

Příloha E

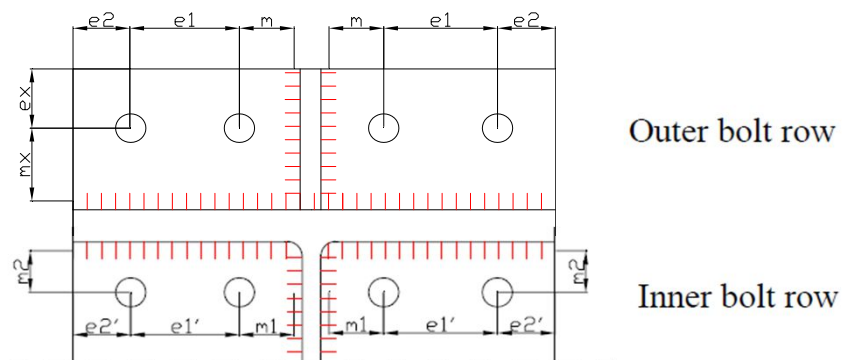
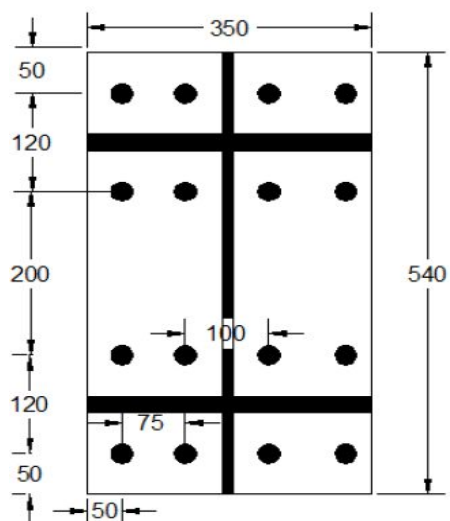
ENS20 - METODA KOMPONENT

Zadání:

počet šroubů v řadě:	4 [ks]
počet řad:	4 [ks]
tloušťka čelní desky:	20 [mm]
zatížení:	ohybový moment M
šrouby:	M20 8.8
ocel:	S450

Geometrie styčnicku:

průměr šroubu:	$d =$	20 [mm]
průměr hlavy šroubu:	$d_w =$	30 [mm]
plocha jádra šroubu:	$A_s =$	245 [mm ²]
výška nosníku:	$h_b =$	300 [mm]
šířka nosníku:	$b_b =$	350 [mm]
tloušťka stojiny:	$t_w =$	12 [mm]
tloušťka pásnice:	$t_f =$	20 [mm]
velikost svaru profilu:	$a =$	7 [mm]
tloušťka čelní desky:	$t_p =$	20 [mm]
velikost svaru stojiny:	$a_w =$	7 [mm]
velikost svaru pásnice:	$a_f =$	7 [mm]
výška čelní desky:	$h_p =$	540 [mm]
šířka čelní desky:	$b_p =$	350 [mm]
rozteče šroubů:	$e_1 =$	75 [mm]
	$e_2 =$	50 [mm]
	$w =$	100 [mm]
	$e_x =$	50 [mm]
	$m_x =$	42,1 [mm]
	$m =$	36,1 [mm]
	$m_2 =$	42,1 [mm]
mez kluzu oceli:	$f_y =$	450 [MPa]
mez pevnosti oceli:	$f_u =$	550 [MPa]
mez pevnosti šroubu:	$f_{ub} =$	800 [MPa]
součinitele spolehlivosti:	$\gamma_{M0} =$	1,00 [-]
	$\gamma_{M2} =$	1,25 [-]



