42}{1 \cdot 30.0} = -0.114 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne po kierunku osi z spowodowane działaniem siły tnącej::

$$\tau_z = \frac{V_{Ed}}{nA_w} = \frac{-0.014}{1 \cdot 30.0} = 0.000 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne po kierunku osi x spowodowane działaniem momentu:

$$\tau_{Mx} = -\frac{M_{0,Ed}z}{nI_{w,0}} = -\frac{-35.4 \cdot (-10.3)}{1 \cdot 9000} = -0.040 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne po kierunku osi z spowodowane działaniem momentu:

$$\tau_{Mz} = \frac{M_{0,Ed}x}{nI_{w,0}} = \frac{-35.4 \cdot 30.0}{1 \cdot 9000} = -0.118 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia styczne wypadkowe:

$$\tau = \sqrt{(\tau_x + \tau_{Mx})^2 + (\tau_z + \tau_{Mz})^2} = \sqrt{(-0.114 - 0.040)^2 + (0.000 - 0.118)^2} = 0.195 \text{ kN/cm}^2$$

Naprężenia dopuszczalne

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

$$\tau_{\text{lim},l} = \frac{f_{u,l}}{\sqrt{3}\beta_{w,l}\gamma_{M2}} = \frac{36.0}{\sqrt{3} \cdot 0.800 \cdot 1.25} = 20.8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{lim},m} = \frac{f_{u,m}}{\sqrt{3}\beta_{w,m}\gamma_{M2}} = \frac{36.0}{\sqrt{3} \cdot 0.800 \cdot 1.25} = 20.8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{lim}} = \min(\tau_{\text{lim},m}, \tau_{\text{lim},l}) = \min(20.8, 20.8) = 20.8 \text{ kN/cm}^2$$

Warunek naprężeń:

$$\tau = 0.195 \text{ kN/cm}^2 \leq 20.8 \text{ kN/cm}^2 = \tau_{\text{lim}}$$