
Węzeł nr 28 - Połączenie zakładkowe dwóch belek

Informacje o węźle

Polożenie: (x=-12.300m, y=1.300m)

Dane projektowe elementów

Dystans między belkami s: 20 mm

Kategoria połączenia śrubowego: B

Belka IPBS 650H: 650.0 mm g: 15.0 mm Ix: 203731.0 cm⁴ Iy: 13966.5 cm⁴S: 300.0 mm t: 31.0 mm r: 0.0 mm A: 274.2 cm²

S1: 300.0 mm t1: 31.0 mm r1: 0.0 mm

Klasa stali: S 355 fy: 355.0 MPa fu: 510.0 MPa

Przykładka 12x390x600

tp: 12 mm hp: 390 mm bp: 600 mm ls: 290 mm

Klasa stali: S 235 fy: 235.0 MPa fu: 360.0 MPa

Śruby przykładki 12xM20 kl.8.8d: 20 mm d0: 22 mm fub: 800 MPa As: 245.0 mm²**Nakładka A: 30x240x800**

tp: 30 mm hp: 240 mm bp: 800 mm ls: 390 mm

Klasa stali: S 235 fy: 235.0 MPa fu: 360.0 MPa

Śruby nakładki A 8xM27 kl.8.8d: 27 mm d0: 30 mm fub: 800 MPa As: 459.0 mm²**Nakładka B: 30x255x800**

tp: 30 mm hp: 255 mm bp: 800 mm ls: 390 mm

Klasa stali: S 235 fy: 235.0 MPa fu: 360.0 MPa

Śruby nakładki B 8xM27 kl.8.8d: 27 mm d0: 30 mm fub: 800 MPa As: 459.0 mm²**Obliczenia połączenia****Najbardziej niekorzystne kombinacje obciążeń**

Kombinacja obciążeń obliczeniowych: 0, 1, +2,

Kombinacja obciążeń charakterystycznych: 0, 1, 2,

Siły obliczeniowe w węźle

N = -0.00 kN V = 0.00 kN M = 855.58 kN

Siły charakterystyczne w węźle

Nser = -0.00 kN Vser = 0.00 kN Mser = 605.58 kN

Rozkład sił na zakładki**Siły w nakładce A**

Pole pasa górnego:

$$A_{f,u} = t_{f,u} \cdot b_{f,u} = 3.10 \cdot 30.00 = 93.00 \text{ cm}^2$$

Część siły normalnej przenoszona przez pas górny:

$$N_{f,u} = \frac{A_{f,u}}{A} \cdot N_{Ed} = 93.00/274.20 \cdot 0 = 0 \text{ kN}$$

$$N_{f,u,ser} = \frac{A_{f,u}}{A} \cdot N_{Ed,ser} = 93.00/274.20 \cdot 0 = 0 \text{ kN}$$

Moment bezwładności pasa górnego:

$$I_{f,u} = \frac{t_{f,u} \cdot b_{f,u}^3}{12} + t_{f,u} \cdot b_{f,u} \cdot e_{f,u}^2 = 3.10 \cdot 30.00/12 + 3.10 \cdot 30.00 \cdot 30.95^2 = 89159 \text{ cm}^3$$

Moment zginający pas górny:

$$M_{f,u} = \frac{I_{f,u}}{I_x} \cdot M_{Ed} = 89159/203731 \cdot 855.58 = 374.43 \text{ kNm}$$

$$M_{f,u,ser} = \frac{I_{f,u}}{I_x} \cdot M_{Ed,ser} = 89159/203731 \cdot 605.58 = 265.02 \text{ kNm}$$

Siła przenoszona przez pas górny:

$$H_{f,u} = \frac{M_{f,u}}{h_{f,u}} = 37442.95/0.325 = 1152.09 \text{ kN}$$

$$H_{f,u,ser} = \frac{M_{f,u,ser}}{h_{f,u}} = 26502.12/0.325 = 815.45 \text{ kN}$$