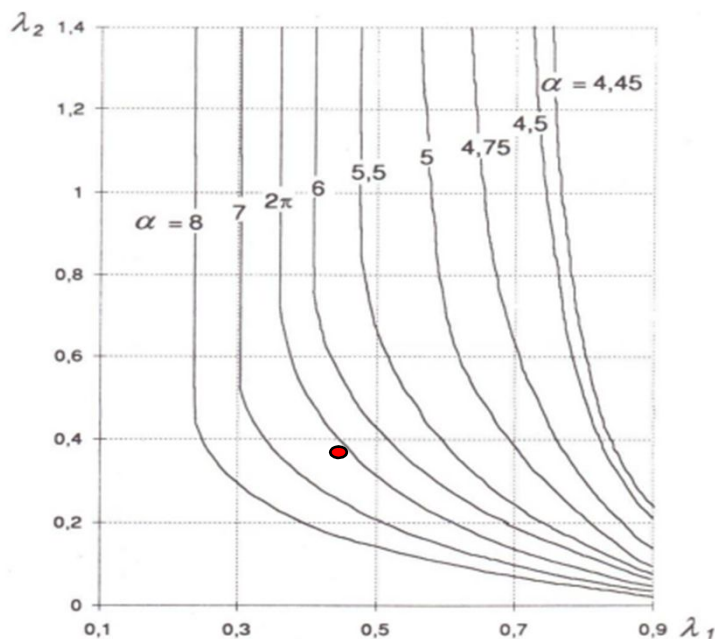
Výpočet únosnosti jednoho šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad \rightarrow \quad F_{t,Rd} = 141 \text{ [kN]}$$

Výpočet únosnosti čelní desky pro 1. řadu šroubů:

$$\lambda_1 = \frac{m_x}{m_x + e_x} \quad \rightarrow \quad \lambda_1 = 0,46 \text{ [-]}$$

$$\lambda_2 = \frac{m}{m_x + e_x} \quad \rightarrow \quad \lambda_2 = 0,39 \text{ [-]}$$



α - součinitel stanovený z grafu $\rightarrow \alpha = 6,5 \text{ [-]}$

efektivní délka T-průřezu:

$$L_{eff,cp} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4\pi m_x \\ 2\pi m_x + 2e_1 \\ \pi m_x + 2(e_1 + e_2) \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} 529 \text{ [mm]} \\ 414 \text{ [mm]} \\ 382 \text{ [mm]} \end{array}$$

$\rightarrow L_{eff,cp} = 382 \text{ [mm]}$

$$L_{eff,op} = \min \left\{ \begin{array}{l} \alpha m_x - (2m_x + 0,625e_x) + e_1 + e_2 \\ \alpha m_x + e_1 \\ \alpha m_x + 4m_x + 1,25e_x \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} 283 \text{ [mm]} \\ 349 \text{ [mm]} \\ 504 \text{ [mm]} \end{array}$$

$\rightarrow L_{eff,op} = 283 \text{ [mm]}$

výsledné efektivní délky:

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,op}) \quad \rightarrow \quad L_{eff,1} = 283 \text{ [mm]}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,op} \quad \rightarrow \quad L_{eff,2} = 283 \text{ [mm]}$$

únosnost čelní desky v ohybu:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{L_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{M0}} \quad \rightarrow \quad M_{pl,1,Rd} = 12,7 \text{ [kNm]}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{L_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{M0}} \quad \rightarrow \quad M_{pl,2,Rd} = 12,7 \text{ [kNm]}$$

způsob porušení 1:

$$F_{Rd,1} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m + n)} \quad \rightarrow \quad F_{Rd,1} = 1665 \text{ [kN]}$$

$$n = \min(e_1 + e_2; 1,25 \cdot m_1) \quad \rightarrow \quad n = 45,1 \text{ [mm]}$$

$$e_w = \frac{d_w}{4} \quad \rightarrow \quad e_w = 7,5 \text{ [mm]}$$

$$m = m_1 \quad \rightarrow \quad m = 36,1 \text{ [mm]}$$

způsob porušení 2:

$$F_{Rd,2} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + \frac{\sum F_{t,Rd}}{2} \cdot \left(\frac{n_1^2 + 2n_2^2 + 2n_1n_2}{n_1 + n_2} \right)}{(m + n_1 + n_2)} \quad \rightarrow \quad F_{Rd,2} = 412 \text{ [kN]}$$

$$n_1 = e_1 \quad \rightarrow \quad n_1 = 75 \text{ [mm]}$$

$$n_2 = \min(e_2; 1,25 \cdot m_1 + n_1) \quad \rightarrow \quad n_2 = 50 \text{ [mm]}$$

způsob porušení 3:

$$F_{Rd,3} = \sum F_{t,Rd} = 4F_{t,Rd} \quad \rightarrow \quad F_{Rd,3} = 564 \text{ [kN]}$$

