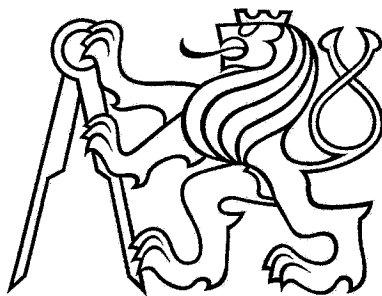


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Bakalářská práce



STATICKÝ VÝPOČET

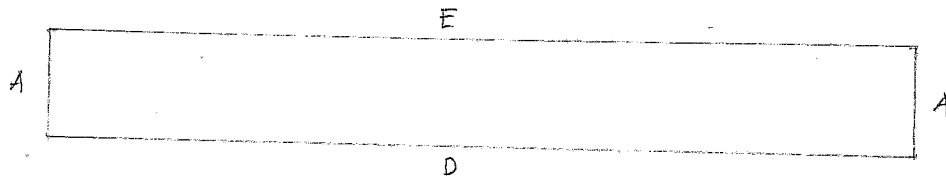
2017

Macasová Alena

Obsah statického výpočtu:

1. Zatížení	
1.1 Zatížení větrem	1
1.2 Zatížení sněhem	3
1.3 Zatížení stálé a proměnné	3
2. Stropní konstrukce	
2.1 Trapézový plech	4
2.2 Stropnice	5
2.3 Průvlak	10
2.4 Přípoje stropních nosníků	13
3. Konstrukce střechy	
3.1 Návrh tenkostěnných vaznic	16
3.2 Příčná vazba	18
3.2.1 Montážní styk	22
4. Ztužidla	
4.1 Příčné ztužidlo ve střešní rovině	24
4.2 Podélné ztužení	26
4.3 Příčné ztužení ve štítové stěně	27
5. Sloup	29
5.1 Patka sloupu	34
6. Štítová vazba	
6.1 Střecha	35
6.2 Sloup	35

vitr příčný $e > d$



$$e = \min(b; 2h) = \min(262,72; 2 \cdot 32,4) = 64,8 \text{ m}$$

$$\frac{A}{d} = \frac{32,4}{12,91} = 2,51$$

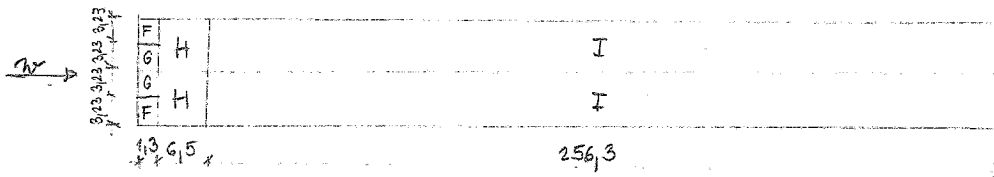
$$A = -1,2 \longrightarrow w_{ek,A} = -0,95 \text{ kN/m}^2$$

$$D = 0,8 \longrightarrow w_{ek,D} = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$E = -0,57 \longrightarrow w_{ek,E} = -0,45 \text{ kN/m}^2$$

• zatížení střechy $\alpha = 12^\circ$

vitr podélný; $e = 12,91 \text{ m}$



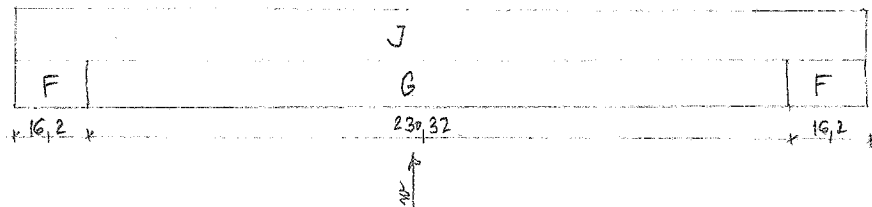
$$F = -1,39 \longrightarrow w_{ek,F} = -1,10 \text{ kN/m}^2$$

$$G = -1,3 \longrightarrow w_{ek,G} = -1,027 \text{ kN/m}^2$$

$$H = -0,63 \longrightarrow w_{ek,H} = -0,498 \text{ kN/m}^2$$

$$I = -0,5 \longrightarrow w_{ek,I} = -0,396 \text{ kN/m}^2$$

vitr příčný; $e = 64,8 \text{ m}$



$$F = -1,14 \longrightarrow w_{ek,F} = -0,90 \text{ kN/m}^2$$

$$G = -0,92 \longrightarrow w_{ek,G} = -0,73 \text{ kN/m}^2$$

$$J = -0,79 \longrightarrow w_{ek,J} = -0,62 \text{ kN/m}^2$$

1.2 zátěžem' snehem

$$S_k = 0,96 \text{ kPa} \quad \dots \text{ viz. snehová mapa. CZ}$$

$$S = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,96 = 0,768 \text{ kN/m}^2$$

$c_e = 1,0 = c_t$... součinitel expozice, tepelný součinitel

$\mu_i = 0,8$... tvarový součinitel

1.3 zátěžemi' střeš' a proměnné'

• střeš' zátěžem'

beton ... montážem' stadiem' $f = 26 \text{ kN/m}^3$

provozem' stadiem' $f = 25 \text{ kN/m}^3$

trapezov' plech ... $9,1 \text{ kN/m}^2$

podhled ... $0,15 \text{ kN/m}^2$

střeš' sendvičové' panely ... $9,1223 \text{ kN/m}^2$

stěnové' sendvičové' panely ... $9,1277 \text{ kN/m}^2$

• proměnné' zátěžem'

základem' ... $9,75 \text{ kN/m}^2$

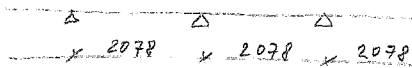
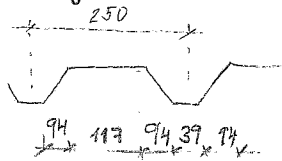
zvýšene' ... $1,5 \text{ kN/m}^2$

užitne' ... $1,5 \text{ kN/m}^2$ (kategorie A - plochy pro obyvatele' a obytné' činnosti)

prýčky ... $1,2 \text{ kN/m}^2$ (přemístitelné' prýčky v klastre' t'íhlem $\leq 3,0 \text{ kN/m}$)

2. STROPNÍ KONSTRUKCE

2.1 trapezový plech



$$h_{ge} = 70 + 55,1 \cdot \frac{39 + 94}{250} = 99,3 \text{ mm}$$

zatížení: montážní nádliv

Stále		g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]
betonová deska	26,90993	2,582	1,35	3,486
TR plech		0,1	1,35	0,135
		2,682		3,621
proměnné		q_k [kN/m ²]	γ_Q	q_d [kN/m ²]
základní		0,75	1,5	1,125
zvětšene		1,5	1,5	2,25

$$M_{ed} = \frac{1}{10} \cdot (g_d + q_d) \cdot l^2 = \frac{1}{10} \cdot (3,621 + 2,25) \cdot 2,078^2 = 2,54 \text{ kNm/m}$$

potřebný přířizový modul pro TR plech z oceli S320

$$W_{min} = \frac{M_{ed}}{f_{yd}} = \frac{2,54 \cdot 10^6}{320} = 7,92 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

→ TR 55/250 / 1,0

$$W_{y,eff} = 15,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 / \text{m}$$

$$I_{y,eff} = 51,4 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 / \text{m}$$

$$m = 1,0 \text{ kg/m}^2$$

posouzení:

MBÚ: momentová únosnost

$$M_{eff,rd} = W_{eff} \cdot f_{yd} = 15,5 \cdot 10^3 \cdot 320 = 4,96 \text{ kNm/m} > M_{ed} = 2,54 \text{ kNm/m}$$

MSP: průhyb

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I_{eff}} \left(\frac{5}{384} \cdot g_k \cdot l^4 + \frac{1}{16} \cdot M_{Ed} \cdot l^2 \right) =$$

$$= \frac{1}{21 \cdot 10^5 \cdot 51,4 \cdot 10^4} \left(\frac{5}{384} \cdot 2,682 \cdot 2,078^4 + \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{10} \cdot 2,682 \cdot 2,078^2 \right) =$$

$$= 3,14 \text{ mm}$$

$$\delta = 3,14 \text{ mm} < \frac{h_{st}}{10} = \frac{99,3}{10} = 9,93 \text{ mm}$$

→ trapezový plech vyhoví

2.2 stropnice - nepodeprána během montáže
zatížení:

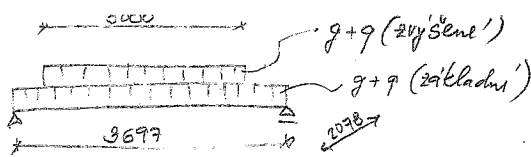
montážní stádium

stále	g_k [kN/m]	γ_g	g_d [kN/m]
betonová deska 26.90993.2078	5,36	1,35	7,236
TR plech 0,1.2,078	0,208	1,35	0,281
vl. tíha mosíku (odhad)	0,25	1,35	0,338
	5,818		7,85
průměrné	g_k [kN/m]	γ_g	g_d [kN/m]
rovněměrné 0,75.2,078	1,56	1,5	2,34
střídavé 1,5.2,078	3,12	1,5	4,68

provozní stádium

stále	g_k [kN/m ²]	γ_g	g_d [kN/m ²]
nákladová roštra beton 005.25	1,285	1,35	1,735
izolace 003.1,177			
betonová deska 00993.25	2,483	1,35	3,352
trapezový plech	0,1	1,35	0,135
podhled	0,15	1,35	0,203
	4,018		
průměrné	g_k [kN/m ²]	γ_g	g_d [kN/m ²]
užšíme	1,5	1,5	2,25
průběh	1,2	1,5	1,8
	2,7		4,05

montážní stádium



$$R_{Ed} = V_{Ed} = 7,85 \cdot \frac{3697}{2} + 4,68 \cdot \frac{3}{2} + 2,34 \cdot 9349 = 22,35 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 22,35 \cdot 1,85 - 7,85 \cdot 1,85 \cdot \frac{1,85}{2} - 2,34 \cdot 935 \cdot 1,67 - 4,68 \cdot 1,5 \cdot 975 = 21,28 \text{ kNm}$$

potřebný průřezový modul pro ocel S355:

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{21,28 \cdot 10^6}{355} = 59\,947,77 \text{ mm}^3$$

návrh: IPE 140 $m = 12,9 \text{ kg/m}$

$$A = 1643 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 77,32 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 88,34 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 541,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_{v2} = 764 \text{ mm}^2$$

posouzení:

$$M_{pl,rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 88,34 \cdot 10^3 \cdot 355 = 31,36 \text{ kNm} > M_{Ed} = 21,28 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_{v2} \cdot f_{td}}{\sqrt{3}} = \frac{764 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 156,59 \text{ kN} \gg 22,35 \text{ kN}$$

