



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební

Zastřešení dvojlodního hypermarketu

STATICKÝ VÝPOČET

Ondřej Hruška

Praha 2017

Statický výpočet

Obsah

1. Zatížení.....	2
1.1. Zatížení sněhem.....	2
1.2. Zatížení větrem.....	3
2. Střešní plášť.....	17
2.1. Střešní panel.....	17
2.2. Vaznice.....	18
3. Příčná vazba.....	20
3.1. Schéma.....	20
3.2. Zatěžovací stavy, kombinace.....	20
3.3. Obálka vnitřních sil.....	31
4. MSÚ.....	22
4.1. Posudek vazníku.....	22
4.2. Posudek krajního sloupu.....	29
4.3. Posudek pylonu.....	30
4.4. Posudek podélného prutu mezi příčlemi.....	31
4.5. Posudek příčného zavětrování.....	32
4.6. Posudek podélného stěnového ztužidla.....	33
4.7. Posudek štítového stěnového ztužidla.....	34
4.8. Posudek závěsu.....	35
5. MSP.....	36
5.1. Svislá deformace vazníku.....	36
5.2. Vodorovná deformace krajního sloupu.....	36
6. Návrh a posouzení vybraných detailů.....	37
6.1. Rámový přípoj	37
6.2. Přípoj závěsu na pylon.....	42
6.3. Napojení vazníku na pylon.....	45

1 Zatížení

1.1 Zatížení sněhem

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

Kde je

μ_i tvarový součinitel; $\mu_i = 0.8$ (pro sklon střechy $\alpha = 5^\circ$)

C_e součinitel expozice; $C_e = 1.0$

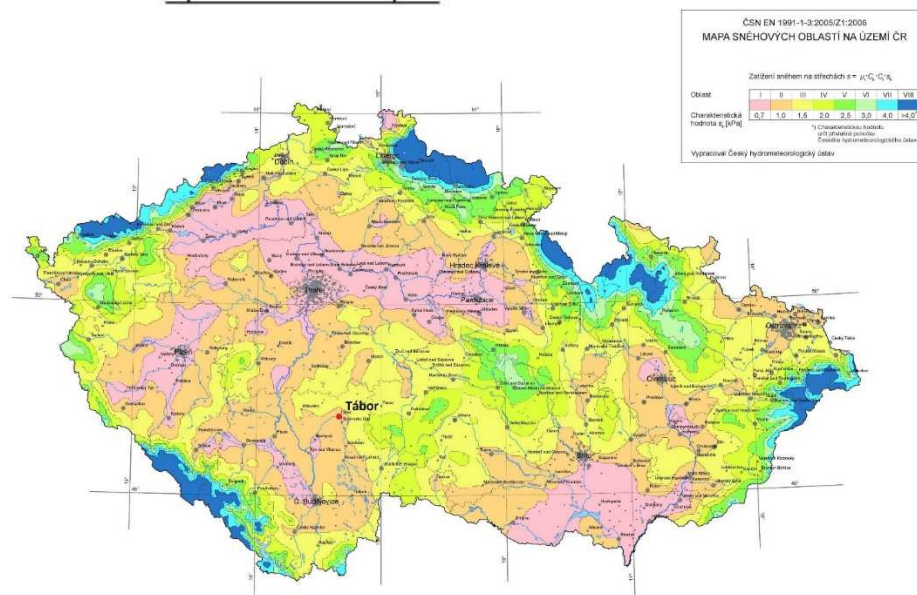
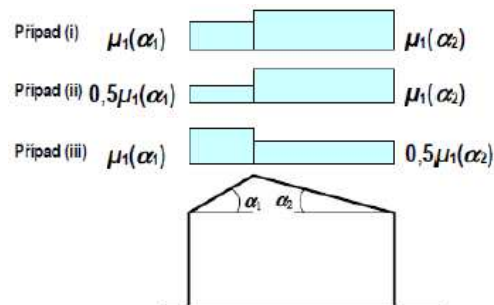
C_t tepelný součinitel; $C_t = 1.0$

s_k charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi; $s_k = 1.0 \text{ kN/m}^2$ (viz. Mapa sněhových oblastí)

$$s = 0.8 * 1.0 * 1.0 * 1.0$$

$$s = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

Celkem byly uvažovány tři zatěžovací stavy, kde $\alpha_1 = \alpha_2 = 5^\circ$:



(obr. Mapa sněhových oblastí)

1.2 Zatížení větrem

Základní dynamický tlak větru:

$$q_b = \frac{\rho}{2} * v_b^2$$

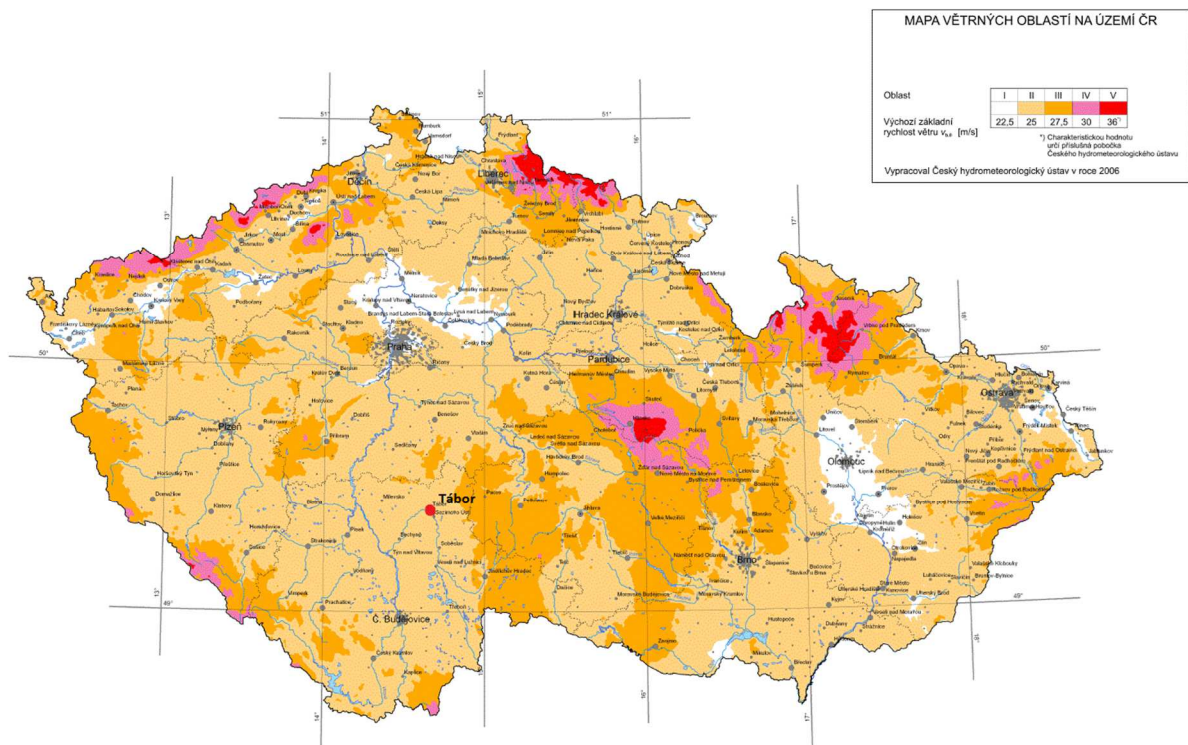
Kde je

ρ hustota větru; $\rho = 1.25 \text{ kN/m}^3$

v_b základní rychlost větru; $v_b = 25 \text{ m/s}$ (viz. Mapa větrných oblastí)

$$q_b = \frac{1.25}{2} * 25^2$$

$$q_b = 390.625 \text{ kN/m}^2$$



(obr. Mapa větrných oblastí)

Součinitel terénu:

$$k_r = 0.19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07}$$

Kde je

z_0 parametr drsnosti terénu; $z_0 = 0.3$ m (viz. tab. Kategorie terénů, III)

$z_{0,II}$ parametr drsnosti pro kategorii terénu II; $z_{0,II} = 0.05$ m (viz. tab. Kategorie terénů, II)

$$k_r = 0.19 * \left(\frac{0.3}{0.05} \right)^{0.07}$$

$$k_r = 0.215$$

Kategorie terénu	z_0 [m]	z_{min} [m]
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20násobek výšky překážek	0,05	2
III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami, nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m	1,0	10
POZNÁMKA Kategorie terénu jsou zobrazeny v A.1.		

(tab. Kategorie terénů)

Součinitel drsnosti:

$$c_r(z) = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

Kde je

k_r součinitel terénu; $k_r = 0.215$

z výška hřebene haly; $z = 8.75$ m

z_0 parametr drsnosti terénu; $z_0 = 0.3$ m (viz. tab. Kategorie terénů, III)

$$c_r(8.75) = 0.215 * \ln \left(\frac{8.75}{0.3} \right)$$

$$c_r(8.75) = 0.727$$

Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$$

Kde je

$c_r(z)$ součinitel drsnosti; $c_r(8.75) = 0.727$

$c_o(z)$ součinitel orografie; $c_o(8.75) = 1.0$

v_b základní rychlost větru; $v_b = 25$ m/s (viz. Mapa větrných oblastí)

$$v_m(8.75) = 0.727 * 1.0 * 25$$

$$v_m(8.75) = 18.163 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence:

$$I_v(z) = \frac{k_i}{c_o(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

Kde je

k_i součinitel turbulence; $k_i = 1.0$

$c_o(z)$ součinitel orografie; $c_o(8.75) = 1.0$

z výška hřebene haly; $z = 8.75$ m

z_0 parametr drsnosti terénu; $z_0 = 0.3$ m (viz. tab. Kategorie terénů, III)

$$I_v(8.75) = \frac{1.0}{1.0 * \ln\left(\frac{8.75}{0.3}\right)}$$

$$I_v(8.75) = 0.296$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z)$$

Kde je

$I_v(z)$ intenzita turbulence; $I_v(8.75) = 0.296$

ρ hustota větru; $\rho = 1.25$ kN/m²

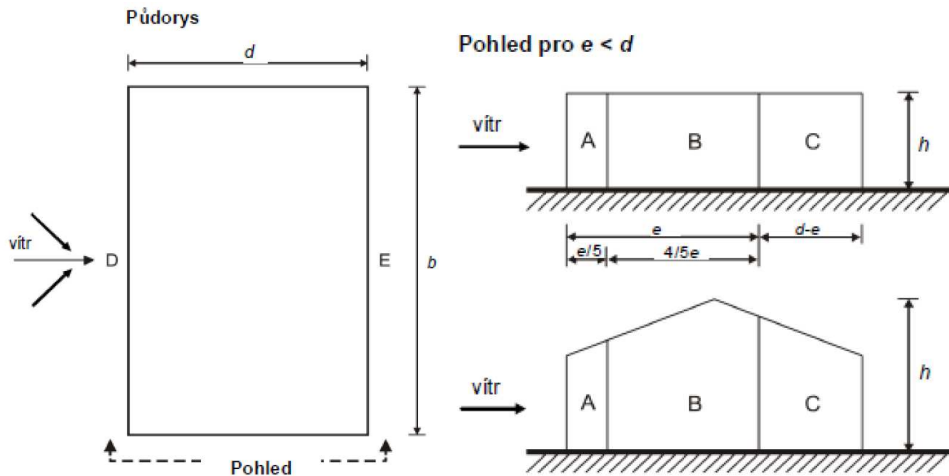
$v_m(z)$ střední rychlost větru; $v_m(8.75) = 18.163$ m/s

$$q_p(8.75) = [1 + 7 * 0.296] * \frac{1}{2} * 1.25 * 18.163^2$$

$$q_p(8.75) = 0.634 \text{ kN/m}^2$$

Součinitele tlaků pro halu se sedlovou střechou:

a) Svislé stěny:



(obr. Schéma oblastí pro svislé stěny)

Působení větru v podélném směru (ve směru hřebene střechy):

$$h = 8.75 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) \rightarrow e = \min(80; 17.5) \rightarrow e = 17.5 \text{ m}$$

$$d = 64 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{8.75}{64} = 0.137$$

Působení větru v příčném směru (kolmo na hřeben střechy):

$$h = 8.75 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) \rightarrow e = \min(64; 17.5) \rightarrow e = 17.5 \text{ m}$$

$$d = 80 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{8.75}{80} = 0.109$$

Oblast	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

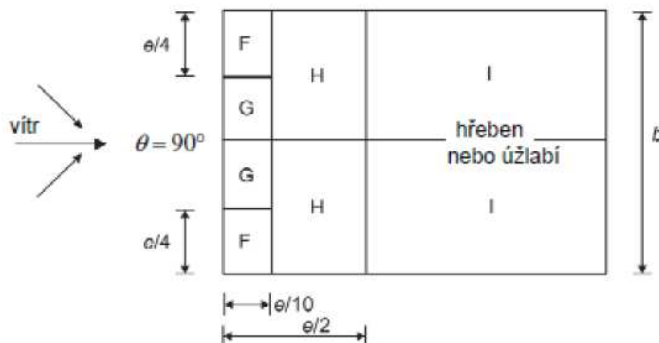
(tab. Součinitele tlaku pro svislé stěny)

b) Sedlová střecha:

Působení větru v podélném směru (ve směru hřebene střechy):

$$h = 8.75 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) \rightarrow e = \min(80; 17.5) \rightarrow e = 17.5 \text{ m}$$



(obr. Schéma oblastí pro sedlovou střechu pro podélný směr)

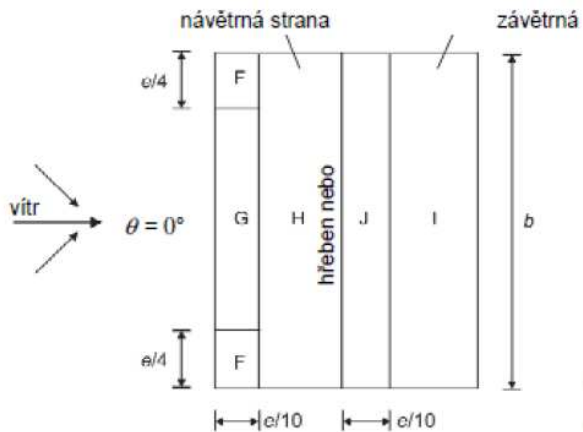
Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

(tab. Součinitele tlaku pro sedlovou střechu pro příčný směr)

Působení větru v příčném směru (kolmo na hřeben střechy):

$$h = 8.75 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) \rightarrow e = \min(64; 17.5) \rightarrow e = 17.5 \text{ m}$$



(obr. Schéma oblastí pro sedlovou střechu pro příčný směr)

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$										
	F		G		H		I		J		
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0		-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8		-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7		-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2		
							-0,6		-0,6		
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2		
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6		
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0		-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0		+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5		
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0		
45°	+0,0		+0,0		+0,0		-0,2		-0,3		
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0		
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3		
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3		

(tab. Součinitele tlaku pro sedlovou střechu pro příčný směr)

Výsledné tlaky větru na jednotlivé oblasti:

$$w_e(z) = q_p(z) * c_{pe}$$

Kde je

$q_p(z)$ maximální dynamický tlak; $q_p(8.75) = 0.634 \text{ kN/m}^2$

c_{pe} součinitel tlaku (dle tabulek výše)

	OBLAST	SÁNÍ		TLAK	
		c_{pe} [-]	$W_e(z)$ [kN/m ²]	c_{pe} [-]	$W_e(z)$ [kN/m ²]
tlak větru v podélném směru	F	-1,6	-1,015		
	G	-1,3	-0,824		
	H	-0,7	-0,444		
	I	-0,6	-0,380		
tlak větru v příčném směru	F	-1,7	-1,078		
	G	-1,2	-0,761		
	H	-0,6	-0,380		
	I	-0,6	-0,380		
	J	-0,6	-0,380	0,2	0,127
tlak větru na stěny	A	-1,2	-0,761		
	B	-0,8	-0,507		
	C	-0,5	-0,317		
	D			0,7	0,444
	E	-0,3	-0,190		

(tab. Výsledné tlaky větru na jednotlivé oblasti)

Zatížení pylonů

Součinitel drsnosti terénu:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Kde je

k_r součinitel terénu; $k_r = 0.215$

z výška vrcholu pylonu; $z = 16 \text{ m}$

z_0 parametr drsnosti terénu; $z_0 = 0.3 \text{ m}$ (viz. tab. Kategorie terénů, III)

$$c_r(16) = 0.215 * \ln\left(\frac{16}{0.3}\right)$$

$$c_r(16) = 0.857$$

Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$$

Kde je

 $c_r(z)$ součinitel drsnosti; $c_r(16) = 0.857$ $c_o(z)$ součinitel orografie; $c_o(16) = 1.0$ v_b základní rychlost větru; $v_b = 25$ m/s (viz. Mapa větrných oblastí)

$$v_m(16) = 0.857 * 1.0 * 25$$

$$v_m(16) = 21.413 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence:

$$I_v(z) = \frac{k_i}{c_o(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

Kde je

 k_i součinitel turbulence; $k_i = 1.0$ $c_o(z)$ součinitel orografie; $c_o(16) = 1.0$ z výška vrcholu pylonu; $z = 16$ m z_0 parametr drsnosti terénu; $z_0 = 0.3$ m (viz. tab. Kategorie terénů, III)

$$I_v(16) = \frac{1.0}{1.0 * \ln\left(\frac{16}{0.3}\right)}$$

$$I_v(16) = 0.251$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z)$$

Kde je

 $I_v(z)$ intenzita turbulence; $I_v(16) = 0.251$ ρ hustota větru; $\rho = 1.25$ kN/m² $v_m(z)$ střední rychlost větru; $v_m(16) = 21.413$ m/s

$$q_p(16) = [1 + 7 * 0.251] * \frac{1}{2} * 1.25 * 21.413^2$$

$$q_p(16) = 0.791 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice:

$$c_e = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

Kde je

$q_p(z)$ maximální dynamický tlak větru; $q_p(16) = 0.791 \text{ kN/m}^2$

q_b základní dynamický tlak větru; $q_b = 0.391 \text{ kN/m}^2$

$$c_e = \frac{0.791}{0.391}$$

$$c_e = 2.025$$

Flukтуаční složka:

$$c_{fl} = 7 * c_r(z) * c_0(z) * I_v(z)$$

Kde je

$c_r(z)$ součinitel drsnosti terénu; $c_r(16) = 0.857$

$c_0(z)$ součinitel orografie; $c_0(16) = 1.0$

$I_v(z)$ Intenzita turbulence; $I_v(16) = 0.251$

$$c_{fl} = 7 * 0.857 * 1.0 * 0.251$$

$$c_{fl} = 1.508$$

Maximální rychlost větru:

$$v(z) = \sqrt{2 * \frac{q_p(z)}{\rho} * 10^3}$$

Kde je

$q_p(z)$ maximální dynamický tlak větru; $q_p(16) = 0.791 \text{ kN/m}^2$

ρ hustota větru; $\rho = 1.25 \text{ kN/m}^2$

$$v(16) = \sqrt{2 * \frac{0.791}{1.25} * 10^3}$$

$$v(16) = 35.576 \text{ m/s}$$

Reynoldsovo číslo:

$$Re = \frac{b * v(z)}{\nu}$$

Kde je

b průměr válce; $b = 0,30$ m

$v(z)$ maximální rychlost větru; $v(16) = 35.576$ m/s

ν kinematická viskozita vzduchy; $\nu = 15 * 10^{-6}$ m²/s

$$Re = \frac{0.30 * 35.576}{15 * 10^{-6}}$$

$$Re = 711\ 510$$

Součinitel síly bez vlivu proudění:

$$c_{f,0} = 1,2 + \frac{0.18 * \log(10 * k/b)}{1 + 0.4 * \log(Re/10^6)}$$

Kde je

k ekvivalentní drsnost povrchu; $k \approx 0.2$ (viz. tab. Ekvivalentní drsnost povrchu)

b průměr válce; $b = 0,30$ m

Re Reynoldsovo číslo; $Re = 711\ 510$

$$c_{f,0} = 1,2 + \frac{0.18 * \log(10 * 0.2/0.3)}{1 + 0.4 * \log(711510/10^6)}$$

$$c_{f,0} = 1.358$$

Efektivní štíhlost:

Tabulka 7.16 – Doporučené hodnoty λ pro válce, mnohoúhelníkové průřezy, obdélníkové průřezy, otevřené konstrukční průřezy a příhradové konstrukce

Č.	Poloha konstrukce, vítr kolmý k rovině strany	Efektivní štíhlost λ
1	<p>pro $b \leq l$</p>	<p>Pro mnohoúhelníkové, obdélníkové a ostrohranné průřezy a příhradové konstrukce: pro $l \geq 50$ m, menší z hodnot $\lambda = 1,4l/b$ nebo $\lambda = 70$; pro $l < 15$ m, menší z hodnot $\lambda = 2l/b$ nebo $\lambda = 70$.</p> <p>Pro válce s kruhovým průřezem: pro $l \geq 50$ m, menší z hodnot $\lambda = 0,7l/b$ nebo $\lambda = 70$; pro $l < 15$ m, menší z hodnot $\lambda = l/b$ nebo $\lambda = 70$.</p> <p>Pro mezilehlé hodnoty l se doporučuje použít lineární interpolaci.</p>
2	<p>$b_1 \leq 1,5b$</p> <p>$b_0 \geq 2,5b$</p> <p>$b \leq l$</p>	<p>Pro $l \geq 50$ m, menší z hodnot $\lambda = 0,7l/b$ nebo $\lambda = 70$. Pro $l < 15$ m, menší z hodnot $\lambda = l/b$ nebo $\lambda = 70$.</p> <p>Pro mezilehlé hodnoty l se doporučuje použít lineární interpolaci.</p>
3	<p>$l/2$</p> <p>$b/2$</p> <p>l</p> <p>b</p>	<p>Pro $l \geq 50$ m, menší z hodnot $\lambda = 0,7l/b$ nebo $\lambda = 70$. Pro $l < 15$ m, menší z hodnot $\lambda = l/b$ nebo $\lambda = 70$.</p> <p>Pro mezilehlé hodnoty l se doporučuje použít lineární interpolaci.</p>
4	<p>$b_1 \geq 2,5b$</p> <p>$z_g \geq 2b$</p> <p>b</p> <p>l</p>	<p>Pro $l \geq 50$ m, menší z hodnot $\lambda = 0,7l/b$ nebo $\lambda = 70$. Pro $l < 15$ m, menší z hodnot $\lambda = l/b$ nebo $\lambda = 70$.</p> <p>Pro mezilehlé hodnoty l se doporučuje použít lineární interpolaci.</p>