Wypadkowa siła przenoszona przez pas górny:

$$N_{f,u,Ed} = N_{f,u} \pm H_{f,u} = 0 + 1152.09 = 1152.09 \text{ kN}$$

$$N_{f,u,Ed,ser} = N_{f,u,ser} \pm H_{f,u,ser} = 0 + 815.45 = 815.45 \text{ kN}$$

Siły w nakładce B

Pole pasa dolnego:

$$A_{f,b} = t_{f,b} \cdot b_{f,b} = 3.10 \cdot 30.00 = 93.00 \text{ cm}^2$$

Część siły normalnej przenoszona przez pas dolny:

$$N_{f,b} = \frac{A_{f,b}}{A} \cdot N_{Ed} = 93.00/274.20 \cdot 0 = 0 \text{ kN}$$

$$N_{f,b,ser} = \frac{A_{f,b}}{A} \cdot N_{Ed,ser} = 93.00/274.20 \cdot 0 = 0 \text{ kN}$$

Moment bezwładności pasa dolnego:

$$I_{f,b} = \frac{t_{f,b} \cdot b_{f,b}^3}{12} + t_{f,b} \cdot b_{f,b} \cdot e_{f,b}^2 = 3.10 \cdot 30.00/12 + 3.10 \cdot 30.00 \cdot 30.95^2 = 89159 \text{ cm}^3$$

Moment zginający pas dolny:

$$M_{f,b} = \frac{I_{f,b}}{I_x} \cdot M_{Ed} = 89159/203731 \cdot 855.58 = 374.43 \text{ kNm}$$

$$M_{f,b,ser} = \frac{I_{f,b}}{I_x} \cdot M_{Ed,ser} = 89159/203731 \cdot 605.58 = 265.02 \text{ kNm}$$

Siła przenoszona przez pas dolny:

$$H_{f,b} = \frac{M_{f,b}}{h_{f,b}} = 37442.95/0.325 = -1152.09 \text{ kN}$$

$$H_{f,b,ser} = \frac{M_{f,b,ser}}{h_{f,b}} = 26502.12/0.325 = 815.45 \text{ kN}$$

Wypadkowa siła przenoszona przez pas dolny:

$$N_{f,b,Ed} = N_{f,b} \pm H_{f,b} = 0 - 1152.09 = -1152.09 \text{ kN}$$

$$N_{f,b,Ed,ser} = N_{f,b,ser} \pm H_{f,b,ser} = 0 + 815.45 = 815.45 \text{ kN}$$

Siły w przykładkach środka

Pole środka:

$$A_w = A - A_{f,u} - A_{f,b} = 274.20 - 93.00 - 93.00 = 88.20 \text{ cm}^2$$

Część siły normalnej przenoszona przez środek:

$$N_{w,Ed} = \frac{A_w}{A} \cdot N_{Ed} = 88.20/274.20 \cdot 0 = 0 \text{ kN}$$

$$N_{w,Ed,ser} = \frac{A_w}{A} \cdot N_{Ed,ser} = 88.20/274.20 \cdot 0 = 0 \text{ kN}$$

Moment bezwładności środka:

$$I_w = I_x - I_{f,u} - I_{f,b} = 203731 - 89159 - 89159 = 25412 \text{ cm}^3$$

Moment zginający próżnik:

$$M_w = \frac{I_w}{I_x} \cdot M_{Ed} = 25412/203731 \cdot 855.58 = 106.72 \text{ kNm}$$

$$M_{w,ser} = \frac{I_w}{I_x} \cdot M_{Ed,ser} = 25412/203731 \cdot 605.58 = 75.54 \text{ kNm}$$

Wypadkowy moment zginający przekładkę:

$$M_{w,Ed} = M_w + N_{w,Ed} \cdot e_{w,p} = 106.72 + 0 \cdot 0 = 106.72 \text{ kNm}$$

$$M_{w,Ed,ser} = M_{w,ser} + N_{w,Ed,ser} \cdot e_{w,p} = 75.54 + 0 \cdot 0 = 75.54 \text{ kNm}$$