MSP - průhyb

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{5,82 \cdot 3697^2}{210000 \cdot 541,2 \cdot 10^4} = 12,46 \text{ mm}$$

$$\delta = 12,46 \text{ mm} > \frac{v_{akt}}{10} = \frac{99,3}{10} = 9,93 \text{ mm}$$

vliv rytmického efektu:

$$\delta_0 = q_T \cdot \delta = 0,7 \cdot 12,46 = 8,72 \text{ mm}$$

$$\Delta q_k = \delta_0 \cdot 2,078 \cdot 26 = 900872 \cdot 2,078 \cdot 26 = 9471 \text{ kN/m}$$

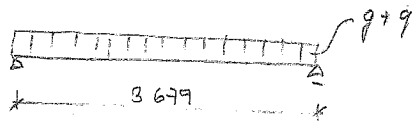
$$\Delta q_d = \Delta q_k \cdot \beta_0 = 9471 \cdot 1,35 = 9636 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 21,28 + \frac{1}{8} \cdot 9636 \cdot 3697^2 = 22,37 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 22,37 \text{ kNm} < M_{pl,rd} = 31,38 \text{ kNm}$$

→ profil IPE 140 v montážním stádium vyhoví

provázání stadiu



$$q_k + q_k = (4,018 + 2,7) \cdot 2,078 + 0,129 + 0,471 = 14,56 \text{ kN/m}$$

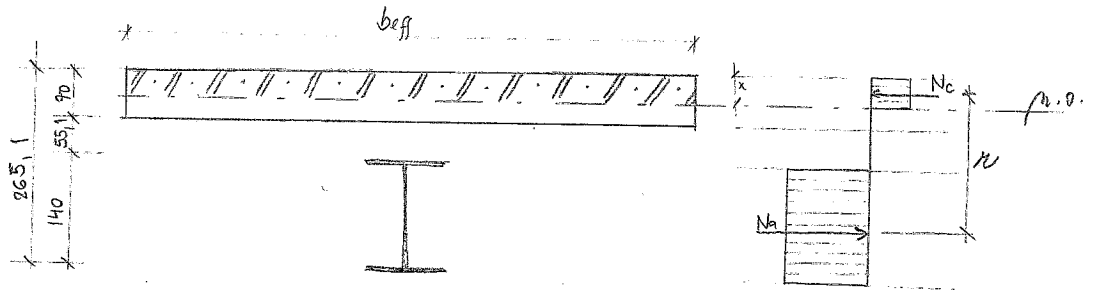
$$q_d + q_d = (5,424 + 4,05) \cdot 2,078 + 0,129 \cdot 1,5 + 0,636 = 20,52 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 20,52 \cdot 3,679^2 = 34,71 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 20,52 \cdot 3,679 = 37,75 \text{ kN}$$

posouzení:

MSÚ:



- předpoklad: neutrální osa leží v betonové desce

beton C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{30}{1,5} = 17 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$b_{eff} = \frac{3697}{4} = 924 \text{ mm} < 2078 \text{ mm}$$

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{1643 \cdot 355}{924 \cdot 17} = 37,13 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \dots \text{předpoklad splněn}$$

$$n = \frac{140}{2} + 55,1 + 70 - \frac{37,13}{2} = 176,53 \text{ mm}$$

$$M_{p,ed} = N_a \cdot n = N_c \cdot n = 1643 \cdot 355 \cdot 176,53 = 102,966 \text{ kNm}$$

$$M_{p,ed} = 102,97 \text{ kNm} > M_{Ed} = 34,71 \text{ kNm}$$

$$V_{p,ed} = 156,59 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 22,35 \text{ kN}$$

→ profil IPE 140 na únosnost vyhoví

sprážení

návrh - spráhovací ten 19/100

(průměr $d = 19 \text{ mm}$; délka $h_{sc} = 100 \text{ mm}$; ocel S235; $f_u = 360 \text{ MPa}$)

Únosnost jednoho trnu

$$P_{red,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{1}{\gamma_v} = 0,8 \cdot 360 \cdot \frac{\pi \cdot 19^2}{4} \cdot \frac{1}{1,25} = 65,33 \text{ kN}$$

$$P_{red,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ek} \cdot E_{cm}} \cdot \frac{1}{\gamma_v}$$

$$\alpha = 0,2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \text{ pro } 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4$$

$$\alpha = 1 \text{ pro } h_{sc} > 4d$$

$$100 > 4 \cdot 19 = 76$$

$$\rightarrow \alpha = 1$$

$$P_{red,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{30 \cdot 32000} \cdot \frac{1}{1,25} = 82,06 \text{ kN}$$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{m_x}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{11}} \cdot \frac{133}{55,1} \cdot \left(\frac{100}{55,1} - 1 \right) = 1,38 \not\leq 0,85$$

$$\rightarrow k_t = 0,85$$

$$P_{red} = 65,33 \cdot 0,85 = 55,53 \text{ kN}$$

síla na sprážení na jedné polovině nosníku

$$F_{eg} = N_c = N_a = 1643 \cdot 355 = 583,27 \text{ kN}$$

potřebný počet tení na jedné polovině nosníku

$$m_g = \frac{F_{eg}}{P_{red}} = \frac{583,27}{55,53} = 10,5 \rightarrow 11 \text{ tení}$$

maximální počet tení na jedné polovině nosníku

$$\left(\frac{3679}{2} \right) \cdot \frac{1}{250} = 7,4 < 11 \text{ tení} \rightarrow \text{neúplně sprážené}$$

$$M_{a,p,red} = W_{pl,y} \cdot f_{y,d} = 88,34 \cdot 10^3 \cdot 355 = 31,36 \text{ kNm}$$

$$F_c = \frac{M_{Ed} - M_{a,p,red}}{M_{p,red} - M_{a,p,red}} \cdot F_{eg} = \frac{34,71 - 31,36}{102,97 - 31,36} \cdot 583,27 = 27,286 \text{ kN}$$

$$m_g = \frac{F_c}{P_{red}} = \frac{27,286}{55,53} = 0,49 \rightarrow 1 \text{ ten}$$

\rightarrow navržen spráhovací ten 19/100 v každém druhém žebru

MSP :

montážny zatláčený:

stále

5,82 kN/m

kliv rytmického efektu

9,47 kN/m

$g_0 = 6,29 \text{ kN/m}$

prevozný zatláčený
nákladná vrstva

1,285 kN/m²

podhled

9,15 kN/m²

užitné

1,5 kN/m²

predmítateľné púčky

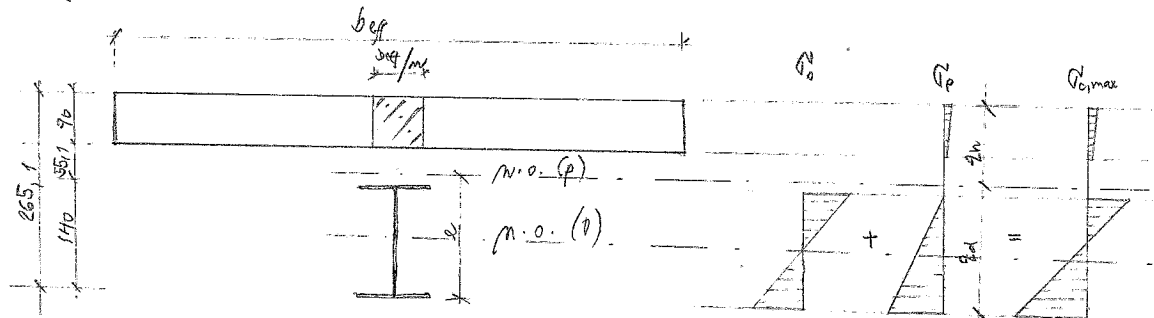
1,2 kN/m²

4,135 kN/m²

$g_p = 4,135 \cdot 2,078 = 8,59 \text{ kN/m}$

$$M_0 = \frac{1}{8} \cdot 6,29 \cdot 3,697^2 = 10,75 \text{ kNm}$$

$$M_p = \frac{1}{8} \cdot 10,23 \cdot 3,697^2 = 17,48 \text{ kNm}$$



$$E_c' = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{32\,000}{2} = 16\,000 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{E_a}{E_c'} = \frac{210\,000}{16\,000} = 13,125$$

$$A_i = 1643 + 70 \cdot 79,4 = 6\,571 \text{ mm}^2$$

$$e = \frac{A \cdot \frac{140}{2} + 70 \cdot \frac{b_{eff}}{m} \cdot (140 + 55,1 + \frac{70}{2})}{A_i} = \frac{1643 \cdot \frac{140}{2} + 70 \cdot 79,4 \cdot (140 + 55,1 + \frac{70}{2})}{6\,571} = 190,1 \text{ mm}$$

$$I_{ief} = I_y + A \cdot \left(e - \frac{140}{2} \right)^2 + \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{b_{eff} \cdot 70^3}{12} + b_{eff} \cdot 70 \cdot \left(e - 140 - 55,1 - \frac{70}{2} \right)^2 \right) =$$

$$= 541,2 \cdot 10^4 + 1643 \cdot \left(190,1 - \frac{140}{2} \right)^2 + \frac{1}{13,125} \cdot \left(\frac{924 \cdot 70^3}{12} + 924 \cdot 70 \cdot \left(190,1 - 140 - 55,1 - \frac{70}{2} \right)^2 \right) = 39,01 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- největší napětí v ocelovém profilu - ve spodních vláknech:

$$\sigma_{s,max} = \sigma_o + \sigma_p = \frac{M_o}{W_y} + \frac{M_p}{I_{yf}} \cdot z_d = \frac{18,75 \cdot 10^6}{77,32 \cdot 10^3} + \frac{17,48 \cdot 10^6}{39,01 \cdot 10^6} \cdot 190,1 = 224,17 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

- největší napětí v betonové desce:

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_p}{m \cdot I_{yf}} \cdot z_n = \frac{17,48 \cdot 10^6}{13,125 \cdot 39,01 \cdot 10^6} \cdot (265,1 - 190,1) = 2,561 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,max} = 2,56 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ctk} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ MPa}$$

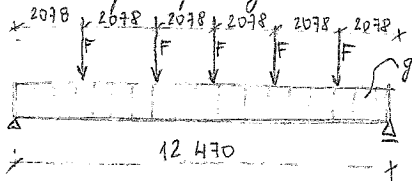
- průhyb od průměrného zatížení:

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E \cdot I_{yf}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 2078 \cdot 3697^4}{210000 \cdot 39,01 \cdot 10^6} = 1,67 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 1,67 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{3697}{250} = 14,79 \text{ mm}$$