(tab. Doporučené hodnoty efektivní štíhlosti)

$$\lambda = \min\left(\frac{l}{b}; 70\right)$$

Kde je

l výška pylonu; $l = 7.25$ m

b průměr pylonu; $b = 0.3$ m

$$\lambda = \min\left(\frac{7.25}{0.3}; 70\right)$$

$$\lambda = 24.17$$

Součinitel sil:

$$c_f = c_{f,0} * \Psi_\lambda$$

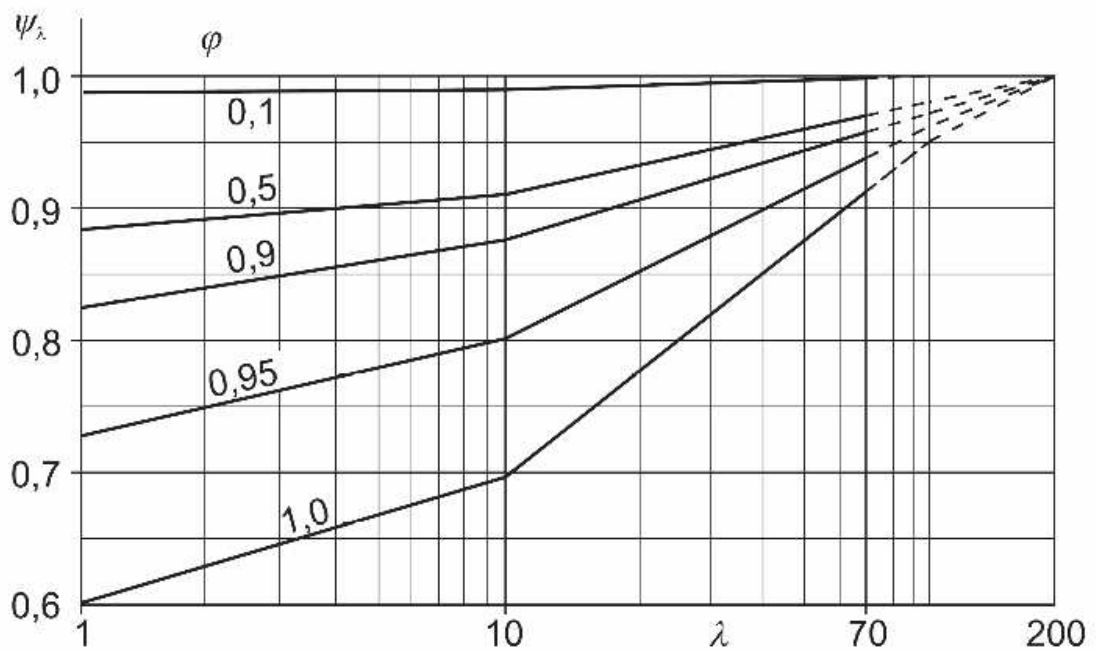
Kde je

$c_{f,0}$ součinitel síly bez vlivu proudění; $c_{f,0} = 1.358$

Ψ_λ součinitel koncového efektu; $\Psi_\lambda = 0.80$ (viz. Graf – součinitel koncového efektu;
součinitel plnosti $\varphi = 1.0$; efektivní štíhlost $\lambda = 24.17$)

$$c_f = 1.358 * 0.80$$

$$c_f = 1.086$$



(Graf – součinitel koncového efektu)

Výsledné zatížení na pylon:

$$w_e(z) = q_b * c_e * b * c_f$$

Kde je

q_b základní dynamický tlak větru; $q_b = 0.391 \text{ kN/m}^2$

c_e součinitel expozice; $c_e = 2.025$

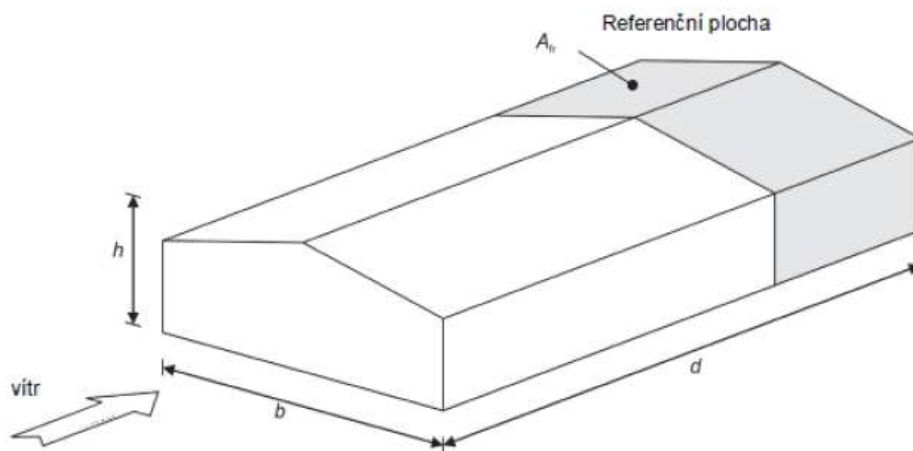
b průměr pylonu; $b = 0.30 \text{ m}$

c_f součinitel síly; $c_f = 1.086$

$$w_e(z) = 0.391 * 2.025 * 0.30 * 1.086$$

$$w_e(z) = 0.258 \text{ kN/m}$$

Zatížení třením



(obr. Pozice referenční plochy zatížené třením)

$$d_{fr} = d - d_0$$

Kde

$$d_0 = \min(2b; 4h) = \min(160; 35) = 35 \text{ m}$$

$$d = 64 \text{ m}$$

$$d_{fr} = 64 - 35 = 29 \text{ m}$$

Referenční plocha:

$$A_{fr} = d_{fr} * (2 * 5.25 + 2 * 40.15)$$

$$A_{fr} = 29 * (2 * 5.25 + 2 * 40.15)$$

$$A_{fr} = 2633 \text{ m}^2$$

Třecí síly od větru:

$$F_{fr} = c_{fr} * q_p(z) * A_{fr}$$

Kde

c_{fr} součinitel tření; $c_{fr} = 0.04$ (viz tabulka; žebra krytiny)

$q_p(z)$ maximální dynamický tlak; $q_p(z) = 0.634 \text{ kN/m}^2$

A_{fr} referenční plocha; $A_{fr} = 2633 \text{ m}^2$

$$F_{fr} = 0.04 * 0.634 * 2633$$

$$F_{fr} = 66.77 \text{ kN}$$

-> rozdělení na 4 příčné vazby (1 vazba 90.8 m)

$$q_{fr_1} = \frac{66.77}{90.8 * 4}$$

$$q_{fr_1} = 0.184 \text{ kN/m}^2$$

Povrch	Součinitel tření c_f
Hladký (tj. ocel, hladký beton)	0,01
Hrubý (tj. drsný beton, asfaltový šindel)	0,02
Velmi hrubý (tj. vlnovky, žebra, drážky)	0,04

(tab. Součinitele tření)

2 Střešní plášť

2.1 Střešní panel

Tlak:

Zatížení sněhem:

$$s = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

Maximální zatížení větrem (tlak):

$$w_e(z) = 0.127 \text{ kN/m}^2$$

Celkem tlak:

$$\begin{aligned} q_{celk,1,tlak} &= s + w_e(z) = \\ &= 0.8 + 0.127 = 0.927 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sání:

Maximální zatížení větrem (sání):

$$q_{celk,1,sání} = w_e(z) = 1.078 \text{ kN/m}^2$$

Vaznice uvažovány po 2m.

-> Návrh střešního panelu Kingspan KS1000 TOP-DEK, d= 80mm, tl.= 0.6mm

Systém	Tloušťka plechu [mm]	Případ zatížení	Všechna zatížení v kN/m ² pro dané rozpory v metrech									
			1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80
Spojitý nosník o 3 a více polích	0,5	Tlak	3,44	2,37	1,72	1,31	1,02	0,81	0,66	0,55	0,42	0,32
		Sání	5,00	3,49	2,57	1,98	1,54	1,14	0,87	0,69	0,56	0,46
	0,6 (standardní)	Tlak	4,66	3,21	2,34	1,78	1,39	1,11	0,90	0,68	0,52	0,40
		Sání	6,06	4,22	3,12	2,40	1,87	1,38	1,06	0,83	0,67	0,55
	0,7 (na poptání)	Tlak	5,97	4,13	3,01	2,29	1,79	1,44	1,07	0,80	0,61	0,47
		Sání	7,11	4,95	3,65	2,81	2,20	1,62	1,24	0,98	0,79	0,65

(tab. Únosnost panelu Kingspan KS1000 TOP-DEK)

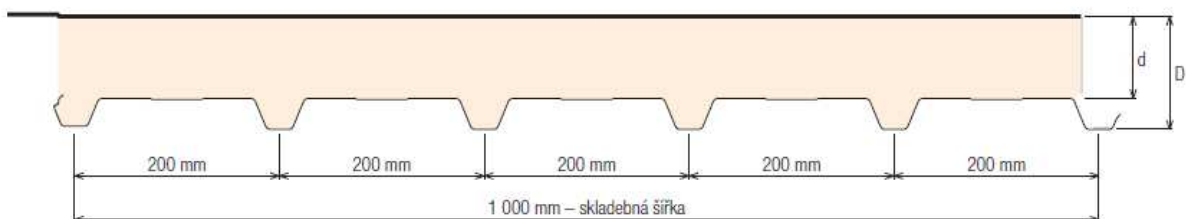
Posouzení:

$$q_{celk,1,tlak} = 0.927 \text{ kN/m}^2 < 1.11 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{celk,1,sání} = 1.078 \text{ kN/m}^2 < 1.38 \text{ kN/m}^2$$

-> střešní panel vyhovuje

Rozměry a hmotnost



d – tloušťka jádra (mm)	20	50	60	70	80	100		
D – celkové rozměry (mm)	50	80	90	100	110	130		
Hmotnost (kg/m ²)	PVC membrána – exteriér		8,66	9,86	10,26	10,66	11,06	11,86
	plech 0,6 mm – interiér							

(tab. Specifikace panelu Kingspan KS1000 TOP-DEK)

Tíha panelu:

$$q_{panel} = 0.111 \text{ kN/m}^2$$

2.2 Vaznice

Tlak:

Zatížení sněhem:

$$s = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

Maximální zatížení větrem (tlak):

$$w_e(z) = 0.127 \text{ kN/m}^2$$

Panel Kingspan:

$$q_{panel} = 0.111 \text{ kN/m}^2$$

Celkem tlak:

$$q_{celk,2,tlak} = s + w_e(z) + q_{panel} =$$

$$0.8 + 0.127 + 0.111 = 1.038 \text{ kN/m}^2$$

Sání:

Maximální zatížení větrem (sání):

$$w_e(z) = 1.078 \text{ kN/m}^2$$

Panel Kingspan:

$$q_{panel} = 0.111 \text{ kN/m}^2$$

Celkem sání:

$$q_{celk,2,sání} = w_e(z) - q_{panel} =$$

$$1.078 - 0.111 = 0.967 \text{ kN/m}^2$$

-> Návrh vaznice MetSec 262 Z 20, systém H.E.B., po 2m

Označení profilu	Hmotnost kg/m'	Výpočtové zatížení (I. mezní stav – únosnost)								Normové zatížení (II. mezní stav) použitelnost			
		Q_{zd1} (k, v) (max. vertikální zatížení kN/m' – tlak)		Q_{zd2} (k, v) (min. vertikální zatížení kN/m' – sání), počet vzpěr				q_{n1} kN/m' pro průhyby					
		Koncové pole	Vnitřní pole	0	1	2	Koncové pole	Vnitřní pole	Koncové pole	Vnitřní pole	L/200	L/250	
ROZPĚTÍ 8 m													
202 Z 14	3.82	-	2.471	-	-	-	2.555	-	2.555	-	1.820	-	1.449
202 Z 15	4.09	2.009	2.777	-	-	2.100	2.867	2.100	2.867	0.931	1.946	0.736	1.548
202 Z 16	4.35	2.234	3.086	-	-	2.330	3.182	2.330	3.182	0.991	2.071	0.784	1.648
202 Z 18	4.88	2.681	3.702	-	-	2.758	3.768	2.789	3.810	1.209	2.318	0.878	1.845
202 Z 20	5.4	3.118	4.305	-	-	3.064	4.185	3.237	4.424	1.226	2.563	0.970	2.040
202 Z 23	6.17	3.746	5.170	-	-	3.466	4.735	3.882	5.306	1.400	2.926	1.108	2.329
202 Z 27	7.19	4.538	-	-	-	3.913	-	4.697	-	1.627	-	1.287	-
232 Z 15	4.44	-	3.201	-	-	-	3.284	-	3.290	-	2.624	-	2.091
232 Z 16	4.73	2.583	3.587	-	-	2.639	3.605	2.687	3.671	1.374	2.793	1.089	2.225
232 Z 18	5.3	3.113	4.297	-	-	3.095	4.229	3.230	4.414	1.538	3.128	1.220	2.492
232 Z 20	5.87	3.633	5.013	-	-	3.527	4.819	3.762	5.143	1.701	3.460	1.349	2.756
232 Z 23	6.71	4.384	6.049	-	-	4.119	5.629	4.533	6.197	1.944	3.952	1.542	3.149
232 Z 25	7.27	4.868	-	-	-	4.475	-	5.029	-	2.103	-	1.668	-
262 Z 16	5.11	-	4.020	-	1.223	-	3.467	-	4.133	-	3.633	-	2.897
262 Z 18	5.73	3.529	4.529	-	1.426	2.985	4.077	3.655	4.996	2.051	4.070	1.630	3.245
262 Z 20	6.34	4.136	5.706	-	1.620	3.410	4.657	4.276	5.846	2.270	4.504	1.803	3.590