Wypadkowa siła ścinająca przekładkę:

$$T_{w,Ed} = T_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

$$T_{w,Ed,ser} = T_{Ed,ser} = 0 \text{ kN}$$

Obliczenia przykładek

Siły w najbardziej wyciążonej śrubie (przykładki)

Odległości śruby od środka ciężkości układu śrub:

$$x_0 = (-75) \text{ mm}, \quad z_0 = 105 \text{ mm}, \quad r_0 = 129.0 \text{ mm},$$

Mimośród siły normalnej:

$$e_N = e_2 + z_0 - \frac{h_p}{2} = 96 + 105 - 390/2 = 0 \text{ mm},$$

Mimośród siły tnącej:

$$e_V = l_s - x_0 - e_1 = 290 - 75 - 40 = 155 \text{ mm},$$

Moment zginający w połączeniu:

$$M_0 = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N + V_{Ed} \cdot e_V = 106.72 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0.155 = 106.72 \text{ kNm}$$

$$M_{0,ser} = M_{Ed,ser} + N_{Ed,ser} \cdot e_N + V_{Ed,ser} \cdot e_V = 75.54 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0.155 = 75.54 \text{ kNm}$$

Siła w śrubie po kierunku osi Z-Z wywołana działaniem siły tnącej:

$$F_{V,z,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} = 0/12 = 0 \text{ kN}$$

$$F_{V,z,Ed,ser} = \frac{V_{Ed,ser}}{m} = 0/12 = 0 \text{ kN}$$

Siła w śrubie po kierunku osi X-X wywołana działaniem siły normalnej:

$$F_{N,x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} = 0/12 = 0 \text{ kN}$$

$$F_{N,x,Ed,ser} = \frac{N_{Ed,ser}}{m} = 0/12 = 0 \text{ kN}$$

Siła w śrubie po kierunku osi Z-Z wywołana działaniem momentu zginającego:

$$F_{M0,z,Ed} = \sum r_i^2 x_0 = 106.72 / (118500) \cdot (-75) = -67.54 \text{ kN}$$

$$F_{M0,z,Ed,ser} = \sum r_i^2 x_{0,ser} = 75.54 / (118500) \cdot (-75) = -47.81 \text{ kN}$$

Siła w śrubie po kierunku osi X-X wywołana działaniem momentu zginającego:

$$F_{M0,x,Ed} = - \sum r_i^2 z_0 = -106.72 / (118500) \cdot 105 = -94.56 \text{ kN}$$

$$F_{M0,x,Ed,ser} = - \sum r_i^2 z_{0,ser} = -75.54 / (118500) \cdot 105 = -66.93 \text{ kN}$$

Całkowita siła w śrubie po kierunkach osi:

$$Z - Z: F_{z,Ed} = F_{M0,z,Ed} + F_{V,z,Ed} = -67.54 + 0 = -67.54 \text{ kN}$$

$$F_{z,Ed,ser} = F_{M0,z,Ed,ser} + F_{V,z,Ed,ser} = -47.81 + 0 \text{ kN} = -47.81 \text{ kN}$$

$$X - X: F_{x,Ed} = F_{M0,x,Ed} + F_{N,x,Ed} = -94.56 + 0 = -94.56 \text{ kN}$$

$$F_{x,Ed,ser} = F_{M0,x,Ed,ser} + F_{N,x,Ed,ser} = -66.93 + 0 = -66.93 \text{ kN}$$

Wypadkowa siła w śrubie:

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2} = \sqrt{(-94.56)^2 + (-67.54)^2} = 116.21 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,ser} = \sqrt{F_{x,Ed,ser}^2 + F_{z,Ed,ser}^2} = \sqrt{(-66.93)^2 + (-47.81)^2} = 82.25 \text{ kN}$$

Nośność obliczeniowa śruby na ścinanie (przykładki) (48.2 %)

Pole przekroju czynne przy ścinaniu :

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \pi \cdot 20^2 / 4 = 314.2 \text{ mm}^2$$