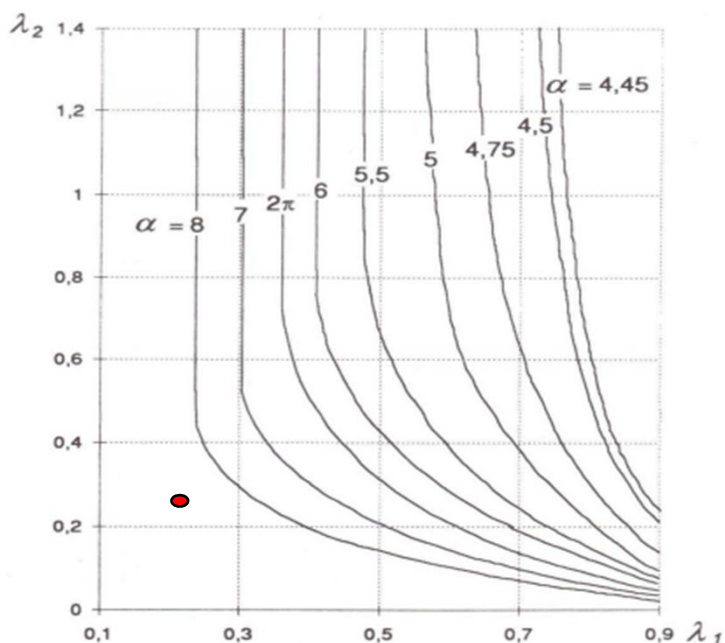
výsledná únosnost:

$$F_{t1,Rd} = \min(F_{Rd,1}; F_{Rd,2}; F_{Rd,3}) \quad \rightarrow \quad F_{t1,Rd} = 412 \text{ [kN]}$$

Výpočet únosnosti čelní desky pro 2. řadu šroubů:

$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e_1 + e_2} \quad \rightarrow \quad \lambda_1 = 0,22 \text{ [-]}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e_1 + e_2} \quad \rightarrow \quad \lambda_2 = 0,26 \text{ [-]}$$



α - součinitel stanovený z grafu $\rightarrow \alpha = 9 [-]$

efektivní délka T-průřezu:

$$L_{eff,cp} = 4\pi m_1 \rightarrow L_{eff,cp} = 453 \text{ [mm]}$$

$$L_{eff,op} = \alpha m_1 \rightarrow L_{eff,op} = 325 \text{ [mm]}$$

výsledné efektivní délky:

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,op}) \rightarrow L_{eff,1} = 325 \text{ [mm]}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,op} \rightarrow L_{eff,2} = 325 \text{ [mm]}$$

únosnost čelní desky v ohybu:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{L_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{M0}} \rightarrow M_{pl,1,Rd} = 14,6 \text{ [kNm]}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{L_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{M0}} \rightarrow M_{pl,2,Rd} = 14,6 \text{ [kNm]}$$

způsob porušení 1:

$$F_{Rd,1} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m + n)} \rightarrow F_{Rd,1} = 1910 \text{ [kN]}$$

$$n = \min(e_1 + e_2; 1,25 \cdot m_1) \rightarrow n = 45,1 \text{ [mm]}$$

$$e_w = \frac{d_w}{4} \rightarrow e_w = 7,5 \text{ [mm]}$$

$$m = m_1 \rightarrow m = 36,1 \text{ [mm]}$$

způsob porušení 2:

$$F_{Rd,2} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + \frac{\sum F_{t,Rd}}{2} \cdot \left(\frac{n_1^2 + 2n_2^2 + 2n_1n_2}{n_1 + n_2} \right)}{(m + n_1 + n_2)} \rightarrow F_{Rd,2} = 435 \text{ [kN]}$$

$$n_1 = e_1 \rightarrow n_1 = 75 \text{ [mm]}$$

$$n_2 = \min(e_2; 1,25 \cdot m_1 + n_1) \rightarrow n_2 = 50 \text{ [mm]}$$

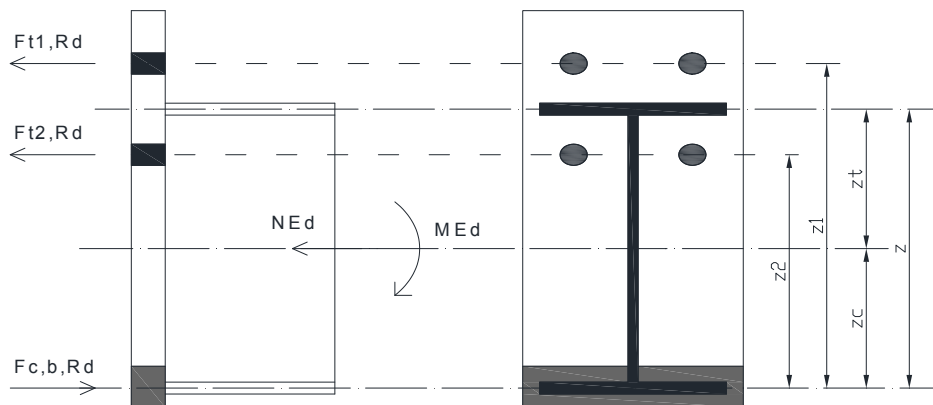
způsob porušení 3:

$$F_{Rd,3} = \sum F_{t,Rd} = 4F_{t,Rd} \rightarrow F_{Rd,3} = 564 \text{ [kN]}$$

výsledná únosnost:

$$F_{t2,Rd} = \min(F_{Rd,1}; F_{Rd,2}; F_{Rd,3}) \rightarrow F_{t2,Rd} = 435 \text{ [kN]}$$

Výpočet momentové únosnosti styčnicku



momentová únosnost šroubovaného přípoje:

$$M_{b,Rd} = F_{t1,Rd} \cdot z_1 + F_{t2,Rd} \cdot z_2 + F_{t3,Rd} \cdot z_3 \rightarrow M_{b,Rd} = 272 \text{ [kNm]}$$

$$z_1 = h_b + m_x \rightarrow z_1 = 342 \text{ [mm]}$$

$$z_2 = h_b - m_2 \rightarrow z_2 = 258 \text{ [mm]}$$

$$z_3 = m_2 \rightarrow z_3 = 42,1 \text{ [mm]}$$

$$F_{t3,Rd} = F_{t2,Rd} \quad \text{3. řada šroubů má stejnou geometrii jako 2. řada}$$

Výpočet tuhosti styčnicku:

tuhost první řady šroubů:

tuhost šroubů:

$$k = 1,6 \frac{A_s}{L_b} \rightarrow k = 6,9 \text{ [mm]}$$

$$L_b - \text{vzdálenost středů hlavy a matice šroubu} \rightarrow L_b = 57 \text{ [mm]}$$

tuhost čelní desky:

$$k_{d,1} = \frac{0,9 \cdot L_{eff} \cdot t_p^3}{m_x^3} \rightarrow k_{d,1} = 27,4 \text{ [mm]}$$

výsledná tuhost první řady:

$$k_{eff,1} = \frac{1}{\frac{1}{k} + \frac{1}{k_{d,1}}} \rightarrow k_{eff,1} = 5,5 \text{ [mm]}$$

tuhost druhé řady šroubů:

tuhost dvojice šroubů:

$$k = 1,6 \frac{A_s}{L_b} \rightarrow k = 6,9 \text{ [mm]}$$

$$L_b - \text{vzdálenost středů hlavy a matice šroubu} \rightarrow L_b = 57 \text{ [mm]}$$

tuhost čelní desky:

$$k_{d,2} = \frac{0,9 \cdot L_{eff} \cdot t_p^3}{m_1^3} \rightarrow k_{d,2} = 49,8 \text{ [mm]}$$

výsledná tuhost druhé řady:

$$k_{eff,2} = \frac{1}{\frac{1}{k} + \frac{1}{k_{d,2}}} \rightarrow k_{eff,2} = 6,0 \text{ [mm]}$$

rameno vnitřních sil:

$$z = \frac{\sum_i k_{eff,i} z_i^2}{\sum_i k_{eff,i} z_i} = \frac{k_{eff,1} z_1^2 + k_{eff,2} z_2^2}{k_{eff,1} z_1 + k_{eff,2} z_2} \rightarrow z = 304 \text{ [mm]}$$

celková tuhost tažené části přípoje:

$$k_{eq} = \frac{\sum_i k_{eff,i} \cdot z_i}{z} = \frac{k_{eff,1} \cdot z_1 + k_{eff,2} \cdot z_2}{z} \rightarrow k_{eq} = 11,3 \text{ [mm]}$$

počáteční ohybová tuhost přípoje:

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot k_{eq}} \rightarrow S_{j,ini} = 317,7 \text{ [Mnm/rad]}$$

E - modul pružnosti oceli

$$E = 210 \text{ [GPa]}$$

μ - poměr tuhosti

$$\mu = 1 \text{ [-]}$$