(tab. Únosnost vaznice MetSec 262 Z 20)

Vaznice rozmístěny po 2m -> Návrhové (výpočtové) zatížení na 1m':

$$q_{celk,2,tlak,m',d} = q_{celk,2,tlak} * \gamma_Q * 2 = 1.038 * 1.5 * 2$$

$$q_{celk,2,tlak,m',d} = 3.114 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{celk,2,sání,m',d} = q_{celk,2,sání} * \gamma_Q * 2 = 0.967 * 1.5 * 2$$

$$q_{celk,2,sání,m',d} = 2.901 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení:

$$q_{celk,2,tlak,m',d} = 3.114 \text{ kN/m}^2 < 4.136 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{celk,2,sání,m',d} = 2.901 \text{ kN/m}^2 < 3.410 \text{ kN/m}^2$$

-> vaznice vyhovuje

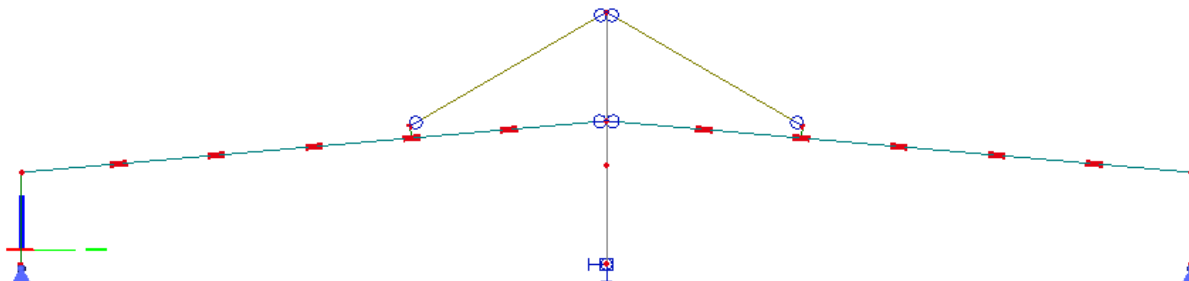
Tíha vaznice:

$$q_{vaznice} = 0.0634 \text{ kN/m'}$$

Klopení vaznic zabraňuje ztužující střešní plášť KINGSPAN.

3 Příčná vazba

3.1 Schéma

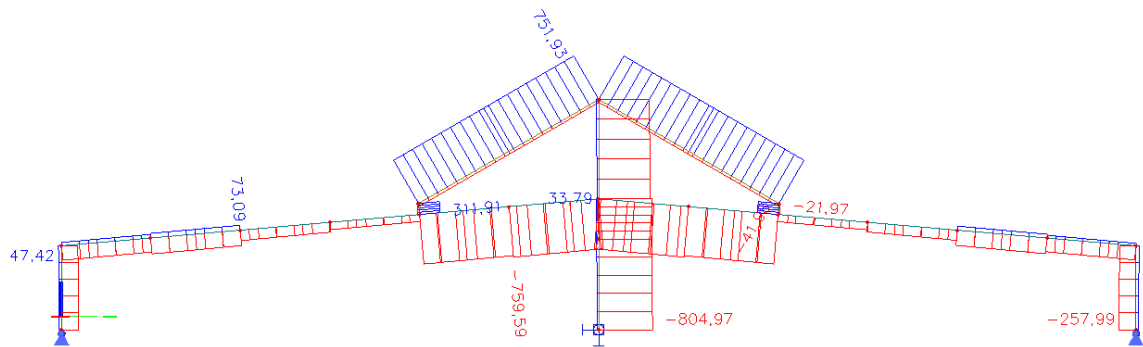


3.2 Zatěžovací stavy, kombinace

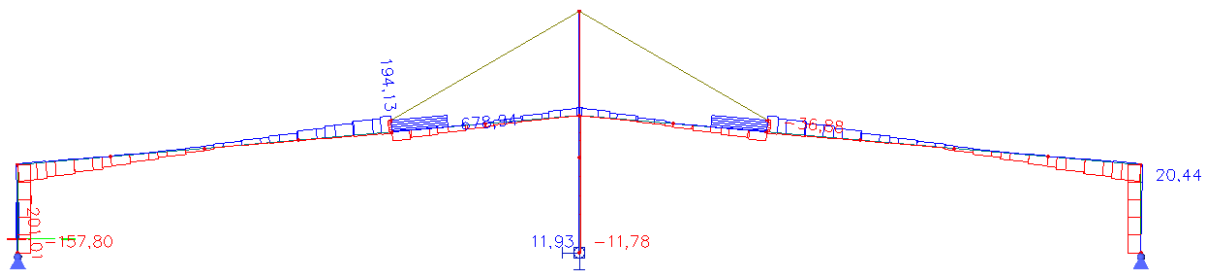
	LC1 - Vlastní tíha	LC2 - Kingspan + MetSec	LC3 - Sníh 1.0 μ + 1.0 μ	LC4 - Větr podélný	LC5 - Větr příčný - jen sání	LC6 - Větr příčný - sání + tlak	LC7 - Sníh 1.0 μ + 0.5 μ	LC8 - Sníh 0.5 μ + 1.0 μ
CO1	γ_g	γ_g	-	γ_q	-	-	$\psi_0 \cdot \gamma_q$	-
	1,35	1,35	-	1,5	-	-	0,75	-
CO2	γ_g	γ_g	γ_q	-	-	-	-	-
	1,35	1,35	1,5	-	-	-	-	-
CO3	γ_g	γ_g	-	-	-	-	-	γ_q
	1,35	1,35	-	-	-	-	-	1,5
CO4	γ_g	γ_g	$\psi_0 \cdot \gamma_q$	γ_q	-	-	-	-
	1,35	1,35	0,75	1,5	-	-	-	-
CO5	γ_g	γ_g	-	-	-	γ_q	$\psi_0 \cdot \gamma_q$	-
	1,35	1,35	-	-	-	1,5	0,75	-
CO6	γ_g	γ_g	-	$\psi_0 \cdot \gamma_q$	-	-	-	γ_q
	1,35	1,35	-	0,90	-	-	-	1,5
CO7	γ_g	γ_g	-	-	-	-	γ_q	-
	1,35	1,35	-	-	-	-	1,5	-
CO8	γ_g	γ_g	-	-	-	$\psi_0 \cdot \gamma_q$	-	γ_q
	1,35	1,35	-	-	-	0,90	-	1,5
CO9	1	1	-	γ_q	-	-	-	-
	1	1	-	1,5	-	-	-	-
CO10	γ_g	γ_g	-	$\psi_0 \cdot \gamma_q$	-	-	γ_q	-
	1,35	1,35	-	0,9	-	-	1,5	-
CO11	1	1	-	$\psi_0 \cdot \gamma_q$	-	-	γ_q	-
	1	1	-	0,90	-	-	1,5	-
CO12	γ_g	γ_g	-	-	$\psi_0 \cdot \gamma_q$	-	-	γ_q
	1,35	1,35	-	-	0,90	-	-	1,5

3.3 Obálka vnitřních sil

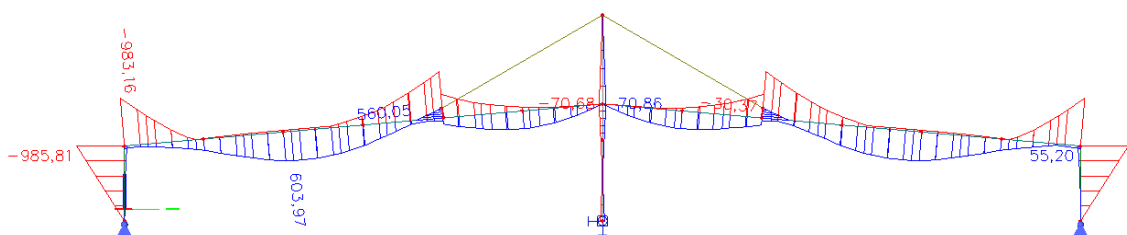
Normálové síly (N, [kN])



Posouvající síly (V, [kN])



Ohybové momenty (M, [kNm])



4 Mezní stav únosnosti

Ukázán je podrobný posudek příčle, ostatní průřezy obdobně řeší výpočetní a dimenzační modul SCIA Engineer. Použita byla globální lineární analýza ve 3D bez imperfekcí soustavy a jednotlivých prutů. Příslušné stabilitní účinky jsou řešeny prostřednictvím globálních vzpěrných délek.

Omezení využití průřezu je rovněž ovlivněno doporučenou mezní štíhlostí prutů, viz následující tabulka.

Pruty tlačené	λ	
- pruty příhradových ztužidel, zajišťujících stabilitu jiných konstrukcí	250	
- pruty příhradových nosníků	200	
- sloupy budov, nejsou-li součástí rámové konstrukce	180	
Pruty tažené	zatížené	
	staticky	dynamicky
- pruty příhradových konstrukcí	400	350
- brzdná ztužidla jeřábových drah	-	150
POZNÁMKA - U tažených prutů se štíhlost uvažuje jen ve svislé rovině		

4.1 Posudek vazníku:

Průřez HEA 600, třída oceli S355

Parametry kolmo k ose y-y:

Stanovení vzpěrné délky:

$$L_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^2 * EI_y}{N_{cr}}}$$

Kde je

E Youngův modul pružnosti; $E = 210 \text{ GPa}$

I_y moment setrvačnosti; $I_y = 1.41 * 10^9 \text{ mm}^4$

N_{cr} kritické zatížení; $N_{cr} = 1852.33 \text{ kN}$ (získáno z programu SCIA Engineer)

$$L_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^2 * 210000 * 1.41 * 10^9}{1852.33 * 10^3}}$$

$$L_{cr} = 39.72 \text{ m}$$

Stanovení kritické štíhlosti:

$$\lambda_y = \pi * \sqrt{\frac{E}{N_{cr}/A}}$$

Kde je

E Youngův modul pružnosti; $E = 210 \text{ GPa}$
 N_{cr} kritické zatížení; $N_{cr} = 1852.33 \text{ kN}$
 A plocha průřezu; $A = 22650 \text{ mm}^2$

$$\lambda_y = \pi * \sqrt{\frac{210000}{1852.33 * 10^3 / 22650}}$$

$$\lambda_y = 159.19$$

Redukovaná štíhlost:

$$\lambda'_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1}$$

Kde je

λ_y kritická štíhlost; $\lambda_y = 159.19$

$$\lambda_1 = 93.9 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 76.39$$

$$\lambda'_y = \frac{159.19}{76.39}$$

$$\lambda'_y = 2.08$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y'^2}}$$

$$\text{kde } \phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda'_y - 0.2) + \lambda_y'^2]$$

