

Przykład obliczenia połączenie słupa z fundamentem (rys.1), obciążonego siłami wg punktu 1. Słup wykonano z drewna klasy GL24h, śruby stalowe średnicy 20mm(klasa 5.8).

Skróty:

EK5 – PN-EN 1995-1-1:2004+AC:2006+A1:2008

1. Zestawienie sił działających na połączenie

$$M_{Ed} = 49,75kNm$$

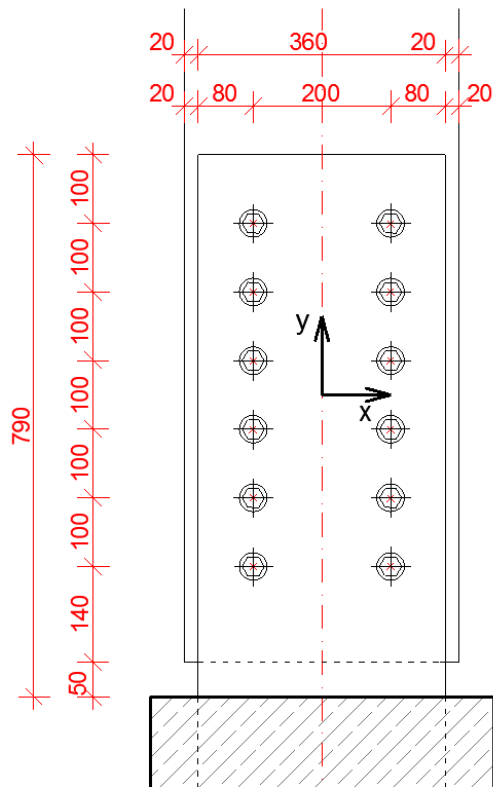
$$N_{Ed} = 177,37kN$$

$$V_{Ed} = 28,42kN$$

2. Połączenie jest dwucięte:

$n_c = 2$ (liczba cięć)

Założono ilość śrub $n=12$ o średnicy $d=20$ mm (klasa 5.8), rozmieszczając je zgodnie z rys. 1:



Rys. 1. Rozmieszczenie śrub w połączeniu.

3. Obliczenie sił w najbardziej wyężonym łączniku:

$$F_{M,V} = \frac{M_{Ed} \cdot x_{\max}}{n_c \cdot \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2)} = \frac{49,75 \cdot 10}{2 \cdot (12 \cdot 10^2 + 4 \cdot 5^2 + 4 \cdot 15^2 + 4 \cdot 25^2)} = 5,29 \text{ kN}$$

$$F_{M,H} = \frac{M_{Ed} \cdot y_{\max}}{n_c \cdot \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2)} = \frac{49,75 \cdot 25}{2 \cdot (12 \cdot 10^2 + 4 \cdot 5^2 + 4 \cdot 15^2 + 4 \cdot 25^2)} = 13,23 \text{ kN}$$

$$F_W = \sqrt{\left(F_{MV} + \frac{N_{Ed}}{n_c \cdot n}\right)^2 + \left(F_{MH} + \frac{V_{Ed}}{n_c \cdot n}\right)^2} = \sqrt{\left(5,29 + \frac{177,37}{2 \cdot 12}\right)^2 + \left(13,23 + \frac{28,42}{2 \cdot 12}\right)^2} = 19,2 \text{ kN}$$

$$\alpha = a \tan \left(\frac{F_{MH} + \frac{V_{Ed}}{n_c \cdot n}}{F_{MV} + \frac{N_{Ed}}{n_c \cdot n}} \right) = a \tan \left(\frac{13,23 + \frac{28,42}{2 \cdot 12}}{5,29 + \frac{177,37}{2 \cdot 12}} \right) = 0,85 = 48,66^\circ$$

