


# STATICKÝ VÝPOČET

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ FAKULTA STAVEBNÍ			
OBOR:	Stavební inženýrství		JMÉNO STUDENTA
KATEDRA:	K 134		Bc. Tomáš Pintíř
VEDOUcí PRÁCE:	doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš		
AKCE :  Ocelová rozhledna u Úlic		DATUM 10.5.2021	
		Č. PŘÍLOHY 2	



## Obsah

<b>1. Konstrukce</b> .....	<b>3</b>
1.1. Model .....	3
1.2. Výkaz průřezů .....	4
1.3. Materiálové charakteristiky .....	10
<b>2. Zatížení</b> .....	<b>11</b>
2.1. Vlastní tíha .....	11
2.2. Zatížení užité .....	11
2.3. Zatížení sněhem .....	11
2.4. Zatížení větrem .....	12
2.5. Rekapitulace zatěžovacích stavů .....	25
2.6. Kombinace zatížení MSÚ .....	26
2.7. Kombinace zatížení MSP .....	27
<b>3. Posouzení průřezů na mezní stav únosnosti</b> .....	<b>29</b>
3.1. Vnitřní síly na prvcích .....	29
3.2. Maximální reakce v uložení .....	29
3.3. Posouzení hlavních sloupů (vnější) .....	30
3.4. Posouzení sloupu schodiště (vnitřní) .....	34
3.5. Posouzení ztužidel .....	38
3.6. Posouzení nosníků plošiny (přímé) .....	41
3.7. Posouzení nosníků plošiny (zakřivené) .....	46
3.8. Posouzení konzoly schodiště .....	51
3.9. Posouzení vzpěry podesty .....	56
3.10. Posouzení krokve přístřešku .....	61
3.11. Posouzení příčnicku přístřešku .....	67
<b>4. Posouzení detailů na mezní stav únosnosti</b> .....	<b>73</b>
4.1. Přípoj přímého nosníku a ztužidel na hlavní sloup .....	73
4.2. Přípoj přímého nosníku na hlavní sloup .....	78
4.3. Přípoj přímého nosníku na vnitřní sloup .....	80
4.4. Přípoj zakřiveného nosníku na nosník přímý .....	83
4.5. Přípoj konzoly schodiště na vnitřní sloup .....	85
4.6. Přípoj vzpěry na zakřivený nosník .....	88
4.7. Ocelová patka .....	90



---

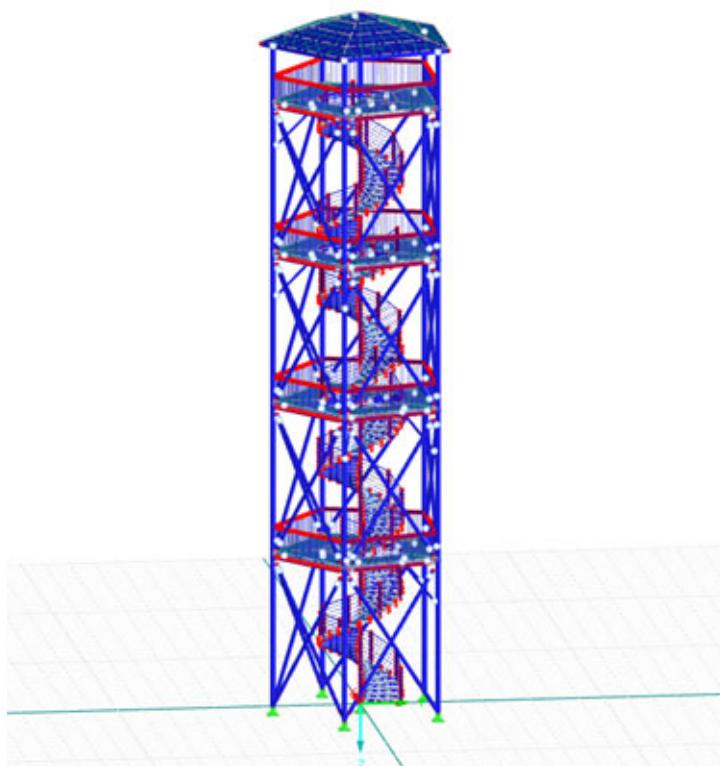
<b>5. Posouzení na mezní stav použitelnosti .....</b>	<b>94</b>
5.1. Posouzení celé konstrukce na mezní stav použitelnosti.....	94
5.2. Posouzení prvků na mezní stav použitelnosti.....	95
<b>6. Orientační posouzení ztužidel na účinek odtrhávání vřívů.....</b>	<b>96</b>
<b>7. Závěr.....</b>	<b>99</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>100</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>101</b>
<b>Seznam zdrojů.....</b>	<b>102</b>

# 1. Konstrukce

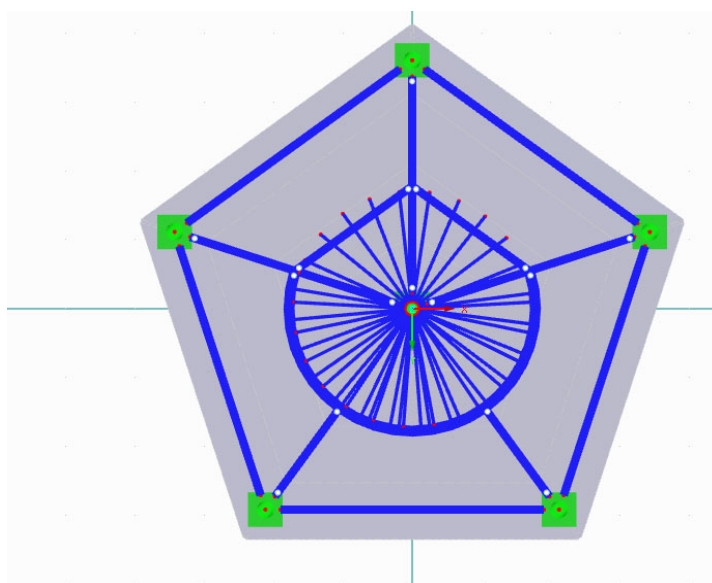
## 1.1 Model

Model je proveden ve studentské verzi programu Dlubal RFEM 5.25. Je zhotoven jako trojrozměrný model s prvky odpovídajícími výslednému návrhu.

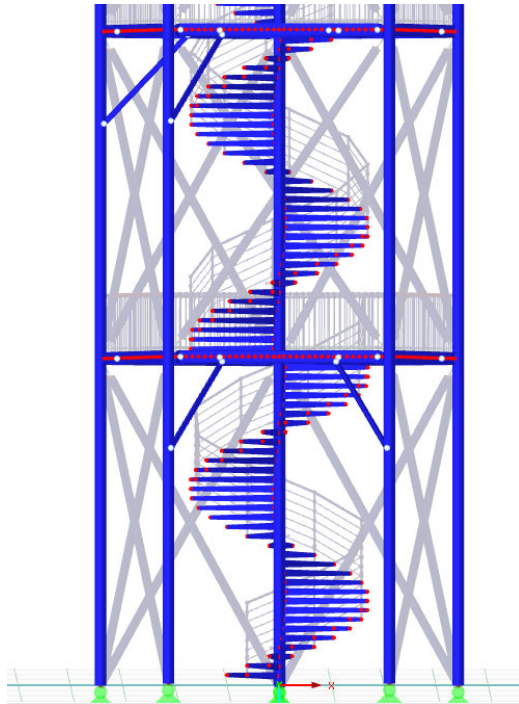
Výpočet je proveden pomocí druhého řádu, modifikovanou Newton-Rapsonovou metodou.



Obrázek 1 - Schéma výpočetního modelu



Obrázek 2 - První plošina (převzato z modelu)

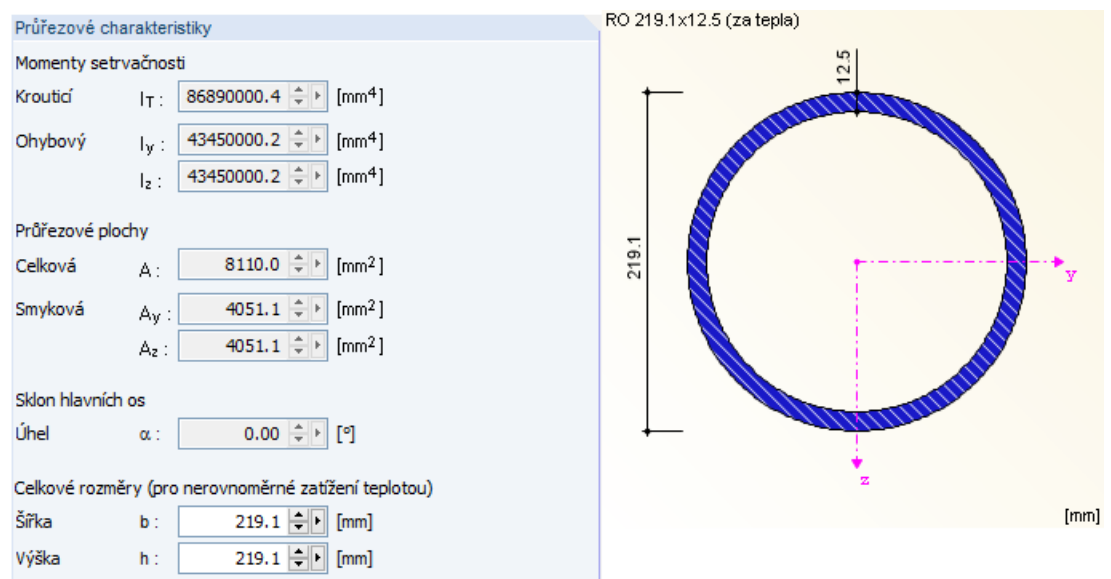


Obrázek 3 - Boční pohled na první dvě plošiny se schovanými ztužidly a zábradlím pro přehlednost (převzato z modelu)

## 1.2 Výkaz průřezů

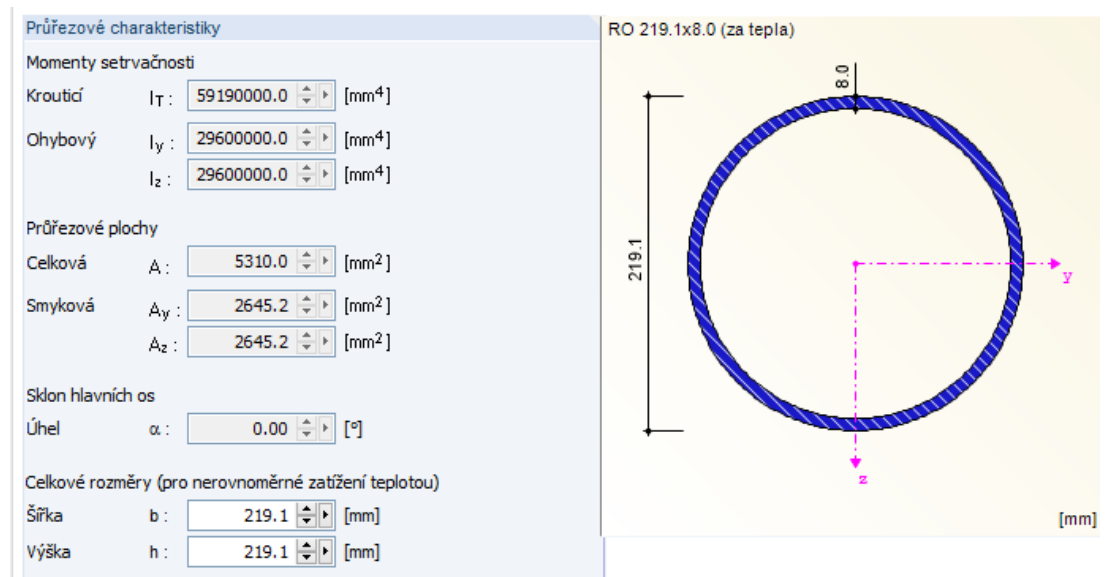
Výpis průřezů použitých na konstrukci a posouzených v tomto statickém výpočtu. Výjimku tvoří prvky zábradlí, které nejsou nosné a nejsou posuzovány. Ve výpočtu jsou použity pouze pro aplikaci zatížení.

### Sloup vnější



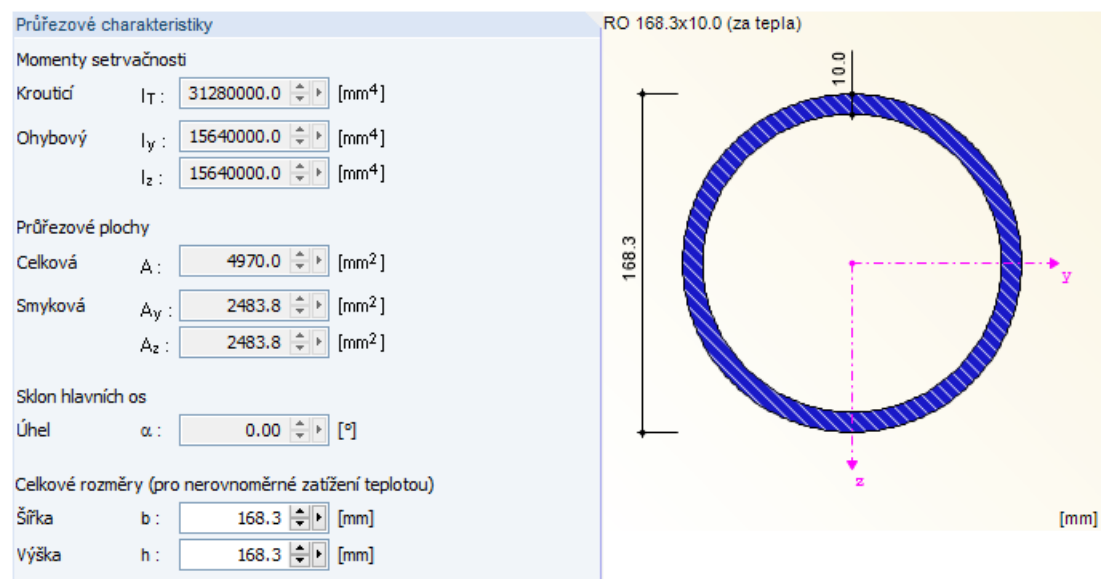
Obrázek 4 - Charakteristiky vnějšího sloupu