α součinitel imperfekce; $\alpha = 0.21$ (pro křivku vzpěrné pevnosti a)

$$\phi = 0.5[1 + 0.21(2.08 - 0.2) + 2.08^2]$$

$$\phi = 2.86$$

$$\chi_y = \frac{1}{2.86 + \sqrt{2.86^2 - 2.08^2}}$$

$$\chi_y = 0.207$$

Parametry kolmo k ose z-z:

Stanovení kritického zatížení:

$$L_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^2 * EI_y}{N_{cr}}}$$

Kde je

E Youngův modul pružnosti; $E = 210 \text{ GPa}$

I_y moment setrvačnosti; $I_z = 113 * 10^6 \text{ mm}^4$

N_{cr} vzpěrná délka; $N_{cr} = 5826.65 \text{ kN}$ (získáno z programu SCIA Engineer)

$$L_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^2 * 210000 * 113 * 10^6}{5826.65 * 10^3}}$$

$$L_{cr} = 6.34 \text{ m}$$

Stanovení kritické štíhlosti:

$$\lambda_z = \pi * \sqrt{\frac{E}{N_{cr}/A}}$$

Kde je

E Youngův modul pružnosti; $E = 210 \text{ GPa}$

N_{cr} kritické zatížení; $N_{cr} = 5826.65 \text{ kN}$

A plocha průřezu; $A = 22650 \text{ mm}^2$

$$\lambda_z = \pi * \sqrt{\frac{210000}{5826.65 * 10^3 / 22650}}$$

$$\lambda_z = 89.76$$

Redukovaná štíhlost:

$$\lambda_z' = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

Kde je

λ_z kritická štíhlost; $\lambda = 89.76$

λ_1 $\lambda_1 = 93.9 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 76.39$

$$\lambda_z' = \frac{89.76}{76.39}$$

$$\lambda_z' = 1.18$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda'^2}}$$

$$\text{kde } \phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda'_z - 0.2) + \lambda'^2_z]$$

α součinitel imperfekce; $\alpha = 0.34$ (pro křivku vzpěrné pevnosti b)

$$\phi = 0.5[1 + 0.34(1.18 - 0.2) + 1.18^2]$$

$$\phi = 1.25$$

$$\chi_z = \frac{1}{1.25 + \sqrt{1.25^2 - 1.18^2}}$$

$$\chi_z = 0.60$$

Součinitel klopení χ_{LT} je uvažován 1.0, neboť klopení je zabráněno vaznicemi se vzpěrkami, které jsou na příčle rozmístěny po 2m.

Posouzení prvku na kombinaci normálové síly a ohybového momentu:

$$N_{Rd} = A * f_y$$

kde je

A plocha průřezu; $A = 22.7 * 10^3 \text{ mm}^2$

f_y mez kluzu oceli; $f_y = 355 \text{ MPa}$

$$N_{Rd} = 22.7 * 10^3 * 355$$

$$N_{Rd} = 8058.5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = W_{y,pl} * f_y$$

kde je

$W_{y,pl}$ plastický průřezový modul; $W_{y,pl} = 5.35 * 10^6 \text{ mm}^3$

f_y mez kluzu oceli; $f_y = 355 \text{ MPa}$

$$M_{y,Rd} = 5.35 * 10^6 * 355$$

$$M_{y,Rd} = 1899.25 \text{ kNm}$$

Posouzení obecně:

$$k_{yy} = C_{my} * \left(1 + (\lambda'_y - 0.2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rd}} \right) \leq C_{my} * \left(1 + 0.8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rd}} \right)$$

$$k_{zy} = 0.6 k_{yy}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} \leq 1$$

Posouzení v bodě č. 1:

$$N_{Ed} = 684.09 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 360.35$$

$$k_{yy} = 1.0 * \left(1 + (2.08 - 0.2) * \frac{684.09}{0.207 * 8058.5} \right) \leq 1.0 * \left(1 + 0.8 * \frac{684.09}{0.207 * 8058.5} \right)$$

$$k_{yy} = 1.33$$

$$k_{zy} = 0.6 k_{yy} = 0.80$$

$$\frac{684.09}{0.207 * 8058.5} + 1.33 * \frac{360.35}{1.0 * 1899.25} \leq 1$$

$$\frac{684.09}{0.60 * 8058.5} + 0.80 * \frac{360.35}{1.0 * 1899.25} \leq 1$$

$$0.66 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení v bodě č. 2:

$$N_{Ed} = 645.43 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 392.74$$

$$k_{yy} = 1.0 * \left(1 + (2.08 - 0.2) * \frac{645.43}{0.207 * 8058.5} \right) \leq 1.0 * \left(1 + 0.8 * \frac{645.43}{0.207 * 8058.5} \right)$$

$$k_{yy} = 1.31$$

$$k_{zy} = 0.6 k_{yy} = 0.79$$

$$\frac{645.43}{0.207 * 8058.5} + 1.31 * \frac{392.74}{1.0 * 1899.25} \leq 1$$

$$\frac{645.43}{0.60 * 8058.5} + 0.79 * \frac{392.74}{1.0 * 1899.25} \leq 1$$

$$0.66 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení v bodě č. 3:

$$N_{Ed} = 235.72 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 602.42$$

$$k_{yy} = 1.0 * \left(1 + (2.08 - 0.2) * \frac{235.72}{0.207 * 8058.5} \right) \leq 1.0 * \left(1 + 0.8 * \frac{235.72}{0.207 * 8058.5} \right)$$

$$k_{yy} = 1.11$$

$$k_{zy} = 0.6 k_{yy} = 0.67$$

$$\frac{235.72}{0.207 * 8058.5} + 1.11 * \frac{602.42}{1.0 * 1899.25} \leq 1$$

$$\frac{235.72}{0.60 * 8058.5} + 0.67 * \frac{602.42}{1.0 * 1899.25} \leq 1$$

$$0.49 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení v bodě č. 4:

$$N_{Ed} = 211.61 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 978.81$$

$$k_{yy} = 1.0 * \left(1 + (2.08 - 0.2) * \frac{211.61}{0.207 * 8058.5} \right) \leq 1.0 * \left(1 + 0.8 * \frac{211.61}{0.207 * 8058.5} \right)$$

$$k_{yy} = 1.10$$

$$k_{zy} = 0.6 k_{yy} = 0.66$$

$$\frac{211.61}{0.207 * 8058.5} + 1.10 * \frac{978.81}{1.0 * 1899.25} \leq 1$$

$$\frac{211.61}{0.60 * 8058.5} + 0.66 * \frac{978.81}{1.0 * 1899.25} \leq 1$$

$$0.70 \leq 1$$

VYHOVUJE

4.2 Posudek krajního sloupu:

Průřez HEA 600, třída oceli S235

Z obálky vnitřních sil:

NEd	Vy,Ed	Vz,Ed	TEd	My,Ed	Mz,Ed
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-245.84	0.15	-157.80	-0.33	-788.56	0.75

Parametry vzpěru	yy	zz	
typ	posuvné	neposuvné	
Kritická štíhlost	88.82	88.04	
Redukovaná štíhlost	0.95	0.94	
Vzpěr. křivka	a	b	
Součinitel imperfekce	0.21	0.34	
Součinitel vzpěrnosti	0.70	0.64	
Délka	6.25	6.26	m
Vzpěrná délka	22.14	6.21	m
Kritické zatížení	5963.21	6070.57	kN

Klopení		
Délka klopení	6.25	m
k	1.00	
kw	1.00	
C1	1.88	

POSUDEK ÚNOSNOSTI	
Posudek na tlak	0.05 < 1
Posouzení kroucení	0.02 < 1
Posudek na smyk (Vy)	0.00 < 1
Posudek na smyk (Vz)	0.12 < 1
Posudek ohybového momentu (My)	0.63 < 1
Posudek ohybového momentu (Mz)	0.00 < 1

Stabilitní posudek	
Vzpěr	0.07 < 1
Klopení	0.69 < 1
Tlak + moment	0.92 < 1
Tlak + moment	0.53 < 1

Průřez vyhovuje, využit je na 92%.

4.3 Posudek pylonu:

Průřez RO 355.6x10, třída oceli S235

Z obálky vnitřních sil:

NEd	Vy,Ed	Vz,Ed	TEd	My,Ed	Mz,Ed
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-626.40	-0.00	-10.01	0.00	74.06	0.03

Parametry vzpěru	yy	zz	
typ	posuvné	posuvné	
Kritická štíhlost	136.62	131.03	
Redukovaná štíhlost	1.45	1.40	
Vzpěr. křivka	a	a	
Součinitel imperfekce	0.21	0.21	
Součinitel vzpěrnosti	0.39	0.42	
Délka	7.40	7.40	m
Vzpěrná délka	16.67	15.98	m
Kritické zatížení	1210.39	1315.81	kN

Klopení		
Délka klopení	7.40	m
k	1.00	
kw	1.00	
C1	1.88	

POSUDEK ÚNOSNOSTI	
Posudek na tlak	0.24 < 1
Posudek na smyk (Vy)	0.00 < 1
Posudek na smyk (Vz)	0.01 < 1
Posudek ohybového momentu (My)	0.27 < 1
Posudek ohybového momentu (Mz)	0.00 < 1

Stabilitní posudek	
Vzpěr	0.62 < 1
Klopení	0.27 < 1
Tlak + moment	0.87 < 1
Tlak + moment	0.77 < 1

Průřez vyhoví, využit je na 87%.

4.4 Posudek podélného prutu mezi příčlemi:

Průřez RO 133x5.6, třída oceli S235

Z obálky vnitřních sil:

N _{Ed} [kN]	V _{y,Ed} [kN]	V _{z,Ed} [kN]	T _{Ed} [kNm]	M _{y,Ed} [kNm]	M _{z,Ed} [kNm]
-81.47	-0.00	0.93	0.24	-0.00	0.00

Parametry vzpěru	yy	zz	
typ	neposuvné	neposuvné	
Kritická štíhlost	177.30	177.30	
Redukovaná štíhlost	1.89	1.89	
Vzpěr. křivka	a	a	
Součinitel imperfekce	0.21	0.21	
Součinitel vzpěrnosti	0.25	0.25	
Délka	8.00	8.00	m
Vzpěrná délka	8.00	8.00	m
Kritické zatížení	147.68	147.68	kN

Klopení		
Délka klopení	8.00	m
k	1.00	
k _w	1.00	
C ₁	1.13	

POSUDEK ÚNOSNOSTI	
Posudek na tlak	0.15 < 1
Posouzení kroucení	0.01 < 1
Posudek na smyk (V _z)	0.00 < 1

Stabilitní posudek	
Vzpěr	0.62 < 1
Tlak + moment	0.75 < 1
Tlak + moment	0.75 < 1

Průřez vyhoví, využit je na 75%.

