

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**katedra betonových a zděných konstrukcí**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**



**Návrh zastřešení školní tělocvičny**

**Statický výpočet**

Vypracoval:

Lukáš Koruňák

Studijní program – STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor – Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce:

Ing. Martin Típka, PhD.

Praha 2021

## Obsah

1	Statický výpočet – konstrukční řešení Vazník.....	3
1.1	Zatížení.....	3
1.1.1	Klimatické zatížení .....	3
1.1.2	Užitné zatížení.....	6
1.1.3	Ostatní stálé zatížení .....	6
1.2	Návrh střešní desky .....	6
1.3	Návrh vazníku .....	8
1.3.1	Mezní stav únosnosti.....	8
1.3.2	Mezní stav použitelnosti .....	16
1.4	Návrh sloupů .....	18
1.4.1	Zatížení: .....	18
1.4.2	Mezní stav únosnosti.....	19
1.4.3	Návrh vidlice sloupu .....	21
1.5	Návrh suterénní stěny .....	23
2	Statický výpočet – Oblouk.....	25
2.1	Zatížení.....	25
2.1.1	Klimatické zatížení .....	25
2.1.2	Užitné zatížení.....	27
2.1.3	Ostatní stálé zatížení .....	27
2.2	Návrh střešních sendvičových panelů .....	27
2.3	Návrh vaznic.....	28
2.3.1	Zatížení: .....	28
2.3.2	Mezní stav únosnosti.....	28
2.4	Návrh sloupů .....	33
2.4.1	Střední sloup .....	33
2.5	Krajní sloupy: .....	36
2.6	Návrh oblouku.....	38

# 1 Statický výpočet – konstrukční řešení Vazník

## 1.1 Zatížení

### 1.1.1 Klimatické zatížení

Česká republika – Praha 9: 50.102971079179326, 14.520986064148932

#### Zatížení větrem

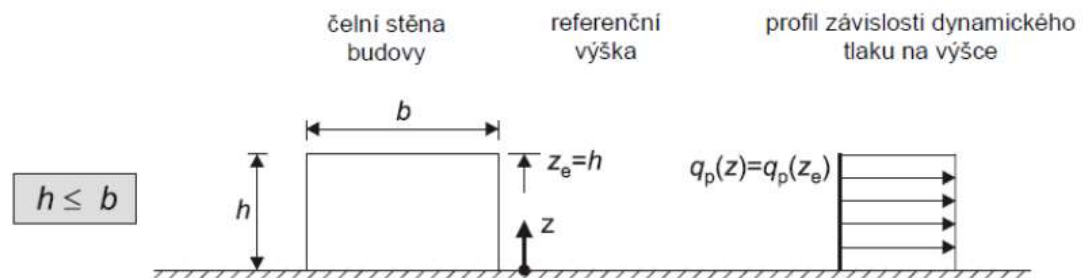
Větrná oblast I (základní rychlost větru:  $v_{b,0} = 22,5$  m/s)

- Základní rychlost větru  $q_b$

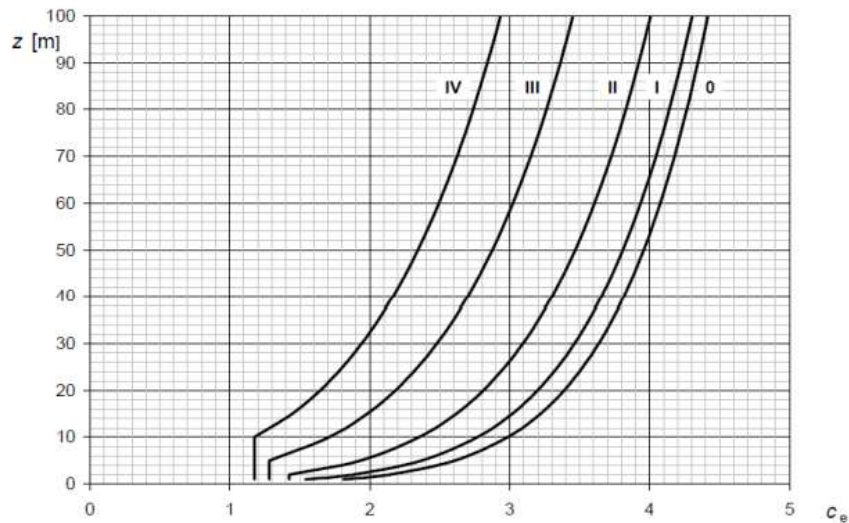
$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,5^2 = 0,32 \text{ kN/m}^2$$

Kategorie terénu III ( $h = 4,5 \text{ m} \leq b = 18,5 \text{ m} \rightarrow z = h = 4,5 \text{ m}$ )

- Výška atiky nad terénem:  $h = 4,5 \text{ m} \leq b = 18,5 \text{ m} \rightarrow z = h = 4,5 \text{ m}$



- Součinitel expozice:  $c_e(z) = 1,31$



- Součinitelé tlaků a sil

Zatěžované plochy jsou větší než 10 m<sup>2</sup> → uvažují součinitel C<sub>pe,10</sub>

- Tlak větru:

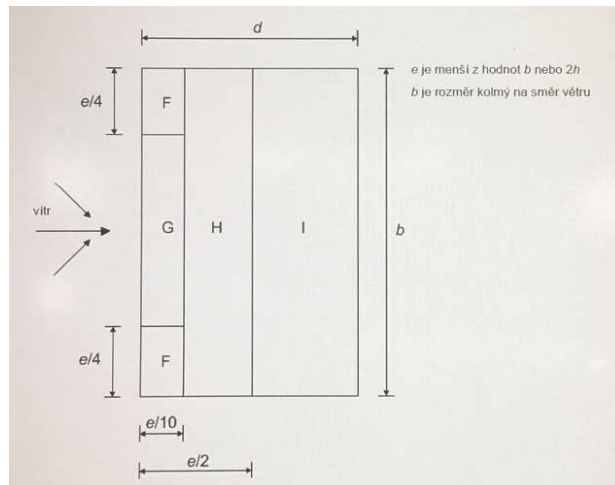
$$w_e = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{pe}$$

Rozhodující roli hraje na návrh nosných prvků tlak větru na návětrné straně (oblast D) spolu se sáním na straně závětrné (oblast E). Z tohoto hlediska budu dále počítat pouze s těmito 2 oblastmi na svislých konstrukcích. Vzhledem k velké hmotnosti střešní konstrukce zanedbávám zároveň působení sání na tuto plochu.

Směr větru – podélný		
Rozměry	X [m]	Y [m]
F	0,90	2,25
G	0,90	14,00
H	22,75	18,50
I	23,65	18,50

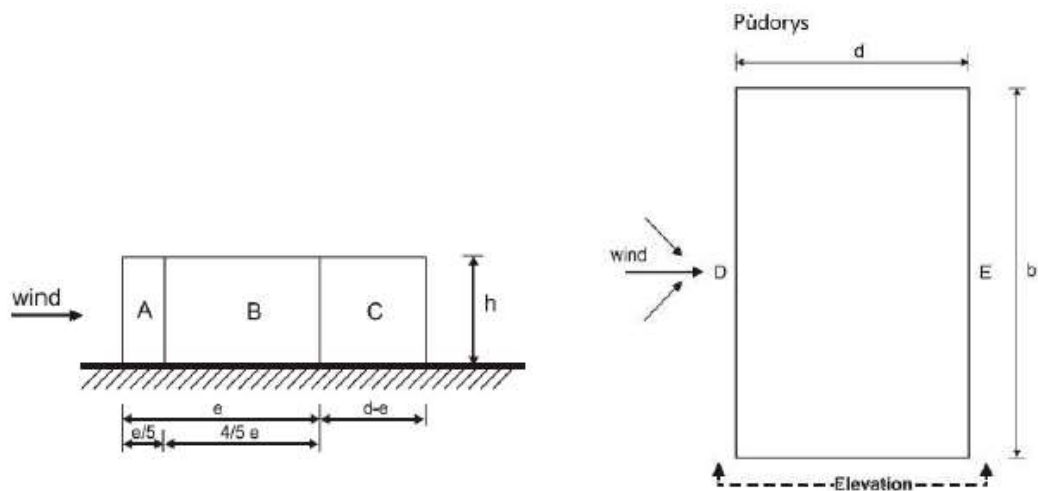
Směr větru – příčný		
Rozměry	X [m]	Y [m]
F	0,90	2,25
G	0,90	42,80
H	8,35	47,30
I	9,25	47,30

Součinitel c <sub>pe,10</sub>			
F	G	H	I
-1,2	-0,8	-0,7	±0,2
Tlak větru w <sub>e</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]			
-0,50	-0,34	-0,29	±0,08



Směr větru – podélný			
	L [m]	$c_{pe,10}$	$q_p$ [kN/m <sup>2</sup> ]
A	1,80	-1,20	<b>-0,50</b>
B	7,20	-0,80	<b>-0,34</b>
C	38,30	-0,50	<b>-0,21</b>
D	47,30	0,70	<b>0,29</b>
E	47,3	-0,3	<b>-0,13</b>

Směr větru – příčný			
	L [m]	$c_{pe,10}$	$q_p$ [kN/m <sup>2</sup> ]
A	1,80	-1,20	<b>-0,50</b>
B	7,20	-0,80	<b>-0,34</b>
C	9,50	-0,50	<b>-0,21</b>
D	18,50	0,70	<b>0,29</b>
E	18,50	0,30	<b>0,13</b>



### Zatížení sněhem

Sněhová oblast I ( $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ )

Tvarový součinitel  $\mu_i$

- Úhel sklonu střechy  $0^\circ - 30^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8$

Součinitel expozice  $C_e$

- Krajina normální  $\rightarrow C_e = 1$

Tepelný součinitel  $C_t$

- Pro střechy s prostupností  $< 1 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow C_t = 1$

$$s = \mu_i \cdot C_t \cdot C_e \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

### 1.1.2 Užiténé zatížení

Kategorie I → C4 – plochy určené k pohybovým aktivitám

$q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ , vzhledem k tomu, že je tato hodnota větší než zatížení sněhem, počítám pouze s  $q_k$

$\psi_0 = 0,7$ ;  $\psi_1 = 0,7$ ;  $\psi_2 = 0,6$

### 1.1.3 Ostatní stálé zatížení

skladba střešního pláště – pro variantu 1			
materiál	tloušťka [mm]	obj. hmotnost	Char.zatížení
	[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
umělý trávník, v. vlasu 9 mm	-		0,008
kamenivo 0/4	20	1650	0,330
kamenivo 4/8	50	1450	0,725
kamenivo 32/64	200	1400	2,800
stěrkopísek	60	1700	1,020
filtrační folie	2		0,002
profilovaná HDPE folie, perf.	20		0,010
separace	2,9		0,003
XPS	200	31	0,062
geotextílie	2		0,003
asf. hydroizolace	4,2		0,063
asf. parozábrana	4		0,043
EPS klíny	50	21	0,011
<b>CELKEM</b>	<b>615,1</b>		<b>5,08</b>

## 1.2 Návrh střešní desky

Střešní plášť bude uložen na dutinový prefabrikovaný panel. Jeden panel bude uložen vždy přes 1 pole na horní plochu vazníků.

### Plošné zatížení panelu:

zatížení	kN/m <sup>2</sup>
Ostatní stálé	5,08
užitné	5,00
Uvažované zatížení	-1,50

---

**CELKOVĚ**      **8,58 < 10,68** – maximum pro daný rozpon udávané výrobcem

**Rozpětí:** 6,60 m

**Návrh:** Dutinový panel PARTEK PSP265 – 0/6

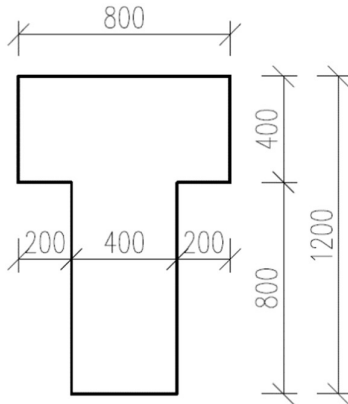


### 1.3 Návrh vazníku

Předpokládané vlastnosti materiálu:

- Beton: C50/60 XC1 –  $D_{\max}$  16
- Betonářská ocel: B500 B

Charakteristiky průřezu:



$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	0,640
$c_y$ [m]	0,183
$c_z$ [m]	0,351
$I_y$ [m <sup>4</sup> ]	0,079
$e_d$ [m]	0,700
$e_h$ [m]	0,500
$W_{yd}$ [m <sup>3</sup> ]	0,113
$W_{yh}$ [m <sup>3</sup> ]	0,158

#### 1.3.1 Mezní stav únosnosti

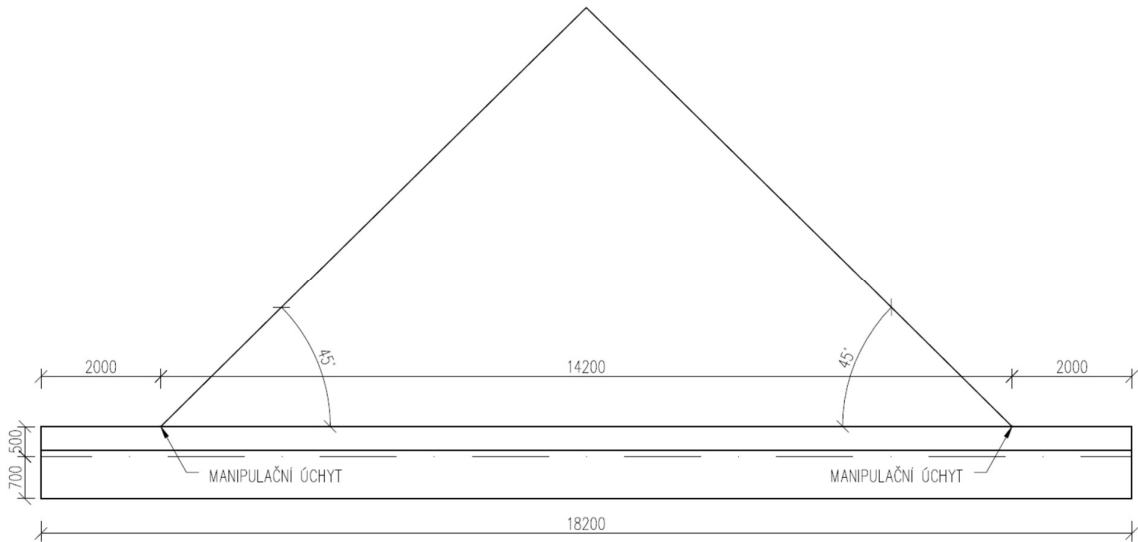
Prefabrikát je potřeba navrhnout na následující zatěžovací stavy:

- Betonáž – prefabrikát bude umístěn na bednění a plošně podepřen. Uvažuji, že betonáž bude probíhat ve stejné poloze, jako bude následně přemísťován a osazen na stavbě. Zatěžovací stav není třeba posuzovat
- Manipulace v panelárně a na staveništi – prefabrikát bude přemísťován pomocí manipulačních kotev, které budou umístěny na koncích prvku 2 m od jeho konců. Na háku jeřábu budou lana, která budou přichycena ke kotvám a s vazníkem budou svírat úhel 45°. Tento zatěžovací stav je posouzen. Uvažuji součinitel zatížení zohledňující dynamické namáhání během manipulace  $f = 1,5$ .
- Doprava – vazník bude během dopravy usazen na dřevěné hranoly, které se budou nacházet přibližně pod manipulačními kotvami. Statické schéma je podobné tomu u manipulace. Odchytky způsobené absencí normálové síly vnesené šikmými lany jsou na straně bezpečnosti a tudíž tento stav není třeba zvlášť posuzovat.
- Stav před umístěním panelů Spiroll – vazník bude osazen na monolitické sloupy do kapes v jejich zhlaví, které vazník stabilizují v místě uložení. Statické schéma je prostý nosník. Zatížená během provozní fáze je značně větší. Vazník je dostatečně masivní, aby hrozilo vybočení horní tlačené pásnice a tudíž není třeba zvlášť posuzovat.
- Provozní fáze – vazník je zatěžován všemi stálými i proměnnými zatíženími, jeho horní tlačená pásnice je stabilizována proti vybočení panelu Spiroll. Tento stav je podrobně posouzen.