Współczynnik: $\alpha_v = 0.6$

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

Ilość płaszczyzn ścinania: $n=2$

Nośność na ścinanie łącznika:

$$F_{v,Rd} = \frac{n \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0.6 \cdot 0.800 \cdot 314.2 / 1.25 = 241.27 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Rd} = 241.27 \text{ kN} \geq 116.21 \text{ kN} = F_{Ed}$$

Nośność obliczeniowa śruby na docisk po kierunku osi Z-Z (przykładki) (27.2 %)

Dla przykładki

Współczynniki:

$$\alpha_{d,z} = \min\left(\frac{e_2}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(90/(3 \cdot 22); 70/(3 \cdot 22) - \frac{1}{4}\right) = 0.81$$

$$\alpha_{b,z} = \min\left(\alpha_{d,z}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0.81; 0.800/0.360; 1) = 0.81$$

$$k_{1,z} = \min\left(\frac{2.8e_1}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_1}{d_0} - 1.7\right) = \min(2.8 \cdot 70/22 - 1.7; 2.5; 1.4 \cdot 75/22 - 1.7) = 2.50$$

Nośność na docisk do blachy zakładkowej:

$$F_{b,z,Rd} = \frac{nk_{1,z}\alpha_{b,z}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = (2 \cdot 2.50 \cdot 0.81 \cdot 0.360 \cdot 12 \cdot 20) / 1.25 = 280.15 \text{ kN}$$

Dla blachy elementu

Współczynniki:

$$\alpha_{d,z} = \min\left(\frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(70/(3 \cdot 22) - \frac{1}{4}\right) = 0.81$$

$$\alpha_{b,z} = \min\left(\alpha_{d,z}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0.81; 0.800/0.510; 1) = 0.81$$

$$k_{1,z} = \min\left(2.5; \frac{1.4p_1}{d_0} - 1.7\right) = \min(2.5; 1.4 \cdot 75/22 - 1.7) = 2.50$$

Nośność na docisk do blachy elementu:

$$F_{b,z,Rd} = \frac{nk_{2,z}\alpha_{b,z}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = (1 \cdot 2.50 \cdot 0.81 \cdot 0.510 \cdot 15 \cdot 20) / 1.25 = 248.05 \text{ kN}$$

Najmniejsza nośność na docisk (przykładki)

Całkowita nośność na docisk:

$$F_{b,z,Rd} = \min(F_{b,z,Rd}^{lap}; F_{b,z,Rd}^{plate}) = \min(280.15; 248.05) = 248.05 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,z,Rd} = 248.05 \text{ kN} \geq 67.54 \text{ kN} = F_{z,Ed}$$

Nośność obliczeniowa śruby na docisk po kierunku osi X-X (34.9 %)

Dla przykładki

Współczynniki:

$$\alpha_{d,x} = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(70/(3 \cdot 22); 75/(3 \cdot 22) - \frac{1}{4}\right) = 0.89$$

$$\alpha_{b,x} = \min\left(\alpha_{d,x}; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min(0.89; 0.800/0.360, 1) = 0.89$$

$$k_{1,x} = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min(2.8 \cdot 90/22 - 1.7; 2.5; 1.4 \cdot 70/22 - 1.7) = 2.50$$

Nośność na docisk do blachy zakładkowej:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{nk_{1,x}\alpha_{b,x}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = (2 \cdot 2.50 \cdot 0.89 \cdot 0.360 \cdot 12 \cdot 20) / 1.25 = 306.33 \text{ kN}$$

Dla blachy elementu

Współczynniki:

$$\alpha_{d,x} = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(75/(3 \cdot 22) - \frac{1}{4}\right) = 0.89$$

$$\alpha_{b,x} = \min\left(\alpha_{d,x}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0.89; 0.800/0.510; 1) = 0.89$$

$$k_{1,x} = \min\left(2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min(2.5; 1.4 \cdot 70/22 - 1.7) = 2.50$$