→ profil IPE 140 vyhoví

2.3 průvlak - podepřený během montáže



$$\alpha_x = \frac{5}{7} \cdot \psi + \frac{A_o}{A} = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{3,697 \cdot 10,39} = 0,76$$

$$0,6 \leq \alpha_x \leq 1,0 \dots \text{vyhovuje}$$

reakce z připojených stropnic:

$$F_{Ek} = ((4,018 + 1,5 \cdot 0,76 + 1,2) \cdot 2,078 + 9,129) \cdot 3,697 = 49,32 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = ((5,424 + 2,25 \cdot 0,76 + 1,8) \cdot 2,078 + 9,129 \cdot 1,35) \cdot 3,697 = 69,28 \text{ kN}$$

odhad tíhy průvlaku:

$$g_k = 0,7 \text{ kN/m}$$

$$g_d = 0,7 \cdot 1,35 = 0,945 \text{ kN/m}$$

$$R_{Ed} = \frac{5 \cdot F_{Ed}}{2} + 0,945 \cdot \frac{12,47}{2} = 179,09 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = R_{Ed} \cdot \frac{12,47}{2} - F_{Ed} \cdot (2 \cdot 2,078 + 2,078) - g_d \cdot 6,235 \cdot \frac{6,235}{2} =$$

$$= 179,09 \cdot \frac{12,47}{2} - 69,28 \cdot (2 \cdot 2,078 + 2,078) - 0,945 \cdot 6,235 \cdot \frac{6,235}{2} = 686,96 \text{ kNm}$$

- potřebný průřezový modul pro ocel S355 (pokud by moment přenašela pouze ocel)

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{686,96 \cdot 10^6}{355} = 1\,935\,103 \text{ mm}^3$$

návrh: IPE 400 $m = 66,3 \text{ kg/m}$

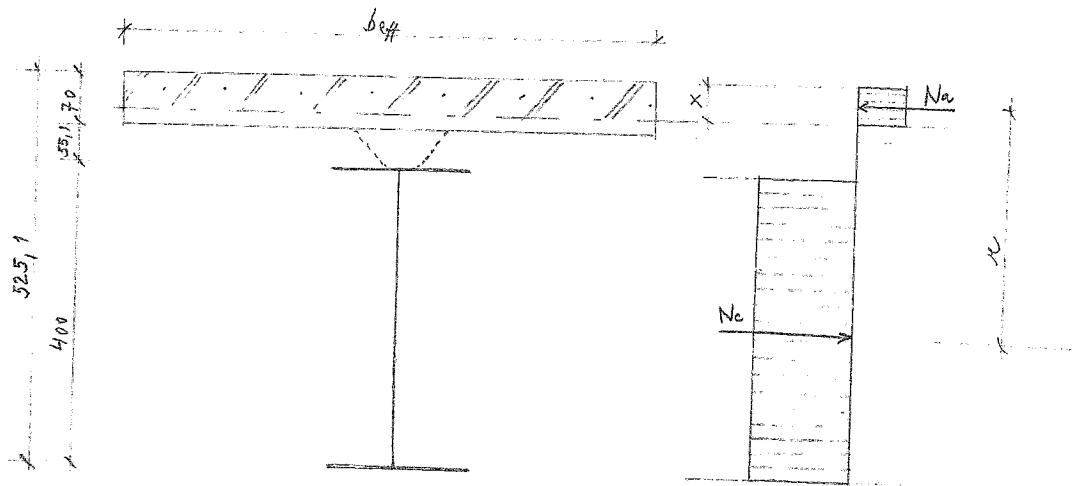
$$A = 8446 \text{ mm}^2$$

$$W_{ply} = 1307 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 23130 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_{v2} = 4269 \text{ mm}^2$$

posouzení:
MSÚ



$$b_{eff} = \frac{L}{4} = \frac{12,47}{4} = 3,118 \text{ mm} < 3,697 \text{ mm}$$

- předpoklad: neutrální osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{8446 \cdot 355}{3118 \cdot 17} = 56,57 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \dots \text{předpokl. splněn}$$

momentová únosnost:

$$x = \frac{400}{2} + 55,1 + 70 - \frac{56,57}{2} = 296,82 \text{ mm}$$

$$M_{p,rd} = N_a \cdot x = 8446 \cdot 355 \cdot 296,82 = 889,96 \text{ kNm} > M_{Ed} = 686,96 \text{ kNm}$$

smyková únosnost

$$V_{p,rd} = \frac{A_{v2} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{4269 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 875 \text{ kN} > 2 \cdot V_{Ed} = 2 \cdot 179,09 = 358,18 \text{ kN}$$

→ profil IPE 400 má únosnost vyhoví

sprážení:

návrh: sprákovací trn 19/100

$$P_{rd, min} = 65,33 \text{ kN}$$

$$k_e = \eta \cdot \frac{b_o}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{133}{55,1} \cdot \left(\frac{100}{55,1} - 1 \right) = 1,18$$

$$k_e > 1 \rightarrow k_e = 1$$

$$F_{ef} = N_e = x \cdot b_{eq} \cdot f_{ed} = 56,57 \cdot 3118 \cdot 17 = 2998,55 \text{ kN}$$

$$n_f = \frac{F_{ef}}{P_{rd}} = \frac{2998,55}{65,33} = 45,9 \rightarrow 46 \text{ trnů}$$

vzdálenost trnů:

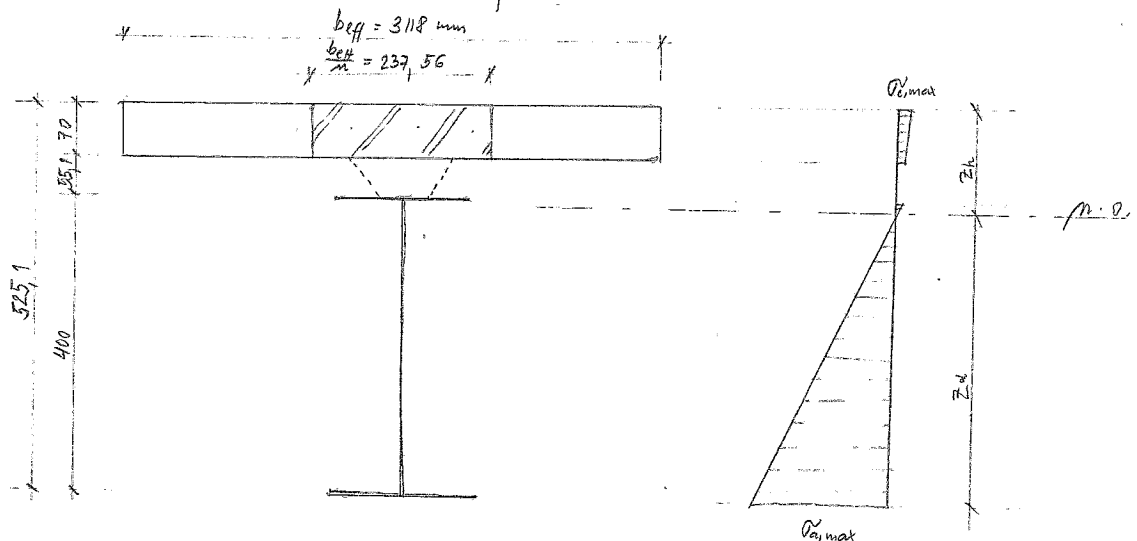
$$\frac{\frac{L}{2}}{n_f} = \frac{\frac{12470}{2}}{46} = 135,6 \text{ mm} > 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

→ trny 19/100 po 120 mm

MSP: $f_o = f_R = 1$

$$R_{EK} = \frac{5 \cdot F_{EK}}{2} + 0,7 \cdot \frac{12,47}{2} = \frac{5 \cdot 49,32}{2} + 0,7 \cdot \frac{12,47}{2} = 127,66 \text{ kN}$$

$$M_{EK} = 127,66 \cdot \frac{12,47}{2} - 49,32 \cdot (2 \cdot 2,078 + 2,078) - 0,7 \cdot 6,235 \cdot \frac{6,235}{2} = 474,89 \text{ kNm}$$



$$n = 13,125$$

$$A_i = 446 + 70 \cdot \frac{3118}{13,125} = 25075 \text{ mm}^2$$

$$e = \frac{446 \cdot 200 + 70 \cdot 237,56 \cdot \left(400 + 55,1 + \frac{70}{2} \right)}{25075} = 392,4 \text{ mm} = 2d$$

$$z_h = 132,7 \text{ mm}$$

$$I_i = \frac{1}{12} \cdot \frac{b_{ef}}{m} \cdot 70^3 + \frac{b_{ef}}{m} \cdot 70 \cdot \left(z_h - \frac{70}{2} \right)^2 + I_y + A \cdot \left(70 + 55,1 + \frac{400}{2} - z_h \right)^2$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 237,56 \cdot 70^3 + 237,56 \cdot 70 \cdot \left(132,7 - \frac{70}{2} \right)^2 + 23 \cdot 130 \cdot 10^4 +$$

$$+ 8446 \cdot \left(70 + 55,1 + \frac{400}{2} - 132,7 \right)^2 = 709,47 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{y,max} = \frac{M_{Ed}}{I_i} \cdot z_d = \frac{474,89 \cdot 10^6}{709,47 \cdot 10^6} \cdot 392,4 = 262,66 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_{Ed}}{m \cdot I_i} \cdot z_h = \frac{474,89 \cdot 10^6}{13,125 \cdot 709,47 \cdot 10^6} \cdot 132,7 = 6,768 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,max} = 6,768 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ct} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ MPa}$$

$$F_k = (1,5 \cdot 9,76 + 1,2) \cdot 2,078 \cdot 3,697 = 17,98 \text{ kN}$$

$$\delta_2 = \frac{23}{648} \cdot \frac{F_k \cdot L^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{17,98 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 470^3}{210 \cdot 000 \cdot 709,47 \cdot 10^6} = 8,31 \text{ mm}$$

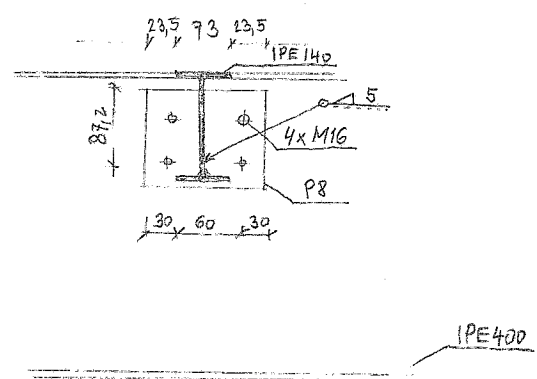
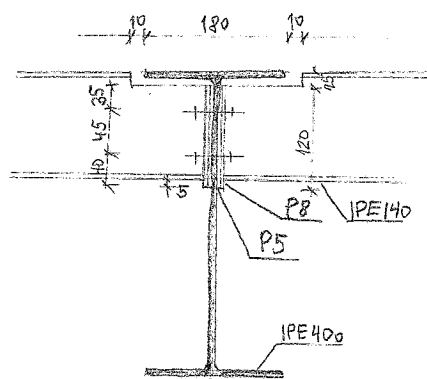
$$\delta_2 = 8,31 \text{ mm} < \frac{L}{400} = \frac{12 \cdot 470}{400} = 31,2 \text{ mm}$$