## Manipulace

Vazník bude umístován pomocí 2 manipulačních kotev na horním povrchu vazník, ke kterým bude upevněno lano pod úhlem 45°.



Zatížení:

Stále	$f_k$ [kN/m]	$\gamma$	$f_d$ [kN/m]
Vlastní tíha	16,00	1,35	21,60

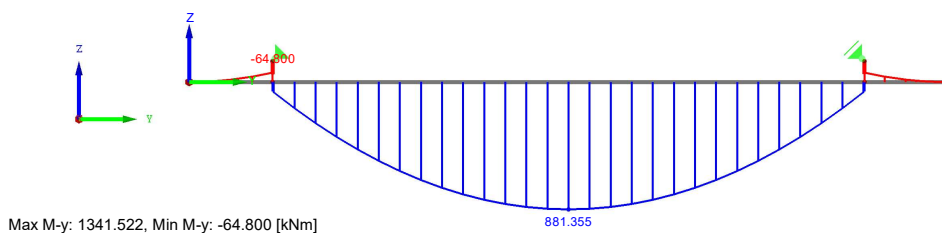
Dynamický součinitel při dopravě:  $f = 1,5$

$$f_{d,dopr} = f_d \cdot f = 21,60 \cdot 1,5 = \mathbf{32,40 \text{ kN/m}}$$

Ohybový moment na vazníku:

KZ1: 1.35°ZS1  
Vnitřní síly M-y

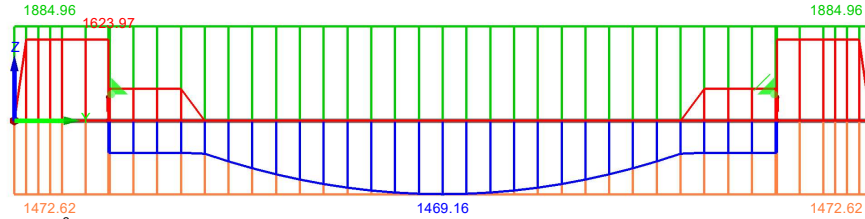
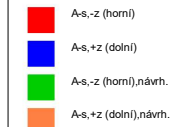
Proti směru osy X



## Návrh podélné výztuže:

RF-CONCRETE Members PŘ1  
jeřáb

Proti směru osy X



Max A-s,-z (horní): 1623.97 mm<sup>2</sup>  
 Max A-s,+z (dolní): 1469.16 mm<sup>2</sup>  
 Max A-s,-z (horní),návrh.: 1884.96 mm<sup>2</sup>  
 Max A-s,+z (dolní),návrh.: 1472.62 mm<sup>2</sup>

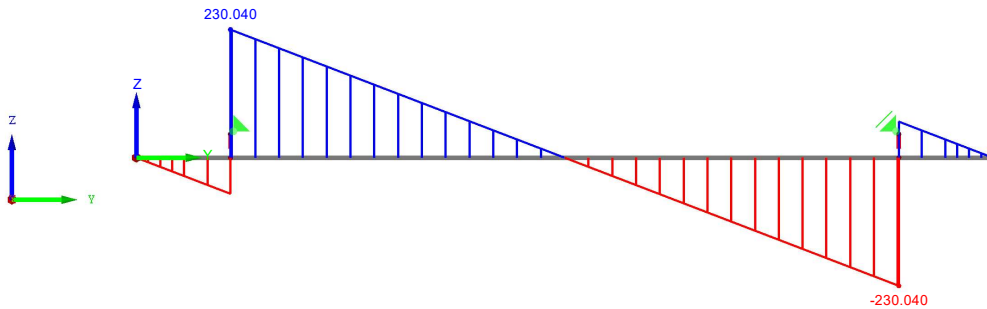
Horní výztuž – návrh 6xØ20 mm  $A_{s,prov} = 1884,96 \text{ mm}^2$

Dolní výztuž – návrh 3xØ25 mm  $A_{s,prov} = 1472,62 \text{ mm}^2$

## Posouvající síly na vazníku:

KZ1: 1.35\*ZS1  
Vnitřní síly V-z

Proti směru osy X



Max V-z: 294.840, Min V-z: -294.840 [kN]

## Návrh smykové výztuže:

RF-CONCRETE Members PŘ1

Proti směru osy X

jeřáb



Max a-sw,V,třminky: 452.55 mm<sup>2</sup>/m  
Max a-s,třminky,navr.: 523.60 mm<sup>2</sup>/m

Návrh: Třminky Ø10/300 mm, a<sub>s,prov</sub> = 523,6 mm<sup>2</sup>/m

### Návrh úchytu:

Součinitel přilnavosti–hladké, nenaolejované bednění

Tíha vazníku

$$q = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$G = A \cdot l \cdot \gamma_c = 0,64 \cdot 18,4 \cdot 25 = 294,4 \text{ kN}$$

Dynamický součinitel při dopravě

Plocha dolního bednění

$$f = 1,5$$

$$A_{\text{dolní}} = 0,4 \cdot 18,4 = 17,36 \text{ m}^2$$

Celkové zatížení

- Zvedání

$$V = G + A \cdot q = 294,4 + 17,36 \cdot 2 = 329,12 \text{ kN} \rightarrow 32,9 \text{ t}$$

- Doprava

$$V = G \cdot f = 294,4 \cdot 1,5 = 441,6 \text{ kN} \rightarrow 44,2 \text{ t}$$

Úhel sklonu lana

$$\beta = 45^\circ \rightarrow z = 1,41$$

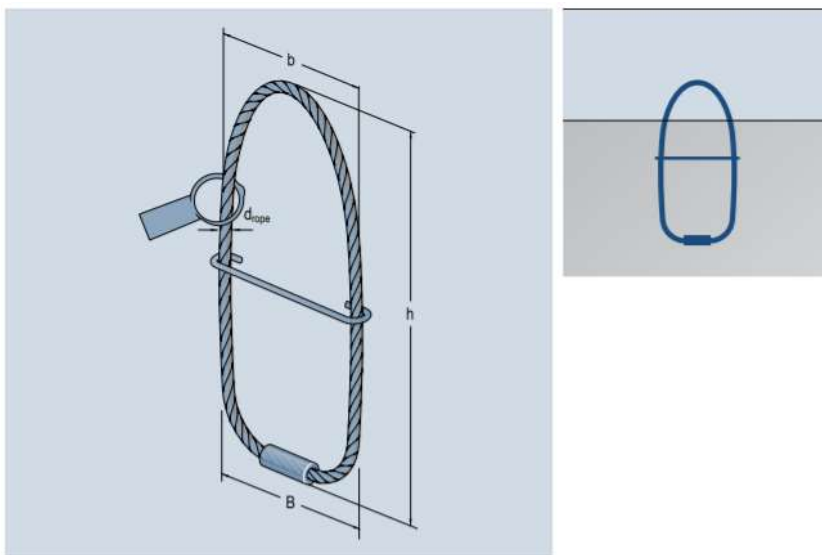
Počet úchytů

$$n = 2$$

Dimenzační tahová síla – pro jeden úchyt

$$F = z \cdot V / n = 1,41 \cdot 441,6 / 2 = 311,33 \text{ kN} \rightarrow 31,13 \text{ t}$$

Material:  
Flexible steel wire rope  
Swaged ferrule



Ref. No.	Type/ Size	N <sub>R, perm</sub> kN	h	Dimensions mm			Weight approx. kg/piece
				B	b	d <sub>ropo</sub> <sup>1)</sup>	
05.020.280.3	BS 28	280	680	360	262	32	9,64
05.020.320.3	BS 32	320	770	400	332	36	10,04
05.020.370.3	BS 37	370	950	440	380	36	15,14
05.020.420.3	BS 42	420	1000	480	418	40	19,23
05.020.470.3	BS 47	470	1100	520	438	44	20,87
05.020.520.3	BS 52	520	1200	550	456	44	27,00
05.020.570.3	BS 57	570	1350	600	500	48	30,75
05.020.650.3	BS 65	650	1430	690	600	46	36,01
05.020.750.3	BS 75	750	1530	760	700	50	46,02
05.020.850.3	BS 85	850	1680	850	760	52	55,06

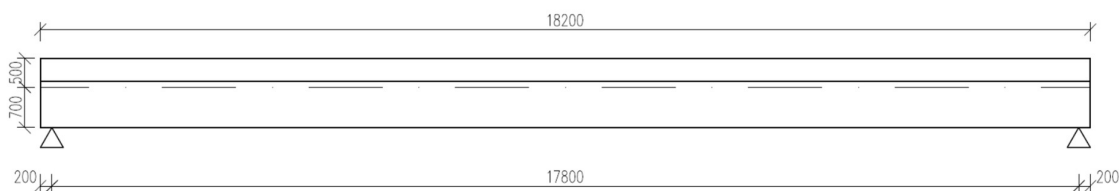
<sup>1)</sup> The given wire rope diameter is only an indication and may vary depending on wire rope construction.

Sample order  
16 PFEIFER BS Anchors BS 65:  
16 PFEIFER BS Anchors, ref. no. 05.020.650.3

## Návrh – 2x úchyt PFEIFER BS/32

### Provozní stav

Vazník bude na koncích uložen do kapsy v ŽB sloupu na trny, aby se zamezilo možného posunu vazníku v uložení a zajistila se jeho stabilita. Na horní povrch vazníku budou položeny dutinové panely Spiroll, na které bude poté provedené finální souvrství střechy.



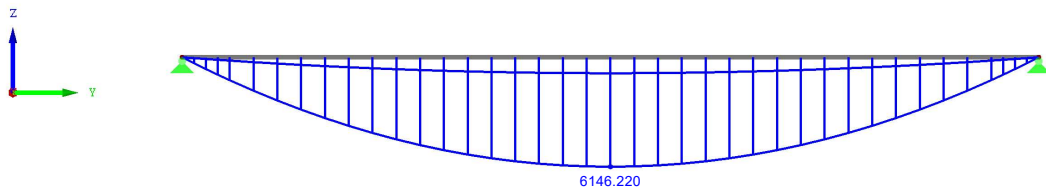
Zatížení:

Stálé	$f_k$ [kN/m]	$\gamma$	$f_d$ [kN/m]
Vlastní tíha	16,00	1,35	21,60
Spiroll	$3,60 \cdot 6,6 = 23,76$	1,35	32,08
Střešní plášť	$5,08 \cdot 6,6 = 33,53$	1,35	45,26
$\Sigma$	<b>79,29</b>	<b>1,35</b>	<b>98,94</b>
Proměnné	$f_k$ [kN/m]	$\gamma$	$f_d$ [kN/m]
užitné	$5,00 \cdot 6,6 = 33,00$	1,5	49,50
$f_{(g+q)}$	<b>112,29</b>		<b>148,44</b>

Ohybový moment na vazníku:

KV1: MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10a a 6.10b  
 Vnitřní síly M-y  
 Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Proti směru osy X

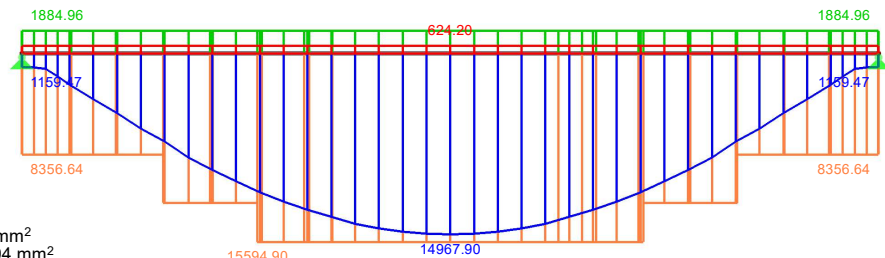
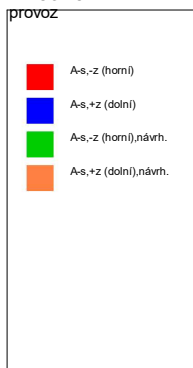


Max M-y: 6146.221, Min M-y: -257.320 [kNm]

Návrh podélné výztuže:

RF-CONCRETE Members PŘ3

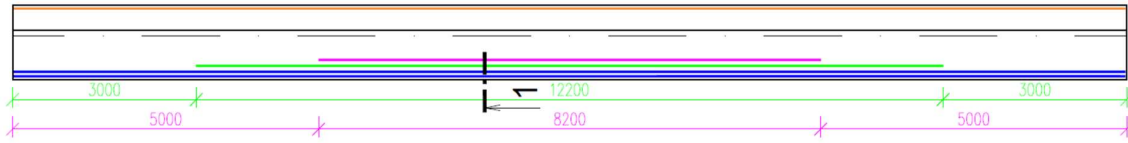
Proti směru osy X



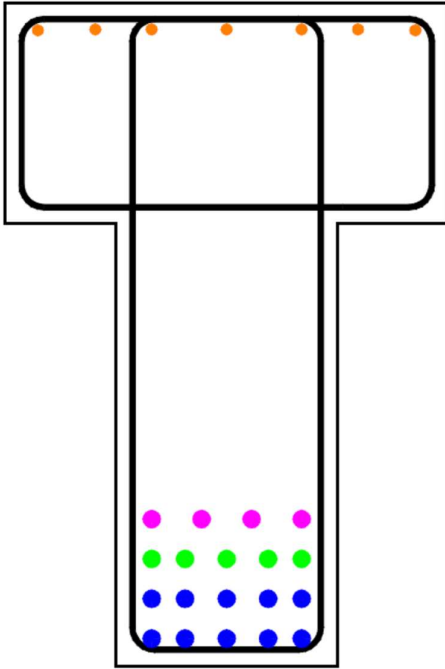
Max A-s,-z (horní): 627.77 mm<sup>2</sup>  
 Max A-s,+z (dolní): 14967.94 mm<sup>2</sup>  
 Max A-s,-z (horní),návrh.: 1884.96 mm<sup>2</sup>  
 Max A-s,+z (dolní),návrh.: 15594.87 mm<sup>2</sup>

Pozn.: Horní výztuž byla v tomto případě navýšena na 7x Ø 20 kvůli návrhovému stavu při manipulaci a kvůli konstrukčním zásadám.