### Sloup vnitřní (schodišťový)



Obrázek 5 - Charakteristiky vnitřního sloupu

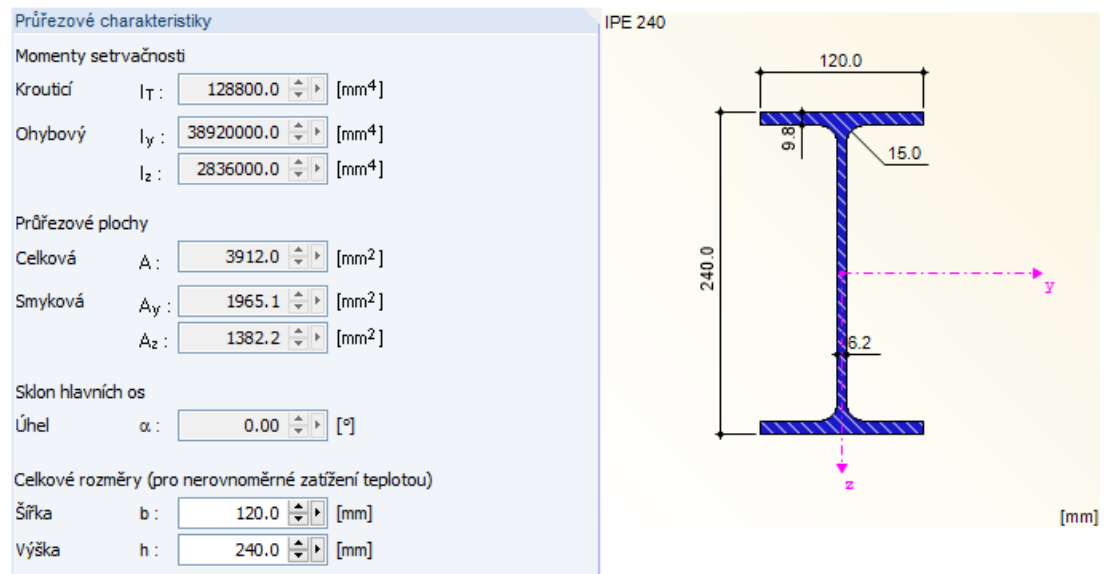
### Ztužidlo



Obrázek 6 - Charakteristiky ztužidla

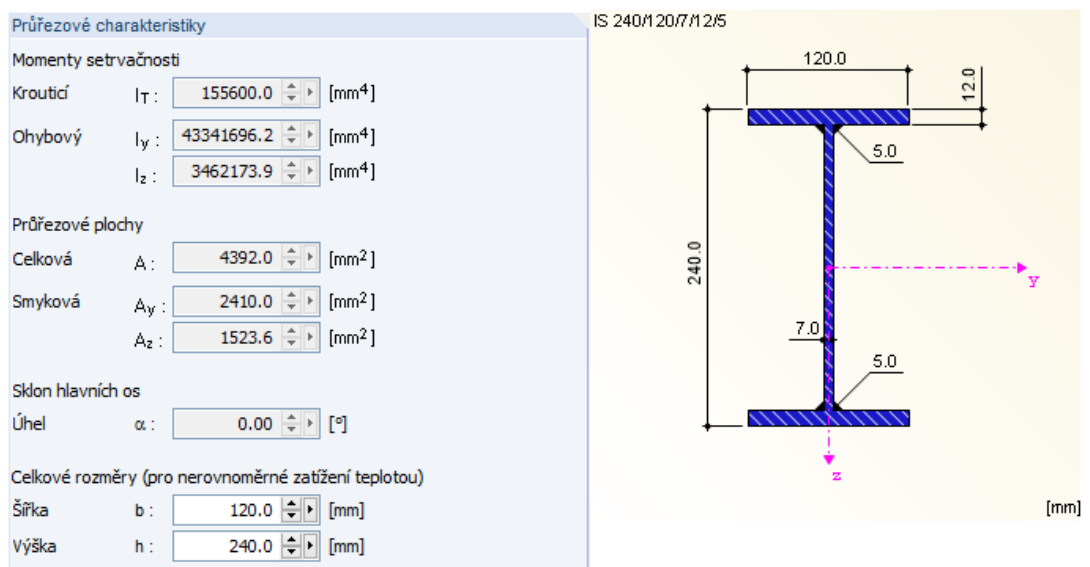


### Nosník podestový přímý



Obrázek 7 - Charakteristiky nosníku přímého

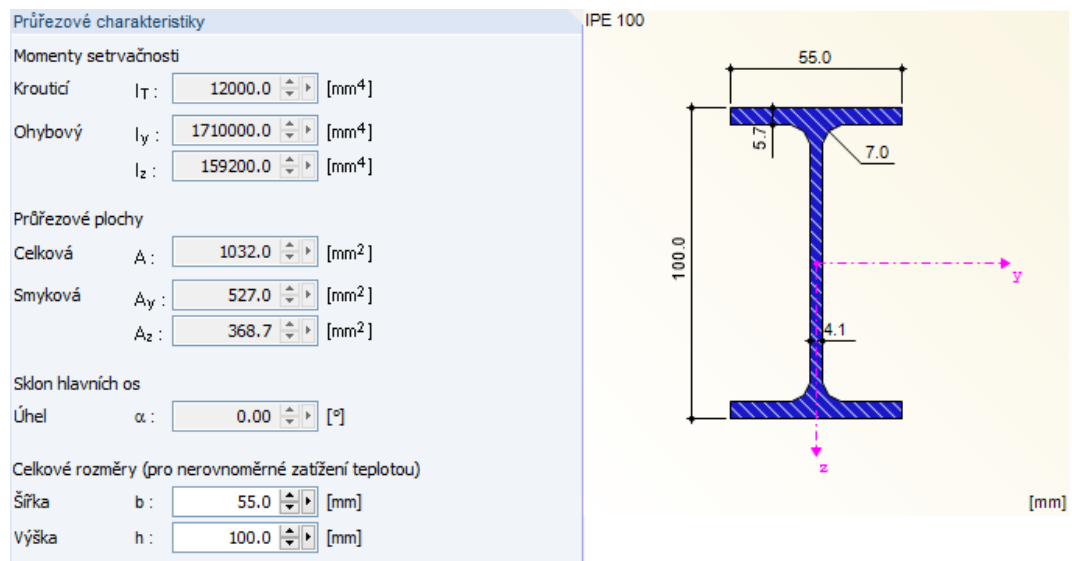
### Nosník podestový zakřivený



Obrázek 8 - Charakteristiky nosníku zakřiveného



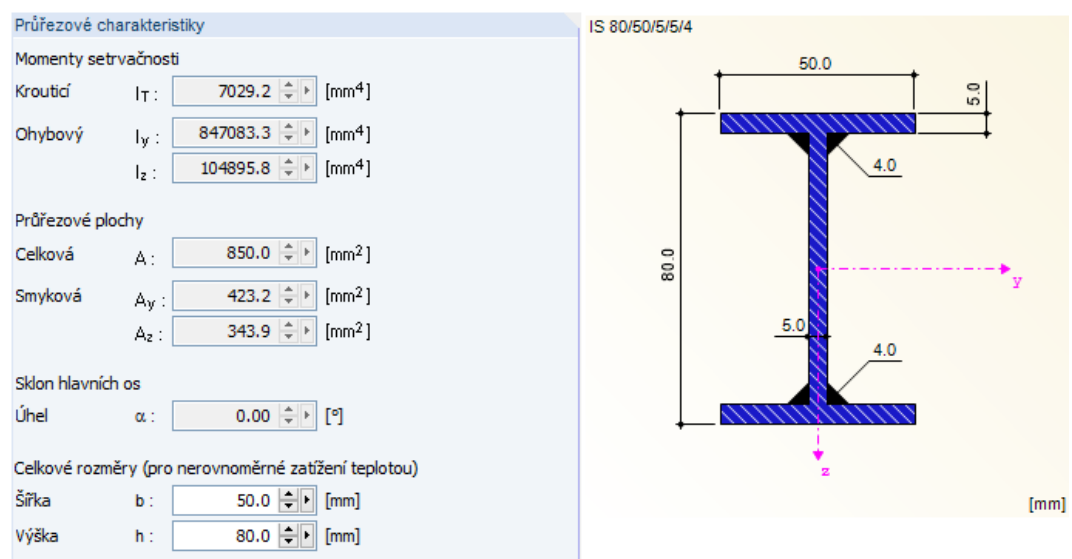
### Vzpěra podesty



Obrázek 9 - Charakteristiky vzpěry

### Konzola schodiště

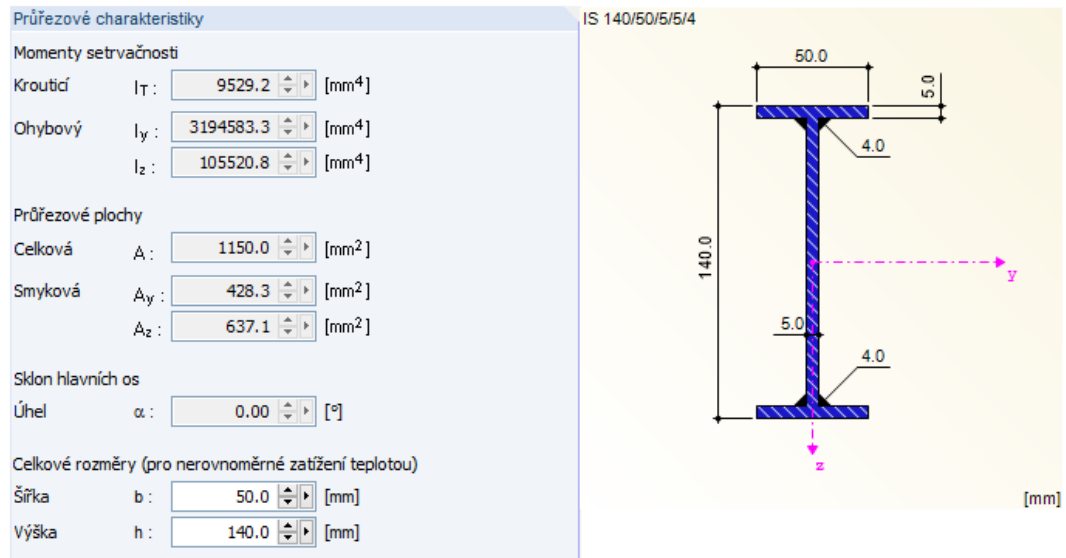
#### - Průřez u vetknutí



Obrázek 10 - Charakteristiky konzoly schodiště ve vetknutí

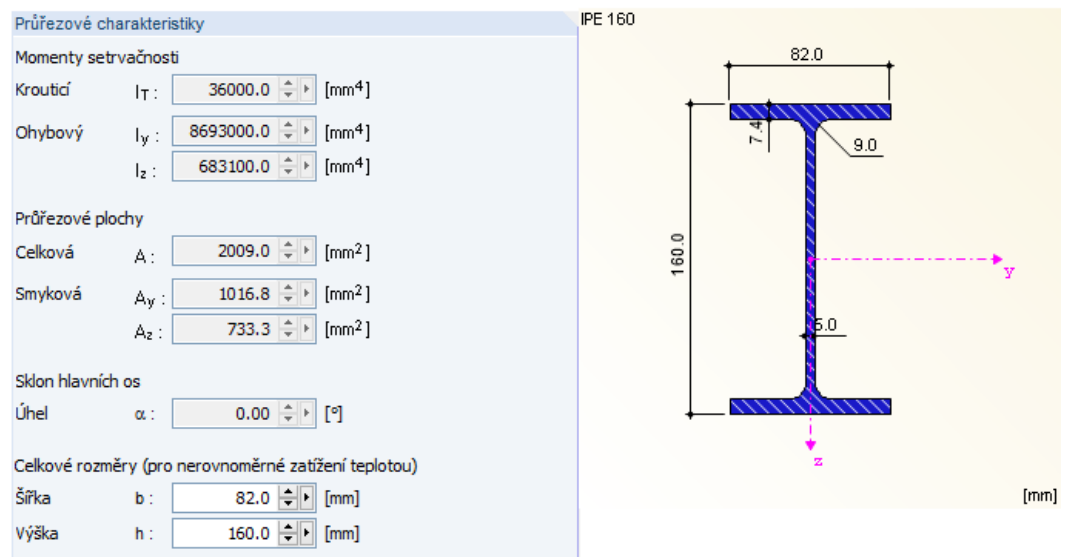


### - Průřez na konci prutu



Obrázek 11 - Charakteristiky konzoly schodiště na konci prutu

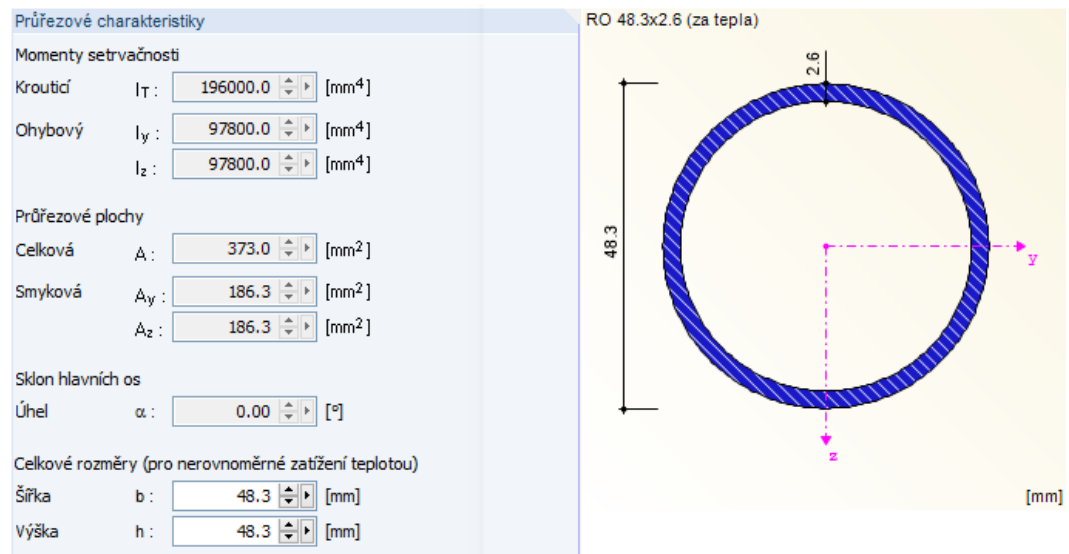
### Zastřešení



Obrázek 12 - Charakteristiky prvků zastřešení

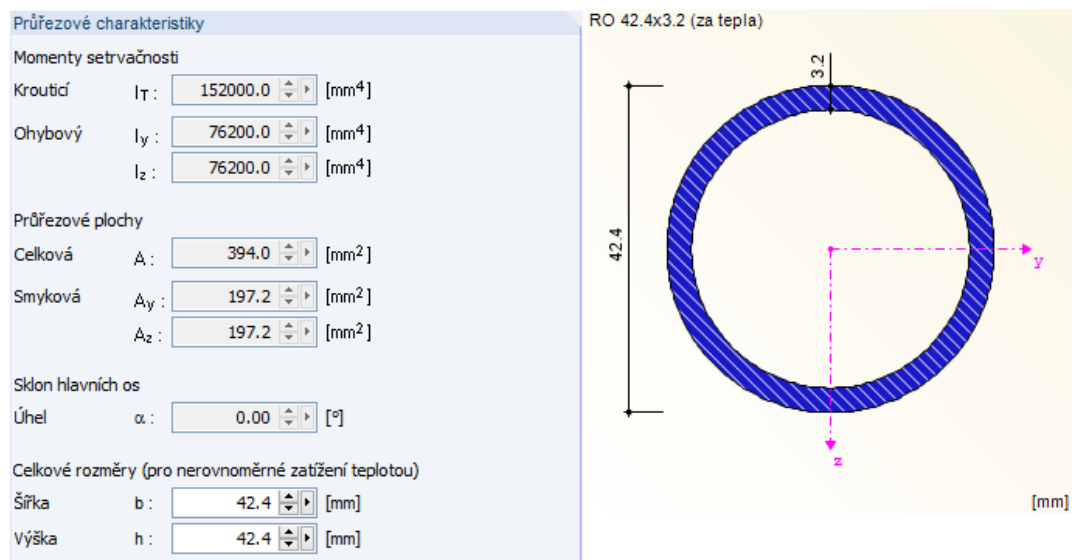


### Madlo zábradlí



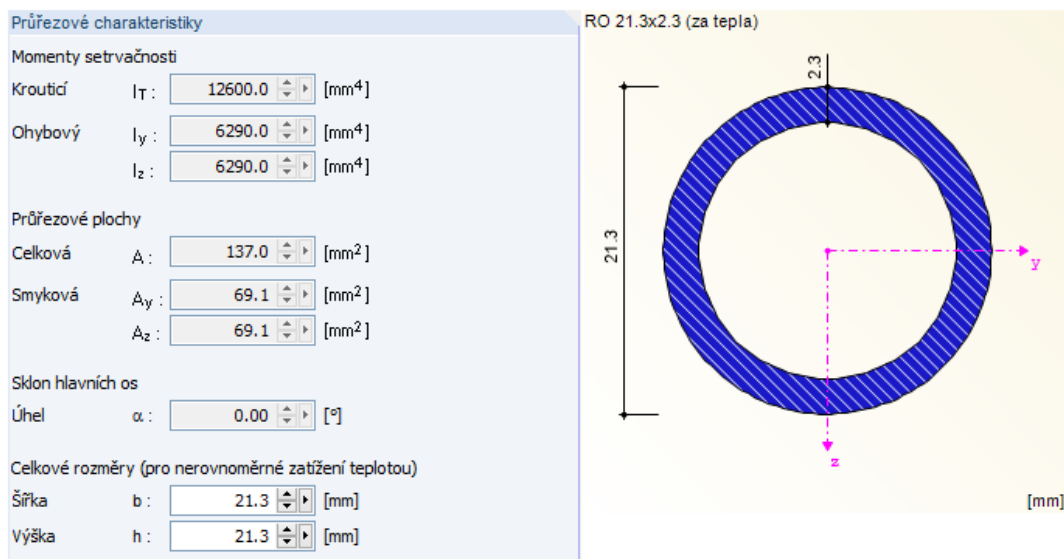
Obrázek 13 - Charakteristiky madla zábradlí

### Sloupek zábradlí



Obrázek 14 - Charakteristiky sloupku zábradlí

### Výplň zábradlí



Obrázek 15 - Charakteristiky výplně zábradlí

## 1.3 Materiálové charakteristiky

Materiály nosných prvků konstrukce použity ve statickém výpočtu.

### Ocel S355

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$G := 80700 \text{ MPa}$$

$$\alpha := 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\rho := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\nu := 0,3$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

### Šrouby 8.8

$$f_{yb} := 640 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

## 2. ZATÍŽENÍ

### 2.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce je v plném rozsahu generována z modelu.

### 2.2 Zatížení užité

#### Zatížení na schodiště

ČSN EN 1991-1-1 6.3.1.2 - tabulka 6.2 pro kategorii A - schodiště

$$g_k := 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

#### Zatížení na plošiny

ČSN EN 1991-1-1 6.3.1.2 - tabulka 6.2 pro kategorii C3

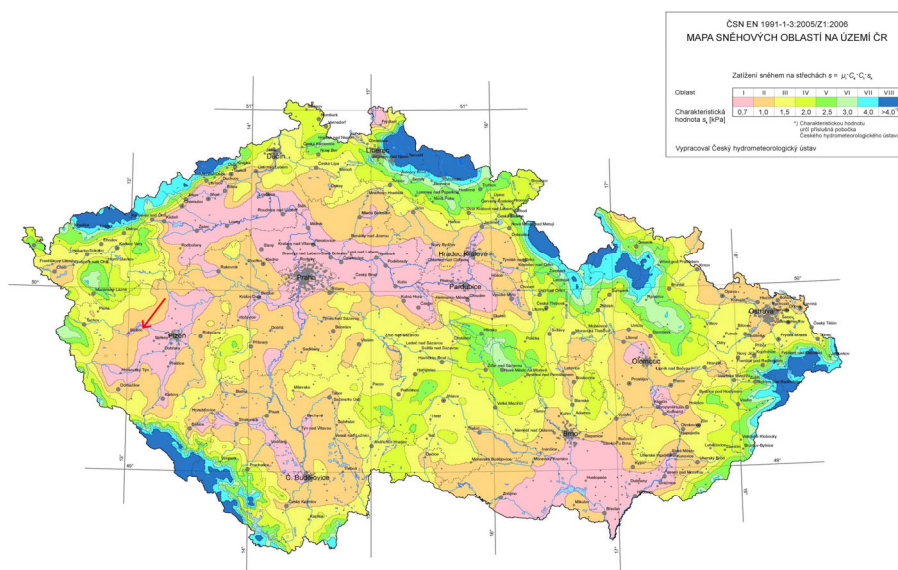
$$g_k := 5,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

V rámci zatěžovacích stavů je zatížení aplikováno jednak na celou konstrukci a podruhé je aplikováno pouze na část konstrukce odpovídající třem pětinám půdorysu podesty a polovině schodiště.

### 2.3 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem podle ČSN EN 1991-1-3.

Zatížení sněhem bude uvažováno pouze na střechu konstrukce. Ostatní části jsou chráněny od sněhu zastřešením a faktem, že ostatní vodorovné plochy budou z ocelového roštu.



Obrázek 16 - Mapa sněhových oblastí



Konstrukce se nachází na pomezí oblasti I a II. Budu tedy uvažovat oblast II.

$C_e := 1$  - součinitel expozice - Normální tip krajiny podle normy

$C_t := 1$  - tepelný součinitel

$s_k := 1,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  - charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$\mu_i := 0,8$  - tvarový součinitel zatížení sněhem pro  $\alpha=18,95^\circ$

$$s := \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 2.4 Zatížení větrem

Zatížení větrem je spočtené podle ČSN EN 1991-1-4. Zatížení na konstrukci je proměnné po výšce konstrukce. Bude proto rozdělena do oblastí po výšce, kde v každé oblasti působí rozdílné zatížení od větru.

Směr větru bude uvažován ve dvou směrech, a to ve směru osy x a ve směru svírajícím  $32^\circ$  s osou x.

pásma pro zatížení větrem			
	výška zóny [m]	výškové rozdělení pro zatížení větrem [m]	
		spodní výška	horní výška
1	6,25	0	6,25
2	6,25	6,25	12,5
3	6,25	12,5	18,75
4	6,25	18,75	25
5	3,45	25	28,45

Tabulka 1 - Výškové oblasti pro výpočet zatížení větrem

### Základní rychlost větru

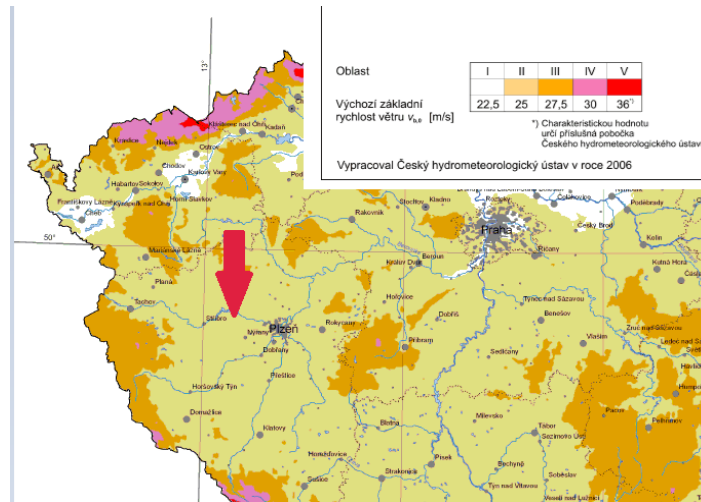
Podle mapy větrných oblastí ČR, se konstrukce nachází v oblasti II, pro kterou je výchozí základní rychlost větru 25,0 m/s.

$c_{dir} := 1$  - součinitel směru větru

$c_{season} := 1$  - součinitel ročního období

$v_{b,0} := 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  - výchozí základní rychlost větru

$$v_b := c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Obrázek 17 - Mapa větrných oblastí

### Součinitel drsnosti terénu

Konstrukce se nachází v zalesněné oblasti spadá tedy do kategorie III.

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

POZNÁMKA Kategorie terénu jsou zobrazeny v A.1.

Tabulka 2 - Kategorie terénů a jejich parametry (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4)

$z_{min} := 5 \text{ m}$  - minimální výška pro oblast III definovaná normou

$z_I := 6,25 \text{ m}$  - výška vyšetřované oblasti

$z_{max} := 200 \text{ m}$  - maximální výška definovaná normou

$z_0 := 0,3 \text{ m}$  - parametr drsnosti terénu

$z_{0,II} := 0,05 \text{ m}$  - parametr drsnosti terénu pro kategorii II

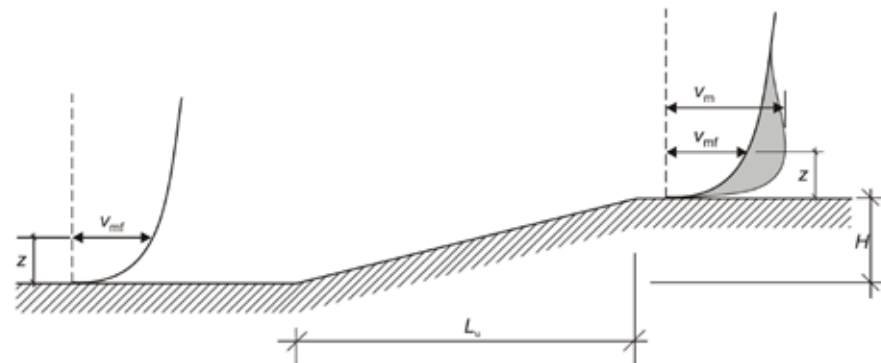
$$k_r := 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,2154$$

Výpočet "cr" pro případ  $z_{min} < z < z_{max}$

$$c_r := k_r \cdot \ln \left( \frac{z_I}{z_0} \right) = 0,654$$

### Součinitel orografie

$$c_0 := 1 + 2 \cdot s \cdot \phi$$



Obrázek 18 - Zvýšení rychlosti větru způsobené orografii (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4)

$H := 102 \text{ m}$  - výška kopce, odměřená z mapy

$L_u := 1800 \text{ m}$  - vzdálenost od úpatí k vrcholu, odměřená z mapy

$z := 28,45 \text{ m}$  - výška konstrukce

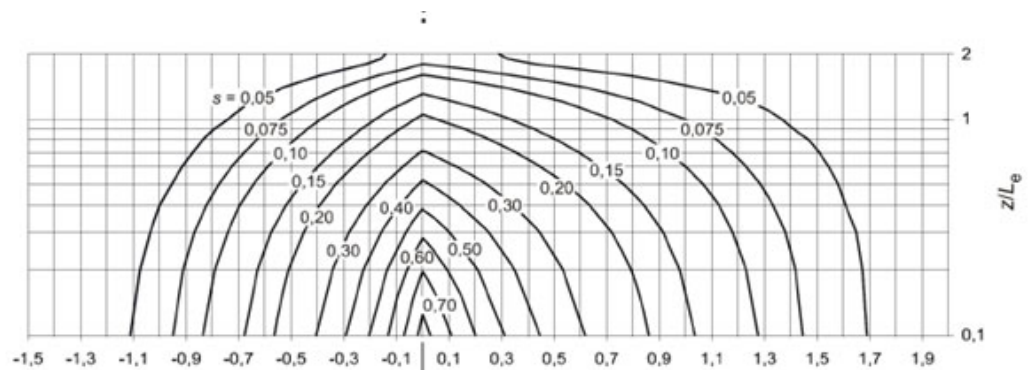
$x := 0 \text{ m}$  - vzdálenost konstrukce od vrcholu

$$\phi := \frac{H}{L_u} = 0,0567$$

$$0,05 < \phi < 0,3 \Rightarrow L_e := L_u$$

$$\frac{z}{L_e} = 0,0158$$

$$\frac{x}{L_e} = 0$$



Obrázek 19 - Součinitel "s" pro kopce a hřebeny hor (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4)



$$\phi = 0,0567 \quad s := 0,8 \quad - \text{součinitel umístění}$$

$$c_0 := 1 + 2 \cdot s \cdot \phi = 1,0907$$

$$c_0 = 1,0907 \quad - \text{součinitel orografie}$$

$$c_r = 0,654$$

### **Střední rychlost větru**

$$v_m := c_r \cdot c_0 \cdot v_b = 17,8335 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### **Turbulence větru**

$$z_I = 6,25 \text{ m}$$

$$k_I := 1,0 \quad - \text{součinitel turbulence}$$

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

$$I_v := \frac{k_I}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{z_I}{z_0}\right)} = 0,3019$$

$$I_v = 0,3019$$

$$\rho := 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad - \text{měrná hmotnost vzduchu}$$

$$v_m = 17,8335 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$q_p := \left(1 + 7 \cdot I_v\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = 618,8977 \text{ Pa}$$

n	z [m]	$k_r$	$c_r$ [m/s]	$v_m$ [m/s]	$I_v$	$q_p$ [N/m <sup>2</sup> ]
1	6,25	0,215	0,654	17,834	0,302	618,923
2	12,5	0,215	0,803	21,905	0,246	815,937
3	18,75	0,215	0,891	24,286	0,222	940,785
4	25	0,215	0,953	25,976	0,207	1033,666
5	28,45	0,215	0,980	26,735	0,201	1076,565

Tabulka 3 - Výpočet maximálního dynamického tlaku pro ostatní výškové oblasti

### **Zatížení větrem na konstrukci**

- Měřítka délky turbulence

$$z_t := 200 \text{ m} \quad - \text{referenční výška}$$

$$z_I = 6,25 \text{ m} \quad - \text{výška oblasti}$$

$$z_0 := 0,3$$

$$L_t := 300 \text{ m} \quad - \text{referenční měřítko délky}$$

$$\alpha := 0,67 + 0,05 \cdot \ln\left(z_0\right) = 0,6098$$

$$\alpha = 0,6098 \quad - \text{výška oblasti}$$

$$z = 28,45 \text{ m}$$

$$L := L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t}\right)^\alpha = 91,338 \text{ m}$$





- Součinitel odezvy pozadí

$$b := 7,2 \text{ m} \quad \text{- šířka konstrukce}$$

$$h := z = 28,45 \text{ m} \quad \text{- výška konstrukce}$$

$$B := \sqrt{\frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L}\right)^{0,63}}} = 0,8172$$

- Logaritmický dekrement útlumu

$$\delta := 0,05 \quad \text{- hodnota odpovídá příhradové ocelové věži s obyčejnými šrouby}$$

- První vlastní frekvence

$$n_1 := 3,673 \text{ Hz}$$

- Výkonová spektrální hustota

$$v_m = 17,8335 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L = 91,338 \text{ m}$$

$$f_L := \frac{n_1 \cdot L}{v_m} = 18,812$$

$$S_L := \frac{6,8 \cdot f_L}{\left(1 + 10,2 \cdot f_L\right)^{\frac{5}{3}}} = 0,0199$$

- Aerodynamické admitance

$$h = 28,45 \text{ m}$$

$$b = 7,2 \text{ m}$$

$$\eta_h := \frac{4,6 \cdot h}{L} \cdot f_L = 26,954$$

$$R_h := \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h} \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot \eta_h}\right) = 0,0364$$

$$\eta_b := \frac{4,6 \cdot b}{L} \cdot f_L = 6,8214$$

$$R_b := \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b} \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot \eta_b}\right) = 0,1359$$

- Rezonanční část odezvy

$$R := \sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot \delta} \cdot S_L \cdot R_h \cdot R_b} = 0,0985$$