→ profil IPE 400 vyhoví

2.4 připoj stropních nosníků

- čelní deska, šrouby M16 5.6, nenosná podložka P5

připoj stropnice na průvlak



reakce z stropnice $R_{Ed} = 69,28 \text{ kN}$

návrh šroubů: M16 5.6 ... $F_{y,rd} = 37,7 \text{ kN}$

$F_{t,rd} = 92,6 \text{ kN}$

$$\text{střih: } \frac{R_{Ed}}{F_{v,Ed}} = \frac{69,28}{37,7} = 1,84$$

$$\text{otlačem': } \frac{R_{Ed} \cdot 2}{F_{b,Ed}} = \frac{1 \cdot 69,28}{985,92,6} = 1,74$$

→ návrh: 4 šrouby M16 5.6

návrh svaru: kotvový svar $2 \times a = 5 \text{ mm}$; $L_{we} = 87,2 \text{ mm}$

$$f_{v,w,d} = \frac{f_v}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M_2}} = \frac{510}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 261,7 \text{ MPa}$$

↳ návrhová pevnost

únosnost svaru

$$F_{v,Ed} = 2 \cdot a \cdot L_{we} \cdot f_{v,w,d} = 2 \cdot 5 \cdot 87,2 \cdot 261,7 = 228,2 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 228,2 \text{ kN} > R_{Ed} = 69,28 \text{ kN}$$

smyková únosnost oslabeného průřezu stropnice:

$$A_{v2} = t_w \cdot L_{we} = 5 \cdot 87,2 = 436 \text{ mm}^2$$

$$V_{p,Ed} = \frac{A_{v2} \cdot f_{td}}{\sqrt{3}} = \frac{436 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 89,36 \text{ kN} > R_{Ed} = 69,28 \text{ kN}$$

→ navržený přípoj vyhoví

přípoj stropnice na sloup M16

HEA 180 ... $t_w = 6 \text{ mm}$

$$\frac{2 \cdot R_{Ed}}{0,6 \cdot F_{b,Ed}} = \frac{2 \cdot 69,28}{0,6 \cdot 92,6} = 2,5$$

→ návrh: 4 šrouby M20 5.6

přípoj průvlaku na sloup - střední rozteč

$$R_{Ed} = 69,28 + 0,663 \cdot 1,35 \cdot 6,235 = 74,87 \text{ kN}$$

návrh šroubů: M20 5.6

$$\text{střih: } \frac{R_{Ed}}{F_{v,Ed}} = \frac{74,87}{58,8} = 1,27$$

$$\text{otlačem': } \frac{R_{Ed}}{F_{b,Ed}} = \frac{74,87}{96,104,8} = 1,2$$

→ návrh: 4 šrouby M16 5.6

návrh svaru : $L_{we} = 200 \text{ mm}$; koutový svar $2 \times a = 3 \text{ mm}$

návrhová pevnost :

$$f_{v,wd} = 261,7 \text{ MPa}$$

únosnost svaru :

$$\begin{aligned} F_{v,Ed} &= 2 \cdot a \cdot L_{we} \cdot f_{v,wd} = 2 \cdot 5 \cdot 200 \cdot 261,7 = \\ &= 523,4 \text{ kN} > 74,87 \text{ kN} = R_{Ed} \end{aligned}$$

šmyková únosnost oslabeného průřezu průvlaku :

$$A_{vz} = t_w \cdot L_{we} = 8 \cdot 200 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$V_{p9,Ed} = \frac{A_{vz} \cdot f_{td}}{\sqrt{3}} = \frac{1600 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 327,93 \text{ kN} > R_{Ed} = 74,87 \text{ kN}$$

→ navržený přípoj vyhoví

3. KONSTRUKCE STŘECHY

3.1 návrh kerbových vaznic

vzdálenost vaznic 1559 mm

zatížením:

stole'	g_k [kN/m]	γ_g	g_d [kN/m]
střešní plášť $0,1223 \cdot 1,559$	0,191	1,35	0,257
n. tíha vaznice (odhad)	0,09		0,122
	0,28		0,379

$$s_{m'h} = 0,768 \cdot 1,559 = 1,197 \text{ kN/m} = g_k$$

$$g_d = 1,197 \cdot 1,5 = 1,796 \text{ kN/m}$$

MH: příčný

krajní pole

$$w_{ek} = \frac{1}{L} \sum_i (w_i \cdot A)_i = \frac{1}{3,697} \cdot (-99 \cdot 3,697 \cdot 1,559) = -1,41 \text{ kN/m}$$

nitřní pole

$$w_{ek} = w_{20} \cdot 1,559 = -973 \cdot 1,559 = -1,194 \text{ kN/m}$$

podélný

krajní pole

$$w_{ek} = \frac{b}{L} \sum_i (w_i \cdot L)_i = \frac{1,559}{3,697} \cdot (13 \cdot 1,1 + 2,4 \cdot 9498) = -1,11 \text{ kN/m}$$

... rozhoduje

2. pole

$$w_{ek} = \frac{b}{L} \sum_i (w_i \cdot L)_i = \frac{1,559}{3,697} \cdot 9498 \cdot 3,697 = -9776 \text{ kN/m}$$

kombinace zatížení:

1. stále + sniž

$$q_k = 0,28 + 1,197 = 1,477 \text{ kN/m}$$

$$q_{ed} = 0,379 + 1,796 = 2,175 \text{ kN/m}$$

2. min. stále + podélný vítr

$$q_{ed} = 0,28 - 1,11 \cdot 1,5 = -1,385 \text{ kN/m}$$

$$L = 3,697 \quad (\text{z tabulek - hodnoty pro } L = 4 \text{ m})$$

navrh: 2 180 / 1,5

$$m = 4,02 \text{ kg/m}$$

$$q_{ed} = 3,22 \text{ kN/m} - \text{tlakové zatížení}$$

$$q_{ed} = -2,81 \text{ kN/m} - \text{zatížení sáláním}$$

$$q_{ek} = 3,91 \text{ kN/m} - \text{tlakové zatížení}$$

pro $s_{lim} = \frac{L}{200}$

posouzení:

MSÚ: K2S1 $q_{ed} = 2,175 \text{ kN/m} < q_{rd} = 3,22 \text{ kN/m}$

K2S2 $q_{ed} = -1,385 \text{ kN/m} < q_{rd} = -2,81 \text{ kN/m}$

MSP: $s_{2,lim} = \frac{L}{200}$

$$q_{ek} = 1,197 \text{ kN/m} < q_{rk} = 3,91 \text{ kN/m}$$

→ vaznice vyhoví

3.2. příčná vazba

• zátěžovací stavy:

1. stálé
2. minimální stálé
3. smíšené
4. m. tíha příčný
5. m. tíha podélný

1. stálé zatížení

odhad vlastní tíhy vazníku

$$g_k = \frac{L}{76} \sqrt{q \cdot B} = \frac{12,470}{76} \cdot \sqrt{(0,236 + \frac{0,04}{1,559} + 0,768) \cdot 3,697} = 0,32 \text{ kN/m}$$

síla do uzlu vazníku

$$F_1: \text{plášť} \quad (0,191 + 0,0402) \cdot 3,697 = 0,854 \text{ kN}$$
$$\text{m. tíha vazníku} \quad 0,32 \cdot 1,559 = 0,499 \text{ kN}$$

$$F_1 = 1,353 \text{ kN}$$

$$F_2: \text{plášť} \quad (0,1223 \cdot 1,18 + 0,0402) \cdot 3,697 = 0,682 \text{ kN}$$
$$\text{m. tíha vazníku} \quad 0,32 \cdot 0,78 = 0,249 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,931 \text{ kN}$$

$$\text{sloup: plášť} \quad g = 0,1277 \cdot 7,56 = 0,965 \text{ kN/m}$$
$$\text{m. tíha (odhad)} \quad 1,0 \text{ kN/m}$$

$$1,965 \text{ kN/m}$$

2. minimální stálé

delší odhad m. tíhy vazníku

$$g_{k,\text{min}} = 0,5 g_k = 0,5 \cdot 0,32 = 0,16 \text{ kN/m}$$

síly do uzlu vazníku:

$$F_1: \text{plášť} \quad 0,854 \text{ kN}$$
$$\text{m. tíha vazníku} \quad 0,16 \cdot 1,559 = 0,249 \text{ kN}$$

$$F_1 = 1,103 \text{ kN}$$

$$F_2: \text{plášť} \quad 0,682 \text{ kN}$$
$$\text{m. tíha vazníku} \quad 0,16 \cdot 0,78 = 0,125 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,807 \text{ kN}$$

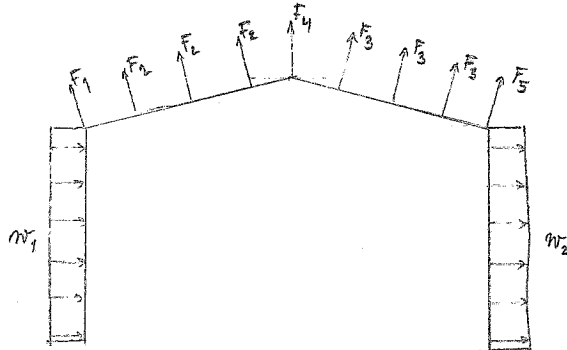
$$\text{sloup: } 1,965 \text{ kN/m}$$

3. smích

$$F_1 = 1,197 \cdot 3,679 = 4,40 \text{ kN} \quad \cdot 1,5 = 6,61 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,768 \cdot 1,18 \cdot 3,679 = 3,33 \text{ kN} \quad \cdot 1,5 = 5,0 \text{ kN}$$

4. nít přičný



$$w_1 = w_{z,10} \cdot 3,697 = 0,633 \cdot 3,697 = 2,34 \text{ kN/m}$$

$$w_2 = w_{z,1E} \cdot 3,697 = -0,45 \cdot 3,697 = -1,67 \text{ kN/m}$$

$$F_1 = w_{z,F} \cdot 3,697 \cdot 1,18 = -0,902 \cdot 3,697 \cdot 1,18 = -3,93 \text{ kN}$$