Nośność na docisk do blachy elementu:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{nk_{2,x}\alpha_{b,x}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = (1 \cdot 2.50 \cdot 0.89 \cdot 0.510 \cdot 15 \cdot 20) / 1.25 = 271.23 \text{ kN}$$

Najmniejsza nośność na docisk

Całkowita nośność na docisk:

$$F_{b,x,Rd} = \min(F_{b,x,Rd}^{lap}; F_{b,x,Rd}^{plate}) = \min(306.33; 271.23) = 271.23 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,x,Rd} = 271.23 \text{ kN} \geq 94.56 \text{ kN} = F_{x,Ed}$$

Nośność na poślizg styku sprężonego (przykładki) (65.9 %)

Siła sprężająca:

$$F_{p,C} = 0.7 f_{ub} A_s = 0.7 \cdot 0.800 \cdot 245.0 = 137.20 \text{ kN}$$

Nośność na poślizg w stanie granicznym użyteczności:

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} = (1.00 \cdot 2 \cdot 0.50) / 1.10 \cdot 137.20 = 124.73 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{s,Rd,ser} = 124.73 \text{ kN} \geq 82.25 \text{ kN} = F_{Ed,ser}$$

Nośność na rozerwanie blokowe (przykładki) (0.0 %)

Oddziaływanie siły tnącej na przykładkę

Przekrój netto rozciągany:

$$A_{nt} = n \cdot (e_1 + (n_1 - 1) \cdot p_1 - (n_1 - 0,5) \cdot d_0) \cdot t_p = 2 \cdot (70 + (3 - 1) \cdot 75 - (3 - 0,5) \cdot 22) \cdot 12 = 3960 \text{ mm}^2$$

Przekrój netto ścinany:

$$A_{nv} = n \cdot (e_2 + (n_2 - 1) \cdot p_2 - (n_2 - 0,5) \cdot d_0) \cdot t_p = 2 \cdot (90 + (4 - 1) \cdot 70 - (4 - 0,5) \cdot 22) \cdot 12 = 5352 \text{ mm}^2$$

Rozerwanie blokowe w przypadku grupy śrub obciążonej mimośrodowo:

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0,5 \cdot 0,360 \cdot 3960 / 1,25 + 0,235 \cdot 5352 / (\sqrt{3} \cdot 1,00) = 1296,38 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$V_{eff,Rd} = 1296,38 \text{ kN} \geq 0 \text{ kN} = V_{Ed}$$

Oddziaływanie siły tnącej na środkik belki

Przekrój netto rozciągany:

$$A_{nt} = n \cdot (e_1 + (n_1 - 1) \cdot p_1 - (n_1 - 0,5) \cdot d_0) \cdot t_p = 1 \cdot (70 + (3 - 1) \cdot 75 - (3 - 0,5) \cdot 22) \cdot 15,0 = 2475 \text{ mm}^2$$

Przekrój netto ścinany:

$$A_{nv} = n \cdot (e_2 + (n_2 - 1) \cdot p_2 - (n_2 - 0,5) \cdot d_0) \cdot t_p = 1 \cdot (220 + (4 - 1) \cdot 70 - (4 - 0,5) \cdot 22) \cdot 15,0 = 5295 \text{ mm}^2$$

Rozerwanie blokowe w przypadku grupy śrub obciążonej mimośrodowo:

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0,5 \cdot 0,510 \cdot 2475 / 1,25 + 0,355 \cdot 5295 / (\sqrt{3} \cdot 1,00) = 1590,16 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$V_{eff,Rd} = 1590,16 \text{ kN} \geq 0 \text{ kN} = V_{Ed}$$

Oddziaływanie siły normalnej na przykładkę

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

Oddziaływanie siły normalnej na środkik belki

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

Nośność przekroju przykładki (74.6 %)