Schéma vyztužení podélnou výztuží:



Řez 1:



Posouzení únosnosti tlačené diagonály nad podporou:

Vazník je uložen na pryžové ložisko o rozměrech 400 x 400 mm

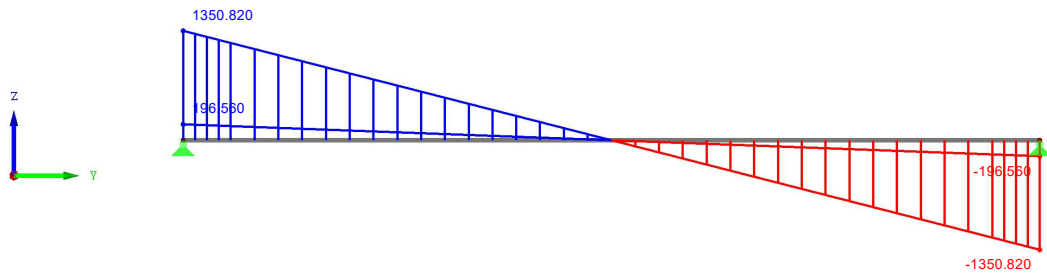
$$v_{Rd,max} = 0,85 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 0,85 \cdot \left(1 - \frac{50}{250}\right) \cdot \frac{50}{1,5} = 22,7 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,1} = \frac{V_{Ed}}{b \cdot a} = \frac{1350,82 \cdot 10^3}{400 \cdot 400} = 8,44 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 22,7 \text{ MPa} \quad \mathbf{OK}$$

Posouvající síly na vazníku:

KV1: MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10a a 6.10b  
 Vnitřní síly V-z  
 Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Proti směru osy X

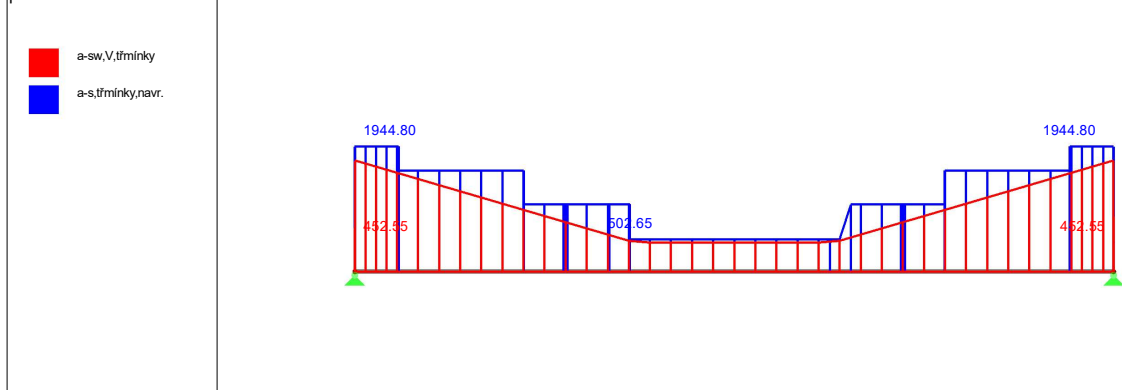


Max V-z: 1350.818, Min V-z: -1350.818 [kN]

### Návrh smykové výztuže:

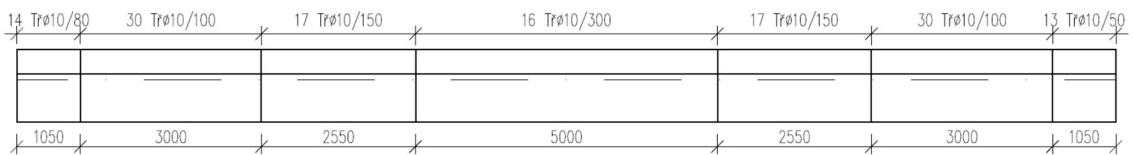
RF-CONCRETE Members PŘ2  
 provoz-testovací

Proti směru osy X



Max a-sw,V,třminky: 1726.58 mm<sup>2</sup>/m  
 Max a-s,třminky,navr.: 1944.80 mm<sup>2</sup>/m

### Schéma vyztužení smykovou výztuží:



### 1.3.2 Mezní stav použitelnosti

#### Mezní stav omezení napětí v betonu

pro charakteristickou kombinaci zatížení

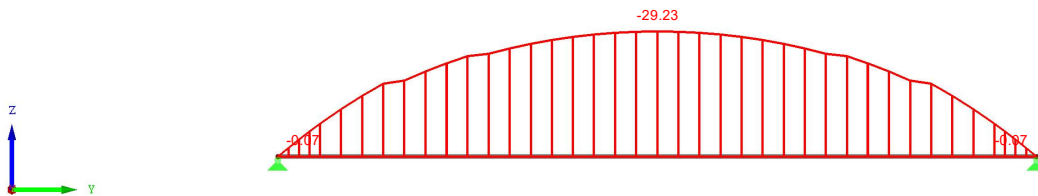
$$|\sigma_c| \leq k_1 \cdot f_{ck}$$

$$|\sigma_c| \leq 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

$$29,23 \text{ MPa} \leq 30 \text{ MPa}$$

RF-CONCRETE Members PŘ3  
provoz

Proti směru osy X



Max sigma-c,-z (horní),Ed: -0.07, Min sigma-c,-z (horní),Ed: -29.23 MPa

#### Mezní stav omezení napětí ve výztuži

(pro kvazi-stálou kombinaci zatížení)

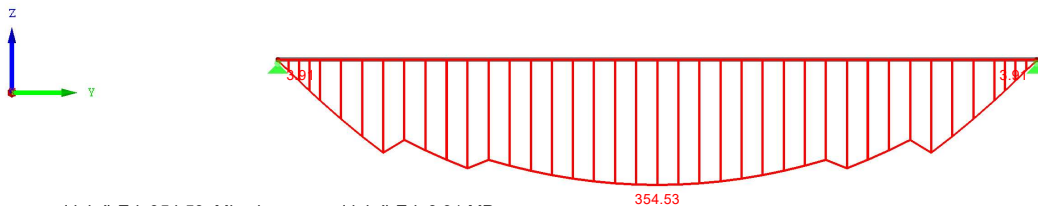
$$|\sigma_s| \leq k_3 \cdot f_{yk}$$

$$|\sigma_s| = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa}$$

$$354,53 \text{ MPa} \leq 400 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

RF-CONCRETE Members PŘ3  
provoz

Proti směru osy X



Max sigma-s,+z (dolní),Ed: 354.53, Min sigma-s,+z (dolní),Ed: 3.91 MPa



### Mezní stav omezení trhlin

(pro kvazi-stálou kombinaci zatížení)

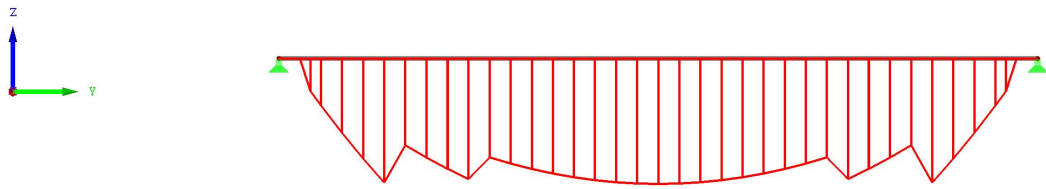
Maximální doporučená šířka trhlin pro třídu provozu XC1:

$$w_{k,max} = 0,4 \text{ mm}$$

$$w_{max} = 0,4 \text{ mm} > w_k = 0,043 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

RF-CONCRETE Members PŘ3  
provoz

Proti směru osy X



Max w-k,+z (dolní): 0.043, Min w-k,+z (dolní): 0.000 mm

### Mezní stav omezení průhybu

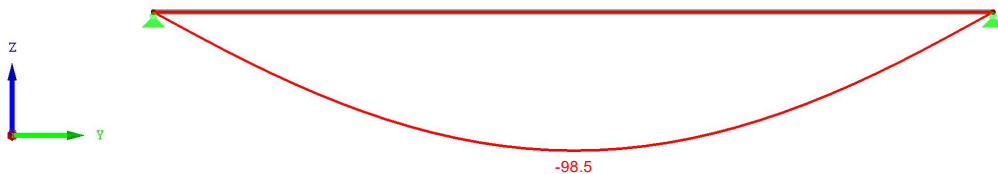
Maximální doporučený průhyb dle ČSN EN 1992 1-1 je 1/250 rozpětí konstrukce při kvazi-stálém zatížení. Výpočet byl proveden s uvažováním dotvarování a smršťování. Byl použit nelineární výpočet.

$$u_{z,max} = \frac{L}{250} = \frac{18200}{250} = 72,8 \text{ mm}$$

$$u = 98,5 \text{ mm} > u_{z,max} = 72,8 \text{ mm}$$

RF-CONCRETE Members PŘ2  
provoz-nelineární

Proti směru osy X



Max u-l,z: 0.0, Min u-l,z: -98.5 mm

Mezní průhyb je důležitý pro navazující konstrukce. Vzhledem k tomu, že jedinou navazující konstrukcí na vazník je střešní plášť, nehrozí, že by zvýšeným průhybem vazníku byla tato konstrukce porušena. Navrhují pouze, aby vrstva byla vrstva zeminy (štěrku) ve střešním plášti uprostřed rozpětí navýšena o 50 mm, aby zůstala zachována rovina hřiště.

## 1.4 Návrh sloupů

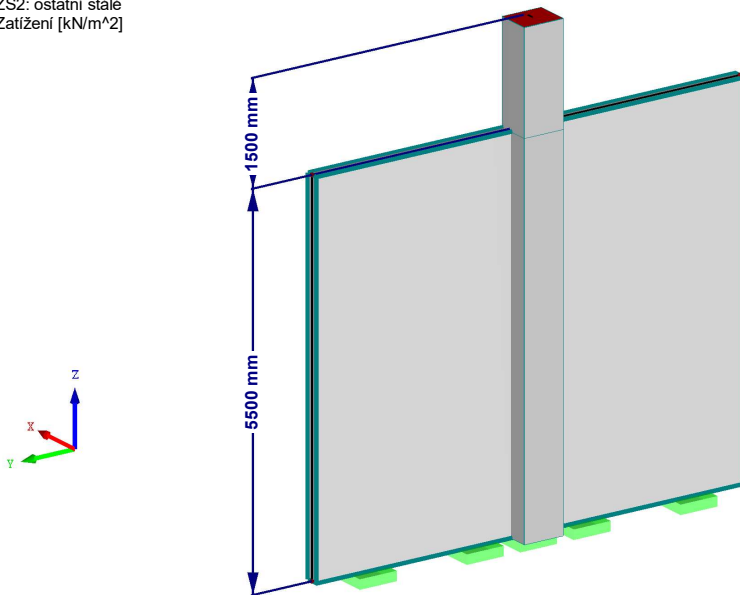
Sloup je založen na monolitické patce a je s ní tuze spojen. Do výšky 5,5 m je sloup monoliticky spojen s ŽB monolitickou stěnou. Dál pokračuje samostatně. Ve výšce 1,5 m od horní hrany stěny je uložen vazník. Dál pokračují pouze krajní části sloupu, které fungují jako kapsa pro uložení vazníku.

Výška sloupu:  $5\,500 + 1\,500 = 7\,000\text{ mm}$

Navržené rozměry sloupu:  $600 \times 500\text{ mm}$

ZS2: ostatní stálé  
Zatížení [kN/m<sup>2</sup>]

Izometrie



### 1.4.1 Zatížení:

Zatížení	$F_k$ [kN]	$\gamma$	$F_d$ [kN]
Vlastní tíha	$0,5 \cdot 0,6 \cdot 1,5 \cdot 25 = 11,25$	1,35	15,19
Vlastní tíha – vazník	145,6	1,35	196,56
Ostatní stálé zat.	530,33	1,35	715,95
Užitné	300,3	1,5	450,45
<b>CELKEM</b>	<b>987,48</b>		<b>1378,15</b>
Zatížení větrem – oblast D	1,91 kN/m	1,5	2,86 kN/m

Stěna je až do výšky 5,5 m pod terénem – působí na ní zemní tlak v klidu

- 1- Zemina F4, konzistence tuhá (mocnost 2,4 m)

$$f_1 = 5 + h \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v_1}{1 - v_1} = 5 + 2,4 \cdot 18,5 \cdot \frac{0,35}{1 - 0,35} = 28,90 \text{ kN/m}$$

- 2- Zemina R6-R5 (mocnost 2,4 m)

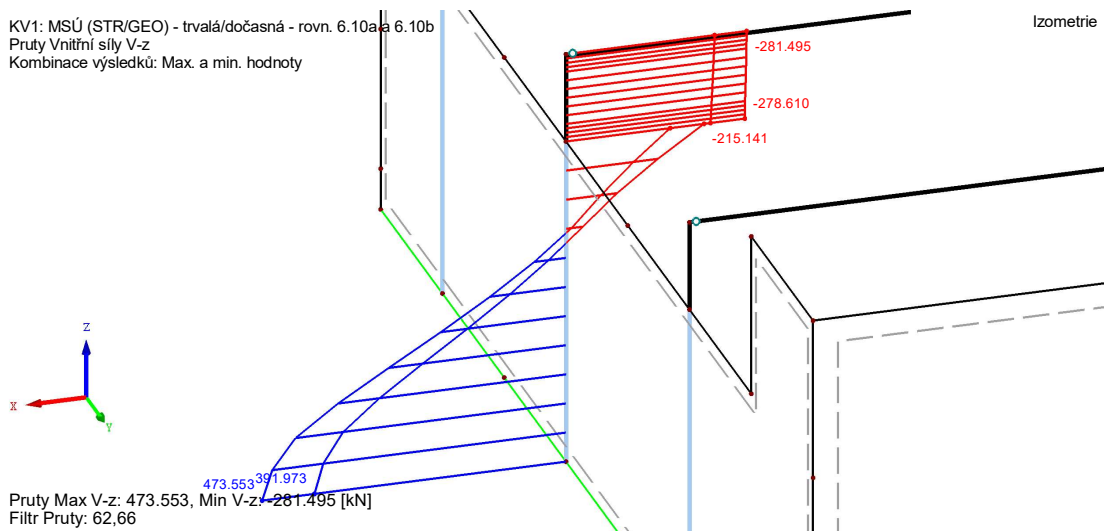
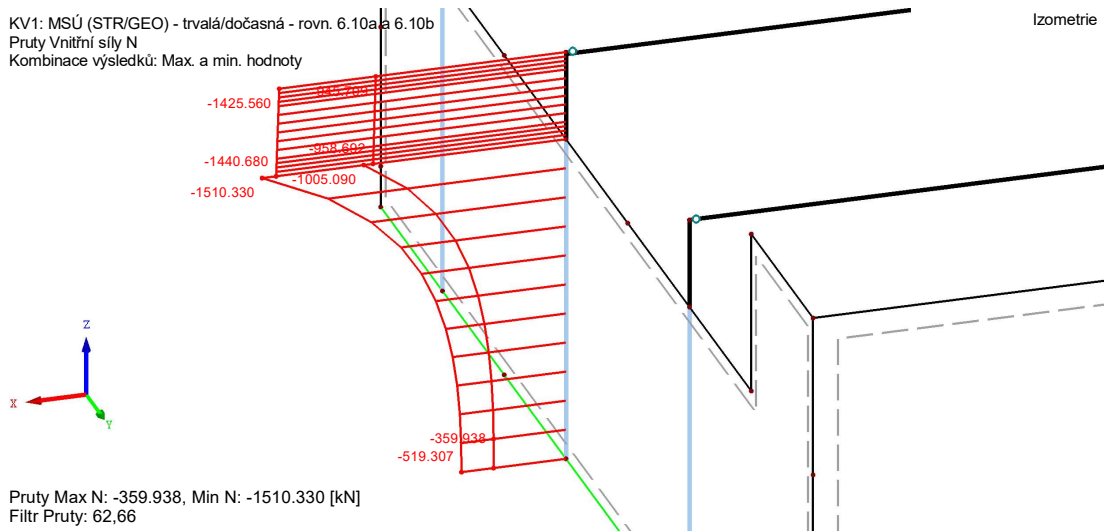
$$f_2 = f_1 + h \cdot \gamma_2 \cdot \frac{v_2}{1 - v_2} = 28,90 + 2,4 \cdot 22,0 \cdot \frac{0,35}{1 - 0,35} = 57,33 \text{ kN/m}$$

- 3- Zemina R4 (mocnost 0,7 m)

$$f_3 = f_2 + h \cdot \gamma_3 \cdot \frac{v_3}{1 - v_3} = 57,33 + 0,7 \cdot 24,0 \cdot \frac{0,28}{1 - 0,28} = 63,86 \text{ kN/m}$$

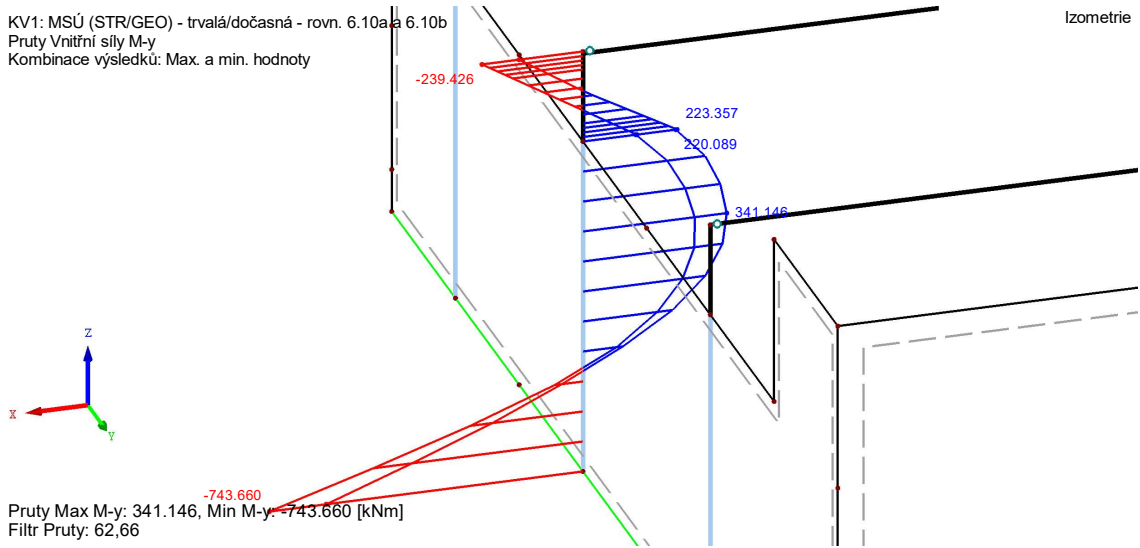
### 1.4.2 Mezní stav únosnosti

Návrh a posouzení byly provedeny pomocí programu RFEM 5



### Návrh podélné výztuže:

KV1: MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10a a 6.10b  
 Pruty Vnitřní síly M-y  
 Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty



### Návrh třmínků:

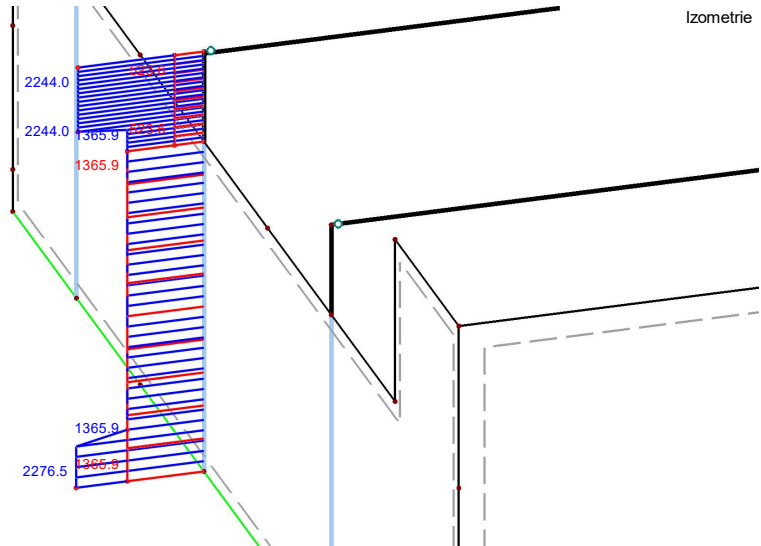
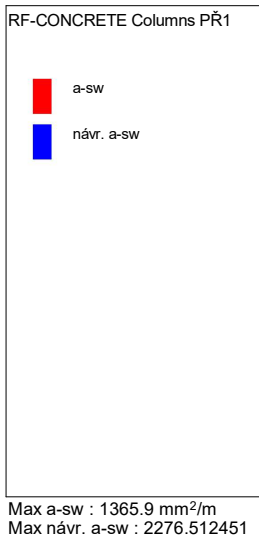
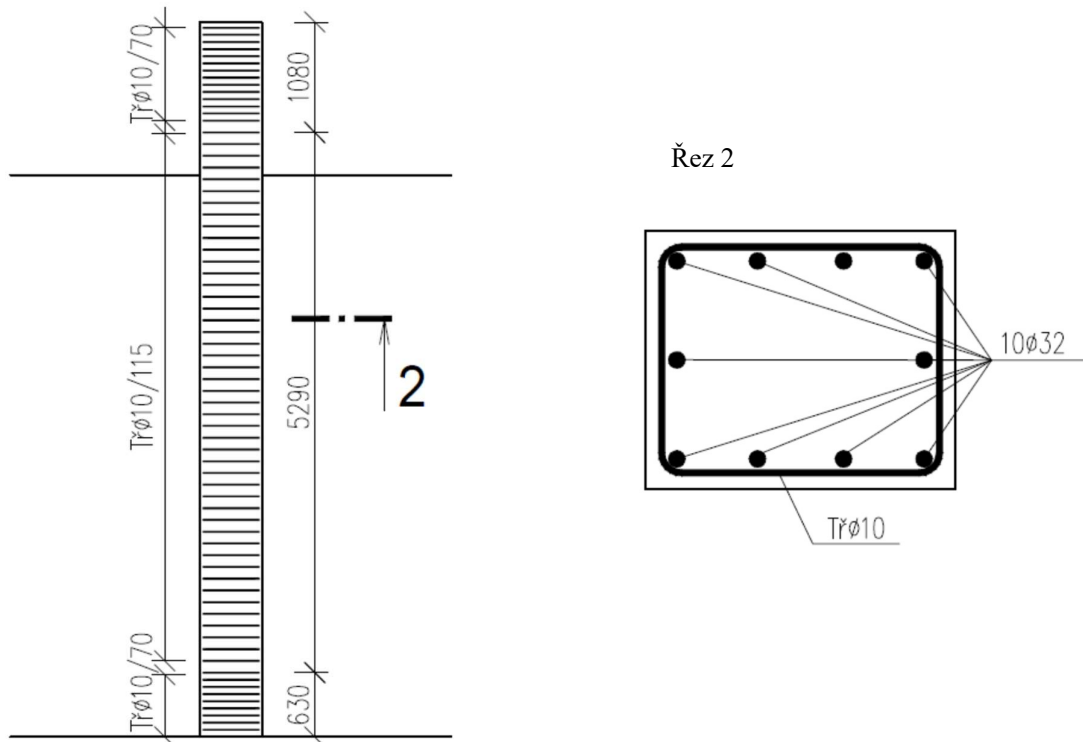


Schéma vyztužení:



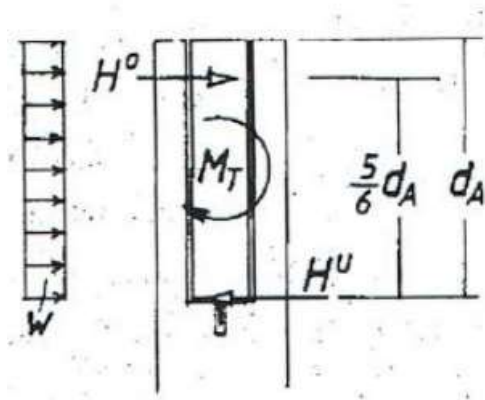
### 1.4.3 Návrh vidlice sloupu

Vidlice musí přenášet zatížení od větru na vazníky ve fázi, kdy ještě vazníky nejsou stabilizovány střešní deskou. Vidlice lze zjednodušit jako konzoly.

Namáhání vidlice:

$$H^0 = w \cdot d_M \cdot \frac{L}{4} + q_B \cdot \frac{L^2}{750 \cdot d_A} = 0,3 \cdot 1,2 \cdot \frac{18,4}{4} + 11,92 \cdot \frac{18,4^2}{750 \cdot 1,15} = 6,33 \text{ kN}$$

$$H^U = q_B \cdot \frac{L^2}{750 \cdot d_A} - w \cdot d_M \cdot \frac{L}{4} = 11,92 \cdot \frac{18,4^2}{750 \cdot 1,15} - 0,3 \cdot 1,2 \cdot \frac{18,4}{4} = 3,02 \text{ kN}$$



$q_B$  = zatížení střešní skladbou  
 $w$  = vnější zatížení větrem  
 $d_M$  = výška nosníku uprostřed

Návrh vyztužení:

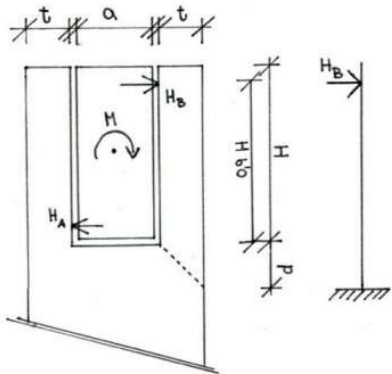
Vidlice bude vyztužená hlavní podélnou výztuží sloupů, která bude do těchto vidlic protažena.

Výztuž na 1 vidlici:  $2 \times \text{Ø } 32 A_s = 1608,50 \text{ mm}^2$

Posouzení vidlice:

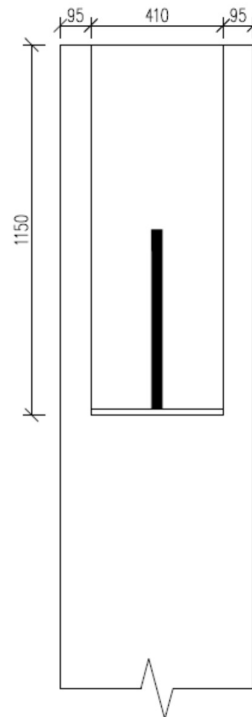
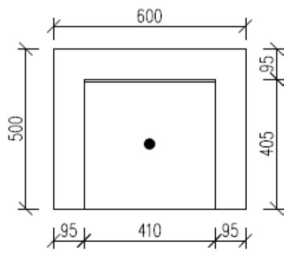
$$A_{s,req} = \frac{H^0 \cdot (0,9d_A + d)}{0,9 \cdot t \cdot f_{yd}} = \frac{6330 \cdot (0,9 \cdot 1150 + 90)}{0,9 \cdot 90 \cdot 435} = 202,11 \text{ mm}^2$$

$d = t$



$A_s = 1608,50 \text{ mm}^2 > A_{s,req} = 202,11 \text{ mm}^2$

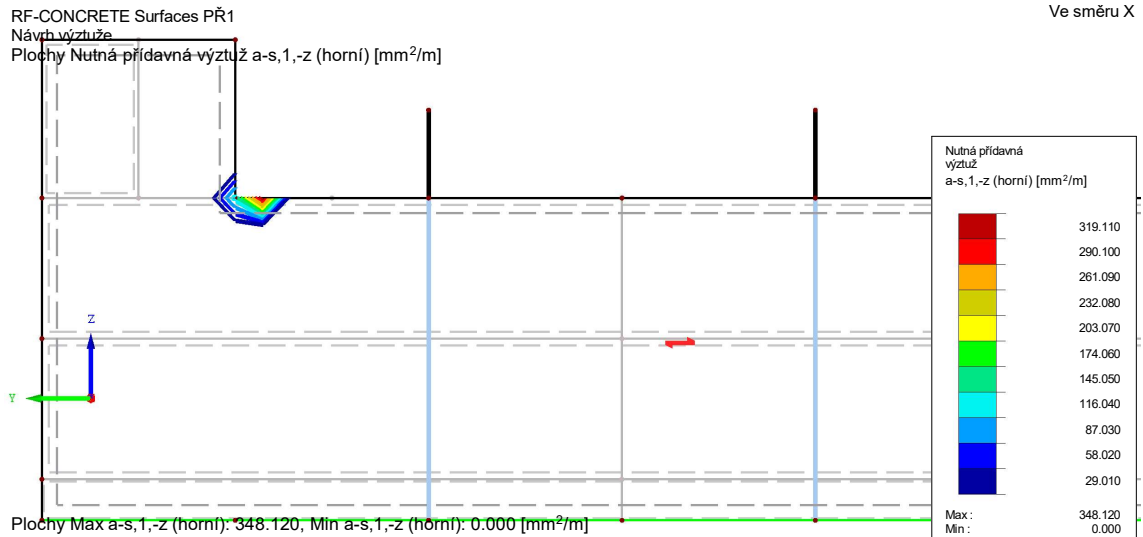
**OK**



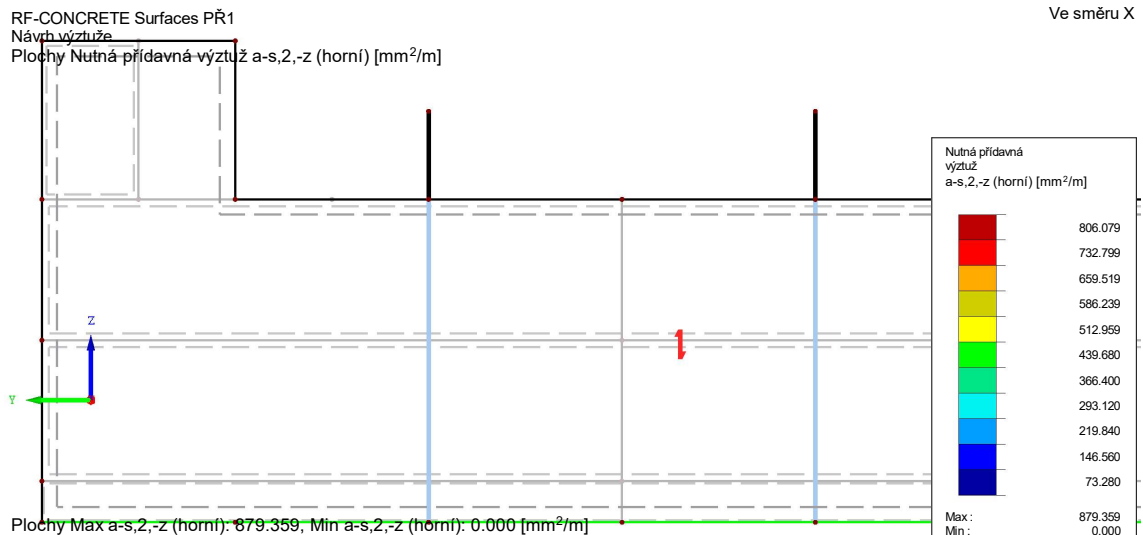
## 1.5 Návrh suterénní stěny

Byla řešena suterénní stěna přilehlá k navrhovaným sloupům, tedy na jižní straně objektu. Základní síť jsem zvolil v obou směrech  $\varnothing 10 / 200$  mm, u vnějšího povrchu je podélná výztuž. Stěna vystupuje nad terén o 0,5 m. Působí na ní pouze zemní tlaky a svislé zatížení od sloupů, které jsou do ní monoliticky vetknuté. Byla řešena polovina celé délky stěny.

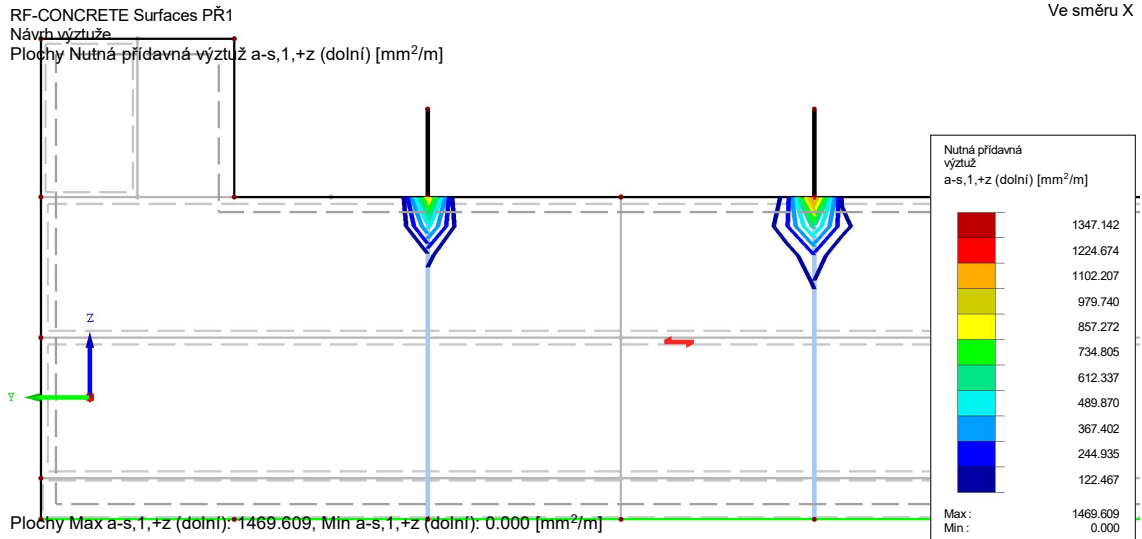
Nutná přidavná výztuž u vnitřního povrchu, směr vodorovný:



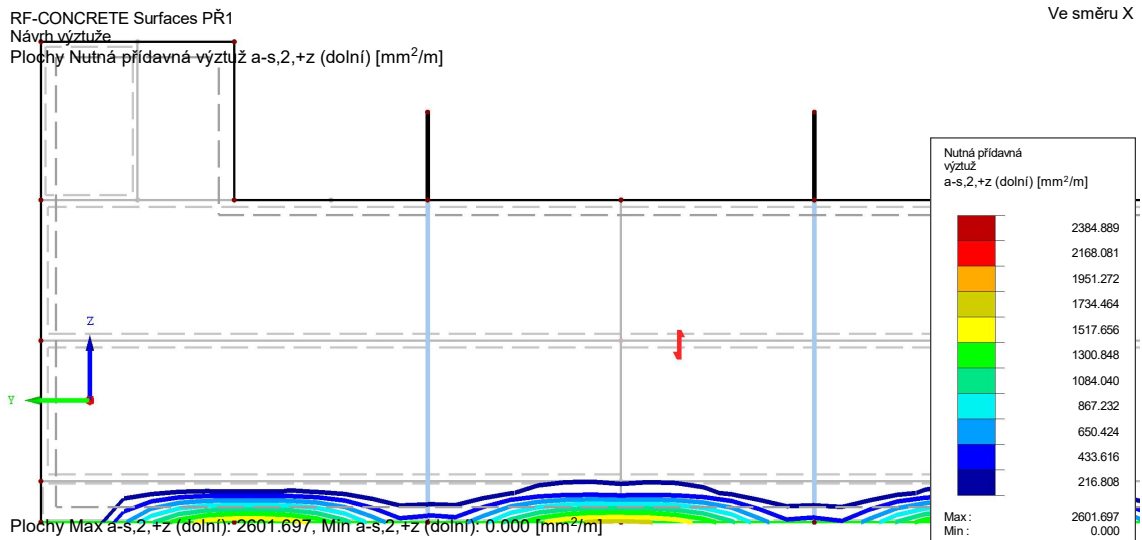
Nutná přidavná výztuž vnitřního povrchu, směr svislý:



Nutná přídavná výztuž vnějšího povrchu, směr vodorovný:



Nutná přídavná výztuž vnějšího povrchu, směr svislý:





## 2 Statický výpočet – Oblouk

### 2.1 Zatížení

#### 2.1.1 Klimatické zatížení

Česká republika – Praha 9: 50.102971079179326, 14.520986064148932

#### Zatížení větrem

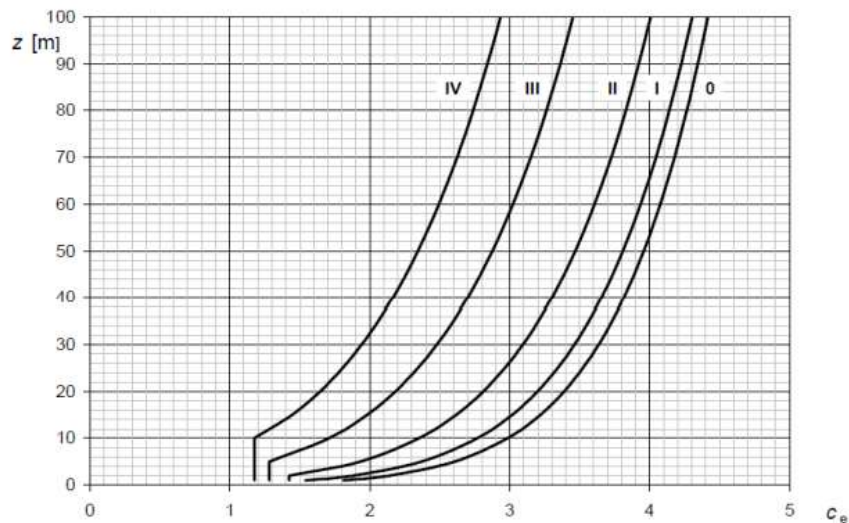
Větrná oblast I (základní rychlost větru:  $v_{b,0} = 22,5$  m/s)

- Základní rychlost větru  $q_b$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,5^2 = 0,32 \text{ kN/m}^2$$

Kategorie terénu III ( $f = 10,0$  m;  $h = 0 \rightarrow z = h + f = 0 + 10 = 10$  m)

- Součinitel expozice:  $c_e(z) = 1,7$



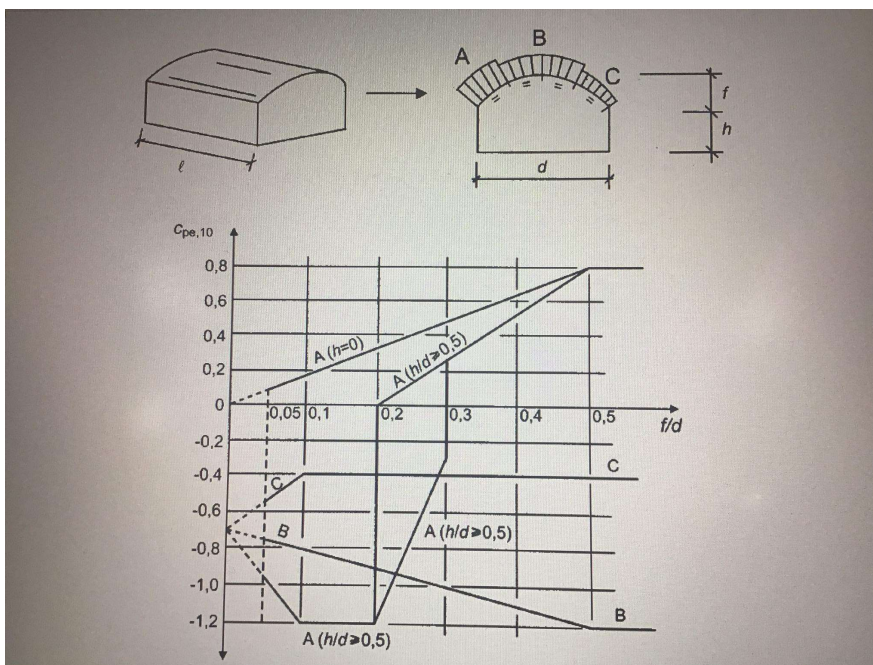
- Součinitelé tlaků a sil

Zatěžované plochy jsou větší než  $10 \text{ m}^2 \rightarrow$  uvažují součinitel  $C_{pe,10}$

- Tlak větru:

$$w_e = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{pe}$$

U působení podélného větru počítám s působením pouze na čelní stěny, vliv sání větru na plášť neuvažuji, protože bude mít minimální vliv. U příčného větru zohledňuji jeho všechny vlivy.



Součinitel $c_{pe,10}$		
A	B	C
0,8	-1,2	-0,4
Tlak větru $w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ]		
<b>0,44</b>	<b>-0,65</b>	<b>-0,22</b>

Směr větru – podélný			
	L [m]	$c_{pe,10}$	$q_p$ [kN/m <sup>2</sup> ]
D	47,30	0,70	<b>0,29</b>
E	47,3	-0,3	<b>-0,13</b>

### Zatížení sněhem

Sněhová oblast I ( $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ )

Tvarový součinitel  $\mu_i$

- $\mu_1 = 0,8$
- V tvarovém součiniteli neuvažují vliv výjimečného navátí sněhu podle přílohy B – v ČR se nepoužívá.

Součinitel expozice  $C_e$

- Krajina normální  $\rightarrow C_e = 1$

Tepelný součinitel  $C_t$

- Pro střechy s prostupností  $< 1 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow C_t = 1$

$$s = \mu_i \cdot C_t \cdot C_e \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

## 2.1.2 Užité zátížení

Kategorie H – střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav

$$q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2 < s = 1,4 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{užité zátížení neuvažují}$$

## 2.1.3 Ostatní stálé zátížení

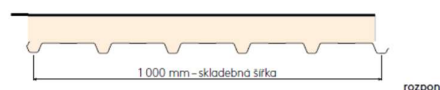
Střešní panel KS1000 TOP-DEK pro ploché a obloukové střechy

Celková tloušťka panelu: 130 mm

Hmotnost: 0,12 kN/m<sup>2</sup>

## 2.2 Návrh střešních sendvičových panelů

Střešní panel KS1000 TOP-DEK  
profilace plechu SP



Systém	Tloušťka plechu [mm]	Případ zátížení	Všechna zátížení v kN/m <sup>2</sup> pro dané rozpory v metrech									
			1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80
Prostý nosník	0,5	Tlak	3,90	2,69	1,94	1,28	0,88	0,62	0,45	0,33	0,25	0,18
		Sání	2,84	1,99	1,47	1,14	0,91	0,74	0,58	0,46	0,38	0,32
	0,6 (standardní)	Tlak	4,74	3,27	2,36	1,56	1,07	0,76	0,55	0,41	0,30	0,23
		Sání	3,83	2,68	1,98	1,53	1,22	0,91	0,71	0,56	0,46	0,38
	0,7 (na poptání)	Tlak	5,56	3,84	2,79	1,84	1,27	0,90	0,65	0,48	0,36	0,27
		Sání	4,90	3,42	2,53	1,95	1,44	1,07	0,83	0,66	0,53	0,45
		a <sub>min</sub> [mm]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
Spojitý nosník o 2 polích	0,5	Tlak	2,74	1,88	1,37	1,03	0,80	0,64	0,52	0,43	0,35	0,30
		Sání	4,01	2,80	2,07	1,59	1,27	1,04	0,86	0,73	0,62	0,51
	0,6 (standardní)	Tlak	3,71	2,56	1,86	1,41	1,10	0,88	0,71	0,59	0,49	0,41
		Sání	4,86	3,39	2,50	1,93	1,53	1,25	1,04	0,89	0,75	0,62
	0,7 (na poptání)	Tlak	4,76	3,28	2,39	1,81	1,42	1,13	0,92	0,76	0,64	0,54
		Sání	5,70	3,97	2,94	2,26	1,80	1,47	1,22	1,04	0,88	0,72
		a <sub>min</sub> [mm]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
		b <sub>min</sub> [mm]	80	80	80	80	80	80	80	80	80	
Spojitý nosník o 3 a více polích	0,5	Tlak	3,44	2,37	1,72	1,31	1,02	0,81	0,66	0,55	0,42	0,32
		Sání	5,00	3,49	2,57	1,98	1,54	1,14	0,87	0,69	0,56	0,46
	0,6 (standardní)	Tlak	4,66	3,21	2,34	1,78	1,39	1,11	0,90	0,68	0,52	0,40
		Sání	6,06	4,22	3,12	2,40	1,87	1,38	1,06	0,83	0,67	0,55
	0,7 (na poptání)	Tlak	5,97	4,13	3,01	2,29	1,79	1,44	1,07	0,80	0,61	0,47
		Sání	7,11	4,95	3,65	2,81	2,20	1,62	1,24	0,98	0,79	0,65
		a <sub>min</sub> [mm]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
		b <sub>min</sub> [mm]	80	80	80	80	80	80	80	80	80	

$$f_{tlak,max} = f_{snih} + f_{w,tlak} = 0,56 + 0,44 = 1,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow l_{max} = 5,97 \text{ m} > l = 4,70 \text{ m} \quad \text{OK}$$

$$f_{tah,max} = f_{w,tah} = 0,65 \text{ kN/m}^2 \rightarrow l_{max} = 7,10 \text{ m} > l = 4,7 \text{ m} \quad \text{OK}$$

Navržen střešní panel KS1000 TOP-DEK – tl. Plechu 0,7 mm

## 2.3 Návrh vaznic

### 2.3.1 Zatížení:

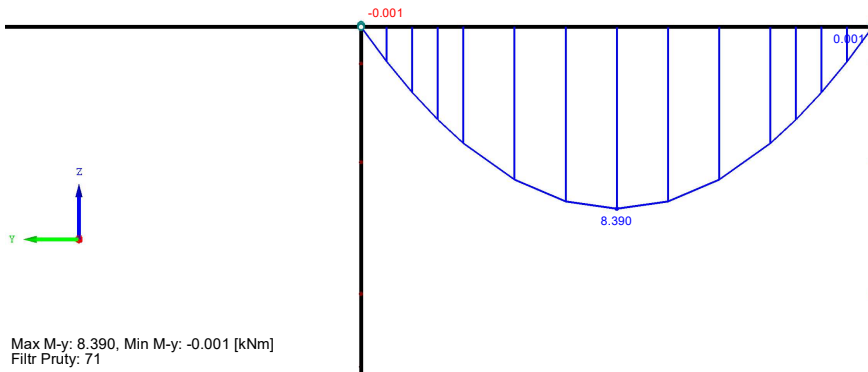
Zatížení	$F_k$ [kN/m]	$\gamma$	$F_d$ [kN/m]
Vlastní tíha	$0,3 \cdot 0,3 \cdot 25 = 2,25$	1,35	3,04
Vlastní tíha – sendvič	0,21	1,35	0,28
sníh	0,96	1,5	1,44
<b>CELKEM</b>	<b>3,42</b>		<b>4,76</b>
Vítr – oblast B	-1,15	1,5	2,24