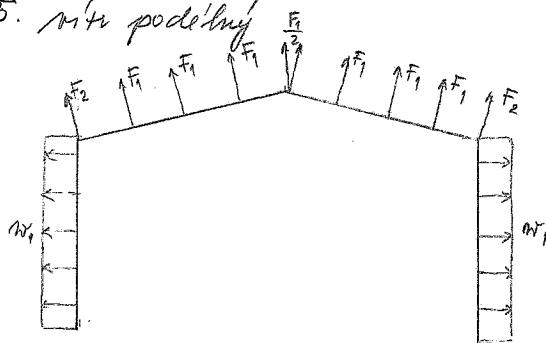
$$F_2 = w_{z,F} \cdot 3,697 \cdot 1,559 = -0,902 \cdot 3,697 \cdot 1,559 = -5,197 \text{ kN}$$

$$F_4 = 0,76 \cdot 3,697 \cdot 1,559 = -4,4 \text{ kN}$$

$$F_3 = w_{z,10} \cdot 3,697 \cdot 1,559 = -0,625 \cdot 3,697 \cdot 1,559 = -3,6 \text{ kN}$$

$$F_5 = w_{z,10} \cdot 3,697 \cdot 1,18 = -0,625 \cdot 3,697 \cdot 1,18 = -2,73 \text{ kN}$$

5. nít podélný



$$w_1 = w_{z,1A} \cdot 3,697 = -0,95 \cdot 3,697 = -3,51 \text{ kN/m}$$

$$F_1 = w_{z,1A} \cdot 3,697 \cdot 1,559 = -0,498 \cdot 3,697 \cdot 1,559 = -2,87 \text{ kN}$$

$$F_2 = -0,498 \cdot 3,697 \cdot 1,18 = -2,17 \text{ kN}$$

kombinace zatěžovacích stavů:

$$CO1: \text{stále}^{1,35} + \text{smích}^{1,5}$$

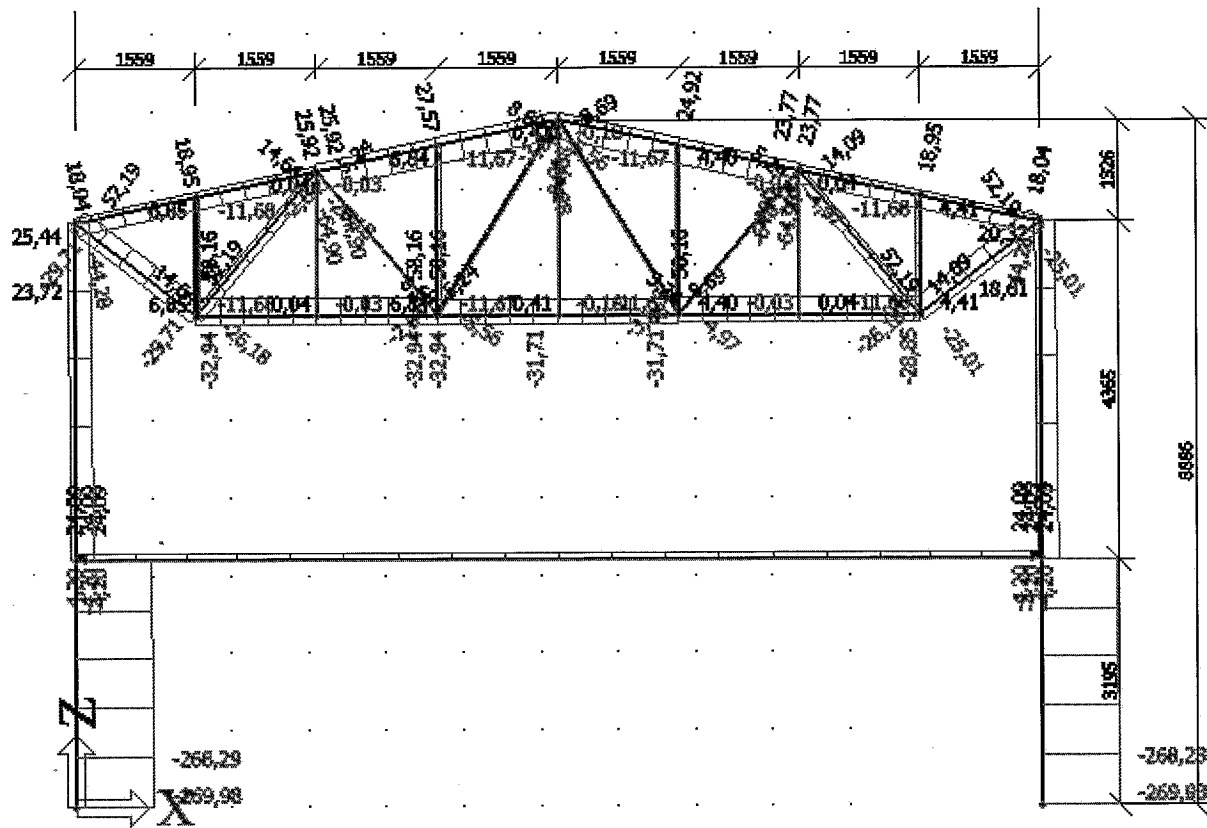
$$CO2: \text{stále}^{1,35} + \text{smích}^{\sim 1,5} + \psi_0 \cdot \text{nít přičný}^{\sim 1,5} (\psi_0 = 0,6)$$

$$CO3: \text{stále}^{1,35} + \text{nít přičný}^{1,5} + \psi_0 \cdot \text{smích}^{1,5} (\psi_0 = 0,5)$$

$$CO4: \text{stále}^{\text{min}} + \text{nít přičný}^{1,5}$$

$$CO5: \text{stále}^{\text{min}} + \text{nít podélný}^{1,5}$$

• vykreslení obálky normálových sil



Prut	N _{Ed(tah)} kN	Profil	A mm ²	i mm	f _y MPa	N _{t,Rd} kN	N _{Ed/N_{t,Rd}}
S	58,15	TR 89x5	1319	29,8	355	468,245	0,124 <1,0
H	27,57	TR 54x5	770	17,4	355	273,35	0,101 <1,0
D1	52,18	TR 40x5	550	12,5	355	195,25	0,267 <1,0
D2	14,64	TR 40x5	550	12,5	355	195,25	0,075 <1,0
D3	5,23	TR 40x5	550	12,5	355	195,25	0,027 <1,0
D4	8,69	TR 40x5	550	12,5	355	195,25	0,045 <1,0
V ₁ , V ₃	6,85	TR 40x5	550	12,5	355	195,25	0,035 <1,0

Prut	N _{Ed(tlak)} kN	Profil	L _{teor} mm	L _{cr/L} mm	L _{cr} mm	lambda	lambda	X	N _{b,Rd} kN	N _{Ed/N_{b,Rd}}
S	32,94	TR 89x5	6235	1,00	6235	209,23	2,74	0,123	57,59	0,572 <1,0
H	64,91	TR 54x5	1594	0,90	1434	82,42	1,08	0,61	166,74	0,389 <1,0
D1	29,71	TR 40x5	1967	0,75	1475	118,02	1,54	0,356	69,51	0,427 <1,0
D2	26,18	TR 40x5	2429	0,75	1822	145,74	1,91	0,243	47,45	0,552 <1,0
D3	2,64	TR 40x5	2429	0,75	1822	145,74	1,91	0,243	47,45	0,056 <1,0
D4	5,56	TR 40x5	2968	0,75	2226	178,08	2,33	0,168	32,80	0,170 <1,0
V ₁ , V ₃	11,68	TR 40x5	2194	0,75	1646	131,64	1,72	0,293	57,21	0,204 <1,0

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

$$\text{tah: } N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$\text{tlak: } \lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda}{93,9} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{235}}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

• vislý průhyb - od světla

$$\delta = 4,3 \text{ mm} < \delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{12470}{250} = 49,88 \text{ mm}$$

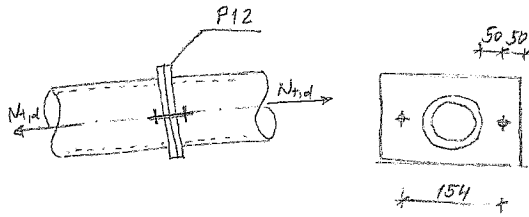
→ vyhovuje

3.2.1 montážní styk - alternativa

• horní pás

$$N_{max,Ed} = 64,91 \text{ kN} - \text{tlak}$$

$$N_{max,Ed} = 27,57 \text{ kN} - \text{tah}$$



NAVŘH: šroub 2 x M16 4.6 ; $A = 157 \text{ mm}^2$; $d_s = 18 \text{ mm}$; $f_{t2} = 1,25$
nejmenší tloušťka desky, při které nedojde k přetěžení

$$t_e = 4,3 (b \cdot d^2 / a)^{1/3} = 4,3 (50 \cdot 18^2 / 50)^{1/3} = 29,53 \text{ mm}$$

součinitel zvětšující působící sílu vlivem přetěžení

$$k_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{29,53^3 - 12^3}{18^2} = 1,371$$

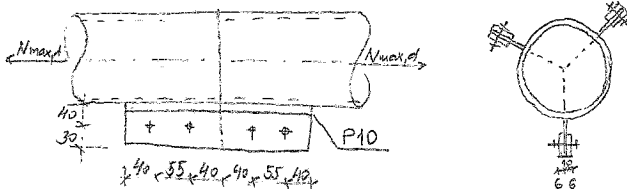
$$k_p \cdot N_{1,d} = 1,371 \cdot 27,57 = 37,8 \text{ kN} < 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 45,2 = 90,4 \text{ kN}$$

→ styk vyhoví

• spodní pás

$$N_{max,d} = 58,15 \text{ kN} - \text{tah}$$

příložkový styk



Síla na jedno křídelečko

$$N_{1,d} = \frac{58,15}{3} = 19,38 \text{ kN}$$

$$\text{Šrouby: M16 4.6} \rightarrow F_{t,Rd} = 2 \cdot 30,1 = 60,2 \text{ kN}$$

$$F_{s,Rd} = 65,4 \text{ kN}$$

$$2 \cdot \min(F_{t,Rd}; F_{s,Rd}) = 2 \cdot 60,2 = 120,4 \text{ kN} > N_{1,d} = 19,38 \text{ kN}$$

příložky: 2 ks na jedno křídelečko (60 x 6)

$$N_{v,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{f_{t2}} = \frac{0,9 \cdot (6 \cdot 60 \cdot 2 - 18 \cdot 2 \cdot 6) \cdot 510}{1,25} = 185,07 \text{ kN} > N_{1,d} = 20,85 \text{ kN}$$

svar křídlelek - koutový oboustranný svar ; $a_w = 5 \text{ mm}$

$$\tau_{II} = \frac{N_{1,ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{19,38 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 135} = 14,36 \text{ MPa}$$

$$\tau_I = \sigma_I = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{1,ed} \cdot e}{W_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{19,38 \cdot 10^3 \cdot 40}{30 \cdot 375} = 18,05 \text{ MPa}$$

$$W_e = \frac{2 \cdot a_w \cdot l_w^2}{6} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 135^2}{6} = 30375 \text{ mm}^3$$