4.5 Posudek příčného zavětrování:

Průřez RO 168.3x6.3, třída oceli S235

Z obálky vnitřních sil:

NEd [kN]	Vy,Ed [kN]	Vz,Ed [kN]	TEd [kNm]	My,Ed [kNm]	Mz,Ed [kNm]
-92.59	0.18	1.27	-0.10	11.17	0.96

Parametry vzpěru	yy	zz	
typ	neposuvné	neposuvné	
Kritická štíhlost	182.19	87.45	
Redukovaná štíhlost	1,94	0.93	
Vzpěr. křivka	a	a	
Součinitel imperfekce	0.21	0.21	
Součinitel vzpěrnosti	0.24	0.71	
Délka	10.44	5.22	m
Vzpěrná délka	10.43	5.01	m
Kritické zatížení	200.44	869.99	kN

Klopení		
Délka klopení	5.22	m
k	1.00	
kw	1.00	
C1	1.81	

POSUDEK ÚNOSNOSTI	
Posudek na tlak	0.12 < 1
Posudek na smyk (Vy)	0.00 < 1
Posudek na smyk (Vz)	0.00 < 1
Posudek ohybového momentu (My)	0.29 < 1
Posudek ohybového momentu (Mz)	0.02 < 1

Stabilitní posudek	
Vzpěr	0.52 < 1
Klopení	0.29 < 1
Tlak + moment	0.89 < 1
Tlak + moment	0.64 < 1

Průřez vyhoví, využit je na 89%.

4.6 Posudek podélného stěnového ztužidla:

Průřez RO 152.4x5.6, třída oceli S235

Z obálky vnitřních sil:

N _{Ed} [kN]	V _{y,Ed} [kN]	V _{z,Ed} [kN]	T _{Ed} [kNm]	M _{y,Ed} [kNm]	M _{z,Ed} [kNm]
-70.00	0.06	-0.41	0.54	-0.00	-0.00

Parametry vzpěru	yy	zz	
typ	neposuvné	neposuvné	
Kritická štíhlost	85.49	195.31	
Redukovaná štíhlost	0.91	2.08	
Vzpěr. křivka	a	a	
Součinitel imperfekce	0.21	0.21	
Součinitel vzpěrnosti	0.73	0.21	
Délka	5.08	10.15	m
Vzpěrná délka	4.44	10.15	m
Kritické zatížení	731.73	140.18	kN

Klopení		
Délka klopení	10.15	m
k	1.00	
kw	1.00	
C1	1.35	

POSUDEK ÚNOSNOSTI	
Posudek na tlak	0.12 < 1
Posouzení kroucení	0.02 < 1
Posudek na smyk (V _y)	0.00 < 1
Posudek na smyk (V _z)	0.00 < 1

Stabilitní posudek	
Vzpěr	0.56 < 1
Tlak + moment	0.20 < 1
Tlak + moment	0.58 < 1

Průřez vyhoví, využit je na 58%.

4.7 Posudek štítového stěnového ztužidla:

Průřez RO 168.3x6.3, třída oceli S235

Z obálky vnitřních sil:

N _{Ed}	V _{y,Ed}	V _{z,Ed}	T _{Ed}	M _{y,Ed}	M _{z,Ed}
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
-77.97	-0.07	0.41	-0.00	-0.00	0.00

Parametry vzpěru	yy	zz	
typ	neposuvné	neposuvné	
Kritická štíhlost	68.79	190.98	
Redukovaná štíhlost	0.73	2.03	
Vzpěr. křivka	a	a	
Součinitel imperfekce	0.21	0.21	
Součinitel vzpěrnosti	0.83	0.22	
Délka	5.28	10.94	m
Vzpěrná délka	3.94	10.94	m
Kritické zatížení	1405.84	182.42	kN

Klopení		
Délka klopení	10.94	m
k	1.00	
kw	1.00	
C1	1.35	

POSUDEK ÚNOSNOSTI	
Posudek na tlak	0.10 < 1
Posudek na smyk (V _y)	0.00 < 1
Posudek na smyk (V _z)	0.00 < 1

Stabilitní posudek	
Vzpěr	0.48 < 1
Tlak + moment	0.16 < 1
Tlak + moment	0.50 < 1

Průřez vyhoví, využit je na 50%.

4.8 Posudek závěsu:

Průřez RO 244.5x8, třída oceli S235

Z obálky vnitřních sil:

NEd [kN]	V _{y,Ed} [kN]	V _{z,Ed} [kN]	TEd [kNm]	My,Ed [kNm]	Mz,Ed [kNm]
752.74	-0.00	0.0	-0.00	-0.00	0.00

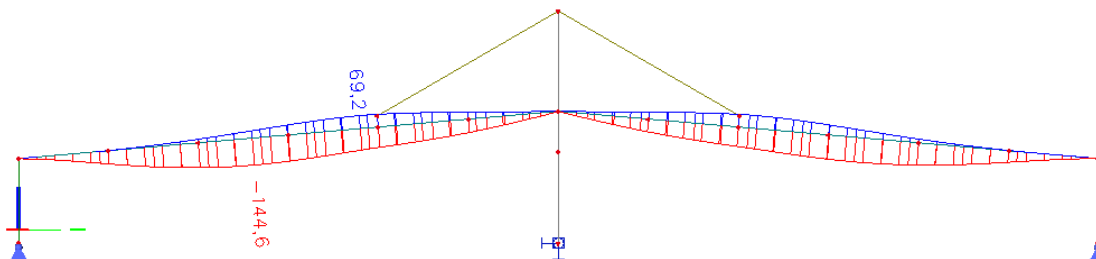
Parametry vzpěru	yy	zz	
typ	neposuvné	neposuvné	
Kritická štíhlost	185.16	185.16	
Redukovaná štíhlost	1.97	1.97	
Vzpěr. křivka	a	a	
Součinitel imperfekce	0.21	0.21	
Součinitel vzpěrnosti	0.23	0.23	
Délka	15.50	15.50	m
Vzpěrná délka	15.50	15.50	m
Kritické zatížení	359.09	359.09	kN

Tabulka hodnot		
Nt.Rd	1395.90	kN
jedn. posudek	0.54	

Průřez vyhoví, využit je na 54%.

5 Mezní stav použitelnosti

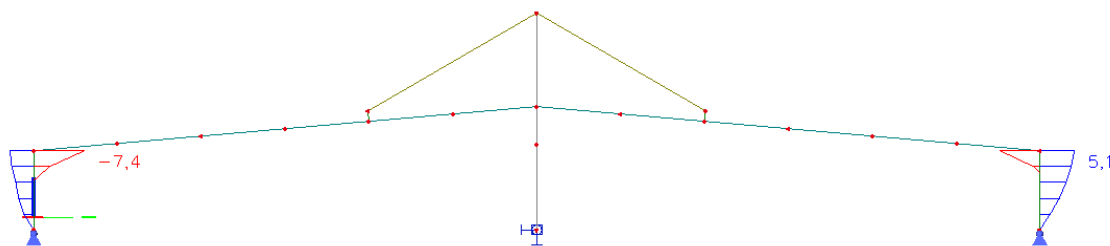
5.1 Svislá deformace vazníku



Svislý průhyb vazníku je 144.6 mm.

Tato hodnota splňuje maximální doporučený průhyb $\delta = \frac{L}{250} = \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm}$.

5.2 Vodorovná deformace krajního sloupu



Svislý průhyb krajních sloupů je 7.4 mm.

Tato hodnota splňuje maximální doporučený průhyb $\delta = \frac{h}{150} = \frac{5000}{150} = 33 \text{ mm}$

6 Návrh a posouzení detailů

6.1 Rámový přípoj

Přípojně síly vazníku (koncové)

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS

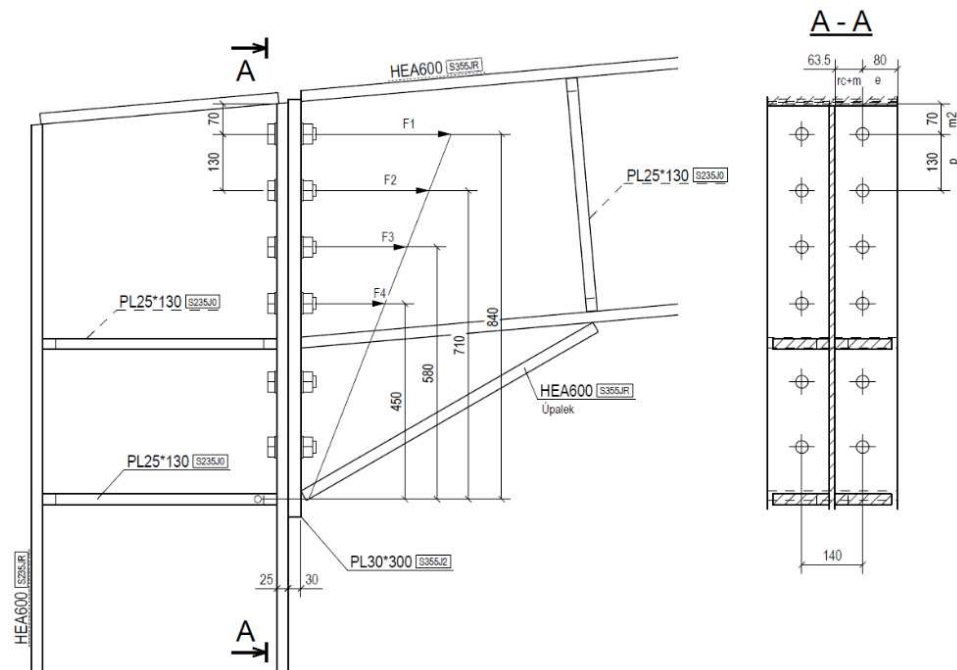
Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Průřez : CS9 - HEA600

Prut	Stav	dx [mm]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Vazník12	CO2/3	0,000	-751,38	0,01	74,32	-0,01	0,00	0,00
Vazník5	CO9/4	0,000	173,71	-0,02	-6,10	0,00	0,00	0,00
Vazník14	CO6/10	0,000	-366,24	-0,95	83,53	-0,17	0,00	0,00
Vazník15	CO1/6	0,000	-73,09	0,97	37,03	0,09	0,00	0,00
Vazník12	CO3/7	40 152,830	-216,83	-0,08	-201,01	-0,09	-983,16	-1,00
Vazník12	CO3/7	0,000	-676,97	-0,17	98,79	-0,09	0,00	0,00
Vazník15	CO7/11	40 152,830	-78,32	-0,61	-199,31	-0,29	-977,09	-0,57
Vazník14	CO3/7	40 152,830	-79,78	0,56	-200,81	0,54	-982,94	0,54
Vazník3	CO9/4	40 152,830	51,20	0,10	18,04	-0,06	83,09	-0,03
Vazník3	CO7/11	40 152,830	-78,86	0,69	-200,43	0,20	-981,53	0,98

Návrh přípoje:



První čtyři řady přenesou ohybový moment M_y , zbývající dvě řady přenesou bezpečně posouvající sílu V_z

Posouzení příruby vyztuženého sloupu:

HEA600 ($t_f = 25$ mm; $r_c = 27$ mm)

Maximální tahová síla v jedné řadě (dvojice šroubů):