### 2.3.2 Mezní stav únosnosti

#### Návrhové vnitřní síly:

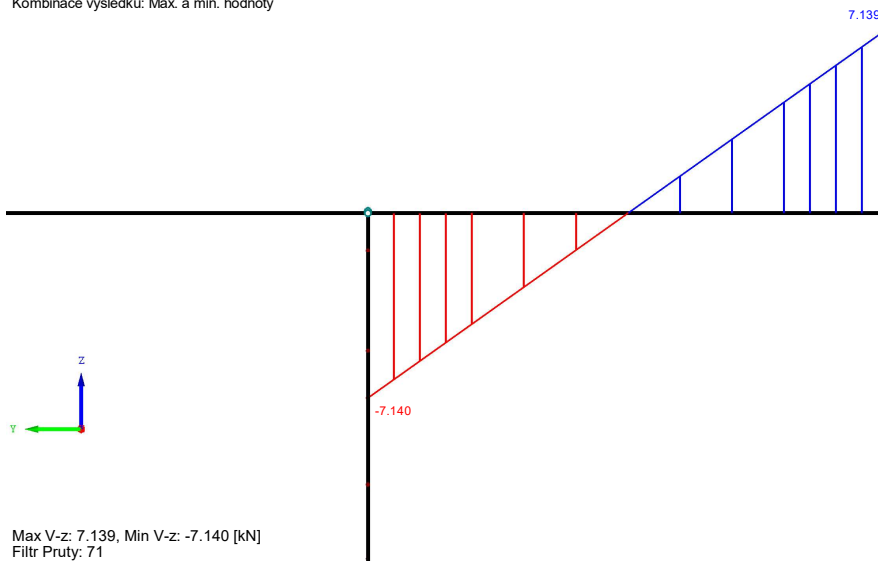
KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10  
 Vnitřní síly M-y  
 Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Ve směru X



KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10  
 Vnitřní síly V-z  
 Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

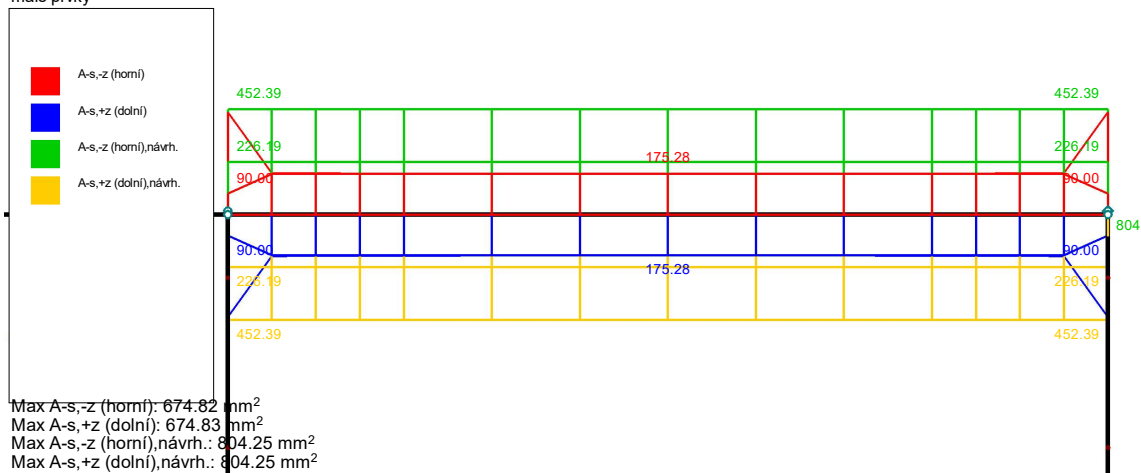
Ve směru X



## Návrh podélné výztuže:

RF-CONCRETE Members PŘ1  
malé prvky

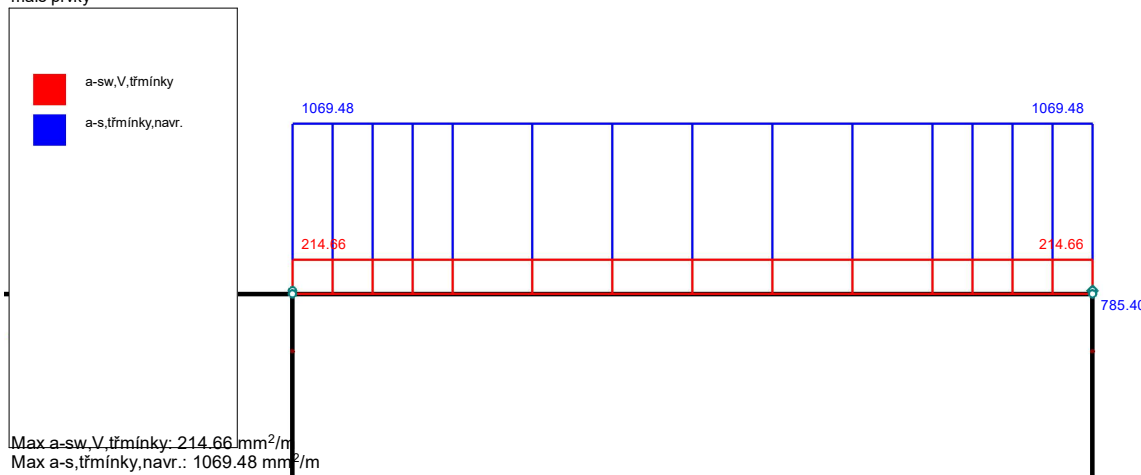
Ve směru X



## Návrh třmínků:

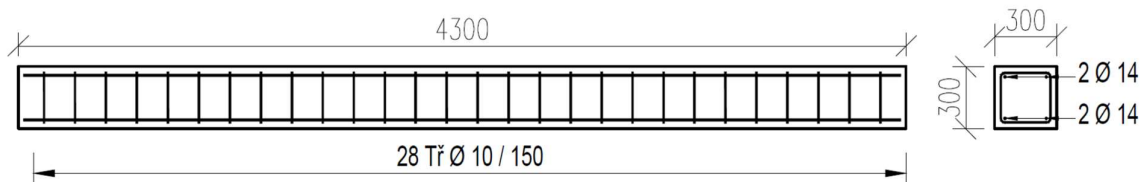
RF-CONCRETE Members PŘ1  
malé prvky

Ve směru X



Třmínky jsou navrženy vzhledem ke konstrukčním zásadám.

## Schéma vyztužení:



**Návrh manipulačního úchytu:** Součinitel přilnavosti–hladké, nenaolejované bednění

Tíha vaznice  $q = 2 \text{ kN/m}^2$

$G = A \cdot l \cdot \gamma_c = 0,09 \cdot 4,3 \cdot 25 = 9,68 \text{ kN}$  Dynamický součinitel při dopravě

Plocha dolního bednění  $f = 1,5$

$A_{\text{dolní}} = 0,3 \cdot 4,3 = 1,29 \text{ m}^2$

Celkové zatížení

- Zvedání

$$V = G + A \cdot q = 9,68 + 1,29 \cdot 2 = 24,97 \text{ kN} \rightarrow 2,5 \text{ t}$$

- Doprava

$$V = G \cdot f = 9,68 \cdot 1,5 = 14,52 \text{ kN} \rightarrow 1,45 \text{ t}$$

Úhel sklonu lana

$$\beta = 60^\circ \rightarrow z = 1,15$$

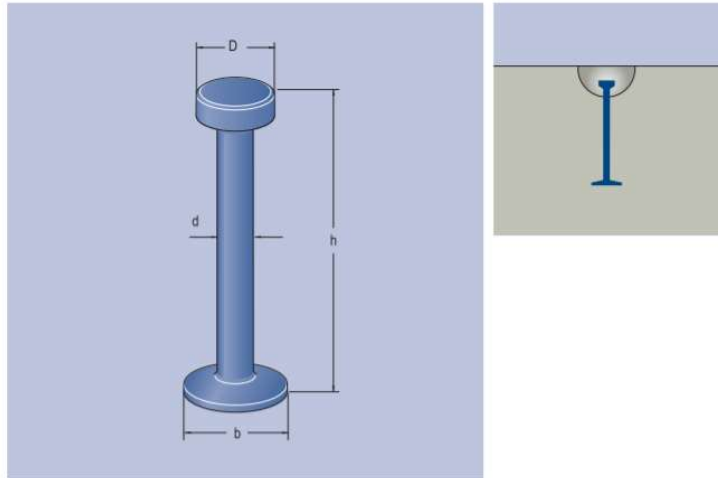
Počet úchytů

$$n = 2$$

Dimenzační tahová síla – pro jeden úchyt

$$F = z \cdot V/n = 1,15 \cdot 24,97/2 = 14,4 \text{ kN} < N_{Rd} = 25 \text{ kN}$$

**Material:**  
Forged steel, black



Ref.-No.	Type/Size	$N_{R,adm}^*$ [kN]	h	Dimensions [mm]			Weight approx. [kg/piece]
				D	d	b	
05.180.013.120.2	DR 1.3	13	120	18	10	25	0,10
05.180.025.170.2	DR 2.5	25	170	25	14	35	0,27
05.180.050.240.2	DR 5.0	50	240	36	20	50	0,76
05.180.075.300.2	DR 7.5	75	300	46	24	60	1,36
05.180.100.340.2	DR 10.0	100	340	46	28	70	1,98
05.180.150.400.2	DR 15.0	150	400	69	34	85	3,70
05.180.200.500.2	DR 20.0	200	500	69	39	99	5,87

**Navrženo: 2x PFEIFER DR 2.5 Anchor**

**Návrh konzolky:**

Beton C20/25:  $f_{cd} = 13,3 \text{ MPa}$

$\alpha_{cc} = 1,0$ ;  $\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$ ;  $\eta = 1,0$ ;  $\lambda = 0,8$

$v' = (1 - f_{ck}/250) = 0,92$

Styčnick s táhlem CCT

$\sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot v' \cdot f_{cd} = 10,4 \text{ MPa}$

Styčnick s více táhly CTT

$\sigma_{Rd,max} = 0,75 \cdot v' \cdot f_{cd} = 9,2 \text{ MPa}$

Betonová vzpěra se vznikem trhlin

$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot v' \cdot f_{cd} = 7,4 \text{ MPa}$

Výztuž B500B:  $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$

$T_{23} = F_{ED} = 7,413 \text{ kN}$

$A_{s,req} = 7413 / 435 = 17,04 \text{ mm}^2 \rightarrow 1 \text{ x třmínek dvoustřížný } \varnothing 10 \text{ mm: } A_{s,prov} = 157,1 \text{ mm}^2$

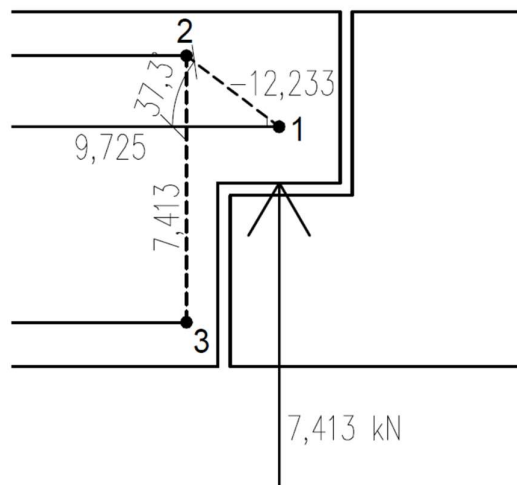
$\rightarrow$  Svislá výztuž ozubu je shodná s konstrukčními třmínky nosníku – není třeba zvyšovat

$$C_{12} = F_{ED} / \sin\Theta_1 = 7,413 / \sin 37,3^\circ = 12,233 \text{ kN}$$

$T_{14} = 9,725 \text{ kN} \rightarrow A_{s,req} = 22,36 \text{ mm}^2 \rightarrow$  není třeba navrhovat zvláštní výztuž, stačí konstrukční výztuž tříminky  $\varnothing 10 \text{ mm}$   $A_{s,prov} = 22,36 \text{ mm}^2$

Navržená výztuž je popsána ve výkresu výztuže vaznice.

Vzhledem ke stejné povaze i stejným rozměrům konzolky oblouku je tento výpočet platný i pro ni.





## 2.4 Návrh sloupů

Štítové stěny jsou posuvně připojeny ke štítovým obloukům, a tudíž se nepodílí na přenášení svislých zatížení. Nesou pouze vlastní hmotnost, přenášejí zatížení od větru a napomáhají ke stabilitě haly v podélném směru.

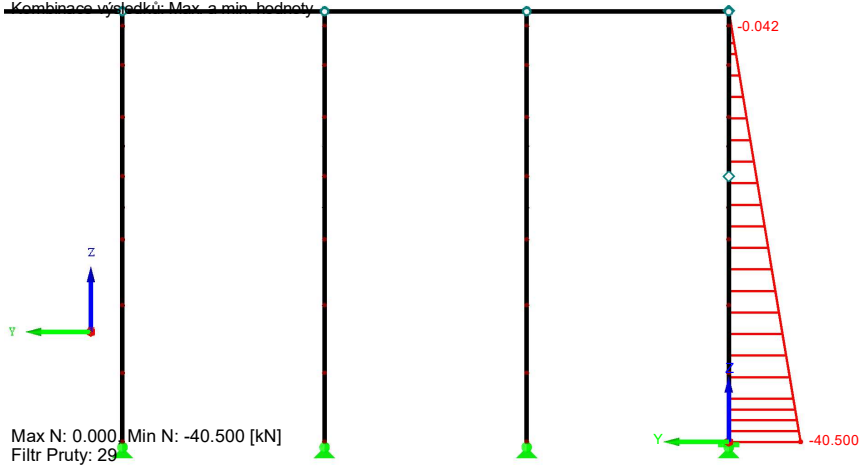
### 2.4.1 Střední sloup

#### Návrhové vnitřní síly:

KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10  
Vnitřní síly N

Ve směru X

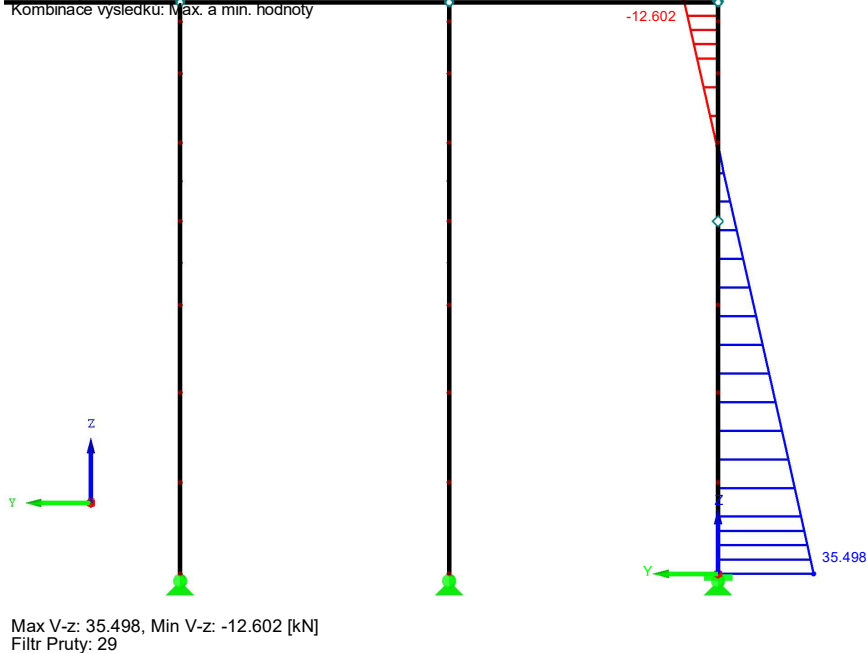
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty



KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10  
Vnitřní síly V-z

Ve směru X

Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

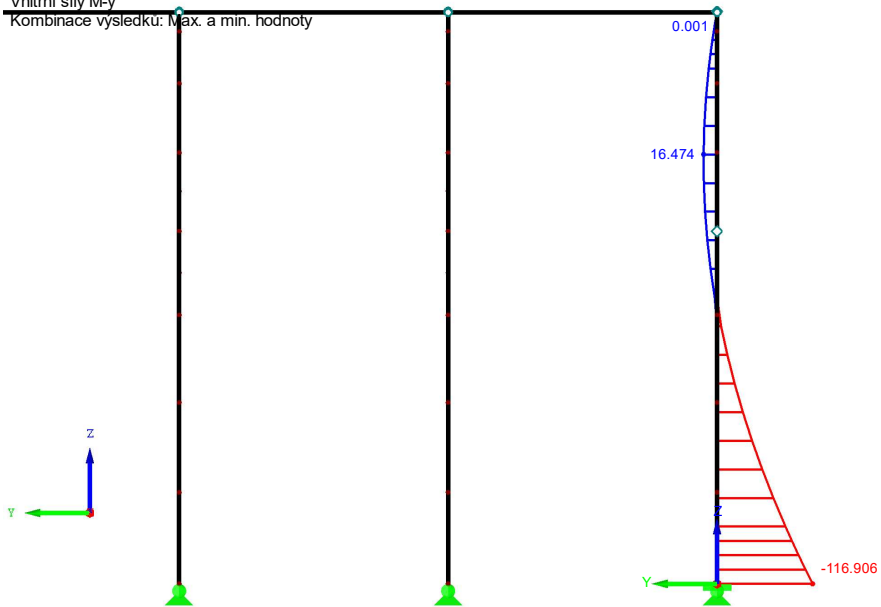


KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10

Ve směru X

Vnitřní síly M-y

Kombinace výsledku: Max. a min. hodnoty



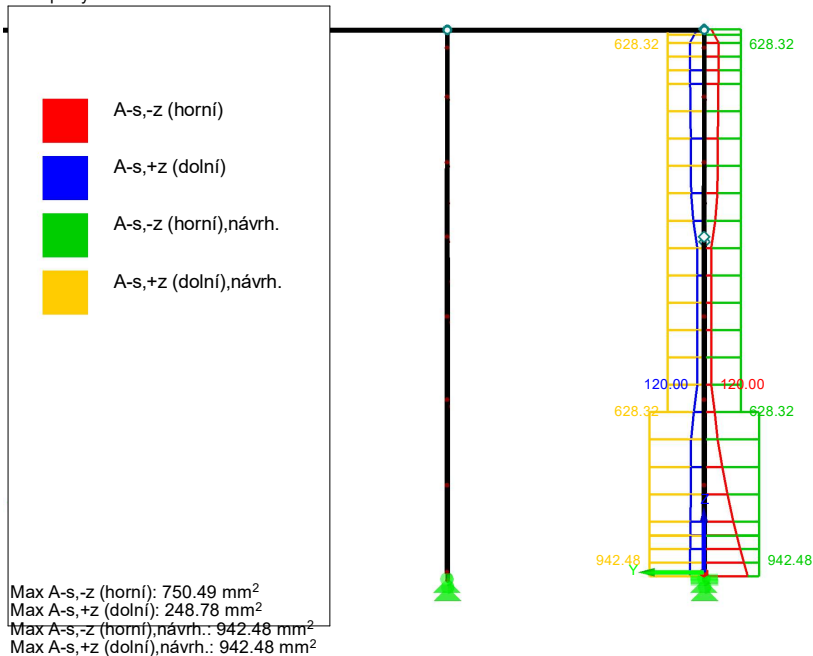
Max M-y: 16.474, Min M-y: -116.906 [kNm]  
Filtr Pruty: 29

### Návrh podélné výztuže:

RF-CONCRETE Members PŘ1

Ve směru X

malé prvky



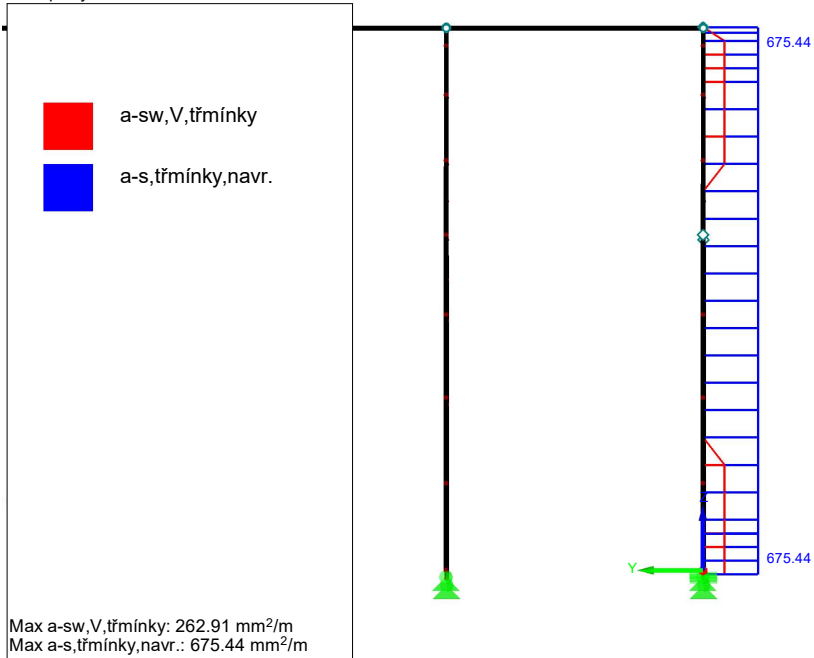
Max A-s,-z (horní): 750.49 mm<sup>2</sup>  
Max A-s,+z (dolní): 248.78 mm<sup>2</sup>  
Max A-s,-z (horní),návrh.: 942.48 mm<sup>2</sup>  
Max A-s,+z (dolní),návrh.: 942.48 mm<sup>2</sup>

V modelu je zahrnut vliv podélného větru pouze v jednom směru. Z tohoto důvodu je navržena symetrická výztuž.

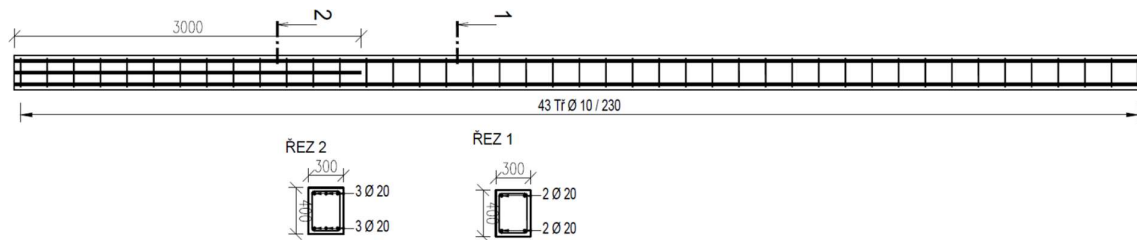
## Návrh třmínků:

RF-CONCRETE Members PŘ1  
malé prvky

Ve směru X



## Schéma vyztužení:



## Návrh manipulačního úchytu:

Sloupem bude manipulováno pomocí otvoru ve jeho horní čtvrtině, do které bude zasunuta trubka, ke které se upevní lano od jeřábu. Jeho vyztužení je dostatečné, aby přeneslo tah od vlastní tíhy.

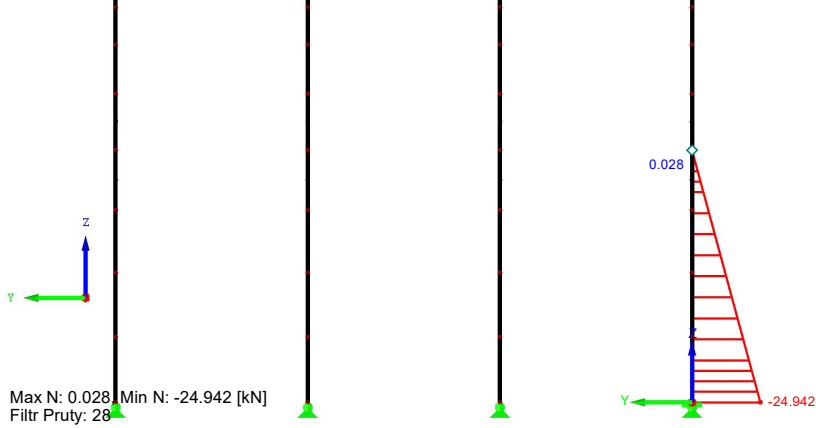
## 2.5 Krajiní sloupy:

### Návrhové vnitřní síly:

KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10

Vnitřní síly N

Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

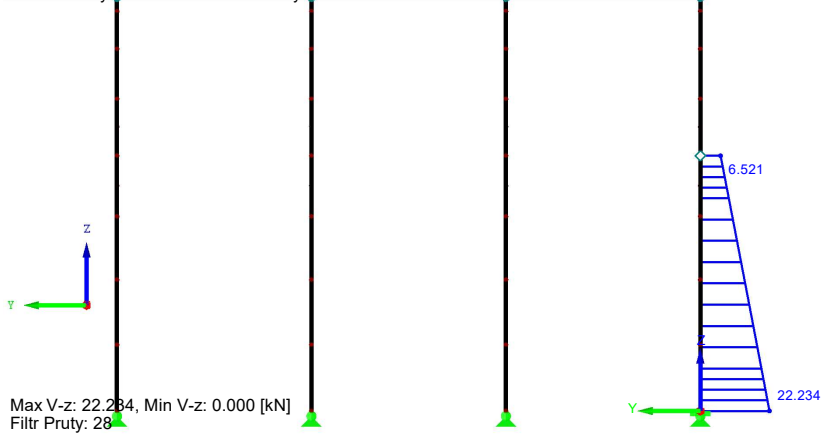


Ve směru X

KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10

Vnitřní síly V-z

Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

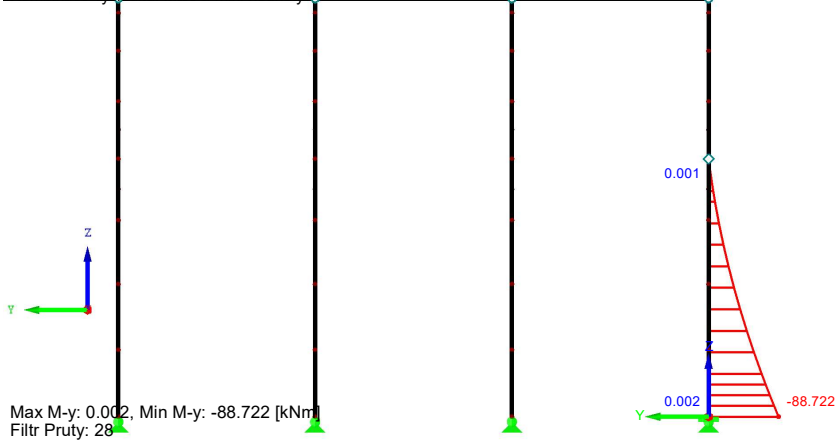


Ve směru X

KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10

Vnitřní síly M-y

Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

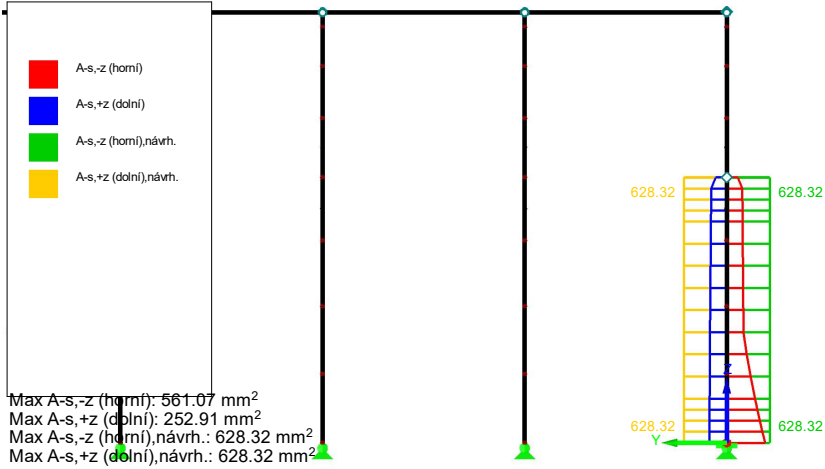


Ve směru X

### Návrh podélné výztuže:

RF-CONCRETE Members PŘ1  
malé prvky

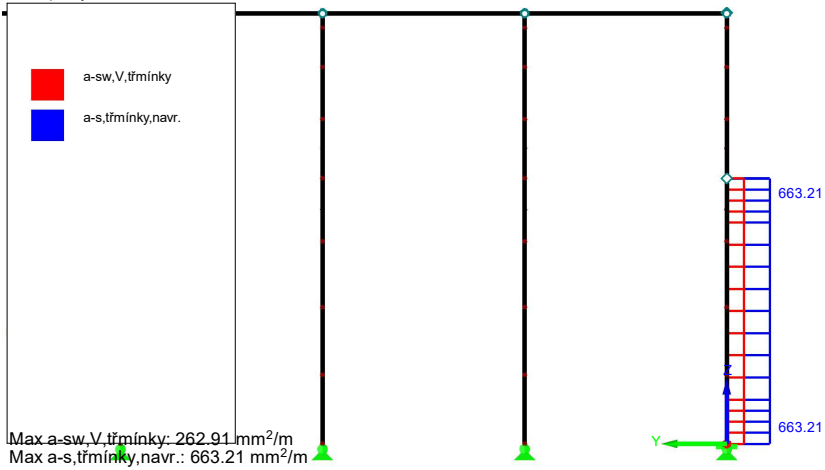
Ve směru X



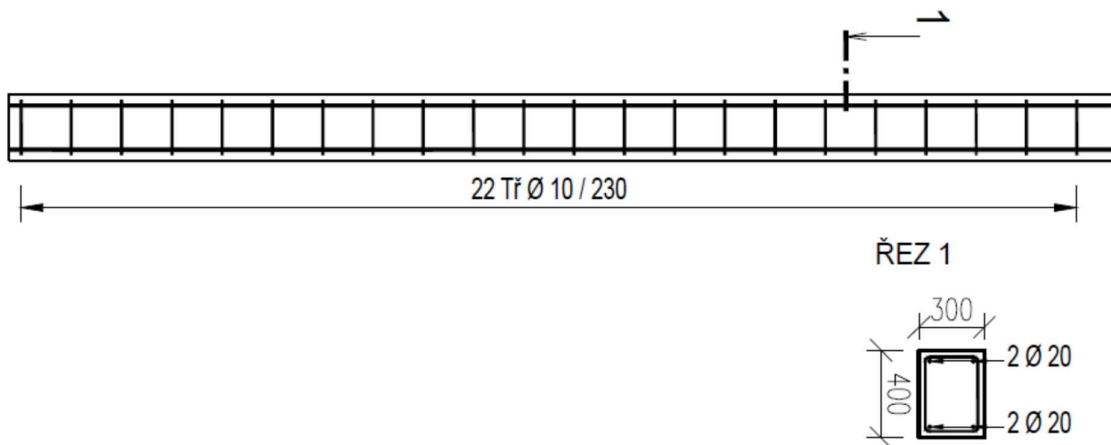
**Návrh třmínků:**

RF-CONCRETE Members PŘ1  
malé prvky

Ve směru X



**Schéma vyztužení:**



## Návrh manipulačního úchytu:

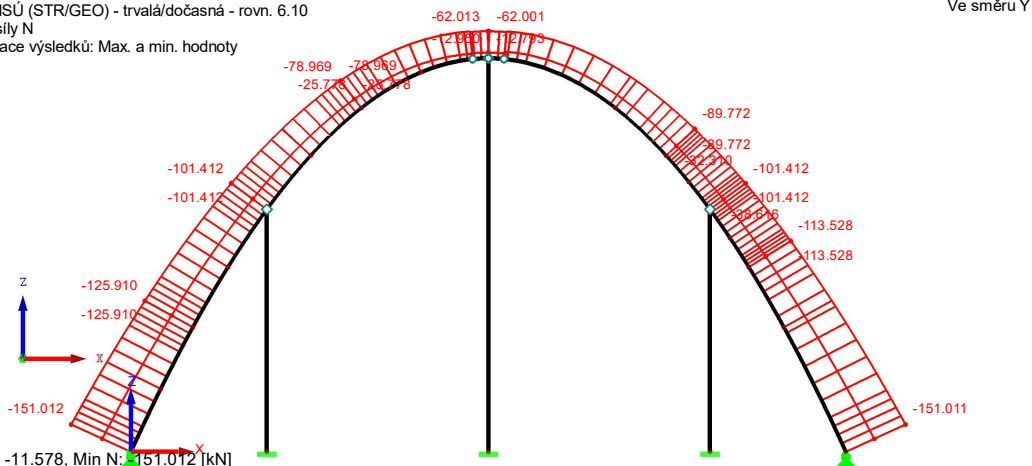
Sloupek bude manipulováno pomocí otvoru ve jeho horní čtvrtině, do které bude zasunuta trubka, ke které se upevní lano od jeřábu. Jeho vyztužení je dostatečné, aby přeneslo tah od vlastní tíhy.

## 2.6 Návrh oblouku

Oblouk je prefabrikovaný ze 2 dílů spojených ve vrcholu oblouku. Statické schéma je trojkloubový oblouk. Kloub v patě je vyřešen ocelovou patkou, která bude umožňovat pootočení v uložení (viz výkres prefabrikátu). Styk ve vrcholu oblouku je vyřešen opřením obou částí oblouku o sebe a přivařením horní výztuže pomocí příložek a nevybetonovaných kapes na horním povrchu.

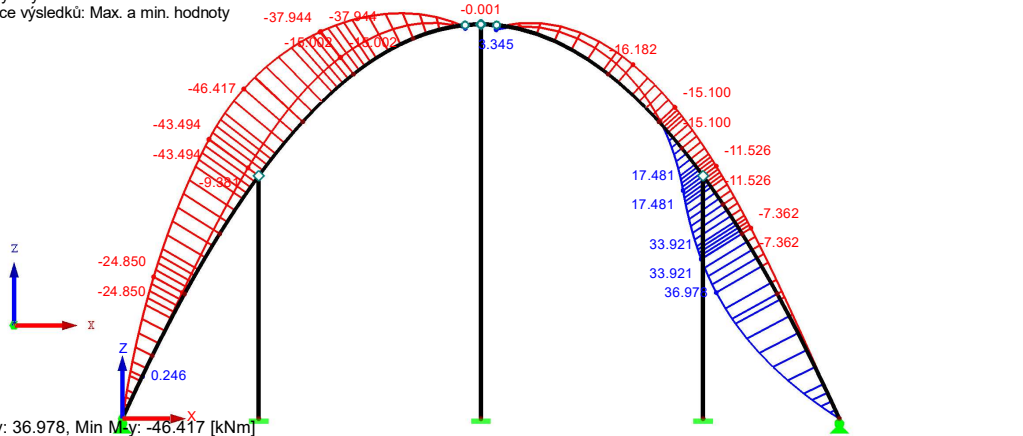
### Návrhové vnitřní síly:

KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10  
Vnitřní síly N  
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty



Max N: -11.578, Min N: -151.012 [kN]  
Filtr Pruty: 3,4,15,16,26,42,48,62

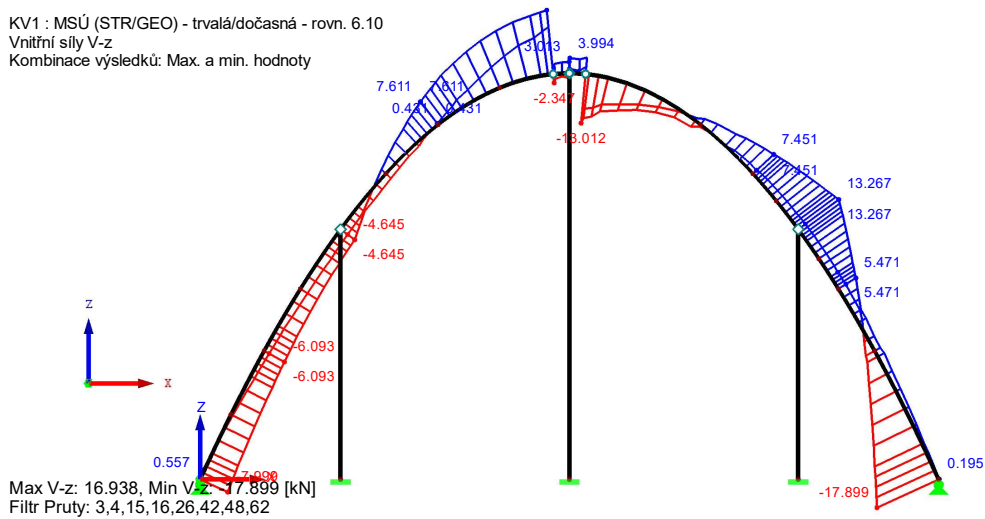
KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10  
Vnitřní síly M-y  
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty



Max M-y: 36.978, Min M-y: -46.417 [kNm]  
Filtr Pruty: 3,4,15,16,26,42,48,62

KV1 : MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10  
 Vnitřní síly V-z  
 Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

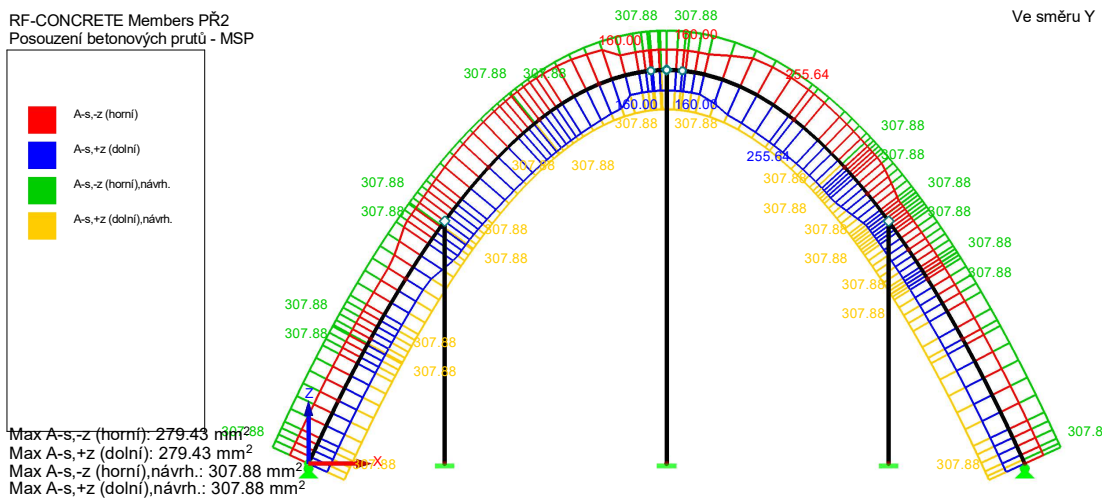
Ve směru Y



### Návrh podélné výztuže:

RF-CONCRETE Members PŘ2  
 Posouzení betonových prutů - MSP

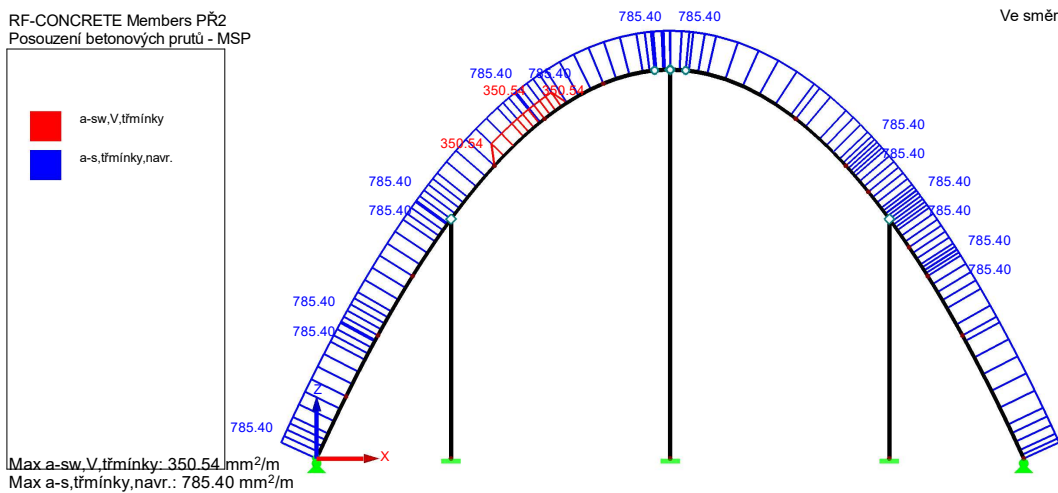
Ve směru Y



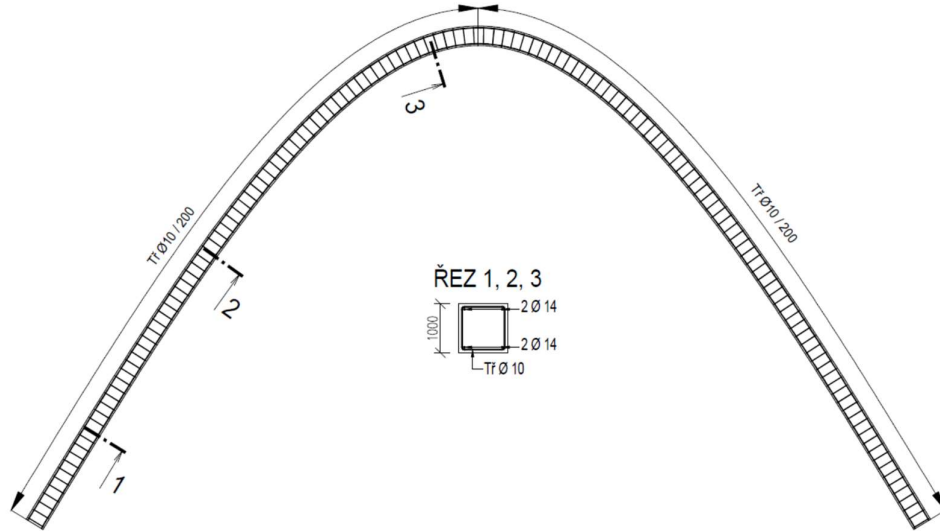
### Návrh třmínků:

RF-CONCRETE Members PŘ2  
 Posouzení betonových prutů - MSP

Ve směru Y



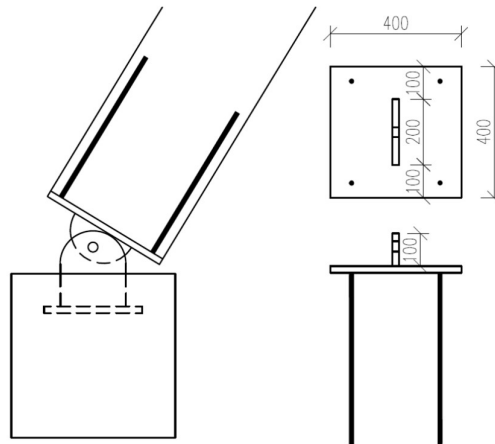
### Schéma vyztužení:



### Mezní stav použitelnosti:

Oblouková konstrukce není náchylná na deformace. Průřez oblouku je nadimenzován vzhledem ke stabilitě celé konstrukce. Veškeré napětí v prvku je výrazně menší, než jsou limitní hodnoty dané normou ČSN EN 1992-1-1.

### Návrh ocelové patky:



max  $N = 151,1 \text{ kN}$       max  $V = 19,12 \text{ kN}$

Návrhová síla  $R = 152,3 \text{ kN}$



Únosnost šroubu ve střihu:

Návrh: dvojstřížný M16 8.8

$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 n A f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 2 \cdot 201 \cdot 800}{1,25} = 154,37 \text{ kN} > R = 152,3 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

Únosnost šroubu v otláčení:

Návrh ocelového plechu: S235, tl. 20 mm

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b d t f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 16 \cdot 20 \cdot 360}{1,25} = 230 \text{ kN} > R = 152,3 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

Ocelové prvky budou vzájemně přivařeny svarem tloušťky 5 mm.

## Návrh smykového trnu:

Ve sloupu budou zabetonovány 2 smykové trny – pro každou část oblouku jeden.

### NÁVRHOVÉ HODNOTY ÚNOSNOSTI BETONU A OCELI V ŽELEZOBETONU

Typ trnu HED-S HED-P	Návrhové hodnoty únosnosti oceli $V_{Rd,s}$ [kN] při zohlednění tření a šířky spáry				Tloušťka prvku h [mm]	Návrhové hodnoty únos- nosti betonu * $V_{Rd,c}$ [kN] pro C20/25
	z = 0-10 mm	z = 11-20 mm	z = 21-30 mm	z = 31-40 mm		
20	14,3	9,5	7,1	5,7	≥ 160	13,7
					≥ 180	14,3**
22	18,1	12,2	9,3	7,4	≥ 160	14,2
					≥ 180	15,8
					≥ 200	17,2
					≥ 220	18,0
					≥ 240	18,1**
25	24,8	17,1	13,1	10,6	≥ 180	20,5
					≥ 200	22,4
					≥ 220	23,6
					≥ 240	24,6
					≥ 260	24,8**
30	38,5	27,5	21,4	17,5	≥ 220	29,2
					≥ 240	31,5
					≥ 260	33,7
					≥ 280	35,8
					≥ 300	38,0
					≥ 320	38,5**

$$V_{Ed} = \frac{12,6}{2} = 11,3 \text{ kN} < V_{Rd,s} = 13,1 \text{ kN}$$

Uvažovaná šířka spáry 25 mm

**Návrh: 2x smykový trn HED-S 25 + GS pouzdro**