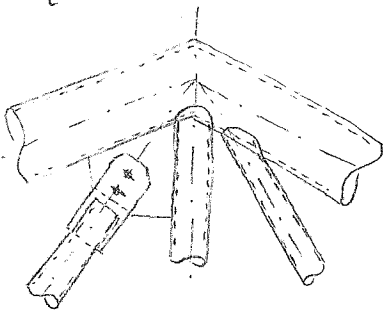
$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3(\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{18,05^2 + 3 \cdot (18,05^2 + 14,36^2)} = 43,84 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot f_{tw}} = \frac{510}{99 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ MPa}$$

$$43,84 \text{ MPa} < 453,3 \text{ MPa}$$

→ styk vyhoví

• diagonála



$$N_{max,d} = 8,69 \text{ kN}$$

$$l_w = 50 \text{ mm}$$

šrouby : 2 x M 12 5.6

$$F_{t,red} = 2 \cdot 20,2 = 40,4 \text{ kN}$$

$$F_{b,red} = 78,5 \text{ kN}$$

$$2 \cdot \min(F_{t,red}; F_{b,red}) = 2 \cdot 40,4 = 80,8 \text{ kN} > N_{max,d} = 8,69 \text{ kN}$$

$$\text{svar : } \tau_{II} = \frac{N_d}{\sqrt{2} \cdot a_w \cdot l_w} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot f_{t2}}$$

$$\tau_{II} = \frac{8690}{\sqrt{2} \cdot 5 \cdot 50} = 24,58 \text{ MPa} < \frac{510}{\sqrt{3} \cdot 99 \cdot 1,25} = 261,73 \text{ MPa}$$

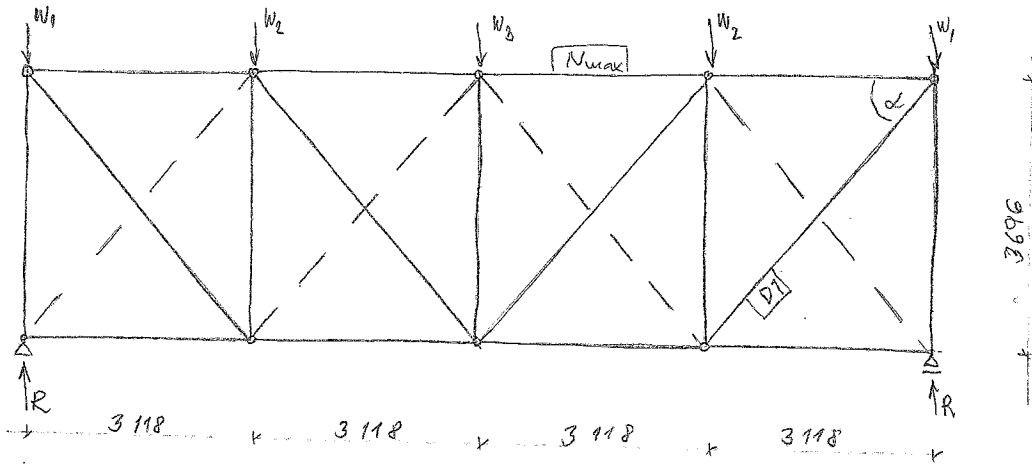
stýčnickový plech :

$$N_{ed} = 8,69 \text{ kN} < A_{net} \cdot f_u = (60 \cdot 10 - 14 \cdot 10) \cdot 510 = 234,6 \text{ kN}$$

→ styk vyhoví

4. ZTUŽIDLA

4.1 příčné ztužidlo ve střešní rovině



$$\alpha = 49,85^\circ$$

$$\text{zpežovací sířky: } b_1 = 3,118 \text{ m}$$

$$b_2 = 3,118 \cdot 0,5 + 94 = 1,959 \text{ m}$$

$$B = 6,696 \text{ m}$$

$$w_{s,d} = -0,634 \cdot 1,5 = -0,951 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{Ed,1} = w_{s,d} \cdot b_2 \cdot \frac{h_1}{2} = 0,951 \cdot 1,959 \cdot \frac{7,56}{2} = 7,04 \text{ kN}$$

$$W_{Ed,2} = w_{s,d} \cdot b_1 \cdot \frac{h_2}{2} = 0,951 \cdot 3,118 \cdot \frac{8,223}{2} = 12,19 \text{ kN}$$

$$W_{Ed,3} = w_{s,d} \cdot b_1 \cdot \frac{h_3}{2} = 0,951 \cdot 3,118 \cdot \frac{8,886}{2} = 13,17 \text{ kN}$$

$$R_{Ed} = \frac{2 \cdot W_{Ed,1} + 2 \cdot W_{Ed,2} + W_{Ed,3}}{2} = \frac{2 \cdot 7,04 + 2 \cdot 12,19 + 13,17}{2} = 25,815 \text{ kN}$$

$$D_1 = \frac{R_{Ed} - W_{1,Ed}}{\sin \alpha} = \frac{25,815 - 7,04}{\sin 49,85} = 24,56 \text{ kN}$$

$$N_{max} = \frac{(R_{Ed} - W_{1,Ed}) \cdot 2 \cdot b - W_{1,Ed} \cdot b}{B} = \frac{(25,815 - 7,04) \cdot 2 \cdot 3,118 - 7,04 \cdot 3,118}{6,696} =$$

$$= 25,74 \text{ kN}$$

diagonála ztužidla

NAVŘH: L 60 x 6 S235

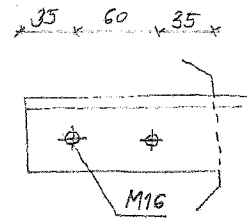
$$A = 691 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 18,2 \text{ mm}$$

navrh přípoje: M 16 5.6 $d_o = 18 \text{ mm}$

ležné kotvečl $p_1 = 60 \text{ mm}$

$$e_1 = 35 \text{ mm}$$



$$n = \frac{D_1}{\min(F_{t,red}; F_{b,red})} = \frac{24,56}{\min(37,7; 65,4)} = \frac{24,56}{37,7} = 0,65$$

→ navrh: 2 šrouby M 16 5.6

posouzení prutu:

$$N_{p1,red} = A \cdot f_{yd} = 691 \cdot 235 = 162,39 \text{ kN}$$

$$N_{v,red} = \frac{0,4 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\beta_{M2}} = \frac{0,4 \cdot (691 - 18 \cdot 6) \cdot 360}{1,25} = 67,16 \text{ kN}$$

$$\min(N_{p1,red}; N_{v,red}) = 67,16 \text{ kN} > D_1 = 24,56 \text{ kN}$$

$$L = 0,95 \cdot L_{teor} = 0,95 \cdot \sqrt{3,118^2 + 3,696^2} = 4,59 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L}{i_y} = \frac{4590}{18,2} = 252,2 < 400$$

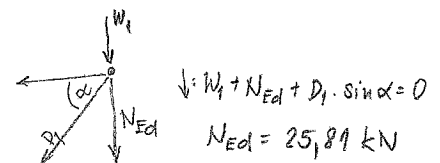
→ diagonála vyhoví

svislice ztužidla

NAVŘH: TR 63,5 x 5 S235

$$A = 919 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 20,8 \text{ mm}$$



$$L_{cr} = 3,696 \text{ m}$$

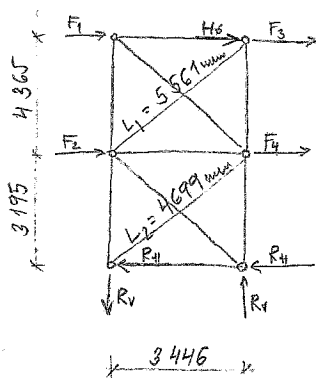
$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{3696}{20,8} = 177,7$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{177,7}{93,9} = 1,89 \rightarrow \chi = 0,247$$

$$N_{b,red} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,247 \cdot 919 \cdot 235 = 53,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 25,81 \text{ kN}$$

→ svislíce vyhoví

4.2 podélné ztužení



$$F_1 = 0,55 \cdot \frac{12,91}{2} \cdot \left(\frac{4,365}{2} + \frac{1}{2} \cdot (5,691 - 4,365) \right) = 9,825 \text{ kN}$$

$$F_3 = 0,24 \cdot \frac{12,91}{2} \cdot \left(\frac{4,365}{2} + \frac{1}{2} \cdot (5,691 - 4,365) \right) = 4,21 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,55 \cdot \frac{12,91}{2} \cdot \left(\frac{4,365 + 3,195}{2} \right) = 13,05 \text{ kN}$$

$$F_4 = 0,24 \cdot \frac{12,91}{2} \cdot \left(\frac{4,365 + 3,195}{2} \right) = 5,59 \text{ kN}$$

náhonne' imperfekce

$$\alpha_R = \frac{2}{\sqrt{R1}} = \frac{2}{\sqrt{3,195}} = 1,12 > \frac{2}{3} \rightarrow \alpha_R = \frac{2}{3}$$

$$\alpha_{im} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{10}\right)} = 0,74$$

$$H_{\phi} = \phi \cdot \sum N = \phi \cdot \alpha_R \cdot \alpha_{im} \cdot m \cdot N = \frac{1}{200} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,74 \cdot 10 \cdot 223,85 = 5,52 \text{ kN}$$

$$R_{H,Ed} = \frac{\sum F}{2} = \frac{9,825 + 4,21 + 13,05 + 5,59 + 5,52}{2} = 19,1 \text{ kN}$$

$$R_{V,Ed} = \pm \frac{(F_1 + F_3 + H_{\phi}) \cdot 7,56 + (F_2 + F_4) \cdot 3,195}{3,446} = \pm \frac{(9,825 + 4,21 + 5,52) \cdot 7,56 + (13,05 + 5,59) \cdot 3,195}{3,446} = \pm 60,18 \text{ kN}$$

NA'VRH: TR 57 x 5 A = 817 mm²

i = 18,5 mm

$$D_{Ed} = \pm R_{H,Ed} \cdot \frac{L}{B} = \pm 19,1 \cdot \frac{4699}{3446} = 26,04 \text{ kN}$$

$$L_{cr,z} = \frac{L}{2} = \frac{4699}{2} = 2349,6 \text{ mm} \leftarrow \text{rozhoduj}$$

$$L_{cr,y} = 0,9 \cdot L_{cr,z} = 0,9 \cdot 2349,6 = 2114,7 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{2349,6}{18,5} = 127$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{127}{93,9} = 1,35 \rightarrow \chi = 0,443$$

$$N_{b,Ed} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,443 \cdot 817 \cdot 235 = 85,1 \text{ kN} > D_{Ed} = 26,04 \text{ kN}$$

