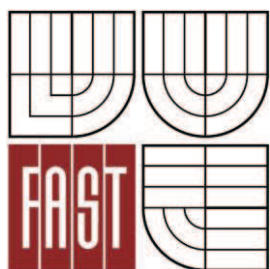




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

MUZEJNÍ EXPOZICE VE FRÝDLANTU NAD OSTRAVICÍ MUSEUM PAVILION IN FRÝDLANT NAD OSTRAVICÍ

STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KATEŘINA HÝBLOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN PILGR, Ph.D.

BRNO 2015

Obsah

1. Geometrie konstrukce	4
1.1 Popis geometrie konstrukce	4
1.2 Schéma geometrie	5
1.2.1 Půdorys	5
1.2.2 Pohledy a řezy	5
2. Model konstrukce	7
3. Zatížení v charakteristických hodnotách	9
3.1 Stálé zatížení	9
3.1.1 Vlastní tíha	9
3.1.2 Ostatní stálé zatížení	9
3.2 Proměnné zatížení	10
3.2.1 Zatížení sněhem	10
3.2.2 Zatížení větrem	11
3.2.3 Zatížení od TZB	15
3.2.4 Zatížení konstrukce teplotami	15
3.2.5 Zatížení užité na střeše	15
4. Zatěžovací stavy	16
4.1 Zatěžovací stav ZS1 – vlastní tíha	16
4.1.1 Tíha střešních panelů	16
4.1.2 Tíha stěnových panelů	16
4.2 Zatěžovací stav ZS2 – sníh plný	17
4.3 Zatěžovací stav ZS3 – sníh navátý P	17
4.4 Zatěžovací stav ZS4 – sníh navátý L	19
4.5 Zatěžovací stav ZS5 – sníh navátý k okraji L	20
4.6 Zatěžovací stav ZS6 – sníh navátý k okraji P	21
4.7 Zatěžovací stav ZS7 – vítr ve směru osy +X	23
4.8 Zatěžovací stav ZS8 – vítr ve směru osy +Y	25
4.9 Zatěžovací stav ZS9 – vítr ve směru osy –Y	28
4.10 Zatěžovací stav ZS10 – TZB	30
4.11 Zatěžovací stav ZS11 – zatížení užité na střeše	30
5. Výpočet vnitřních sil	31
5.1 Vaznice P89 – ZS2	31
5.2 Posouzení vnitřních sil ve sloupu	33
5.3 Výpočet vnitřních sil - od užitého zatížení	34
6. Kombinace zatěžovacích stavů	36

6.1	P113 – MSÚ	36
6.2	P113 – MSP	37
6.3	P89 – MSÚ	37
6.4	P89 – MSP	38
6.5	P2 + P13 MSÚ	38
6.6	P2 + P13 MSP	39
7.	Návrh a posouzení	40
7.1	Posouzení na 1. MS	40
7.1.1	Vaznice P113	40
7.1.2	Vaznice P89	46
7.1.3	Sloup 2. řada, P2 + P13	47
7.1.4	Vazník	53
7.2	Posouzení na 2. MS	54
7.2.1	Vaznice P113	54
7.2.2	Vaznice P89	55
7.2.3	Posouzení mezní štíhlosti	56
8.	Spoje	57
8.1	Spoj 1 – kotvení	57
8.2	Spoj 2 – uložení vazníku na sloup	65
8.3	Spoj 3 – napojení paždíku	70
8.4	Napojení ztužidel pro spoje 1,2,3	73

1. Geometrie konstrukce

1.1 Popis geometrie konstrukce

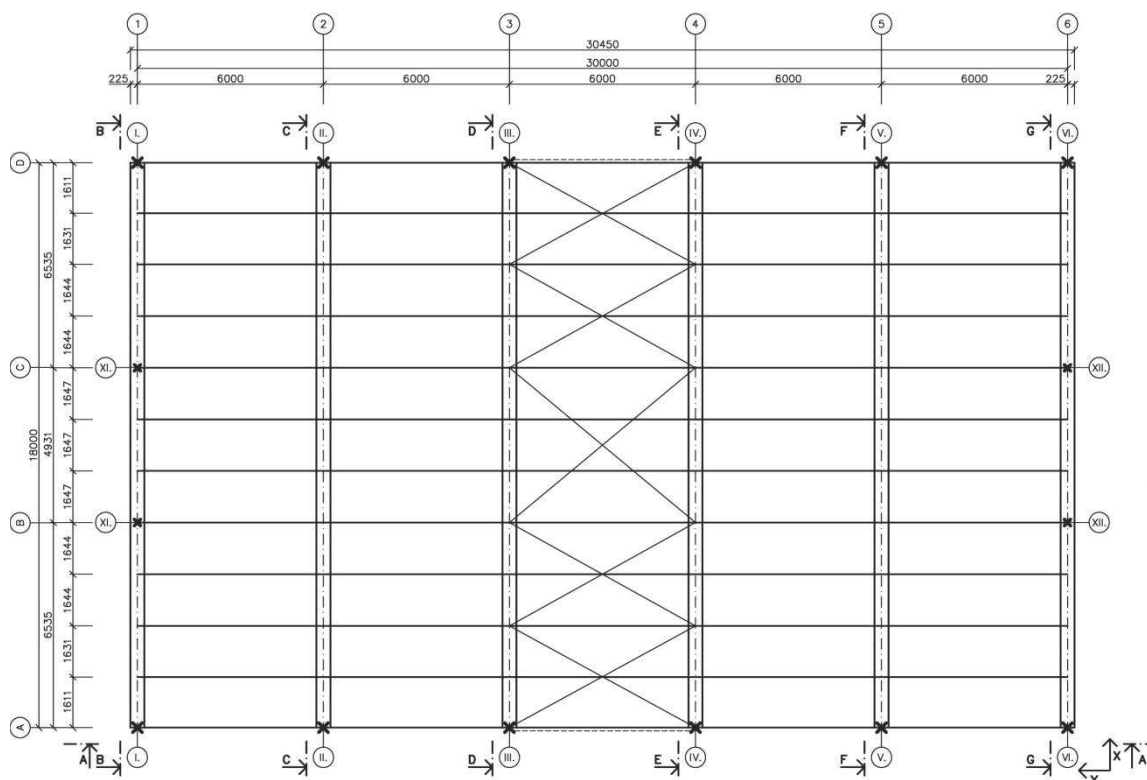
Navrhovaný objekt muzea je navržen jako jednolodní hala obdélníkového půdorysu. Půdorysné rozměry jsou 18 x 30 m. Nosný systém se skládá ze šesti příčných vazeb po 6 m. Prostorová tuhost v příčném směru je zajištěna touto příčnou vazbou tvořenou z plnostěnných vetknutých sloupů a plnostěnného zakřiveného vazníku. V podélném směru zajišťuje prostorovou tuhost příčné střešní a stěnové ztužidlo.

Výška vetknutých sloupů je proměnná v rozmezí 5,0 m až 8,6 m. Na sloupech je kloubově uložen plnostěnný zakřivený vazník o rozpětí 18 m a vzepětí 1 m, který vytváří zastřešení s válcovou střešní plochou.

Obvodový plášť je tvořen střešními a stěnovými sendvičovými panely. Jako střešní panel byl zvolen panel Kingspan KS 1000 TOP-DEK, tl. 100 mm. Střešní plášť je nesen vaznicemi a je považován tuhý tuhý, vodorovné složky od zatížení jsou tedy přenášeny do okapové vaznice. Stěnový obvodový plášť je z panelů Kingspan KS 1150 TF 150, tl. 150 mm. Stěnové panely nesou hlavní nosné sloupy konstrukce. Hlavní čelní stěna, je pak tvořena prosklenou fasádou, která je ke konstrukci pouze přichycena a tíha fasády je přenášena do samostatného základu. Výpočet skleněné fasády a jejího základu není předmětem této práce.

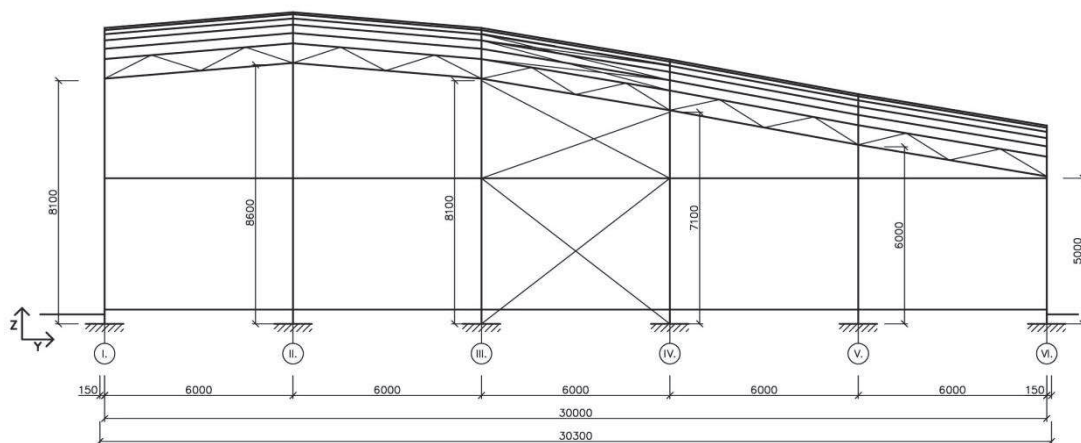
1.2 Schéma geometrie

1.2.1 Půdorys

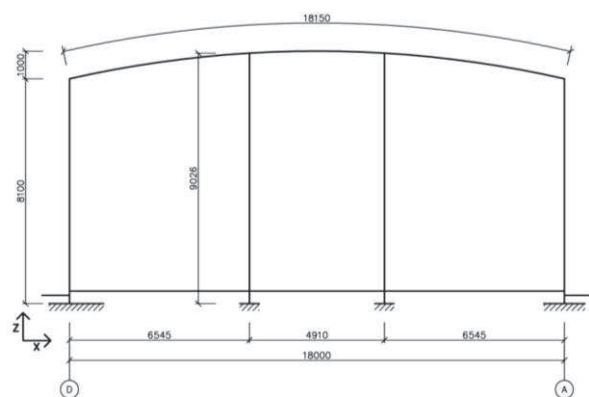


obr. 1 – Půdorys konstrukce

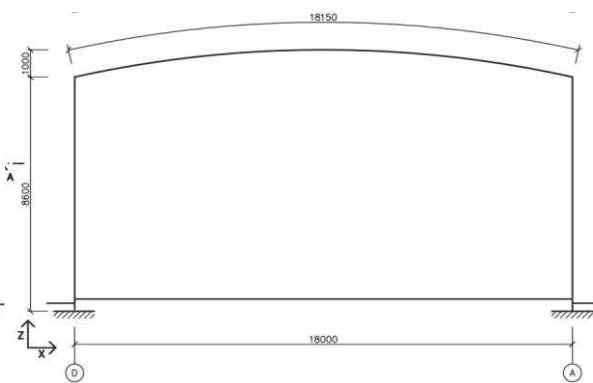
1.2.2 Pohledy a řezy



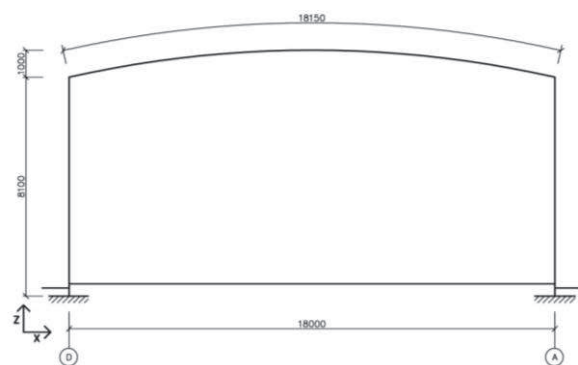
obr. 2 – Pohled A-A



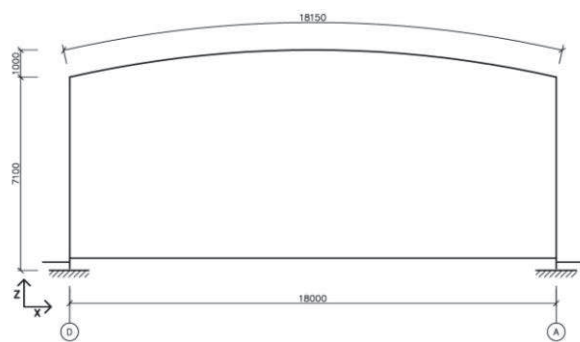
obr. 3 – Pohled B-B



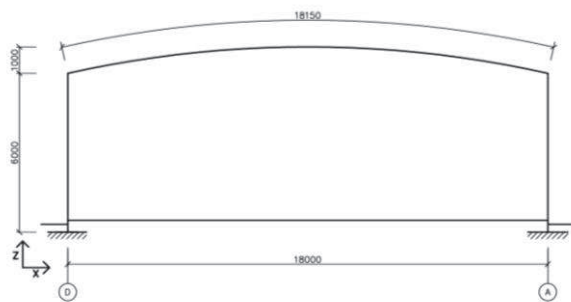
obr.4 – Řez C-C



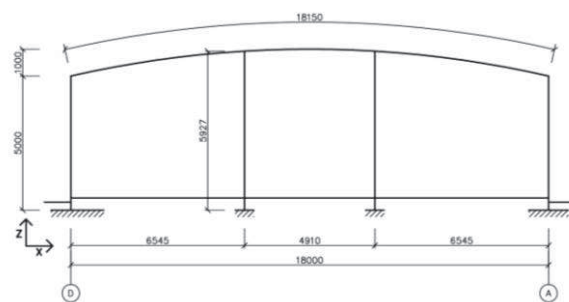
obr. 5 – Řez D-D



obr. 6 – Řez E-E



obr. 7 – Řez F-F



obr. 8 – Pohled G-G

2. Model konstrukce

Statický model, byl řešen jako prostorová prutová soustava viz obr 4. Model byl vytvořen ve studentské verzi programu Dlubal RFEM 5.03. Pomocí tohoto softwaru byl proveden návrh dimenzí jednotlivých prvků a posouzení na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

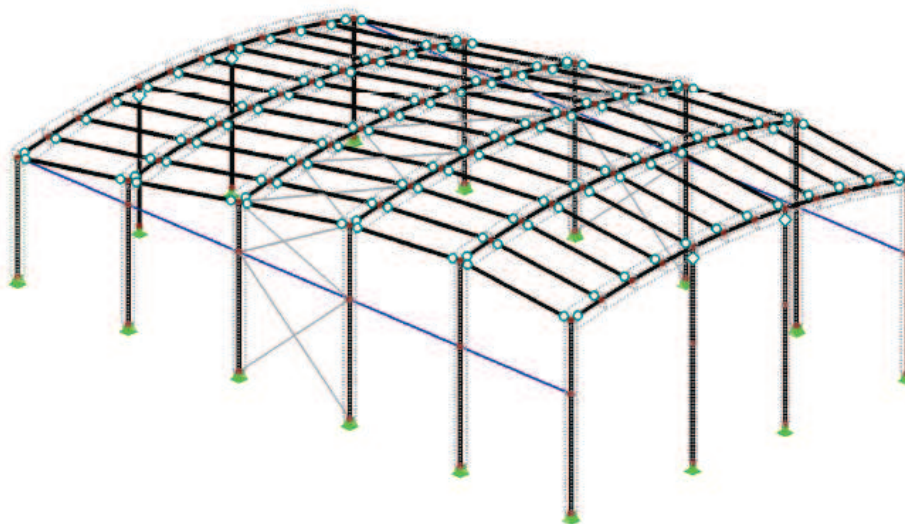
Sloupky příčné vazby jsou v příčném směru vetknuty a v podélném směru kloubově uloženy. Sloupky v čelních stěnách jsou při patě sloupku kloubově uloženy a k vazníku jsou připojeny kloubově a kluzně, tak že nedochází k přenosu normálových sil z vazníku do sloupků.

Vazníky jsou na sloupky uloženy pomocí kloubů.

Vaznice byly vyneseny jako kloubově uložené prosté nosníky

Paždíky jsou připojeny kloubově a jsou namáhány pouze normálovými silami a nepřenášejí zatížení ze střešního pláště. V konstrukci se využívají na zkrácení vzpěrných délek sloupů.

Pruty příčného stěnového a střešního ztužidla, byly v softwaru navrženy jako s taženými diagonálami, tlačené jsou považovány za vybočené.



obr. 9 – Statický model konstrukce vytvořený v programu Dlubal RFEM 5.03

Do programu Dlubal RFEM 5.03 bylo nutno nadefinovat vzpěrné délky. Ty se zadávají pomocí součinitelů k_{cr} , které nahrazují součinitel vzpěrnosti β ve vztahu $L_{cr} = \beta \cdot L$

Všechny vaznice a paždíky, sloupky v čelních stěnách mají součinitele vzpěrnosti rovno 1,00.

Součinitel vzpěrné pevnosti je pro každý sloup jiný

I. $k_{cr,y} = 2,0$ $k_{cr,z} = 0,617$

II. $k_{cr,y} = 2,0$ $k_{cr,z} = 0,581$

III. $k_{cr,y} = 2,0$ $k_{cr,z} = 0,617$

IV. $k_{cr,y} = 2,0$ $k_{cr,z} = 0,704$

V. $k_{cr,y} = 2,0$ $k_{cr,z} = 0,833$

VI. $k_{cr,y} = 2,0$ $k_{cr,z} = 1,000$

Součinitele vzpěrné pevnosti pro vazníky jsou $k_{cr,y} = 1,000$, $k_{cr,z} = 0,273$

3. Zatížení v charakteristických hodnotách

3.1 Stálé zatížení

3.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha je automaticky spočítána programem RFEM, dle dimenzí jednotlivých prvků konstrukce.

3.1.2 Ostatní stálé zatížení

Střešní plášť

Střešní plášť je tvořený z panelů Kingspan KB 1000 TOP-DEK.

Tloušťka jádra 100 mm, celková tloušťka 130 mm

hmotnost střešního panelu $m = 11,86 \text{ kg/m}^2$

$$g = 0,1186 \text{ kN/m}^2$$

Stěnový plášť

Stěnový plášť je tvořený z panelů Kingspan KB 1150 TF 150

Tloušťka panelu 150 mm, hmotnost stěnového panelu $m = 13,44 \text{ kg/m}^2$

$$g = 0,1344 \text{ kN/m}^2$$

Stěnový plášť čelní stěny je tvořen skleněnou fasádou.

Skleněná fasáda je samonosná se samostatným základem.

Tato skleněná fasáda není v projektu řešena.

3.2 Proměnné zatížení

3.2.1 Zatížení sněhem

Typ krajiny: b - normální; $c_e = 1,0$ Klimatická sněhová oblast IV, $s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

$$S = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k$$

 μ_i - tvarový součinitel zatížení sněhem

$$\text{pro } \beta \leq 60^\circ \quad \mu_3 = 0,2 + 10 \frac{h}{b}$$

$$\beta < 60^\circ \quad \mu_3 = 0,2 + 10 \frac{1}{18} = 0,755$$

 c_e - součinitel expozice $c_e = 1$; normální c_t - tepelný součinitel

$$c_t = 1,0$$

 μ_3' - navařtý sníh na okraji střechy

$$h/b \leq 1/8 \quad \text{pak } \mu_3' = 1,45$$

$$h/b = 1/18 \Rightarrow \mu_3' = 0,725$$

Sníh plný - případ (i)

$$S(i) = 0,8 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = \underline{1,6 \text{ kN/m}^2}$$

Sníh navařtý - případ (ii)

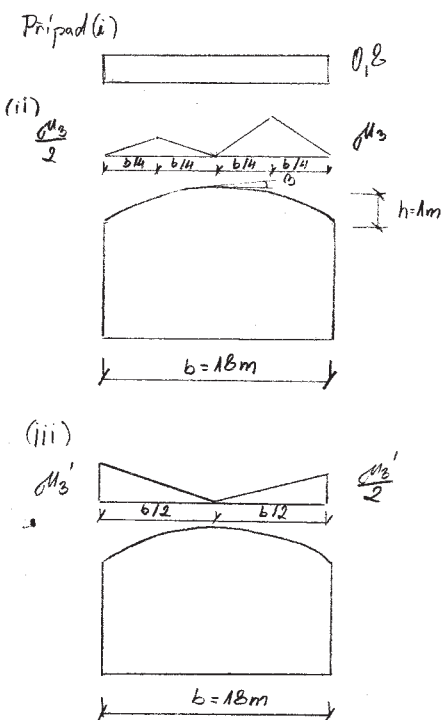
$$S(ii)^L = 0,5 \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,755 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = \underline{0,755 \text{ kN/m}^2}$$

$$S(ii)^P = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,755 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = \underline{1,51 \text{ kN/m}^2}$$

Sníh navařtý na okraj střechy - případ (iii)

$$S(iii)^L = \mu_3' \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,725 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = \underline{1,45 \text{ kN/m}^2}$$

$$S(iii)^P = 0,5 \mu_3' \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,725 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = \underline{0,725 \text{ kN/m}^2}$$



3.2.2 Zatížení větrem

Klimatická větrová oblast: II; $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Kategorie terénu: III

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

 C_{dir} - součinitel směru větru; $C_{dir} = 1,0$ C_{season} - součinitel ročního období; $C_{season} = 1,0$

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Rychlost větru

$$v_m(z) = C_n(z_c) \cdot C_o(z_e) \cdot v_b = 0,682 \cdot 1 \cdot 25 = 17,05 \text{ m/s}$$

$$z = (8,1 + 8,6 + 8,1 + 4,1 + 6 + 5) / 6 = 7,15 \text{ m}$$

$$z_{min} = 5 \text{ m}; \quad z_{max} = 200 \text{ m}$$

$$\text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$5 < 7,15 < 200 \text{ m}$$

$$C_n(z_c) = k_n \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{7,15}{0,3}\right) = 0,682$$

$$k_n = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0II}}\right)^{0,04} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,04} = 0,215$$

 z_0 - parametr drsnosti terénu; $z_0 = 0,3$ $z_{0II} = 0,05$ (terén kategorie II.) $C_o(z_e)$ - součinitel orografie; $C_o(z_e) = 1,0$ Maximální dynamický tlak

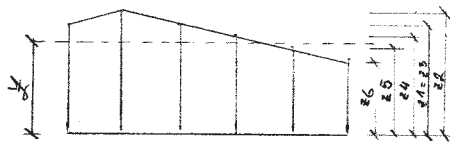
$$q_p(z_e) = [1 + 4 \cdot I_{v(z)}] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{m(z)}^2$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$5 < 7,15 < 200 \text{ m}$$

$$I_{v(z)} = \frac{k_1}{C_o(z_e) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{7,15}{0,3}\right)} = 0,315$$

 k_1 - součinitel turbulence; $k_1 = 1,0$ 

$$q_{p(z)} = [1 + 4 \cdot I_0(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot S \cdot v_m(z)^2 =$$

$$= [1 + 4 \cdot 0,315] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 14,05^2 = 582,313 \text{ N/m}^2 = 0,582 \text{ kN/m}^2$$

Větr kolmý k podélné ose válcové střechy

$$H = 18,150 : 4 = 4,5375 \text{ m}$$

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{18} = 0,055$$

$$0 < h/d < 0,5$$

$$\frac{h}{d} = \frac{6,15}{18} = 0,342$$

Oblast A

$\frac{h}{d}$	0	0,5	$h/d = 0,342$
---------------	---	-----	---------------

$c_{pe,10}$	0,09	-0,95	-0,621
-------------	------	-------	--------

$$B = c_{pe,10} = -0,43$$

$$C = c_{pe,10} = -0,56$$

Tlak větru

$$w_e = q_{p(z)} \cdot c_{pe}$$

$$A = w_e = 0,582 \cdot -0,621 = -0,361 \text{ kN/m}^2$$

$$B = w_e = 0,582 \cdot -0,43 = -0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$C = w_e = 0,582 \cdot -0,56 = -0,326 \text{ kN/m}^2$$

Větr rovnoběžný s osou válcové střechy

- střechu pro tento směr větru uvažujeme jako sedlovou

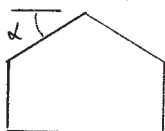
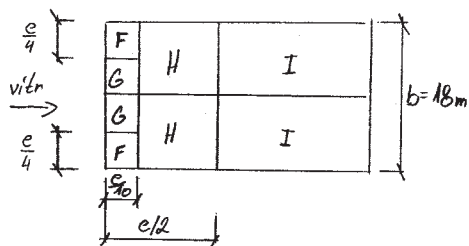
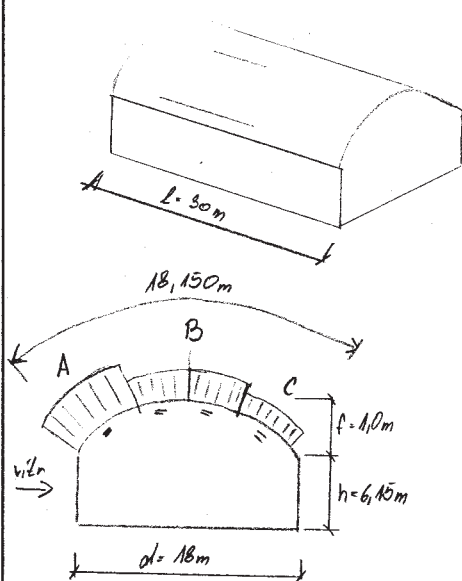
$$e = \min \{b, 2h\} = \min \{18; 2 \cdot 4,15\} = \min \{18; 8,3\}$$

$$e = 8,3 \text{ m}$$

$$e/4 = 8,3/4 = 2,075 \text{ m}$$

$$e/10 = 8,3/10 = 0,83 \text{ m}$$

$$e/2 = 8,3/2 = 4,15 \text{ m}$$



$$L = 11^\circ$$

střepně	5°	15°	11°
F	-1,6	-1,3	-1,42
G	-1,3	-1,3	-1,3
H	-0,7	-0,6	-0,64
I	-0,5	-0,5	-0,5

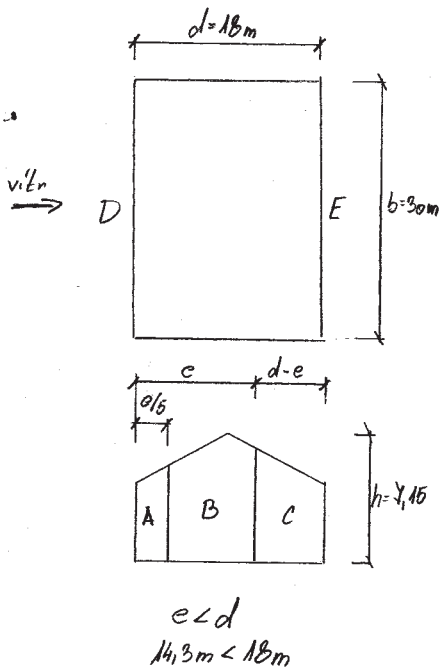
$$w_e = q_p(\text{ze}) \cdot C_{pe}$$

$$F = w_e = 0,582 \cdot -1,42 = -0,826 \text{ kN/m}^2$$

$$G = w_e = 0,582 \cdot -1,3 = -0,754 \text{ kN/m}^2$$

$$H = w_e = 0,582 \cdot -0,64 = -0,372 \text{ kN/m}^2$$

$$I = w_e = 0,582 \cdot -0,5 = -0,291 \text{ kN/m}^2$$



Tlak na stěny kolmo k podélné ose

$$e = \min \{ b; 2h \} = \min \{ 30; 2 \cdot 4,15 \} = \min \{ 30; 8,3 \} \text{m}$$

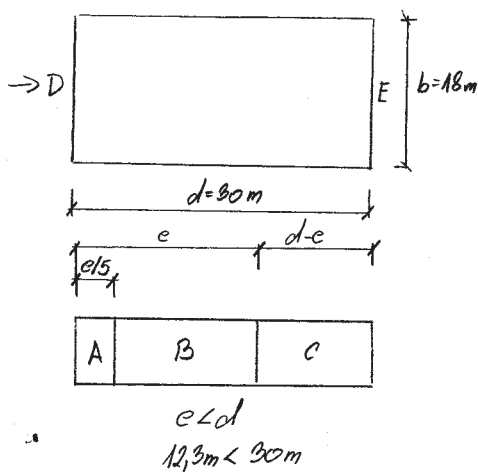
$$e = 8,3\text{m}$$

$$e/5 = 8,3 : 5 = 1,66\text{m}$$

$$d-e = 18 - 8,3 = 9,7\text{m}$$

$$h/d = \frac{4,15}{18} = 0,231$$

h/d	$\leq 0,25$	1	0,231
A	-1,2	-1,2	-1,2
B	-0,8	-0,8	-0,8
C	-0,5	-0,5	-0,5
D	+0,7	+0,8	+0,7196
E	-0,3	-0,5	-0,3392



$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$A = w_e = 0,582 \cdot -1,2 = -0,6984 \text{ kN/m}^2$$

$$B = w_e = 0,582 \cdot -0,8 = -0,4656 \text{ kN/m}^2$$

$$C = w_e = 0,582 \cdot -0,5 = -0,291 \text{ kN/m}^2$$

$$D = w_e = 0,582 \cdot 0,4196 = +0,4188 \text{ kN/m}^2$$

$$E = w_e = 0,582 \cdot -0,3392 = -0,194 \text{ kN/m}^2$$

Tlak na stěny rovnoběžně s podélnou osou

$$e = \min(b; 2h) = \min\{18; 2 \cdot 6,15\} = \min\{18; 12,3\}$$

$$e = 12,3\text{ m}$$

$$e/5 = 12,3/5 = 2,46\text{ m}$$

$$d-e = 30 - 12,3 = 17,7\text{ m}$$

$$h/d = 6,15/30 = 0,205$$

$$p_{10} \leq 0,25$$

$$A = c_{pe,10} = -1,2$$

$$B = c_{pe,10} = -0,8$$

$$C = c_{pe,10} = -0,5$$

$$D = c_{pe,10} = +0,4$$

$$E = c_{pe,10} = -0,3$$

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$A = w_e = 0,582 \cdot -1,2 = -0,6984 \text{ kN/m}^2$$

$$B = w_e = 0,582 \cdot -0,8 = -0,4656 \text{ kN/m}^2$$

$$C = w_e = 0,582 \cdot -0,5 = -0,291 \text{ kN/m}^2$$

$$D = w_e = 0,582 \cdot 0,4 = +0,4044 \text{ kN/m}^2$$

$$E = w_e = 0,582 \cdot -0,3 = -0,1746 \text{ kN/m}^2$$

3.2.3 Zatížení od TZB

$$g = 40 \text{ kg/m}^2 = 0,04 \text{ kN/m}^2$$

Užitná zatížení - kategorie C - ochranná a udržovací plochy

3.2.4 Zatížení konstrukce teplotami

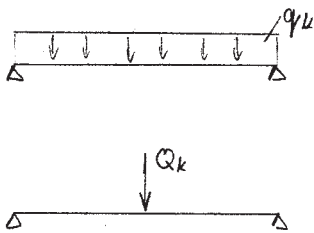
Zatížení klimatickými teplotami nemusí být uvažováno, je-li konstrukce v přímém směru menší jak 230 m.

$$L = 30 \text{ m} < 230 \text{ m}$$

3.2.5 Zatížení užitné na střeše

$$q_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 1,0 \text{ kN}$$



4. Zatěžovací stavy

4.1 Zatěžovací stav ZB1 - vlastní tíha

Vlastní tíha je automaticky spočítána programem RFEM, dle dimenzí jednotlivých prvků konstrukce.

4.1.1 Tíha střešních panelů

$$m = 11,86 \text{ kg/m}^2$$

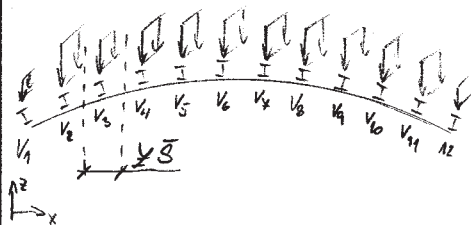
$$g = 0,1186 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Zatěžovací šířka: } Z\bar{B} = 1,636 \text{ m}$$

$$V_j = g \cdot Z\bar{B}$$

$$V_1 = V_{12} = 0,1186 \cdot \frac{1,650}{2} = \underline{0,098 \text{ kN/m}}$$

$$V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = V_6 = V_7 = V_8 = V_9 = V_{10} = V_{11} = \\ = 0,1186 \cdot 1,650 = \underline{0,196 \text{ kN/m}}$$



4.1.2 Tíha stěnového panelu

$$m = 13,44 \text{ kg/m}^2$$

$$g = 0,1344 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{ij} = g \cdot Z\bar{B}$$

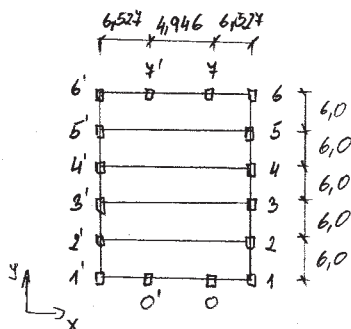
$$S_1 = S_{1'} = 0,1344 \cdot \frac{6}{2} = \underline{0,4022 \text{ kN/m}}$$

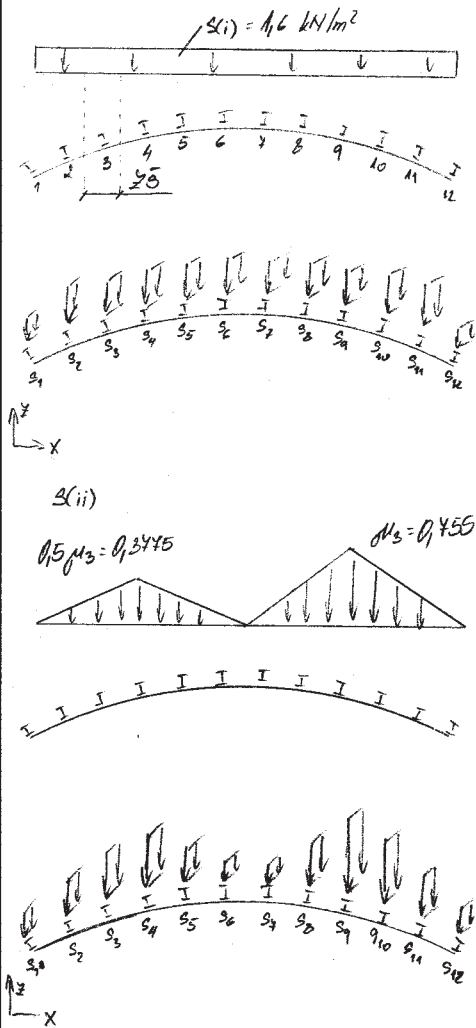
$$S_2 = S_3 = S_{14} = S_{15} = 0,1344 \cdot 6 = \underline{0,8064 \text{ kN/m}}$$

$$S_{12'} = S_{13'} = S_{14'} = S_{15'} = 0,1344 \cdot 6 = \underline{0,8064 \text{ kN/m}}$$

$$S_{16} = S_{16'} = 0,1344 \cdot \left(6 + \frac{6,527}{2}\right) = \underline{0,861 \text{ kN/m}}$$

$$S_{17} = S_{17'} = 0,1344 \cdot \left(\frac{6,527}{2} + \frac{4,946}{2}\right) = \underline{0,488 \text{ kN/m}}$$





4.2 Zatěžovací stav ZS2 - sníh plošný

$$\text{Zatěžovací šířka} = Z\bar{B} = 1636 \text{ mm} = 1.636 \text{ m}$$

$$q_{ij} = q(i) \cdot Z\bar{B} \quad q(i) = 1.6 \text{ kN/m}^2$$

$$S_1 = S_{12} = 1.6 \cdot \frac{1.636}{2} = 1.3088 \text{ kN/m}$$

$$S_2 = S_3 = S_4 = S_5 = S_6 = S_7 = S_8 = S_9 = S_{10} = S_{11} = 1.6 \cdot 1.636 = 2.6176 \text{ kN/m}$$

4.3 Zatěžovací stav ZS3 - sníh návalový - P

$$\text{Zatěžovací šířka} = Z\bar{B} = 1636 \text{ mm} = 1.636 \text{ m}$$

$$S_{(ii)}^P = \mu_s \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k$$

$$S_{(iii)}^P = 0.5 \mu_s \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k$$

$$S_{(ii)} = A \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k$$

$$S_1$$

$$A = \frac{0.818 \cdot 0.0686}{2} = 0.028$$

$$S_1 = 0.028 \cdot 1.1 \cdot 2 = 0.056 \text{ kN/m}$$

$$S_2$$

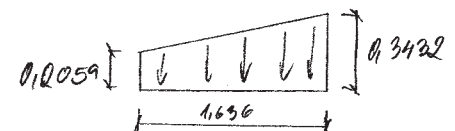
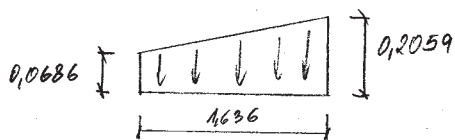
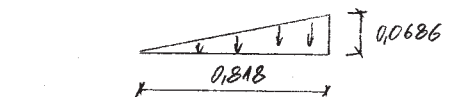
$$A = \frac{(0.0686 + 0.2059) \cdot 1.636}{2} = 0.2245$$

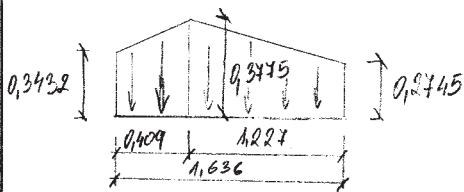
$$S_2 = 0.2245 \cdot 1.1 \cdot 2 = 0.449 \text{ kN/m}$$

$$S_3$$

$$A = \frac{(0.2059 + 0.3432) \cdot 1.636}{2} = 0.449$$

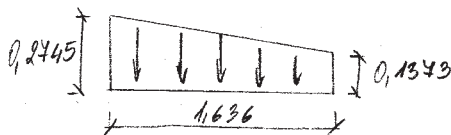
$$S_3 = 0.449 \cdot 1.1 \cdot 2 = 0.898 \text{ kN/m}$$



 S_4

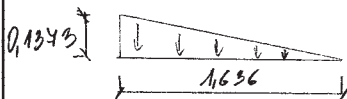
$$A = \frac{(0,3432 + 0,3775) \cdot 0,409}{2} + \frac{(0,3775 + 0,2745) \cdot 1,227}{2} = 0,547$$

$$S_4 = 0,547 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 1,095 \text{ kN/m}$$

 S_5

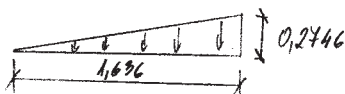
$$A = \frac{(0,2745 + 0,1343) \cdot 1,636}{2} = 0,337$$

$$S_5 = 0,337 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,674 \text{ kN/m}$$

 S_6

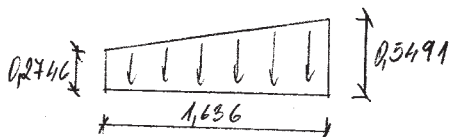
$$A = \frac{0,1343 \cdot 1,636}{2} = 0,112$$

$$S_6 = 0,112 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,224 \text{ kN/m}$$

 S_7

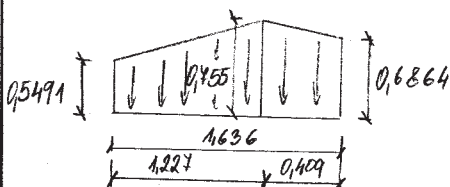
$$A = \frac{0,2746 \cdot 1,636}{2} = 0,225$$

$$S_7 = 0,225 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,450 \text{ kN/m}$$

 S_8

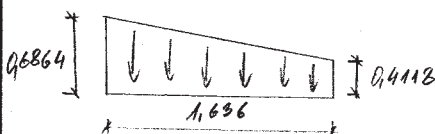
$$A = \frac{(0,2746 + 0,5491) \cdot 1,636}{2} = 0,674$$

$$S_8 = 0,674 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 1,348 \text{ kN/m}$$

 S_9

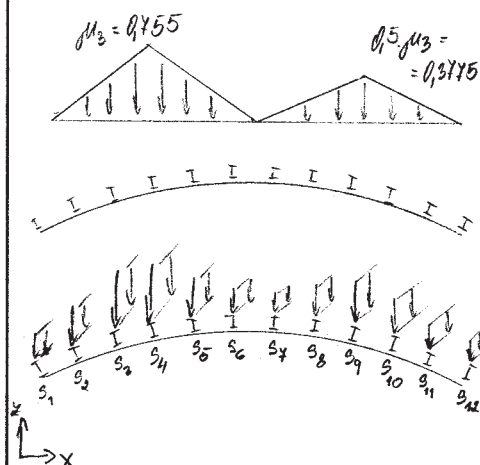
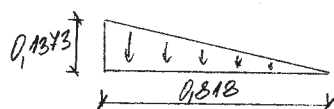
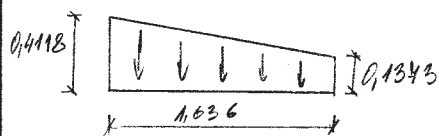
$$A = \frac{(0,5491 + 0,775) \cdot 1,227}{2} + \frac{(0,775 + 0,6864) \cdot 0,409}{2} = 1,095$$

$$S_9 = 1,095 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 2,190 \text{ kN/m}$$

 S_{10}

$$A = \frac{(0,6864 + 0,4118) \cdot 1,636}{2} = 0,898$$

$$S_{10} = 0,898 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 1,796 \text{ kN/m}$$

 S_{11}

$$A = \frac{(0,4118 + 0,1343) \cdot 1,636}{2} = 0,449$$

$$S_{11} = 0,449 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,898 \text{ kN/m}$$

 S_{12}

$$A = \frac{0,1343 \cdot 0,818}{2} = 0,056$$

$$S_{12} = 0,056 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,112 \text{ kN/m}$$

4.4 Zatežovací stav ZS4 - sniž navařej L

$$S_1 = 0,112 \text{ kN/m}$$

$$S_2 = 0,898 \text{ kN/m}$$

$$S_3 = 1,496 \text{ kN/m}$$

$$S_4 = 2,190 \text{ kN/m}$$

$$S_5 = 1,348 \text{ kN/m}$$

$$S_6 = 0,450 \text{ kN/m}$$

$$S_7 = 0,224 \text{ kN/m}$$

$$S_8 = 0,674 \text{ kN/m}$$

$$S_9 = 1,095 \text{ kN/m}$$

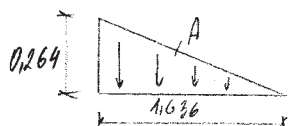
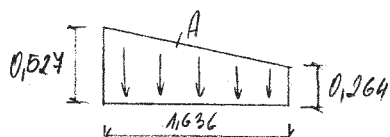
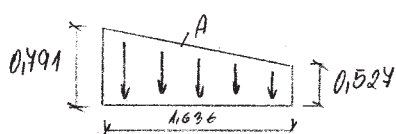
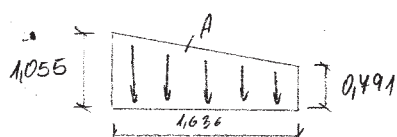
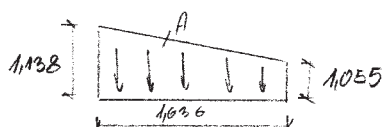
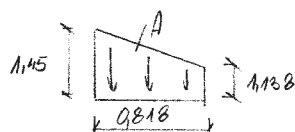
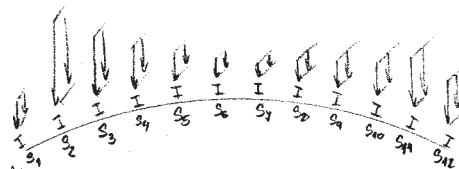
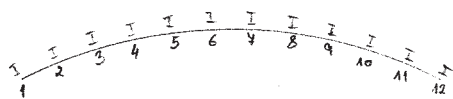
$$S_{10} = 0,898 \text{ kN/m}$$

$$S_{11} = 0,449 \text{ kN/m}$$

$$S_{12} = 0,056 \text{ kN/m}$$

$$\mu_3' = 1,145$$

$$\mu_2' = 0,925$$



4.5 Zatěžovací stav ZSE - sněhová nátaž k okraji L
Zatěžovací šířka = ZS = 1636 mm = 1,636 m

$$S_1' = \mu_3' \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k$$

$$S_1^P = \frac{\mu_3'}{2} \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k$$

$$S_1 = A \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k$$

$$S_1$$

$$A = \frac{(1,145 + 1,138) \cdot 0,818}{2} = 1,14$$

$$S_1 = 1,14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 2,28 \text{ kN/m}$$

$$S_2$$

$$A = \frac{(1,318 + 1,055) \cdot 1,636}{2} = 1,94$$

$$S_2 = 1,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 3,88 \text{ kN/m}$$

$$S_3$$

$$A = \frac{(1,055 + 0,491) \cdot 1,636}{2} = 1,51$$

$$S_3 = 1,51 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 3,02 \text{ kN/m}$$

$$S_4$$

$$A = \frac{(0,491 + 0,524) \cdot 1,636}{2} = 1,08$$

$$S_4 = 1,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 2,16 \text{ kN/m}$$

$$S_5$$

$$A = \frac{(0,524 + 0,264) \cdot 1,636}{2} = 0,65$$

$$S_5 = 0,65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 1,3 \text{ kN/m}$$

$$S_6$$

$$A = \frac{(0,264) \cdot 1,636}{2} = 0,22$$

$$S_6 = 0,22 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 0,44 \text{ kN/m}$$

$$S_4 = \frac{S_6}{2} = \frac{0,44}{2} = 0,22 \text{ kN/m}$$

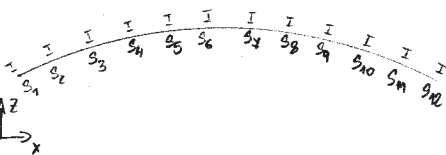
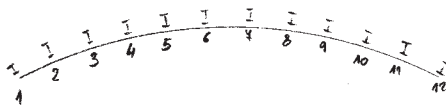
$$S_8 = \frac{S_5}{2} = \frac{1,3}{2} = 0,65 \text{ kN/m}$$

$$S_9 = \frac{S_4}{2} = \frac{2,16}{2} = 1,08 \text{ kN/m}$$

$$S_{10} = \frac{S_3}{2} = \frac{3,02}{2} = 1,51 \text{ kN/m}$$

$$S_{11} = \frac{S_2}{2} = \frac{3,88}{2} = 1,94 \text{ kN/m}$$

$$S_{12} = \frac{S_1}{2} = \frac{2,28}{2} = 1,14 \text{ kN/m}$$



4.6 Zatěžovací stav ZSB - sněh navažený k okraji P

$$S_1 = 1,14 \text{ kN/m}$$

$$S_2 = 1,94 \text{ kN/m}$$

$$S_3 = 1,51 \text{ kN/m}$$

$$S_4 = 1,08 \text{ kN/m}$$

$$S_5 = 0,65 \text{ kN/m}$$

$$S_6 = 0,22 \text{ kN/m}$$

$$S_7 = 0,44 \text{ kN/m}$$

$$S_8 = 1,3 \text{ kN/m}$$

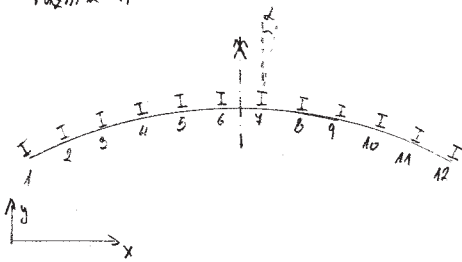
$$S_9 = 2,16 \text{ kN/m}$$

$$S_{10} = 3,02 \text{ kN/m}$$

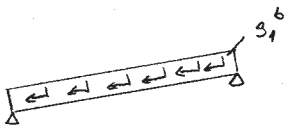
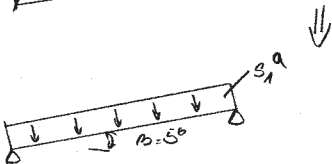
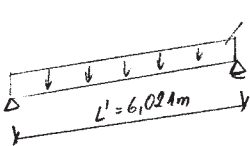
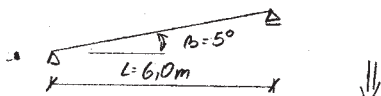
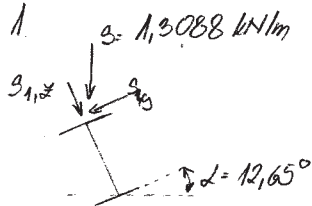
$$S_{11} = 3,88 \text{ kN/m}$$

$$S_{12} = 2,28 \text{ kN/m}$$

Vazník 1



Vaznice 1



• Přepočet zatížení od sněhu a střešního pláště na zatížení zadávané do modelu.

• Odklon vaznic o úhel α

$$\text{Vaznice: } 1 = 12 = 12,65^\circ$$

$$2 = 11 = 10,35^\circ$$

$$3 = 10 = 8,05^\circ$$

$$4 = 9 = 5,45^\circ$$

$$5 = 8 = 3,45^\circ$$

$$6 = 7 = 1,15^\circ$$

$$S_{1,x} = \cos \alpha \cdot S = \cos 12,65^\circ \cdot 1,3088 = 1,244 \text{ kN/m}$$

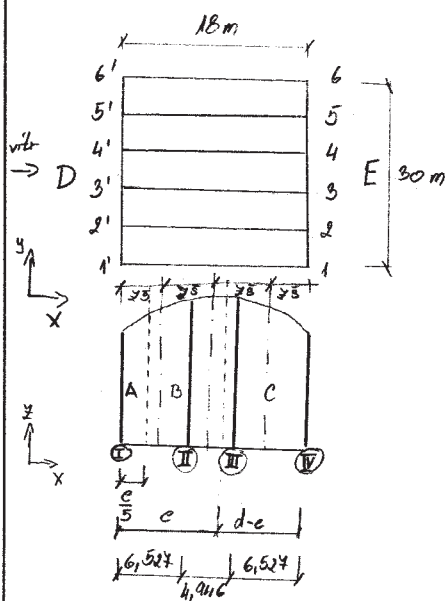
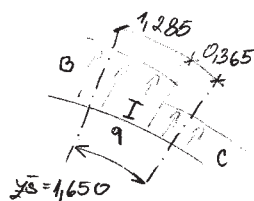
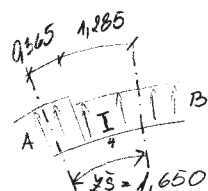
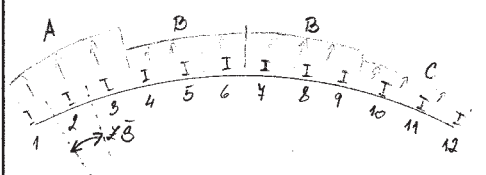
$$S_{1,y} = \sin \alpha \cdot S = \sin 12,65^\circ \cdot 1,3088 = 0,28 \text{ kN/m}$$

$$S_{1,x}' = \frac{S_{1,x} \cdot L}{L'} = \frac{1,244 \cdot 6,0}{6,021} = 1,243 \text{ kN/m}$$

$$S_1^a = S_{1,x}' \cdot \cos \beta = 1,243 \cdot \cos 5^\circ = 1,268 \text{ kN/m}$$

$$S_1^b = S_{1,x}' \cdot \sin \beta = 1,243 \cdot \sin 5^\circ = 0,111 \text{ kN/m}$$

Střešní plášť je tuhý, proto veškeré složky od vodorovného zatížení y , jsou přeneseny do okapové vaznice.



4.4 Zatěsňovací stav ZB 4 - vítr ve směru osy +X

Zatěsňení na střešní

Zatěsňovací šířka - ZB = 1,650 m

$$A = -0,361 \text{ kN/m}^2$$

$$B = -0,425 \text{ kN/m}^2$$

$$C = -0,326 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,i} = w_{e, ZB}$$

$$w_{e,1} = -0,361 \cdot \frac{1,650}{2} = -0,298 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,2} = -0,361 \cdot 1,650 = -0,596 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,3} = -0,361 \cdot 1,650 = -0,596 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,4} = (-0,361 \cdot 0,365) + (-0,425 \cdot 1,285) = -0,678 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,5} = w_{e,6} = w_{e,7} = w_{e,8} = -0,425 \cdot 1,650 = -0,701 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,9} = (-0,425 \cdot 1,285) + (-0,326 \cdot 0,365) = -0,665 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,10} = -0,326 \cdot 1,650 = -0,537 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,11} = -0,326 \cdot 1,650 = -0,537 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,12} = -0,326 \cdot \frac{1,650}{2} = -0,269 \text{ kN/m}$$

Zatěsňení na stěny

$$e = 14,3 \text{ m}$$

$$\frac{e}{3} = 2,86 \text{ m}$$

$$d - e = 18 - 14,3 = 3,7 \text{ m}$$

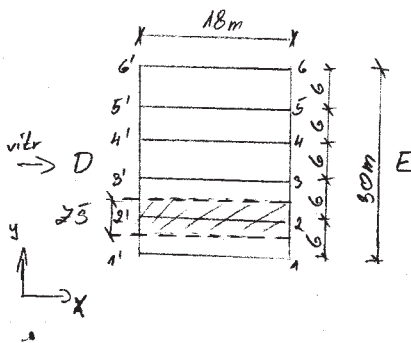
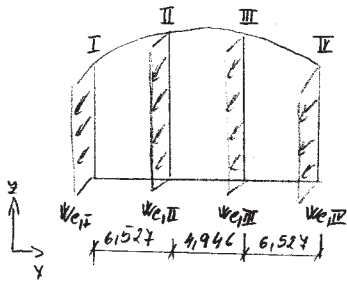
$$A = -0,6984 \text{ kN/m}^2$$

$$B = -0,4656 \text{ kN/m}^2$$

$$C = -0,291 \text{ kN/m}^2$$

$$D = +0,4188 \text{ kN/m}^2$$

$$E = -0,194 \text{ kN/m}^2$$



$$w_{e,j} = w_{e,i} \cdot \bar{\gamma}$$

$$w_{e,I} = w_{e,A} \cdot \frac{0}{3} + w_{e,B} \cdot \frac{6,524}{2} - \frac{0}{5} =$$

$$= (-0,6984 \cdot 2,84) + (-0,4656 \cdot 0,4035) = \underline{-2,171 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e,II} = w_{e,B} \cdot \left(\frac{6,524}{2} + \frac{4,946}{2} \right) = -0,4656 \cdot 5,4365 = \underline{-2,671 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e,III} = \left[w_{e,B} \cdot \left(e - \frac{d}{2} \right) \right] + \left[w_{e,C} \cdot \left(\frac{6,524}{2} + \frac{4,946}{2} - e - \frac{d}{2} \right) \right] =$$

$$= (-0,4656 \cdot 5,3) + (-0,291 \cdot 0,4365) = \underline{-2,595 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e,IV} = w_{e,C} \cdot \bar{\gamma} = -0,291 \cdot \frac{6,524}{2} = \underline{-0,950 \text{ kN/m}}$$

Žatížení na straně tlaku větru D

$$w_{e,j} = w_{e,D} \cdot \bar{\gamma}$$

$$\bar{\gamma} = 6 \text{ m}$$

$$w_{e,1'} = w_{e,6'} = +0,4188 \cdot \frac{6}{2} = \underline{+1,2564 \text{ kN/m}}$$

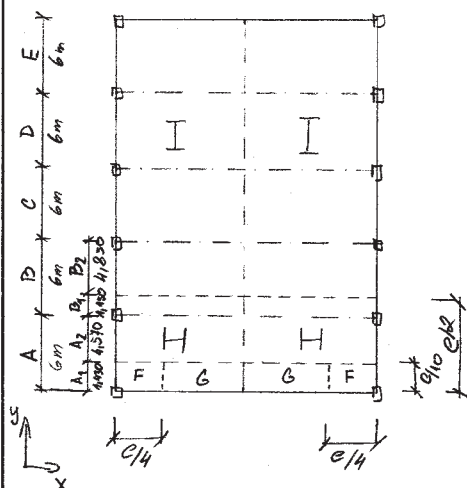
$$w_{e,2'} = w_{e,3'} = w_{e,4'} = w_{e,5'} = +0,4188 \cdot 6 = \underline{+2,5128 \text{ kN/m}}$$

Žatížení na straně sání větru E

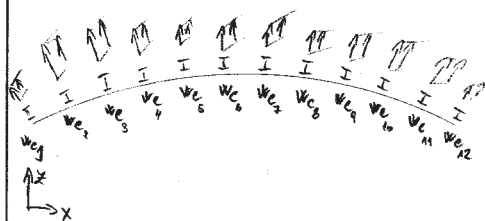
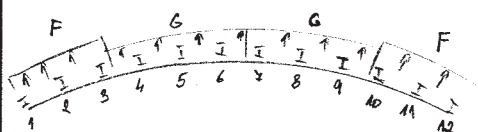
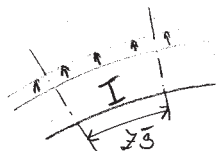
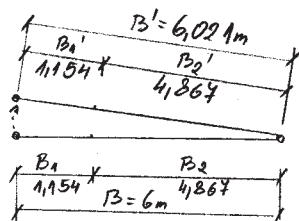
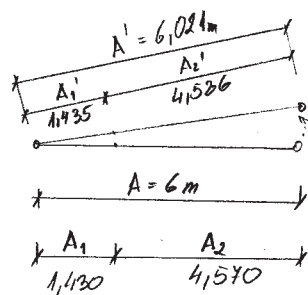
$$w_{e,j} = w_{e,E} \cdot \bar{\gamma}$$

$$w_{e,1'} = w_{e,6'} = -0,194 \cdot \frac{6}{2} = \underline{-0,591 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e,2'} = w_{e,3'} = w_{e,4'} = w_{e,5'} = -0,194 \cdot 6 = \underline{-1,182 \text{ kN/m}}$$



↑ vítr



4.8 Zatěžovací stav ZSB - vítr ve směru osy + Y
Zatížení na střechu

$$\frac{e}{4} = 3,545 \text{ m}$$

$$e = 14,18 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = 1,418 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = 7,09 \text{ m}$$

$$w_{e,10} \text{ pro } F = -0,826 \text{ kN/m}^2$$

$$G = -0,454 \text{ kN/m}^2$$

$$H = -0,342 \text{ kN/m}^2$$

$$I = -0,291 \text{ kN/m}^2$$

$$A_1 = 1,430 \text{ m}$$

$$A_1' = 1,435 \text{ m}$$

$$A_2 = 4,540 \text{ m}$$

$$A_2' = 4,586 \text{ m}$$

$$B_1 = 1,150 \text{ m}$$

$$B_1' = 1,154 \text{ m}$$

$$B_2 = 4,850 \text{ m}$$

$$B_2' = 4,864 \text{ m}$$

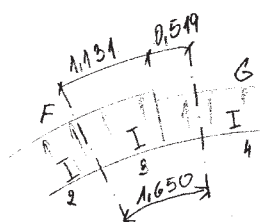
$$\text{Zatěžovací šířka} = Z\bar{S} = 1,650 \text{ m}$$

$$\text{Oblasť } A_1' = 1,435 \text{ m}$$

$$w_{e,j} = w_{e,10} \cdot Z\bar{S}$$

$$w_{e,1} = -0,826 \cdot \frac{1,650}{2} = -0,681 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,2} = -0,826 \cdot 1,650 = -1,363 \text{ kN/m}$$



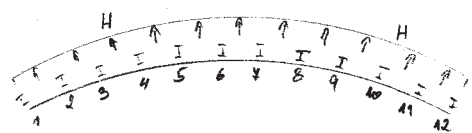
$$w_{e3} = (-0,826 \cdot 1,131) + (-0,454 \cdot 0,519) = -1,324 \text{ kN/m}$$

$$w_{e4} = w_{e5} = w_{e6} = w_{e7} = w_{e8} = w_{e9} = -0,454 \cdot 1,650 = -1,249 \text{ kN/m}$$

$$w_{e10} = w_{e11} = -1,324 \text{ kN/m}$$

$$w_{e12} = w_{e1} = -1,363 \text{ kN/m}$$

$$w_{e12} = w_{e1} = -0,681 \text{ kN/m}$$

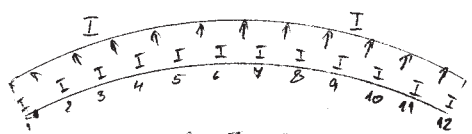


$$\text{Oblast } A_2' = 4,586 \text{ m a } B_1' = 1,154 \text{ m}$$

$$w_{eij} = w_{e10H} \cdot \frac{1}{2}$$

$$w_{e1} = w_{e12} = -0,342 \cdot \frac{1,650}{2} = -0,304 \text{ kN/m}$$

$$w_{e2} = w_{e3} = w_{e4} = w_{e5} = w_{e6} = w_{e7} = w_{e8} = w_{e9} = w_{e10} = w_{e11} = -0,342 \cdot 1,650 = -0,614 \text{ kN/m}$$

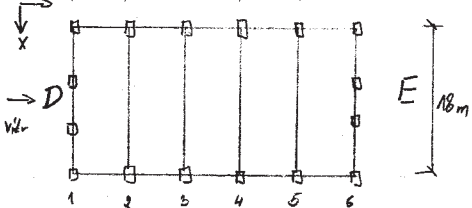
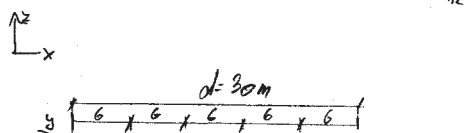


$$\text{Oblast } B_2' = 4,867 \text{ m a } C, D, E = 6,0 \text{ m}$$

$$w_{eij} = w_{e10P} \cdot \frac{1}{2}$$

$$w_{e1} = w_{e12} = -0,291 \cdot \frac{1,650}{2} = -0,240 \text{ kN/m}$$

$$w_{e2} = w_{e3} = w_{e4} = w_{e5} = w_{e6} = w_{e7} = w_{e8} = w_{e9} = w_{e10} = w_{e11} = -0,291 \cdot 1,650 = -0,480 \text{ kN/m}$$

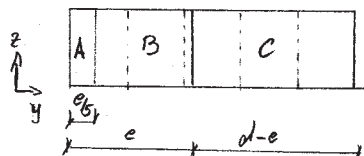


Zatížení na stěny

$$c = 12,3 \text{ m}$$

$$\frac{c}{5} = 2,46 \text{ m}$$

$$d - c = 30 - 12,3 = 17,7 \text{ m}$$



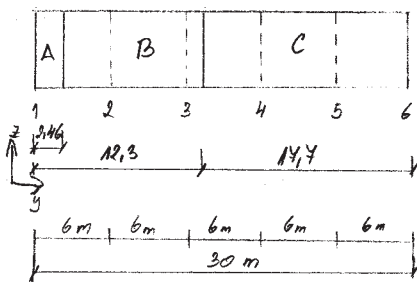
$$w_{e10} \text{ pro: } A = -0,6984 \text{ kN/m}^2$$

$$B = -0,4656 \text{ kN/m}^2$$

$$C = -0,291 \text{ kN/m}^2$$

$$D = +0,4044 \text{ kN/m}^2$$

$$E = -0,1746 \text{ kN/m}^2$$



Žatížení větrem podél křivky, oblast A, B, C

$$w_{ej} = w_{e,10} \cdot Z \bar{B}$$

$$w_{e1} = (-0,6984 \cdot 2,460) + (-0,4656 \cdot 0,540) = \underline{-1,969 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e2} = -0,4656 \cdot 6 = \underline{-2,794 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e3} = (-0,4656 \cdot 3,3) + (-0,291 \cdot 2,4) = \underline{-2,322 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e4} = -0,291 \cdot 6 = \underline{-1,746 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e5} = -0,291 \cdot 6 = \underline{-1,746 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e6} = -0,291 \cdot \frac{6}{2} = \underline{-0,873 \text{ kN/m}}$$

Žatížení na straně tlaku větru D

$$w_{ej} = w_{e,D} \cdot Z \bar{B}$$

$$w_{eI} = w_{eII} = 0,4044 \cdot \frac{6,524}{2} = \underline{+1,33 \text{ kN/m}}$$

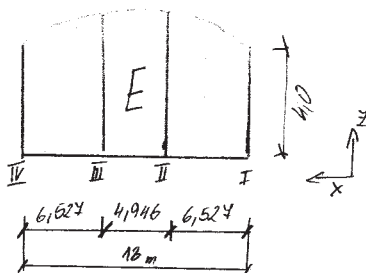
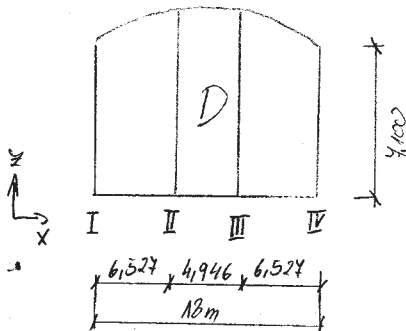
$$w_{eIII} = w_{eIV} = 0,4044 \cdot \left(\frac{6,524}{2} + \frac{4,946}{2} \right) = \underline{+2,337 \text{ kN/m}}$$

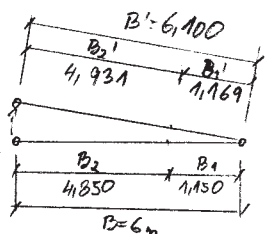
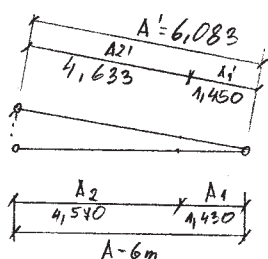
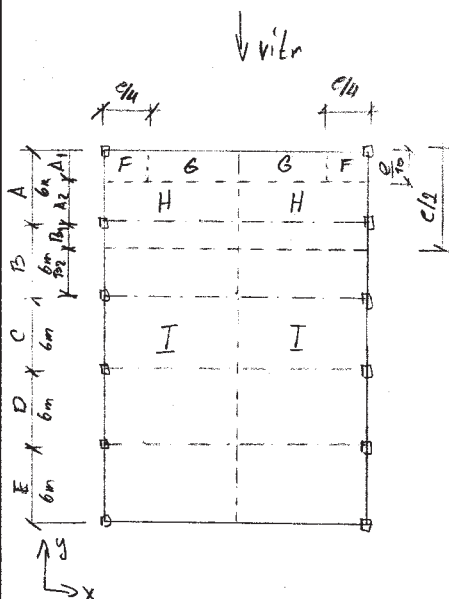
Žatížení na straně sání větru E

$$w_{ej} = w_{e,E} \cdot Z \bar{B}$$

$$w_{eI} = w_{eIV} = -0,1746 \cdot \frac{6,524}{2} = \underline{-0,57 \text{ kN/m}}$$

$$w_{eII} = w_{eIII} = -0,1746 \cdot 6,524 = \underline{-1,102 \text{ kN/m}}$$





4.9 Zatěžovací stav 209 - vítr ve směru osy - Y

Zatížení na střechu

$$C = 14,3m$$

$$\frac{C}{4} = 3,575m$$

$$\frac{C}{10} = 1,43m$$

$$\frac{C}{2} = 7,15m$$

$$w_{e,10} \text{ pro: } F = -0,826 \text{ kN/m}^2$$

$$G = -0,454 \text{ kN/m}^2$$

$$H = -0,342 \text{ kN/m}^2$$

$$I = -0,291 \text{ kN/m}^2$$

$$A_1 = 1,430m$$

$$A_1' = 1,450m$$

$$A_2 = 4,540m$$

$$A_2' = 4,633m$$

$$B_1 = 1,150m$$

$$B_1' = 1,169m$$

$$B_2 = 4,850m$$

$$B_2' = 4,931m$$

$$\text{Oblast } A_1' = 1,450m$$

$$w_{e,1} = -0,681 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,2} = -1,363 \text{ kN/m}$$

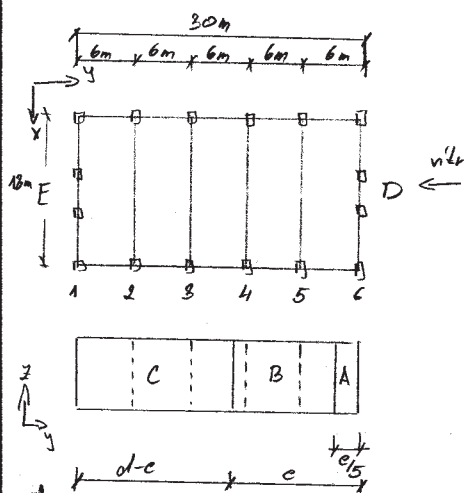
$$w_{e,3} = -1,324 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,4} = w_{e,5} = w_{e,6} = w_{e,7} = w_{e,8} = w_{e,9} = -1,249 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,10} = w_{e,3} = -1,324 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,11} = w_{e,2} = -1,363 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,12} = w_{e,1} = -0,681 \text{ kN/m}$$



Oblast $A_2' = 4,633 \text{ m}$ a $B_1' = 1,169 \text{ m}$

$$w_{e1} = w_{e12} = \underline{-0,304 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e2} \rightarrow w_{e11} = \underline{-0,614 \text{ kN/m}}$$

Oblast $B_2' = 4,931 \text{ m}$ a C, D, E

$$w_{e1} = w_{e12} = \underline{-0,240 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e2} \rightarrow w_{e11} = \underline{-0,480 \text{ kN/m}}$$

Zatížení na stěny

$$e = 12,3 \text{ m}$$

$$\frac{e}{5} = 2,46 \text{ m}$$

$$d-e = 30 - 12,3 = 17,7 \text{ m}$$

$$w_{e10} \text{ pro : } A = -0,6984 \text{ kN/m}^2$$

$$B = -0,4656 \text{ kN/m}^2$$

$$C = -0,291 \text{ kN/m}^2$$

$$D = +0,4044 \text{ kN/m}^2$$

$$E = -0,1446 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení podél budovy, oblast A, B, C

$$w_{e1} = \underline{-0,843 \text{ kN/m}}$$

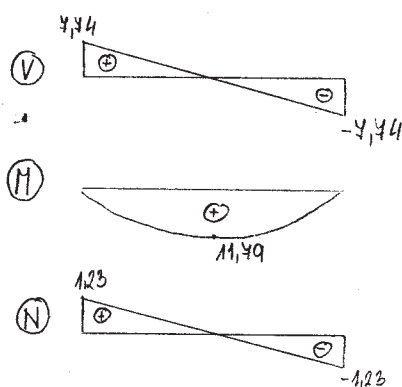
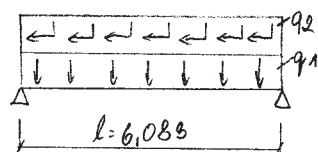
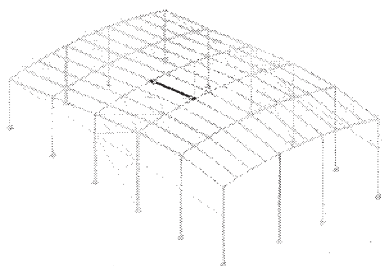
$$w_{e2} = w_{e3} = \underline{-1,446 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e4} = \underline{-2,322 \text{ kN/m}}$$

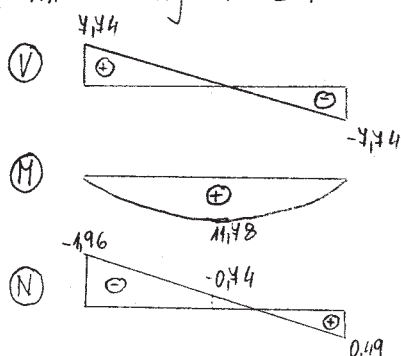
$$w_{e5} = \underline{-2,494 \text{ kN/m}}$$

$$w_{e6} = \underline{-1,969 \text{ kN/m}}$$

P89



Vnitřní síly RFEM



5 Výpočet vnitřních sil

Výpočet vnitřních sil byl proveden v programu RFEM jako lineární na základě metody konečných prvků. Extrémní hodnot vnitřních sil jsou uváděny pro jednotlivé typy průřezů viz Přílohy ke statickému výpočtu 2.5, 3.5, ..., 17.5 (Návrhové vnitřní síly)

Ověření výpočtu vnitřních sil s programem RFEM

5.1 Vaznice P89 - ZS2

$$q_1 = 2,546 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 0,403 \text{ kN/m}$$

$$V = \frac{q_1 \cdot l}{2} = \frac{2,546 \cdot 6,083}{2} = 4,444 \text{ kN}$$

$$M = \frac{1}{8} \cdot q_1 \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 2,546 \cdot 6,083^2 = 11,446 \text{ kNm}$$

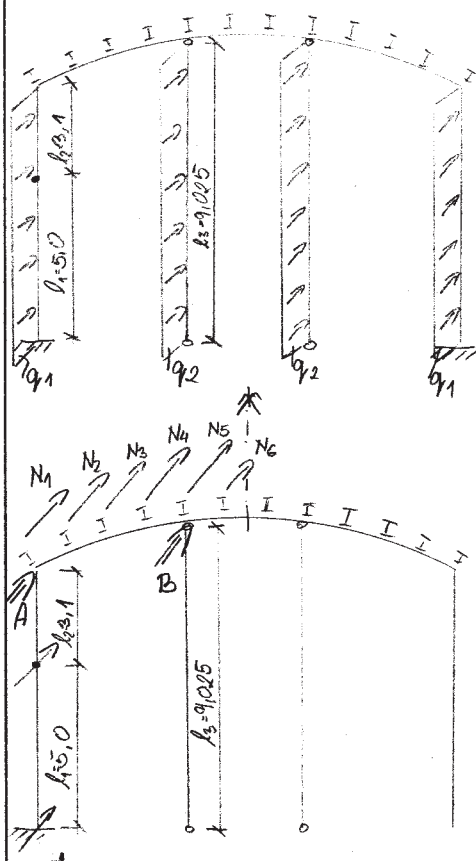
$$N = \frac{q_2 \cdot l}{2} = \frac{0,403 \cdot 6,083}{2} = 1,23 \text{ kN}$$

Vnitřní síly v programu RFEM

viz obr.

Normálové síly se liší z důvodu ověření sil na prostém nosníku. Model v programu RFEM, působí jako celek.

ZSB



Ověření normálových sil při ZSB působící
na čelní stěnu a přenos na vaznice

$$q_1 = 1,33 \text{ kN}$$

$$q_2 = 2,334 \text{ kN}$$

$$A = q_1 \cdot \frac{l_2}{2} = -1,33 \cdot \frac{3,1}{2} = \underline{\underline{-2,0615 \text{ kN}}}$$

$$B = q_2 \cdot \frac{l_3}{2} = -2,334 \cdot \frac{9,025}{2} = \underline{\underline{-10,55 \text{ kN}}}$$

$$2A + 2B = 2 \cdot (-2,0615) + 2 \cdot (-10,55) = \underline{\underline{-25,223 \text{ kN}}}$$

Výpis normálových sil z RFEM

$$N_1 = -2,52 \text{ kN}$$

$$N_2 = -1,01 \text{ kN}$$

$$N_3 = -0,59 \text{ kN}$$

$$N_4 = -1,83 \text{ kN}$$

$$N_5 = -4,0 \text{ kN}$$

$$N_6 = -2,58 \text{ kN}$$

$$\Sigma N = 2 \cdot (N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6) =$$

$$= 2 \cdot (-2,52 - 1,01 - 0,59 - 1,83 - 4,0 - 2,58) = \underline{\underline{-25,06 \text{ kN}}}$$

$$-25,223 \text{ kN} \approx -25,06 \text{ kN}$$

Součet normálových sil se téměř rovná

5.2 Posouzení vnitřních sil ve sloupu

Sloup 2. řada P2, P13 - ZB 7

$$q = 2,513 \text{ kN/m}$$

$$EI = \text{konst.}$$

$$\delta_{1,0} + \delta_{1,1} \cdot x_1 = 0$$

$$V_0 = q \cdot l = 2,513 \cdot 8,6 = 21,6118 \text{ kN}$$

$$M_0 = \frac{1}{2} q l^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,513 \cdot 8,6^2 = 92,93 \text{ kNm}$$

$$V_1 = 1 \text{ kN}$$

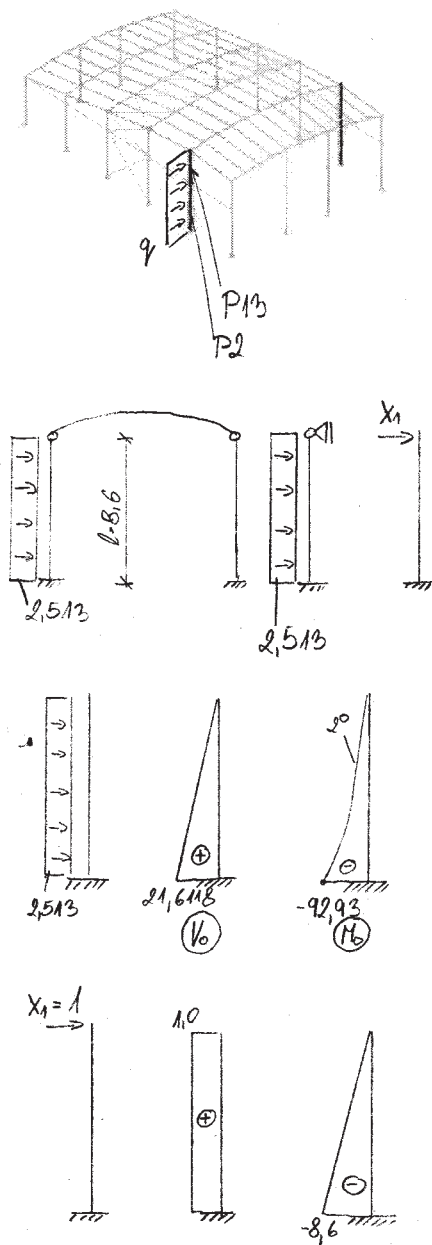
$$M_1 = x_1 \cdot l = 1 \cdot 8,6 = 8,6 \text{ kNm}$$

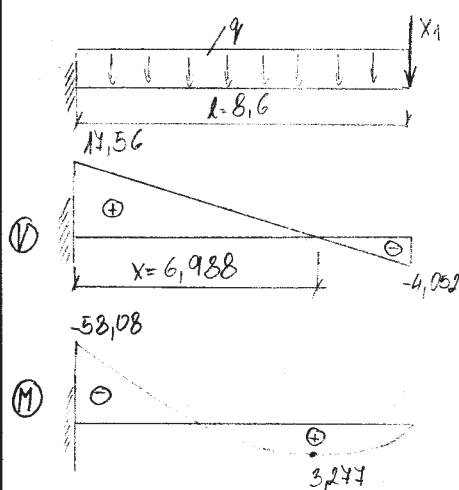
$$\begin{aligned} \delta_{1,0} &= \int_0^l \frac{M_1 M_0}{EI} = \frac{1}{EI} \cdot \frac{1}{3} \cdot (-92,93) \cdot 8,6 \cdot \frac{3}{4} \cdot (-8,6) = \\ &= \frac{1718,2454}{EI} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{1,1} &= \int_0^l \frac{M_1 M_1}{EI} = \frac{1}{EI} \cdot \frac{1}{2} \cdot (-8,6) \cdot 8,6 \cdot \frac{2}{3} \cdot (-8,6) = \\ &= \frac{424,034}{EI} \end{aligned}$$

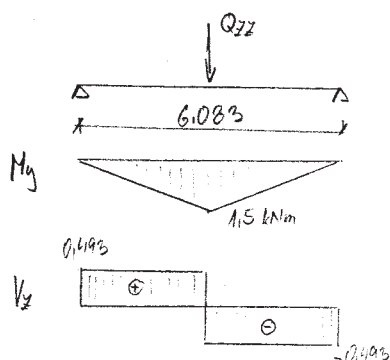
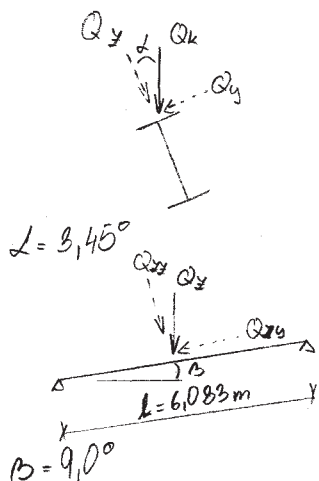
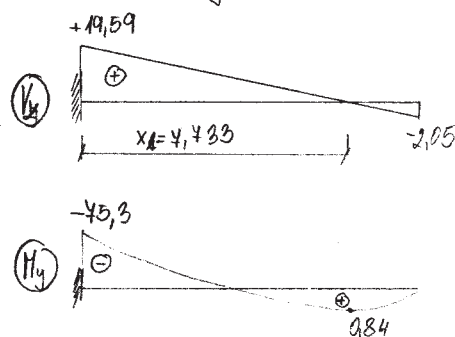
$$\delta_{1,0} + \delta_{1,1} \cdot x_1 = 0$$

$$x_1 = \frac{-\delta_{1,0}}{\delta_{1,1}} = \frac{-\frac{1718,2454}{EI}}{\frac{424,034}{EI}} = -4,052 \text{ kN}$$





Vnitřní síly RFEM



$$q = 2,513 \text{ kN/m}$$

$$X_1 = -4,052 \text{ kN}$$

$$V = q \cdot l - X_1 = 2,513 \cdot 8,6 - 4,052 = 17,5598 \text{ kN}$$

$$V_b = V - q \cdot x = 0$$

$$x = \frac{17,5598}{2,513} = 6,988 \text{ m}$$

$$M = -q \cdot l \cdot \frac{l}{2} - X_1 \cdot l =$$

$$= -2,513 \cdot 8,6 \cdot \frac{8,6}{2} + 4,052 \cdot 8,6 = -58,08 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = M + q \cdot x \cdot \frac{x}{2} = -58,08 + 2,513 \cdot 6,988 \cdot \frac{6,988}{2} = 3,244 \text{ kNm}$$

5.3 Výpočet vnitřních sil - od užitečného zatížení na střeše

Vaznice P89

$$Q_k = 1,0 \text{ kN}$$

$$Q_x = \cos \alpha \cdot Q_k = \cos 3,45^\circ \cdot 1,0 = 0,998 \text{ kN}$$

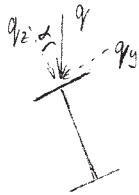
$$Q_y = \sin \alpha \cdot Q_k = \sin 3,45^\circ \cdot 1,0 = 0,060 \text{ kN}$$

$$Q_{xx} = \cos \beta \cdot Q_x = \cos 9^\circ \cdot 0,998 = 0,986 \text{ kN}$$

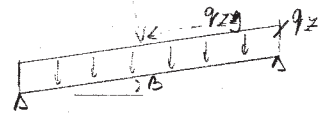
$$Q_{zy} = \sin \beta \cdot Q_y = \sin 9^\circ \cdot 0,998 = 0,156 \text{ kN}$$

$$M_y^Q = \frac{1}{4} \cdot Q_{xx} \cdot l = \frac{1}{4} \cdot 0,986 \cdot 6,083 = 1,5 \text{ kNm}$$

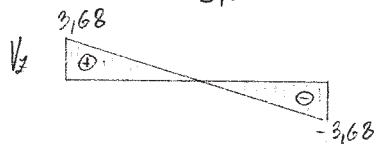
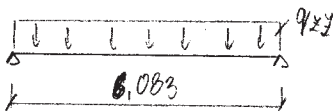
$$V_x^Q = Q_{zy} / 2 = 0,156 / 2 = 0,078 \text{ kN}$$



$$\alpha = 3,45^\circ$$



$$\alpha = 3,45^\circ$$



$$q = 1,224 \text{ kN/m}$$

$$q_z = \cos \alpha \cdot q = \cos 3,45 \cdot 1,224 = 1,225 \text{ kN/m}$$

$$q_x = \sin \alpha \cdot q = \sin 3,45 \cdot 1,224 = 0,044 \text{ kN/m}$$

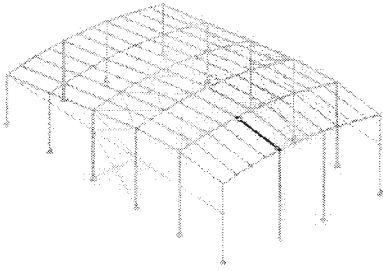
$$q_{xz} = \cos \beta \cdot q_z = \cos 9 \cdot 1,225 = 1,21 \text{ kN/m}$$

$$q_{xy} = \sin \beta \cdot q_z = \sin 9 \cdot 1,225 = 0,192 \text{ kN/m}$$

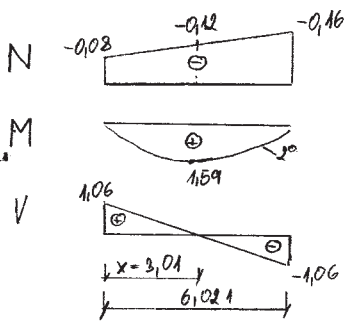
$$M_y^q = \frac{1}{8} q_{xz} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,21 \cdot 6,083^2 = 5,594 \text{ kNm}$$

$$V_z^q = \frac{1}{2} q_{xz} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,21 \cdot 6,083 = 3,68 \text{ kN}$$

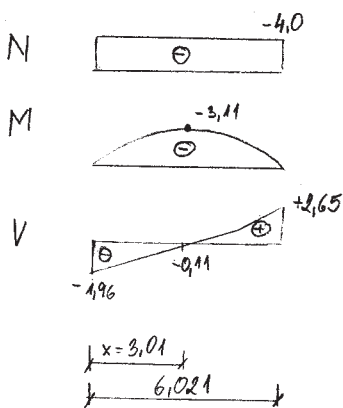
P 113



Y31



Y38



6. Kombinace zatěžovacích stavů

Z 10 zatěžovacích stavů, byly programem RFEM vytvořeny kombinace Z3 v souladu se souborem platných norem. EN 1990

Ze 303 kombinací vygenerovaných programem, byly pro každý prvek vybrány ty nejnepříznivější viz. Přílohy ke statickému výpočtu 21, 31, ..., 141.

Rovnice pro MSÚ 6.10

$$\sum_{j=1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q,i} Q_{k,i} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q,i} \psi_{Q,i} Q_{k,i}$$

Rovnice pro MSP 6.14b

$$\sum_{j=1}^n G_{k,j} + Q_{k,i} + \sum_{i=1}^n \psi_{Q,i} Q_{k,i}$$

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\psi_{0-\text{sníh}} = 0,5$$

$$\gamma_G = 1,0$$

$$\psi_{0-\text{vítr}} = 0,6$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

$$\psi_{0-\text{TŽB}} = 0,7$$

Ověření kombinací pro následně posuzované

prvky

6.1 P113 - MSÚ

$$KZ\ 144 = \gamma_G Y31 + \gamma_Q Y38$$

$$N = 1,0 \cdot (-0,12) + 1,5 \cdot (-4,0) = \underline{\underline{-6,12 \text{ kN}}}$$

$$M_y = 1,0 \cdot (1,59) + 1,5 \cdot (-3,11) = \underline{\underline{-3,045 \text{ kNm}}}$$

$$V_z = 1,0 \cdot 0 + 1,5 \cdot (-0,11) = \underline{\underline{-0,165 \text{ kN}}}$$

V RFEM výsledky kombinací

$$N = -6,13 \text{ kN}$$

$$M_y = -3,07 \text{ kNm} \quad \text{viz. Přílohy ke statickému výpočtu}$$

$$V_z = -0,16 \text{ kN}$$

- Průběhy vnitřních sil P113, KZ 144; str. 5

6.2 P113 - MSP

$$KZ 245 = X_6 Y31 + Y38$$

$$N = 1,0 \cdot (-0,12) + (-4,0) = -4,12 \text{ kN}$$

$$M_y = 1,0 \cdot 1,59 + (-3,11) = -1,52 \text{ kNm}$$

$$V_z = 1,0 \cdot 0 + (-0,11) = -0,11 \text{ kN}$$

Výsledky kombinací v RFEM

$$N = -4,13 \text{ kN}$$

$$M_y = -1,52 \text{ kNm}$$

$$V_z = -0,11 \text{ kN}$$

6.3 P89 - MSÚ

$$KZ 2 = X_6 Y31 + 1,5 Y32$$

$$N = 1,35 \cdot (-0,51) + 1,5 \cdot (-0,74) = -1,4 \text{ kN}$$

$$M_y = 1,35 \cdot 1,62 + 1,5 \cdot 11,48 = 19,86 \text{ kNm}$$

$$V_z = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 = 0 \text{ kN}$$

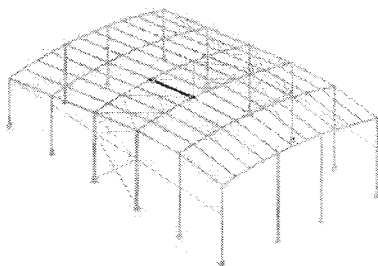
Výsledky kombinací v RFEM

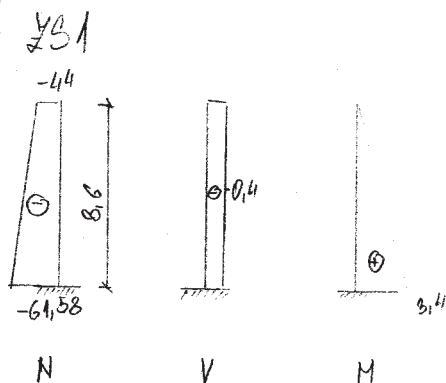
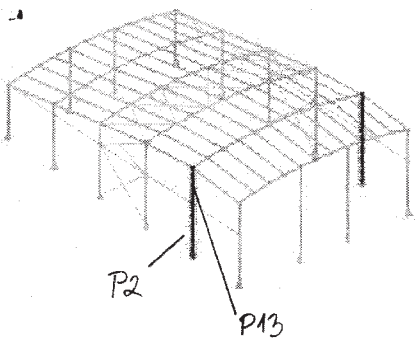
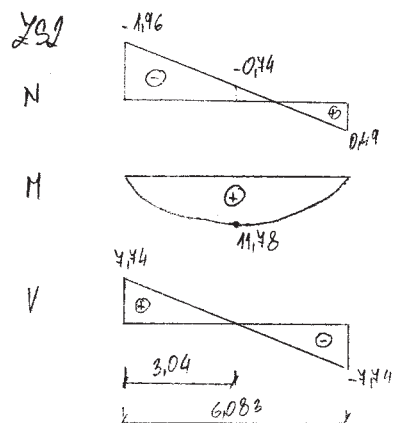
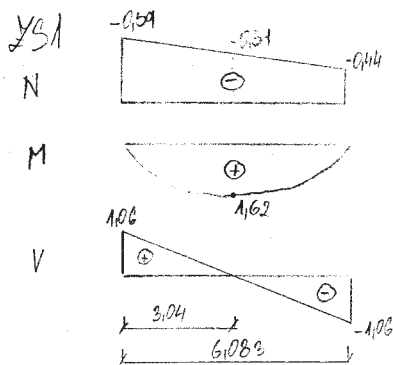
$$N = -1,4 \text{ kN}$$

$$M_y = 19,84 \text{ kNm} \quad \text{viz. Přílohy ke statickému výpočtu}$$

$$V_z = 0 \text{ kN}$$

- Průběhy vnitřních sil P89, KZ 2; str. 9





6.4 P89 - MSP

$$KZ\ 204 = Y31 + Y32$$

$$N = -0.51 + (-0.44) = -1.25 \text{ kN}$$

$$M_y = 1.62 + 11.48 = 13.1 \text{ kNm}$$

$$V_z = 0 + 0 = 0 \text{ kN}$$

Výsledky kombinací v RFEM

$$N = -0.96 \text{ kN}$$

$$M_y = 13.39 \text{ kNm}$$

$$V_z = 0 \text{ kN}$$

6.5 P2 + P13 - MSÚ

$$KZ\ 22 = \gamma_G \cdot Y31 + \gamma_Q \cdot Y32 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Y34 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Y310$$

$$M_y = 1.35 \cdot 3.4 + 1.5 \cdot 4.22 + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (-45.3) + 1.5 \cdot 0.4 \cdot 0.32 = -52.014 \text{ kNm}$$

$$N = 1.35 \cdot (-64.58) + 1.5 \cdot (-84.14) + 1.5 \cdot 0.6 \cdot 18.53 + 1.5 \cdot 0.4 \cdot (-3.81) = -201.14 \text{ kN}$$

$$V_z = 1.35 \cdot (-0.4) + 1.5 \cdot (-0.84) + 1.5 \cdot 0.6 \cdot 19.56 + 1.5 \cdot 0.4 \cdot (-0.04) = 15.46 \text{ kN}$$

Výsledky kombinací v RFEM

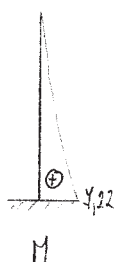
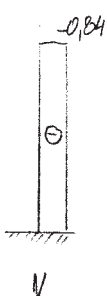
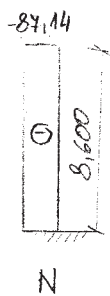
$$M_y = -52.01 \text{ kNm}$$

$$N = 201.13 \text{ kN} \quad \text{viz. Přílohy ke statickému výpočtu}$$

$$V_z = 15.44 \text{ kN}$$

• Půběhy vnitřních sil KZ 22, str. 24

Y32



6.6P2 + P13 - M3P

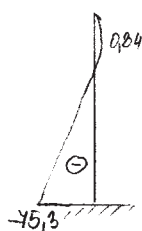
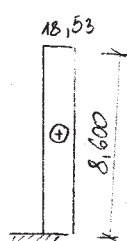
$$KZ\ 262 = Y_{31} \cdot 0,5 Y_{32} + Y_{34} \cdot 0,4 Y_{310}$$

$$M_y = 3,4 + 0,5 \cdot 4,22 + (-45,3) + 0,4 \cdot 0,32 = -68,066\ \text{kNm}$$

$$N = -61,58 + 0,5 \cdot (-84,14) + 18,53 + 0,4 \cdot (-3,81) = -89,29\ \text{kN}$$

$$V_z = -0,4 + 0,5 \cdot (-0,84) + 19,56 + 0,4 \cdot (-0,04) = 18,41\ \text{kN}$$

Y34



Výsledky kombinací v RFEM

$$M_y = -68,04\ \text{kNm}$$

$$N = -89,3\ \text{kN}$$

$$V_z = 18,42\ \text{kN}$$

P89 - M3U

$$KZ = Y_{31} \cdot Y_{32} + Y_{34} \cdot Y_{311}$$

• kombinace od osamělého břemene $x = 3,04\ \text{m}$

$$M_y = 1,35 \cdot 1,62 + 1,5 \cdot 1,5 = 4,434\ \text{kNm}$$

$$V_z = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0,0 = 0\ \text{kN}$$

$$x = 0,0\ \text{m}$$

$$M_y = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 = 0\ \text{kNm}$$

$$V_z = 1,35 \cdot 1,06 + 1,5 \cdot 0,493 = 2,17\ \text{kN}$$

• kombinace od spojitého zatížení $x = 3,04\ \text{m}$

$$M_y = 1,35 \cdot 1,62 + 1,5 \cdot 5,594 = 10,583\ \text{kNm}$$

$$V_z = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 = 0\ \text{kN}$$

$$x = 0,0\ \text{m}$$

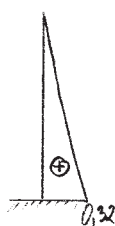
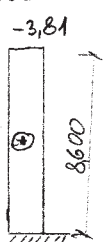
$$M_y = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 = 0\ \text{kNm}$$

$$V_z = 1,35 \cdot 1,06 + 1,5 \cdot 3,68 = 6,951\ \text{kN}$$

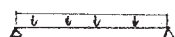
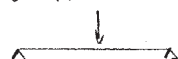
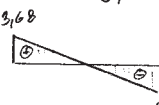
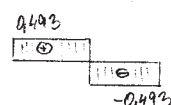
Kombinace vlastní tíhy a zatížení od sněhu měně příznivá viz. Přílohy ke statickému výpočtu; str. 9.

Z tohoto důvodu toto zatížení v modelu neuvažuji.

Y310



Y311

M_yV_z

4. Návrh a posouzení Materiálové charakteristiky

Třída oceli S235

Mez kluzu

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Mez pevnosti

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti v tahu a tlaku

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

Modul pružnosti ve smyku

$$G = 81 \text{ GPa}$$

4.1 Posouzení na 1. MS

4.1.1 Vaznice P113

Návrh: průřez IPE 160

Poznámka: Průběh vnitřních sil na nejhorší kombinaci viz. Přílohy ke statickému výpočtu; str. 6 nebo viz. Statický výpočet 6.1.

Průřezové charakteristiky

$$A = 2010 \text{ mm}^2 = 2,010 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 8,69 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 = 8,69 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = 6,83 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 = 6,83 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

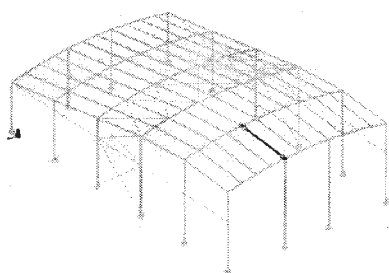
$$I_t = 3,62 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 = 3,62 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

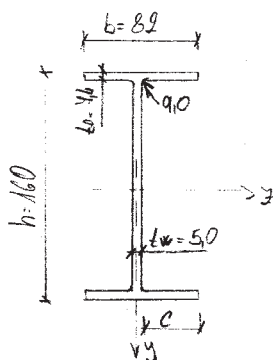
$$I_w = 3,96 \cdot 10^9 \text{ mm}^6 = 3,96 \cdot 10^{-9} \text{ m}^6$$

$$W_{pl,y} = 1,238 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 = 1,238 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 2,06 \cdot 10^4 \text{ mm}^3 = 2,06 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

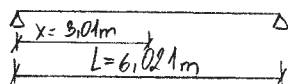
P113



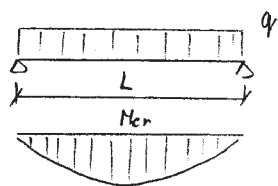


$$d = h_w = 124,2 \text{ mm}$$

$$c = \frac{b}{2} - q = \frac{82}{2} - 9 = 32 \text{ mm}$$



součinitele c_1, c_2, c_3
(ČSN EN 1993-1-1; Tab. NB.3.2)



Zařídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Stojina

$$\frac{d}{t_w} \leq 42 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{124,2}{5,0} = 25,44 ; 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 1 = 42$$

$$25,44 < 42 \Rightarrow \text{Stojina třídy 1}$$

Pásnice

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{32}{7,4} = 4,32 ; 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

$$4,32 < 9 \Rightarrow \text{Pásnice třídy 1}$$

Posouzení na ohyb a osový tlak při klopení

Vstupní hodnoty v místě $x = 3,01 \text{ m}$, pro VY 144

$$N_{Ed} = -6,13 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -3,04 \text{ kNm}$$

Podmínka

$$\frac{N_{Ed}}{\alpha_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\alpha_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\alpha_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\alpha_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

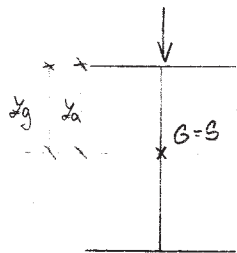
Potřebné součinitele

• součinitele c_1, c_2, c_3

$$c_1 = 1,13$$

$$c_2 = 0,46$$

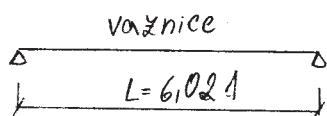
$$c_3 = 0,53$$



$$z_a = \frac{h}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = \beta \cdot L = 1 \cdot 6,021 = 6,021 \text{ m}$$



• křivka klopení $\Rightarrow \alpha$

Válcované I průřezy

$$h/b > 1,2 \Rightarrow \alpha$$

$$160/82 = 1,95 > 1,2 \Rightarrow \alpha$$

• součinitel imperfekce

$$L = 0,21$$

• součinitel vzpěrné délky

$$k_z = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

• souřadnice působistě zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = z_a - z_s = 80 - 0 = 80 \text{ mm}$$

• součinitel nesymetrie průřezu

$$z_j = 0,0$$

$$N_{dK} = A \cdot f_y = 2,01 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 472,35 \text{ kN}$$

$$M_{y,RK} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,238 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 29,093 \text{ kNm}$$

Vybočení \perp k ose y

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 8,69 \cdot 10^6}{6021^2} = 496823 \text{ N}$$

Poměrná ztláhlost

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2010 \cdot 235}{496823}} = 0,945 > 0,2$$

$$\phi_y = 0,5 [1 + L (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\phi_y = 0,5 [1 + 0,21 (0,945 - 0,2) + 0,945^2] = 1,06$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,06 + \sqrt{1,06^2 - 0,945^2}} = 0,648$$

$$\chi_y \leq 1,0$$

$$0,648 < 1,0$$

• křivka klopení $y-z \Rightarrow b$

$$h/b > 1,2$$

$$1,95 > 1,2 ; l_f \leq 40 \text{ mm}$$

$$l_f = 4,4 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow b$$

• součinitel imperfekce

$$\lambda = 0,34$$

Vybočení \perp k ose z

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 6,83 \cdot 10^5}{6,021^2} = \underline{39048 \text{ N}}$$

Poměrná ztláhlost

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot I_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2010 \cdot 235}{39048}} = \underline{3,448 > 0,2}$$

$$\phi_y = 0,5 [1 + \lambda (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\phi_y = 0,5 [1 + 0,34 (3,448 - 0,2) + 3,448^2] = \underline{4,15}$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{4,15 + \sqrt{4,15^2 - 3,448^2}} = \underline{0,045}$$

$$\chi_y \leq 1,0$$

$$0,045 < 1,0$$

Bezrozměrný parametr kroucení

$$\chi_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$\chi_{wt} = \frac{\pi}{1 \cdot 6,021} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 3,96 \cdot 10^9}{81 \cdot 10^3 \cdot 3,62 \cdot 10^4}} = \underline{0,248}$$

Bezrozměrný parametr působivosti zatížení
vzhledem ke středu smyku

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_y \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{G \cdot I_t}}$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot 80}{1 \cdot 6,021} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 6,83 \cdot 10^5}{81 \cdot 10^3 \cdot 3,62 \cdot 10^4}} = \underline{0,292}$$

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_x \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 6,021} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 6,83 \cdot 10^5}{81 \cdot 10^3 \cdot 3,62 \cdot 10^4}} = \underline{0}$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_\varphi} \left[\sqrt{1 + \eta_{cr}^2 + (C_2 \xi_g - C_3 \xi_j)^2} - (C_2 \xi_g - C_3 \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,10}{1} \left[\sqrt{1 + 0,248^2 + (0,46 \cdot 0,292 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,292 - 0,53 \cdot 0) \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,03$$

Průhybný kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E I_x G I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 1,03 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 6,83 \cdot 10^{-4} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 3,62 \cdot 10^{-8}}}{6,021} = 11,03 \text{ kNm}$$

(ČSN EN 1993-1-1; Tab. 6.5)

• křivka klopení $\Rightarrow b$

Valcované I průřezy

$$h/b \leq 2 \Rightarrow b$$

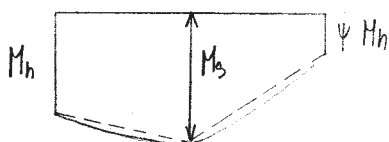
$$1,95 < 2 \Rightarrow b$$

• součinitel imperfekce

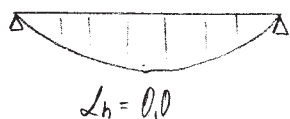
při klopení $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\beta = 0,45$$

$$\bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

součinitele c_m
(ČSN EN-1-1; Tab. B3)

$$\alpha_h = M_h / M_s$$



Poměrná ztláhlost při klopení

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot I_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,238 \cdot 10^{-4} \cdot 935 \cdot 10^3}{11,03}} = 1,624$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + 0,34 (1,624 - 0,4) + 0,45 \cdot 1,624^2 \right] = 1,4$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,4 + \sqrt{1,4^2 - 0,45 \cdot 1,624^2}} = 0,344$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0$$

$$0,344 < 1,0$$

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,624^2} = 0,349$$

$$0,344 < 0,349$$

Interakční součinitele

$$c_{my}, c_{m\varphi}, c_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,0 = 0,95$$

Iterační součinitele k_{yy}
(ČSN EN 1993-1-1; tab. B2)

$\gamma_{M1} = 1,0$ - únosnost
průřezů při posuzování

stability prutů
(ČSN EN 1993-1-1; 6.1)

$$k_{yy} = c_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\alpha_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\alpha_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + (0,945 - 0,2) \cdot \frac{6,13}{0,648 \cdot 442,35 / 1,0} \right) = 0,964$$

$$k_{yy} = 0,964 \leq 0,95 \left(1 + 0,8 \cdot \frac{6,13}{0,648 \cdot 442,35 / 1,0} \right) = 0,965$$

$$k_{yy} = 0,964 < 0,965$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\alpha_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 3,478}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{6,13}{0,045 \cdot 442,35 / 1,0} \right] = 0,914$$

$$k_{zy} = 0,914 \geq \left[1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\alpha_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = 0,914 \geq \left[1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{6,13}{0,045 \cdot 442,35 / 1,0} \right] = 0,945$$

$$k_{zy} = 0,914 \neq 0,945$$

Momenty v důsledku posunu těžišťové osy,
pro průřezy třídy 4

$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\alpha_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\alpha_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\alpha_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\alpha_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{6,13}{0,648 \cdot 442,35 / 1,0} + 0,964 \cdot \frac{3,04 + 0,0}{0,344 \cdot 29,093 / 1,0} = 0,29 < 1,0$$

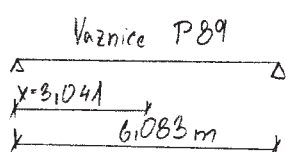
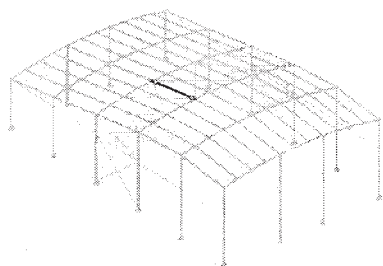
$$\frac{6,13}{0,045 \cdot 442,35 / 1,0} + 0,945 \cdot \frac{3,04 + 0,0}{0,344 \cdot 29,093 / 1,0} = 0,45 < 1,0$$

$$\text{RFEM} \rightarrow 0,29 < 1,0$$

$$0,45 < 1,0$$

Vyhovuje
viz. Přílohy ke statickému výpočtu 2.5.
Při posudku jsem neuvažovala zatížení ve
směru osy z . $M_{y,Ed} = -0,04 \text{ kNm}$, je to moment
od vlastní tíhy a vzhledem k velikosti jej zanedbávám.

P89



• Účinnost průřezu kterékoliv
tridy (CSN EN 1993-1-1, 6.1)
 $\gamma_{H0} = 1,0$

4.1.2 Vaznice P89

Návrh: průřez IPE 160

Poznámka: Průběh vnitřních sil na nejhorší kombinaci viz. Přílohy ke statickému výpočtu, str. 9

Průřezové charakteristiky viz. Statický výpočet 4.1.1

Posouzení na šikmý ohyb

Vstupní hodnoty v místě $x = 3,041$, pro K42

$$N_{Ed} = -1,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 19,84 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,06 \text{ kNm}$$

Pro I průřezy není nutné uvažovat účinek osové síly:

• při ohybu okolo osy y-y, pokud jsou splněny podmínky:

$$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{H0}} = \frac{2010 \cdot 235}{1,0} = 472\,350 \text{ N} = \underline{472,35 \text{ kN}}$$

$$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot 472,35 = 118,09 \text{ kN}$$

$$1,4 \text{ kN} < 118,09 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{H0}} = \frac{0,5 \cdot 124,2 \cdot 5 \cdot 235}{1,0} = 744\,300 \text{ N} = \underline{744,3 \text{ kN}}$$

$$1,4 \text{ kN} < 744,3 \text{ kN}$$

• při ohybu okolo osy z-z, pokud je splněna podmínka:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{H0}} = \frac{124,2 \cdot 5 \cdot 235}{1,0} = 149\,460 \text{ N} = \underline{149,46 \text{ kN}}$$

$$1,4 \text{ kN} < 149,46 \text{ kN}$$

Podmínka

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \right]^3 \leq 1$$

$$L=2$$

$$\beta = 5 \cdot n \quad \beta = 1$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1,4}{442,35} = 0,003$$

$$\beta = 5 \cdot 0,003 = 0,015 \rightarrow \beta = 1$$

Návrhový plastický moment

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,238 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 29,093 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,06 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 6,13 \text{ kNm}$$

Posudek:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[\frac{19,84}{29,093} \right]^2 + \left[\frac{0,06}{6,13} \right]^2 = 0,48 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

viz. Přílohy ke statickému výpočtu 4.5

$$RFEM \rightarrow 0,44 < 1,0$$

4.1.3 Sloup 2 řada, P2+P13

Návrh: průřez HEB 300

Poznámka: Průběh vnitřních sil na nejhorší kombinaci

viz. Přílohy ke statickému výpočtu, str. 23

nebo viz. Statický výpočet 3.5

Průřezové charakteristiky

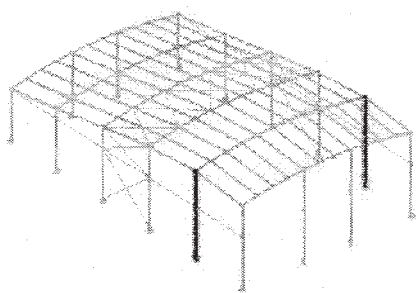
$$A = 14,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 = 14,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

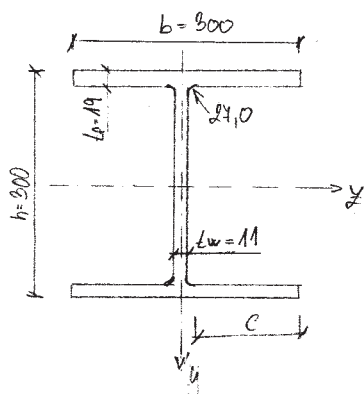
$$I_y = 2,514 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 = 2,514 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 8,56 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 = 8,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_t = 18,6 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 = 18,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

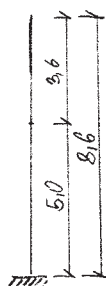
$$I_w = 1,688 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6 = 1,688 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$





$$d = h_w = 208 \text{ mm}$$

$$c = \frac{b}{2} - t_f = \frac{300}{2} - 19 = 123 \text{ mm}$$



$$W_{pl,y} = 18,68 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 = 18,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 8,4 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 = 8,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = \sqrt{235 / 235} = 1,0$$

Stojina

$$\frac{d}{t_w} \leq 42 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{208}{11} = 18,9 \quad ; \quad 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 1 = 42$$

$$18,9 < 42 \Rightarrow \text{Stojina třídy 1}$$

Pásmnice

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{123}{19} = 6,5 \quad ; \quad 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

$$6,5 < 9 \Rightarrow \text{Pásmnice třídy 1}$$

Posouzení na ohyb a osový tlak při klopení

Vstupní hodnoty v místě $x = 0,0 \text{ m}$; pro $V \neq 60$

$$N_{Ed} = -201,51 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -69,69 \text{ kNm}$$

Podmínka:

$$\frac{N_{Ed}}{\alpha_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\alpha_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\alpha_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\alpha_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

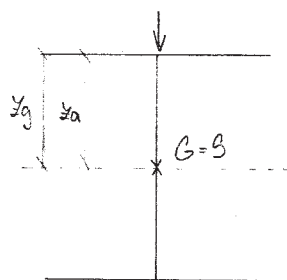
Potřebné součinitele

• součinitel vzpěrné délky

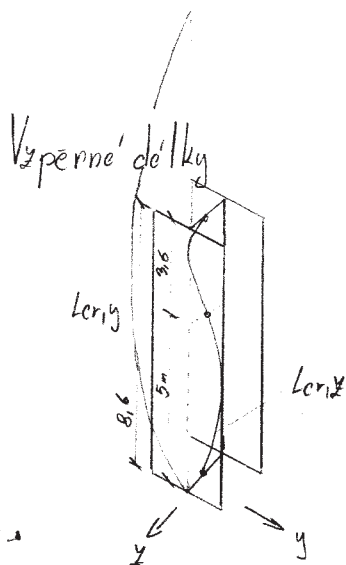
$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$



$$z_a = \frac{h}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ mm}$$



$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 2 \cdot 8,6 = 17,2 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L = 1 \cdot 5 = 5 \text{ m}$$

• kritická klopění $\Rightarrow b$

$$\frac{h}{b} \leq 1,2 \quad t_f \leq 100 \text{ mm} \Rightarrow$$

$$y-y \rightarrow b$$

$$z-z \rightarrow c$$

$$\frac{h}{b} = \frac{300}{300} = 1 < 1,2$$

$$t_f = 19 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

$$y-y \rightarrow b$$

$$z-z \rightarrow c$$

• součinitel imperfekce

$$\alpha = 0,34 \text{ pro } b$$

$$\alpha = 0,49 \text{ pro } c$$

• souřadnice působícího zatížení vzhledem ke střední ose

$$z_g = z_a - z_s = 150 - 0 = 150 \text{ mm}$$

• součinitel nesymetrie průřezu

$$\eta_y = 0,0$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 14,9 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 3501,5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 18,68 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 438,98 \text{ kNm}$$

Vybočení \perp k ose y

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 2,511 \cdot 10^8}{17,200^2} = 1463348 \text{ N}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{14900 \cdot 235}{1463348}} = 1,41 > 0,2$$

$$\phi_y = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\phi_y = 0,5 [1 + 0,34 (1,41 - 0,2) + 1,41^2] = 1,4$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,4 + \sqrt{1,4^2 - 1,41^2}} = 0,344$$

$$\chi_y \leq 1,0$$

$$0,344 < 1,0$$

Vybočení \perp k ose z

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 8,56 \cdot 10^4}{5000^2} = 4096640 \text{ N}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{14900 \cdot 235}{4096640}} = 0,4 > 0,2$$

$$\phi_z = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

$$\phi_z = 0,5 [1 + 0,49 (0,4 - 0,2) + 0,4^2] = 0,84$$

Součinitel vřpěrnosti

$$\alpha_2 = \frac{1}{\phi_2 + \sqrt{\phi_2^2 - \lambda_2^2}} = \frac{1}{0,84 + \sqrt{0,84^2 - 0,42^2}} = 0,421$$

$$\alpha_2 \leq 1,0$$

$$0,421 < 1,0$$

Bezrozměrný parametr působící zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot x_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot 150}{1 \cdot 5000} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 8,56 \cdot 10^4}{81 \cdot 10^3 \cdot 18,6 \cdot 10^5}} = 1,03$$

Bezrozměrný parametr kroucení

$$\chi_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$\chi_{wt} = \frac{\pi}{1 \cdot 5000} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 1,688 \cdot 10^4}{81 \cdot 10^3 \cdot 18,6 \cdot 10^5}} = 0,964$$

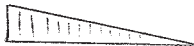
Bezrozměrný parametr nesymetrie

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot x_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 5000} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 8,56 \cdot 10^4}{81 \cdot 10^3 \cdot 18,6 \cdot 10^5}} = 0,0$$

ČSN EN 1993-1-1; Tab. NB.3.1

Men

 $\psi = 0$ • součinitel c_1, c_2, c_3

$$c_{1,0} = 1,44 \quad ; \quad c_{1,1} = 1,85$$

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0}) \cdot \chi_{wt} \leq c_{1,1}$$

$$c_1 = 1,44 + (1,85 - 1,44) \cdot 0,964 = 1,85$$

$$c_1 = 1,85 = 1,85$$

$$c_2 = 0,5$$

$$c_3 = 1,0$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_2} \left[\sqrt{1 + \eta_{wl}^2 + (c_2 \cdot \xi_g - c_3 \cdot \xi_j)^2} - (c_2 \cdot \xi_g - c_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,85}{1} \left[\sqrt{1 + 0,964^2 + (0,5 \cdot 1,03 - 10,0)^2} - (0,5 \cdot 1,03 - 10,0) \right]$$

$$\mu_{cr} = 1,49$$

Pružný kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_2 \cdot G \cdot I_t}}{l}$$

$$M_{cr} = 1,49 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 8,56 \cdot 10^5 \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 18,6 \cdot 10^4}}{5,0} = 1850,88 \text{ kNm}$$

(ČSN EN 1993-1-1; Tab. 6.5)

• křivka klopení $\Rightarrow b$

váleované I průřezy

$$h/b \leq 2 \Rightarrow b$$

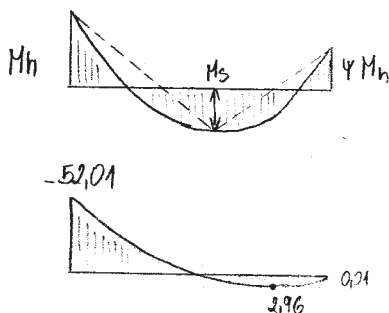
$$300/300 = 1 < 2 \Rightarrow b$$

• součinitel imperfekce

při klopení $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\beta = 0,45$$

$$\bar{\alpha}_{LT,0} = 0,4$$

součinitel α_m
(ČSN EN 1993-1-1; Tab. B.3.)

Poměrná štíhlost při klopení

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot I_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{18,68 \cdot 10^4 \cdot 235 \cdot 10^3}{1850,88}} = 0,484$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 [1 + 0,34 (0,484 - 0,4) + 0,45 \cdot 0,484^2] = 0,604$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,604 + \sqrt{0,604^2 - 0,45 \cdot 0,484^2}} = 0,96$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0$$

$$\chi_{LT} = 0,96 < 1,0$$

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,484^2} = 4,4$$

$$\chi_{LT} = 0,96 < 4,4$$

Interakční součinitel

$$\chi_s = M_s / M_h$$

$$\chi_s = 2,96 / (-52,01) = 0,057$$

 Ψ = poměr koncových momentů na posuzovaném úseku

$$\Psi = 0,0$$

$$c_{my}, c_{m\psi}, c_{mLT} = 0,2 + 0,8 \chi_s \geq 0,4$$

$$c_{my}, c_{m\psi}, c_{mLT} = 0,2 + 0,8 \cdot 0,057 = 0,246 \neq 0,4$$

$$c_{my}, c_{m\psi}, c_{mLT} = 0,4$$

Iterační součinitele k_{iy}
(ČSN EN 1993-1-1; Tab. B2)

$$k_{yy} = c_{my} \left(1 + (\bar{\alpha}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\alpha_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\alpha_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,4 \left(1 + (1,41 - 0,2) \cdot \frac{201,51}{0,377 \cdot 3501,51} \right) = 0,444$$

$$k_{yy} = 0,444 \leq 0,4 \left(1 + 0,8 \cdot \frac{201,51}{0,377 \cdot 3501,51} \right) = 0,449$$

$$k_{yy} = 0,444 \neq 0,449$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\alpha}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\alpha_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,4}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{201,51}{0,421 \cdot 3501,51/1,0} \right] = 0,963$$

$$k_{zy} = 0,963 \geq \left[1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\alpha_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = 0,963 \geq \left[1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{201,51}{0,421 \cdot 3501,51/1,0} \right] = 0,944$$

$$k_{zy} = 0,963 > 0,944$$

Momenty v důsledku posunu těžištové osy, pro průřezy třídy 4.

$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\alpha_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\alpha_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\alpha_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\alpha_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{201,51}{0,377 \cdot 3501,5} + 0,449 \cdot \frac{69,69 + 0,0}{0,96 \cdot 438,98/1,0} = 0,23 < 1,0$$

$$\frac{201,51}{0,421 \cdot 3501,5} + 0,963 \cdot \frac{69,69 + 0,0}{0,96 \cdot 438,98/1,0} = 0,24 < 1,0$$

Vyhovuje

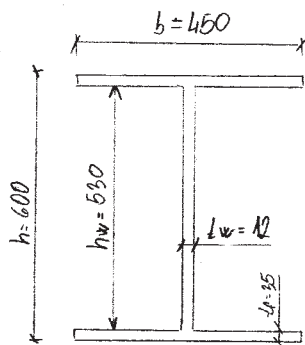
$$RFEM \Rightarrow 0,24 < 1,0$$

$$0,24 < 1,0$$

viz Přílohy ke statickému výpočtu 9.5
Drobný rozdíl výsledků, mohl vzniknout
rozdílným zaokrouhlováním hodnot

4.1.4 Vazník

Návrh průřezu vazníku a posudek na nejhorší kombinaci vnitřních sil viz Přílohy ke statickému výpočtu 4.

Posouzení vazníku na boulení

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{l_w} \leq \frac{42 \cdot \varepsilon}{\eta}$$

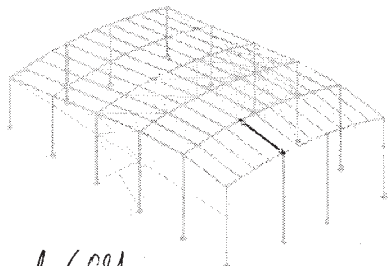
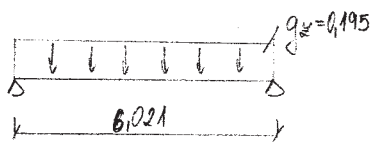
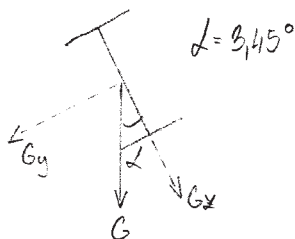
$$\frac{530}{12} \leq \frac{42 \cdot 1}{1,2}$$

$$\underline{44 < 60} \quad \text{Vyhovuje}$$

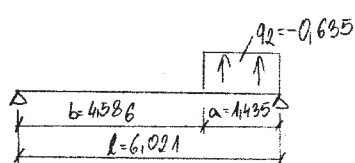
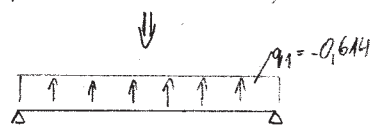
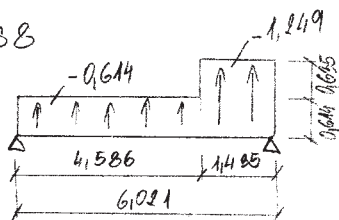
Splněním podmínky není třeba vazník posuzovat na boulení

Ostatní prvky konstrukce, nebyly posouzeny ručním výpočtem a jejich návrh a posudek viz Přílohy ke statickému výpočtu.

P113 - IPE 160

 $l = 6,021 \text{ m}$ 

Z38



4.2 Posouzení na LMS

4.2.1 Vaznice P113

$$V_{Z45} = Z_{31} + Z_{38}$$

Z51

$$\text{hmotnost průřezu } 15,8 \text{ kg/m} = 0,158 \text{ kN/m}$$

$$G = 0,158 \text{ kN/m}$$

$$G_y = \sin \alpha \cdot G = \sin 3,45 \cdot 0,158 = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}$$

$$G_x = \cos \alpha \cdot G = \cos 3,45 \cdot 0,158 = 0,1544 \text{ kN/m}$$

• průhyb od vlastní tíhy

$$w_{G,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{G_x \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,1544 \cdot 6,021^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 8,69 \cdot 10^{-6}}$$

$$w_{G,y} = 1,449 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,449 \text{ mm}$$

• průhyb od střešního pláště $q_z = 0,195 \text{ kN/m}$

$$w_{q,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_z \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,195 \cdot 6,021^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 8,69 \cdot 10^{-6}}$$

$$w_{q,y} = 1,83 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,83 \text{ mm}$$

$$w_{Z51} = w_{G,y} + w_{q,y} = 1,449 + 1,83 = 3,309 \text{ mm}$$

Z38

$$w_{q1,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_1 \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{-0,614 \cdot 6,021^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 8,69 \cdot 10^{-6}}$$

$$w_{q1,y} = -5,46 \cdot 10^{-3} \text{ m} = -5,46 \text{ mm}$$

$$w_{q2,y} = \frac{q_2 \cdot a^3 \cdot b}{24 \cdot E \cdot I_y \cdot l} \cdot (4 \cdot l - 3 \cdot a)$$

$$w_{q2,y} = \frac{-0,635 \cdot 1,435^3 \cdot 4,586}{24 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 8,69 \cdot 10^{-6} \cdot 6,021} \cdot (4 \cdot 6,021 - 3 \cdot 1,435)$$

$$w_{q2,y} = -6,45 \cdot 10^{-4} \text{ m} = -0,645 \text{ mm}$$

$$w_{Z38} = w_{q1,y} + w_{q2,y} = -5,46 - 0,645 = -6,405 \text{ mm}$$

$$w = w_{Z51} + w_{Z38} = 3,309 - 6,405$$

$$w = -3,1 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{200} = \frac{6021}{200} = 30,1 \text{ mm}$$

Podmínka

$$w \leq w_{lim}$$

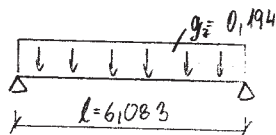
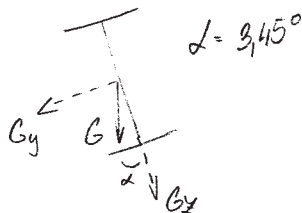
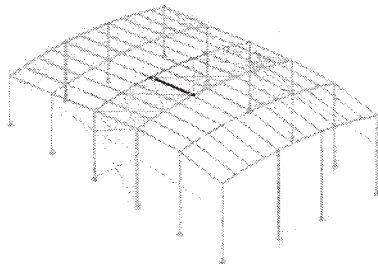
$$3,1 \text{ mm} < 30,1 \text{ mm}$$

$$\frac{w}{w_{lim}} \leq 1,0$$

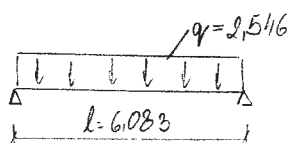
$$\frac{3,1}{30,1} = 0,1 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení deformací v RFEM $0,11 < 1,0$
viz. Přílohy ke statickému výpočtu 2.5

P89



Y32



4.2.2 Vaznice P89

$$KZ 204 = Y31 + Y32$$

Y31

$$G = 0,158 \text{ kN/m}$$

$$G_y = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}$$

$$G_z = 0,1544 \text{ kN/m}$$

• deformace od vlastní tíhy

$$w_{G,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{G_z \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,1544 \cdot 6,083^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 8,69 \cdot 10^{-6}}$$

$$w_{G,z} = 1,541 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,541 \text{ mm}$$

• deformace od vlastní tíhy

$$w_{q,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_z \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,194 \cdot 6,083^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 8,69 \cdot 10^{-6}}$$

$$w_{q,y} = 1,895 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,895 \text{ mm}$$

$$w_{Y31} = w_{G,z} + w_{q,y} = 1,541 + 1,895 = 3,436 \text{ mm}$$

Y32

$$w_{q,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,546 \cdot 6,083^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 8,69 \cdot 10^{-6}}$$

$$w_{q,z} = 0,0249 \text{ m} = 24,9 \text{ mm}$$

$$W = W_{y21} + W_{y12} = 3,436 + 24,9 = 28,336 \text{ mm}$$

Podmínka

$$\frac{W}{W_{lim}} \leq 1,0$$

$$W_{lim} = \frac{l}{200} = \frac{6083}{200} = 30,4 \text{ mm}$$

$$\frac{W}{W_{lim}} = \frac{28,336}{30,4} = 0,93$$

$$0,93 < 1,0 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení deformací v RFEM $0,93 < 1$

viz Přílohy ke statickému výpočtu 4.5

Deformace ve směru y jsem neposuzovala, jsou vyvozeny jen vlastní tíhou a jejich velikost bude zanedbatelná.

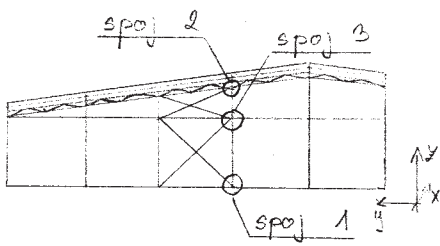
4.2.3 Posouzení mezní žtíhlosti

Podmínka: $\lambda \leq \lambda_{lim}$

$$\text{Žtíhlost prutu} \quad \lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\text{Poloměr setrvačnosti} \quad i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Prvek	$L_{cr,y}$ [mm]	$L_{cr,z}$ [mm]	i_y [mm]	i_z [mm]	λ_y	λ_z	λ_{lim}	Posudek
Pažník TR 461x41	6000	/	25,5	/	235,3	/	250	Vyhovuje
Sloup HEB 300	14200	5000	130	45,8	132,3	65,96	180	Vyhovuje
Ztužitel TR 337x26	4026	/	11,0	/	360	/	400	Vyhovuje



8. Spoje

8.1 Spoj 1 - kotvení

Maximální hodnoty reakcí v patě sloupu

$$\text{Kč 143 } \max M_y, \max P_x \quad (\gamma_{S1} + 1,5 \cdot \gamma_{S4})$$

$$M_y = 82,05 \text{ kNm}$$

$$P_y = 32,64 \text{ kN}$$

$$P_x = 25,39 \text{ kN}$$

$$P_y = 0,39 \text{ kN}$$

$$\text{Kč 34 } \max P_z \quad (1,35 \cdot \gamma_{S1} + 1,5 \cdot \gamma_{S2} + 1,5 \cdot 0,4 \cdot \gamma_{S10})$$

$$P_z = 225,25 \text{ kN}$$

$$M_y = 17,44 \text{ kNm}$$

$$P_x = 2,19 \text{ kN}$$

$$P_y = 0,18 \text{ kN}$$

$$\text{Kč 144 } \max P_y, \min P_z \quad (\gamma_{S1} + 1,5 \cdot \gamma_{S8})$$

$$P_y = 36,82 \text{ kN}$$

$$P_x = 17,46 \text{ kN}$$

$$M_y = 29,58 \text{ kNm}$$

$$P_z = -2,56 \text{ kN (Tah)}$$

Materiálové charakteristiky

Ocel S235 - viz Statický výpočet 5.

Beton C16/20

Válcová pevnost v tlaku

$$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$$

Výpočtová pevnost v tlaku

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{16}{1,5}$$

$$f_{cd} = 10,667 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

Návrh: - Kotevní šroub zabetonovaný s kotevní hlavou

$$M30 - D = 32 \text{ mm}$$

$$d_0 = 32 + 50 = 82 \text{ mm} \quad (\text{tolerance } 50 \text{ mm})$$

$$\text{únosnost} = 90 \text{ kN}$$

$$\text{min. hloubka} = 360 \text{ mm}$$

Vzdálenost šroubů

$$a = 3 \cdot D = 3 \cdot 32 = 96 \text{ mm} \Rightarrow 99 \text{ mm}$$

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 82 = 98,4 \text{ mm} \Rightarrow 100 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 82 = 98,4 \text{ mm} \Rightarrow 99,5 \text{ mm}$$

Návrh palního plechu

$$a = 480 \text{ mm}$$

$$t_p = 40 \text{ mm}$$

$$b = 440 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} = 225,25 \text{ kN} (P_2)$$

$$\text{Podmínka: } N_{Ed} \leq N_{jd}$$

$$f_{rdu} = f_{cd} \cdot k_j = 10,664 \cdot 1,5 = 16 \text{ MPa}$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot f_{rdu} = \frac{2}{3} \cdot 16 = 10,664 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{mo}}} = 40 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 10,664 \cdot 1,0}} = 108 \text{ mm} \Rightarrow 85 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 0,244 \text{ m}^2$$

$$m = \frac{1}{2} f_{jd} \cdot c^2 = \frac{1}{2} \cdot 10,664 \cdot 10^3 \cdot 0,085^2 = 38,53 \text{ kNm}$$

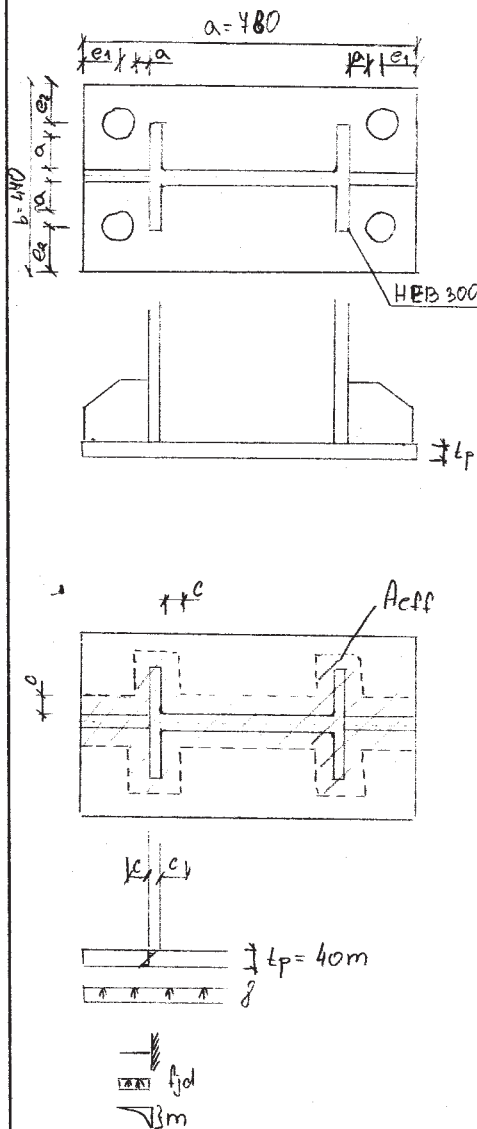
$$w = \frac{1}{6} t_p^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,04^2 = 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_p \leq f_{yd}$$

$$\sigma_p = \frac{m}{w} = \frac{38,53}{2,64 \cdot 10^{-4}} = 144504 \text{ kN/m}^2 = 144,5 \text{ MPa}$$

$$144,5 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa}$$

$$N_{jd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 0,244 \cdot 10,664 \cdot 10^3 = 2634,4 \text{ kN}$$



$$k_j = 1,5$$

$$\beta_j = \frac{2}{3}$$

Podmínka

$$N_{Ed} \leq N_{jd}$$

$$225,25 \text{ kN} < 2634,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Ověření kotvení na působení momentu

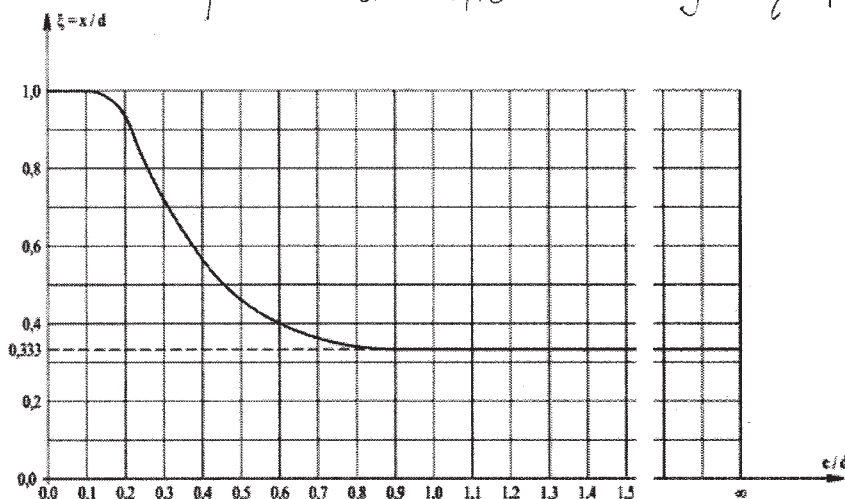
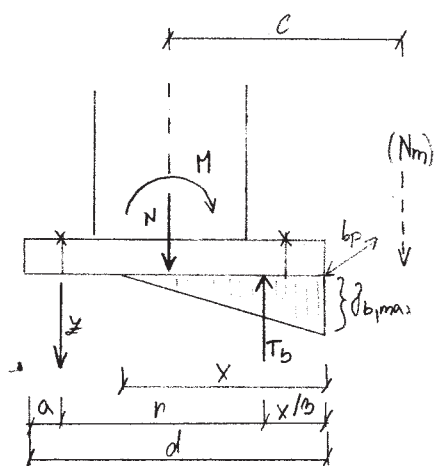
$$M_y = 82,05 \text{ kNm} \quad (M_y)$$

$$N_{Ed} = 32,59 \text{ kN} \quad (P_z)$$

Pro excentricitu normálové síly

$$c = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{82,05}{32,59} = 2,52 \text{ m}$$

$$\text{Stanovíme poměr } \frac{c}{d} = \frac{2,52}{0,48} = 5,23 \Rightarrow \text{graf } \xi = 0,333$$



Délka tláčené oblasti v betonu

$$x = \xi \cdot d = 0,333 \cdot 0,45 = 0,16 \text{ m}$$

Rameno n

$$n = d - a - \frac{x}{3} = 0,48 - 0,1 - \frac{0,16}{3} = 0,59 \text{ m}$$

Z rovnovážných podmínek rovnováhy vyplývá

$$T_b = \frac{N_{Ed} (c + \frac{x}{2} - a)}{n} = \frac{32,59 (2,52 + \frac{0,16}{2} - 0,1)}{0,59} = 155,2 \text{ kN}$$

Tahová síla na kotvení šrouby

$$Z = T_b - N_{Ed} = 155,2 - 32,59 = 122,61 \text{ kN}$$

Tahová síla na 1 žroub - 4 žrouby $\Rightarrow 2$ tážené

$$F_{t,Ed} = \frac{Z}{n} = \frac{122,61}{2} = 61,305 \text{ kN}$$

$$61,305 \text{ kN} < 90 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Posouzení napětí v betonu

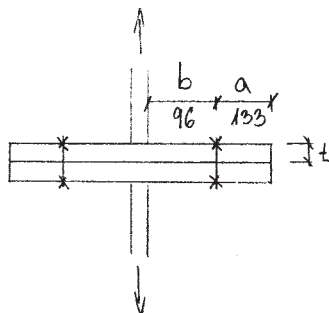
$$\text{Podmínka: } \sigma_{b,max} \leq f_{cd}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 T_b}{x \cdot b_p} = \frac{2 \cdot 155,2 \cdot 10^3}{0,26 \cdot 0,44} = 2,54 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 2,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b,max} \leq f_{cd}$$

$$2,65 \text{ MPa} < 10,664 \text{ MPa}$$

Vyhovuje



Posouzení páčení

$$\text{Podmínka: } t \geq t_c$$

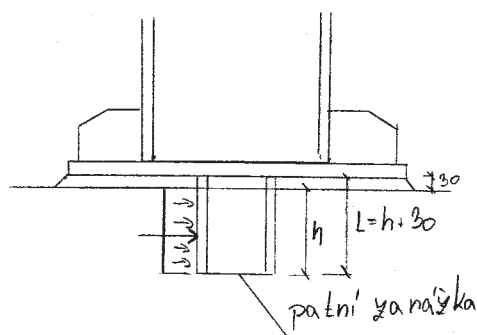
$$t_c = 4,3 \sqrt{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \sqrt{\frac{96 \cdot 32^2}{133}} = 38,88 \text{ mm}$$

$$t = 40 \text{ mm}$$

$$t \geq t_c$$

$$40 \text{ mm} > 38,88 \text{ mm}$$

Vyhovuje



Návrh a posouzení patní žebračky

Návrh: průřez IPE 160

$$V_x = 25,39 \text{ kN} (P_x)$$

$$V_y = 36,82 \text{ kN} (P_y)$$

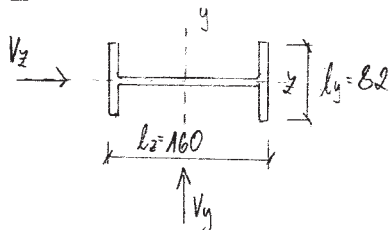
Posouzení v rovině xy

$$h_{min,x} = \frac{V_x}{f_y \cdot \frac{f_{cd}}{\gamma_c}} = \frac{25,39 \cdot 10^3}{82 \cdot \frac{16}{1,5}} = 28 \text{ mm} \Rightarrow 50 \text{ mm}$$

$$h_{1,x} = 50 \text{ mm}$$

$$L = 50 + 30 = 80 \text{ mm}$$

IPE 160



Únosnost betonu

$$\sigma_c \leq f_{cd}$$

$$\sigma_{c,z} = \frac{V_z}{A} = \frac{25,39 \cdot 10^3}{82 \cdot 50} = 6,19 \text{ MPa}$$

$$6,19 < 10,664 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení v rovině y

$$h_{min,y} = \frac{V_y}{l_z \cdot \frac{f_{cd}}{\gamma_c}} = \frac{36,82 \cdot 10^3}{160 \cdot \frac{16}{1,5}} = 21,54 \text{ mm} \Rightarrow 50 \text{ mm}$$

$$h_{iy} = 50 \text{ mm}$$

Únosnost betonu

$$\sigma_c \leq f_{cd}$$

$$\sigma_{c,y} = \frac{V_y}{A} = \frac{36,82 \cdot 10^3}{160 \cdot 50} = 4,6 \text{ MPa}$$

$$4,6 < 10,664 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení svaru patní zarážky

$$a = 6 \text{ mm}$$

Minimální délka svaru

$$l_{min} > \max(30 \text{ mm}; 6 \cdot a) = (30 \text{ mm}; 6 \cdot 6) = (30; 36) \text{ mm}$$

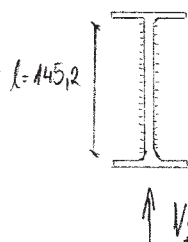
$$l_{min} > 36 \text{ mm}$$

Korelační součinitel

$$\rho_w = 0,8 \quad (\text{Pro ocel S235})$$

Únosnost svarů $\gamma_{M2} = 1,25$

(ČSN EN 1993-1-8; Tab. 2.1)



IPE 160

Posouzení stojiny

$$\tau_{II} = \frac{V_z}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{25,39 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 145,2} = 14,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_I = 0; \sigma_I = 0$$

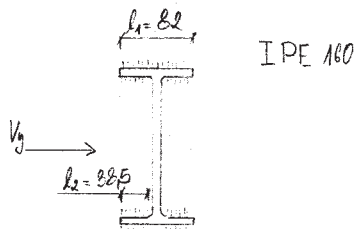
Podmínka

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3(\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\rho_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3(0^2 + 14,54^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$25,24 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje



IPE 160

Posouzení pásní

$$\tau_{II} = \frac{V_y}{2 \cdot a \cdot l_1 + 4 \cdot a \cdot l_2} = \frac{36,82 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 82 + 4 \cdot 6 \cdot 28,5} = 19,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_I = 0; \delta_I = 0$$

Podmínka

$$\sqrt{\delta_I^2 + 3(\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\text{bw} \cdot 8 \text{ mm}}$$

$$\sqrt{0 + 3(0 + 19,3^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$33,43 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Patní zarážka bude ovařena po celém obvodu.

Posouzení svaru sloupu a patní desky
na ohybový moment.

$$a = 6 \text{ mm}$$

Minimální délka svaru

$$l_{\min} > \max(30 \text{ mm}; 6 \cdot a) = (30; 6 \cdot 6) = (30; 36) \text{ mm}$$

$$l_{\min} > 36 \text{ mm}$$

Při výpočtu momentu setrvačnosti zanedbávám
 napojení pásnice a stojiny a také neuvažuji
 svary na koncích pásnice a výztuh.

$$M_y = 82,05 \text{ kNm}$$

$$V_x = 25,39 \text{ kN} (P_x)$$

$$V_y = 0,39 \text{ kN} (P_y)$$

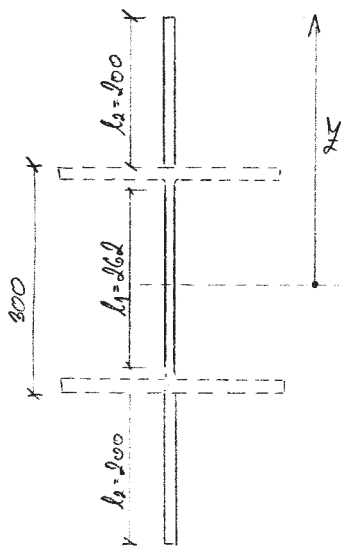
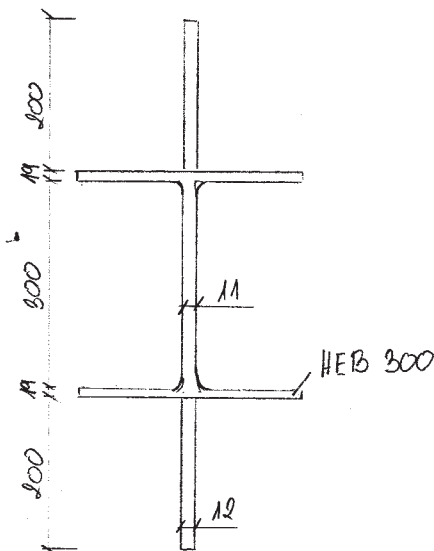
$$N_{Ed} = 32,64 \text{ kN} (P_x)$$

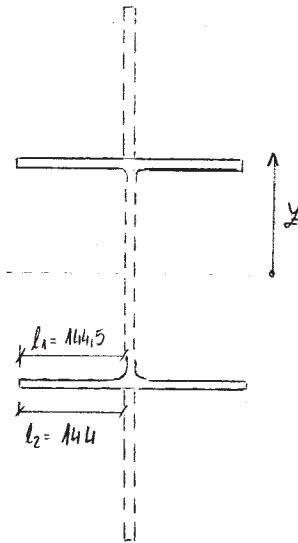
$$I_w = 44,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Vx přenese jen stojina a výztuha

$$A_w = 2 \cdot a \cdot l_1 + 4 \cdot a \cdot l_2 = 2 \cdot 6 \cdot 262 + 4 \cdot 6 \cdot 200 = 4944 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{300}{2} + 200 = 350 \text{ mm}$$





$$\tau_{II} = \frac{V_y}{A_w} = \frac{25,29 \cdot 10^3}{4944} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = \frac{M_y}{I_w} \cdot y = \frac{82,05 \cdot 10^6}{44,2 \cdot 10^4} \cdot 350 = 60,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{\sigma_H}{\sqrt{2}} = \frac{60,84}{\sqrt{2}} = 43,02 \text{ MPa}$$

Podmínka

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_1 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{43,02^2 + 3(43,02^2 + 3,2^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 43,02 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$86,21 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 43,02 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

Vy přenesl jen pásnice

Vyhovuje

$$A_w = 4 \cdot a \cdot l_1 + 4 \cdot a \cdot l_2 = 4 \cdot 6 \cdot 144,5 + 4 \cdot 6 \cdot 144 = 6924 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{II} = \frac{V_y}{A_w} = \frac{0,39 \cdot 10^3}{6924} = 0,056 \text{ MPa}$$

$$y = \frac{300}{2} + \frac{6}{2} = 153 \text{ mm}$$

$$\sigma_M = \frac{M_y}{I_w} \cdot y = \frac{82,05 \cdot 10^6}{44,2 \cdot 10^4} \cdot 153 = 26,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{26,6}{\sqrt{2}} = 18,81 \text{ MPa}$$

Podmínka

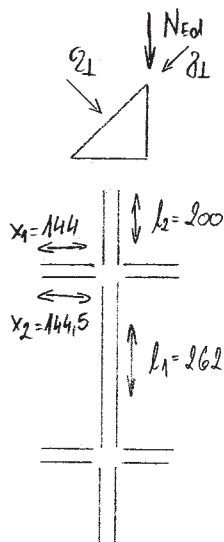
$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_1 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{18,81^2 + 3(18,81^2 + 0,056^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 18,81 < \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$34,62 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 18,81 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení svaru sloupu a patní desky na tlak



$$N_{Ed} = 225,25 \text{ kN (P}_y)$$

$$l = 2 \cdot l_1 + 4 \cdot l_2 + 4 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2$$

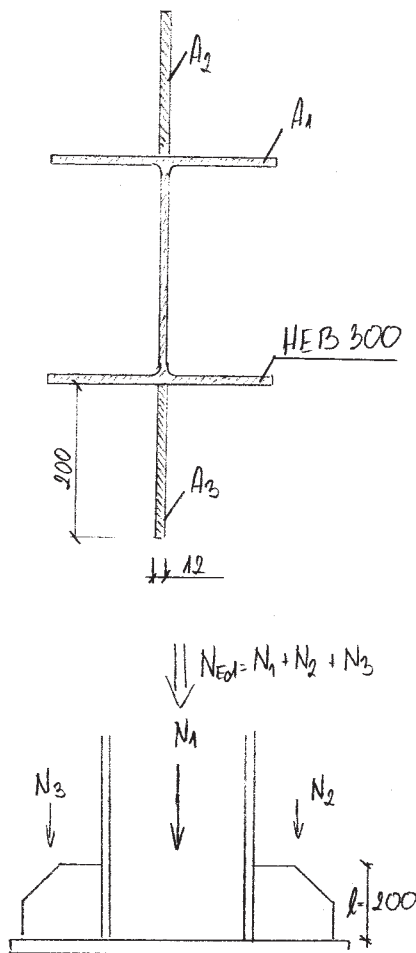
$$l = 2 \cdot 262 + 4 \cdot 200 + 4 \cdot 144 + 4 \cdot 144,5 = 2448 \text{ mm}$$

$$a = 6 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = 0$$

$$F_{21} = F_{22} = \frac{225,25}{\sqrt{2}} = 159,2 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{F}{a \cdot l} = \frac{159,2 \cdot 10^3}{6 \cdot 2448} = 10,41 \text{ MPa}$$



Podmínka

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_1 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{10,41^2 + 3(10,41^2 + 0)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 10,41 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$21,42 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 10,41 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

Posouzení svislého svaru výztuh

Vyhovuje

$$N_{Ed} = 225,25 \text{ kN} (P_2)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 14900 + 12 \cdot 200 + 12 \cdot 200 = 19400 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_2}{A} = \frac{N_2}{N}$$

$$N_2 = \frac{A_2}{A} \cdot N = \frac{12 \cdot 200}{19400} \cdot 225,25 = 24,44 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = 0; \quad \tau_1 = 0$$

$$\tau_{II} = \frac{N_2}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{24,44 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 200} = 11,43 \text{ MPa}$$

Podmínka

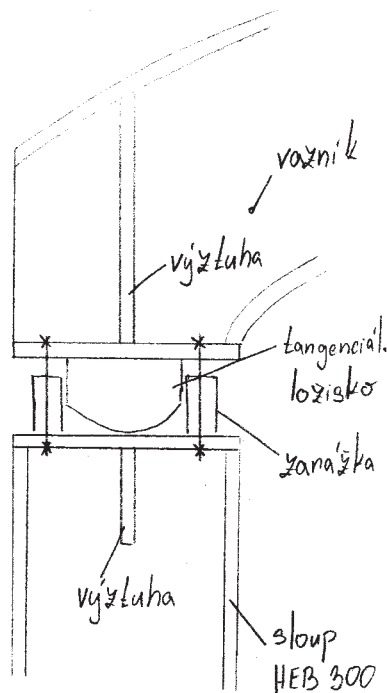
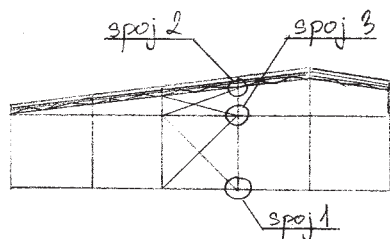
$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0 + 3(0 + 11,43^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$19,8 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Sloup bude k patnímu plechu po celém obvodu.



8.2 Spoj 2 - Uložení vazníku na sloup
Maximální hodnoty vnitřních sil ve špičce sloupu

$$KZ\ 34 \max N (1,35 \cdot Y_{S1} + 1,5 \cdot Y_{S2} + 1,5 \cdot 0,4 Y_{S10})$$

$$N_{Ed} = 196,26 \text{ kN}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$V_x = 2,19 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,58 \text{ kN}$$

$$KZ\ 144 \max V_x, \max V_y (Y_{S1} + 1,5 \cdot Y_{S8})$$

$$V_x = 10,45 \text{ kN}$$

$$V_y = 2,44 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 14,9 \text{ kN}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

$$KZ\ 143 \min N (Y_{S1} + 1,5 \cdot Y_{S4})$$

$$N_{Ed} = 14,11 \text{ kN}$$

$$V_x = 5,14 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,61 \text{ kN}$$

$$M_y = 0 \text{ kNm}$$

Návrh šroubů - šrouby pouze konstrukční

$$M16 : d = 16 \text{ mm}$$

$$d_o = 18 \text{ mm}$$

$$A = 157 \text{ mm}^2$$

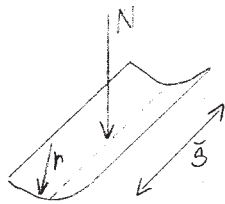
$$\text{Pevnostní třída } 4.6 \quad f_{yb} = 240 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$$

Vzdálenost šroubů

$$a = 3 \cdot d_o = 3 \cdot 18 = 54 \text{ mm} \approx 55 \text{ mm}$$

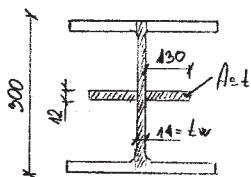
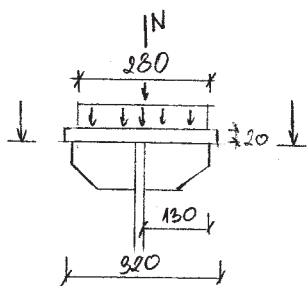
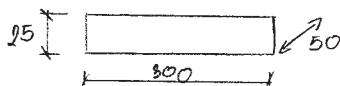
$$c = 12 \cdot d_o = 12 \cdot 18 = 216 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$



$$h = 0,25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

$$b = 0,28 \text{ m} = 280 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,2$$



Návrh tangenciálního ložiska

Podmínka: $\sigma_H < f_{dH}$

$$\sigma_H = 0,423 \cdot \sqrt{\frac{N \cdot E}{b \cdot r}} = 0,423 \cdot \sqrt{\frac{196,26 \cdot 210 \cdot 10^6}{0,28 \cdot 0,25}} = 324546 \text{ kN/m}^2 = \underline{324,6 \text{ MPa}}$$

$$f_{dH} = 4 \cdot f_{yd} = 4 \cdot 235 = \underline{940 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_H < f_{dH}$$

$$324,6 \text{ MPa} < 940 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Únosnost tangenciálního ložiska na tření

Podmínka:

$$V_{Ed,y} \leq \mu \cdot N_{Ed} = 0,2 \cdot 14,9 = 2,98$$

$$2,44 \text{ kN} < 2,98 \text{ kN}$$

Vyhovuje

$$V_{Ed,z} \leq \mu \cdot N_{Ed} = 0,2 \cdot 14,9 = 2,98$$

$$10,45 \text{ kN} > 2,98 \text{ kN}$$

Nevyhovuje

Únosnost zarážky v tlaku na $V_{Ed,z} = 10,45 \text{ kN}$

$$V_{Ed,rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(0,3 \cdot 0,025) \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 1762,5 \text{ kN}$$

Podmínka: $V_{Ed,z} \leq V_{Ed,rd}$

$$10,45 \text{ kN} < 1762,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Návrh výztuhy

$$l = 15 \cdot l_w \cdot \varepsilon = 15 \cdot 11 \cdot 1 = 165 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{196,26}{0,3 \cdot 0,011 + 2 \cdot 0,15 \cdot 0,012} = 30540 \text{ kN/m}^2 = \underline{30,54 \text{ MPa}}$$

Podmínka:

$$\sigma \leq f_{yd}$$

$$30,54 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení svaru desky se sloupem

V_y je přenesena třením, posouzení na $\max V_y = 10,45 \text{ kN}$
 odp $N = 14,9 \text{ kN}$

V_y přeneše pouze slojina

$$a = 4 \text{ mm}$$

Minimální délka svaru

$$l_{\min} > \max(30 \text{ mm}; 6a) = (30; 6 \cdot 4) = (30; 24) \text{ mm}$$

$$l_{\min} > 30 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{V_y}{4 \cdot l_1 \cdot a} = \frac{10,45 \cdot 10^3}{4 \cdot 125 \cdot 4} = 5,23 \text{ MPa}$$

$$F_{\sigma_1} = F_{\tau_1} = \frac{N}{\sqrt{2}} = \frac{14,9}{\sqrt{2}} = 10,54 \text{ MPa}$$

$$\Sigma l = 4 \cdot l_1 + 4 \cdot l_2 + 4 \cdot l_3 + 2 \cdot l_4 = 4(125 + 130 + 144,5) + 2 \cdot 300 = 2198 \text{ mm}$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = \frac{F}{a \cdot \Sigma l} = \frac{10,54 \cdot 10^3}{4 \cdot 2198} = 1,2 \text{ MPa}$$

Podmínka

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\alpha_s \cdot \gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_1 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{1,2^2 + 3(1,2^2 + 5,23^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 1,2 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$9,34 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 1,2 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na $\max N = 196,25 \text{ kN}$; V_x a V_y budou přeneseny třením

$$\tau_{II} = 0$$

$$F_{\sigma_1} = F_{\tau_1} = \frac{N}{\sqrt{2}} = \frac{196,25}{\sqrt{2}} = 138,48 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = \frac{F}{a \cdot \Sigma l} = \frac{138,48 \cdot 10^3}{4 \cdot 2198} = 15,48 \text{ MPa}$$

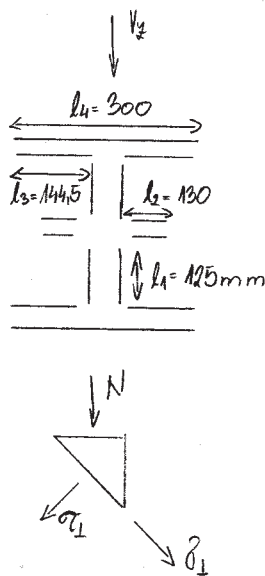
Podmínka

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\alpha_s \cdot \gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_1 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{15,48^2 + 3(15,48^2 + 0)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 15,48 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$31,56 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 15,48 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Sloup bude k desce přivařen po celém obvodu



Posouzení svaru desky s vazníkem

V_z je přenesena třením, posouzení na max $V_z = 10,45 \text{ kN}$
 odp $N = 14,9 \text{ kN}$

V_z přenesou pouze slojina

$$a = 4 \text{ mm} ; a = 6 \text{ mm}$$

Minimální délka svaru

pro 4 mm $l_{\min} > 30 \text{ mm}$

pro 6 mm $l_{\min} > 36 \text{ mm}$

$$\tau_{II} = \frac{V_z}{4 \cdot l_1 \cdot a} = \frac{10,45 \cdot 10^3}{4 \cdot 126,5 \cdot 4} = 5,16 \text{ MPa}$$

$$F_{\theta 1} = F_{\theta 2} = \frac{N}{\sqrt{2}} = \frac{14,9}{\sqrt{2}} = 10,54 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = \frac{F}{a \cdot 4 \cdot (l_1 + l_2) + a \cdot 2 \cdot l_3 + a \cdot l_4} = \frac{10,54 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot (126,5 + 130) + 6 \cdot 2 \cdot 219 + 6 \cdot 450}$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = 1,12 \text{ MPa}$$

Podmínka

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_1 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{1,12^2 + 3(1,12^2 + 5,16^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 1,12 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$9,21 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 1,12 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na max $N = 196,25 \text{ kN}$; V_z a V_y budou přeneseny třením

$$\tau_{II} = 0$$

$$F_{\theta 1} = F_{\theta 2} = \frac{N}{\sqrt{2}} = \frac{196,25}{\sqrt{2}} = 138,48 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = \frac{F}{A} = \frac{138,48 \cdot 10^3}{9432} = 14,4 \text{ MPa}$$

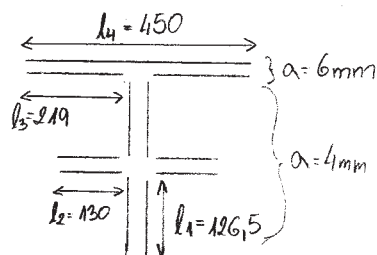
Podmínka

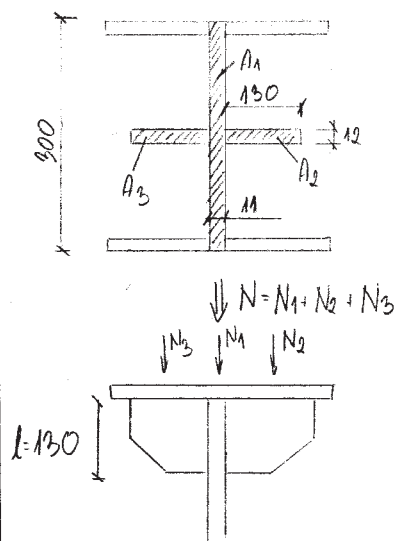
$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_1 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{14,4^2 + 3(14,4^2 + 0)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 14,4 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$29,4 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 14,4 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Vazník bude k desce přivařen po celém obvodu.



Posouzení svislého svaru výztuh

$$N_{Ed} = 196,26 \text{ kN}$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 11 \cdot 300 + 12 \cdot 130 + 12 \cdot 130 = 6420 \text{ mm}^2$$

N se přerozdělí v poměru ploch

$$\frac{A_2}{A} = \frac{N_2}{N}$$

$$N_2 = \frac{A_2}{A} \cdot N = \frac{12 \cdot 130}{6420} \cdot 196,25 = 44,69 \text{ kN}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$\sigma_1 = 0 \quad ; \quad \tau_1 = 0$$

$$\tau_{II} = \frac{N_2}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{44,69 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 130} = 45,86 \text{ MPa}$$

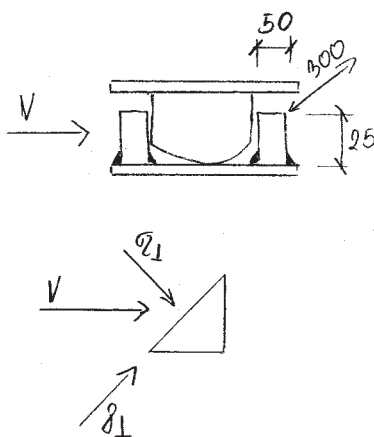
Podmínka

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{nebo} \quad \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$49,43 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Stejný svar použijeme u výztuhy na vazníku, bude proveden po celé délce výztuhy

Posouzení svaru na zarážce

$$V = V_z - \mu \cdot N_{Ed} = 10,45 - 0,2 \cdot 14,9 = 4,49 \text{ kN}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = 0$$

$$F_{\sigma 1} = F_{\tau 1} = \frac{4,49}{\sqrt{2}} = 5,28 \text{ kN}$$

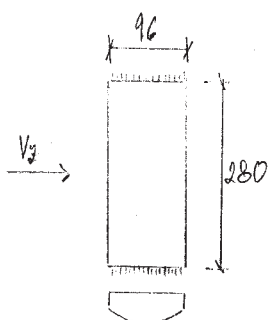
$$\sigma_1 = \tau_1 = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{5,28 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 300} = 1,76 \text{ MPa}$$

Podmínka

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_1 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{1,76^2 + 3(1,76^2 + 0)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 1,76 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$3,52 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 1,76 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$



Posouzení svaru tangenciálního ložiska

V_y bude přenesena třením a V_z bude přenesena třením jen částečně, viz. předchozí posudek.

$V = 4,49 \text{ kN}$ - bude přenesena jen podle'ným svařem

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$\sigma_I = 0; \quad \sigma_{II} = 0$$

$$\sigma_{II} = \frac{V}{2a \cdot l} = \frac{4,49 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 96} = 8,2 \text{ MPa}$$

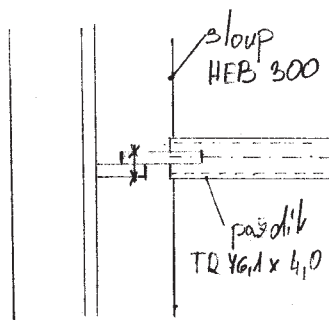
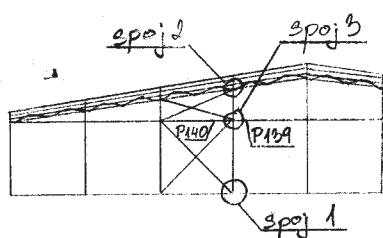
Podmínka

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3(\sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0 + 3(0 + 8,2^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$14,2 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje



8.3 Spoj 3 - napojení pařdíku

Pařdík: průřez TR $\phi 46,1 \times 4,0$

Maximální normálové síly v pařdíku

$$P140 \quad N_{Ed} = 16,28 \text{ kN}$$

$$P139 \quad N_{Ed} = 13,28 \text{ kN}$$

Návrh šroubu

$$M16 \quad d = 16 \text{ mm}$$

$$d_o = 18 \text{ mm}$$

$$A = 154 \text{ mm}^2$$

Pevnostní třída 4.6.

$$f_{yb} = 240 \text{ MPa}$$

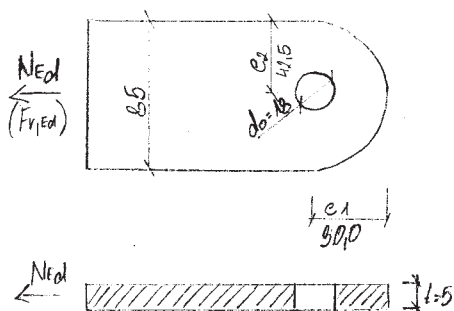
$$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$$

Vzdálenosti pro šroub

$$a = 3 \cdot d_o = 3 \cdot 18 = 54 \text{ mm}$$

$$c_1 = 1,2 \cdot d_o = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \Rightarrow 30,0 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_o = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \Rightarrow 42,5 \text{ mm}$$



$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm}$$

Spoj je navrhnut jako jednostranný přepřátovaný spoj s 1 šroubem s podložkou pod hlavou i matičí.

Geometrie připojovaného plátu

Návrhová únosnost šroubu v otažení

$$\text{Podmínka} \quad F_{vEd} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{b,Rd} \leq \frac{16 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{8 \gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot L_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{8 \gamma_{M2}}$$

Ve směru zatížení - pro šrouby na konci

$$L_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30,0}{3 \cdot 18} = 0,56$$

$$L_b = \min \left(L_d, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1,0 \right) = \left(0,56, \frac{400}{360}, 1,0 \right) = \left(0,49, 1,11, 1,0 \right) = 0,56$$

kolmo na směr zatížení - šrouby u okraje

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7, 2,5 \right) = \left(2,8 \cdot \frac{45,5}{18} - 1,7, 2,5 \right) =$$

$$k_1 = \min (4,9; 2,5) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot L_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{8 \gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 5}{1,25} = 32,26 \cdot 10^3 \text{ N} = 32,26 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} \leq \frac{16 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{8 \gamma_{M2}} = \frac{16 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 5}{1,25} = 34,56 \cdot 10^3 \text{ N} = 34,56 \text{ kN}$$

$$32,26 < 34,56 \text{ kN}$$

$$\frac{32,26}{34,56} = 0,93 < 1$$

Vyhovuje

Podmínka

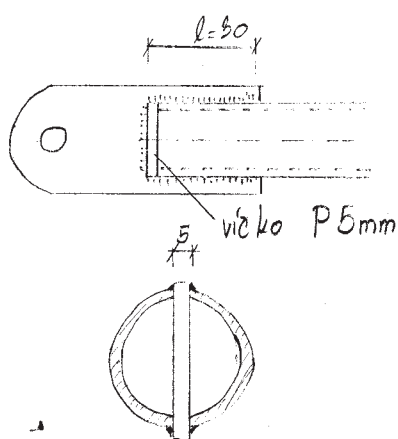
$$F_{vEd} \leq F_{b,Rd}$$

$$P110 \quad 16,28 \text{ kN} < 32,26 \text{ kN}$$

$$P139 \quad 13,28 \text{ kN} < 32,26 \text{ kN}$$

Vyhovuje

(ČSN EN 1993-1-8, Tab. 8.4)

 $\gamma_v = 0,6$ pro třídu 4.6.Únosnost šroubu ve střihu

Podmínka

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{f_v \cdot A_{ub} \cdot A}{s_{H2}} = \frac{0,6 \cdot 100 \cdot 154}{1,25} = 90,144 \cdot 10^3 \text{ N} = 90,144 \text{ kN}$$

$$P140 \quad 16,28 \text{ kN} < 90,144 \text{ kN}$$

$$P139 \quad 13,28 \text{ kN} < 90,144 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení svaru připojovaného plátu o paždík

$$a = 5 \text{ mm}$$

Minimální délka svaru

$$l_{min} > \max(30 \text{ mm}; 6a) = (30; 6 \cdot 5) = (30; 18) \text{ mm}$$

$$l_{min} \geq 30 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = 0; \quad \sigma_{\parallel} = 0$$

$$\sigma_{II}^{140} = \frac{N}{4 \cdot a \cdot l} = \frac{16,28 \cdot 10^3}{4 \cdot 5 \cdot 30} = 45,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{II}^{139} = \frac{N}{4 \cdot a \cdot l} = \frac{13,28 \cdot 10^3}{4 \cdot 5 \cdot 30} = 36,89 \text{ MPa}$$

Podmínka

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\sigma_{\parallel}^2 + \sigma_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$P140 \quad \sqrt{0 + 3(0 + 45,22^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$48,32 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

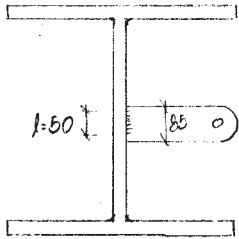
Vyhovuje

$$P139 \quad \sqrt{0 + 3(0 + 36,89^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$63,9 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Na okraji paždíku bude víčko z plechu o tl. 5 mm. Paždík bude přivařen po celé délce spoje společně s víčkem.

Posouzení svaru připojovaného plátu na sloup

$$a = 4 \text{ mm}$$

Minimální délka svaru

$$l_{\min} > \max(30 \text{ mm}; 6a) = (30; 6 \cdot 4) = (30; 24) \text{ mm}$$

$$l_{\min} > 30 \text{ mm}$$

$$\Sigma_{II} = 0$$

$$F_{81}^{140} = F_{82}^{140} = \frac{N}{\sqrt{2}} = \frac{16,28}{\sqrt{2}} = 11,51 \text{ kN}$$

$$F_{81}^{139} = F_{82}^{139} = \frac{N}{\sqrt{2}} = \frac{13,28}{\sqrt{2}} = 9,39 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp}^{140} = \sigma_{\perp}^{140} = \frac{F_{81}^{140}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{11,51 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 50} = 28,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp}^{139} = \sigma_{\perp}^{139} = \frac{F_{81}^{139}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{9,39 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 50} = 23,48 \text{ MPa}$$

Podmínka

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\sigma_{\parallel}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad \wedge \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$P140 \sqrt{28,48^2 + 3(28,48^2 + 0)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 28,48 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$54,56 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 28,48 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$P139 \sqrt{23,48^2 + 3(23,48^2 + 0)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \quad \wedge \quad 23,48 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$46,96 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \wedge \quad 23,48 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

Svar bude po celém obvodu

Vyhovuje

8.4 Připojení sloupidel pro spoj 1, 2, 3

Sloupidlo: průřez TR $\phi 33,4 \times 2,6$

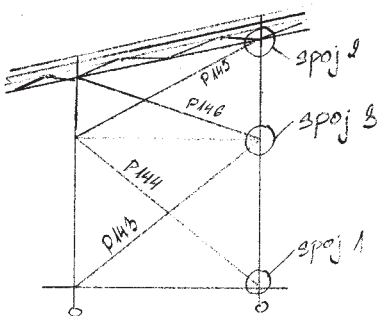
Maximální normálové síly

$$P143 \quad N_{Ed} = 21,19 \text{ kN}$$

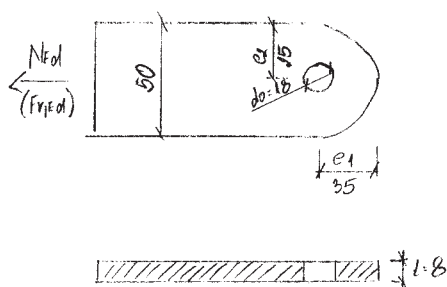
$$P144 \quad N_{Ed} = 45,93 \text{ kN}$$

$$P145 \quad N_{Ed} = 4,08 \text{ kN}$$

$$P146 \quad N_{Ed} = 14,81 \text{ kN}$$



M16 - se závity na okraji



Návrh šroubu

M16 $d = 16 \text{ mm}$ $d_o = 18 \text{ mm}$

$$A: \pi r^2 = \pi \cdot 8^2 = 201 \text{ mm}^2$$

Pevnostní třída C.B. $f_{yb} = 240 \text{ MPa}$ $f_{ub} = 400 \text{ MPa}$

Vzdálenosti pro šroub

$$a = 3 \cdot d_o = 3 \cdot 18 = 54 \text{ mm}$$

$$e_1 = 1,2 \cdot d_o = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \Rightarrow 35 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_o = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \Rightarrow 25 \text{ mm}$$

Spoj je navrhnut jako jednostranný přeplátovaný spoj s 1 šroubem s podložkami pod maticemi

Návrhová únosnost šroubu v otláčení

Podmínka

$$F_{V,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{b,Rd} \leq \frac{15 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

ve směru zatížení - pro šrouby na konci

$$L_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_o} = \frac{35}{3 \cdot 18} = 0,65$$

$$L_b = \min(L_d, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1,0) = (0,65; \frac{600}{240}; 1,0) = (0,65; 1,64; 1,0) = 0,65$$

kolmo na směr zatížení šrouby u okraje

$$k_1 = \min(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_o} - 1,4; 2,5) = (2,8 \cdot \frac{25}{18} - 1,4; 2,5) =$$

$$k_1 = \min(2,19; 2,5) = 2,19$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,19 \cdot 0,65 \cdot 360 \cdot 18 \cdot 1,8}{1,25} = 52,146,16 \text{ N} = 52,146 \text{ kN}$$

Podmínka

$$F_{V,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$P_{143} \quad 21,19 \text{ kN} < 52,446 \text{ kN}$$

$$P_{144} \quad 45,93 \text{ kN} < 52,446 \text{ kN}$$

$$P_{145} \quad 4,08 \text{ kN} < 52,446 \text{ kN}$$

$$P_{146} \quad 14,81 \text{ kN} < 52,446 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{1,5 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 8}{1,25} = 55,3 \cdot 10^3 \text{ N} = 55,3 \text{ kN}$$

$$52,446 \text{ kN} < 55,3 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Vyhovuje

Únosnost šroubu ve strihuPodmínka

$$F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 600 \cdot 201}{1,25} = 54,89 \cdot 10^3 \text{ N} = 54,89 \text{ kN}$$

$$P_{143} \quad 21,19 \text{ kN} < 54,89 \text{ kN}$$

$$P_{144} \quad 45,93 \text{ kN} < 54,89 \text{ kN}$$

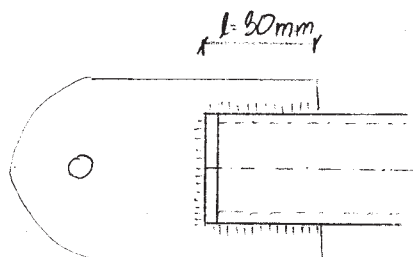
$$P_{145} \quad 4,08 \text{ kN} < 54,89 \text{ kN}$$

$$P_{146} \quad 14,81 \text{ kN} < 54,89 \text{ kN}$$

Vyhovuje

(ČSN EN 1993-1-8; Tab. 8.4)

$d_v = 0,6$ - rovina strihu
procházející částí šroubu
bez závitů

Posouzení svaru připojovaného plátu a sloupidla

$$a = 3 \text{ mm}$$

Minimální délka svaru

$$l_{min} \geq 30 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \quad ; \quad \tau_{\perp} = 0$$

$$\sigma_{\parallel} = \frac{N}{4 \cdot a \cdot l}$$

Podmínka

$$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + 3(\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3\left(\frac{N}{4 \cdot a \cdot l}\right)^2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$P143 \quad \sqrt{3 \left(\frac{21,19 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 30} \right)^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$101,95 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

$$P144 \quad \sqrt{3 \left(\frac{45,93 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 30} \right)^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$220,98 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

$$P145 \quad \sqrt{3 \left(\frac{4,08 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 30} \right)^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$34,06 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

$$P146 \quad \sqrt{3 \left(\frac{11,48 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 30} \right)^2} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$41,25 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Na konci žlužidla bude víčko z plechu tl. 5mm.
Žlužidlo bude přivařeno po celé délce spoje společně
s víčkem.

Posouzení svaru připojovaného plátu na sloup.

$$a = 4 \text{ mm}$$

Minimální délka svaru

$$l_{\min} > 30 \text{ mm}$$

Pro pruty řezaných žlužidel platí

$$\sigma_1 = 0 \quad ; \quad \sigma_{11} \neq 0 \quad ; \quad \tau_1 \neq 0$$

Podmínka

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_{11}^2)} \leq \frac{f_u}{\alpha_{sv} \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 \left[\left(\frac{F_{\tau 1}}{2 \cdot a \cdot l} \right)^2 + \left(\frac{F_{\tau 11}}{2 \cdot a \cdot l} \right)^2 \right]} \leq \frac{f_u}{\alpha_{sv} \cdot \gamma_{M2}}$$

P144

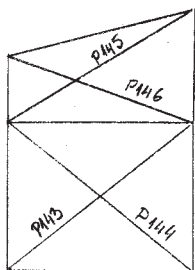
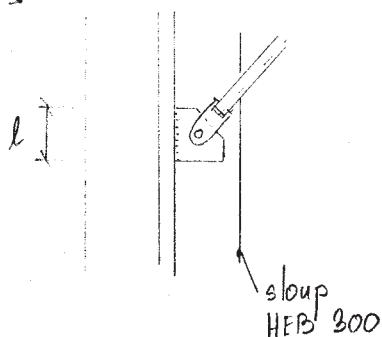
$$F_{\tau 11} = N \cdot \cos \alpha = 45,93 \cdot \cos 50,2 = 29,4 \text{ kN}$$

$$F_{\tau 1} = N \cdot \sin \alpha = 45,93 \cdot \sin 50,2 = 35,29 \text{ kN}$$

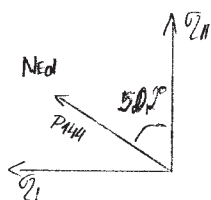
$$\sqrt{3 \left[\left(\frac{35,29 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right)^2 + \left(\frac{29,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right)^2 \right]} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

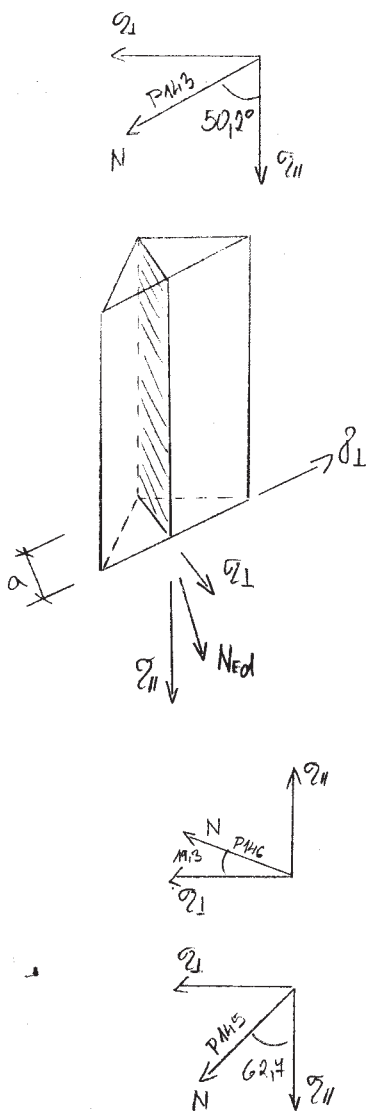
$$331,5 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje



Sténové žlužidlo





P143

$$F_{zII} = N \cos \alpha = 21,19 \cdot \cos 50,2^\circ = 13,56 \text{ kN}$$

$$F_{zI} = N \sin \alpha = 21,19 \cdot \sin 50,2^\circ = 16,28 \text{ kN}$$

$$\sqrt{3 \left[\left(\frac{16,28 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right)^2 + \left(\frac{13,56 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right)^2 \right]} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$162,9 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

P146

$$F_{zII} = N \sin \alpha = 14,81 \cdot \sin 19,3^\circ = 4,89 \text{ kN}$$

$$F_{zI} = N \cos \alpha = 14,81 \cdot \cos 19,3^\circ = 13,98 \text{ kN}$$

$$\sqrt{3 \left[\left(\frac{13,98 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right)^2 + \left(\frac{4,89}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right)^2 \right]} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$106,3 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

P145

$$F_{zII} = N \cos \alpha = 4,08 \cdot \cos 62,4^\circ = 1,93 \text{ kN}$$

$$F_{zI} = N \sin \alpha = 4,08 \cdot \sin 62,4^\circ = 3,25 \text{ kN}$$

$$\sqrt{3 \left[\left(\frac{3,25 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right)^2 + \left(\frac{1,93 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 30} \right)^2 \right]} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$50,4 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Svar mezi sloupem a připojovaným plechem bude proveden po celé délce plechu.