

## Węzeł nr 3 - Połączenie doczołowe dwóch rur

### Informacje o węźle

Położenie: (x=6.600m, y=4.401m)

### Dane projektowe elementów

Blacha elementu:

Grubość blachy  $t_p$ : 12 mm

Średnica blachy  $d_p$ : 241.6 mm

Wymiary łączonej rury: 181.6x6.0 mm

Klasa stali: S 235

$f_y$ : 235.0 MPa

$f_u$ : 360.0 MPa

### Dane projektowe połączenia

#### Rodzaj połączenia

#### Śruby

Liczba śrub: 8

Typ śrub: M10

Klasa śrub: 8.8

Ścinana część śruby: Niegwintowana

Wymiary [mm]: e1: 15.0 e2: 15.0 p2: 83.10

#### Zerwanie śrub (25.3 %)

Komb: max  $M_x$  (+0,+1,+2,)  $\rightarrow N_{ed}=67.5kN, V_{ed}=22.5kN, M_{ed}=0.0kNm$

Warunek nośności śrub na zerwanie:

$$N_{Ed} = 67.50 \text{ kN} < n \cdot F_{t,Rd} = n \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 8 \frac{0.9 \cdot 800 \cdot 58.00}{1.25} = 267.26 \text{ kN}$$

Warunek nośności śrub ze względu na przeciągnięcie łba/nakrętki:

$$d_m = \frac{E+S}{2} = \frac{18.90+17.00}{2} = 17.95 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} = 67.50 \text{ kN} < n \cdot B_{p,Rd} = n \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 8 \frac{0.6 \cdot \pi \cdot 17.95 \cdot 12 \cdot 360}{1.25} = 935.47 \text{ kN}$$

#### Ścinanie śrub (17.6 %)

Komb: max  $T_y$  (+0,+1,+2,+K3,)  $\rightarrow N_{ed}=67.5kN, V_{ed}=42.5kN, M_{ed}=0.0kNm$

Część ścinana: niegwintowana

Pole przekroju śruby przy ścinaniu :

$$A = 78.54 \text{ mm}^2$$

Współczynnik:  $\alpha_v = 0.60$

Wytrzymałość łącznika:  $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

Nośność na ścinanie śrub:

$$F_{v,Rd} = n \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{8 \cdot 0.60 \cdot 800 \cdot 78.54}{1.25} = 241.27 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$V_{Ed} = 42.50 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 241.27 \text{ kN}$$

### Docisk śrub (20.5 %)

Komb: max Ty (+0,+1,+2,+K3,) → Ned=67.5kN, Ved=42.5kN, Med=0.0kNm

Współczynniki:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(\frac{15.0}{3 \cdot 12}, \frac{800}{360}, 1\right) = 0.42$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min\left(\frac{2.8 \cdot 15.0}{12}, \frac{800}{360}, 1\right) = 1.80$$

$$F_{b,Rd} = n \frac{k_1 \alpha_b f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = \frac{8 \cdot 1.80 \cdot 0.42 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 10}{1.25} = 207.36 \text{ kN}$$

Warunki nośności:

$$V_{Ed} = 42.50 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 207.36 \text{ kN}$$

### Uplastycznienie blachy (39.9 %)

Komb: max Mx (+0,+1,+2,) → Ned=67.5kN, Ved=22.5kN, Med=0.0kNm

Współczynniki:

$$r_2 = \frac{d_1}{2} + e_1 = \frac{181.60}{2} + 15.0 = 105.80 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{d_1 - t_1}{2} = \frac{181.60 - 6.00}{2} = 87.80 \text{ mm}$$

$$k_1 = \ln(r_2/r_3) = \ln(105.80/87.80) = 0.186$$

$$k_3 = k_1 + 2 = 0.186 + 2 = 2.186$$

$$f_3 = \frac{1}{2k_1} \left( k_3 + (k_3^2 - 4k_1)^{0.5} \right) = \frac{1}{2 \cdot 0.186} \left( 2.186 + (2.186^2 - 4 \cdot 0.186)^{0.5} \right) = 11.248$$

$$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1) \rightarrow \min(15.0; 18.75) = 15.00 \text{ mm}$$

$$r_1 = \left( \frac{d_1}{2} + e_1 + e_{eff} \right) = \left( \frac{181.60}{2} + 15.0 + 15.00 \right) = 120.80 \text{ mm}$$

Warunek nośności blachy czołowej (uplastycznienie):

$$N_{Ed} = 67.50 \text{ kN} < \frac{t_p^2 f_{yp} \pi f_3}{2 \gamma_{M0}} = \frac{12^2 \cdot 235 \cdot 1e-3 \cdot \pi \cdot 11.248}{2 \cdot 1.00} = 597.88 \text{ kN}$$

Warunek nośności śrub ze względu zerwanie w wyniku uplastycznienia blachy czołowej:

$$N_{Ed} < \frac{n \cdot F_{t,Rd}}{\left( 1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln(r_1/r_2)} \right)}$$

$$N_{Ed} = 67.50 \text{ kN} < \frac{8 \cdot 33.41}{\left( 1 - \frac{1}{11.248} + \frac{1}{11.248 \cdot \ln(120.80/105.80)} \right)} = 168.98 \text{ kN}$$

### Nośność spoin (17.9 %)

Komb: max Ty (+0,+1,+2,+K3,) → Ned=67.5kN, Ved=42.5kN, Med=0.0kNm

Współczynnik  $\beta_w$ :  $\beta_w = 0.80$

Graniczne naprężenia prostopadłe:

$$\sigma_{\perp,lim.} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \frac{360}{1.25} = 259.20 \text{ MPa}$$

Graniczne naprężenia wypadkowe:

$$\sigma_{lim.} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0.80 \cdot 1.25} = 360.00 \text{ MPa}$$

Naprężenia normalne:

$$A_w = \pi \cdot \left( (a_w + r)^2 - r^2 \right) = \pi \cdot \left( (4.00 + 90.80)^2 - 90.80^2 \right) = 2332 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{67500}{2332} = 28.94 \text{ MPa}$$

Naprężenia prostopadłe:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{28.94}{\sqrt{2}} = 20.46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 20.46 \text{ MPa} < 259.20 \text{ MPa}$$

Naprężenia równoległe:

$$A_v = \frac{2 \cdot A_w}{\pi} = \frac{2 \cdot 2332}{\pi} = 1485 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{42500}{1485} = 15.15 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{20.46^2 + 3(20.46^2 + 15.15^2)} = 48.62 \text{ MPa} < 360.00 \text{ MPa}$$