Pole zakładki:

$$A = 93,60 \text{ cm}^2$$

Moment bezwładności zakładki:

$$I_y = 11863,8000 \text{ cm}^4$$

Wskaźniki wytrzymałości przekroju:

$$W_y = \frac{I_y}{z_b} = 11863,8000 / 19,5 = 608,400 \text{ cm}^3$$

Nośność sprężysta przekroju na ścinanie:

$$V_{Rd} = \frac{0.9 \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 0.9 \cdot 9360 \cdot 0.235 / (1.00 \cdot \sqrt{3}) = 1142.95 \text{ kN}$$

Warunek nośności przekroju na ścinanie:

$$V_{Ed} = 0 \text{ kN} \leq 1142.95 \text{ kN} = V_{Rd}$$

Naprężenia w skrajnym dolnym punkcie przekroju:

$$\sigma_{x,u} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W_u} = 0/93.60 + 10672/608.400 = 17.541 \text{ kN/cm}^2 = 175.41 \text{ MPa}$$

Naprężenia w skrajnym górnym punkcie przekroju:

$$\sigma_{x,b} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W_b} = 0/93.60 + 10672/608.400 = 17.541 \text{ kN/cm}^2 = 175.41 \text{ MPa}$$

Warunek naprężeń dopuszczalnych:

$$\sigma_x = 175.41 \text{ MPa} \leq 235.00 \text{ MPa} = 235.00/1.00 = \frac{f_{y,red}}{\gamma_{M0}}$$

Obliczenia nakładki A

Siły w najbardziej wyężonej śrubie (nakładki A)

Siła w śrubie::

$$F_{Ed} = F_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} = 1152.09/8 = 144.01 \text{ kN}$$

Siła w śrubie::

$$F_{Ed,ser} = F_{x,Ed,ser} = \frac{N_{Ed,ser}}{m} = 815.45/8 = 101.93 \text{ kN}$$

Nośność obliczeniowa śruby na ścinanie (nakładki A) (65.5 %)

Pole przekroju czynne przy ścinaniu :

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \pi \cdot 27^2 / 4 = 572.6 \text{ mm}^2$$

Współczynnik: $\alpha_v = 0.6$

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

Ilość płaszczyzn ścinania: $n = 1$

Nośność na ścinanie łącznika:

$$F_{v,Rd} = \frac{n \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot 0.6 \cdot 0.800 \cdot 572.6 / 1.25 = 219.86 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Rd} = 219.86 \text{ kN} \geq 144.01 \text{ kN} = F_{Ed}$$

Nośność obliczeniowa śruby na docisk po kierunku osi X-X (46.8 %)

Dla nakładki A

Współczynniki:

$$\alpha_{d,x} = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(90/(3 \cdot 30); 70/(3 \cdot 30) - \frac{1}{4}\right) = 0.53$$

$$\alpha_{b,x} = \min\left(\alpha_{d,x}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0.53; 0.800/0.360, 1) = 0.53$$

$$k_{1,x} = \min\left(\frac{2.8e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min(2.8 \cdot 60/30 - 1.7; 2.5; 1.4 \cdot 120/30 - 1.7) = 2.50$$

Nośność na docisk do blachy zakładkowej:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{nk_{1,x}\alpha_{b,x}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = (1 \cdot 2.50 \cdot 0.53 \cdot 0.360 \cdot 30 \cdot 27)/1.25 = 307.80 \text{ kN}$$

Dla blachy elementu

Współczynniki:

$$\alpha_{b,x} = \min\left(\alpha_{d,x}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0.53; 0.800/0.510; 1) = 0.53$$

$$k_{1,x} = \min\left(2.5; \frac{1.4p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min(2.5; 1.4 \cdot 120/30 - 1.7) = 2.50$$

Nośność na docisk do blachy elementu:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{nk_{2,x}\alpha_{b,x}f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = (1 \cdot 2.50 \cdot 0.53 \cdot 0.510 \cdot 30 \cdot 27)/1.25 = 450.58 \text{ kN}$$

Najmniejsza nośność na docisk

Całkowita nośność na docisk:

$$F_{b,x,Rd} = \min(F_{b,x,Rd}^{lap}; F_{b,x,Rd}^{plate}) = \min(307.80; 450.58) = 307.80 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,x,Rd} = 307.80 \text{ kN} \geq 144.01 \text{ kN} = F_{x,Ed}$$