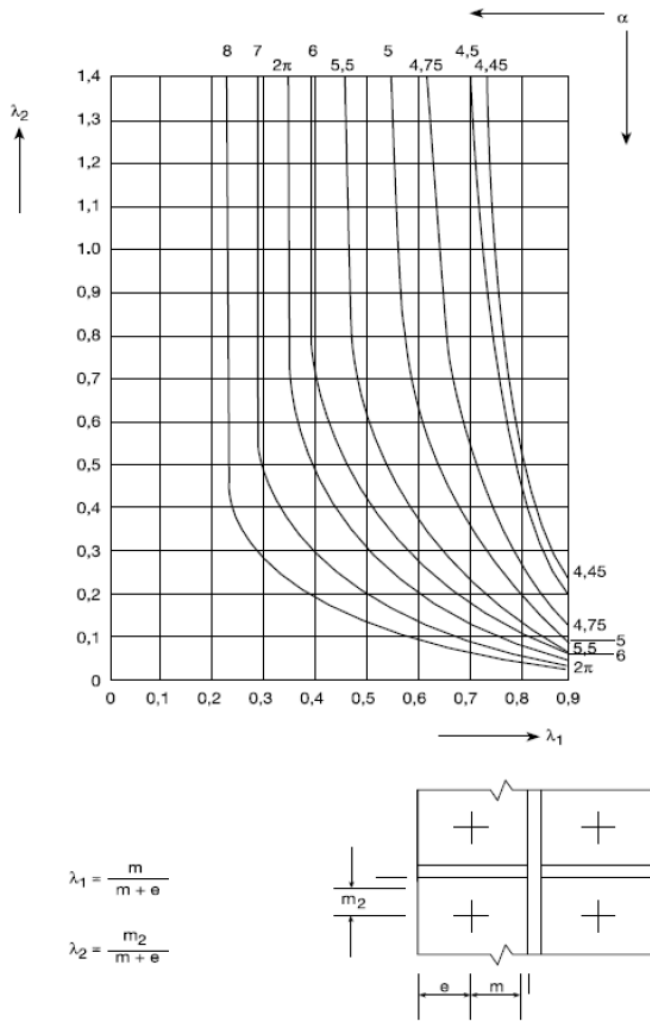
$$983.16 \cdot 10^6 = F_1 \cdot 840 + F_1 \cdot \frac{710^2}{840} + F_1 \cdot \frac{580^2}{840} + F_1 \cdot \frac{450^2}{840}$$

$$F_1 = 472294 \text{ N}$$

Účinná délka vyztužené pásnice sloupu (viz. tab. 6.5, ČSN EN 1993-1-8)

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $\ell_{\text{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $\ell_{\text{eff,nc}}$	Kruhové porušení $\ell_{\text{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $\ell_{\text{eff,nc}}$
Řada šroubů sousedící s výztuhou	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Jiná vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Jiná koncová řada šroubů	menší z: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	menší z: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	menší z: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	menší z: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Koncová řada šroubů sousedící s výztuhou	menší z: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$	netýká se	netýká se
1. způsob	$\ell_{\text{eff,1}} = \ell_{\text{eff,nc}}$ ale $\ell_{\text{eff,1}} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma \ell_{\text{eff,1}} = \Sigma \ell_{\text{eff,nc}}$ ale $\Sigma \ell_{\text{eff,1}} \leq \Sigma \ell_{\text{eff,cp}}$	
2. způsob	$\ell_{\text{eff,2}} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma \ell_{\text{eff,2}} = \Sigma \ell_{\text{eff,nc}}$	
α se má získat z obrázku 6.11				
e_1 je vzdálenost středu spojovacího prostředku k výztuze pásnice sloupu (viz řada 1 a řada 4 na obrázku 6.9)				

Hodnoty α pro vyztužené pásnice sloupu a čelní desky (viz následující graf)



	Řada šroubů uvažována samostatně		Řada šroubů uvažována jako součást skupiny řad šroubů	
	kruhové Leff,cp	jiné Leff,op	kruhové Leff,cp	jiné Leff,op
<i>u výztuhy</i>	263	277	262	208
<i>vnitřní řada</i>	263	268	260	130
<i>koncová řada</i>	263	268	262	199
Způsob porušení	pro MODE 1		pro MODE 2	
	pro MODE 2		pro MODE 1	
radius "r"		27		
63.5 m		42		
e		80		
n		52		
p		130		
m2		70		
λ1		0.344		
λ2		0.574		
α		6.6		

Návrhová únosnost $F_{T,Rd}$ pásnice náhradního T profilu (viz. tabulka)

	Páčící síly mohou vzniknout, např. $L_b \leq L_b^*$		Bez páčících sil
1. způsob	1. metoda	2. metoda (variantní)	
Bez příložek	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
S příložkami	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{dp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{dp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
2. způsob	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{1,Rd}}{m+n}$		
3. způsob	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{1,Rd}$		

Použité šrouby:

12x M27 (10.9 – $f_{yb} = 900$ MPa; $f_{ub} = 1000$ MPa; $A_s = 459$ mm²; $\gamma_{M2} = 1.25$; $k_2 = 0.9$; $e_w = 10.8$ mm)

Kontrola na 3. způsob porušení:

$$F_{T3,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{T3,Rd} = \frac{0.9 \cdot 1000 \cdot 459}{1.25} = 330480 \text{ N (pro 1 šroub)}$$

$$F_{1,\text{šr}} = 472294/2 = 236147 \text{ N (pro 1 šroub)}$$

$$F_{1,\text{šr}} < F_{T3,Rd}$$

VYHOVUJE

Kontrola na 1. způsob porušení:

$$M_{pl1,Rd} = 0.25 \cdot \sum L_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl1,Rd} = 0.25 \cdot 263 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1.0$$

$$M_{pl1,Rd} = 9.657 \cdot 10^6 \text{ N.mm}$$

$$F_{T1,Rd} = \frac{4 \cdot 9.657 \cdot 10^6}{42}$$

$$F_{T1,Rd} = 919714 \text{ N (pro 1 řadu šroubů)}$$

$$F_1 = 472294 \text{ N} < F_{T1,Rd}$$

VYHOVUJE

Kontrola na 2. způsob porušení:

$$M_{pl2,Rd} = 0.25 \cdot 277 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1.0$$

$$M_{pl2,Rd} = 10.171 \cdot 10^6 \text{ N.mm}$$

$$F_{T2,Rd} = \frac{2 \cdot 10.171 \cdot 10^6 + 52 \cdot 2 \cdot 330480}{42 + 52}$$

$$F_{T2,Rd} = 582041 \text{ N (pro 1 řadu šroubů)}$$

$$F_1 = 472294 \text{ N} < F_{T2,Rd}$$

VYHOVUJE

Posouzení příruby nevyztuženého sloupu (síla F_2):

Tahová síla F_2 v jedné řadě (dvojice šroubů):

$$F_2 = F_1 * \frac{710}{840}$$

$$F_2 = 399200 \text{ N}$$

	Řada šroubů uvažována samostatně		Řada šroubů uvažována jako součást skupiny řad šroubů	
	kruhové Leff,cp	jiné Leff,op	kruhové Leff,cp	jiné Leff,op
<i>u výztuhy</i>	263	277	262	208
<i>vnitřní řada</i>	263	268	260	130
<i>koncová řada</i>	263	268	262	199
Způsob porušení	pro MODE 1		pro MODE 2	

$$M_{pl1,Rd} = 0.25 * 263 * 25^2 * 235 / 1.0$$

$$M_{pl1,Rd} = 9.657 * 10^6 \text{ N.mm}$$

$$F_{T1,Rd} = \frac{4 * 9.657 * 10^6}{42}$$

$$F_{T1,Rd} = 919714 \text{ N (pro 1 řadu šroubů)}$$

$$F_2 = 399200 \text{ N} < F_{T1,Rd}$$

VYHOVUJE

Kontrola na 2. způsob porušení:

$$M_{pl2,Rd} = 0.25 * 268 * 25^2 * 235 / 1.0$$

$$M_{pl2,Rd} = 9.840 * 10^6 \text{ N.mm}$$

$$F_{T2,Rd} = \frac{2 * 9.840 * 10^6 + 52 * 2 * 330480}{42 + 52}$$

$$F_{T2,Rd} = 574999 \text{ N (pro 1 řadu šroubů)}$$

$$F_2 = 399200 \text{ N} < F_{T2,Rd}$$

VYHOVUJE

Posouzení čelní desky příčle (vazníku) z HEA600:

Čelní deska $t_p = 30 \text{ mm}$; materiál S355 $\Rightarrow f_{y,p} = 355 \text{ MPa}$

Z předchozího posudku bezpečně VYHOVÍ, protože

$$t_p > t_f$$

$$f_{y,p} > f_{y,s}$$

6.2 Přípoj závěsu na pylon

$$F_{Ed} = F_{v,Ed} = F_{b,Ed} = 752740 \text{ N}$$

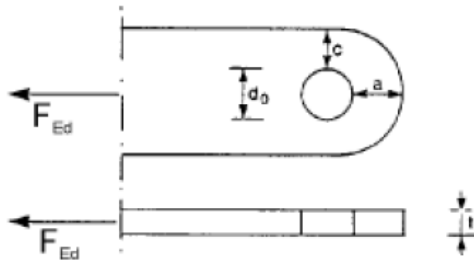
Návrh přípoje:

Přípoj s dvojstřížným čepem: 2x PL 15 mm + 1x PL 30 mm $\Rightarrow t = 30 \text{ mm}$; S235

Pro tloušťku prvku $t < 40 \text{ mm}$ $\Rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$; $f_y = 235 \text{ MPa}$

Čep: $d = \text{Ø}80 \text{ mm}$; $d_0 = 82 \text{ mm}$; materiál S355; $A = 5026 \text{ mm}^2$; $W_{el} = 49212 \text{ mm}^3$

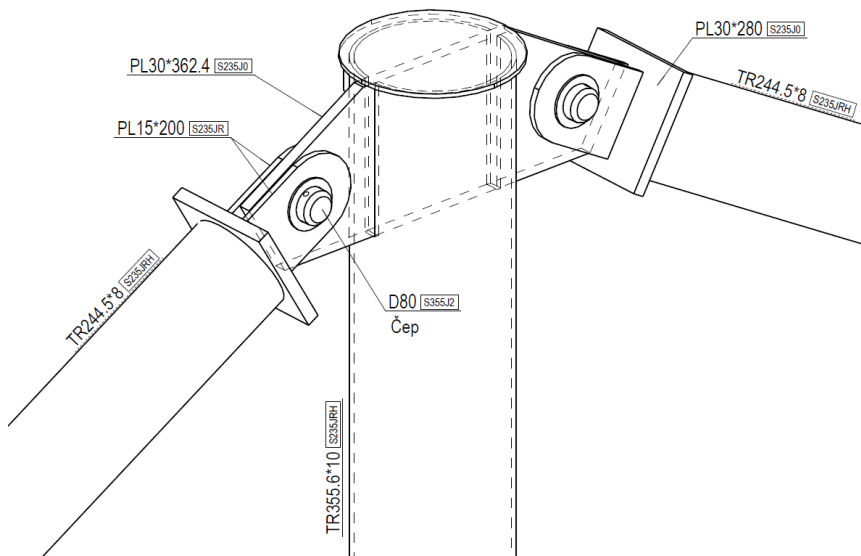
Pro tloušťku prvku $40 \text{ mm} < d < 80 \text{ mm}$ $\Rightarrow f_{up} = 470 \text{ MPa}$; $f_{yp} = 335 \text{ MPa}$



$$a > \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} = \frac{752740}{2 * 30 * 235} + \frac{2 * 82}{3} = 108 \text{ mm}$$

$$c > \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{752740}{2 * 30 * 235} + \frac{82}{3} = 80 \text{ mm}$$

Návrh $a = 120 \text{ mm}$, $c = 100 \text{ mm}$



Únosnost čepu ve stříhu:

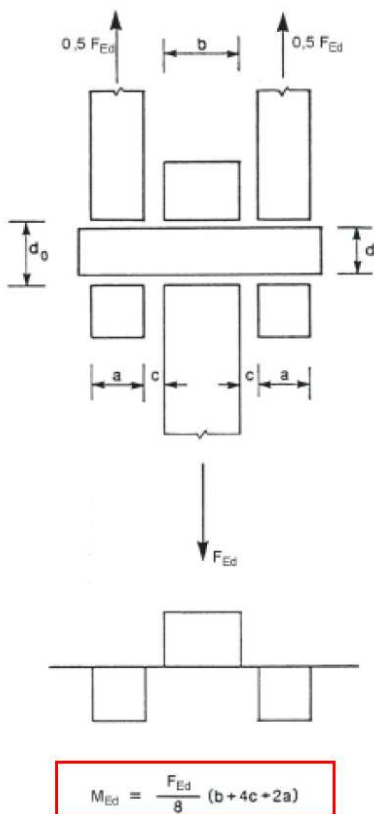
$$F_{v,Rd} = 0.6 * A * \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} = 0.6 * 5026 * \frac{470}{1.25} = 1133989 \text{ N} > F_{v,Ed}$$

