

Śruby M16 – 8.8 C →  $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$ ,  $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$ ,  $A = \frac{1,6^2 \pi}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$ ,  
 $A_s = 1,51 \text{ cm}^2$ ,  $d = 16 \text{ mm}$ ,  $d_o = 18 \text{ mm}$

Stal S235 →  $f_u = 360 \text{ MPa}$ ,  $f_y = 235 \text{ MPa}$

Sprawdzenie poprawności rozmieszczenia łączników:

$$\begin{aligned}
 e_1 &= 35 \text{ mm} > 1,2d_o = 21,6 \text{ mm} \\
 e_2 &= 30 \text{ mm} > 1,2d_o = 21,6 \text{ mm} \\
 p_{1,0} &= 70 \text{ mm} < 14t = 14 \cdot 12 = 168 \text{ mm} \text{ oraz } < 200 \text{ mm} \\
 p_2 &= 60 \text{ mm} > 2,4d_o = 43,2 \text{ mm} \\
 L &= 69,5 \text{ mm} > 2,4d_o = 43,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

## Połączenie śrubowe kategorii A

### Obliczenie wartości siły rozciągającej przenoszonej przez połączenie zakładkowe

Płaszczyzna ścinania przechodzi przez gwintowaną część śruby →  $\alpha_v = 0,5$

- Nośność pojedynczego, jednociętego łącznika na ścinanie:

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 800 \cdot 1,51}{1,25} = 48,32 \text{ kN}$$

- Nośność pojedynczego łącznika na docisk do blachy  $t_{min} = 12 \text{ mm}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_{min}}{\gamma_{M2}}$$

Łączniki nr 1, 2, 6, 7

- na kierunku obciążenia – łącznik pośredni

$$\alpha_b = \min \left( \begin{array}{l} \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{array} \right) = \min \left( \begin{array}{l} \frac{70}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1,05 \\ \frac{800}{360} = 2,22 \\ 1,0 \end{array} \right) = 1,0$$

- prostopadle do kierunku obciążenia – łącznik skrajny

$$k_1 = \min \begin{pmatrix} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 2,8 \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 1,4 \frac{60}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{pmatrix} = 2,5$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{1,0 \cdot 2,5 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,2}{1,25} = 138,24 \text{ kN}$$

#### Łącznik nr 4

- na kierunku obciążenia – łącznik pośredni

$$\alpha_b = \min \begin{pmatrix} \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} \frac{70}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1,05 \\ \frac{800}{360} = 2,22 \\ 1,0 \end{pmatrix} = 1,0$$

- prostopadle do kierunku obciążenia – łącznik pośredni

$$k_1 = \min \begin{pmatrix} 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 1,4 \frac{60}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{pmatrix} = 2,5$$

$$F_{b,Rd,2} = \frac{1,0 \cdot 2,5 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,2}{1,25} = 138,24 \text{ kN}$$

#### Łączniki nr 3 i 8

- na kierunku obciążenia – łącznik skrajny

$$\alpha_b = \min \begin{pmatrix} \frac{e_1}{3d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} \frac{35}{3 \cdot 18} = 0,648 \\ \frac{800}{360} = 2,22 \\ 1,0 \end{pmatrix} = 0,648$$

- prostopadle do kierunku obciążenia – łącznik skrajny

$$k_1 = \min \begin{pmatrix} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 2,8 \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 1,4 \frac{60}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{pmatrix} = 2,5$$

$$F_{b,Rd,3} = \frac{0,648 \cdot 2,5 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,2}{1,25} = 89,58 \text{ kN}$$

#### Łącznik nr 5

- na kierunku obciążenia – łącznik skrajny

$$\alpha_b = \min \begin{pmatrix} \frac{e_1}{3d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} \frac{70}{3 \cdot 18} = 1,30 \\ \frac{800}{360} = 2,22 \\ 1,0 \end{pmatrix} = 1,0$$

- prostopadle do kierunku obciążenia – łącznik pośredni

$$k_1 = \min \begin{pmatrix} 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 1,4 \frac{60}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{pmatrix} = 2,5$$

$$F_{b,Rd,4} = \frac{1,0 \cdot 2,5 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,2}{1,25} = 138,24 \text{ kN}$$

- Nośność grupy łączników

Obliczeniową nośność grupy łączników można przyjmować jako sumę nośności obliczeniowych pojedynczych łączników na docisk  $F_{b,Rd}$  pod warunkiem, że nośność obliczeniowa na ścinanie każdego łącznika  $F_{v,Rd}$  jest nie mniejsza od jego nośności obliczeniowej na docisk  $F_{b,Rd}$ . Gdy ten warunek nie jest spełniony, obliczeniową nośność grupy łączników oblicza się jako iloczyn liczby łączników i najmniejszej nośności obliczeniowej łącznika w grupie.

Stąd minimalna nośność pojedynczego łącznika:

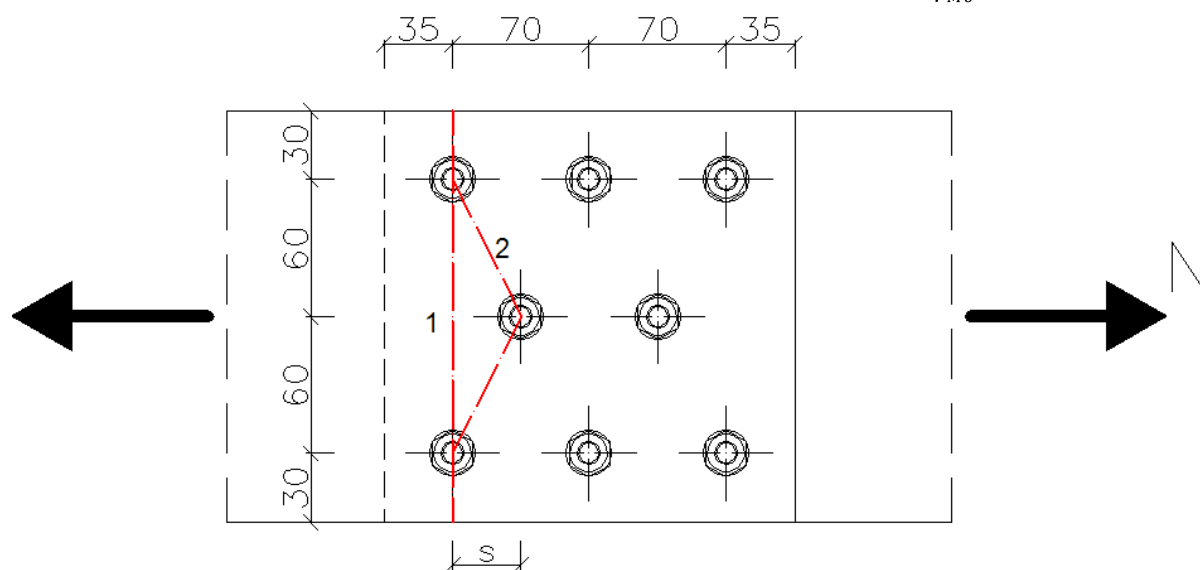
$$F_{Rd,min} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd,1}; F_{b,Rd,2}; F_{b,Rd,3}; F_{b,Rd,4}) = 48,32 \text{ kN}$$

**Nośność grupy łączników:**  $F_{Rd} = n_b \cdot F_{Rd,min} = 8 \cdot 48,32 = 386,56 \text{ kN}$

- Nośność przekroju osłabionego otworami

nośność graniczna przy rozciąganiu (przekrój netto):  $N_{net,Rd} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

nośność plastyczna przy rozciąganiu (przekrój brutto):  $N_{net,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$



W połączeniu śrubowym z łącznikami w układzie przedstawionym należy sprawdzić rozerwanie przekroju netto wzdłuż dwóch linii krytycznych.

1. Przekrój prostopadły do kierunku działania obciążenia

przekrój netto:  $A_{net} = t(h - n \cdot d_o) = 1,2(18,0 - 2 \cdot 1,8) = 17,28 \text{ cm}^2$

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 17,28 \cdot 36,0}{1,25} = 447,9 \text{ kN} > F_{Rd} = 386,56 \text{ kN}$$

2. Przekrój ukośny (zygzakowaty)

przekrój netto:  $A_{net} = t \left[ h - \left( n \cdot d_o - \sum \frac{s^2}{4p_2} \right) \right] = 1,2 \left[ 18,0 - \left( 3 \cdot 1,8 - \sum \frac{3,5^2}{4 \cdot 6,0} \right) \right] = 16,345 \text{ cm}^2$

s – wzajemne przesunięcie otworów w układzie przestawionym wzdłuż osi elementu;  
p<sub>2</sub> – osiowy rozstaw otworów w kierunku prostopadłym do osi elementu.

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 16,345 \cdot 36,0}{1,25} = 423,66 \text{ kN} > F_{Rd} = \mathbf{386,56 \text{ kN}}$$

Dodatkowo należy sprawdzić nośność plastyczną przekroju brutto przy rozciąganiu:

$$N_{net,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(1,2 \cdot 18,0) \cdot 23,5}{1,0} = 507,6 \text{ kN} > F_{Rd} = \mathbf{386,56 \text{ kN}}$$

O nośności połączenia decyduje nośność grupy łączników na ścinanie ( $F_{v,Rd} = 386,56 \text{ kN}$ ), stąd siła rozciągająca przenoszona przez połączenie zakładkowe kategorii A wynosi  $N \leq 386,56 \text{ kN}$ ,