- Frekvence přechodů s kladnou směrnici

$$v := n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} = 0,4395 \text{ Hz}$$

- Součinitel maximální hodnoty

$$T := 600 \text{ s}$$

- doba integrace při stanovení střední rychlosti větru

$$v = 0,4395 \text{ Hz} \quad k_p := \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} = 3,5188$$

$$I_v = 0,3019$$

- Součinitel konstrukce

$$B = 0,8172$$

$$R = 0,0985$$

$$c_{sd} := \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v} = 0,8829$$

### Zatížení v oblasti 1 (0 - 6,25m)

$$q_{p,1} := q_p = 618,8977 \text{ Pa}$$

- maximální dynamický tlak pro výškovou oblast 1

Hlavní sloup (kruhový průřez)

$$w_{e,h1} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1}$$

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

$$b_{hl} := 219,1 \text{ mm}$$

- průměr prvku (hlavní sloup)

$$v := \sqrt{2 \cdot \frac{q_p}{\rho}}$$

$$v = 31,468 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- maximální rychlost větru

$$v := 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

- kinematická viskozita vzduchu

$$R_e := \frac{b_{hl} \cdot v}{\nu} = 4,5964 \cdot 10^5$$

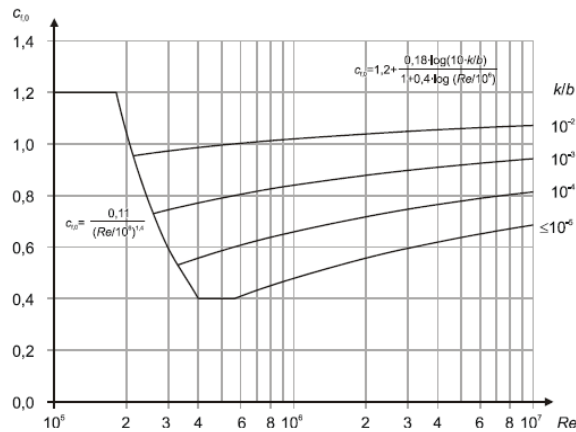
$$k := 0,006 \text{ mm}$$

- ekvivalentní drsnost pro nátěr

$$\frac{k}{b_{hl}} = 2,7385 \cdot 10^{-5}$$

$$c_{f,0} := 0,49$$

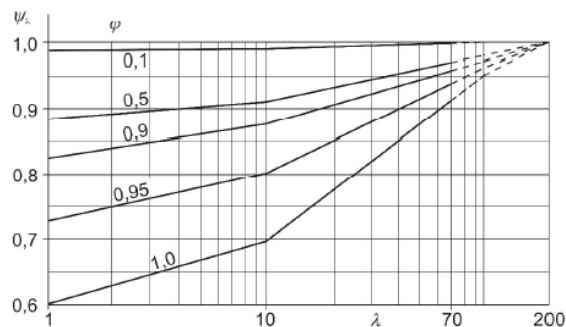
- součinitel síly bez vlivu proudění



Obrázek 20 - Součinitel síly pro kruhové válce bez vlivu proudění

$\lambda := 70$  - efektivní štíhlost

$\psi_\lambda := 0,91$  - součinitel koncového efektu



Obrázek 21 - Směrné hodnoty součinitele koncového efektu

$c_f := c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,4459$

$$w_{e,h1} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1} \cdot b_{h1} = 0,0534 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Schodišťový sloup (kruhový průřez)

$b_{sch} := 219,1 \text{ mm}$  - průměr prvku (schodišťový sloup)

$$v := \sqrt{2 \cdot \frac{q_p}{\rho}}$$

$v = 31,468 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  - maximální rychlost větru

$\nu := 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$  - kinematická viskozita vzduchu



$$R_e := \frac{b_{sch} \cdot v}{v} = 4,5964 \cdot 10^5$$

$$k := 0,006 \text{ mm} \quad - \text{ekvivalentní drsnost pro nátěr}$$

$$\frac{k}{b_{sch}} = 2,7385 \cdot 10^{-5}$$

$$c_{f,0} := 0,49 \quad - \text{součinitel síly bez vlivu proudění}$$

$$\lambda := 70 \quad - \text{efektivní štíhlost}$$

$$\psi_\lambda := 0,91 \quad - \text{součinitel koncového efektu}$$

$$c_f := c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,4459$$

$$w_{e,sch} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1} \cdot b_{sch} = 0,0534 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### Ztužidlo (kruhový průřez)

$$b_{zt} := 1683 \text{ mm} \quad - \text{průměr prvku (schodišťový sloup)}$$

$$v := \sqrt{2 \cdot \frac{q_p}{\rho}}$$

$$v = 31,468 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad - \text{maximální rychlost větru}$$

$$\nu := 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad - \text{kinematická viskozita vzduchu}$$

$$R_e := \frac{b_{zt} \cdot v}{\nu} = 3,5307 \cdot 10^6$$

$$k := 0,006 \text{ mm} \quad - \text{ekvivalentní drsnost pro nátěr}$$

$$\frac{k}{b_{zt}} = 3,5651 \cdot 10^{-6}$$

$$c_{f,0} := 0,5 \quad - \text{součinitel síly bez vlivu proudění}$$

$$\lambda := 70 \quad - \text{efektivní štíhlost}$$

$$\psi_\lambda := 0,92 \quad - \text{součinitel koncového efektu}$$

$$c_f := c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,46$$

$$w_{e,zt} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1} \cdot b_{zt} = 0,423 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



### Madlo zábradlí (kruhový průřez)

$$b_{z,m} := 48,3 \text{ mm} \quad - \text{ průměr prvku (madlo zábradlí)}$$

$$v := \sqrt{2 \cdot \frac{q_p}{\rho}}$$

$$v = 31,468 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad - \text{ maximální rychlost větru}$$

$$\nu := 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad - \text{ kinematická viskozita vzduchu}$$

$$R_e := \frac{b_{z,m} \cdot v}{\nu} = 1,0133 \cdot 10^5$$

$$k := 0,006 \text{ mm} \quad - \text{ ekvivalentní drsnost pro nátěr}$$

$$\frac{k}{b_{z,m}} = 0,0001$$

$$c_{f,0} := 0,47 \quad - \text{ součinitel síly bez vlivu proudění}$$

$$\lambda := 89,58 \quad - \text{ efektivní štiřlost}$$

$$\psi_\lambda := 0,92 \quad - \text{ součinitel koncového efektu}$$

$$c_f := c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,4324$$

$$w_{e,z,m} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1} \cdot b_{z,m} = 0,0114 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Sloupek zábradlí (kruhový průřez)

$$b_{z,s} := 42,4 \text{ mm} \quad - \text{ průměr prvku (sloupek zábradlí)}$$

$$v := \sqrt{2 \cdot \frac{q_p}{\rho}}$$

$$v = 31,468 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad - \text{ maximální rychlost větru}$$

$$\nu := 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad - \text{ kinematická viskozita vzduchu}$$

$$R_e := \frac{b_{z,s} \cdot v}{\nu} = 88949,6046$$

$$k := 0,006 \text{ mm} \quad - \text{ ekvivalentní drsnost pro nátěr}$$

$$\frac{k}{b_{z,s}} = 0,0001$$

$$c_{f,0} := 1,2 \quad - \text{ součinitel síly bez vlivu proudění}$$



$$\lambda := 70 \quad - \text{efektivní štíhlost}$$

$$\psi_\lambda := 0,91 \quad - \text{součinitel koncového efektu}$$

$$c_f := c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,092$$

$$w_{e,z,s} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1} \cdot b_{z,s} = 0,0253 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Výplň zábradlí (kruhový průřez)

$$b_{z,v} := 21,3 \text{ mm} \quad - \text{průměr prvku (výplň zábradlí)}$$

$$v := \sqrt{2 \cdot \frac{q_p}{\rho}}$$

$$v = 31,468 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad - \text{maximální rychlost větru}$$

$$\nu := 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad - \text{kinematická viskozita vzduchu}$$

$$R_e := \frac{b_{z,v} \cdot v}{\nu} = 44684,5891$$

$$k := 0,006 \text{ mm} \quad - \text{ekvivalentní drsnost pro nátěr}$$

$$\frac{k}{b_{z,v}} = 0,0003$$

$$c_{f,0} := 1,2 \quad - \text{součinitel síly bez vlivu proudění}$$

$$\lambda := 70 \quad - \text{efektivní štíhlost}$$

$$\psi_\lambda := 0,91 \quad - \text{součinitel koncového efektu}$$

$$c_f := c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,092$$

$$w_{e,z,v} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1} \cdot b_{z,v} = 0,0127 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



#### Nosník podesty (IPE 240)

- $b_{IPE} := 240 \text{ mm}$  - výška prvku  
 $c_{f,0} := 2,0$  - součinitel síly bez vlivu proudění  
 $\lambda := 70$  - efektivní štíhlost  
 $\psi_{\lambda} := 0,91$  - součinitel koncového efektu  
 $c_f := c_{f,0} \cdot \psi_{\lambda} = 1,82$

$$w_{e,IPE} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1} \cdot b_{IPE} = 0,2387 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### Vzpěra podesty (IPE 100)

- $b_{IPE,1} := 100 \text{ mm}$  - výška prvku  
 $c_{f,0} := 2,0$  - součinitel síly bez vlivu proudění  
 $\lambda := 70$  - efektivní štíhlost  
 $\psi_{\lambda} := 0,91$  - součinitel koncového efektu  
 $c_f := c_{f,0} \cdot \psi_{\lambda} = 1,82$

$$w_{e,IPE,1} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1} \cdot b_{IPE,1} = 0,0994 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### Schodišťové stupně (svařovaný průřez)

Pro zatížení větrem budu uvažovat průřez jako neměnný v délce a budu uvažovat jeho větší průřez, tedy průřez blíže k schodišťovému sloupu.

- $b_{IPE} := 140 \text{ mm}$  - výška prvku  
 $c_{f,0} := 2,0$  - součinitel síly bez vlivu proudění  
 $\lambda := 70$  - efektivní štíhlost  
 $\psi_{\lambda} := 0,91$  - součinitel koncového efektu  
 $c_f := c_{f,0} \cdot \psi_{\lambda} = 1,82$

$$w_{e,IPE} := c_{sd} \cdot c_f \cdot q_{p,1} \cdot b_{IPE} = 0,1392 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



## Zatížení větrem na střechu

$$b := 7,2 \text{ m} \quad - \text{ šířka konstrukce}$$

$$h = 28,45 \text{ m} \quad - \text{ výška konstrukce}$$

$$e := \min \left( \left[ \begin{array}{c} 2 \cdot h \\ b \end{array} \right] \right) = 7,2 \text{ m}$$

$$\alpha := 18,95^\circ \quad - \text{ sklon střechy}$$

$$A := 45,223 \text{ m}^2 \quad - \text{ plocha střechy (převzato z modelu)}$$

Zatížení na přístřešek bude uvažováno podle ČSN EN 1991-1-4 - 7.3 - TABULKA 7.7 .

Součinitelé vnějšího tlaku pro oblasti střechy

$$c_{p,net,A} := 1,06$$

$$c_{p,net,B} := 1,9$$

$$c_{p,net,C} := 1,48$$

$$c_{p,net,D} := 0,4$$

Síly působící na jednotlivé větrné oblasti

$$q_{p,28,45} := 1076,56 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Oblast A

$$w_{e,A} := q_{p,28,45} \cdot c_{p,net,A} = 1,1412 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Oblast B

$$w_{e,B} := q_{p,28,45} \cdot c_{p,net,B} = 2,0455 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Oblast C

$$w_{e,C} := q_{p,28,45} \cdot c_{p,net,C} = 1,5933 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Oblast D

$$w_{e,D} := q_{p,28,45} \cdot c_{p,net,D} = 0,4306 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$





## Zatížení pro ostatní oblasti

Prvky s kruhovým průřezem

prvek	oblast	$q_p$ [N/m <sup>2</sup> ]	$v$ [m/s]	$b$ [m]	$R_e$	$c_{f,0}$	$\psi_\lambda$	$c_f$	$w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ]
hlavní sloup ( $\Phi 504$ mm)	1	618,923	31,469	0,219	4,597E+05	0,49	0,91	0,446	0,0534
	2	815,937	36,132	0,219	5,278E+05	0,49	0,91	0,446	0,0704
	3	940,785	38,798	0,219	5,667E+05	0,49	0,91	0,446	0,0811
	4	1033,666	40,668	0,219	5,940E+05	0,49	0,91	0,446	0,0892
	5	1076,565	41,503	0,219	6,062E+05	0,49	0,91	0,446	0,0929
schodišťový sloup ( $\Phi 406$ mm)	1	618,923	31,469	0,219	4,597E+05	0,49	0,91	0,446	0,0534
	2	815,937	36,132	0,219	5,278E+05	0,49	0,91	0,446	0,0704
	3	940,785	38,798	0,219	5,667E+05	0,49	0,91	0,446	0,0811
	4	1033,666	40,668	0,219	5,940E+05	0,49	0,91	0,446	0,0892
	5	1076,565	41,503	0,219	6,062E+05	0,49	0,91	0,446	0,0929
ztužidlo ( $\Phi 139,7$ mm)	1	618,923	31,469	0,168	3,531E+05	0,5	0,92	0,460	0,0423
	2	815,937	36,132	0,168	4,054E+05	0,5	0,92	0,460	0,0558
	3	940,785	38,798	0,168	4,353E+05	0,5	0,92	0,460	0,0643
	4	1033,666	40,668	0,168	4,563E+05	0,5	0,92	0,460	0,0707
	5	1076,565	41,503	0,168	4,657E+05	0,5	0,92	0,460	-
madlo zábradlí ( $\Phi 48,3$ mm)	1	618,923	31,469	0,048	1,013E+05	0,47	0,92	0,432	0,0114
	2	815,937	36,132	0,048	1,163E+05	0,47	0,92	0,432	0,0150
	3	940,785	38,798	0,048	1,249E+05	0,47	0,92	0,432	0,0173
	4	1033,666	40,668	0,048	1,310E+05	0,47	0,92	0,432	0,0191
	5	1076,565	41,503	0,048	1,336E+05	0,47	0,92	0,432	0,0199
sloupek zábradlí ( $\Phi 42,4$ mm)	1	618,923	31,469	0,042	8,895E+04	1,2	0,91	1,092	0,0253
	2	815,937	36,132	0,042	1,021E+05	1,2	0,91	1,092	0,0334
	3	940,785	38,798	0,042	1,097E+05	1,2	0,91	1,092	0,0385
	4	1033,666	40,668	0,042	1,150E+05	1,2	0,91	1,092	0,0423
	5	1076,565	41,503	0,042	1,173E+05	1,2	0,91	1,092	0,0440
výplň zábradlí ( $\Phi 21,3$ mm)	1	618,923	31,469	0,021	4,469E+04	1,2	0,91	1,092	0,0127
	2	815,937	36,132	0,021	5,131E+04	1,2	0,91	1,092	0,0168
	3	940,785	38,798	0,021	5,509E+04	1,2	0,91	1,092	0,0193
	4	1033,666	40,668	0,021	5,775E+04	1,2	0,91	1,092	0,0212
	5	1076,565	41,503	0,021	5,893E+04	1,2	0,91	1,092	0,0221

Tabulka 4 - Zatížení větrem na kruhových průřezích



### I profily

prvek	oblast	$q_p$ [N/m <sup>2</sup> ]	b [m]	$c_{f,0}$	$\psi_\lambda$	$c_f$	$w_e$ [N/m <sup>2</sup> ]
hl. nosný trám podesty IPE330	1	618,923	0,240	2,0	0,91	1,820	-
	2	815,937	0,240	2,0	0,91	1,820	0,3147
	3	940,785	0,240	2,0	0,91	1,820	0,3628
	4	1033,666	0,240	2,0	0,91	1,820	0,3986
	5	1076,565	0,240	2,0	0,91	1,820	0,4152
podepření hl. nosný trám podesty IPE180	1	618,923	0,100	2,0	0,91	1,820	0,0995
	2	815,937	0,100	2,0	0,91	1,820	0,1311
	3	940,785	0,100	2,0	0,91	1,820	0,1512
	4	1033,666	0,100	2,0	0,91	1,820	0,1661
	5	1076,565	0,100	2,0	0,91	1,820	0,1730
schodišťový nosník	1	618,923	0,140	2,0	0,91	1,820	0,1392
	2	815,937	0,140	2,0	0,91	1,820	0,1836
	3	940,785	0,140	2,0	0,91	1,820	0,2116
	4	1033,666	0,140	2,0	0,91	1,820	0,2325
	5	1076,565	0,140	2,0	0,91	1,820	0,2422

Tabulka 5 - Zatížení větrem na průřezích tvaru I

## 2.5 Rekapitulace zatěžovacích stavů

Zatěž. Stav	Označení zatěž. Stavů	EN 1990   ČSN - Kategorie účinků
ZS1	Vlastní tíha	Stálé
ZS2	Vítr ve směru x+	Vítr
ZS3	Vítr ve směru y+	Vítr
ZS4	Vítr ve směru x-	Vítr
ZS5	Vítr ve směru y-	Vítr
ZS6	Užitné zatížení celé	Užitná zatížení - kategorie C: shromažďovací plochy
ZS7	Užitné zatížení částečné	Užitná zatížení - kategorie C: shromažďovací plochy
ZS8	Zatížení sněhem	Sníh (H ≤ 1000 m n.m.)

Tabulka 6 - Zatěžovací stavy



## 2.6 Kombinace zatížení MSŮ

Kombinace zatížení jsou sestaveny podle rovnice 6.10a v ČSN EN 1990

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

$\gamma_{G,j}$  - dílčí součinitel spolehlivosti pro zatížení stálá

$G_{k,j}$  - hodnota stálého zatížení

$\gamma_P$  - dílčí součinitel spolehlivosti pro předpětí

$P$  - předpětí

$\gamma_{Q,1}$  - dílčí součinitel spolehlivosti pro dominantní proměnné zatížení

$Q_{k,1}$  - hodnota dominantního zatížení

$\gamma_{Q,j}$  - dílčí součinitel spolehlivosti pro ostatní proměnná zatížení

$\psi_{0,i}$  - kombinační součinitel

$Q_{k,i}$  - hodnota ostatního proměnného zatížení

Dílčí součinitel spolehlivosti :

nepříznivé:

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

$$\gamma_{Q,1} := 1,5$$

$$\gamma_{Q,j} := 1,5$$

příznivé:

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

$$\gamma_{Q,1} := 0,0$$

$$\gamma_{Q,j} := 0,0$$

Kombinační součinitele :

zatížení užité kategorie C:

$$\psi_{0,i} := 0,7$$

$$\psi_{1,i} := 0,7$$

$$\psi_{2,i} := 0,6$$

zatížení sněhem:

$$\psi_{0,i} := 0,5$$

$$\psi_{1,i} := 0,2$$

$$\psi_{2,i} := 0,0$$

zatížení větrem:

$$\psi_{0,i} := 0,6$$

$$\psi_{1,i} := 0,2$$

$$\psi_{2,i} := 0,0$$



Kombinace zatížení	Kombinace zatížení	Faktor Č. 1		Faktor Č. 2		Faktor Č. 3		Faktor Č. 4	
		součinitel	zat. stav	součinitel	zat. stav	součinitel	zat. stav	součinitel	zat. stav
KZ1	ZS1 + 1.5*ZS2	1,00	ZS1	1,50	ZS2				
KZ2	ZS1 + 1.5*ZS3	1,00	ZS1	1,50	ZS3				
KZ3	ZS1 + 1.5*ZS4	1,00	ZS1	1,50	ZS4				
KZ4	ZS1 + 1.5*ZS5	1,00	ZS1	1,50	ZS5				
KZ5	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.75*ZS8 + 1.05*ZS6	1,35	ZS1	1,50	ZS2	0,75	ZS8	1,05	ZS6
KZ6	1.35*ZS1 + 0.9*ZS2 + 1.5*ZS8 + 1.05*ZS6	1,35	ZS1	0,90	ZS2	1,50	ZS8	1,05	ZS6
KZ7	1.35*ZS1 + 0.9*ZS2 + 0.75*ZS8 + 1.5*ZS6	1,35	ZS1	0,90	ZS2	0,75	ZS8	1,50	ZS6
KZ8	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.75*ZS8 + 1.05*ZS7	1,35	ZS1	1,50	ZS2	0,75	ZS8	1,05	ZS7
KZ9	1.35*ZS1 + 0.9*ZS2 + 1.5*ZS8 + 1.05*ZS7	1,35	ZS1	0,90	ZS2	1,50	ZS8	1,05	ZS7
KZ10	1.35*ZS1 + 0.9*ZS2 + 0.75*ZS8 + 1.5*ZS7	1,35	ZS1	0,90	ZS2	0,75	ZS8	1,50	ZS7
KZ11	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.05*ZS6 + 1.5*ZS3	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,05	ZS6	1,50	ZS3
KZ12	1.35*ZS1 + 1.5*ZS8 + 1.05*ZS6 + 0.9*ZS3	1,35	ZS1	1,50	ZS8	1,05	ZS6	0,90	ZS3
KZ13	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.5*ZS6 + 0.9*ZS3	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,50	ZS6	0,90	ZS3
KZ14	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS3	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,05	ZS7	1,50	ZS3
KZ15	1.35*ZS1 + 1.5*ZS8 + 1.05*ZS7 + 0.9*ZS3	1,35	ZS1	1,50	ZS8	1,05	ZS7	0,90	ZS3
KZ16	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.5*ZS7 + 0.9*ZS3	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,50	ZS7	0,90	ZS3
KZ17	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.05*ZS6 + 1.5*ZS4	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,05	ZS6	1,50	ZS4
KZ18	1.35*ZS1 + 1.5*ZS8 + 1.05*ZS6 + 0.9*ZS4	1,35	ZS1	1,50	ZS8	1,05	ZS6	0,90	ZS4
KZ19	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.5*ZS6 + 0.9*ZS4	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,50	ZS6	0,90	ZS4
KZ20	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS4	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,05	ZS7	1,50	ZS4
KZ21	1.35*ZS1 + 1.5*ZS8 + 1.05*ZS7 + 0.9*ZS4	1,35	ZS1	1,50	ZS8	1,05	ZS7	0,90	ZS4
KZ22	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.5*ZS7 + 0.9*ZS4	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,50	ZS7	0,90	ZS4
KZ23	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.05*ZS6 + 1.5*ZS5	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,05	ZS6	1,50	ZS5
KZ24	1.35*ZS1 + 1.5*ZS8 + 1.05*ZS6 + 0.9*ZS5	1,35	ZS1	1,50	ZS8	1,05	ZS6	0,90	ZS5
KZ25	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.5*ZS6 + 0.9*ZS5	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,50	ZS6	0,90	ZS5
KZ26	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS5	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,05	ZS7	1,50	ZS5
KZ27	1.35*ZS1 + 1.5*ZS8 + 1.05*ZS7 + 0.9*ZS5	1,35	ZS1	1,50	ZS8	1,05	ZS7	0,90	ZS5
KZ28	1.35*ZS1 + 0.75*ZS8 + 1.5*ZS7 + 0.9*ZS5	1,35	ZS1	0,75	ZS8	1,50	ZS7	0,90	ZS5

Tabulka 7 - Kombinace zatížení pro MSÚ

## 2.7 Kombinace zatížení MSP

Kombinace pro mezní stav použitelnosti jsou sestaveny podle rovnice 6.14b pro charakteristické kombinace podle ČSN EN 1990.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$  - hodnota stálého zatížení

$P$  - předpětí

$Q_{k,1}$  - hodnota dominantního zatížení

$\psi_{0,i}$  - kombinační součinitel

$Q_{k,i}$  - hodnota ostatního proměnného zatížení

Kombinační součinitele :

zatížení užitné kategorie C:

$$\psi_{0,i} := 0,7$$

$$\psi_{1,i} := 0,7$$

$$\psi_{2,i} := 0,6$$

zatížení sněhem:

$$\psi_{0,i} := 0,5$$

$$\psi_{1,i} := 0,2$$

$$\psi_{2,i} := 0,0$$

zatížení větrem:

$$\psi_{0,i} := 0,6$$

$$\psi_{1,i} := 0,2$$

$$\psi_{2,i} := 0,0$$



Kombinace zatížení	Kombinace zatížení	Faktor č. 1		Faktor č. 2		Faktor č. 3		Faktor č. 4	
		součinitel	zat. stav	součinitel	zat. stav	součinitel	zat. stav	součinitel	zat. stav
KZ29	ZS1 + ZS2	1,00	ZS1	1,00	ZS2				
KZ30	ZS1 + ZS3	1,00	ZS1	1,00	ZS3				
KZ31	ZS1 + ZS4	1,00	ZS1	1,00	ZS4				
KZ32	ZS1 + ZS5	1,00	ZS1	1,00	ZS5				
KZ33	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS8 + 0.7*ZS6	1,00	ZS1	1,00	ZS2	0,50	ZS8	0,70	ZS6
KZ34	ZS1 + 0.6*ZS2 + ZS8 + 0.7*ZS6	1,00	ZS1	0,60	ZS2	1,00	ZS8	0,70	ZS6
KZ35	ZS1 + 0.6*ZS2 + 0.5*ZS8 + ZS6	1,00	ZS1	0,60	ZS2	0,50	ZS8	1,00	ZS6
KZ36	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS8 + 0.7*ZS7	1,00	ZS1	1,00	ZS2	0,50	ZS8	0,70	ZS7
KZ37	ZS1 + 0.6*ZS2 + ZS8 + 0.7*ZS7	1,00	ZS1	0,60	ZS2	1,00	ZS8	0,70	ZS7
KZ38	ZS1 + 0.6*ZS2 + 0.5*ZS8 + ZS7	1,00	ZS1	0,60	ZS2	0,50	ZS8	1,00	ZS7
KZ39	ZS1 + 0.5*ZS8 + 0.7*ZS6 + ZS3	1,00	ZS1	0,50	ZS8	0,70	ZS6	1,00	ZS3
KZ40	ZS1 + ZS8 + 0.7*ZS6 + 0.6*ZS3	1,00	ZS1	1,00	ZS8	0,70	ZS6	0,60	ZS3
KZ41	ZS1 + 0.5*ZS8 + ZS6 + 0.6*ZS3	1,00	ZS1	0,50	ZS8	1,00	ZS6	0,60	ZS3
KZ42	ZS1 + 0.5*ZS8 + 0.7*ZS7 + ZS3	1,00	ZS1	0,50	ZS8	0,70	ZS7	1,00	ZS3
KZ43	ZS1 + ZS8 + 0.7*ZS7 + 0.6*ZS3	1,00	ZS1	1,00	ZS8	0,70	ZS7	0,60	ZS3
KZ44	ZS1 + 0.5*ZS8 + ZS7 + 0.6*ZS3	1,00	ZS1	0,50	ZS8	1,00	ZS7	0,60	ZS3
KZ45	ZS1 + 0.5*ZS8 + 0.7*ZS6 + ZS4	1,00	ZS1	0,50	ZS8	0,70	ZS6	1,00	ZS4
KZ46	ZS1 + ZS8 + 0.7*ZS6 + 0.6*ZS4	1,00	ZS1	1,00	ZS8	0,70	ZS6	0,60	ZS4
KZ47	ZS1 + 0.5*ZS8 + ZS6 + 0.6*ZS4	1,00	ZS1	0,50	ZS8	1,00	ZS6	0,60	ZS4
KZ48	ZS1 + 0.5*ZS8 + 0.7*ZS7 + ZS4	1,00	ZS1	0,50	ZS8	0,70	ZS7	1,00	ZS4
KZ49	ZS1 + ZS8 + 0.7*ZS7 + 0.6*ZS4	1,00	ZS1	1,00	ZS8	0,70	ZS7	0,60	ZS4
KZ50	ZS1 + 0.5*ZS8 + ZS7 + 0.6*ZS4	1,00	ZS1	0,50	ZS8	1,00	ZS7	0,60	ZS4
KZ51	ZS1 + 0.5*ZS8 + 0.7*ZS6 + ZS5	1,00	ZS1	0,50	ZS8	0,70	ZS6	1,00	ZS5
KZ52	ZS1 + ZS8 + 0.7*ZS6 + 0.6*ZS5	1,00	ZS1	1,00	ZS8	0,70	ZS6	0,60	ZS5
KZ53	ZS1 + 0.5*ZS8 + ZS6 + 0.6*ZS5	1,00	ZS1	0,50	ZS8	1,00	ZS6	0,60	ZS5
KZ54	ZS1 + 0.5*ZS8 + 0.7*ZS7 + ZS5	1,00	ZS1	0,50	ZS8	0,70	ZS7	1,00	ZS5
KZ55	ZS1 + ZS8 + 0.7*ZS7 + 0.6*ZS5	1,00	ZS1	1,00	ZS8	0,70	ZS7	0,60	ZS5
KZ56	ZS1 + 0.5*ZS8 + ZS7 + 0.6*ZS5	1,00	ZS1	0,50	ZS8	1,00	ZS7	0,60	ZS5

Tabulka 8 - Kombinace zatížení pro MSP



## 3. Posouzení průřezů na mezní stav únosnosti

V následující kapitole proběhne posouzení všech nosných prvků na účinky zatížení v mezním stavu únosnosti podle ČSN EN 1990.

### 3.1 Vnitřní síly na prvcích

Výstup maximálních výsledků z výpočetního modelu na jednotlivých prvcích. Maximální jsou převzata z obálky vnitřních sil od všech kombinací mezního stavu únosnosti.

Popis	Průřez	N [kN]		V <sub>y</sub> [kN]		V <sub>z</sub> [kN]		M <sub>x</sub> [kNm]		M <sub>y</sub> [kNm]		M <sub>z</sub> [kNm]	
		+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
hl.sloup	219,1/10	516,162	698,230	22,204	17,444	16,402	17,997	1,415	1,247	46,233	43,740	55,121	46,374
vnitřní sloup	219,1/8	118,955	340,125	21,167	21,858	22,159	15,508	2,306	2,877	39,501	39,492	39,360	38,980
ztužidlo	168,3/10	305,211	392,446	1,030	1,400	1,351	1,337	1,274	1,269	1,130	2,388	3,445	3,238
trám přímý	IPE 240	230,936	201,074	13,389	20,486	51,732	66,554	0,279	0,317	15,743	14,396	2,346	1,858
trám zakřivený	240/160/7/12	67,635	82,295	13,342	14,919	12,871	10,480	2,057	2,052	6,916	7,403	10,341	8,305
schodnice	140/50/5/5	7,806	11,605	8,068	7,236	4,898	3,378	0,005	0,006	0,336	1,054	0,424	0,452
vzpěra	IPE 100	5,293	23,991	0,748	0,747	0,513	0,512	0,002	0,001	0,331	0,221	0,492	0,515
krokv	IPE 180	82,514	84,648	3,191	3,379	10,424	9,964	0,014	0,014	2,078	2,492	0,426	0,439
příčník přístřešku	IPE 180	32,108	12,552	4,051	3,110	3,852	5,046	0,011	0,014	1,000	0,724	0,483	0,472

Tabulka 9 - Maxima vnitřních sil od obálky MSÚ

### 3.2 Maximální reakce v uložení

Výstup maximálních reakcí v uložení konstrukce. Maximální reakce jsou uvažovány z obálky vnitřních sil od všech kombinací mezního stavu únosnosti.

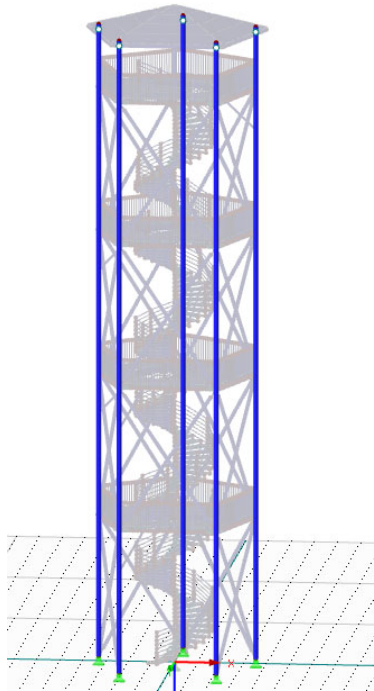
reakce	+	-
R <sub>x</sub> [kN]	233,355	114,654
R <sub>y</sub> [kN]	157,185	202,895
R <sub>z</sub> [kN]	1325,503	1011,548

Tabulka 10 - Maxima reakcí od MSÚ

$$\gamma_{M1} := 1,0$$

### 3.3 Posouzení hlavních sloupů (vnější)

Hlavní sloupy konstrukce jsou tvořeny trubkou o průřezu 219,1/12,5mm. Jsou situovány do vrcholů rovnostranného pětiúhelníku. Sloupy jsou kloubově uloženy do patních plechů.



Obrázek 22 - Hlavní sloupy konstrukce (převzato z výpočetního modelu)

#### Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} := 698,230 \text{ kN}$$

- maximální tlakové zatížení

$$N_{t,Ed} := 516,162 \text{ kN}$$

- maximální tahové zatížení

$$V_{Ed,y} := 22,204 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} := 46,233 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Ed} := 55,121 \text{ kN m}$$

$$M_{Ed} := M_{z,Ed} = 55,121 \text{ kN m}$$

- maximální moment



### Materiálové a geometrické vlastnosti

TR  $\phi$  219,1x12,5mm

$$d := 219,1 \text{ mm}$$

$$t := 12,5 \text{ mm}$$

$$A := 8110 \text{ mm}^2$$

$$I_y := 4,345 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z := I_y = 4,345 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} := 5,34 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} := W_{pl,y} = 5,34 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y := 73,2 \text{ mm}$$

$$i_z := i_y = 73,2 \text{ mm}$$

S355

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0,8136$$

### Zatřídění průřezu

$$\text{třída 1} \quad 50 \cdot \varepsilon^2 = 33,0986$$

$$\text{třída 2} \quad 70 \cdot \varepsilon^2 = 46,338$$

$$\text{třída 3} \quad 90 \cdot \varepsilon^2 = 59,5775$$

$$\frac{d}{t} = 17,528$$

jedná se o průřez třídy 1

### Tlak

$$N_{c,Ed} = 698,23 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tlakové zatížení na sloupy}$$

$$L_{cr} := 6,25 \text{ m} \quad - \text{ vzpěrná délka}$$

$$\lambda_1 := 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

$$\lambda' := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 1,1176$$

$$\alpha := 0,21 \quad - \text{ součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku a}$$

$$\Phi := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha \cdot (\lambda' - 0,2) + \lambda'^2 \right) = 1,2209$$

$$Y_{M1} = 1$$





$$\chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda \cdot 2}} = 0,584$$

$$N_{Rd} := \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1681,4415 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 698,23 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd}} = 41,5257 \%$$

### Tah

$$N_{t,Ed} = 516,162 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tahové zatížení na sloupy}$$

$$N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 2879,05 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = 17,9282 \%$$

### Smyk

$$V_{Ed,y} = 22,204 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy}$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$A_{vz} := 7951,2 \text{ mm}^2 \quad - \text{ plocha přenášející smyk}$$

$$V_{Rd} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 2822,676 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd}} = 0,7866 \%$$

### Ohyb

$$M_{Ed} = 55,121 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment na sloupech}$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$W_{pl,y} = 0,0005 \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu}$$

$$M_{Rd} := \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 189,57 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 29,0769 \%$$



### Interakce M+N

$$N_{Ed} := N_{C,Ed} = 698,23 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 46,233 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy y na sloupech}$$

$$M_{z,Ed} = 55,121 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy z na sloupech}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$W_{pl,y} = 0,0005 \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu}$$

$$\psi := 0 \quad - \text{ vzdálenost bodů podepření na ose y je nulová}$$

$$C_{my} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$C_{mz} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 2879,05 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := f_y \cdot W_{pl,y} = 189,57 \text{ kN m}$$

$$\lambda' = 1,1176$$

$$M_{z,Rk} := f_y \cdot W_{pl,z} = 189,57 \text{ kN m}$$

Výpočet interakčních součinitelů - vzhledem k tomu, že se jedná o kruhový průřez, jde o prut nenáchylný ke zkroucení -> výpočet podle ČSN EN 1993-1-1 tabulka B.1

$$k_{yy} := \min \left( \left[ C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda' - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} \right) \right], \left[ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} \right) \right] \right) = 0,7993$$

$$k_{yz} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,4796$$

$$k_{zy} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,4796$$

$$k_{zz} := \min \left( \left[ C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda' - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} \right) \right], \left[ C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} \right) \right] \right) = 0,9488$$

$$\chi_y := \chi = 0,584 \quad - \text{ součinitel vzpěrnosti ve směru y}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_Y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 74,9649 \%$$

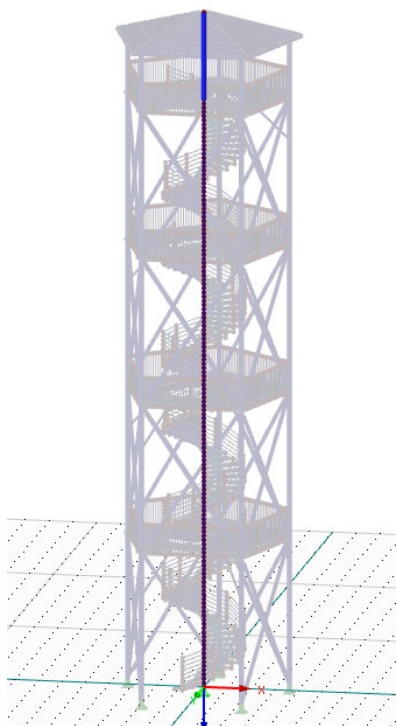
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_Y \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 80,8108 \%$$

**PRVEK VYHOVUJE**

$\gamma_{M1} := 1,0$

### 3.4 Posouzení sloupu schodiště (vnitřní)

Vnitřní sloup konstrukce je tvořen trubkou o průřezu 219,1/8 mm. Je situována do těžiště rovnostranného pětiúhelníku. Slouží převážně k přenesení zatížení od vřetenového schodiště. Sloup je kloubově uložen do patního plechu.



Obrázek 23 - Schodišťový sloup konstrukce (převzato z výpočetního modelu)

#### Vnitřní síly

$N_{c,Ed} := 340,125 \text{ kN}$  - maximální tlakové zatížení

$N_{t,Ed} := 118,955 \text{ kN}$  - maximální tahové zatížení

$V_{Ed} := 21,858 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} := 39,501 \text{ kN m}$

$M_{z,Ed} := 39,360 \text{ kN m}$

$M_{Ed} := M_{y,Ed} = 39,501 \text{ kN m}$  - maximální moment



## Materiálové a geometrické vlastnosti

### TR $\phi$ 219,5x10mm

$$d := 219,1 \text{ mm}$$

$$t := 8 \text{ mm}$$

$$A := 5310 \text{ mm}^2$$

$$I_y := 2,960 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z := I_y = 2,96 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} := 357000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} := W_{pl,y} = 3,57 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y := 74,7 \text{ mm}$$

$$i_z := i_y = 74,7 \text{ mm}$$

S355

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0,8136$$

### Zatřídění průřezu

$$\text{třída 1} \quad 50 \cdot \varepsilon^2 = 33,0986$$

$$\text{třída 2} \quad 70 \cdot \varepsilon^2 = 46,338$$

$$\text{třída 3} \quad 90 \cdot \varepsilon^2 = 59,5775$$

$$\frac{d}{t} = 27,3875$$

jedná se o průřez třídy 1

### Tlak

$$N_{c,Ed} = 340,125 \text{ kN} \quad - \text{maximální tlakové zatížení na sloupy}$$

$$L_{cr} := 6,25 \text{ m} \quad - \text{vzpěrná délka}$$

$$\lambda_1 := 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

$$\lambda' := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 1,0952$$

$$\alpha := 0,21 \quad - \text{součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku a}$$

$$\Phi := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha \cdot (\lambda' - 0,2) + \lambda'^2 \right) = 1,1937$$

$$\chi := \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda'^2}} = 0,5993$$

$$Y_{M1} = 1$$



$$N_{Rd} := \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 1129,7695 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 340,125 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd}} = 30,1057 \%$$

### Tah

$$N_{t,Ed} = 118,955 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tahové zatížení na sloupy}$$

$$N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 1885,05 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = 6,3104 \%$$

### Smyk

$$V_{Ed} = 21,858 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy}$$

$$Y_{M1} = 1 \quad A_{vz} := 7951,2 \text{ mm}^2 \quad - \text{ plocha přenášejíci smyk}$$

$$V_{Rd} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 2822,676 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = 0,7744 \%$$

### Ohyb

$$M_{Ed} = 39,501 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment na sloupech}$$

$$Y_{M1} = 1 \quad \bar{W}_{pl,y} = 0,0004 \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu}$$

$$M_{Rd} := \frac{\bar{W}_{pl,y} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 126,735 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 31,1682 \%$$



### Interakce M+N

$$N_{Ed} := N_{c,Ed} = 340,125 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 39,501 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy y na sloupech}$$

$$M_{z,Ed} = 39,36 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy z na sloupech}$$

$$Y_{M1} = 1 \quad \bar{W}_{pl,y} = 0,0004 \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu}$$

$$\psi := 0 \quad - \text{ vzdálenost bodů podepření na ose y je nulová}$$

$$C_{my} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$C_{mz} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 1885,05 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := f_y \cdot W_{pl,y} = 126,735 \text{ kN m}$$

$$\lambda' = 1,0952 \quad M_{z,Rk} := f_y \cdot W_{pl,z} = 126,735 \text{ kN m}$$

Výpočet interakčních součinitelů - vzhledem k tomu že se jedná o kruhový průřez jde o prut nenáchylný ke zkroucení -> výpočet podle ČSN EN 1993-1-1 tabulka B.1.

$$k_{yy} := \min \left( \left[ C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda' - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \right], \left[ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \right] \right) = 0,7445$$

$$k_{yz} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,4467$$

$$k_{zy} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,4467$$

$$k_{zz} := \min \left( \left[ C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda' - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \right], \left[ C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \right] \right) = 0,8529$$

$$\chi_y := \chi = 0,5993 \quad - \text{ součinitel vzpěrnosti ve směru y}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_Y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 67,1839 \%$$

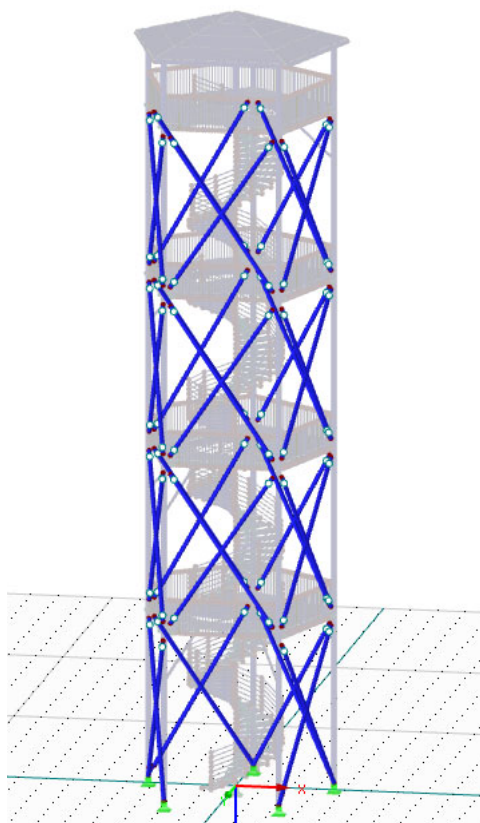
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_Y \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 70,5167 \%$$

PRVEK VYHOVUJE

$\gamma_{M1} := 1,0$

### 3.5 Posouzení ztužidel

Ztužidla jsou tvořena trubkou o průřezu 168,3/7 mm. Slouží ke ztužení konstrukce. Přenášejí převážně osové síly, na které jsou také posouzeny. Na koncích jsou kloubově připojeny pomocí šroubů na styčnickové plechy.



Obrázek 24 - Ztužidla konstrukce (převzato z výpočetního modelu)



### Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} := 392,446 \text{ kN}$$

- maximální tlakové zatížení

$$N_{t,Ed} := 305,211 \text{ kN}$$

- maximální tahové zatížení

$$V_{Ed,y} := 1,400 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} := 2,388 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Ed} := 3,445 \text{ kN m}$$

Posouvající síly a momenty jsou zanedbatelné v porovnání s osovými silami, posudek bude proveden pouze pro tah a tlak

### Materiálové a geometrické vlastnosti

$$L := 7,275 \text{ m}$$

TR  $\phi$  168,3,10mm

$$d := 168,3 \text{ mm}$$

$$t := 10 \text{ mm}$$

$$A := 4970 \text{ mm}^2$$

$$I_y := 1,564 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z := I_y = 1,564 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} := 2,51 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} := W_{pl,y} = 2,51 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y := 56,1 \text{ mm}$$

$$i_z := i_y = 56,1 \text{ mm}$$

S355

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0,8136$$

### Zatřídění průřezu

$$\text{třída 1} \quad 50 \cdot \varepsilon^2 = 33,0986$$

$$\text{třída 2} \quad 70 \cdot \varepsilon^2 = 46,338$$

$$\text{třída 3} \quad 90 \cdot \varepsilon^2 = 59,5775$$

$$\frac{d}{t} = 16,83$$

jedná se o průřez třídy 1





### Tlak

$$N_{c,Ed} = 392,446 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tlakové zatížení na sloupy}$$

$$L = 7,275 \text{ m} \quad - \text{ délka ztužidla}$$

$$\beta := 1 \quad - \text{ součinitel vzpěrné délky pro kloubové uložení}$$

$$L_{cr} := L \cdot \beta = 7,275 \text{ m} \quad - \text{ vzpěrná délka}$$

$$\lambda_1 := 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

$$\lambda' := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 1,6974$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$\alpha := 0,21 \quad - \text{ součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku a}$$

$$\Phi := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha \cdot (\lambda' - 0,2) + \lambda'^2 \right) = 2,0978$$

$$\chi := \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda'^2}} = 0,3003$$

$$N_{Rd} := \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 529,7464 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 392,446 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd}} = 74,0819 \%$$

### Tah

$$N_{t,Ed} = 305,211 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tahové zatížení na sloupy}$$

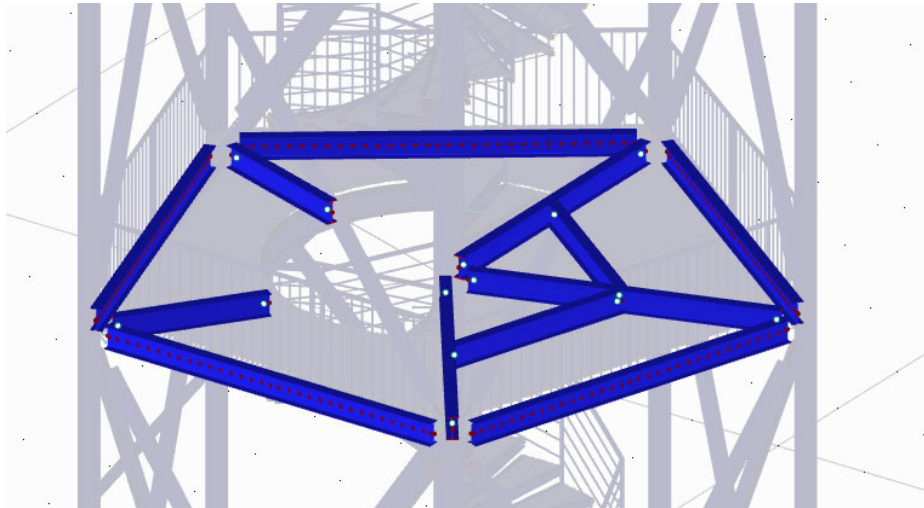
$$N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 1764,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = 17,2988 \%$$

$$\gamma_{M1} := 1,0$$

### 3.6 Posouzení nosníků plošiny (přímé)

Posouzení nosníků podesty. Celá podesta je tvořena stejným průřezem a na koncích je uložena kloubovým spojem pomocí šroubů na styčnickový plech.



Obrázek 25 - Nosníky plošiny (převzato z výpočetního modelu)

Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} := 230,936 \text{ kN}$$

- maximální tlakové zatížení

$$N_{t,Ed} := 201,074 \text{ kN}$$

- maximální tahové zatížení

$$V_{Ed,y} := 20,486 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} := 66,554 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} := 15,743 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Ed} := 2,346 \text{ kN m}$$

Materiálové a geometrické vlastnosti

$$L := 3,993 \text{ m}$$

**IPE 240**

$$h := 240 \text{ mm}$$

$$b := 120 \text{ mm}$$

$$t_w := 6,2 \text{ mm}$$

$$t_f := 9,8 \text{ mm}$$

$$r := 15 \text{ mm}$$

$$A := 3912 \text{ mm}^2$$

$$A_{vy} := 2483,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} := 1914,8 \text{ mm}^2$$

- plocha přenášející smyk



$$I_y := 3,892 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z := 2,836 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} := 3,666 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} := 7,392 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y := 99,7 \text{ mm}$$

$$i_z := 26,9 \text{ mm}$$

S355

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0,8136$$

#### Zatřídění průřezu

třída 1  $9 \cdot \varepsilon = 7,3225$

třída 2  $10 \cdot \varepsilon = 8,1362$

třída 3  $14 \cdot \varepsilon = 11,3906$

$$c := \frac{b - t_w}{2} - r = 41,9 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = 4,2755$$

jedná se o průřez třídy 1

#### Křivka vzpěrné pevnosti

$$\frac{h}{b} = 2$$

$$t_f = 9,8 \text{ mm}$$

pro osu y-y - a  $\alpha_y := 0,21$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku a

pro osu z-z - b  $\alpha_z := 0,34$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku b

Křivka vzpěrné pevnosti	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Součinitel imperfekce $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabulka 11 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti

#### Tlak

$$L = 3,993 \text{ m}$$

$$N_{C,Ed} = 230,936 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tlakové zatížení na sloupy}$$

$$\beta := 1$$

$$L_{cr} := L \cdot \beta = 3,993 \text{ m} \quad - \text{ vzpěrná délka}$$

$$\lambda_1 := 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$



$$Y_{M1} = 1$$

$$\lambda'_{y} := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 0,5242$$

$$\lambda'_{z} := \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_1} = 1,943$$

$$\alpha_y = 0,21$$

$$\alpha_z = 0,34$$

$$\Phi_y := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_y \cdot (\lambda'_{y} - 0,2) + \lambda'_{y}{}^2 \right) = 0,6715$$

$$\Phi_z := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_z \cdot (\lambda'_{z} - 0,2) + \lambda'_{z}{}^2 \right) = 2,6838$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y{}^2 - \lambda'_{y}{}^2}} = 0,9166$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z{}^2 - \lambda'_{z}{}^2}} = 0,2205$$

$$N_{Rd,y} := \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 1272,9093 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,z} := \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 306,2123 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 230,936 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,y}} = 18,1424 \%$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,z}} = 75,4169 \%$$

### Tah

$$N_{t,Ed} = 201,074 \text{ kN} \quad - \text{maximální tahové zatížení na sloupy}$$

$$N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 1388,76 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = 14,4787 \%$$



### Smyk

$$V_{Ed,y} = 20,486 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy y}$$

$$V_{Ed,z} = 66,554 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy z}$$

$$A_{vY} = 2483,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{vZ} = 1914,8 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd,y} := \frac{A_{vY} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 881,607 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,z} := \frac{A_{vZ} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 679,754 \text{ kN}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} = 2,3237 \%$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = 9,7909 \%$$

### Ohyb

$$M_{y,Ed} = 15,743 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment na sloupech}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$\bar{W}_{p1,y} = 0,0004 \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu}$$

$$M_{Rd} := \frac{\bar{W}_{p1,y} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 130,143 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = 12,0967 \%$$

### Interakce M+N

$$N_{Ed} := N_{c,Ed} = 230,936 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 15,743 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy y na sloupech}$$

$$M_{z,Ed} = 2,346 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy z na sloupech}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$\bar{W}_{p1,y} = 3,666 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$\bar{W}_{p1,z} = 73920 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu z}$$

$$\psi := 0 \quad - \text{ vzdálenost bodů podepření na ose y je nulová}$$



$$C_{my} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$C_{mz} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 1388,76 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := f_y \cdot W_{pl,y} = 130,143 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Rk} := f_y \cdot W_{pl,z} = 26,2416 \text{ kN m}$$

$$\lambda'_y = 0,5242$$

$$\lambda'_z = 1,943$$

$$k_{yy} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda'_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 0,6353$$

$$k_{yz} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3812$$

$$k_{zy} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3812$$

$$k_{zz} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda'_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 1,2335$$

$$\chi_y = 0,9166 \quad \text{- součinitel vzpěrnosti ve směru y}$$

$$\chi_z = 0,2205 \quad \text{- součinitel vzpěrnosti ve směru z}$$

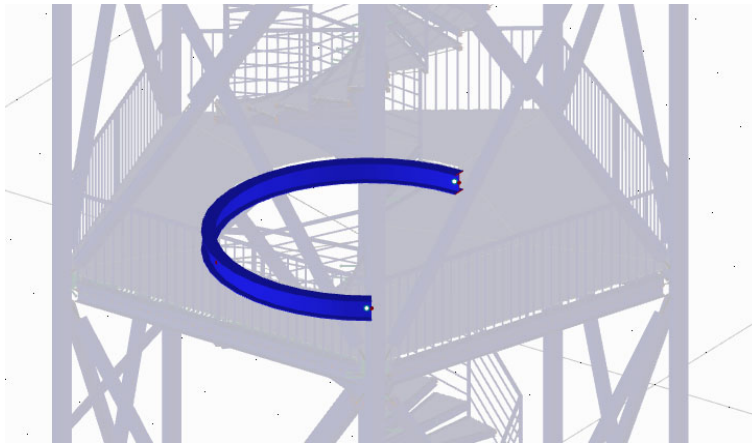
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{Y_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{Y_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{Y_{M1}} = 29,235 \%$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{Y_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{Y_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{Y_{M1}} = 91,0554 \%$$

$$Y_{M1} := 1,0$$

### 3.7 Posouzení nosníků plošiny (zakřivené)

Obloukový svařovaný průřez je rozměry volen tak aby zhruba odpovídal průřezu IPE240, stejně jako přilehlé nosníky plošiny.



Obrázek 26 - Obloukový nosník plošiny (převzato z výpočetního modelu)

#### Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} := 82,295 \text{ kN}$$

- maximální tlakové zatížení

$$N_{t,Ed} := 67,635 \text{ kN}$$

- maximální tahové zatížení

$$V_{Ed,y} := 14,919 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} := 12,871 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} := 7,403 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Ed} := 10,341 \text{ kN m}$$

#### Materiálové a geometrické vlastnosti

##### svařovaný průřez

$$h := 240 \text{ mm}$$

$$b := 120 \text{ mm}$$

$$t_w := 7 \text{ mm}$$

$$t_f := 10 \text{ mm}$$

$$a := 5 \text{ mm}$$

$$A := 3940 \text{ mm}^2$$

$$A_{vy} := 2400 \text{ mm}^2$$

- plocha přenášející smyk y

$$A_{vz} := 1540 \text{ mm}^2$$

- plocha přenášející smyk z

$$I_y := 3,797 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z := 2,886 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_t := 1,021 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$



$$\begin{aligned} W_{pl,y} &:= 3,607 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \\ W_{pl,z} &:= 7,4695 \cdot 10^4 \text{ mm}^3 \\ i_y &:= 98,2 \text{ mm} \\ i_z &:= 27,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

S355

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0,8136$$

#### Zatřídění průřezu

třída 1  $9 \cdot \varepsilon = 7,3225$

třída 2  $10 \cdot \varepsilon = 8,1362$

třída 3  $14 \cdot \varepsilon = 11,3906$

jedná se o průřez třídy 1

$$c := \frac{b - t_w}{2} - a = 51,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = 5,15$$

#### Křivka vzpěrné pevnosti

$$t_f = 10 \text{ mm}$$

pro osu y-y - b  $\alpha_y := 0,34$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku b

pro osu z-z - c  $\alpha_z := 0,49$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku c

Křivka vzpěrné pevnosti	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Součinitel imperfekce $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabulka 12 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti

#### Tlak

$$N_{c,Ed} = 82,295 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tlakové zatížení na sloupy}$$

$$L_{cr} := 2,23 \text{ m} \quad - \text{ vzpěrná délka}$$

$$\lambda_1 := 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

$$\lambda'_y := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 0,2972$$

$$\lambda'_z := \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_1} = 1,0771$$





$$\alpha_y = 0,34$$

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\Phi_y := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_y \cdot (\lambda'_y - 0,2) + \lambda'^2_y \right) = 0,5607$$

$$\Phi_z := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_z \cdot (\lambda'_z - 0,2) + \lambda'^2_z \right) = 1,2949$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda'^2_y}} = 0,9651$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda'^2_z}} = 0,4966$$

$$N_{Rd,y} := \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 1349,9092 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,z} := \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 694,5558 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 82,295 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,y}} = 6,0963 \%$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,z}} = 11,8486 \%$$

### Tah

$$N_{t,Ed} = 67,635 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tahové zatížení na sloupy}$$

$$N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 1398,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = 4,8356 \%$$

### Smyk

$$V_{Ed,y} = 14,919 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy y}$$

$$V_{Ed,z} = 12,871 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy z}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$A_{vy} = 2400 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1540 \text{ mm}^2$$



$$V_{Rd,y} := \frac{A_{vy} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 852 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,z} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 546,7 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} = 1,7511 \%$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = 2,3543 \%$$

### Ohyb

$$M_{y,Ed} = 7,403 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$M_{z,Ed} = 10,341 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$\bar{W}_{pl,y} = 0,0004 \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$\bar{W}_{pl,z} = 7,4695 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$M_{Rd,y} := \frac{\bar{W}_{pl,y} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 128,0485 \text{ kN m}$$

$$M_{Rd,z} := \frac{\bar{W}_{pl,z} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 26,5167 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} = 5,7814 \%$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} = 38,998 \%$$

### Interakce M+N

$$N_{Ed} := N_{c,Ed} = 82,295 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 7,403 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy y na sloupech}$$

$$M_{z,Ed} = 10,341 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy z na sloupech}$$

$$\bar{W}_{pl,y} = 3,607 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$\bar{W}_{pl,z} = 74695 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu z}$$

$$\psi := 0 \quad - \text{ vzdálenost bodů podepření na ose y je nulová}$$

$$C_{my} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$C_{mz} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$



$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 1398,7 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := f_y \cdot W_{pl,y} = 128,0485 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Rk} := f_y \cdot W_{pl,z} = 26,5167 \text{ kN m}$$

$$\lambda'_y = 0,2972$$

$$\lambda'_z = 1,0771$$

$$k_{yy} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda'_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 0,6036$$

$$k_{yz} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3621$$

$$k_{zy} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3621$$

$$k_{zz} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda'_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 0,6995$$

$$\chi_y = 0,9651 \quad \text{- součinitel vzpěrnosti ve směru y}$$

$$\chi_z = 0,4966 \quad \text{- součinitel vzpěrnosti ve směru z}$$

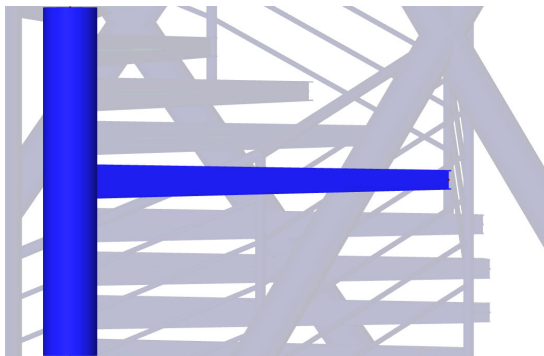
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{Y_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{Y_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{Y_{M1}} = 23,7083 \%$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{Y_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{Y_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{Y_{M1}} = 41,2224 \%$$



### 3.8 Posouzení konzoly schodiště

Posouzení konzoly schodiště. Prvek je tvořen svařovaným průřezem tvaru I, který má po délce proměnnou výšku. Na každém třetím schodu je připevněn sloupek zábradlí.



Obrázek 27 - Konzola schodiště (převzato z výpočetního modelu)

$$Y_{M1} := 1,0$$

#### Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} := 11,605 \text{ kN}$$

- maximální tlakové zatížení

$$N_{t,Ed} := 7,806 \text{ kN}$$

- maximální tahové zatížení

$$V_{Ed,y} := 8,068 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} := 4,898 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} := 1,054 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Ed} := 0,452 \text{ kN m}$$

#### Materiálové a geometrické vlastnosti

$$L := 1490 \text{ mm}$$

#### Svařovaný průřez

$$h := 140 \text{ mm}$$

$$b := 50 \text{ mm}$$

$$t_w := 5 \text{ mm}$$

$$t_f := 5 \text{ mm}$$

$$a := 4 \text{ mm}$$

$$A := 1150 \text{ mm}^2$$

$$A_{vy} := 500 \text{ mm}^2$$

- plocha přenášející smyk y

$$A_{vz} := 650 \text{ mm}^2$$

- plocha přenášející smyk z

$$I_y := 3,195 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z := 1,055 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} := 5,488 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} := 7,062 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$



$$i_y := 527 \text{ mm}$$

$$i_z := 9,6 \text{ mm}$$

S355

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0,8136$$

Zatřídění průřezu

třída 1  $9 \cdot \varepsilon = 7,3225$

třída 2  $10 \cdot \varepsilon = 8,1362$

třída 3  $14 \cdot \varepsilon = 11,3906$

jedná se o průřez třídy 1

$$c := \frac{b - t_w}{2} - a = 18,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = 3,7$$

Křivka vzpěrné pevnosti

$$\frac{h}{b} = 2,8$$

$$t_f = 5 \text{ mm}$$

pro osu y-y - a  $\alpha_y := 0,21$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku a

pro osu z-z - b  $\alpha_z := 0,34$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku b

Křivka vzpěrné pevnosti	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Součinitel imperfekce $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabulka 13 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti

**Tlak**

$N_{c,Ed} = 11,605 \text{ kN}$  - maximální tlakové zatížení na sloupy

$\beta := 2$  - součinitel pro konzolu

$L_{cr} := L \cdot \beta = 2,98 \text{ m}$  - vzpěrná délka

$$\lambda_1 := 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

$$\lambda'_y := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 0,074$$

$$\lambda'_z := \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_1} = 4,0631$$



$$Y_{M1} = 1$$

$$\alpha_y = 0,21$$

$$\alpha_z = 0,34$$

$$\Phi_y := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_y \cdot (\lambda'_y - 0,2) + \lambda'^2_y \right) = 0,4895$$

$$\Phi_z := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_z \cdot (\lambda'_z - 0,2) + \lambda'^2_z \right) = 9,4112$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda'^2_y}} = 1,0273$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda'^2_z}} = 0,0559$$

$$N_{Rd,y} := \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 419,409 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,z} := \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 22,8071 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 11,605 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,y}} = 2,767 \%$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,z}} = 50,8833 \%$$

### Tah

$$N_{t,Ed} = 7,806 \text{ kN} \quad \text{- maximální tahové zatížení na sloupy}$$

$$N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 408,25 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = 0,0191$$

### Smyk

$$V_{Ed,y} = 8,068 \text{ kN} \quad \text{- maximální smykové zatížení na sloupy y}$$

$$V_{Ed,z} = 4,898 \text{ kN} \quad \text{- maximální smykové zatížení na sloupy z}$$

$$A = 1150 \text{ mm}^2$$



$$Y_{M1} = 1$$

$$V_{Rd,y} := \frac{A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 408,25 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,z} := \frac{A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 408,25 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} = 1,9762 \%$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = 1,1998 \%$$

### Ohyb

$$M_{y,Ed} = 1,054 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$M_{z,Ed} = 0,452 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$W_{pl,y} = 5,488 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$W_{pl,z} = 7,062 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$M_{Rd,y} := \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 19,4824 \text{ kN m}$$

$$M_{Rd,z} := \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{Y_{M1}} = 2,507 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} = 5,41 \%$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} = 18,0294 \%$$

### Interakce M+N

$$N_{Ed} := N_{c,Ed} = 11,605 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 1,054 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy y na sloupech}$$

$$M_{z,Ed} = 0,452 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy z na sloupech}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$W_{pl,y} = 54880 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$W_{pl,z} = 7062 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu z}$$

$$\psi := 0 \quad - \text{ vzdálenost bodů podepření na ose y je nulová}$$

$$C_{my} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$C_{mz} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$



$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 408,25 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := f_y \cdot W_{pl,y} = 19,4824 \text{ kN m}$$

$$\lambda'_y = 0,074$$

$$\lambda'_z = 4,0631$$

$$M_{z,Rk} := f_y \cdot W_{pl,z} = 2,507 \text{ kN m}$$

$$k_{yy} := \min \left( \left[ \begin{array}{c} C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda'_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 0,5979$$

$$k_{yz} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3587$$

$$k_{zy} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3587$$

$$k_{zz} := \min \left( \left[ \begin{array}{c} C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda'_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 1,0274$$

$$\chi_y = 1,0273 \quad \text{- součinitel vzpěrnosti ve směru y}$$

$$\chi_z = 0,0559 \quad \text{- součinitel vzpěrnosti ve směru z}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{Y_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{Y_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{Y_{M1}} = 12,4697 \%$$

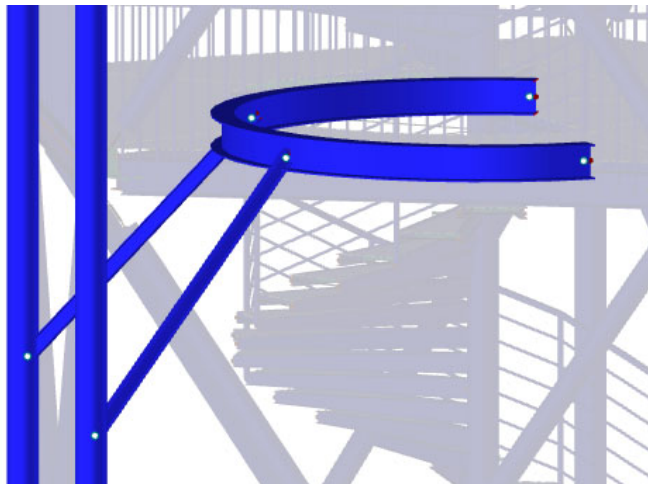
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{Y_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{Y_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{Y_{M1}} = 71,3479 \%$$



$$Y_{M1} := 1,0$$

### 3.9 Posouzení vzpěry podesty

Posouzení prvků podpírajících obloukový nosník podesty. Vzpěry jsou pod úhlem 45°. Na obou stranách jsou vzpěry kloubově připojeny na styčnickový plech pomocí šroubů. Na jedné straně jsou připojeny k hlavnímu (vnějšímu) sloupu, na straně druhé k pásnici obloukového nosníku podesty.



Obrázek 28 - Vzpěra podesty (převzato z výpočetního modelu)

#### Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} := 23,991 \text{ kN}$$

- maximální tlakové zatížení

$$N_{t,Ed} := 5,293 \text{ kN}$$

- maximální tahové zatížení

$$V_{Ed,y} := 8,068 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} := 0,513 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} := 0,331 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Ed} := 0,515 \text{ kN m}$$

#### Materiálové a geometrické vlastnosti

$$L := 2,581 \text{ m}$$

#### IPE 100

$$h := 100 \text{ mm}$$

$$b := 55 \text{ mm}$$

$$t_w := 4,1 \text{ mm}$$

$$t_f := 5,7 \text{ mm}$$

$$r := 7 \text{ mm}$$

$$A := 1032 \text{ mm}^2$$

$$A_{vy} := 672,5 \text{ mm}^2$$

- plocha přenášející smyk y

$$A_{vz} := 508,2 \text{ mm}^2$$

- plocha přenášející smyk z



$$I_y := 1,71 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z := 1,591 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} := 3,941 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} := 9,15 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y := 40,7 \text{ mm}$$

$$i_z := 12,4 \text{ mm}$$

S355

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0,8136$$

#### Zatřídění průřezu

třída 1  $9 \cdot \varepsilon = 7,3225$

třída 2  $10 \cdot \varepsilon = 8,1362$

třída 3  $14 \cdot \varepsilon = 11,3906$

jedná se o průřez třídy 1

$$c := \frac{b - t_w}{2} - r = 18,45 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = 3,2368$$

#### Křivka vzpěrné pevnosti

$$\frac{h}{b} = 1,8182$$

$$t_f = 5,7 \text{ mm}$$

pro osu y-y - b  $\alpha_y := 0,21$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku a

pro osu z-z - c  $\alpha_z := 0,34$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku b

Křivka vzpěrné pevnosti	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Součinitel imperfekce $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabulka 14 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti



### Tlak

$$N_{c,Ed} = 23,991 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tlakové zatížení na sloupy}$$

$$L_{cr} := 2,581 \text{ m} \quad - \text{ vzpěrná délka}$$

$$\lambda_1 := 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

$$\lambda'_y := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 0,8301$$

$$\lambda'_z := \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_1} = 2,7245$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$\alpha_y = 0,21$$

$$\alpha_z = 0,34$$

$$\Phi_y := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_y \cdot (\lambda'_y - 0,2) + \lambda'^2_y \right) = 0,9107$$

$$\Phi_z := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_z \cdot (\lambda'_z - 0,2) + \lambda'^2_z \right) = 4,6405$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda'^2_y}} = 0,7781$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda'^2_z}} = 0,1191$$

$$N_{Rd,y} := \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 285,0577 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,z} := \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 43,6296 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 23,991 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,y}} = 8,4162 \%$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,z}} = 54,9879 \%$$



### Tah

$$N_{t,Ed} = 5,293 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tahové zatížení na sloupy}$$

$$N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 366,36 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = 1,4448 \%$$

### Smyk

$$V_{Ed,y} = 8,068 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy y}$$

$$V_{Ed,z} = 0,513 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy z}$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$A_{vy} = 672,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 508,2 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd,y} := \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 238,7375 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,z} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 180,411 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} = 3,3794 \%$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = 0,2844 \%$$

### Ohyb

$$M_{y,Ed} = 0,331 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$M_{z,Ed} = 0,515 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$\bar{W}_{pl,y} = 3,941 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$\bar{W}_{pl,z} = 9,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$M_{Rd,y} := \frac{\bar{W}_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 13,9906 \text{ kN m}$$

$$M_{Rd,z} := \frac{\bar{W}_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 3,2482 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} = 2,3659 \%$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} = 15,8547 \%$$



### Interakce M+N

$$N_{Ed} := N_{C,Ed} = 23,991 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,331 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy y na sloupech}$$

$$M_{z,Ed} = 0,515 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy z na sloupech}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$W_{pl,y} = 39410 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$W_{pl,z} = 9150 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu z}$$

$$\psi := 0 \quad - \text{ vzdálenost bodů podepření na ose y je nulová}$$

$$C_{my} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$C_{mz} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 366,36 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := f_y \cdot W_{pl,y} = 13,9906 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Rk} := f_y \cdot W_{pl,z} = 3,2482 \text{ kN m}$$

$$\lambda'_y = 0,8301$$

$$\lambda'_z = 2,7245$$

$$k_{yy} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda'_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 0,6318$$

$$k_{yz} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3791$$

$$k_{zy} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3791$$

$$k_{zz} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda'_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 1,0619$$

$$\chi_y = 0,7781 \quad - \text{ součinitel vzpěrnosti ve směru y}$$

$$\chi_z = 0,1191 \quad - \text{ součinitel vzpěrnosti ve směru z}$$

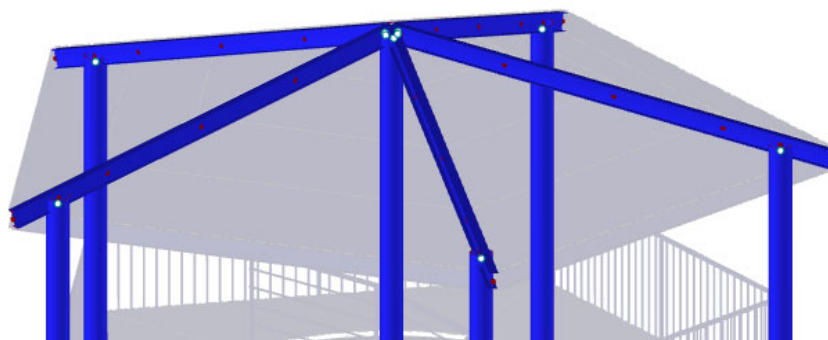
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{X_Y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 15,9213 \%$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{X_Z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 72,7209 \%$$

$$\gamma_{M1} := 1,0$$

### **3.10 Posouzení krokve přístřešku**

Krokev střechy je kloubově připojena ke sloupům konstrukce. Na ni jsou po délce připojeny příčníky přístřešku, které jsou připojeny pomocí svarů.



Obrázek 29 - Krokve přístřešku (převzato z výpočetního modelu)

#### Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} := 82,514 \text{ kN}$$

- maximální tlakové zatížení

$$N_{t,Ed} := 84,648 \text{ kN}$$

- maximální tahové zatížení

$$V_{Ed,y} := 3,379 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} := 10,424 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} := 2,492 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Ed} := 0,439 \text{ kN m}$$

#### Materiálové a geometrické vlastnosti

$$L := 3,736 \text{ m}$$

#### **IPE 160**

$$h := 160 \text{ mm}$$

$$b := 82 \text{ mm}$$

$$t_w := 5 \text{ mm}$$

$$t_f := 7,4 \text{ mm}$$

$$r := 9 \text{ mm}$$



$$A := 2009 \text{ mm}^2$$

$$A_{vy} := 1283,6 \text{ mm}^2 \quad \text{- plocha přenášejí s myk y}$$

$$A_{vz} := 965,6 \text{ mm}^2 \quad \text{- plocha přenášejí s myk z}$$

$$I_y := 8,693 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z := 6,831 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} := 1,239 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} := 2,61 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y := 65,8 \text{ mm}$$

$$i_z := 18,4 \text{ mm}$$

S355

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0,8136$$

#### Zatřídění průřezu

třída 1  $9 \cdot \varepsilon = 7,3225$

třída 2  $10 \cdot \varepsilon = 8,1362$

třída 3  $14 \cdot \varepsilon = 11,3906$

jedná se o průřez třídy 1

$$c := \frac{b - t_w}{2} - r = 29,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = 3,9865$$

#### Křivka vzpěrné pevnosti

$$\frac{h}{b} = 1,9512$$

$$t_f = 7,4 \text{ mm}$$

pro osu y-y - a  $\alpha_y := 0,21$  - součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku a

pro osu z-z - b  $\alpha_z := 0,34$  - součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku b

Křivka vzpěrné pevnosti	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Součinitel imperfekce $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabulka 15 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti



### Tlak

$$N_{c,Ed} = 82,514 \text{ kN} \quad - \text{maximální tlakové zatížení na sloupy}$$

$$\beta := 0,8$$

$$L_{cr} := L \cdot \beta = 2,9888 \text{ m} - \text{vzpěrná délka}$$

$$\lambda_1 := 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

$$\lambda'_y := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 0,5945$$

$$\lambda'_z := \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_1} = 2,1261$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$\alpha_y = 0,21$$

$$\alpha_z = 0,34$$

$$\Phi_y := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_y \cdot (\lambda'_y - 0,2) + \lambda'^2_y \right) = 0,7182$$

$$\Phi_z := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_z \cdot (\lambda'_z - 0,2) + \lambda'^2_z \right) = 3,0877$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda'^2_y}} = 0,892$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda'^2_z}} = 0,1877$$

$$N_{Rd,y} := \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 636,2056 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,z} := \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 133,8891 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 82,514 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,y}} = 12,9697 \%$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,z}} = 61,6286 \%$$





### Tah

$$N_{t,Ed} = 84,648 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tahové zatížení na sloupy}$$

$$N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 713,195 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = 11,8688 \%$$

### Smyk

$$V_{Ed,y} = 3,379 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy y}$$

$$V_{Ed,z} = 10,424 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy z}$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$A_{vy} = 1283,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 965,6 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd,y} := \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 455,678 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,z} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 342,788 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} = 0,7415 \%$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = 3,0409 \%$$

### Ohyb

$$M_{y,Ed} = 2,492 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$M_{z,Ed} = 0,439 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$W_{pl,y} = 0,0001 \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$\bar{W}_{pl,z} = 2,61 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$M_{Rd,y} := \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 43,9845 \text{ kN m}$$

$$M_{Rd,z} := \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 9,2655 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} = 5,6656 \%$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} = 0,0474$$



### Interakce M+N

$$N_{Ed} := N_{c,Ed} = 82,514 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 2,492 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy y na sloupech}$$

$$M_{z,Ed} = 0,439 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy z na sloupech}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$\bar{W}_{pl,y} = 1,239 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$\bar{W}_{pl,z} = 26100 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu z}$$

$$\psi := 0 \quad - \text{ vzdálenost bodů podepření na ose y je nulová}$$

$$C_{my} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$C_{mz} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 713,195 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := f_y \cdot \bar{W}_{pl,y} = 43,9845 \text{ kN m}$$

$$\lambda'_y = 0,5945$$

$$M_{z,Rk} := f_y \cdot \bar{W}_{pl,z} = 9,2655 \text{ kN m}$$

$$\lambda'_z = 2,1261$$

$$k_{yy} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda'_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 0,6307$$

$$k_{yz} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3784$$

$$k_{zy} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3784$$

$$k_{zz} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda'_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 1,1177$$

$$\chi_y = 0,892 \quad - \text{ součinitel vzpěrnosti ve směru y}$$

$$\chi_z = 0,1877 \quad - \text{ součinitel vzpěrnosti ve směru z}$$



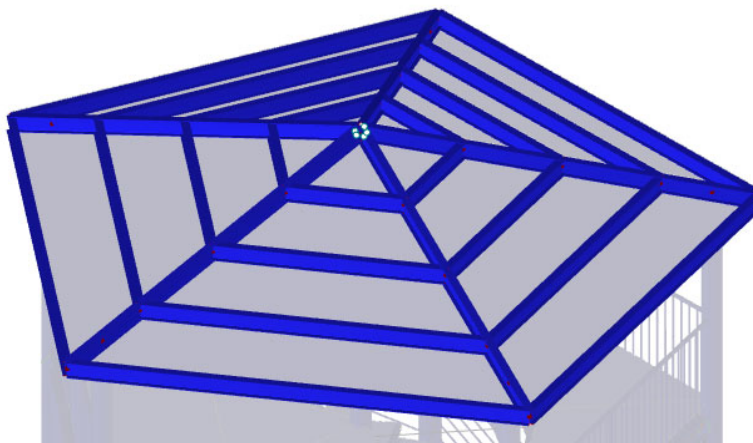
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 18,336 \%$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 69,0682 \%$$

$$\gamma_{M1} := 1,0$$

### 3.11 Posouzení příčnicku přístřešku

Příčnick přístřešku je z válcovaného profilu IPE. Na koncích je přivařek ke krokvi přístřešku. Průřez příčnicku je volen tak, aby odpovídal průřezu krokve.



Obrázek 30 - Krokve a příčnicku přístřešku (převzato z výpočetního modelu)

#### Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} := 12,552 \text{ kN}$$

- maximální tlakové zatížení

$$N_{t,Ed} := 32,108 \text{ kN}$$

- maximální tahové zatížení

$$V_{Ed,y} := 4,051 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} := 5,046 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} := 1,000 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Ed} := 0,483 \text{ kN m}$$

#### Materiálové a geometrické vlastnosti

$$L := 4,798 \text{ m}$$

#### IPE 160

$$h := 160 \text{ mm}$$

$$b := 82 \text{ mm}$$

$$t_w := 5 \text{ mm}$$

$$t_f := 7,4 \text{ mm}$$

$$r := 9 \text{ mm}$$

$$A := 2009 \text{ mm}^2$$

$$A_{vy} := 1283,6 \text{ mm}^2$$

- plocha přenášející smyk y

$$A_{vz} := 965,6 \text{ mm}^2$$

- plocha přenášející smyk z



$$I_y := 8,693 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z := 6,831 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} := 1,239 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} := 2,61 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_y := 65,8 \text{ mm}$$

$$i_z := 18,4 \text{ mm}$$

S355

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}} = 0,8136$$

#### Zatřídění průřezu

třída 1  $9 \cdot \varepsilon = 7,3225$

třída 2  $10 \cdot \varepsilon = 8,1362$

třída 3  $14 \cdot \varepsilon = 11,3906$

jedná se o průřez třídy 1

$$c := \frac{b - t_w}{2} - r = 29,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = 3,9865$$

#### Křivka vzpěrné pevnosti

$$\frac{h}{b} = 1,9512$$

$$t_f = 7,4 \text{ mm}$$

pro osu y-y - a  $\alpha_y := 0,21$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku a

pro osu z-z - b  $\alpha_z := 0,34$

- součinitel imperfekce pro vzpěrnou křivku b

Křivka vzpěrné pevnosti	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Součinitel imperfekce $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabulka 16 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti



### Tlak

$$N_{c,Ed} = 12,552 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tlakové zatížení na sloupy}$$

$$\beta := 1 \quad - \text{ součinitel vzpěrné délky}$$

$$L_{cr} := L \cdot \beta = 4,798 \text{ m} \quad - \text{ vzpěrná délka}$$

$$\lambda_1 := 93,9 \cdot \varepsilon = 76,3986$$

$$\lambda'_y := \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_1} = 0,9544$$

$$\lambda'_z := \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_1} = 3,4132$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$\alpha_y = 0,21$$

$$\alpha_z = 0,34$$

$$\Phi_y := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_y \cdot (\lambda'_y - 0,2) + \lambda'^2_y \right) = 1,0347$$

$$\Phi_z := 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha_z \cdot (\lambda'_z - 0,2) + \lambda'^2_z \right) = 6,8711$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda'^2_y}} = 0,6972$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda'^2_z}} = 0,0779$$

$$N_{Rd,y} := \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 497,2633 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,z} := \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{Y_{M1}} = 55,5687 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 12,552 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,y}} = 2,5242 \%$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd,z}} = 22,5883 \%$$



### Tah

$$N_{t,Ed} = 32,108 \text{ kN} \quad - \text{ maximální tahové zatížení na sloupy}$$

$$N_{t,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 713,195 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = 0,045$$

### Smyk

$$V_{Ed,y} = 4,051 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy y}$$

$$V_{Ed,z} = 5,046 \text{ kN} \quad - \text{ maximální smykové zatížení na sloupy z}$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$A_{vy} = 1283,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 965,6 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd,y} := \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 455,678 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,z} := \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 342,788 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd,y}} = 0,889 \%$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,z}} = 1,472 \%$$

### Ohyb

$$M_{y,Ed} = 1 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$M_{z,Ed} = 0,483 \text{ kN m} \quad - \text{ maximální moment z}$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$W_{pl,y} = 0,0001 \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$W_{pl,z} = 2,61 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$M_{Rd,y} := \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 43,9845 \text{ kN m}$$

$$M_{Rd,z} := \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 9,2655 \text{ kN m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}} = 2,2735 \%$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}} = 5,2129 \%$$



### Interakce M+N

$$N_{Ed} := N_{C,Ed} = 12,552 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 1 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy y na sloupech}$$

$$M_{z,Ed} = 0,483 \text{ m kN} \quad - \text{ maximální moment kolem osy z na sloupech}$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$W_{pl,y} = 1,239 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu y}$$

$$W_{pl,z} = 26100 \text{ mm}^3 \quad - \text{ plastický modul průřezu z}$$

$$\psi := 0 \quad - \text{ vzdálenost bodů podepření na ose y je nulová}$$

$$C_{my} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$C_{mz} := 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

$$N_{Rk} := f_y \cdot A = 713,195 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} := f_y \cdot W_{pl,y} = 43,9845 \text{ kN m}$$

$$M_{z,Rk} := f_y \cdot W_{pl,z} = 9,2655 \text{ kN m}$$

$$\lambda'_y = 0,9544$$

$$\lambda'_z = 3,4132$$

$$k_{yy} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda'_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 0,6114$$

$$k_{yz} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3669$$

$$k_{zy} := 0,6 \cdot k_{yy} = 0,3669$$

$$k_{zz} := \min \left( \left[ \begin{array}{l} C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda'_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \end{array} \right] \right) = 0,7897$$

$$\chi_y = 0,6972 \quad - \text{ součinitel vzpěrnosti ve směru y}$$

$$\chi_z = 0,0779 \quad - \text{ součinitel vzpěrnosti ve směru z}$$





$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_Y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{YY} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{YZ} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 5,8267 \%$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_Z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{ZY} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{ZZ} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 27,5391 \%$$

## 4. Posouzení detailů na mezní stav únosnosti

### 4.1 Přípoj přímého nosníku a ztužidel na hlavní sloup

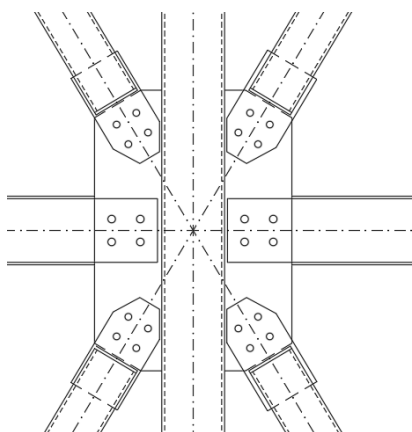
$$N_{Ed} := 101,984 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} := 35,976 \text{ kN}$$

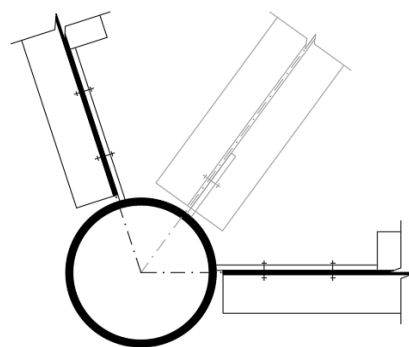
$$M_T := 0,036 \text{ kN m}$$

$$F_{Ed} := \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = 108,1435 \text{ kN}$$

#### Návrh detailu



Obrázek 31 - Schéma styčnicku, pohled z boku



Obrázek 32 - Schéma styčnicku, pohled ze shora

#### Šroubový přípoj styčnickového plechu k IPE 240

$$N_{Ed} := 101,984 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} := 35,976 \text{ kN}$$

$$M_T := 0,036 \text{ kN m}$$

$$F_{Ed} := \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = 108,1435 \text{ kN}$$

návrh 2x2 šroubů v řadě M20 8.8

šroub M20 8.8

$$d := 20 \text{ mm}$$

$$d_0 := 22 \text{ mm}$$

$$A := 314 \text{ mm}^2$$

$$A_s := 245 \text{ mm}^2$$

$$t_p := 8 \text{ mm}$$

-tloušťka styčnickového plechu

$$t_{IPE} := 6,2 \text{ mm}$$

-tloušťka stojiny IPE 240

$$\gamma_{M2} := 1,25$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$\alpha_v := 0,6$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$



### Únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} := 94,1 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost ve střihu

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} = 1,1492$$

4 šrouby M20 vyhovují

### Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} := 154,5 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost v otláčení pro doporučené rozteče

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = 0,7$$

4 šrouby M20 vyhovují

### Šroubovaný přípoj styčnickového plechu ke ztužidlům

$$N_{Ed} := 390,664 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} := 1,343 \text{ kN}$$

$$M_T := 0,036 \text{ kN m}$$

$$F_{Ed} := \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = 390,6663 \text{ kN}$$

návrh 2x2 šroubů v řadě M24 8.8

#### šroub M24 8.8

$$d := 24 \text{ mm}$$

$$t_p := 8 \text{ mm}$$

-tloušťka styčnickového plechu

$$d_0 := 26 \text{ mm}$$

$$t_{IPE} := 6,2 \text{ mm}$$

-tloušťka stojiny IPE 240

$$A := 452 \text{ mm}^2$$

$$A_s := 353 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2} := 1,25$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$\alpha_v := 0,6$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

### Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} := 135,6 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost ve stříhu

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} = 2,881$$

4 šrouby M24 vyhovují

### Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} := 188,3 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost v otláčení pro doporučené rozteče

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = 2,0747$$

4 šrouby M24 vyhovují

### Svar ztužidla a plechu

$$F_{Ed} := N_{Ed} = 390,664 \text{ kN}$$

$$l := 160 \text{ mm}$$

$$a := 5 \text{ mm}$$

$$\beta_w := 0,9 \quad \text{- korelační součinitel pro S355}$$

$$\tau_{II} := \frac{F_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = 244,165 \text{ MPa}$$

$$\tau_k := 0$$

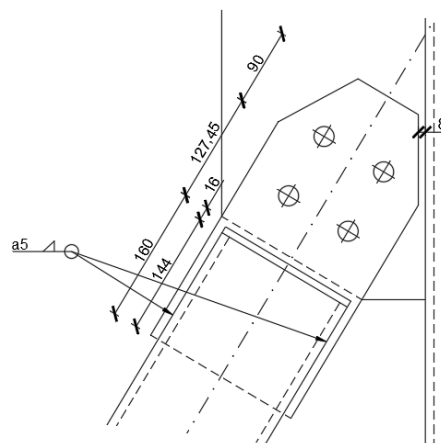
$$\sigma_k := 0$$

$$\beta_w := 0,9 \quad \text{- korelační součinitel pro S355}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_{II}^2)} = 422,9062 \text{ MPa}$$

≤

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453,3333 \text{ MPa}$$



Obrázek 33 - Detail spoje ztužidla

### Svar styčnickového plechu a sloupu

Zatížení od ztužidla 1

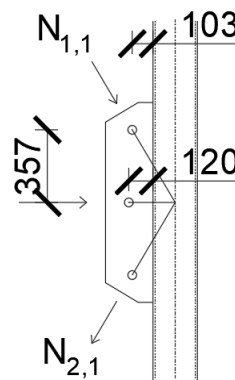
$$N_{1,1} := 158,591 \text{ kN}$$

Přepočítání na globální systém

$$\alpha := 59^\circ \quad \text{- úhel ztužidla}$$

$$F_{z,1} := \sin(\alpha) \cdot N_{1,1} = 135,939 \text{ kN}$$

$$F_{x,1} := -(\cos(\alpha) \cdot N_{1,1}) = -81,6804 \text{ kN}$$



Obrázek 34 - Schéma styčnickového plechu



### Zatížení od ztužidla 2

$$N_{2,1} := 360,229 \text{ kN}$$

$$e_x := 103 \text{ mm}$$

$$e_z := 357 \text{ mm}$$

### Přepoččet na globální systém

$$\alpha_2 := 59^\circ \quad \text{-úhel ztužidla}$$

$$F_{z,2} := \left( \sin(\alpha_2) \cdot N_{2,1} \right) = 308,7765 \text{ kN}$$

$$F_{x,2} := \cos(\alpha_2) \cdot N_{2,1} = 185,5317 \text{ kN}$$

### Vnitřní síly od ztužidel celkové

$$F_{z,z} := F_{z,1} + F_{z,2} = 444,7155 \text{ kN}$$

$$F_{x,z} := F_{x,1} + F_{x,2} = 103,8512 \text{ kN}$$

$$M_z := \left( F_{z,1} \cdot e_x - F_{x,1} \cdot e_z + F_{z,2} \cdot e_x - F_{x,2} \cdot e_z \right) = 8,7308 \text{ kN m}$$

### Zatížení od nosníku

$$N_N := 186,786 \text{ kN}$$

$$V_N := 51,481 \text{ kN}$$

$$e := 120 \text{ mm} \quad \text{- excentricita síly}$$

$$M_N := V_{z,Ed} \cdot e = 0,1612 \text{ kN m}$$

### Zatížení na spoj od nosníku a ztužidel

$$F_{Ed,x} := N_N + F_{x,z} = 290,6372 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,z} := V_N + F_{z,z} = 496,1965 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := \left| M_N + M_z \right| = 8,892 \text{ kN m}$$

### Charakteristiky svaru

$$l := 980 \text{ mm} \quad \text{- délka svaru}$$

$$a := 4 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka koutového svaru}$$

$$t := t_p = 8 \text{ mm}$$

### Namáhání normálovou silou

$$\sigma_N := \frac{F_{Ed,x}}{2 \cdot a \cdot l} = 37,0711 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,N} := \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = 26,2132 \text{ MPa} \quad \text{- normálové napětí kolmé}$$

$$\tau_{k,N} := \sigma_{k,N} = 26,2132 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí kolmé}$$

$$\tau_{II,N} := 0 \quad \text{- smykové napětí rovnoběžné s osou svaru}$$



Namáhání posouvající silou a momentem

$$\sigma_M := \frac{M_{Ed}}{\frac{2}{6} \cdot a \cdot l^2} = 6,944 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,M} := \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 4,9101 \text{ MPa}$$

$$\tau_{k,M} := \sigma_{k,M} = 4,9101 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II,M} := \frac{F_{Ed,z}}{2 \cdot a \cdot l} = 63,2904 \text{ MPa}$$

- normálové napětí kolmé

- smykové napětí kolmé

- smykové napětí  
rovnoběžné s osou svaru

**Posouzení**

$$\sigma_k := \sigma_{k,N} + \sigma_{k,M} = 31,1233 \text{ MPa}$$

$$\tau_k := \tau_{k,N} + \tau_{k,M} = 31,1233 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} := \tau_{II,N} + \tau_{II,M} = 63,2904 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0,9 \quad \text{- korelační součinitel pro S355}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_{II}^2)} = 126,0621 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453,3333 \text{ MPa}$$

a zároveň

$$\sigma_k = 31,1233 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 367,2 \text{ MPa}$$

**SVAR VYHOVUJE**

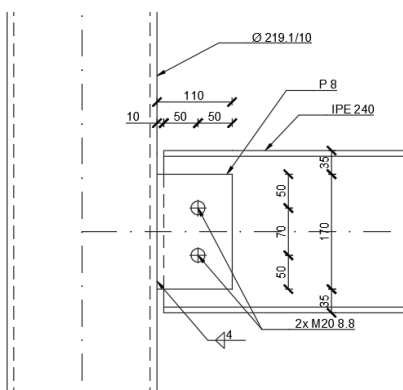
## 4.2 Přípoj přímého nosníku na hlavní sloup

$$N_{Ed} := 82,545 \text{ kN}$$

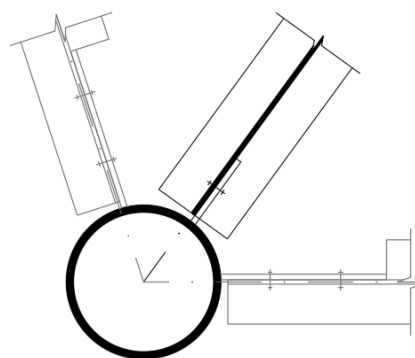
$$V_{z,Ed} := 35,655 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} := \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = 89,9164 \text{ kN}$$

### Návrh detailu



Obrázek 35 - Návrh detailu pro posouzení, pohled z boku



Obrázek 36 - Návrh detailu pro posouzení, pohled ze shora

### Šroubový přípoj styčnickového plechu k IPE 240

návrh dvou šroubů v řadě M20 8.8

šroub M20 8.8

$$d := 20 \text{ mm}$$

$$d_0 := 22 \text{ mm}$$

$$A := 314 \text{ mm}^2$$

$$A_s := 245 \text{ mm}^2$$

$$Y_{M2} := 1,25$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$\alpha_v := 0,6$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$t_p := 8 \text{ mm}$$

- tloušťka styčnickového plechu

$$t_{IPE} := 6,2 \text{ mm}$$

- tloušťka stojiny IPE 240

### Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} := 94,1 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost ve stříhu

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} = 0,9555$$

**2 šrouby M20 vyhovují**

**Únosnost v otláčení**

$$F_{b,Rd} := 154,5 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost v otláčení pro doporučené rozteče

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = 0,582$$

**2 šrouby M20 vyhovují**

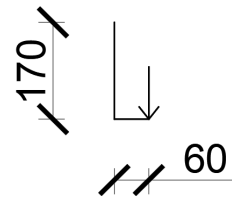
**Svar styčnickového plechu a sloupu**

$$N_{c,Ed} := 43,205 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 35,655 \text{ kN}$$

$$e := 60 \text{ mm} \quad \text{- excentricita síly}$$

$$M_{Ed} := V_{z,Ed} \cdot e = 2,1393 \text{ kN m}$$

**Charakteristiky svaru**

$$l := 170 \text{ mm} \quad \text{- délka svaru}$$

$$a := 4 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka koutového svaru}$$

$$t := t_p = 8 \text{ mm}$$

Obrázek 37 - Schéma styčnickového plechu

**Namáhání normálovou silou**

$$\sigma_N := \frac{N_{c,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = 31,7684 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,N} := \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = 22,4636 \text{ MPa} \quad \text{- normálové napětí kolmé}$$

$$\tau_{k,N} := \sigma_{k,N} = 22,4636 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí kolmé}$$

$$\tau_{II,N} := 0 \quad \text{- smykové napětí rovnoběžné s osou svaru}$$

**Namáhání posouvající silou a momentem**

$$\sigma_M := \frac{M_{Ed}}{\frac{2}{6} \cdot a \cdot l^2} = 55,5182 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,M} := \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 39,2573 \text{ MPa} \quad \text{- normálové napětí kolmé}$$

$$\tau_{k,M} := \sigma_{k,M} = 39,2573 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí kolmé}$$

$$\tau_{II,M} := \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = 26,2169 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí rovnoběžné s osou svaru}$$





### Posouzení

$$\sigma_k := \sigma_{k,N} + \sigma_{k,M} = 61,7209 \text{ MPa}$$

$$\tau_k := \tau_{k,N} + \tau_{k,M} = 61,7209 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} := \tau_{II,N} + \tau_{II,M} = 26,2169 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0,9 \quad \text{- korelační součinitel pro S355}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_{II}^2)} = 131,5289 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453,3333 \text{ MPa}$$

a zároveň

$$\sigma_k = 61,7209 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 367,2 \text{ MPa}$$

**SVAR VYHOVUJE**

## 4.3 Přípo přímého nosníku na vnitřní sloup

$$N_{Ed} := 54,000 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} := 31,594 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} := \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = 62,5634 \text{ kN}$$

### Šroubový přípoj styčnickového plechu k IPE 240

návrh dvou šroubů v řadě M20 8.8

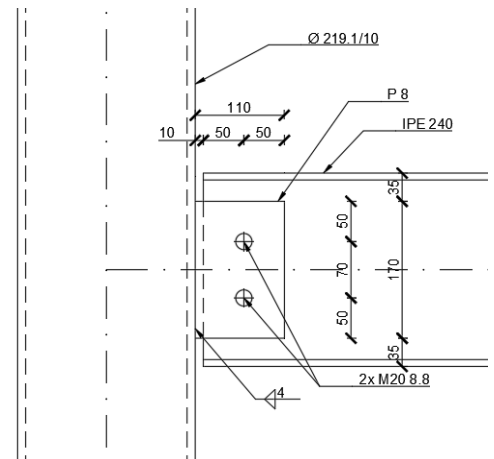
šroub M20 8.8

$$d := 20 \text{ mm}$$

$$d_o := 22 \text{ mm}$$

$$A := 314 \text{ mm}^2$$

$$A_s := 245 \text{ mm}^2$$



Obrázek 38 - Návrh detailu pro posouzení

$$\gamma_{M2} := 1,25$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$\alpha_v := 0,6$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$t_p := 8 \text{ mm}$$

- tloušťka styčnickového plechu

$$t_{IPE} := 6,2 \text{ mm}$$

- tloušťka stojiny IPE 240



### Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} := 94,1 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost ve stříhu

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} = 0,6649$$

**2 šrouby M20 vyhovují**

### Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} := 154,5 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost v otláčení pro doporučené rozteče

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = 0,4049$$

**2 šrouby M20 vyhovují**

### Svar styčnickového plechu a sloupu

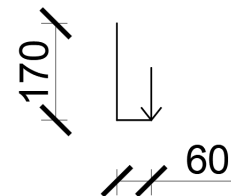
$$N_{c,Ed} := 43,205 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 31,594 \text{ kN}$$

$$e := 60 \text{ mm}$$

- excentricita síly

$$M_{Ed} := V_{z,Ed} \cdot e = 1,8956 \text{ kN m}$$



#### Charakteristiky svaru

$$l := 170 \text{ mm}$$

- délka svaru

$$a := 4 \text{ mm}$$

- tloušťka koutového svaru

$$t := t_p = 8 \text{ mm}$$

Obrázek 39 - Schéma styčnickového plechu

#### Namáhání normálovou silou

$$\sigma_N := \frac{N_{c,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = 31,7684 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,N} := \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = 22,4636 \text{ MPa}$$

- normálové napětí kolmé

$$\tau_{k,N} := \sigma_{k,N} = 22,4636 \text{ MPa}$$

- smykové napětí kolmé

$$\tau_{II,N} := 0$$

- smykové napětí rovnoběžné s osou svaru



Namáhání posouvající silou a momentem

$$\sigma_M := \frac{M_{Ed}}{\frac{2}{6} \cdot a \cdot l^2} = 49,1948 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,M} := \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 34,786 \text{ MPa}$$

$$\tau_{k,M} := \sigma_{k,M} = 34,786 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II,M} := \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = 23,2309 \text{ MPa}$$

- normálové napětí kolmé

- smykové napětí kolmé

- smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

### Posouzení

$$\sigma_k := \sigma_{k,N} + \sigma_{k,M} = 57,2496 \text{ MPa}$$

$$\tau_k := \tau_{k,N} + \tau_{k,M} = 57,2496 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} := \tau_{II,N} + \tau_{II,M} = 23,2309 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0,9$$

- korelační součinitel pro S355

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_{II}^2)} = 121,3635 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453,3333 \text{ MPa}$$

a zároveň

$$\sigma_k = 57,2496 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 367,2 \text{ MPa}$$

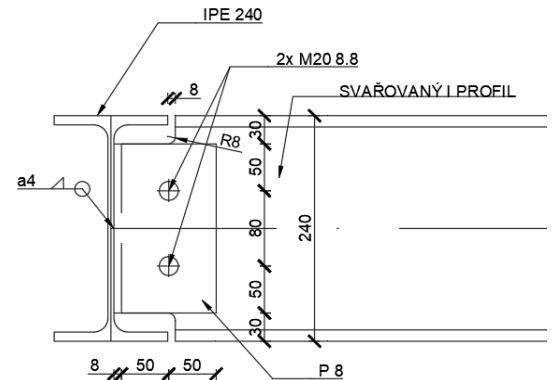
**SVAR VYHOVUJE**

## 4.4 Přípoj zakřiveného nosníku na nosník přímý

$$N_{Ed} := 26,693 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} := 9,959 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} := \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = 28,4903 \text{ kN}$$



Obrázek 40 - Návrh detailu pro posouzení

### Šroubový přípoj styčnickového plechu ke svařovanému průřezu

Navrhuji 2x M20 jakožto doporučené šrouby pro IPE 240 kterému je svařovaný průřez nejpodobnější

šroub M20 8.8

$$t_p := 8 \text{ mm}$$

- tloušťka styčnickového plechu

$$d := 20 \text{ mm}$$

$$t_I := 7 \text{ mm}$$

- tloušťka stojiny svařivaného I profilu

$$d_0 := 22 \text{ mm}$$

$$A := 314 \text{ mm}^2$$

$$A_s := 245 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2} := 1,25$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$\alpha_v := 0,6$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

### Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} := 94,1 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost ve stříhu

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} = 0,3028$$

**2 šrouby M20 vyhovují**

### Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} := 154,5 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost v otláčení pro doporučené rozteče

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = 0,1844$$

**2 šrouby M20 vyhovují**



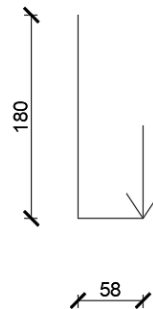
### Svar styčnickového plechu a sloupu

$$N_{c,Ed} := N_{Ed}$$

$$V_{z,Ed} = 9,959 \text{ kN}$$

$$e := 58 \text{ mm} \quad \text{- excentricita síly}$$

$$M_{Ed} := V_{z,Ed} \cdot e = 0,5776 \text{ kN m}$$



### Charakteristiky svaru

$$l := 180 \text{ mm} \quad \text{- délka svaru}$$

$$a := 4 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka koutového svaru}$$

$$t := t_p = 8 \text{ mm}$$

Obrázek 41 - Schéma styčnickového plechu

### Namáhání normálovou silou

$$\sigma_N := \frac{N_{c,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = 18,5368 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,N} := \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = 13,1075 \text{ MPa} \quad \text{- normálové napětí kolmé}$$

$$\tau_{k,N} := \sigma_{k,N} = 13,1075 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí kolmé}$$

$$\tau_{II,N} := 0 \quad \text{- smykové napětí rovnoběžné s osou svaru}$$

### Namáhání posouvající silou a momentem

$$\sigma_M := \frac{M_{Ed}}{\frac{2}{6} \cdot a \cdot l^2} = 13,3709 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,M} := \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 9,4546 \text{ MPa} \quad \text{- normálové napětí kolmé}$$

$$\tau_{k,M} := \sigma_{k,M} = 9,4546 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí kolmé}$$

$$\tau_{II,M} := \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = 6,916 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí rovnoběžné s osou svaru}$$

### Posouzení

$$\sigma_k := \sigma_{k,N} + \sigma_{k,M} = 22,5621 \text{ MPa}$$

$$\tau_k := \tau_{k,N} + \tau_{k,M} = 22,5621 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} := \tau_{II,N} + \tau_{II,M} = 6,916 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0,9 \quad \text{- korelační součinitel pro S355}$$



$$f_u = 510 \text{ MPa} \quad \sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_{II}^2)} = 46,6872 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453,3333 \text{ MPa}$$

a zároveň

$$\sigma_k = 22,5621 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 367,2 \text{ MPa}$$

SVAR VYHOVUJE

## 4.5 Přípoj konzoly schodiště na vnitřní sloup

Přípoj konzoly nesoucí schodišťové stupně je řešen pomocí dvou šroubů M16 8.8 spojících konzolu schodiště a styčnický plech tloušťky 8 mm. Styčnický plech je k vnitřnímu sloupu připojen koutovým svarem tloušťky 4 mm.

$$N_{Ed} := 11,605 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} := 4,898 \text{ kN}$$

$$M_y := 1,054 \text{ kN m}$$

### Šroubový přípoj styčnickového plechu ke konzole schodiště 30/80mm

návrh dvou šroubů v řadě M16 8.8

šroub M16 8.8

$$d := 16 \text{ mm}$$

$$d_0 := 18 \text{ mm}$$

$$A := 201 \text{ mm}^2$$

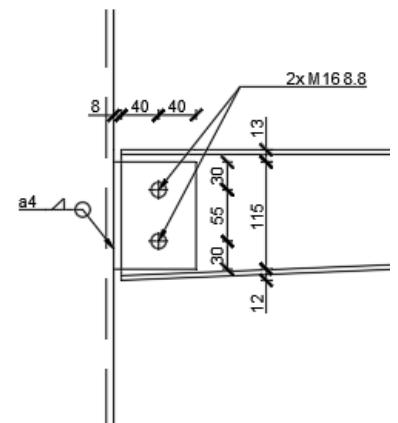
$$A_s := 157 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$\alpha_v := 0,6$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} := 1,25$$



Obrázek 42 - Návrh detailu pro posouzení

$$t_p := 8 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka styčnickového plechu}$$

$$t_k := 30 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka prvku}$$

$$v_2 := 45 \text{ mm} \quad \text{- osová vzdálenost šroubů}$$



### Zatížení na jeden šroub

$$F_{x,M} := \frac{M_y}{V_2} = 23,4222 \text{ kN} \quad - \text{přepočtená síla od momentu}$$

$$F_{x,N} := \frac{N_{Ed}}{2} = 5,8025 \text{ kN} \quad - \text{síla na jeden šroub od normálové síly}$$

$$F_z := \frac{V_{z,Ed}}{2} = 2,449 \text{ kN} \quad - \text{síla na jeden šroub od posouvající síly}$$

$$F_{Ed} := \sqrt{(F_{x,M} + F_{x,N})^2 + F_z^2} = 29,3272 \text{ kN}$$

### Únosnost jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} := 60,3 \text{ kN} \quad - \text{tabulková únosnost ve stříhu}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} = 48,6354 \% \quad - \text{využití šroubu ve stříhu}$$

ŠROUB M16 8.8 VYHOVUJE

### Únosnost jednoho šroubu v otláčení

$$F_{b,Rd} := 120,9 \text{ kN} \quad - \text{tabulková únosnost v otláčení pro doporučené rozteče}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = 24,2574 \% \quad - \text{využití šroubu v otláčení}$$

ŠROUB M16 8.8 VYHOVUJE

### Svar styčnickového plechu a sloupu

$$N_{c,Ed} := 43,205 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 4,898 \text{ kN}$$

$$e := 48 \text{ mm} \quad - \text{excentricita síly}$$

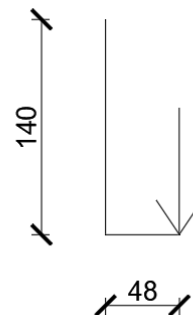
$$M_{Ed} := V_{z,Ed} \cdot e = 0,2351 \text{ kN m}$$

### Charakteristiky svaru

$$l := 80 \text{ mm} \quad - \text{délka svaru}$$

$$a := 4 \text{ mm} \quad - \text{tloušťka koutového svaru}$$

$$t := t_p = 8 \text{ mm}$$



Obrázek 43 - Schéma styčnickového plechu



Namáhání normálovou silou

$$\sigma_N := \frac{N_{c,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = 67,5078 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,N} := \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = 47,7352 \text{ MPa} \quad - \text{ normálové napětí kolmé}$$

$$\tau_{k,N} := \sigma_{k,N} = 47,7352 \text{ MPa} \quad - \text{ smykové napětí kolmé}$$

$$\tau_{II,N} := 0 \quad - \text{ smykové napětí rovnoběžné s osou svaru}$$

Namáhání posouvající silou a momentem

$$\sigma_M := \frac{M_{Ed}}{\frac{2}{6} \cdot a \cdot l^2} = 27,5512 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,M} := \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 19,4817 \text{ MPa} \quad - \text{ normálové napětí kolmé}$$

$$\tau_{k,M} := \sigma_{k,M} = 19,4817 \text{ MPa} \quad - \text{ smykové napětí kolmé}$$

$$\tau_{II,M} := \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = 7,6531 \text{ MPa} \quad - \text{ smykové napětí rovnoběžné s osou svaru}$$

Posouzení

$$\sigma_k := \sigma_{k,N} + \sigma_{k,M} = 67,2169 \text{ MPa}$$

$$\tau_k := \tau_{k,N} + \tau_{k,M} = 67,2169 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} := \tau_{II,N} + \tau_{II,M} = 7,6531 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0,9 \quad - \text{ korelační součinitel pro S355}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_{II}^2)} = 135,0858 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453,3333 \text{ MPa}$$

a zároveň

$$\sigma_k = 67,2169 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 367,2 \text{ MPa}$$

**SVAR VYHOVUJE**



## 4.6 Přípoj vzpěry na zakřivený nosník

Přípoj vzpěry je z jedné strany na I nosník podesty a ze strany druhé na hlavní nosný sloup. Na obou stranách je tento detail řešen stejným způsobem a to připojením vzpěry na styčnickový plech pomocí šroubů M16 8.8 doporučených v tabulkách. Styčnickový plech je připojen na sloup i trám podesty pomocí svaru o tloušťce 4 mm.

$$N_{Ed} := 23,991 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} := 0,513 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} := \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = 23,9965 \text{ kN}$$

### Šroubový přípoj styčnickového plechu k IPE 100

návrh dvou šroubů v řadě M16 8.8

šroub M16 8.8

$$d := 16 \text{ mm}$$

$$d_0 := 18 \text{ mm}$$

$$A := 201 \text{ mm}^2$$

$$A_s := 157 \text{ mm}^2$$

$$Y_{M2} := 1,25$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$\alpha_v := 0,6$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

### Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} := 60,3 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost ve stříhu

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} = 0,398$$

**2 šrouby M16 vyhovují**

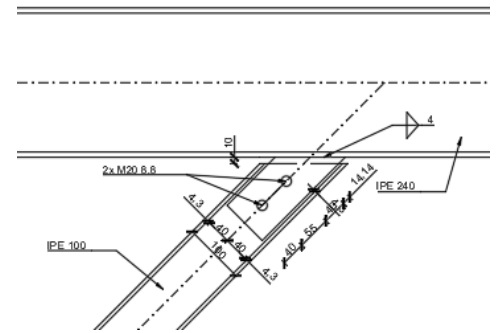
### Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} := 120,9 \text{ kN}$$

- tabulková únosnost v otláčení pro doporučené rozteče

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = 0,1985$$

**2 šrouby M16 vyhovují**



Obrázek 44 - Návrh detailu pro posouzení

### Svar styčnickového plechu a sloupu

$$N_{Ed} := 5,743 \text{ kN}$$

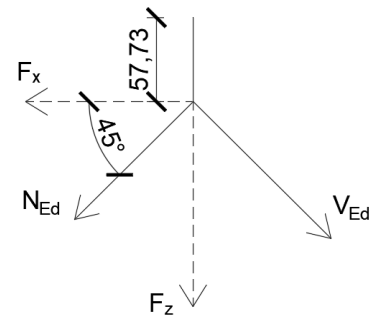
$$V_{Ed} := 0,513 \text{ kN}$$

### Přepočet na síly kolmo a vodorovně se svarem

$$\alpha := 45^\circ$$

$$F_x := \cos(\alpha) \cdot N_{Ed} - \cos(\alpha) \cdot V_{Ed} = 3,6982 \text{ kN}$$

$$F_z := \sin(\alpha) \cdot N_{Ed} + \sin(\alpha) \cdot V_{Ed} = 4,4237 \text{ kN}$$



Obrázek 45 - Schéma sil působících na svar

$$e := 57,7 \text{ mm} \quad \text{- excentricita síly}$$

$$M_{Ed} := F_x \cdot e = 0,2134 \text{ kN m}$$

### Charakteristiky svaru

$$l := 113 \text{ mm} \quad \text{- délka svaru}$$

$$a := 4 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka koutového svaru}$$

$$t := t_p = 8 \text{ mm}$$

### Namáhání normálovou silou

$$\sigma_N := \frac{F_z}{2 \cdot a \cdot l} = 4,8934 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,N} := \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = 3,4602 \text{ MPa} \quad \text{- normálové napětí kolmé}$$

$$\tau_{k,N} := \sigma_{k,N} = 3,4602 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí kolmé}$$

$$\tau_{II,N} := 0 \quad \text{- smykové napětí rovnoběžné s osou svaru}$$

### Namáhání posouvající silou a momentem

$$\sigma_M := \frac{M_{Ed}}{\frac{2}{6} \cdot a \cdot l^2} = 12,5333 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{k,M} := \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = 8,8624 \text{ MPa} \quad \text{- normálové napětí kolmé}$$

$$\tau_{k,M} := \sigma_{k,M} = 8,8624 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí kolmé}$$

$$\tau_{II,M} := \frac{F_x}{2 \cdot a \cdot l} = 4,0909 \text{ MPa} \quad \text{- smykové napětí rovnoběžné s osou svaru}$$



### Posouzení

$$\sigma_k := \sigma_{k,N} + \sigma_{k,M} = 12,3226 \text{ MPa}$$

$$\tau_k := \tau_{k,N} + \tau_{k,M} = 12,3226 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} := \tau_{II,N} + \tau_{II,M} = 4,0909 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0,9 \quad \text{- korelační součinitel pro S355}$$

$$\sqrt{\sigma_k^2 + 3 \cdot (\tau_k^2 + \tau_{II}^2)} = 25,6435 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453,3333 \text{ MPa}$$

a zároveň

$$\sigma_k = 12,3226 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 367,2 \text{ MPa}$$

**SVAR VYHOVUJE**

## 4.7 Ocelová patka

### Sloup

trubka  $\phi$  219,1/10

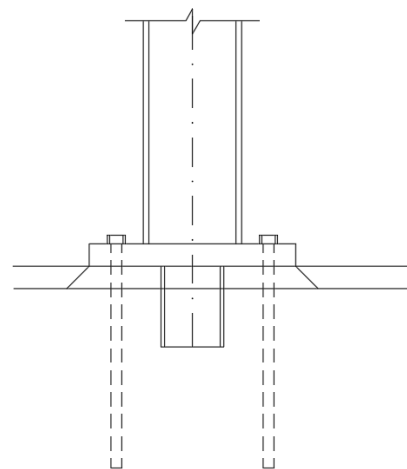
$$d := 219,1 \text{ mm}$$

### Reakce

$$N_{c,Ed} := 1325,503 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} := 1011,546 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} := 233,355 \text{ kN}$$



Obrázek 46 - Schéma ocelové patky

### Posouzení v tlaku

#### Patní plech

$$a := 460 \text{ mm}$$

$$b := 460 \text{ mm}$$

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

$$a_r := 80 \text{ mm}$$

$$b_r := 80 \text{ mm}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

#### Betonový podklad

$$a_p := 560 \text{ mm}$$

$$b_p := 560 \text{ mm}$$

$$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$$

$$h := 300 \text{ mm}$$

$$\gamma_c := 1,5$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 16,6667 \text{ MPa}$$



$$a_1 := \min \begin{pmatrix} a + 2 \cdot a_r \\ 5 \cdot a \\ a + h \\ 5 \cdot b_p \end{pmatrix} = 0,62 \text{ m}$$

$$b_1 := \min \begin{pmatrix} b + 2 \cdot a_r \\ 5 \cdot b \\ b + h \\ 5 \cdot b_p \end{pmatrix} = 0,62 \text{ m}$$

$$f_{Rdu} := f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = 22,4638 \text{ MPa} \quad - \text{ návrhová pevnost betonu v uložení}$$

$$\beta_j := \frac{2}{3} \quad - \text{ součinitel vlivu podtlití pro } p \leq 0,2 \cdot b_0 \text{ a } f_{ck} \text{ malty } \geq f_{ck} \text{ betonu}$$

$$f_j := \beta_j \cdot f_{Rdu} = 14,9758 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} := 1$$

$$c := t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}} = 140,549 \text{ mm}$$

$$A_{eff} := \frac{\pi \cdot (d + c)^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d - c)^2}{4} = 0,0967 \text{ m}^2$$

$$N_{Rd} := A_{eff} \cdot f_j = 1448,8101 \text{ kN}$$

Posudek

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{Rd}} = 91,4891 \%$$

### Posouzení v tahu

$$\gamma_{M2} := 1,25$$

$$N_{t,Ed} = 1011,546 \text{ kN}$$

### Kotevní šrouby M24 8.8

$$n := 5$$

$$f_{yb} := 640 \text{ MPa}$$

$$d := 24 \text{ mm}$$

$$a := 80 \text{ mm}$$

$$A_s := 353 \text{ mm}^2$$

$$b := 80 \text{ mm}$$

$$L := 500 \text{ mm}$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$



### Přetržení šroubů

$$t_e := 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} \text{ mm}^{\frac{1}{3}} = 35,7774 \text{ mm} \leq t = 50 \text{ mm} \quad - \text{ nedochází k páčení}$$

### Únosnost šroubů v tahu

$$Y_{M2} := 1,25$$

$$F_{t,Rd} := \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{Y_{M2}} = 203,328 \text{ kN} \quad - \text{ únosnost jednoho šroubu}$$

$$F_{t,Rd,celk} := n \cdot F_{t,Rd} = 1016,64 \text{ kN}$$

### Posudek

$$\frac{N_{t,Ed}}{F_{t,Rd,celk}} = 99,4989 \%$$

### Posouzení smykové zarážky

$$R_x := 230,068 \text{ kN}$$

$$R_y := 89,758 \text{ kN}$$

### smyková zarážka

#### HEB 140:

$$h := 140 \text{ mm}$$

$$W_{pl,x} := 245,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

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

$$W_{pl,y} := 119,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$L := 180 \text{ mm}$$

$$l := 50 \text{ mm} \quad - \text{ výška podlití}$$

### Otlačení

$$f_{c,Ed,x} := \frac{R_x}{(L-l) \cdot h} = 12,6411 \text{ MPa}$$

$$f_{c,Ed,y} := \frac{R_y}{(L-l) \cdot h} = 4,9318 \text{ MPa}$$

$$f_{c,Ed} := \max \left( \begin{bmatrix} f_{c,Ed,x} \\ f_{c,Ed,y} \end{bmatrix} \right) = 12,6411 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{c,Ed}}{f_{ck}} = 75,8466 \%$$

### Únosnost

$$M_x := R_x \cdot L = 41,4122 \text{ kN m}$$

$$M_y := R_y \cdot L = 16,1564 \text{ kN m}$$



$$\sigma_{Ed,x} := \frac{M_x}{W_{pl,x}} = 168,754 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed,y} := \frac{M_y}{W_{pl,y}} = 134,8618 \text{ MPa}$$

$\frac{\sigma_{Ed,x} + \sigma_{Ed,y}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = 85,5256 \%$
--

### Svar

Svar je stejně jako ostatní montážní svary navrhnout jako plochý půl V svar s plným provařením. Jeho únosnost je tedy předpokládána jako únosnost samotného prvku.

## 5. Mezní stav použitelnosti

Maximální vodorovné deformace povolené při posouzení na mezní stavu použitelnosti, jsem na základě doporučení stanovil jako 1/500 celkové výšky konstrukce. Pro deformace svislé je maximální možná deformace stanovena přísněji a to konkrétně 1/250 délky posuzovaného prvku.

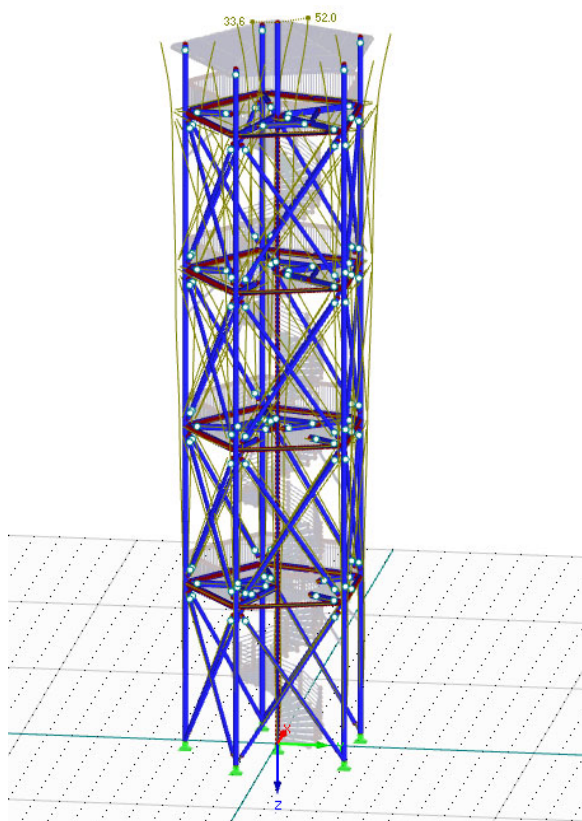
### 5.1 Posouzení celé konstrukce na mezní stav použitelnosti

$$L := 28,8 \text{ m}$$

- výška konstrukce (měřeno pro středový sloup)

$$\delta_{lim} := \frac{L}{500} = 57,6 \text{ mm}$$

- maximální povolená deformace pro celou konstrukci



Obrázek 47 - Maximální deformace na konstrukci od obálky MSP

$$\delta_{max} := 52,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = 52 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 57,6 \text{ mm}$$

**DEFORMACE CELÉ KONSTRUKCE VYHOVUJE**



## 5.2 Posouzení prvků na mezní stav použitelnosti

$$\delta_{lim} := \frac{L_{max}}{250} \quad - \text{maximální přijatelný průhyb}$$

$L_{max}$  - délka prvku

Popis	Průřez	$L_{max}$ [mm]	$\delta_{lim}$ [mm]	$\delta_{z,max}$ [mm]	
ztužidlo	168,3/10	6688	26,8	4,1	VYHOVUJE
trám přímý	IPE 240	3993	16,0	4,4	VYHOVUJE
trám zakřivený	240/160/7/12	2194	8,8	3,6	VYHOVUJE
schodnice	140/50/5/5	1490	6,0	5,9	VYHOVUJE
vzpěra	IPE 100	2581	10,3	3,9	VYHOVUJE
krokev	IPE 180	3600	14,4	4,4	VYHOVUJE
příčník přístřešku	IPE 180	4798	19,2	4,5	VYHOVUJE

Tabulka 17 - Posouzení prvků na mezní stav únosnosti



## 6. Orientační posouzení ztužidel na účinek odtrhávání vírů

Vzhledem k vystavení konstrukce větru může docházet ke kmitání ztužidel z důvodu odtrhávání vírů. Posouzení ztužidel je provedeno podle ČSN EN 1991-1-4 a ČSN EN 1993-1-9.

$$v_m := 17,8335 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- střední rychlost větru (viz. zatížení větrem)

$$n_1 := 11,967 \text{ Hz}$$

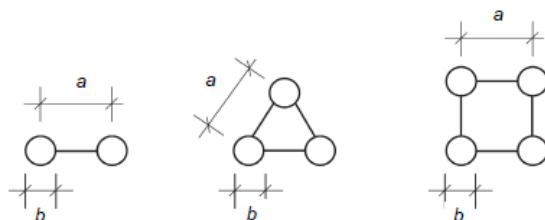
- vlastní frekvence uvažovaného i-tého tvaru ztužidel

### Strouhalovo číslo

$$a := 3724 \text{ mm}$$

$$b := 168,3 \text{ mm}$$

- průměr válce



Obrázek 48 - Uspořádání válců (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4, Obrázek E.4)

$$\frac{a}{b} = 22,1272$$

$$L := 7,275 \text{ m}$$

- délka vzpěry

$$S_t := 0,18$$

- Strouhalovo číslo pro  $a/b > 9$

### Kritická rychlost větru

$$v_{cr} := \frac{b \cdot n_1}{S_t} = 11,1891 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

odtrhávání vírů nemusí být posuzováno pokud platí:

$$v_{cr} > 1,25 \cdot v_m$$

$$v_{cr} = 11,1891 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 1,25 \cdot v_m = 22,2919 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Předpoklad neplatí. Odtrhávání vírů musí být posouzeno

### Reynoldsovo číslo

$$v := 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

- kinetická viskozita vzduchu

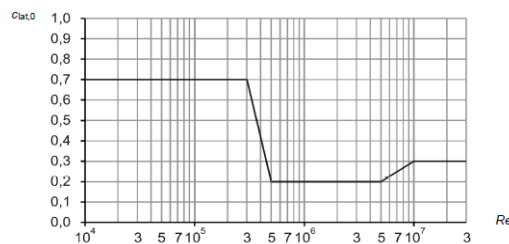
$$R_e := \frac{b \cdot v_{cr}}{v} = 1,2554 \cdot 10^5$$

### Součinitel příčné síly

$$c_{lat,0} := 0,7$$

$$\frac{v_{cr}}{v_m} = 0,6274$$

$$c_{lat} := c_{lat,0} = 0,7 \quad - \text{ součinitel příčné síly pro } v_{cr} / v_m < 0,83$$



Obrázek 49 - Základní hodnota součinitele příčné síly (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4, Obrázek E.2)

### Základní tvar kmitání

$$z := 21,875 \text{ m}$$

$$h := 27,7 \text{ m}$$

$$\xi := 2,5 \quad - \text{ základní tvar kmitání pro příhradové ocelové věže}$$

$$\Phi_1 := \left( \frac{z}{h} \right)^\xi = 0,5542 \quad - \text{ tvar kmitu normovaný na jednotku v bodě maximální výchylky}$$

### Hmotnost na jednotku délky

$$m_1 := 39 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

### Scrutonovo číslo

$$\delta_s := 0,05 \quad - \text{ konstrukční tlumení pro příhradové ocelové věže šroubované}$$

$$\rho := 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad - \text{ měrná hmotnost vzduchu}$$

$$S_c := \frac{2 \cdot \delta_s \cdot m_1}{\rho \cdot b} = 110,1505$$



### Výpočet výchylky podle Metody 1

Výpočet koeficientů  $K$  a  $K_w$  podle tabulky ČSN EN 1991-1-4 - E.5

$$K := 0,1 \quad \text{- součinitel vlastního tvaru}$$

$$L_j := \frac{L}{3} = 2,425 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{L}{b} = 43,2264$$

$$K_w := \cos \left( \frac{\pi}{2} \cdot \left( 1 - \frac{L_j}{\lambda} \right) \right) = 0,5 \quad \text{- součinitel korelační délky}$$

$$Y_{F,max} := \frac{1}{S_t} \cdot \frac{1}{S_c} \cdot K \cdot K_w \cdot c_{lat} \cdot b = 1,6505 \text{ mm}$$

### Účinek odtrhávání vírů

$$F_w := m_1 \cdot \left( 2 \cdot \pi \cdot n_1 \right)^2 \cdot \Phi_1 \cdot Y_{F,max} = 0,2017 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$a_w := \frac{F_w}{m_1} = 5,1716 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

### Počet cyklů při odtrhávání vírů

$$T := 50 \text{ day} \quad \text{- návrhová životnost konstrukce}$$

$$\varepsilon_0 := 0,3 \quad \text{- součinitel šířky pásma vírové rezonance}$$

$$v_0 := \frac{v_m}{5} = 3,5667 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N := 2 \cdot T \cdot n_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot \left( \frac{v_{cr}}{v_0} \right)^2 \cdot e^{-\left( \frac{v_{cr}}{v_0} \right)} = 2,3497 \cdot 10^{12} \cdot \frac{1}{\frac{745943}{237780}} \text{ m}$$

Výchylka a na ní závislé zatížení je malé. Po dohodě s vedoucím práce bylo rozhodnuto, že efekt odtrhávání vírů pro takto tuhé prvky nebude rozhodující, a tak není dále posouzen.



## **7. Závěr**

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a posoudit ocelovou rozhlednu na základě studie tří variant, která proběhla v diplomovém semináři.

V průběhu provádění návrhu bylo zjištěno, že vybraná varianta vzešlá ze studie je značně předimenzována. Proto byly prvky konstrukce přehodnoceny a ve většině případů byly použity prvky subtilnější.

V práci byly detailněji vyřešeny prvky potřebné pro užívání konstrukce zahrnující například návrh schodiště, možnost přístupu ke schodišti nebo zábradlí. Tyto prvky byly navrženy dle stávajících norem a potřeb užívání konstrukce.

Dále byly posouzeny veškeré nosné prvky konstrukce, a to v mezním stavu únosnosti a mezním stavu použitelnosti. Dále byla posouzena ztužidla na odtrhávání vírů. Veškeré prvky vyhověly podle stávajících norem, tak jak byly navrženy.



## **Seznam obrázků**

- Obrázek 1 - Schéma výpočetního modelu
- Obrázek 2- První plošina (převzato z modelu)
- Obrázek 3 - Boční pohled na první dvě plošiny se schovanými ztužidly a zábradlím pro přehlednost (převzato z modelu)
- Obrázek 4 - Charakteristiky vnějšího sloupu
- Obrázek 5 - Charakteristiky vnitřního sloupu
- Obrázek 6 - Charakteristiky ztužidla
- Obrázek 7 - Charakteristiky nosníku přímého
- Obrázek 8 - Charakteristiky nosníku zakřiveného
- Obrázek 9 - Charakteristiky vzpěry
- Obrázek 10 - Charakteristiky konzoly schodiště ve vetknutí
- Obrázek 11 - Charakteristiky konzoly schodiště na konci prutu
- Obrázek 12 - Charakteristiky prvků zastřešení
- Obrázek 13 - Charakteristiky madla zábradlí
- Obrázek 14 - Charakteristiky sloupku zábradlí
- Obrázek 15 - Charakteristiky výplně zábradlí
- Obrázek 16 - Mapa sněhových oblastí
- Obrázek 17 - Mapa větrných oblastí
- Obrázek 18 - Zvýšení rychlosti větru způsobené orografií (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4)
- Obrázek 19 - Součinitel  $s$  pro kopce a hřebeny hor (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4)
- Obrázek 20 - Součinitel síly pro kruhové válce bez vlivu proudění
- Obrázek 21 - Směrné hodnoty součinitele konconého efektu
- Obrázek 22 - Hlavní sloupy konstrukce (převzato z výpočetního modelu)
- Obrázek 23 - Schodišťový sloup konstrukce (převzato z výpočetního modelu)
- Obrázek 24 - Ztužidla konstrukce (převzato z výpočetního modelu)
- Obrázek 25 - Nosníky plošiny (převzato z výpočetního modelu)
- Obrázek 26 - Obloukový nosník plošiny (převzato z výpočetního modelu)
- Obrázek 27 - Konzola schodiště (převzato z výpočetního modelu)
- Obrázek 28 - Vzpěra podesty (převzato z výpočetního modelu).
- Obrázek 29 - Krokve přístřešku (převzato z výpočetního modelu)
- Obrázek 30 - Krokve a příčnický přístřešku (převzato z výpočetního modelu)
- Obrázek 31 - Schéma styčnicku, pohled z boku
- Obrázek 32 - Schéma styčnicku, pohled ze shora
- Obrázek 33 - Detail spoje ztužidla



- Obrázek 34 - Schéma styčnickového plechu  
Obrázek 35 - Návrh detailu pro posouzení, pohled z boku  
Obrázek 36 - Návrh detailu pro posouzení, pohled ze shora  
Obrázek 37 - Schéma styčnickového plechu  
Obrázek 38 - Návrh detailu pro posouzení  
Obrázek 39 - Schéma styčnickového plechu  
Obrázek 40 - Návrh detailu pro posouzení  
Obrázek 41 - Schéma styčnickového plechu  
Obrázek 42 - Návrh detailu pro posouzení  
Obrázek 43 - Schéma styčnickového plechu  
Obrázek 44 - Návrh detailu pro posouzení  
Obrázek 45 - Schéma sil působících na svar  
Obrázek 46 - Schéma ocelové patky  
Obrázek 47 - Maximální deformace na konstrukci od obálky MSP  
Obrázek 48 - Uspořádání válců (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4, Obrázek E.4)  
Obrázek 49 - Základní hodnota součinitele příčné síly (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4, Obrázek E.2)

## **Seznam tabulek**

- Tabulka 1 - Výškové oblasti pro výpočet zatížení větrem  
Tabulka 2 - Kategorie terénů a jejich parametry (převzato z normy ČSN EN 1991-1-4)  
Tabulka 3 - Výpočet maximálního dynamického tlaku pro ostatní výškové oblasti  
Tabulka 4 - Zatížení větrem na kruhových průřezích  
Tabulka 5 - Zatížení větrem na průřezích tvaru I  
Tabulka 6 - Zatěžovací stavy  
Tabulka 7 - Kombinace zatížení pro MSÚ  
Tabulka 8 - Kombinace zatížení pro MSP  
Tabulka 9 - Maxima vnitřních sil od obálky MSÚ  
Tabulka 10 - Maxima reakcí od MSÚ  
Tabulka 11 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti  
Tabulka 12 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti  
Tabulka 13 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti  
Tabulka 14 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti  
Tabulka 15 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti  
Tabulka 16 - Součinitele imperfekce pro křivky vzpěrné pevnosti  
Tabulka 17 - Posouzení prvků na mezní stav únosnosti



## Seznam zdrojů

### Použité normy

- [1] ČSN EN 1990 ed.2: *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*, Praha: Český normalizační institut, 2021.
- [2] ČSN EN 1991-1-1: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*, Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [3] ČSN EN 1991-1-3 ed.2: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*, Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [4] ČSN EN 1991-1-4 ed.2: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*, Praha: Český normalizační institut, 2020.
- [5] ČSN EN 1992-4: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 4: navrhování kotvení do betonu*, Praha: Český normalizační institut, 2018.
- [6] ČSN EN 1993-1-1 ed.2: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby*, Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [7] ČSN EN 1993-1-3: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily*, Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [8] ČSN EN 1993-1-8: *Eurokód 3 ed.2: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Navrhování styčníků*, Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [9] ČSN EN 1993-1-9: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Únava*, Praha: Český normalizační institut, 2006.

### Použitá literatura

- [10] SOKOL, Zdeněk a František WALD. *Ocelové konstrukce: tabulky*. 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06032-2.
- [11] HOLICKÝ, Milan a Jana MARKOVÁ. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1990*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2007. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika. ISBN 978-80-87093-27-6.
- [12] JANDERA, Michal a Martina ELIÁŠOVÁ a Tomáš VRANÝ. *OCELOVÉ KONSTRUKCE 01 – Cvičení*, V Praze: České vysoké učení technické, 2015.
- [13] WALD, František. *Základy navrhování ocelových konstrukcí podle ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8*. Ostrava: Česká asociace ocelových konstrukcí, 2010. ISBN 978-80-904535-0-0.
- [14] KRÁL, Jaromír. *Navrhování konstrukcí na zatížení větrem: příručka k ČSN EN 1991-1-4*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-05-3.