Nośność na poślizg styku sprężonego (nakładki A) (87.2 %)

Siła sprężająca:

$$F_{p,C} = 0.7 f_{ub} A_s = 0.7 \cdot 0.800 \cdot 459.0 = 257.04 \text{ kN}$$

Nośność na poślizg w stanie granicznym użytkowości:

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} = (1.00 \cdot 1 \cdot 0.50)/1.10 \cdot 257.04 = 116.84 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{s,Rd,ser} = 116.84 \text{ kN} \geq 101.93 \text{ kN} = F_{Ed,ser}$$

Nośność na rozerwanie blokowe (nakładki A) (48.7 %)

Oddziaływanie siły normalnej na przykładkę

Przekrój netto rozciągany:

$$A_{nt} = (w + (n_2 - 2) \cdot p_2 - (n_2 - 1) \cdot d_0) \cdot t_p = (120 + (2 - 2) \cdot 120 - (2 - 1) \cdot 30) \cdot 30 = 2700 \text{ mm}^2$$

Przekrój netto ścinany:

$$A_{nv} = 2 \cdot (e_1 + (n_1 - 1) \cdot p_1 - (n_1 - 0,5) \cdot d_0) \cdot t_p = 2 \cdot (90 + (4 - 1) \cdot 70 - (4 - 0,5) \cdot 30) \cdot 30 = 11700 \text{ mm}^2$$

Rozerwanie blokowe w przypadku grupy śrub obciążonej osiowo:

$$N_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0,360 \cdot 2700 / 1,25 + 0,235 \cdot 11700 / (\sqrt{3} \cdot 1,00) = 2365,02 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$N_{eff,Rd} = 2365,02 \text{ kN} \geq 1152,09 \text{ kN} = N_{Ed}$$

Oddziaływanie siły normalnej na pas belki

Przekrój netto rozciągany:

$$A_{nt} = (w + (n_2 - 2) \cdot p_2 - (n_2 - 1) \cdot d_0) \cdot t_p = (QwQ + (2 - 2) \cdot 120 - (2 - 1) \cdot 30) \cdot 31,0 = 2790 \text{ mm}^2$$

Przekrój netto ścinany:

$$A_{nv} = 2 \cdot (e_1 + (n_1 - 1) \cdot p_1 - (n_1 - 0,5) \cdot d_0) \cdot t_p = 2 \cdot (90 + (4 - 1) \cdot 70 - (4 - 0,5) \cdot 30) \cdot 31,0 = 12090 \text{ mm}^2$$

Rozerwanie blokowe w przypadku grupy śrub obciążonej osiowo:

$$N_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0,510 \cdot 2790 / 1,25 + 0,355 \cdot 12090 / (\sqrt{3} \cdot 1,00) = 3616,28 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$N_{eff,Rd} = 3616,28 \text{ kN} \geq 1152,09 \text{ kN} = N_{Ed}$$

Nośność przekroju nakładki A (61.7 %)

Pole zakładki:

$$A = 72,00 \text{ cm}^2$$

Naprężenia w przekroju:

$$\sigma_x = \frac{N_{Ed}}{A} = 1152,09 / 72,00 = 16,001 \text{ kN/cm}^2 = 160,01 \text{ MPa}$$

Warunek naprężeń dopuszczalnych:

$$\sigma_x = 160,01 \text{ MPa} \leq 235,00 \text{ MPa} = 235,00 / 1,00 = \frac{f_{y,red}}{\gamma_{M0}}$$

Obliczenia nakładki B

Siły w najbardziej wyciążonej śrubie (nakładki B)

Siła w śrubie::

$$F_{Ed} = F_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} = (-1152,09) / 8 = -144,01 \text{ kN}$$

Siła w śrubie::

$$F_{Ed,ser} = F_{x,Ed,ser} = \frac{N_{Ed,ser}}{m} = 815,45 / 8 = 101,93 \text{ kN}$$

Nośność obliczeniowa śruby na ścinanie (nakładki B) (65.5 %)

Pole przekroju czynne przy ścinaniu :

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \pi \cdot 27^2 / 4 = 572.6 \text{ mm}^2$$

Współczynnik: $\alpha_v = 0.6$

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

Ilość płaszczyzn ścinania: $n = 1$

Nośność na ścinanie łącznika:

$$F_{v,Rd} = \frac{n \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot 0.6 \cdot 0.800 \cdot 572.6 / 1.25 = 219.86 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{v,Rd} = 219.86 \text{ kN} \geq 144.01 \text{ kN} = F_{Ed}$$

Nośność obliczeniowa śruby na docisk po kierunku osi X-X (38.7 %)

Dla nakładki B

Współczynniki:

$$\alpha_{d,x} = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(75/(3 \cdot 30); 80/(3 \cdot 30) - \frac{1}{4}\right) = 0.64$$

$$\alpha_{b,x} = \min\left(\alpha_{d,x}; \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min(0.64; 0.800/0.360, 1) = 0.64$$

$$k_{1,x} = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; 2.5; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min(2.8 \cdot 62/30 - 1.7; 2.5; 1.4 \cdot 120/30 - 1.7) = 2.50$$

Nośność na docisk do blachy zakładkowej:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{n k_{1,x} \alpha_{b,x} f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = (1 \cdot 2.50 \cdot 0.64 \cdot 0.360 \cdot 30 \cdot 27) / 1.25 = 372.60 \text{ kN}$$

Dla blachy elementu

Współczynniki:

$$\alpha_{b,x} = \min\left(\alpha_{d,x}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0.64; 0.800/0.510; 1) = 0.64$$

$$k_{1,x} = \min\left(2.5; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7\right) = \min(2.5; 1.4 \cdot 120/30 - 1.7) = 2.50$$

Nośność na docisk do blachy elementu:

$$F_{b,x,Rd} = \frac{n k_{2,x} \alpha_{b,x} f_u t_p d}{\gamma_{M2}} = (1 \cdot 2.50 \cdot 0.64 \cdot 0.510 \cdot 30 \cdot 27) / 1.25 = 545.45 \text{ kN}$$

Najmniejsza nośność na docisk

Całkowita nośność na docisk:

$$F_{b,x,Rd} = \min(F_{b,x,Rd}^{lap}; F_{b,x,Rd}^{plate}) = \min(372.60; 545.45) = 372.60 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{b,x,Rd} = 372.60 \text{ kN} \geq 144.01 \text{ kN} = F_{x,Ed}$$

Nośność na poślizg styku sprężonego (nakładki B) (87.2 %)

Siła sprężająca:

$$F_{p,C} = 0.7 f_{ub} A_s = 0.7 \cdot 0.800 \cdot 459.0 = 257.04 \text{ kN}$$

Nośność na poślizg w stanie granicznym użyteczności:

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} = (1.00 \cdot 1 \cdot 0.50) / 1.10 \cdot 257.04 = 116.84 \text{ kN}$$

Warunek nośności:

$$F_{s,Rd,ser} = 116.84 \text{ kN} \geq 101.93 \text{ kN} = F_{Ed,ser}$$

Nośność na rozerwanie blokowe (nakładki A) (0.0 %)

Ze względu na występujące ścisnienie w nakładce nie uwzględniono rozerwania blokowego w obliczeniach.

Nośność przekroju nakładki A (58.1 %)

Pole zakładki:

$$A = 76.50 \text{ cm}^2$$

Naprężenia w przekroju:

$$\sigma_x = \frac{N_{Ed}}{A} = (-1152.09) / 76.50 = -15.060 \text{ kN/cm}^2 = -150.60 \text{ MPa}$$

Warunek naprężeń dopuszczalnych:

$$\sigma_x = 150.60 \text{ MPa} \leq 235.00 \text{ MPa} = 235.00 / 1.00 = \frac{f_{y,red}}{\gamma_{M0}}$$