VYHOVUJE

Únosnost plechu a čepu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = 1.5 * t * d * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1.5 * 30 * 80 * \frac{235}{1.0} = 8486000 \text{ N} > F_{b,Ed}$$

VYHOVUJE



Únosnost čepu v ohybu:

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} * (b + 4c + 2a)$$

$$M_{Ed} = \frac{752740}{8} * (30 + 4 * 2 + 2 * 15) = 6398290 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

$$M_{Rd} = 1.5 * W_{el} * \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{Rd} = 1.5 * 49212 * \frac{335}{1.0} = 26205390 \text{ N} \cdot \text{mm}^2 > M_{Ed}$$

VYHOVUJE

Únosnost čepu při kombinaci stříhu a ohybu:

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[\frac{6398290}{26205390} \right]^2 + \left[\frac{752740}{1133989} \right]^2 = 0.50 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení koutového svaru:

Tloušťka styčnickového plechu $t_p = 30 \text{ mm}$; materiál S235 $\Rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$; délka (plechu) svaru $L = 362 \text{ mm}$;
 excentricita $e = 196 \text{ mm}$; $\gamma_{Mw} = 1.25$
 pro S235 je $\beta_w = 0.8$

Návrh oboustranný koutový svar $a_w = 15 \text{ mm}$

$$\sigma_c = \sigma_N + \sigma_M = \frac{N}{t_p * L} + \frac{V_z * e}{\frac{1}{6} * t_p * L^2} = \frac{651892}{30 * 362} + \frac{376370 * 196}{\frac{1}{6} * 30 * 362^2} = 172.61 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{t_p * \sigma_c}{2 * a_w * \sqrt{2}} = \frac{30 * 172.61}{2 * 15 * \sqrt{2}} = 122.05 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{2 * a_w * L} = \frac{376370}{2 * 15 * 362} = 34.65 \text{ MPa}$$

Posouzení pro rovinnou napjatost:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{Mw}}$$

$$\sqrt{122.05^2 + 3 * (122.05^2 + 34.65^2)} = 251.37 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0.8 * 1.25} = 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.3 Kloubový přípoj Příčle (HEA600 - S355) ke Sloupu (TR355.6*10)

Koncové síly vazníku:

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : LSS

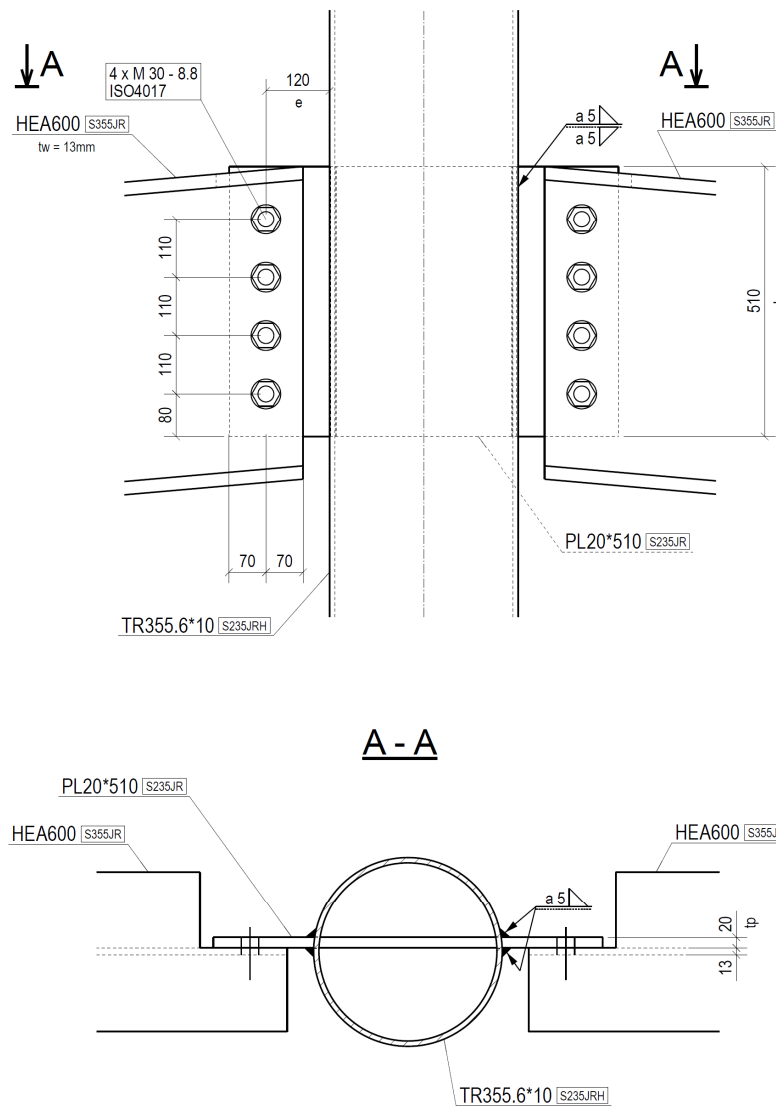
Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Průřez : CS9 - HEA600

Prut	Stav	dx [mm]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
Vazník12	CO2/1	0,000	-751,38	74,32	0,00
Vazník5	CO9/2	0,000	173,71	-6,10	0,00
Vazník12	CO3/5	40152,830	-216,83	-201,01	-983,16
Vazník12	CO3/5	0,000	-676,97	98,79	0,00
Vazník3	CO9/2	40152,830	51,20	18,04	83,09

Návrh přípoje:



Jednostřížný jednořadý přípoj přes styčnickový plech PL 20mm (S235); použity šrouby 4x M30 (8.8)

Stanovení maximální síly pro stříh v jednom šroubu:

Pro kombinaci CO2/1:

$$F_{v,max} = \sqrt{\left(\frac{N}{4}\right)^2 + \left(\frac{V_z}{4}\right)^2}$$

$$F_{v,max} = \sqrt{\left(\frac{751380}{4}\right)^2 + \left(\frac{74320}{4}\right)^2}$$

$$F_{v,max} = 188761 \text{ N}$$

Pro kombinaci CO3/5:

$$F_{v,max} = \sqrt{\left(\frac{676970}{4}\right)^2 + \left(\frac{98790}{4}\right)^2}$$

$$F_{v,max} = 171035 \text{ N}$$

Rozhodující síla pro posudek:

$$F_{v,max} = 188761 \text{ N}$$

Posouzení únosnosti šroubu ve stříhu:

Použity šrouby 4x M30 (8.8) se závitem k hlavě \Rightarrow rovina stříhu prochází částí šroubu se závitem, kde pro šrouby třídy 8.8 je $a_v = 0.6$; $f_{ub} = 800 \text{ Mpa}$; $A_s = 561 \text{ mm}^2$

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 * 800 * 561}{1.25} = 215424 \text{ N} > 188761 \text{ N}$$

VYHOVUJE

Posouzení únosnosti stojiny příčle (S355) v otláčení:

$$f_u = 510 \text{ Mpa}; t_w = 13 \text{ mm}$$

$$F_{b,max} = F_{b,max} = 188761 \text{ N}$$

$$a_b = \frac{e_1}{3 * d_0} = \frac{70}{3 * 33} = 0.707$$

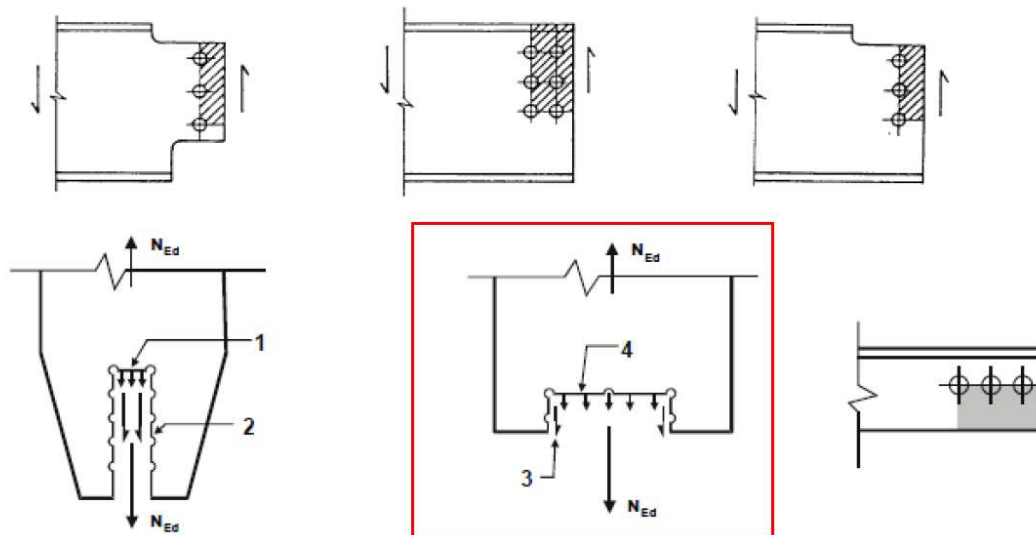
$$k_1 = \text{MIN} \left(\frac{2.8 * \frac{e_2}{d_0} - 1.7}{2.5} \right) = \text{MIN} \left(\frac{2.8 * \frac{60}{33} - 1.7}{2.5} \right) = \text{MIN} \left(\frac{3.39}{2.5} \right) = 2.5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * d * t_w}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 * 0.707 * 510 * 30 * 13}{1.25} = 281244 \text{ N} > 188761 \text{ N}$$

VYHOVUJE

Posouzení únosnosti stojiny přičle na vytržení skupiny šroubů:



- 1 malá tahová síla
- 2 velká smyková síla
- 3 malá smyková síla
- 4 velká tahová síla

Obrázek 3.9 – Vytržení skupiny šroubů

Rozhodující pro posudek bude tahová síla z kombinace CO9/2:

$$N = F_{TC} = 173710 \text{ N}$$

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y * A_{nv}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$$

$$V_{eff,Rd} = \frac{510 * 13 * (3 * 110 - 3 * 33)}{1.25} + \frac{355 * 2 * 13 * (70 - 0.5 * 33)}{\sqrt{3} * 1.0}$$

$$V_{eff,Rd} = 1510 * 10^3 \text{ N} > 173710 \text{ N}$$

VYHOVUJE

Posouzení koutového svaru:

Tloušťka styčnickového plechu $t_p = 20 \text{ mm}$; materiál S235 $\Rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$; délka (plechu) svaru $L = 510 \text{ mm}$;
 excentricita $e = 120 \text{ mm}$; $\gamma_{Mw} = 1.25$
 pro S235 je $\beta_w = 0.8$

Návrh oboustranný koutový svar $a_w = 5 \text{ mm}$

Rozhodující síly pro posudek se stanoví z kombinace CO2/1:

$$\sigma_c = \sigma_N + \sigma_M = \frac{N}{t_p * L} + \frac{V_z * e}{\frac{1}{6} * t_p * L^2} = \frac{751380}{20 * 510} + \frac{74320 * 120}{\frac{1}{6} * 20 * 510^2} = 83.95 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{t_p * \sigma_c}{2 * a_w * \sqrt{2}} = \frac{20 * 83.95}{2 * 5 * \sqrt{2}} = 118.72 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{2 * a_w * L} = \frac{74320}{2 * 5 * 510} = 14.57 \text{ MPa}$$

Posouzení pro rovinnou napjatost:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{Mw}}$$

$$\sqrt{118.72^2 + 3 * (118.72^2 + 14.57^2)} = 238.78 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0.8 * 1.25} = 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE