



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

NOSNÁ KONSTRUKCE SPORTOVNÍ HALY

LOAD BEARING STRUCTURE OF A SPORTS HALL

STATICKÝ VÝPOČET

STATIC CALCULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ladislav Kopecký

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2013



Obsah

1	SKLADBA KONSTRUKCE	4
2	VÝPOČTOVÝ MODEL	5
2.1	VAZNÍK	5
2.2	VAZNICE	5
2.3	STŘEŠNÍ PANEL	5
2.4	STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO	6
3	ZATÍŽENÍ	6
3.1	STÁLÉ	6
3.1.1	VLASNÍ TÍHA	6
3.2	PROMĚNNÉ	6
3.2.1	VÍTR	6
3.2.1.1	MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK	6
3.2.1.2	PŘÍČNÝ VÍTR	7
3.2.1.2.1	STŘEŠNÍ PLÁŠŤ	7
3.2.1.2.2	ŠTÍTOVÉ STĚNY	7
3.2.1.2.3	SVISLÉ PODÉLNÉ STĚNY	8
3.2.1.3	PODÉLNÝ VÍTR	8
3.2.1.3.1	STŘEŠNÍ PLÁŠŤ	8
3.2.1.3.2	ŠTÍTOVÉ STĚNY	9
3.2.1.3.3	TŘENÍ	9
3.2.2	SNÍH	9
3.3	KOMBINACE ZATÍŽENÍ	10
4	DIMENZOVÁNÍ	10
4.1	STŘEŠNÍ PANEL	10
4.1.1	ZATÍŽENÍ	10
4.1.2	VÝPOČTOVÝ MODEL	11
4.1.3	MATERIÁL	11
4.1.4	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY	11
4.1.5	VNITŘNÍ SÍLY	12
4.1.6	POSOUZENÍ MSÚ	12
4.1.6.1	OHYB A OSOVÝ TAH	12
4.1.6.2	SMYK	12
4.1.7	POSOUZENÍ MSP	12
4.1.7.1	PRŮHYB OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ	12
4.1.7.2	PRŮHYB OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ	13
4.1.7.3	CELKOVÝ PRŮHYB	13
4.1.8	POSOUZENÍ OSB DESKY	13
4.1.8.1	ZATÍŽENÍ	13
4.1.8.2	VÝPOČTOVÝ MODEL	13
4.1.8.3	MATERIÁL	13
4.1.8.4	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY	14

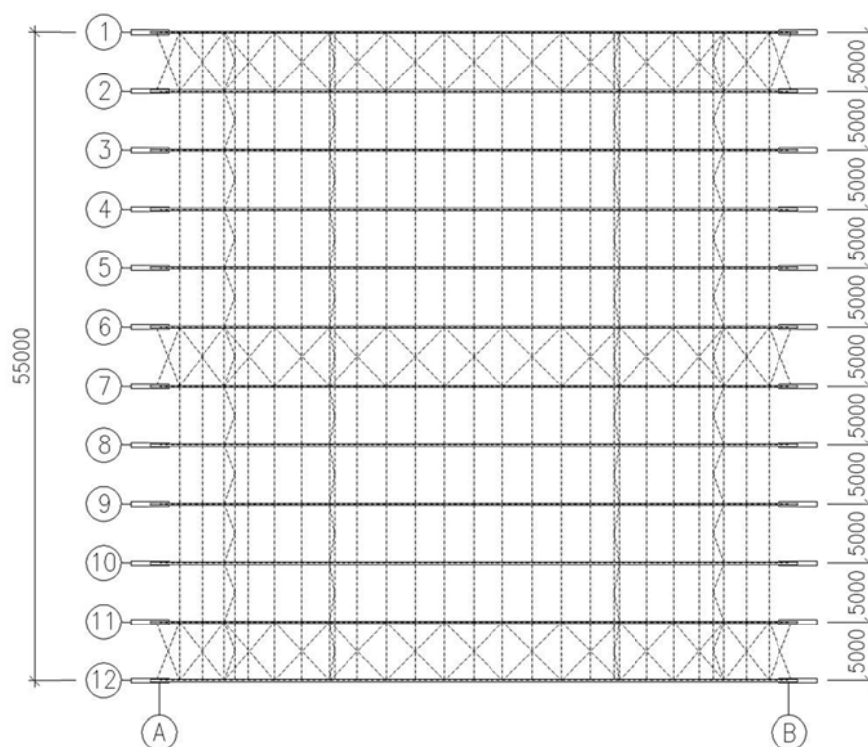
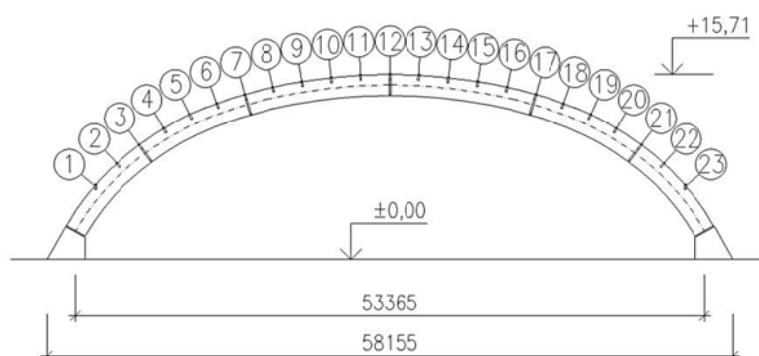


4.1.8.5	VNITŘNÍ SÍLY	14
4.1.8.6	POSOUZENÍ MSÚ	14
4.1.8.7	POSOUZENÍ MSP	14
4.2	VAZNICE	15
4.2.1	ZATÍŽENÍ	15
4.2.2	VÝPOČTOVÝ MODEL	16
4.2.3	MATERIÁL	16
4.2.4	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY	17
4.2.5	VNITŘNÍ SÍLY	17
4.2.6	POSOUZENÍ MSÚ	18
4.2.6.1	KLOPENÍ	18
4.2.6.2	ŠIKMÝ OHYB A OSOVÝ TLAK	18
4.2.6.3	SMYK	19
4.2.7	POSOUZENÍ MSP	20
4.2.7.1	PRŮHYB OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ	20
4.2.7.2	PRŮHYB OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ	21
4.2.7.3	CELKOVÝ PRŮHYB	21
4.3	VAZNÍK	22
4.3.1	ZATÍŽENÍ	22
4.3.2	VÝPOČTOVÝ MODEL	22
4.3.3	MATERIÁL	22
4.3.4	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY	23
4.3.5	VNITŘNÍ SÍLY	23
4.3.6	POSOUZENÍ MSÚ	24
4.3.6.1	ŠIKMÝ OHYB A OSOVÝ TLAK	24
4.3.6.2	KLOPENÍ	25
4.3.6.3	TAH KOLMO K VLÁKNŮM	25
4.3.6.4	SMYK	26
4.3.7	POSOUZENÍ MSP	26
4.3.7.1	PRŮHYB OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ	26
4.3.7.2	PRŮHYB OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ	26
4.3.7.3	CELKOVÝ PRŮHYB	26
5	PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO	26
5.1	ZATÍŽENÍ	26
5.2	VÝPOČTOVÝ MODEL	27
5.3	VNITŘNÍ SÍLY	27
5.4	PRŮŘEZ	27
5.5	MATERIÁL	27
5.6	POSOUZENÍ DIAGONÁLY	28
6	SPOJE	28
6.1	MONTÁŽNÍ SPOJ	28
6.1.1	VNITŘNÍ SÍLY VE SPOJI	28
6.1.2	PARAMETRY KOLÍKU A SVORNÍKŮ	28



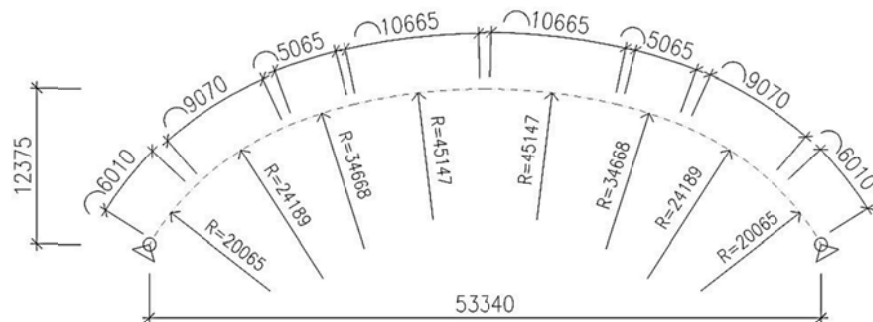
6.1.3	PARAMETRY VSAZENÉHO PLECHU	28
6.1.4	GEOMETRIE SPOJE.....	28
6.1.5	POSOUZENÍ MSÚ	29
6.1.5.1	SÍLA PŮSOBÍCÍ NA JEDEN SPOJOVACÍ PROSTŘEDEK	29
6.1.5.2	ÚNOSNOST JEDNOHO SPOJOVACÍHO PROSTŘEDKU	30
6.1.5.3	POSOUZENÍ KOLÍKOVÉHO SPOJE	30
6.2	KOTEVNÍ SPOJ OBLOUKU	30
6.2.1	REAKCE DO PODPOR	30
6.2.2	POSOUZENÍ ČEPU	31
6.2.2.1	VÝSLEDNICE SIL	31
6.2.2.2	PARAMETRY ČEPU	31
6.2.2.3	PARAMETRY PLECHU	31
6.2.2.4	GEOMETRICKÉ POŽADAVKY NA ČEPOVÝ SPOJ.....	31
6.2.2.5	POSOUZENÍ ČEPU NA STŘIH	31
6.2.2.6	POSOUZENÍ ČEPU A PLECHU NA OTLAČENÍ.....	31
6.2.2.7	POSOUZENÍ ČEPU NA OHYB.....	32
6.2.2.8	POSOUZENÍ ČEPU NA KOMBINACI STŘIHU A OHYBU	32
6.2.3	POSOUZENÍ VSAZENÉHO PLECHU	32
6.2.3.1	PARAMETRY KOLÍKU A SVORNÍKŮ	32
6.2.3.2	PARAMETRY VSAZENÉHO PLECHU.....	32
6.2.3.3	GEOMETRIE SPOJE	32
6.2.3.4	VÝSLEDNICE NA VSAZENÝ PLECH	32
6.2.3.5	ÚNOSNOST JEDNOHO SPOJOVACÍHO PROSTŘEDKU	33
6.2.3.6	POSOUZENÍ KOLÍKOVÉHO SPOJE	33

1 SKLADBA KONSTRUKCE

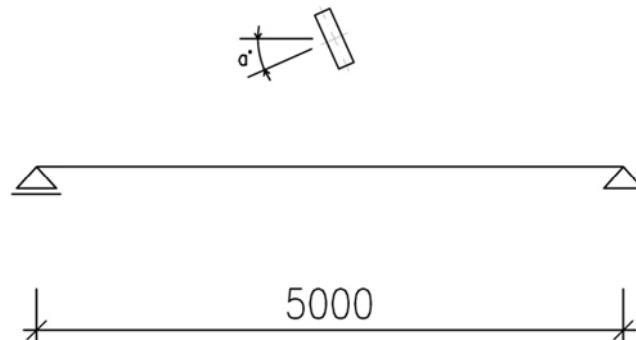


2 VÝPOČTOVÝ MODEL

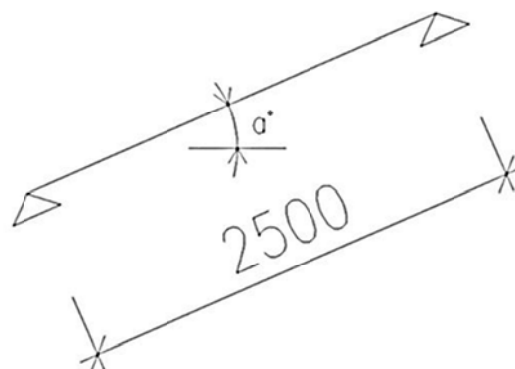
2.1 VAZNÍK



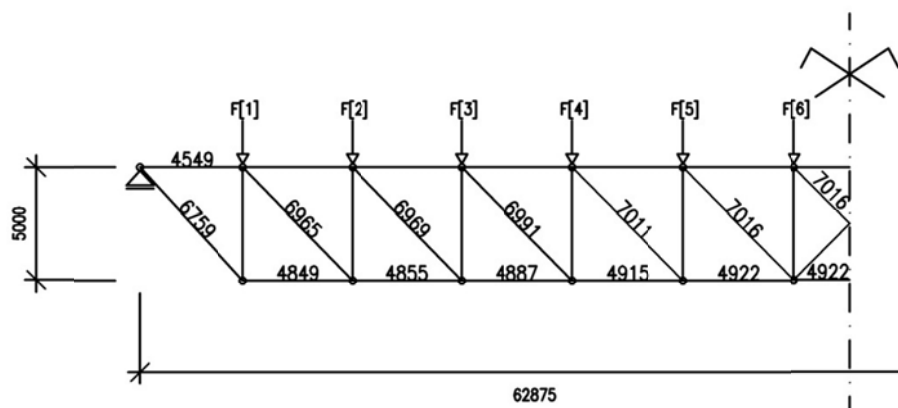
2.2 VAZNICE



2.3 STŘEŠNÍ PANEL



2.4 STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO



3 ZATÍŽENÍ

3.1 STÁLÉ

3.1.1 VLASNÍ TÍHA

- bitumenový pás – asfaltový modifikovaný pás BSB

$$g'_k = 0,06 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

- OSB deska – tl. 25 mm

$$g'_k = 0,025 \cdot 7,5 = 0,188 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

- tepelná izolace – polystyrén EPS, tl. 120 mm

$$g'_k = 0,12 \cdot 0,3 = 0,036 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

- rostlé dřevo – C22

$$g''_k = 4,1 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$$

- lepené lamelové dřevo GL24h

$$g''_k = 3,7 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$$

- podhled

$$g'_k \approx 0,2 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

- vybavení haly

$$g'_k \approx 0,1 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

3.2 PROMĚNNÉ

3.2.1 VÍTR

3.2.1.1 MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK

- lokalita – Brno

- II. větrná oblast

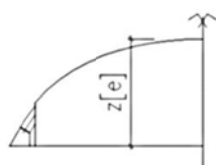
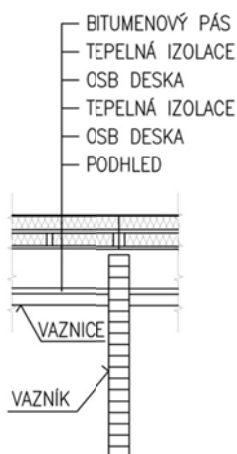
$$v_{b,o} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- III. kategorie terénu

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{\min} = 5 \text{ m}$$

$$z_e = 16 \text{ m}$$



$$v_b = v_{b,0} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

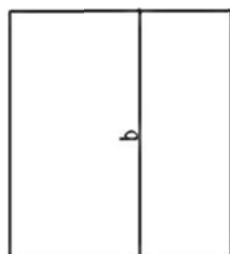
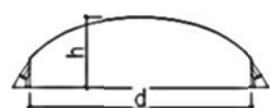
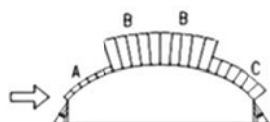
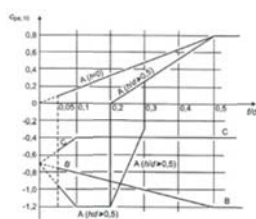
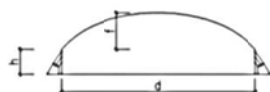
$$C_r(16) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,215 \cdot \ln \frac{16}{0,3} = 0,855$$

$$C_o(16) = 1,0$$

$$v_m(16) = C_r(16) \cdot C_o(16) \cdot v_b = 0,855 \cdot 1,0 \cdot 25 = 21,38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$I_v(16) = \frac{\sigma_v}{v_m(16)} = \frac{k_l}{C_o(16) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \frac{16}{0,3}} = 0,252$$

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



$$q_b(16) = [1 + 7 \cdot I_v(16)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(16)^2 = [1 + 7 \cdot 0,252] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,256 \cdot 21,38^2 = 790 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = \mathbf{0,790 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

3.2.1.2 PŘÍČNÝ VÍTR

3.2.1.2.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

$$\frac{h}{d} = \frac{6,624}{50,435} = 0,131$$

$$\frac{f}{d} = \frac{9,440}{50,435} = 0,187$$

	$\frac{h}{d}$	$c_{pe,10}$
A:	0,5	-1,2
	0,131	-0,13
	0	0,249

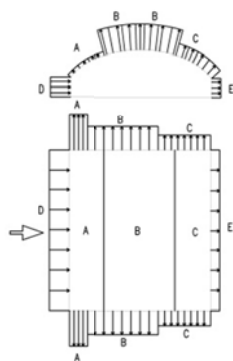
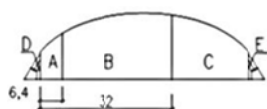
$$\text{B: } c_{pe,10} = -0,86$$

$$\text{C: } c_{pe,10} = -0,4$$

3.2.1.2.2 ŠTÍTOVÉ STĚNY

$$\frac{h}{d} = \frac{16}{50,436} = 0,319$$

$$e = \min\{b, 2 \cdot h\} = \min\{50,43; 2 \cdot 16\} = 32 \text{ m}$$



$$\frac{e}{5} = \frac{32}{5} = 6,4 \text{ m}$$

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

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

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

3.2.1.2.3 SVISLÉ PODÉLNÉ STĚNY

	$\frac{h}{d}$	$c_{pe,10}$
D:	1,0	0,8
	0,319	0,709
	0,25	0,7

	$\frac{h}{d}$	$c_{pe,10}$
E:	1,0	-0,5
	0,319	-0,318
	0,25	-0,3

3.2.1.3 PODÉLNÝ VÍTR

3.2.1.3.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

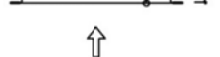
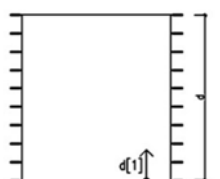
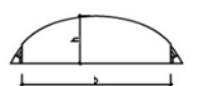
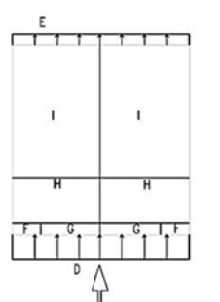
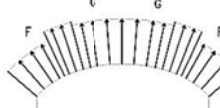
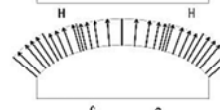
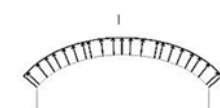
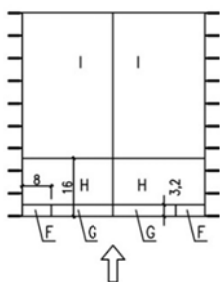
$$e = 32 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{32}{4} = 8 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{32}{10} = 3,2 \text{ m}$$





	$\alpha_0[-^\circ]$	0	5	15	30	45
$c_{pe,10}$	F	-	-1,6	-1,3	-1,1	-1,1
	G	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4
	H	-0,7	-0,7	-0,6	-0,8	-0,9
	I	-0,2	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5

3.2.1.3.2 ŠTÍTOVÉ STĚNY

$$\frac{h}{d} = \frac{16}{50,436} = 0,319$$

$$e = 32 \text{ m}$$

	$\frac{h}{d}$	D	E
$c_{pe,10}$	1	0,8	-0,5
	0,319	0,709	-0,318
	0,25	0,7	-0,3

3.2.1.3.3 TŘENÍ

$$d_1 = \min\{2 \cdot b; 4 \cdot h\} = \min\{2 \cdot 50,436; 4 \cdot 16,065\} = 64,26 \text{ m}$$

$$d = 55 \text{ m} < d_1 = 64,26 \text{ m} - \text{tření nenastane}$$

3.2.2 SNÍH

-lokalita Brno – II. sněhová oblast

$$s_k = 0,8 \text{ kPa} - \text{www.snehovamapa.cz}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{9,44}{50,436} = 0,187 > \frac{1}{8} = 0,125$$

stav I.- rovnoměrný sníh

$$\mu_1 = 0,8$$

stav II.- navátý sníh

$$\mu_3 = 2,0$$

3.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

rovnice 6.10

$$\sum_{j \geq 1} (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

$$\gamma_{G,j,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{G,j,inf} = 1,0$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50$$

$$\psi_{0,1} = 0,6 - \text{součinitel kombinační hodnoty – v\u00edtr}$$

4 DIMENZOVÁNÍ

4.1 STŘEŠNÍ PANEL

4.1.1 ZATÍŽENÍ

vlastní tíha :

- fošny (120 x 50) – C22

$$g_{k0} = 0,05 \cdot 0,14 \cdot 4,1 = 0,029 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

ostatní stálé : (zatěžovací šířka ZŠ = 0,625 m)

- bitumenový pás – asfaltový modifikovaný pás BSB

$$g_k = 0,06 \cdot 0,625 = 0,04 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- 2 x OSB deska – tl. 25 mm

$$g_k = 2 \cdot 0,025 \cdot 7,5 \cdot 0,625 = 0,23 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- 2 x tepelná izolace – polystyrén EPS, tl. 120 mm

$$g_k = 2 \cdot 0,12 \cdot 0,3 \cdot 0,625 = 0,045 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

ostatní stálé celkem : $\Sigma g_{k1} = 0,32 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

sn\u00edh :

$$s_{k1} = 0,152 \cdot 0,625 = 0,09 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$s_{k2} = 1,448 \cdot 0,625 = 0,90 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

p\u00e9v\u00f3d zat\u00ed\u017een\u00ed na prut

$$s_{k1z} = s_{k1} \cdot \cos \alpha^2 = 0,09 \cdot \cos 16^2 = 0,08 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

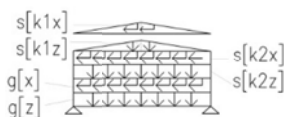
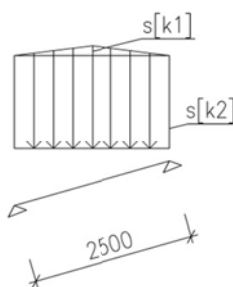
$$s_{k1x} = s_{k1} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha = 0,09 \cdot \cos 16 \cdot \sin 16 = 0,02 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$s_{k2z} = s_{k2} \cdot \cos \alpha^2 = 0,90 \cdot \cos 16^2 = 0,83 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$s_{k2x} = s_{k2} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha = 0,90 \cdot \cos 16 \cdot \sin 16 = 0,24 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$g_z = (g_{k0} + g_{k1}) \cdot \cos \alpha = (0,029 + 0,32) \cdot \cos 16 = 0,34 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$g_x = (g_{k0} + g_{k1}) \cdot \sin \alpha = (0,029 + 0,32) \cdot \sin 16 = 0,09 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$



4.1.2 VÝPOČTOVÝ MODEL

Nosnou část střešního panelu tvoří dřevěné fošny. Výpočtový model je prostý nosník. Spolupůsobení OSB desky a fošny se neuvažuje.

4.1.3 MATERIÁL

-rostlé dřevo – C22

pevnost v ohybu :

- $f_{m,k} = 22 \text{ MPa}$

pevnost v tahu :

- $f_{t,0,k} = 13 \text{ MPa}$

- $f_{t,90,k} = 0,4 \text{ MPa}$

pevnost v tlaku :

- $f_{c,0,k} = 20 \text{ MPa}$

- $f_{c,90,k} = 2,4 \text{ MPa}$

pevnost ve smyku :

- $f_{v,k} = 3,8 \text{ MPa}$

modul pružnosti :

- $E_{0,mean} = 10000 \text{ MPa}$

- $E_{0,05} = 6400 \text{ MPa}$

- $E_{90,mean} = 320 \text{ MPa}$

hustota :

- $\rho_k = 410 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

-výpočtové hodnoty pevnosti

$k_{mod} = 0,9$

$\gamma_m = 1,3$

$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 22 / 1,3 = 15,23 \text{ MPa}$

$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{t,0,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 13 / 1,3 = 9 \text{ MPa}$

$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot f_{t,90,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 0,4 / 1,3 = 0,28 \text{ MPa}$

$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 20 / 1,3 = 13,85 \text{ MPa}$

$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 3,8 / 1,3 = 2,63 \text{ MPa}$

4.1.4 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

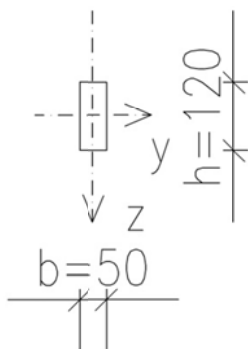
$b = 50 \text{ mm}$

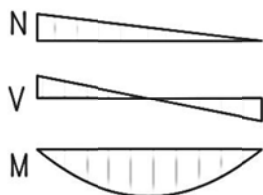
$h = 120 \text{ mm}$

$A = h \cdot b = 50 \cdot 120 = 6000 \text{ mm}^2$

$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 50 \cdot 120^2 = 120 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 50 \cdot 120^3 = 7,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$





4.1.5 VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{y,Ed} = \gamma_Q \cdot \frac{1}{12} \cdot s_{k1z} \cdot l^2 + \gamma_Q \cdot \frac{1}{8} \cdot s_{k2z} \cdot l^2 + \gamma_G \cdot \frac{1}{8} \cdot g_z \cdot l^2$$

$$= 1,5 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,08 \cdot 2,5^2 + 1,5 \cdot \frac{1}{8} \cdot 0,83 \cdot 2,5^2 + 1,35 \cdot \frac{1}{8} \cdot 0,34 \cdot 2,5^2 = 1,39 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} = l \cdot \left(\gamma_Q \cdot \frac{1}{2} \cdot s_{k1x} + \gamma_Q \cdot s_{k2x} + \gamma_G \cdot g_x \right)$$

$$= 2,5 \cdot \left(1,5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,02 + 1,5 \cdot 0,24 + 1,35 \cdot 0,09 \right)$$

$$= 1,24 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \gamma_Q \cdot \frac{1}{4} \cdot s_{k1z} \cdot l + \gamma_Q \cdot \frac{1}{2} \cdot s_{k2z} \cdot l + \gamma_G \cdot \frac{1}{2} \cdot g_z \cdot l$$

$$= 1,5 \cdot \frac{1}{4} \cdot 0,08 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,83 \cdot 2,5 + 1,35 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,34 \cdot 2,5 = 2,21 \text{ kN}$$

4.1.6 POSOUZENÍ MSÚ

4.1.6.1 OHYB A OSOVÝ TAH

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,39 \cdot 10^6}{120 \cdot 10^3} = 11,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{620}{6000} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,1}{9} + \frac{11,58}{15,23} = 0,77 < 1,0$$

4.1.6.2 SMYK

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2,21 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 6000} = 0,83 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,63 \text{ MPa}$$

4.1.7 POSOUZENÍ MSP

4.1.7.1 PRŮHYB OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{1,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_z \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,34 \cdot 2500^4}{10000 \cdot 7,2 \cdot 10^6} = 2,4 \text{ mm}$$

$k_{def} = 0,6$ – součinitel dotvarování od stálého zatížení

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 2,4 \cdot (1 + 0,6) = 3,84 \text{ mm}$$

4.1.7.2 PRŮHYB OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{2,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(s_{k1z} + s_{k2z}) \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,08 + 0,83) \cdot 2500^4}{10000 \cdot 7,2 \cdot 10^6} = 6,42 \text{ mm}$$

$k_{def} = 0$ – součinitel dotvarování pro krátkodobé zatížení

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 6,42 \cdot (1 + 0) = 6,42 \text{ mm}$$

4.1.7.3 CELKOVÝ PRŮHYB

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 3,84 + 6,42 = \mathbf{10,26 \text{ mm}} < \frac{l}{200} = \frac{2500}{200} = 12,5 \text{ mm}$$

4.1.8 POSOUZENÍ OSB DESKY

4.1.8.1 ZATÍŽENÍ

- vlastní tíha :

- OSB deska – tl. 25 mm

$$g_{k0} = 0,025 \cdot 7,5 \cdot 1,0 = 0,19 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- ostatní stálé : (zatěžovací šířka ZŠ = 1,0 m)

- bitumenový pás – asfaltový modifikovaný pás BSB

$$g_k = 0,06 \cdot 1 = 0,06 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- tepelná izolace – polystyrén EPS, tl. 120 mm

$$g_k = 0,12 \cdot 0,3 \cdot 1,0 = 0,036 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- ostatní stálé celkem : $\Sigma g_{k1} = 0,29 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

- sních :

$$s_k = 1,6 \cdot 1,0 = 1,6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

4.1.8.2 VÝPOČTOVÝ MODEL

Deska je nahrazena prutem o šířce 1 m. Statické schéma je spojitý nosník o dvou polích. Délka jednoho pole $l = 0,625 \text{ m}$.

4.1.8.3 MATERIÁL

OSB deska TYP 3 od firmy KRONOSPAN, zatěžovaná je vedlejší osa desky

pevnost v ohybu :

$$- f_{m,k} = 7,4 \text{ MPa}$$

pevnost ve smyku :

$$- f_{v,k} = 1,0 \text{ MPa}$$

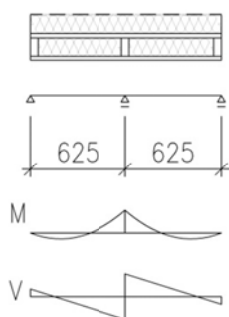
modul pružnosti :

$$- E_{0,mean} = 1980 \text{ MPa}$$

-výpočtové hodnoty pevnosti

$$k_{mod} = 0,9$$

$$\gamma_m = 1,2$$



$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 7,4 / 1,2 = 5,55 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 1,0 / 1,2 = 0,75 \text{ MPa}$$

4.1.8.4 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 25 \text{ mm}$$

$$A = h \cdot b = 25 \cdot 1000 = 25000 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 1000 \cdot 25^2 = 104,17 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 25^3 = 1,30 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

4.1.8.5 VNITŘNÍ SÍLY

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= -\frac{1}{8} \cdot (\gamma_G \cdot (g_{k0} + g_{k1}) + \gamma_Q \cdot s_k) \cdot l^2 \\ &= -\frac{1}{8} \cdot (1,35 \cdot (0,19 + 0,29) + 1,5 \cdot 1,6) \cdot 0,625^2 \\ &= -0,15 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= \frac{6}{8} \cdot (\gamma_G \cdot (g_{k0} + g_{k1}) + \gamma_Q \cdot s_k) \cdot l \\ &= \frac{6}{8} \cdot (1,35 \cdot (0,19 + 0,29) + 1,5 \cdot 1,6) \cdot 0,625 \\ &= 1,43 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.1.8.6 POSOUZENÍ MSÚ

- ohyb

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{104,17 \cdot 10^3} = 1,44 \text{ MPa} < f_{m,d} = 5,55 \text{ MPa}$$

- smyk

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,43 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 25000} = 0,13 < f_{v,d} = 0,75 \text{ MPa}$$

4.1.8.7 POSOUZENÍ MSP

- průhyb od stálého zatížení

$$\begin{aligned} u_{1,z} &= \frac{2}{384} \cdot \frac{(g_{k0} + g_{k1}) \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{2}{384} \cdot \frac{(0,19 + 0,29) \cdot 625^4}{1980 \cdot 1,30 \cdot 10^6} \\ &= 0,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

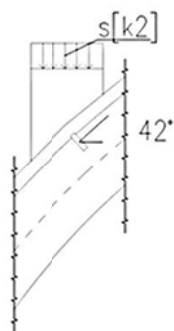
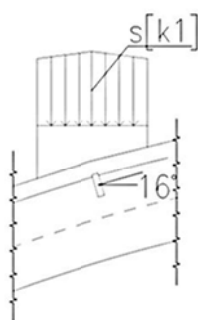
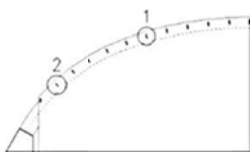
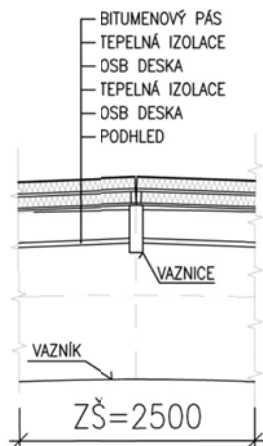
$$k_{def} = 0,6 - \text{součinitel dotvarování od stálého zatížení}$$

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,15 \cdot (1 + 0,6) = 0,24 \text{ mm}$$

- průhyb od proměnného zatížení

$$u_{1,z} = \frac{2}{384} \cdot \frac{s_k \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{2}{384} \cdot \frac{1,6 \cdot 625^4}{1980 \cdot 1,30 \cdot 10^6} = 0,49 \text{ mm}$$

$$k_{def} = 0 - \text{součinitel dotvarování pro krátkodobé zatížení}$$



$$u_{1,fin} = u_{1,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,49 \cdot (1 + 0) = 0,49 \text{ mm}$$

- celkový průhyb

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 0,24 + 0,49 = \mathbf{0,73 \text{ mm}} < \frac{l}{200}$$

$$= \frac{625}{200} = 3,13 \text{ mm}$$

4.2 VAZNICE

4.2.1 ZATÍŽENÍ

vlastní tíha :

- vaznice (500 x 140) – GL24h

$$g_{k0} = 0,5 \cdot 0,14 \cdot 3,8 = 0,27 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- ostatní stálé : (zatěžovací šířka ZŠ = 2,5 m)

- bitumenový pás – asfaltový modifikovaný pás BSB

$$g_k = 0,06 \cdot 2,5 = 0,15 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- 2 x OSB deska – tl. 25 mm

$$g_k = 2 \cdot 0,025 \cdot 7,5 \cdot 2,5 = 0,94 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- 2 x tepelná izolace – polystyrén EPS, tl. 120 mm

$$g_k = 2 \cdot 0,12 \cdot 0,3 \cdot 2,5 = 0,18 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- rám střešního panelu – fošna (50 x 120) – C22

$$g_k = 2 \cdot 4 \cdot 0,05 \cdot 0,12 \cdot 2,5 \cdot 4,1 / 5,0 = 0,1 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- podhled

$$g_k = 0,2 \cdot 2,5 = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- vybavení haly

$$g_k = 0,1 \cdot 2,5 = 0,25 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

ostatní stálé celkem : $\Sigma g_{k1} = 2,12 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

sníh :

- průřez 1 (pro MSÚ)

$$s_k = 3,68 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- průřez 2 (pro MSP)

$$s_k = 1,19 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

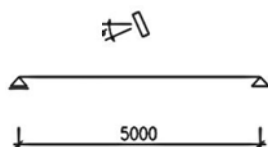
kombinace zatížení - $f_d = \gamma_G \cdot (g_{k0} + g_{k1}) + \gamma_Q \cdot s_k$

- průřez 1

$$f_{d1} = 1,35 \cdot (0,27 + 2,12) + 1,5 \cdot 3,68 = 8,74 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- průřez 2

$$f_{d2} = 1,35 \cdot (0,27 + 2,12) + 1,5 \cdot 1,19 = 5,01 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$



stabilizující síly z vazníku

$$N_d = \frac{(1 + k_{crit}) \cdot M_{Ed}}{h} = \frac{(1 + 0,09) \cdot 533,7}{1,8} = 323,2 \text{ kN}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{2,14}} = 3,35$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 180^2}{1800 \cdot 61624} \cdot 9400 = 2,14 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = 3,35 > 0,75 - k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{3,35^2} = 0,09$$

$k_{f,2} = 80$ – modifikační součinitel pro LLD

$$N_{Ed} = \frac{N_d}{k_{f,2}} = \frac{323,2}{80} = 4,04 \text{ kN}$$

4.2.2 VÝPOČTOVÝ MODEL

Vaznice je prostý nosník o délce 5 m. Natočení průřezu vaznice se mění po délce vazníku. Dimenzovány jsou dva nejnepriznivější průřezy - pod největším zatížením a při největším natočení průřezu vaznice.

4.2.3 MATERIÁL

-lepené lamelové dřevo - GL24h

pevnost v ohybu :

- $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

pevnost v tahu :

- $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$

- $f_{t,90,k} = 0,4 \text{ MPa}$

pevnost v tlaku :

- $f_{c,0,k} = 24 \text{ MPa}$

- $f_{c,90,k} = 2,7 \text{ MPa}$

pevnost ve smyku :

- $f_{v,k} = 2,7 \text{ MPa}$

modul pružnosti :

- $E_{0,mean} = 11600 \text{ MPa}$

- $E_{0,05} = 9400 \text{ MPa}$

- $E_{90,mean} = 390 \text{ MPa}$

hustota :

- $\rho_k = 380 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

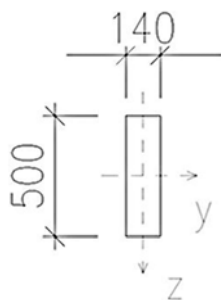
-výpočtové hodnoty pevnosti

$k_{mod} = 0,9$

$\gamma_m = 1,25$

$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 24 / 1,25 = 17,28 \text{ MPa}$

$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{t,0,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 16,5 / 1,25 = 11,88 \text{ MPa}$



$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot f_{t,90,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 0,4 / 1,25 = 0,29 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 24 / 1,25 = 17,28 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 2,7 / 1,25 = 3,04 \text{ MPa}$$

4.2.4 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$A = h \cdot b = 500 \cdot 140 = 70000 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 140 \cdot 500^2 = 5,83 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 500 \cdot 140^2 = 1,63 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 140 \cdot 500^3 = 1,46 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 500 \cdot 140^3 = 114,33 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

4.2.5 VNITŘNÍ SÍLY

- průřez 1

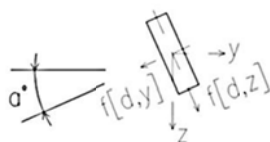
$$M_{y,Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_{d1} \cdot L^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 8,74 \cdot 5^2 \cdot \cos 16 = 26,25 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_{d1} \cdot L^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 8,74 \cdot 5^2 \cdot \sin 16 = 7,53 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z,Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_{d1} \cdot L \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 8,74 \cdot 5 \cdot \cos 16 = 21,0 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_{d1} \cdot L \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 8,74 \cdot 5 \cdot \sin 16 = 6,02 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 4,04 \text{ kN}$$



- průřez 2

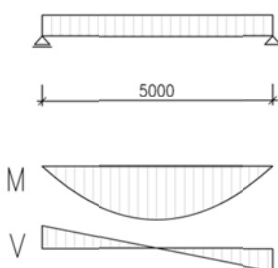
$$M_{y,Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_{d2} \cdot L^2 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{8} \cdot 8,74 \cdot 5^2 \cdot \cos 42 = 11,63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_{d2} \cdot L^2 \cdot \sin \alpha = \frac{1}{8} \cdot 8,74 \cdot 5^2 \cdot \sin 42 = 10,47 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{z,Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_{d1} \cdot L \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 8,74 \cdot 5 \cdot \cos 42 = 9,31 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_{d1} \cdot L \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 8,74 \cdot 5 \cdot \sin 42 = 8,38 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 4,04 \text{ kN}$$



4.2.6 POSOUZENÍ MSÚ

4.2.6.1 KLOPENÍ

$$l_{ef} = \frac{l}{0,9} + 2 \cdot h = \frac{5000}{0,9} + 2 \cdot 500 = 6556 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 140^2}{500 \cdot 6556} \cdot 9400 = 43,84 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{43,84}} = 0,74 < 0,75 - \text{nosník neklopí}$$

$$k_{crit} = 1,0$$

4.2.6.2 ŠIKMÝ OHYB A OSOVÝ TLAK

- průřez 1

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{26,25 \cdot 10^6}{5,83 \cdot 10^6} = 4,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{7,53 \cdot 10^6}{1,63 \cdot 10^6} = 4,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{4,04 \cdot 10^3}{70 \cdot 10^3} = 0,06 \text{ MPa}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,46 \cdot 10^9}{70 \cdot 10^3}} = 144 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{114,33 \cdot 10^6}{70 \cdot 10^3}} = 40 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{5000}{144} = 34,7$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{5000}{40} = 125$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{34,7}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 0,58$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{125}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 2,01$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,58 - 0,3) + 0,58^2) = 0,68$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (2,01 - 0,3) + 2,01^2) = 2,61$$

$\beta_c = 0,1$ – součinitel imperfekce pro LLD

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,58^2}} = 0,97$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,61 + \sqrt{2,61^2 - 2,01^2}} = 0,23$$

$k_m = 0,7$ – tvarový součinitel pro obdélníkový průřez

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \left(\frac{0,06}{0,97 \cdot 17,28} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{4,50}{17,28} + \frac{4,62}{17,28}$$

$$= 0,45 < 1,0$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \left(\frac{0,06}{0,23 \cdot 17,28} \right)^2 + \frac{4,50}{17,28} + 0,7 \cdot \frac{4,62}{17,28}$$

$$= 0,45 < 1,0$$

- průřez 2

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{11,63 \cdot 10^6}{5,83 \cdot 10^6} = 2,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{10,47 \cdot 10^6}{1,63 \cdot 10^6} = 6,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{4,04 \cdot 10^3}{70 \cdot 10^3} = 0,06 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \left(\frac{0,06}{0,97 \cdot 17,28} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{2,0}{17,28} + \frac{6,42}{17,28}$$

$$= 0,45 < 1,0$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \left(\frac{0,06}{0,23 \cdot 17,28} \right)^2 + \frac{2,0}{17,28} + 0,7 \cdot \frac{6,42}{17,28}$$

$$= 0,38 < 1,0$$

4.2.6.3 SMYK

- průřez 1

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,Ed}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{21,0 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 70 \cdot 10^3} = 0,68 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{y,Ed}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,02 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 70 \cdot 10^3} = 0,19 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,68^2 + 0,19^2}$$

$$= 0,71 \text{ MPa} < f_{v,d} = 3,04 \text{ MPa}$$

- průřez 2

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,Ed}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{9,31 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 70 \cdot 10^3} = 0,30 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{y,Ed}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{8,38 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 70 \cdot 10^3} = 0,27 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,3^2 + 0,27^2}$$

$$= 0,40 \text{ MPa} < f_{v,d} = 3,04 \text{ MPa}$$

4.2.7 POSOUZENÍ MSP

4.2.7.1 PRŮHYB OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

- průřez 1

$$u_{1,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k0} + g_{k1}) \cdot \cos \alpha \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,27 + 2,12) \cdot \cos 16 \cdot 5000^4}{11600 \cdot 1,46 \cdot 10^9} = 1,1 \text{ mm}$$

$$u_{1,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k0} + g_{k1}) \cdot \sin \alpha \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_z}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,27 + 2,12) \cdot \sin 16 \cdot 5000^4}{11600 \cdot 114,33 \cdot 10^6} = 4,04 \text{ mm}$$

$$u_{1,inst} = \sqrt{u_{1,z}^2 + u_{1,y}^2} = \sqrt{1,1^2 + 4,04^2} = 4,19 \text{ mm}$$

$k_{def} = 0,6$ – součinitel dotvarování od stálého zatížení

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 4,19 \cdot (1 + 0,6) = 6,70 \text{ mm}$$

- průřez 2

$$u_{1,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k0} + g_{k1}) \cdot \cos \alpha \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,27 + 2,12) \cdot \cos 42 \cdot 5000^4}{11600 \cdot 1,46 \cdot 10^9} = 0,85 \text{ mm}$$

$$u_{1,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k0} + g_{k1}) \cdot \sin \alpha \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_z}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{(0,27 + 2,12) \cdot \sin 42 \cdot 5000^4}{11600 \cdot 114,33 \cdot 10^6} = 9,51 \text{ mm}$$

$$u_{1,inst} = \sqrt{u_{1,z}^2 + u_{1,y}^2} = \sqrt{0,85^2 + 9,51^2} = 9,54 \text{ mm}$$

$k_{def} = 0,6$ – součinitel dotvarování od stálého zatížení

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 9,54 \cdot (1 + 0,6) = 15,26 \text{ mm}$$

4.2.7.2 PRŮHYB OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

- průřez 1

$$u_{2,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot \cos \alpha \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,68 \cdot \cos 16 \cdot 5000^4}{11600 \cdot 1,46 \cdot 10^9} = 1,69 \text{ mm}$$

$$u_{2,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot \sin \alpha \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,68 \cdot \sin 16 \cdot 5000^4}{11600 \cdot 114,33 \cdot 10^6} = 6,22 \text{ mm}$$

$$u_{2,inst} = \sqrt{u_{2,z}^2 + u_{2,y}^2} = \sqrt{1,69^2 + 6,22^2} = 6,44 \text{ mm}$$

$k_{def} = 0$ – součinitel dotvarování pro krátkodobé zatížení

$$u_{2,fin} = u_{2,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 6,44 \cdot (1 + 0) = 6,44 \text{ mm}$$

- průřez 2

$$u_{2,z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot \cos \alpha \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,19 \cdot \cos 42 \cdot 5000^4}{11600 \cdot 1,46 \cdot 10^9} = 0,42 \text{ mm}$$

$$u_{2,y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{s_k \cdot \sin \alpha \cdot l^4}{E_{mean} \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,19 \cdot \sin 42 \cdot 5000^4}{11600 \cdot 114,33 \cdot 10^6} = 4,58 \text{ mm}$$

$$u_{2,inst} = \sqrt{u_{2,z}^2 + u_{2,y}^2} = \sqrt{0,42^2 + 4,58^2} = 4,60 \text{ mm}$$

$k_{def} = 0$ – součinitel dotvarování pro krátkodobé zatížení

$$u_{2,fin} = u_{2,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 4,60 \cdot (1 + 0) = 4,60 \text{ mm}$$

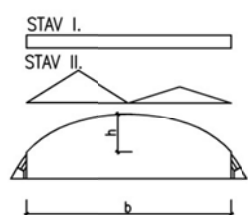
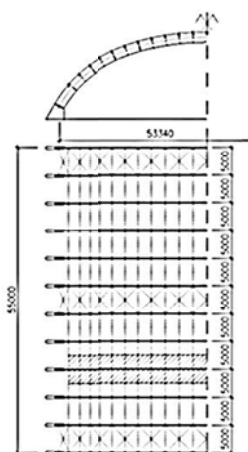
4.2.7.3 CELKOVÝ PRŮHYB

- průřez 1

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 6,7 + 6,44 = \mathbf{13,14 \text{ mm}} < \frac{l}{250} = \frac{5000}{250} = 20 \text{ mm}$$

- průřez 2

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 15,26 + 4,89 = \mathbf{19,86 \text{ mm}} < \frac{l}{250} = \frac{5000}{250} = 20 \text{ mm}$$



4.3 VAZNÍK

4.3.1 ZATÍŽENÍ

- vlastní tíha :

- vazník (1800 x 180) – GL24h

$$g_{k0} = 1,8 \cdot 0,18 \cdot 3,8 = 1,2 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- ostatní stálé : (zatěžovací šířka ZŠ = 5 m)

- bitumenový pás – asfaltový modifikovaný pás BSB

$$g_k = 0,06 \cdot 5 = 0,3 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- 2 x OSB deska – tl. 25 mm

$$g_k = 2 \cdot 0,025 \cdot 7,5 \cdot 5 = 1,88 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- 2 x tepelná izolace – polystyrén EPS, tl. 120 mm

$$g_k = 2 \cdot 0,12 \cdot 0,3 \cdot 5 = 0,36 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- rám střešního panelu – fošna (50 x 120) – C22

$$g_k = 2 \cdot 4 \cdot 0,05 \cdot 0,12 \cdot 4,1 = 0,2 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- vaznice (500 x 120) – 23 ks - GL24h

$$g_k = 23 \cdot 0,5 \cdot 0,12 \cdot 3,8 \cdot 5 / 53,4 = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- podhled

$$g_k = 0,2 \cdot 5 = 1 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- vybavení haly

$$g_k = 0,1 \cdot 5 = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- ostatní stálé celkem : $\Sigma g_{k1} = 4,74 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

-sníh :

$$s_{kI} = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 5 = 3,2 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$s_{kII} = 2 \cdot 0,8 \cdot 5 = 8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$s_{kII} = 1 \cdot 0,8 \cdot 5 = 4 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

4.3.2 VÝPOČTOVÝ MODEL

Osa nosníku je složený oblouk. Na koci nosníku jsou kloubové neposuvné podpory. Výpočet vnitřních sil a deformace nosníku jsou provedeny ve výpočtovém programu Scia Engineer.

4.3.3 MATERIÁL

-lepené lamelové dřevo - GL24h

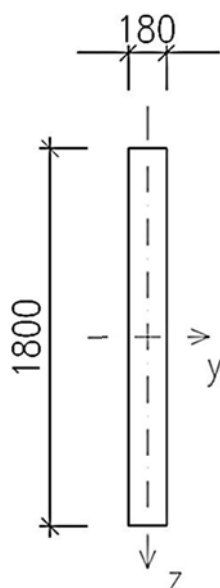
pevnost v ohybu :

- $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

pevnost v tahu :

- $f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$

- $f_{t,90,k} = 0,4 \text{ MPa}$



Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Kombinace : CO2

Prvek	Stav	dx [mm]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B1	CO2/1	3,560	-499,34	-46,35	-315,07
B4	CO2/1	8,218	-353,72	-17,50	322,40
B5	CO2/1	0,000	-456,24	-149,24	0,00
B2	CO2/1	9,068	-410,69	70,24	36,91
B6	CO2/1	1,698	-453,35	-5,74	-533,70
B4	CO2/1	4,327	-357,52	-1,10	363,62

pevnost v tlaku :

$$- f_{c,0,k} = 24 \text{ MPa}$$

$$- f_{c,90,k} = 2,7 \text{ MPa}$$

pevnost ve smyku :

$$- f_{v,k} = 2,7 \text{ MPa}$$

modul pružnosti :

$$- E_{0,mean} = 11600 \text{ MPa}$$

$$- E_{0,05} = 9400 \text{ MPa}$$

$$- E_{90,mean} = 390 \text{ MPa}$$

hustota :

$$- \rho_k = 380 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

-výpočtové hodnoty pevnosti

$$k_{mod} = 0,9$$

$$\gamma_m = 1,25$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 24 / 1,25 = 17,28 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot f_{t,0,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 16,5 / 1,25 = 11,88 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot f_{t,90,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 0,4 / 1,25 = 0,29 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 24 / 1,25 = 17,28 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_m = 0,9 \cdot 2,7 / 1,25 = 3,04 \text{ MPa}$$

4.3.4 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$h = 1800 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$A = h \cdot b = 1800 \cdot 180 = 324000 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 180 \cdot 1800^2 = 97,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 1800 \cdot 180^2 = 9,72 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 180 \cdot 1800^3 = 87,48 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 1800 \cdot 180^3 = 874,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

4.3.5 VNITŘNÍ SÍLY

Viz příloha Scia Engineer

kombinace CO2

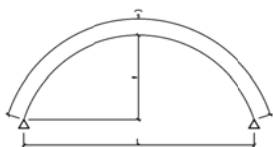
- ohyb a osová síla, tah kolmo k vláknům, klopení

$$M_{Ed} = - 533,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} = - 453,35 \text{ kN}$$

- smyk

$$V_{Ed} = - 149,24 \text{ kN}$$



4.3.6 POSOUZENÍ MSÚ

4.3.6.1 ŠIKMÝ OHYB A OSOVÝ TLAK

vybočení v rovině oblouku

$$l_{cr} = 0,5 \cdot L \cdot \sqrt{1 + 6,15 \cdot \frac{f}{L}} = 0,5 \cdot 53,34 \cdot \sqrt{1 + 6,15 \cdot \frac{12,4}{53,34}} = 41,6 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{87,48 \cdot 10^9}{324 \cdot 10^3}} = 519,6 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{41,6}{0,52} = 80$$

vybočení z roviny oblouku

$l_{cr} = 5 \text{ m}$ – vybočení zabraňuje střešní ztužidlo společně s vaznicemi

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{8,748 \cdot 10^9}{324 \cdot 10^3}} = 52 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr}}{i_z} = \frac{5}{0,052} = 96 - \text{rozhodující štíhlost}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{96}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 1,54$$

$$\beta_c = 0,1$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,54 - 0,3) + 1,54^2) = 1,75$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 + \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,75 + \sqrt{1,75^2 - 1,54^2}} = 0,39$$

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

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{24,189 - 0,5 \cdot 1,8}{0,05} = 466 > 240 - k_r = 1,0$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \tan 0 + 5,4 \cdot \tan^2 0 = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \tan 0 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \alpha_{ap} + 7,8 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \tan 0 + 7,8 \cdot \tan^2 0 = 0,6$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \tan^2 0 = 0$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$= 1 + 0,35 \cdot \left(\frac{1,8}{24,189}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{1,8}{24,189}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{1,8}{24,189}\right)^3 = 1,03$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{453,35 \cdot 10^3}{324000} = 1,40 \text{ MPa}$$

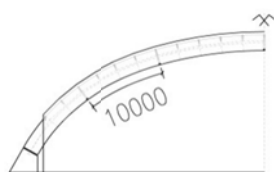
$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{M_{Ed}}{W_y} = 1,03 \cdot \frac{533,7 \cdot 10^6}{97,2 \cdot 10^6} = 5,66 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} = \left(\frac{1,40}{0,39 \cdot 17,28}\right)^2 + \frac{5,66}{1,0 \cdot 17,28}$$

$$= 0,37 < 1,0$$

4.3.6.2 KLOPENÍ

$l_{ef} = 10 \text{ m}$ – dolní vlákna vazníku jsou stabilizována podélným ztužidlem



$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 180^2}{1800 \cdot 10000} \cdot 9400 = 13,20 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{13,2}} = 1,35$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,35 = 0,547$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{m,crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{5,66}{0,547 \cdot 17,28}\right)^2 + \frac{1,40}{0,39 \cdot 17,28}$$

$$= 0,57 < 1,0$$

4.3.6.3 TAH KOLMO K VLÁKNŮM

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \tan 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,25 - 1,5 \cdot \tan 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan \alpha_{ap} - 4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \tan 0 - 4 \cdot \tan^2 0 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

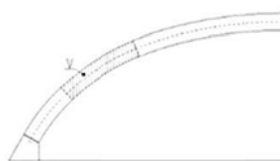
$$= 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{1,8}{24,189}\right) + 0 \cdot \left(\frac{1,8}{24,189}\right)^2 = 0,019$$

$$V_b = 20 \text{ m}^3$$

$$V = 2,94 \text{ m}^3 < \frac{2}{3} \cdot V_b = \frac{2}{3} \cdot 20 = 13,33 \text{ m}^3$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{2,94}\right)^{0,2} = 0,321$$



$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \sigma_{m,d} = 0,019 \cdot 5,66 = 0,108 \text{ MPa}$$

$$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1,4 \cdot 0,321 \cdot 0,29 = \mathbf{0,13 \text{ MPa}}$$

$$> \mathbf{0,108 \text{ MPa}}$$

4.3.6.4 SMYK

$$f_{vd} = 3,04 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{149,24 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot 324 \cdot 10^3} = \mathbf{1,036 \text{ MPa}} < \mathbf{3,04 \text{ MPa}}$$

4.3.7 POSOUZENÍ MSP

Deformace jsou spočítány pomocí výpočtového programu Scia Engineer. Hodnoty průhybů viz příloha Scia Engineer.

4.3.7.1 PRŮHYB OD STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{1,inst} = 17,1 \text{ mm}$$

$k_{def} = 0,6$ – součinitel vlivu dotvarování pro stálé zatížení

$$u_{1,fin} = (1 + k_{def}) \cdot u_{1,inst} = (1 + 0,6) \cdot 17,1 = 27,36 \text{ mm}$$

$$< \frac{L}{300} = \frac{53340}{300} = 177,8 \text{ mm}$$

4.3.7.2 PRŮHYB OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

$$u_{2,inst} = 16 \text{ mm}$$

$k_{def} = 0$ – součinitel vlivu dotvarování pro krátkodobé zatížení

$$u_{2,fin} = (1 + k_{def}) \cdot u_{1,inst} = (1 + 0) \cdot 16 = 16 \text{ mm} < \frac{L}{300}$$

$$= \frac{53340}{300} = 177,8 \text{ mm}$$

4.3.7.3 CELKOVÝ PRŮHYB

$$u_{net,fin} = \mathbf{37,3 \text{ mm}} < \frac{L}{300} = \frac{53340}{300} = 177,8 \text{ mm}$$

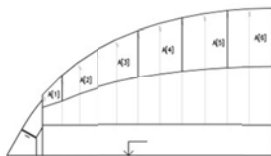
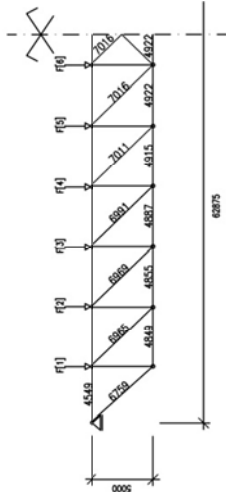
5 PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO

5.1 ZATÍŽENÍ

zatížení od podélného větru působící na štítové stěny

$$w'_k = q_b(ze) \cdot c_{pe,10} = 0,79 \cdot (0,709 + 0,318) = 0,811 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$c^D_{pe,10} = 0,709$$



$$c_{pe,10}^E = -0,318$$

zatížení na jedno ztužidlo

$$w_k = \frac{w'_k}{3} = \frac{0,811}{3} = 0,27 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

síly působící na ztužidlo – $F_i = w_k \cdot A_i$

$A_1 = 4,48 \text{ m}^2$	$F_1 = 1,20 \text{ kN}$
$A_2 = 13,96 \text{ m}^2$	$F_2 = 3,77 \text{ kN}$
$A_3 = 21,02 \text{ m}^2$	$F_3 = 5,68 \text{ kN}$
$A_4 = 26,33 \text{ m}^2$	$F_4 = 7,11 \text{ kN}$
$A_5 = 29,67 \text{ m}^2$	$F_5 = 8,01 \text{ kN}$
$A_6 = 31,33 \text{ m}^2$	$F_6 = 8,46 \text{ kN}$
$\Sigma F_i = 34,23 \text{ kN}$	

5.2 VÝPOČTOVÝ MODEL

Ztužidlo je nahrazeno příhradovou soustavou. Tlačená táhla nepůsobí

$$l_1 = 4,549 \text{ m}$$

$$L = 62,88 \text{ m}$$

vzdálenost vazníků $b = 5 \text{ m}$

$$\alpha_1 = 42,3^\circ$$

5.3 VNITŘNÍ SÍLY

Největší namáhání diagonály v příhradové soustavě jsou v místech podpor.

$$M_c = R_a \cdot l_1 = 34,23 \cdot 4,549 = 155,71 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

normálové síly v pásu

$$N_p = \frac{M_c}{b} = \frac{155,71}{5} = 31,14 \text{ kN}$$

normálová síla v diagonále

$$N_D = \frac{N_p}{\sin \alpha} = \frac{31,14}{\sin 42,3} = 46,27 \text{ kN}$$

5.4 PRŮŘEZ

$$d = 22 \text{ mm}$$

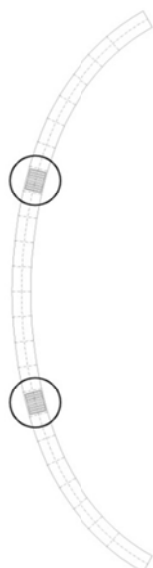
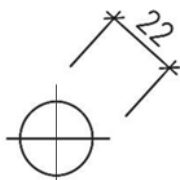
$$A = 380,13 \text{ mm}^2$$

5.5 MATERIÁL

materiál diagonály – S355

mez pevnosti – $f_y = 355 \text{ MPa}$

mez kluzu – $f_u = 510 \text{ MPa}$



Lineární výpočet, Extrém : Globální, Slavní

Výběr : Vše

Kombinace : CO2

Prvek	Stav	dx [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
B3	CO2/1	4,718	-373,74	33,92	291,81
B3	CO2/1	4,718	-373,74	33,92	291,81

5.6 POSOUZENÍ DIAGONÁLY

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{380,13 \cdot 355}{1,0} = 134946 \text{ N}$$

$$N_{Ed} = \gamma_Q \cdot N_{Ek} = 1,5 \cdot 46,27 = 69,405 \text{ kN} < N_{Rd} = 134,9 \text{ kN}$$

6 SPOJE

6.1 MONTÁŽNÍ SPOJ

Spoj je navržen tak, aby rozdělil vazník na tři přibližně stejně dlouhé části. Jedná se o kolíkový spoj s vsazeným ocelovým plechem.

6.1.1 VNITŘNÍ SÍLY VE SPOJI

Vnitřní síly vazníku jsou spočítány pomocí výpočtového programu Scia Engineer. Hodnoty vnitřních sil viz příloha Scia Engineer. Tlak se přenáší kontaktem.

$$N_{Ed} = -373,74 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 33,92 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 291,81 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

6.1.2 PARAMETRY KOLÍKU A SVORNÍKŮ

materiál kolíku – ocel S235

mez pevnosti – $f_y = 235 \text{ MPa}$

mez kluzu – $f_u = 360 \text{ MPa}$

průměr – $d = 20 \text{ mm}$

6.1.3 PARAMETRY VSAZENÉHO PLECHU

materiál plechu – ocel S235

mez pevnosti – $f_y = 235 \text{ MPa}$

mez kluzu – $f_u = 360 \text{ MPa}$

tloušťka – $t = 20 \text{ mm}$

velikost otvorů – $d_0 = 20 \text{ mm}$

6.1.4 GEOMETRIE SPOJE

- minimální vzdálenost spojovacích prostředků

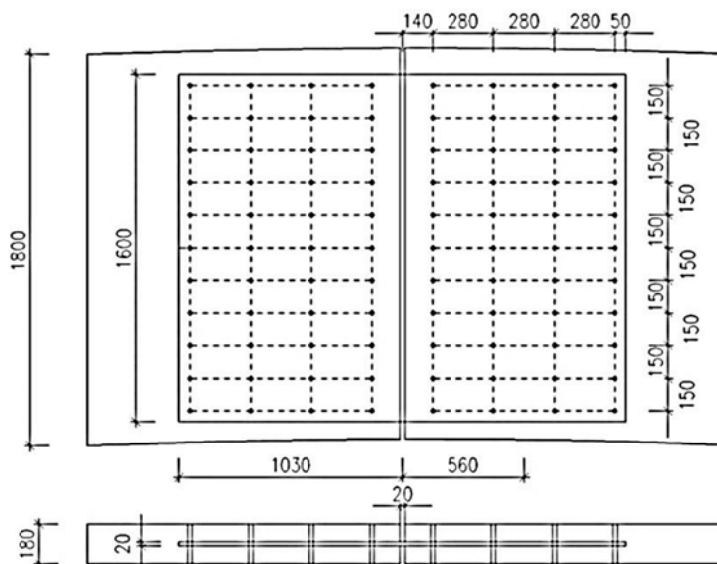
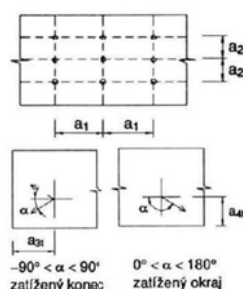
$$a_1 = (4 + 3 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (4 + 3 \cdot \cos 0) \cdot 20 = 140 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 20 = 80 \text{ mm}$$

- minimální vzdálenost spojovacích prostředků od okraje

$$a_{3,t} = 7 \cdot d = 7 \cdot 20 = 140 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = (2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d = (2 + 2 \cdot \sin 90^\circ) \cdot 20 = 80 \text{ mm}$$



6.1.5 POSOUZENÍ MSÚ

6.1.5.1 SÍLA PŮSOBÍCÍ NA JEDEN SPOJOVACÍ PROSTŘEDEK

$$n = 44 \text{ ks}$$

$$a = 0,585 \text{ m}$$

$$M_{d,a} = M_{Ed} + V_{Ed} \cdot a = 291,81 + 33,92 \cdot 0,585 = 311,65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$r_i = 0,85 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \Sigma r_i^2 &= 4 \cdot (0,759^2 + 0,611^2 + 0,464^2 + 0,321^2 + 0,848^2 + 0,718^2 \\ &+ 0,189^2 + 0,6^2 + 0,45^2 + 0,423^2) + \\ &2 \cdot (0,115^2 + 0,395^2) = 13,46 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$F_{d,1,M} = \frac{M_{d,a} \cdot r_i}{\Sigma r_i^2} = \frac{311,65 \cdot 0,85}{13,46} = 19,68 \text{ kN}$$

$$F_{d,1,V} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{33,92}{44} = 0,77 \text{ kN}$$

$$F_{1,Ed} = \sqrt{F_{d,1,M}^2 + F_{d,1,V}^2} = \sqrt{19,68^2 + 0,77^2} = 19,7 \text{ kN}$$

6.1.5.2 ÚNOSNOST JEDNOHO SPOJOVACÍHO PROSTŘEDKU

výpočet pro jednu stříhovou rovinu

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,f} \\ F_{v,Rk,g} \\ F_{v,Rk,h} \end{cases} = \min \begin{cases} 42,97 \\ 23,56 \\ 31,14 \end{cases} = 23,56 \text{ kN}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 380 = 24,93 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 0,9 + 0,015 \cdot d = 0,9 + 0,015 \cdot 20 = 1,2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{24,93}{1,2 \cdot \sin^2 28^\circ + \cos^2 28^\circ} = 23,87 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot d^3}{6} = \frac{0,8 \cdot 360 \cdot 20^3}{6} = 384 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{v,Rk,f} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d = 23,87 \cdot 90 \cdot 20 = 42,97 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot t_1^2 \cdot d} - 1} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$= 23,87 \cdot 90 \cdot 20 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 384 \cdot 10^3}{23,87 \cdot 90^2 \cdot 20} - 1} \right] + \frac{0}{4}$$

$$= 23,56 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$= 2,3 \cdot \sqrt{384 \cdot 10^3 \cdot 23,87 \cdot 20} + \frac{0}{4} = 31,14 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{23,87}{1,3} = 16,52 \text{ kN}$$

6.1.5.3 POSOUZENÍ KOLÍKOVÉHO SPOJE

$$F_{1,Ed} = 19,7 \text{ kN} < 2 \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 16,52 = 33,04 \text{ kN}$$

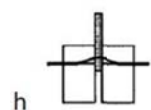
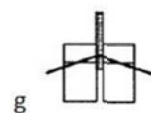
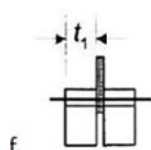
6.2 KOTEVNÍ SPOJ OBLOUKU

6.2.1 REAKCE DO PODPOR

Viz příloha Scia Engineer

$$R_x = 354,09 \text{ kN}$$

$$R_z = 361,35 \text{ kN}$$



Lineární výpočet, Extrém : Uzel
Výběr : Vše
Kombinace : CO2

Podpora	Stav	Rx [kN]	Rz [kN]
Studentů verze	*Studentů verze*	*Studentů verze*	*Studentů verze*
Sn1/N1	CO2/1	354,09	361,35
Sn2/N51	CO2/1	-354,09	323,77
Sn3/N9	CO2/1	0,00	0,00

6.2.2 POSOUZENÍ ČEPU

6.2.2.1 VÝSLEDNICE SIL

$$F_{v,Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} = \sqrt{354,09^2 + 361,35^2} = 505,92 \text{ kN}$$

6.2.2.2 PARAMETRY ČEPU

materiál čepu – ocel ATMOFIX B – S355K2

mez pevnosti – $f_y = 345 \text{ MPa}$

mez kluzu – $f_u = 470 \text{ MPa}$

průměr čepu – $d = 55 \text{ mm}$

plocha čepu – $A = 2380 \text{ mm}^2$

modul průřezu – $W_{y,el} = 16,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

6.2.2.3 PARAMETRY PLECHU

materiál plechu – ocel ATMOFIX B – S355K2

mez pevnosti – $f_y = 345 \text{ MPa}$

mez kluzu – $f_u = 470 \text{ MPa}$

tloušťka plechu – $t = 40 \text{ mm}$; $t_1 = 20 \text{ mm}$

velikost otvoru – $d_0 = 60 \text{ mm}$

6.2.2.4 GEOMETRICKÉ POŽADAVKY NA ČEPOVÝ SPOJ

$$F_{v,Ed} = 505,92 \text{ kN}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{Mp}}{f_x}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{505,92 \cdot 10^3 \cdot 1,45}{235}} = 39,11 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{505,92 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 40 \cdot 345} + \frac{2 \cdot 60}{3} = 73,58 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{505,92 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 40 \cdot 345} + \frac{60}{3} = 50,24 \text{ mm}$$

návrh : $a = 75 \text{ mm}$

6.2.2.5 POSOUZENÍ ČEPU NA STŘIH

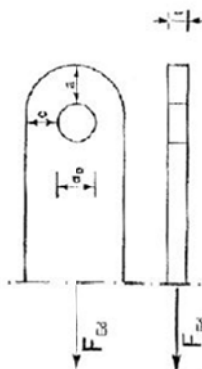
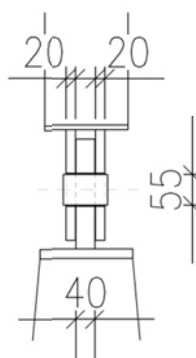
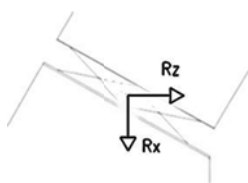
$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 2380 \cdot 470}{1,0} = 671,2 \text{ kN} > F_{v,Ed}$$

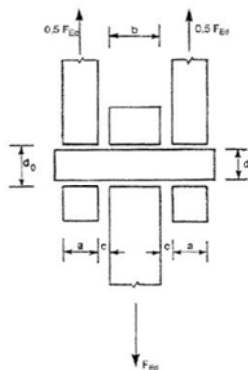
$$= 505,92 \text{ kN}$$

6.2.2.6 POSOUZENÍ ČEPU A PLECHU NA OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 55 \cdot 470}{1,0}$$

$$= 1551 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 505,92 \text{ kN}$$





6.2.2.7 POSOUZENÍ ČEPU NA OHYB

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

$$= \frac{505,92}{8} \cdot (0,040 + 4 \cdot 0,001 + 2 \cdot 0,020)$$

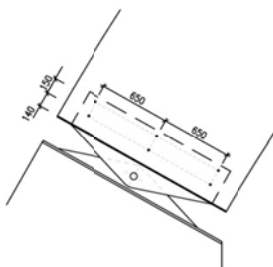
$$= 5,312 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{y,el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot 470 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$= 11,5 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{Ed} = 5,312 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

6.2.2.8 POSOUZENÍ ČEPU NA KOMBINACI STŘIHU A OHYBU

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{5,312}{11,5}\right)^2 + \left(\frac{505,92}{671,2}\right)^2 = 0,78 < 1,0$$



6.2.3 POSOUZENÍ VSAZENÉHO PLECHU

6.2.3.1 PARAMETRY KOLÍKU A SVORNÍKŮ

materiál kolíku – ocel ATMOFIX B – S355K2

mez pevnosti – $f_y = 345 \text{ MPa}$

mez kluzu – $f_u = 470 \text{ MPa}$

průměr – $d = 20 \text{ mm}$

6.2.3.2 PARAMETRY VSAZENÉHO PLECHU

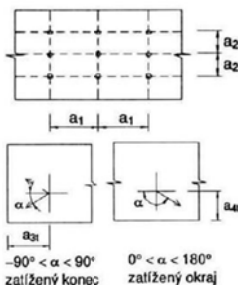
materiál plechu – ocel ATMOFIX B – S355K2

mez pevnosti – $f_y = 345 \text{ MPa}$

mez kluzu – $f_u = 470 \text{ MPa}$

tloušťka – $t = 15 \text{ mm}$

velikost otvorů – $d_0 = 20 \text{ mm}$



6.2.3.3 GEOMETRIE SPOJE

- minimální vzdálenost spojovacích prostředků

$$a_1 = (4 + 3 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (4 + 3 \cdot \cos 0) \cdot 20 = 140 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \cdot d = 4 \cdot 20 = 80 \text{ mm}$$

- minimální vzdálenost spojovacích prostředků od okraje

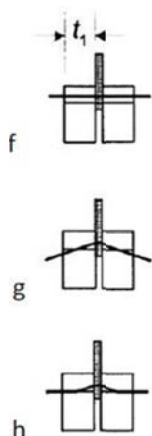
$$a_{3,t} = 7 \cdot d = 7 \cdot 20 = 140 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = (2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d = (2 + 2 \cdot \sin 90) \cdot 20 = 80 \text{ mm}$$

6.2.3.4 VÝSLEDNICE NA VSAZENÝ PLECH

Tlak přenesen kontaktem.

$$F_{Ed} = V_{Ed} = 149,24 \text{ kN}$$



6.2.3.5 ÚNOSNOST JEDNOHO SPOJOVACÍHO PROSTŘEDKU

výpočet pro jednu stříhovou rovinu

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,f} \\ F_{v,Rk,g} \\ F_{v,Rk,h} \end{cases} = \min \begin{cases} 37,40 \\ 22,85 \\ 29,06 \end{cases} = 22,85 \text{ kN}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 380 = 24,93 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 0,9 + 0,015 \cdot d = 0,9 + 0,015 \cdot 20 = 1,2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{24,93}{1,2 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = 20,78 \text{ MPa}$$

$$M_{y,Rk} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot d^3}{6} = \frac{0,8 \cdot 470 \cdot 20^3}{6} = 501 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$F_{v,Rk,f} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d = 20,78 \cdot 90 \cdot 20 = 37,40 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$= 20,78 \cdot 90 \cdot 20 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 501 \cdot 10^3}{20,78 \cdot 90^2 \cdot 20}} - 1 \right] + \frac{0}{4}$$

$$= 22,85 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$= 2,3 \cdot \sqrt{501 \cdot 10^3 \cdot 20,78 \cdot 20} + \frac{0}{4} = 33,19 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{22,85}{1,3} = 15,82 \text{ kN}$$

6.2.3.6 POSOUZENÍ KOLÍKOVÉHO SPOJE

návrh : 4 x kolík ϕ 20 mm a 2 x svorník ϕ 20 mm

$$F_{1,Ed} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{149,28}{6} = 24,88 \text{ kN}$$

$$F_{1,Ed} = 24,88 \text{ kN} < 2 \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 15,82 = 31,64 \text{ kN}$$