4. Moment uplastycznienia śrub:

śruby są klasy 5.8, więc:

$$f_{uk} = 500 \text{ MPa}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

Zgodnie z wzorem (8.30) normy PN-EN 1995-1-1, moment uplastycznienia śrub należy określać z wzoru:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{uk} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 20^{2,6} = 362100 \text{ Nmm} \quad (8.30, \text{EK5})$$

5. Wytrzymałość charakterystyczna na docisk pod kątem do włókien:

$$\rho_k = 380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{wg Tablicy 1 normy EN 1194:1999, dla klasy drewna GL 24h})$$

Wytrzymałość charakterystyczna na docisk pod kątem do włókien określono na podstawie wzory (8.31) normy PN-EN 1995-1-1:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} = \frac{24,93}{1,65 \cdot \sin(48,66)^2 + \cos(48,66)^2} = 18,24 \text{ MPa} \quad (8.30, \text{EK5})$$

gdzie

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 380 = 24,93 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (8.31, \text{EK5})$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 \cdot 20 = 1,65 \quad (8.32, \text{EK5})$$

6. Nośność śrub na rozciąganie:

t - grubość blachy w połączeniu

$$t = 20\text{mm}$$

Wytrzymałość śrub na rozciąganie zgodnie z norma EK5 należy przyjmować jako mniejszą z wartości (8.5.2 (1) EK5):

a) Nośność śruby na rozciąganie:

$$f_{uk} \cdot A_s = 500 \cdot 245 = 122,5\text{kN}$$

b) Nośność podkładki lub płyty stalowej (w przypadku złączy stal-drewno)

Według 8.5.2(3) EK5 nośność płyty stalowej przypadającej na śrubę nie powinna przekraczać nośności podkładki okrągłej o średnicy równej mniejszej z wartości $12t$ lub $4d$, więc:

$$d_w = \min(4d, 12t) = \min(4 \cdot 20; 12 \cdot 20) = 80\text{mm}$$

Na podstawie 8.5.2(2) nośność na docisk pod podkładką należy obliczać przy założeniu wytrzymałości charakterystycznej o wielkości $3f_{c,90,k}$, więc:

$$3 \cdot f_{c90k} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - (d + 1\text{mm})^2) = 3 \cdot 2,7 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (80^2 - (20 + 1\text{mm})^2) = 37,91\text{kN}$$

$$f_{c,90,k} = 2,7\text{MPa} \text{ (wg Tablicy 1 normy EN 1194:1999, dla klasy drewna GL 24h)}$$

c) Ostatecznie, więc nośność śrub na rozciąganie obliczamy jak mniejszą z powyższych wartości (8.5.2 (1) EK5):

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{uk} \cdot A_s = 500 \cdot 245 = 122,5\text{kN} \\ 3 \cdot f_{c90k} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - (d + 1\text{mm})^2) = 3 \cdot 2,7 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (80^2 - (20 + 1\text{mm})^2) = 37,91\text{kN} \end{cases} = 37,91\text{kN}$$

7. Nośność charakterystyczna śruby w złączach dwuciętych.

a) Zgodnie z założeniem opisanym w punkcie 8.2.3(1) EK5 nośność złączy zależy od grubości płyt stalowych. Jeśli grubość płyty (t) jest większa lub równa grubości śruby (d), przy osadzeniu śrub w otworach o tolerancji mniejszej niż $0,1d$ to możemy klasyfikować płyty stalowe jako grube (w Polskim przekładzie Eurokodu jest błąd, który przy klasyfikacji jako blachy grube odrzuca blachy o grubości równej grubości śruby). W rozpatrywanym przypadku $d=t$ ($20=20$), więc możemy klasyfikować nasze połączenie jako złącze dwucięte z zewnętrznymi grubymi płytami stalowymi i korzystać z wzoru 8.13 (l) i (m):

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot 18,24 \cdot 22 \cdot 2 = 40,14\text{kN} \\ 2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 362100 \cdot 18,24 \cdot 20} + \frac{37,91}{4} = 46,86\text{kN} \end{cases}$$

$$F_{v,Rk} = 40,14\text{kN}$$

- b) Zgodnie z punktem 8.2.2(2) EK5 drugi składnik wzoru określającego nośność śrub $\left(\frac{F_{ax,Rk}}{4}\right)$ jest odpowiedzialny za tzw. Efekty liny i nie może przekroczyć 25% pierwszego składnika wzoru, który dotyczy tzw. Teorii Jahansena, więc:

$$\frac{\frac{F_{ax,Rk}}{4}}{2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} = \frac{\frac{37,91}{4}}{2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 362100 \cdot 18,24 \cdot 20}} = 0,254 > 0,25$$

Granica nośności efektu liny jest przekroczona, więc należy wziąć pod uwagę maksymalnie dopuszczalną wartość związaną z efektem liny, czyli:

$$1,25 \cdot 2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} = 1,25 \cdot 2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 362100 \cdot 18,24 \cdot 20} = 46,731kN,$$

Finalnie należy wybrać nośność z warunków:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot 18,24 \cdot 22 \cdot 2 = 40,14kN \\ 1,25 \cdot 2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} = 1,25 \cdot 2,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 362100 \cdot 18,24 \cdot 20} = 46,731kN \end{cases}$$

$$F_{v,Rk} = 40,14kN$$

8. Nośność obliczeniowa śruby w złączach dwuciętych.

$k_{mod} = 0,8$ (dla obciążenia średniotrwalego i klasy użytkowania 2, wg Tablicy 3.1 EK5)

$\gamma_M = 1,3$ (dla połączeń, wg Tablicy 2.3 EK5)

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{40,14}{1,3} = 24,7kN$$

9. Obliczenie efektywnej ilości śrub w złączu.

Określono minimalny rozstaw śrub wzdłuż włókien na podstawie 8.5.1.1(3) i Tablicy 8.4:

$a_{min} = (4 + |\cos(\alpha)|) \cdot d = (4 + |\cos(48,658)|) \cdot 2 = 9,32cm$ (minimalny rozstaw śrub wzdłuż włókien, wg Tablicy 8.4 EK5)

$a_1 = 10cm > a_{min}$ (rozstaw śrub wzdłuż włókien, wg rys. 1)

Według 8.5.1.1(4) EK5 w przypadku kątów $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ między kierunkiem obciążenia a włóknami ilość efektywną śrub należy wyznaczać jako interpolację między wartościami podanymi we wzorach (8.34) i (8.35) EK5.

Dla śrub rozmieszczonych w szeregu i obciążonych równoległe do włókien efektywną liczbę łączników określa wzór (8.34) EK5:

$$n_{ef} = \min \begin{cases} n = 12 \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = 12^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{10}{13 \cdot 2}} = 7,37 \end{cases} \quad (8.34, EK5)$$

Dla śrub rozmieszczonych w szeregu i obciążonych prostopadle do włókien efektywną liczbę łączników określa wzór (8.35) EK5:

$$n_{ef} = n = 12 \text{ (8.35, EK5)}$$

Interpolując między powyższymi wzorami otrzymujemy finalną ilość efektywną łączników:

$$n_{ef,fin} = 9,87$$

10. Nośność śruby uwzględniająca efektywną liczbę łączników zgodnie z 8.5.1.1(4).

$$F_{v,Rd,fin} = \frac{F_{v,Rd} \cdot n_{ef,fin}}{n} = \frac{24,7 \cdot 9,87}{12} = 20,32 \text{ kN}$$

Warunek nośności najbardziej wyjątkowej śruby:

$$\frac{F_w}{F_{v,Rd,fin}} = \frac{19,2}{20,32} = 0,95 < 1$$

warunek spełniony

Referencje:

[1] PN-EN 1995-1-1:2010. Eurokod 5. Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków

[2] Kotwica, E, I., Nożyński W., Konstrukcje drewniane – przykłady obliczeń, Stowarzyszenie Producentów Płyt Drewnopochodnych w Polsce, Szczecin, 2015.