→ vyhovuje

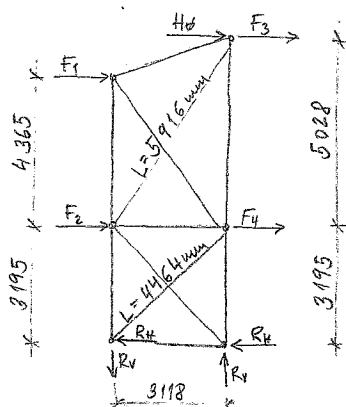
připoj : 2 x M16 5.6 $p_1 = 60 \text{ mm}$
 $e_1 = 35 \text{ mm}$

$$2 \min (F_{v,red}; F_{b,red}) > D_{Ed}$$

$$2 \min (37,7; 65,4) = 75,4 \text{ kN} > 23,33 \text{ kN}$$

→ vyhovuje

4.3 příčné ztvženi ve štítové stěně



navětrná strana ... $w_{k,D} = 0,63 \text{ kN/m}^2$

zavětrná strana ... $w_{k,E} = 0,45 \text{ kN/m}^2$

zatežovací plocha:

$$F_1 \dots \frac{32,512}{2} \cdot 2,183 = 35,48 \text{ m}^2$$

$$F_2 \dots \frac{32,512}{2} \cdot 3,78 = 61,45 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 0,63 \cdot 35,48 = 22,45 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,63 \cdot 61,45 = 38,88 \text{ kN}$$

$$F_3 = 0,45 \cdot 35,48 = 16,0 \text{ kN}$$

$$F_4 = 0,45 \cdot 61,45 = 27,71 \text{ kN}$$

$$H_D = 5,52 \text{ kN}$$

- na každé straně 2 ztvžidla - síly na jedno ztvžidlo budou poloviční

$$R_{Hed} = \frac{\sum F}{2} = \frac{(22,45 + 38,88 + 16 + 27,71 + 5,52) \cdot \frac{1}{2}}{2} = 27,64 \text{ kN}$$

$$R_{ved} = \pm \frac{F_1 \cdot 7,56 + (H_D + F_3) \cdot 8,223 + (F_2 + F_4) \cdot 3,195}{3,118} \cdot \frac{1}{2} =$$

$$= \pm \frac{22,45 \cdot 7,56 + (5,52 + 16) \cdot 8,223 + (38,88 + 27,71) \cdot 3,195}{3,118} \cdot \frac{1}{2} =$$

$$= 89,71 \text{ kN}$$

$$NA'VRH: TR 57 \times 5 \quad A = 817 \text{ mm}^2$$

$$i = 18,5 \text{ mm}$$

$$D_{Ed} = \pm R_{Hed} \cdot \frac{L}{B} = 27,64 \cdot \frac{4464}{3118} = 39,57 \text{ kN}$$

$$L_{cr,2} = \frac{4464}{2} = 2232 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,2}}{i_y} = \frac{2232}{18,5} = 120,65$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{120,65}{93,9} = 1,28 \xrightarrow{\omega} \chi = 0,482$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,482 \cdot 817 \cdot 235 = 92,54 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 92,54 \text{ kN} > D_{Ed} = 39,57 \text{ kN}$$

→ vyhovuje

5. SLOUP

- orientačné MSP:

$$\delta = 26,2 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{h}{150} = \frac{7560}{150} = 50,4 \text{ mm}$$

→ vyhovujú

- MSÚ: profil HEA 180 ocel S235

$$A = 4525 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1447 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 2510 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 324,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,y} = 293,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 74,5 \text{ mm}$$

$$I_z = 4924,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 45,2 \text{ mm}$$

$$I_t = 14,8 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

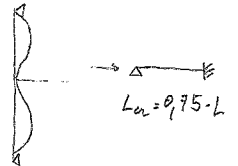
$$I_w = 60210 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

limitné sily: $N_{Ed} = 223,85 \text{ kN}$ - v patce; $N_{Ed} = 215,37 \text{ kN}$ - uložení

$$M_{Ed} = 34,01 \text{ kNm}$$

vzperné dĺžky: $l_{cr,y} = 0,75 \cdot 3,195 = 2,396 \text{ m}$

$$l_{cr,z} = 3,195 \text{ m}$$



šifklosti: $\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{2396}{74,5} = 32,16$

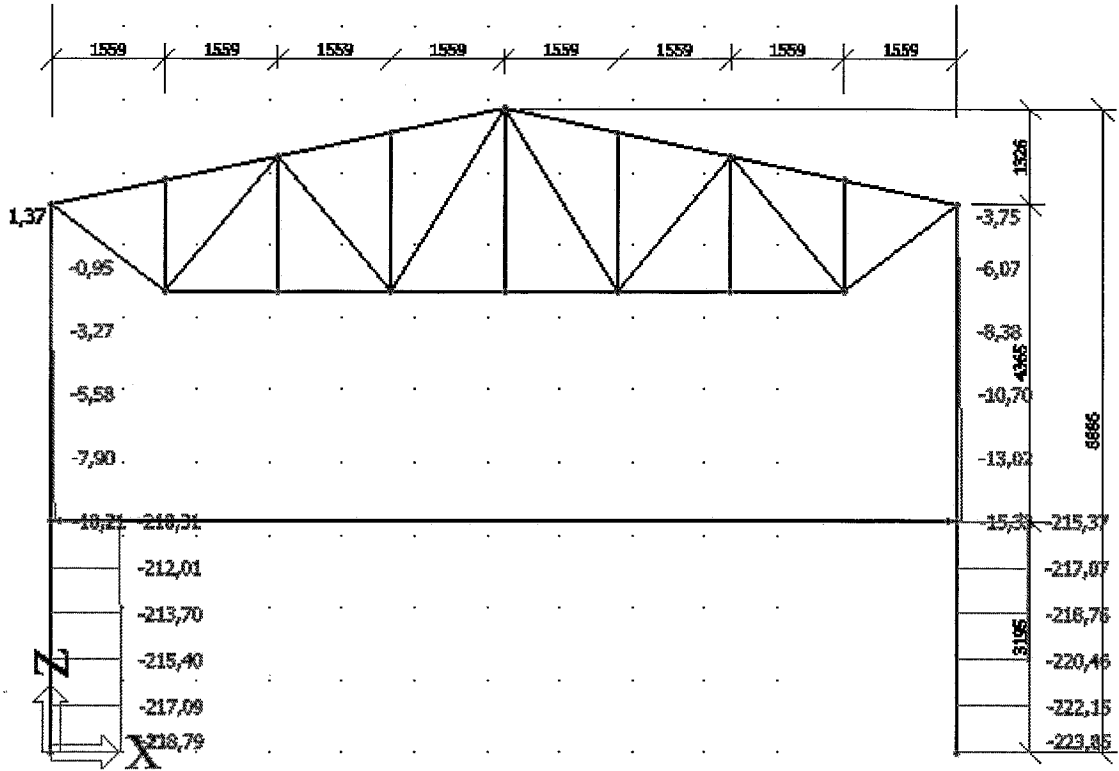
$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{3195}{45,2} = 70,69$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

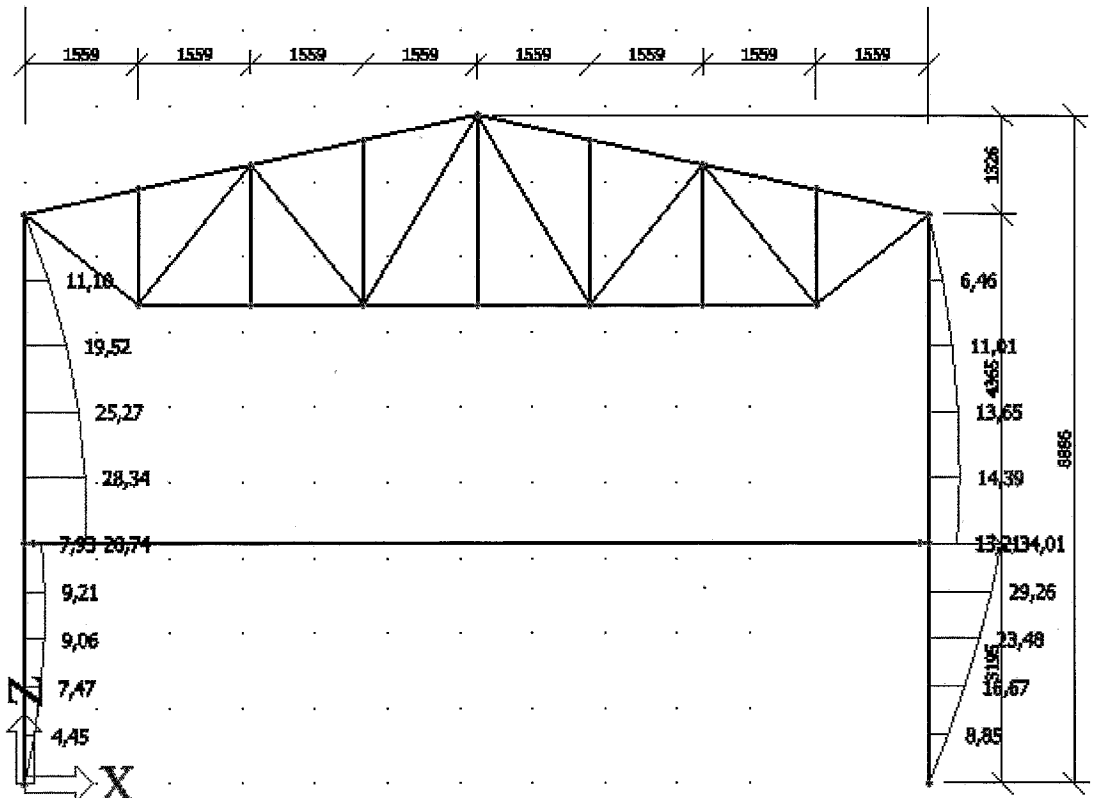
$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{32,16}{93,9} = 0,342 \xrightarrow{b} \chi_y = 0,948$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{70,69}{93,9} = 0,756 \xrightarrow{c} \chi_z = 0,690$$

normované síly od kombinace zatížení 0,3



momenty



vypočet kritického momentu:

$$L = 3195 \text{ m}$$

$$k_2 = 0,75$$

$$k_w = 1$$

$$\beta_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{0,75 \cdot 3195} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 60210 \cdot 10^6}{81000 \cdot 14,8 \cdot 10^4}} = 1,346$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \beta_{wt} = 1,14 + (1,14 - 1,14) \cdot 1,346 = 1,14$$

$$C_1 = 1,14 \leq C_{1,1} = 1,14$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_2} \cdot \sqrt{1 + \beta_{wt}^2} = \frac{1,14}{1} \cdot \sqrt{1 + 1,346^2} = 1,91$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_2 \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,91 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 4924,6 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 14,8 \cdot 10^4}}{3195} = 661,27 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{324,9 \cdot 10^3 \cdot 235}{661,27 \cdot 10^6}} = 0,34 \xrightarrow{\alpha} \chi_{LT} = 0,968$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = \\ &= 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,34 - 0,2) + 0,34^2 \right] = 0,5725 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,5725 + \sqrt{0,5725^2 - 0,34^2}} = 0,968$$

interakce tlaku s ohybem

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_0} = 0$$

$$C_{my} = 0,9 + 0,1 \cdot \alpha_h = 0,9$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6 > 0,4$$

interakční součinitele :

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{RK} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{RK} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot \left(1 + (0,342 - 0,2) \cdot \frac{223 \cdot 850}{0,948 \cdot 4525 \cdot 235 / 1} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{223 \cdot 850}{0,948 \cdot 4525 \cdot 235 / 1} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,928 \\ 1,06 \end{array} \right\} = 0,928$$

$$\bar{k}_{zy} = \max_{\text{pro } \bar{\lambda}_z \geq 0,4} \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{m1z} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{RK} / \gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{m1z} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{RK} / \gamma_{M1}} \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,756}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{223 \cdot 850}{0,69 \cdot 4525 \cdot 235 / 1} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{223 \cdot 850}{0,69 \cdot 4525 \cdot 235 / 1} \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,934 \\ 0,913 \end{array} \right\} = 0,934$$

$$* N_{RK} = A \cdot f_y$$

podmínky spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{y1} \cdot N_{Rk}} + k_{y1} \cdot \frac{M_{y1,Ed}}{\chi_{LT1} \cdot M_{y1,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{223\,850}{0,948 \cdot 4525 \cdot 235} + 0,928 \cdot \frac{34,01 \cdot 10^6}{0,968 \cdot 324,9 \cdot 10^3 \cdot 235} =$$

$$= 0,222 + 0,427 = 0,649 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{z1} \cdot N_{Rk}} + k_{z1} \cdot \frac{M_{y1,Ed}}{\chi_{LT1} \cdot M_{y1,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{223\,850}{0,69 \cdot 4525 \cdot 235} + 0,934 \cdot \frac{34,01 \cdot 10^6}{0,968 \cdot 324,9 \cdot 10^3 \cdot 235} =$$

$$= 0,305 + 0,430 = 0,735 < 1$$

$$* M_{y1,Rk} = W_{pl,y1} \cdot f_y$$

→ sloup vyhoví

5.1 patka sloupu

beton C 30/37

$$a = b = 200 \text{ mm}$$

$$k_j = 1$$

$$f_{jd} = \frac{\gamma_j \cdot k_j \cdot f_{ek}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1 \cdot 30}{1,5} = 13,3 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 25 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 13,3}} = 74,57 \text{ mm}$$

→ žádná výška přesahuje rozměr ocelové patky

$$A_{eff} = 200 \cdot 200 = 40\,000 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 40\,000 \cdot 13,3 = 532 \text{ kN} > N_{Ed} = 269,98 \text{ kN}$$

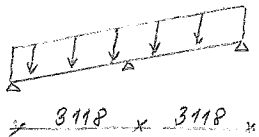
→ patka vyhoví

6. ŠTÍTOVÁ VAZBA

6.1 střecha - zatížení: stálé $0,1223 \cdot 1,35 = 0,165 \text{ kN/m}^2$

proměnné $s = 0,768 \cdot 1,5 = 1,152 \text{ kN/m}^2$

$$(q_d + q_l) = (0,165 + 1,152) \cdot \frac{3,696}{2} + 0,25 \cdot 1,35 = 2,95 \text{ kN/m}$$



$$M_{Ed} = \frac{1}{8} fl^2 = \frac{1}{8} \cdot 2,95 \cdot 3,118^2 = 3,59 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot fl = \frac{1}{2} \cdot 2,95 \cdot 3,118 = 4,6 \text{ kN}$$

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{3,59 \cdot 10^6}{355} = 10\,112,7 \text{ mm}^3$$

→ IPE 100 - $W_{ply} = 39,41 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
 $m = 8,1 \text{ kg/m}$

6.2 sloup - zatížení: od sloupu ... $0,081 \cdot 1,35 \cdot 3,118 + (0,165 + 1,152) \cdot$
 (spodní)
 uprostřed)

$$\cdot \frac{3,696}{2} \cdot 3,118 + 5,691 \cdot 0,199 \cdot$$

$$\cdot 1,35 = 9,46 \text{ kN}$$

od průvlaku ... $65,96 + 0,663 \cdot 1,35 \cdot 3,118 = 68,75 \text{ kN}$

od pláště ... $(5,691 + 3,195) \cdot 0,1277 \cdot 1,35 \cdot 3,118 =$
 $= 4,78 \text{ kN}$

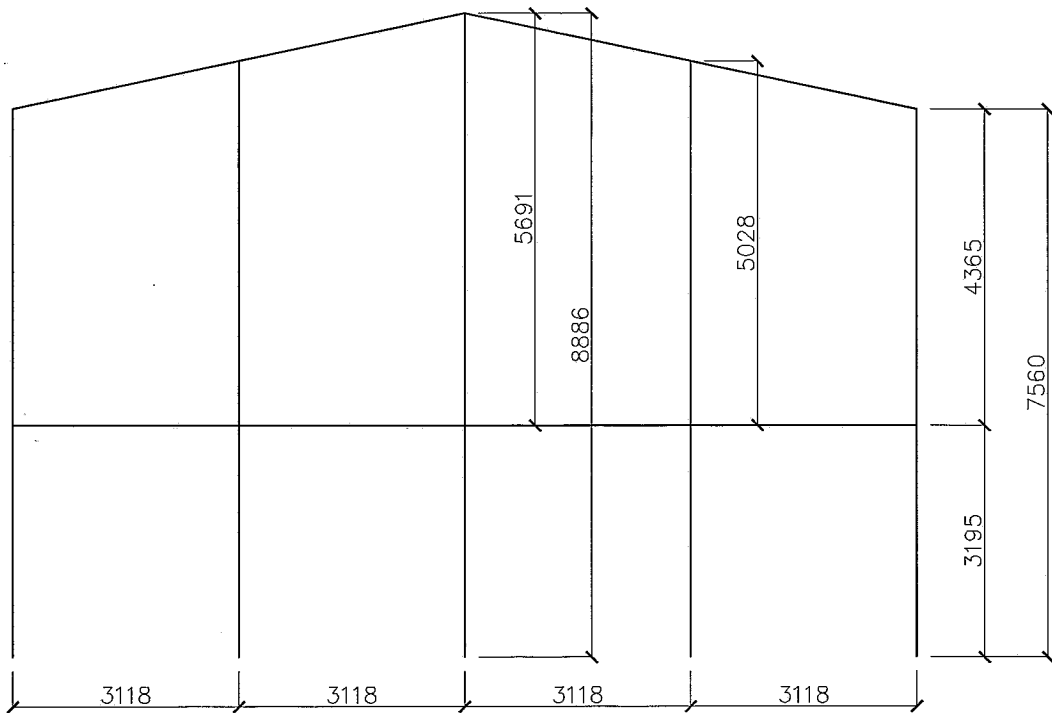
našim tíha sloupu ... $3,195 \cdot 0,199 \cdot 1,35 = 0,86 \text{ kN}$

→ $N_{Ed} = 83,85 \text{ kN}$

$$M = \frac{1}{8} fl^2 = \frac{1}{8} \cdot 9,55 \cdot 3,118 \cdot 3,195^2 =$$

$$= 2,188 \text{ kNm}$$

• schéma štítové stěny



NAVRH: profil HEA 120 ocel S235

$$A = 2534 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 606,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 119,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 48,9 \text{ mm}$$

$$I_z = 230,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

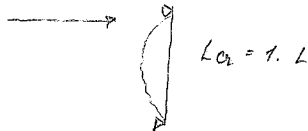
$$i_z = 30,2 \text{ mm}$$

$$I_t = 5,994 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 6472 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

$$L_{cr,y} = 3,195 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 3,195 \text{ m}$$



$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3195}{48,9} = 65,34$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3195}{30,2} = 105,79$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_t}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{65,34}{93,9} = 0,696 \xrightarrow{b} \chi_y = 0,786$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{105,79}{93,9} = 1,127 \xrightarrow{c} \chi_z = 0,471$$

výpočet kritického momentu

$$k_2 = 1$$

$$k_w = 1$$

$$L = 3,195 \text{ m}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 3195} \sqrt{\frac{210000 \cdot 6472 \cdot 10^6}{81000 \cdot 5,994 \cdot 10^4}} = 0,52$$

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0}) \cdot k_{wt} = 1,14 + (1,14 - 1,14) \cdot 0,52 = 1,14$$

$$k_{cr} = \frac{c_1}{k_2} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,14}{1} \cdot \sqrt{1 + 0,52^2} = 1,285$$

$$M_{or} = \mu_{or} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_2 \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,285 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 230,9 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 5,994 \cdot 10^4}}{3195}$$

$$= 61,31 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_{ff}}{M_{or}}} = \sqrt{\frac{119,5 \cdot 10^3 \cdot 235}{61,31 \cdot 10^6}} = 0,677 \xrightarrow{a} \chi_{LT} = 0,859$$

interakční součinitele:

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot \left(1 + (0,696 - 0,2) \cdot \frac{83850}{0,786 \cdot 2534 \cdot 235 / 1} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{83850}{0,786 \cdot 2534 \cdot 235 / 1} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,98 \\ 1,03 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,127}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{83850}{0,471 \cdot 2534 \cdot 235 / 1} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{83850}{0,471 \cdot 2534 \cdot 235 / 1} \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,904 \\ 0,915 \end{array} \right\} = 0,915$$

podmínky spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{23\ 850}{0,786 \cdot 2534 \cdot 235} + 0,98 \cdot \frac{2\ 188 \cdot 10^3}{0,859 \cdot 119,5 \cdot 10^3 \cdot 235} =$$

$$= 0,179 + 0,089 = 0,268 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{23\ 850}{0,471 \cdot 2534 \cdot 235} + 0,915 \cdot \frac{2\ 188 \cdot 10^3}{0,859 \cdot 119,5 \cdot 10^3 \cdot 235} =$$

$$= 0,299 + 0,083 = 0,382 < 1$$

→ sloup vyhoví

v Praze dne 19.5.2017

