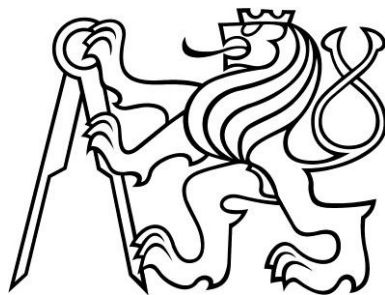


# STATICKÝ VÝPOČET

---

Návrh ocelové rozhledny u Hořovic



Vypracovala: Natálie Štefanovičová



## Obsah

1	NÁVRH ZÁKLADNÍCH ROZMĚRŮ KONSTRUKCE.....	3
2	LOKALITA KONSTRUKCE .....	5
3	VÝPOČET ZATÍŽENÍ .....	7
3.1	Stálé zatížení.....	7
3.2	Užitné zatížení .....	8
3.3	Zatížení větrem.....	9
3.4	Zatížení sněhem.....	21
3.5	Kombinace zatížení.....	21
4	VÝSLEDKY.....	22
5	VARIANTA I – OCEL S235 .....	23
5.1	Hlavní sloup - trubka 108 x 5,0 .....	23
5.2	Diagonála ztužidla TR 60,3 x 5 .....	28
5.3	Vřetenová trubka TR 508 x 6,3 .....	32
5.4	Vodorovná trubka TR 70 x 70 x 5.....	37
5.5	Nosník pro pororošt – IPE 80.....	42
5.6	Podestový nosník - IPE 120.....	48
5.7	Podestový nosník – IPE 160 .....	55
5.8	Krokev - IPE 140 .....	62
5.9	Vaznice pro střešní plášť.....	68
5.10	Schodišťový stupeň a mezipodesta.....	69
5.11	Návrh spojů .....	70
5.11.1	Připojení nosníku IPE 160 ke ztužidlu.....	70
5.11.2	Připojení nosníku IPE 120 ke ztužidlu.....	73
5.11.3	Připojení IPE 120 k vřetenové trubce.....	74
5.11.4	Připojení schodišťového stupně.....	76
5.11.5	Připojení ztužidel ke sloupu .....	79
5.11.6	Přípoj šikmých ztužidel .....	84
5.11.7	Připojení nosníku IPE 80 k nosníkům IPE 160 a IPE 120.....	86
5.11.8	Návrh přípoje krokve.....	90
5.11.9	Spoj ve vrcholu .....	94
5.11.10	Návrh kloubové patky hlavního sloupu TR 108x5 .....	97
5.11.11	Návrh kloubové patky pro vřetenovou trubku.....	103
5.12	MSP .....	105



5.12.1	Hlavní sloup trubka TR 108 x 5 .....	105
5.12.2	Vřetenová trubka .....	106
5.12.3	Diagonála ztužidla TR 60,3 x 5 .....	106
5.12.4	Vodorovná trubka TR 70 x 70 x 5 .....	106
5.12.5	Nosník IPE 80 .....	106
5.12.6	Nosník IPE 120 .....	107
5.12.7	Nosník IPE 160 .....	107
5.12.8	Krokev IPE 140 .....	107
6	VARIANTA II - OCEL S355 .....	108
6.1	Hlavní sloup - trubka 108 x 4 .....	108
6.2	Diagonála ztužidla TR 60,3 x 4,0 .....	112
6.3	Vřetenová trubka TR 508 x 6,3 .....	115
6.4	Vodorovná trubka TR 70 x 70 x 4 .....	116
6.5	Krokev – IPE 120: .....	121
6.6	MSP .....	127
6.6.1	Hlavní sloup trubka TR 108 x 4 .....	127
6.6.2	Diagonála ztužidla TR 60,3 x 4 .....	127
6.6.3	Vodorovná trubka TR 70 x 70 x 4 .....	127
6.6.4	Krokev IPE 120 .....	127
7	VARIANTA III - OCEL S690 .....	128
7.1	Trubka 102 x 4 .....	128
7.2	Diagonála ztužidla TR 60,3 x 3,6 .....	131
7.3	Vodorovná trubka TR 60 x 60 x 4: .....	134
7.4	Krokev – IPE 120 .....	139
7.5	MSP .....	145
7.5.1	Hlavní sloup – trubka TR 102 x 4 .....	145
7.5.2	Diagonála ztužidla TR 60,3 x 3,6 .....	145
7.5.3	Vodorovná trubka 60 x 60 x 4 .....	145
7.5.4	Krokev .....	145
8	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	146



# 1 NÁVRH ZÁKLADNÍCH ROZMĚRŮ KONSTRUKCE

Pro svou diplomovou práci se musela vymyslet dispozice konstrukce. Vycházela jsem zde z již navštívených rozhleden v České republice.

Návrh rozměrů vřetenového schodiště se řídí pravidly normy ČSN 73 4130 - Schodiště a šikmé rampy - základní požadavky.

Šířka schodišťového ramene je navržena 1100 mm, tedy jako dvojnásobek průchodného pruhu pro jednoho člověka.

## Návrh rozměrů stupně schodiště:

konstrukční výška 1 podlaží rozhledny: 2800 mm

Optimální výška stupně: 150 - 180 mm

Minimální šířka stupně: 250 mm

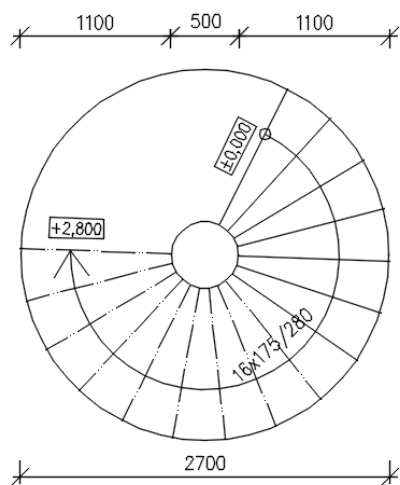
počet navržených stupňů: 16

výška stupně:  $2800/16 = 175 \text{ mm}$

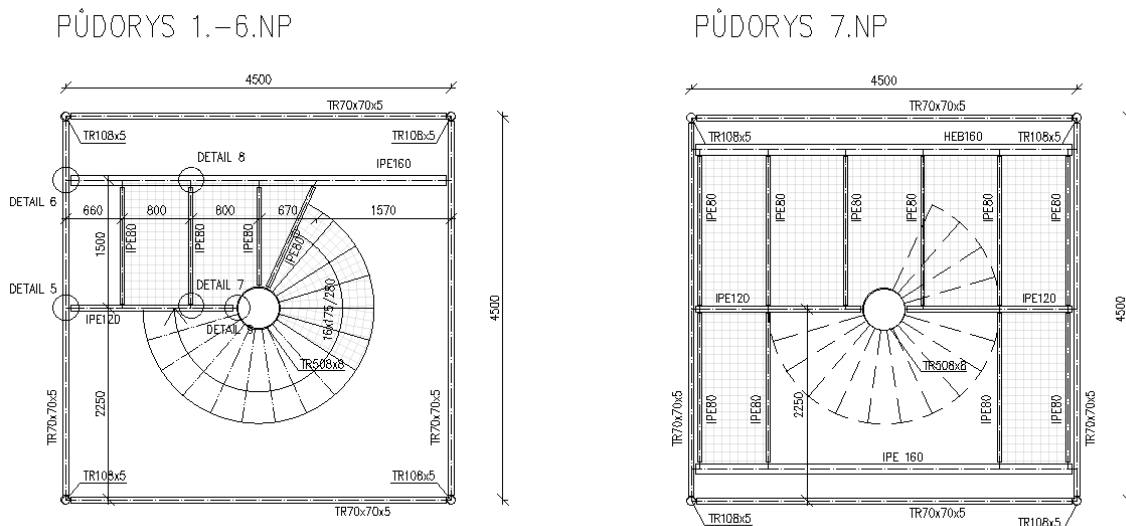
Pro výpočet optimální šířky stupně byl použit vzorec  $2h + b = 630 \text{ mm}$

výška b tedy vychází jako :  $630 - (2 \cdot 175) = 280 \text{ mm}$

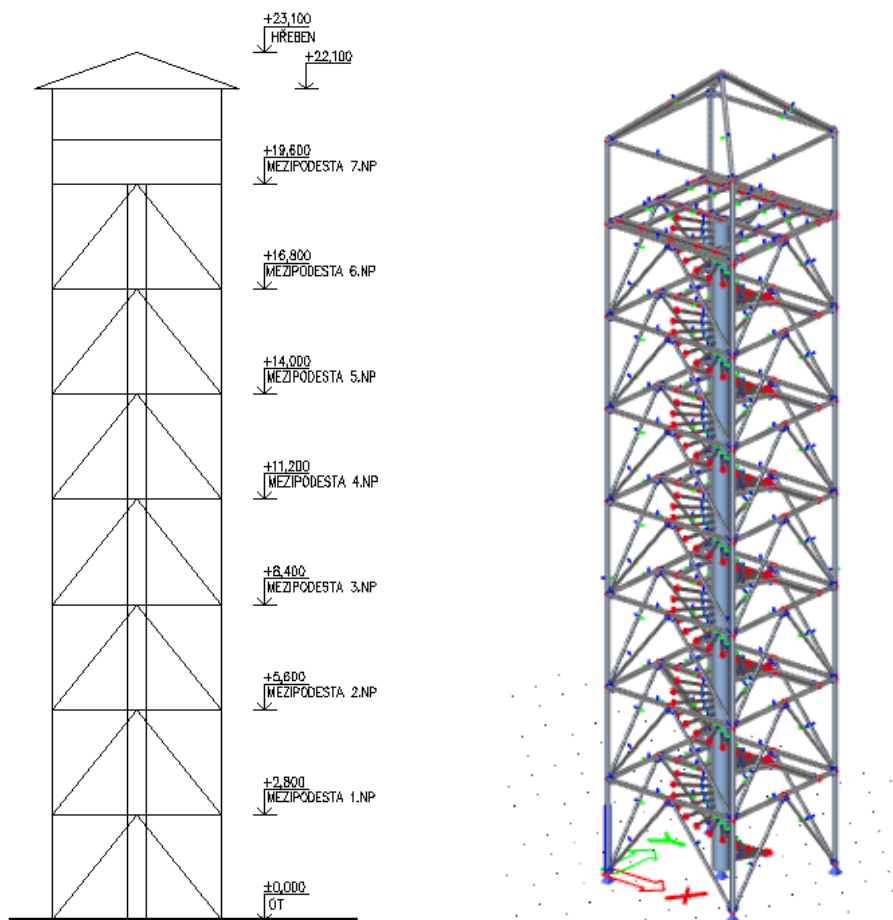
Jako vřeteno je navržena trubka o průměru 500 mm.



Obrázek 1- Půdorys schodiště



Obrázek 2 - Půdorys rozhledny



Obrázek 3- Pohled (schématický) + axonometrie  
 zdroj: vlastní



## 2 LOKALITA KONSTRUKCE

Konstrukce se nachází na okraji města Hořovice. Přesněji tedy v jihozápadní části města ve směru na obec Hvozdec. Konstrukce bude umístěna na poli, kde se nenachází žádné stavby, pouze vzrostlé stromy. Místo bylo zvoleno právě kvůli vyvýšené poloze, a výhledu na hrad Točnick a Žebrák.



Obrázek 4- Situace  
zdroj: <https://mapy.cz>



Obrázek 5 - Umístění konstrukce  
zdroj: <https://mapy.cz>



Obrázek 6- Podrobnější situace  
zdroj: <https://mapy.cz>





## 3 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

### 3.1 Stálé zatížení

#### VLASTNÍ TÍHA

Vlastní tíha nosných prvků je generovaná softwarem SCIA Engineer.

#### Schodišťové stupně:

Odhad vlastní tíhy schodišťového stupně je za pomoci konkrétních výrobků výrobců. Zatížení bude lichoběžníkové, kvůli proměnné tloušťce schodišťového stupně.

maximální hodnota:  $0,37 \cdot 0,385 = 0,14 \text{ kN/m}$

minimální hodnota:  $0,37 \cdot 0,075 = 0,03 \text{ kN/m}$

Pro schodišťový stupeň bude použit pororošťový stupeň vytvořený na zakázku. Pro úplnou představu je zde uvedena fotka.



Obrázek 7- Schodiště  
zdroj: vlastní

#### Mezipodesta:

Vybraný pororošt, který bude použit jako podesta bude uložen na nosnících podle následujícího schématu. Pororošt o rozměrech  $0,03 \times 0,8 \times 1$  má hmotnost 16 kg.

Zatěžovací šířka pro roznesení je osová vzdálenost nosníku IPE, tedy 0,8 metru. U krajních nosníků je poloviční.

spojité zatížení bude mít hodnotu  $0,16 \text{ kN/m}$  a  $0,08 \text{ kN/m}$ .

U horního roštu, který je na vyhlídce je zatěžovací šířka větší. Tudíž jsou nosníky zatížené hodnotou  $0,18$  a  $0,09 \text{ kN/m}$ .





## OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Skladba střešního pláště:

<u>VRSTVA</u>	<u><math>g_k</math> [kN/m<sup>2</sup>]</u>
trapézový plech	0,15
vl.tíha vaznice (odhad)	0,11
<hr/>	
	$\Sigma g_k = 0,26 \text{ kN/m}^2$

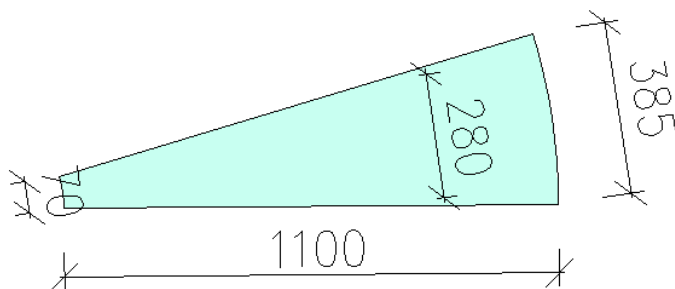
Vlastní tíha zábradlí:

Na nosníky IPE je připevněn nosník nesoucí zábradlí. Vlastní tíha byla stanovena na 1 kN u nosníků IPE 160 a 0,5 kN u nosníku IPE 120. Vlastní tíha zábradlí na schodišťový stupeň je stanovena na hodnotu 0,4 kN.

## 3.2 Užité zatížení

Jako užité zatížení lidmi na vyhlídce rozhledny bude použita charakteristická hodnota **5,0 kN/m<sup>2</sup>**. To samé platí pro zatížení jednotlivých schodišťových stupňů.

Schodišťový stupeň:

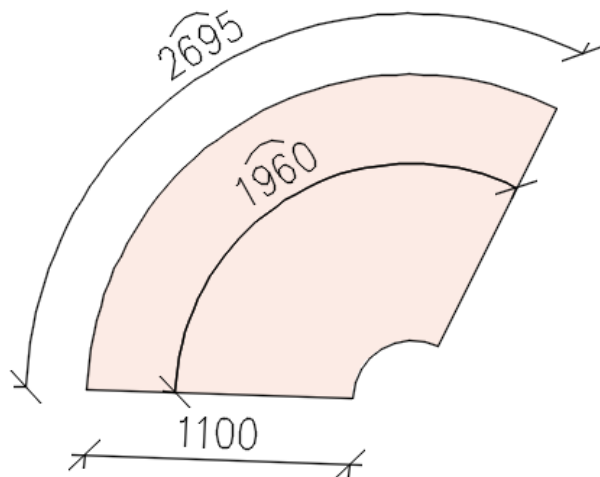


Obrázek 8 - Schodišťový stupeň  
zdroj: vlastní

zatížení bude lichoběžníkového průměru kvůli proměnné tloušťce schodišťového stupně.  
maximální hodnota:  $5 \cdot 0,385 = 1,93 \text{ kN/m}$   
minimální hodnota:  $5 \cdot 0,075 = 0,38 \text{ kN/m}$   
plocha:  $0,252 \text{ m}^2$



### Mezipodesta:



Obrázek 9- Mezipodesta  
zdroj: vlastní

Užitné zatížení na mezipodestu je rovněž stanoveno na hodnotu  $5 \text{ kN/m}^2$ . Spojité zatížení, kterým budou zatíženy IPE nosníky, které nesou pororošt (viz vlastní tíha u pororoštu) bude  $4 \text{ kN/m}$  a  $2 \text{ kN/m}$  u krajních nosníků. U nosníků, které nesou podlahu vyhlídky jsou tyto hodnoty stanoveny na  $4,5$  a  $2,25 \text{ kN/m}$ .

plocha mezipodesty:  $1,76 \text{ m}^2$

## 3.3 Zatížení větrem

Lokalita: Hořovice

Kategorie terénu: II

Základní rychlost větru  $v_b = 25 \text{ m/s}$

$q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$

### ZATÍŽENÍ NOSNÝCH OCELOVÝCH PRVKŮ

#### ZATÍŽENÍ HLAVNÍCH NOSNÝCH SLOUPŮ

##### Konstrukce:

Celková výška rozhledny:  $24 \text{ m}$

Výška nosných ocelových trubek:  $22,1 \text{ m}$

šířka rozhledny:  $4,5 \text{ m}$

##### Drsnost terénu:



$$cr(z) = kr \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

kde  $z_0 = 0,05 \text{ m} = z_{0,II}$

$z_{min} = 2 \text{ m}$

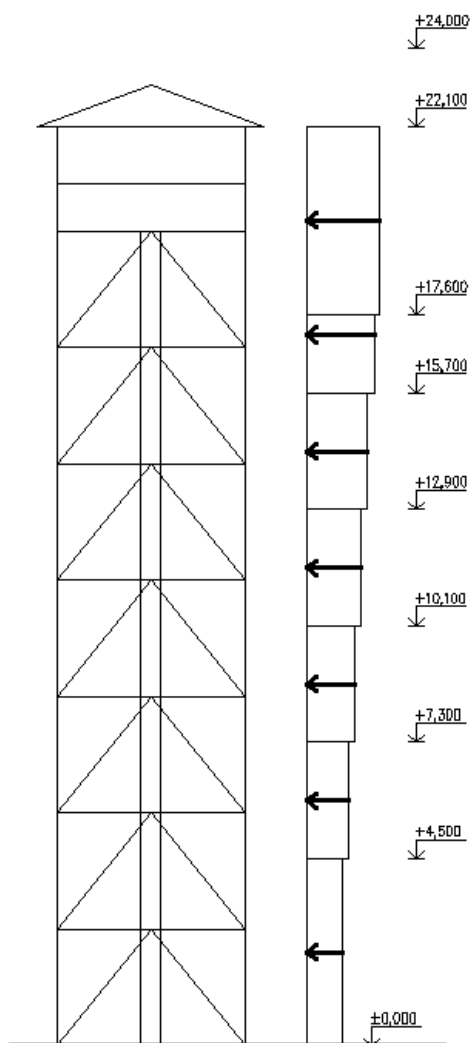
$z_{max} = 200 \text{ m}$ , dle tabulky 4.1 - Kategorie terénu a jejich parametry normy ČSN EN 92732

$$kr = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

$$cr(z) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{22,1}{0,05}\right) = 1,157$$

tato hodnota platí pro nejvyšší část rozhledny.

Jelikož  $2b < h$ , tedy  $9 < 22,1$  metrů, musí se zatížení větrem po výšce rozložit dle následujícího schématu.



Obrázek 10 - Zatížení konstrukce větrem  
zdroj: vlastní



tedy potom by hodnoty drsnosti terénu by vypadaly následovně (byly by narůstající).

vrstva	výška [m]	Cr(z)
b	4,5	0,855
hstrip1	2,8	0,947
hstrip2	2,8	1,009
hstrip3	2,8	1,055
hstrip4	2,8	1,092
hstrip5	1,9	1,114
b	4,5	1,157

Pro výpočet zatížení použiji jednotnou hodnotu, tedy konzervativně tu nejvyšší - 1,157.

#### Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

- kde  $c_o(z)$  je rovno 1,0

$$v_m(z) = 1,157 \cdot 1,0 \cdot 25 = 28,33 \text{ m/s}$$

#### Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

- kde součinitel expozice  $c_e(z) = 2,88$

Zde by se taktéž dal určit součinitel  $c_e(z)$  jako narůstající hodnota podle výšky rozhledy.

Určil by se z následujícího vzorce:

$$c_e(z) = 1 + 7 \left( \frac{k_1}{c_0 \ln \frac{z}{z_0}} \right) \cdot (c_0 \cdot c_r(z))^2$$

hodnoty by vypadaly následovně:

vrstva	výška [m]	Ce(z)
b	4,5	1,87
hstrip1	2,8	2,16
hstrip2	2,8	2,36
hstrip3	2,8	2,52
hstrip4	2,8	2,65
hstrip5	1,9	2,72
b	4,5	2,88

#### Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = 2,88 \cdot 0,39 = 1,123 \text{ kPa}$$



Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{kI}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{22,1}{0,05}\right)} = 0,16$$

Výpočet síly od větru na konstrukce (celkové účinky větru):

Síly od větru:

$$F_w = c_{sCd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

kde  $c_{sCd}$  je odečteno z Přílohy D. Hodnota zde vychází menší než 1,0, ale z hlediska bezpečnosti je tato hodnota stanovena na hodnotu 1,0. Tato hodnota bude potom použita ve všech ostatních výpočtech od účinku větru.

Součinitel síly  $c_f$ :

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

kde  $c_{f,0}$  se rovná:

pro určení je třeba znát Reynoldsovo číslo a poměr  $k/b$ ,

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu}$$

$$\text{kde } v(z_e) = \sqrt{2 \cdot q_p / \rho} = \sqrt{2 \cdot 1,123 \cdot 1000 / 1,25} = 42,38 \text{ m/s}$$

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

$b$  je průměr kruhové trubky, tedy 108 mm

$$Re = \frac{0,108 \cdot 42,38}{15 \cdot 10^{-6}} = 3,05 \cdot 10^5$$

ekvivalentní drsnost povrchu  $k$  pro ocel je 0,05 mm, tedy poměr  $k/b = 0,05/108 = 4,6 \cdot 10^{-4}$

Součinitel  $c_{f,0}$  je stanoven na hodnotu 0,60.

Součinitel koncového efektu:

Efektivní štíhlost  $\lambda$  se rovná 70

Součinitel plnosti  $\phi = \frac{A}{A_c}$  se rovná 1,0

Odečtením z tabulky na obrázku 7.36 se určí směrná hodnota součinitele koncového efektu  $\psi_\lambda = 0,92$ .

Součinitel síly  $c_f$ :

$$c_f = 0,60 \cdot 0,92 = 0,5552$$

$$A_{ref} = b \cdot l = 0,114 \cdot 22,1 = 2,54 \text{ m}^2$$



### Výsledné zatížení:

$F_w = c_{sd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 0,60 \cdot 1,12 \cdot 2,54 = 1,563$  kN, což odpovídá spojitému zatížení **0,074 kN/m**.

### ZATÍŽENÍ VŘETENOVÉ TRUBKY SCHODIŠTĚ

Zatížení větrem na vřeteno schodiště je určeno stejným postupem jako u nosných prvků rozhledny.

Výška (délka) vřetenové trubky: 19,6 m  
šířka vřetenové trubky: 0,508 m

### Drsnost terénu:

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

kde  $z_0 = 0,05$  m =  $z_{0,II}$

$z_{min} = 2$  m

$z_{max} = 200$  m

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{19,6}{0,05}\right) = 1,135$$

tato hodnota platí pro nejvyšší část rozhledy, a stejně jako v předcházejícím případě bude použita pro celou její výšku.

### Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

- kde  $c_o(z)$  je rovno 1,0

$$v_m(z) = 1,135 \cdot 1,0 \cdot 25 = 28,36$$
 m/s

### Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b,$$

- kde součinitel expozice  $c_e(z) = 2,80$

Zde by se taktéž dal určit součinitel  $c_e(z)$  jako narůstající hodnota podle výšky vřetenové trubky, jako v předcházejícím případě (u návrhu nosných prvků rozhledny).

Maximální dynamický tlak je potom roven,

$$q_p(z) = 2,80 \cdot 0,39 = 1,09$$
 kPa

### Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{19,6}{0,05}\right)} = 0,17$$



### Výpočet síly od větru na konstrukce:

#### Síly od větru:

$$F_w = c_{sCd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

kde  $c_{sCd}$  je odečteno z Přílohy D. Hodnota zde vychází menší než 1,0, ale z hlediska bezpečnosti je tato hodnota stanovena na hodnotu 1,0.

#### Součinitel síly $c_f$ :

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

kde  $c_{f,0}$  se rovná:

pro určení je třeba znát Reynoldsovo číslo a poměr  $k/b$ ,

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} =$$

$$\text{kde } v(z_e) = \sqrt{2 \cdot q_p / \rho} = \sqrt{2 \cdot 1,09 \cdot \frac{1000}{1,25}} = 41,77 \text{ m/s}$$

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

$b$  je průměr kruhové trubky, tedy 508 mm (0,508 m)

$$Re = \frac{0,508 \cdot 41,77}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,42 \cdot 10^6$$

ekvivalentní drsnost povrchu  $k$  pro ocel je 0,05 mm, tedy poměr  $k/b = 0,05/508 = 1,00 \cdot 10^{-4}$

Součinitel  $c_{f,0}$  je stanoven na hodnotu 0,70.

#### Součinitel koncového efektu:

Efektivní štíhlost  $\lambda$  se rovná 37,10 (vypočteno lineární interpolací)

$$\text{Součinitel plnosti } \phi = \frac{A}{A_c} = 1,0$$

- hodnota součinitele koncového efektu  $\psi_\lambda = 0,84$ .

#### Součinitel síly $c_f$ :

$$c_f = 0,67 \cdot 0,84 = 0,56$$

$$A_{ref} = b \cdot l = 0,508 \cdot 19,6 = 9,96 \text{ m}^2$$

#### Výsledné zatížení:

$$F_w = c_{sCd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 0,56 \cdot 1,09 \cdot 9,96 = \mathbf{6,38 \text{ kN}}, \text{ což odpovídá spojitému zatížení } \mathbf{0,33 \text{ kN/m}}.$$

### ZATÍŽENÍ ŠIKMÝCH ZTUŽIDEL

Maximální výška vřetenové trubky: 22,1 m

šířka ztužidlové trubky: 0,0603 m

délka ztužidlové trubky: 3,592 m





### Drsnost terénu:

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

$$\text{kde } z_0 = 0,05 \text{ m} = z_{0,II}$$

$$z_{\min} = 2 \text{ m}$$

$$z_{\max} = 200 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{19,6}{0,05}\right) = 1,135$$

tato hodnota platí pro ztužidlo, které je umístěno na nejvyšší části rozhledny. Z hlediska bezpečnosti budu konzervativně používat tuto hodnotu.

### Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

- kde  $c_o(z)$  je rovno 1,0

$$v_m(z) = 1,16 \cdot 1,0 \cdot 25 = 28,94 \text{ m/s}$$

### Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b,$$

- kde součinitel expozice  $c_e(z) = 2,80$

Zde by se taktéž dal určit součinitel  $c_e(z)$  jako narůstající hodnota podle výšky vřetenové trubky, jako v předcházejícím případě (u návrhu nosných prvků rozhledny).

Maximální dynamický tlak je potom roven:

$$q_p(z) = 2,80 \cdot 0,39 = 1,123 \text{ kPa}$$

### Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{22,1}{0,05}\right)} = 0,16$$

### Výpočet síly od větru na konstrukce:

#### Síly od větru:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}}$$

$$\text{kde } c_s c_d = 1,0$$

#### Součinitel síly $c_f$ :

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

kde  $c_{f,0}$  se rovná:

pro určení je třeba znát Reynoldsovo číslo a poměr  $k/b$ ,



$$Re = \frac{b \cdot v(ze)}{v}$$

$$\text{kde } v(ze) = \sqrt{2 \cdot qp/\rho} = \sqrt{2 \cdot 1,09 \cdot \frac{1000}{1,25}} = 41,77 \text{ m/s}$$

kinematická viskozita vzduchu  $v = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$b$  je průměr kruhové trubky, tedy 70 mm (0,070 m)

$$Re = \frac{0,0603 \cdot 41,77}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,7 \cdot 10^5$$

ekvivalentní drsnost povrchu  $k$  pro ocel je 0,05 mm, tedy poměr  $k/b = 0,05/60,3 = 8,3 \cdot 10^{-4}$

Součinitel  $c_{f,0}$  je stanoven na hodnotu 1,0.

#### Součinitel koncového efektu:

Efektivní štíhlost  $\lambda$  se rovná 35,90

- hodnota součinitele koncového efektu  $\psi_\lambda = 0,83$ .

#### Součinitel síly $c_f$ :

$$c_f = 1,0 \cdot 0,83 = 0,83$$

$$A_{ref} = b \cdot l = 0,0603 \cdot 3,592 = 0,22 \text{ m}^2$$

#### Výsledné zatížení

$F_w = c_{sCd} \cdot c_f \cdot q_p(ze) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 0,83 \cdot 1,123 \cdot 0,22 = \mathbf{0,20 \text{ kN}}$ , což odpovídá spojitému zatížení **0,056 kN/m**.

### ZATÍŽENÍ VODOROVNÝCH ZTUŽIDEL

Maximální výška ztužidlové trubky: 22,1 m

profil trubky: 70 x 70 mm

poloměr  $r$ : 10 mm

délka ztužidlové trubky: 4,50 m

#### Drsnost terénu:

$$cr(z) = kr \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$\text{kde } z_0 = 0,05 \text{ m} = z_{0,II}$$

$$z_{min} = 2 \text{ m}$$

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

$$kr = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

$$cr(z) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{19,6}{0,05}\right) = 1,135$$

opět bude použita tato hodnota, pro trubku umístěnou v nejvyšší části rozhledny



### Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

- kde  $c_o(z)$  je rovno 1,0

$$v_m(z) = 1,16 \cdot 1,0 \cdot 25 = 28,94 \text{ m/s}$$

### Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b,$$

- kde součinitel expozice  $c_e(z) = 2,88$

Zde by se taktéž dal určit součinitel  $c_e(z)$  jako narůstající hodnota podle výšky vřetenové trubky, jako v předcházejícím případě (u návrhu nosných prvků rozhledny).

### Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = 2,88 \cdot 0,39 = 1,12 \text{ kPa}$$

### Turbulence větru

$$I_v(z) = \frac{kI}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{22,1}{0,05}\right)} = 0,16$$

### Výpočet síly od větru na konstrukce:

#### Síly od větru:

$$F_w = c_{sCd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

kde  $c_{sCd} = 1,0$

#### Součinitel síly $c_f$ :

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

Určení  $c_{f,0}$ :

poměr  $d/b = 70/70 = 1,0$ ,

$c_{f,0}$  je potom rovno 2,1.

#### Součinitel $\psi_r$ :

závisí na poměru  $r/b = 0,010/70 = 0,14$ ,

$\psi_r = 0,6$

#### Určení součinitele $\psi_\lambda$ :

Efektivní štíhlost  $\lambda$  se rovná 70 ->  $\psi_\lambda = 0,92$

potom:

$$c_f = 2,1 \cdot 0,92 \cdot 0,6$$

$$c_f = 1,16$$



### Výsledné zatížení:

$F_w = c_{sCd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 1,16 \cdot 1,123 \cdot 0,27 = \mathbf{0,35 \text{ kN}}$ , což odpovídá spojitému zatížení **0,08 kN/m**.

### ZATÍŽENÍ NOSNÍKŮ PRO PODESTU

Hodnoty související s výškou umístění nosníku pro daný vítr jsou totožné jako u předcházejících prvků.

Navrženy zde jsou nosníky průřezu IPE 80, IPE 120 a IPE 160.

#### Součinitel $C_f$ :

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

Hodnota  $c_{f,0}$  je doporučena normou jako 2,0.

#### pro IPE 80 (L = 1,875 metru):

- efektivní štíhlost  $\lambda = 49 \rightarrow \psi_\lambda = 0,87$

$$c_f = 2,0 \cdot 0,87 = 1,74$$

#### Výsledné zatížení:

$F_w = c_{sCd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 1,74 \cdot 1,123 \cdot (0,08 \cdot 1,875) = \mathbf{0,29 \text{ kN}}$ , což odpovídá spojitému zatížení **0,16 kN/m**

#### pro IPE 120 (L = 2,25 metru):

- efektivní štíhlost  $\lambda = 45 \rightarrow \psi_\lambda = 0,85$

$$c_f = 2,0 \cdot 0,85 = 1,70$$

#### Výsledné zatížení:

$F_w = c_{sCd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 1,70 \cdot 1,123 \cdot (0,12 \cdot 2,25) = \mathbf{0,52 \text{ kN}}$ , což odpovídá spojitému zatížení **0,23 kN/m**

#### pro IPE 160 (L = 4,5 metru):

- efektivní štíhlost  $\lambda = 70 \rightarrow \psi_\lambda = 0,83$

$$c_f = 2,0 \cdot 0,92 = 1,64$$

#### Výsledné zatížení:

$F_w = c_{sCd} \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 1,64 \cdot 1,123 \cdot (0,16 \cdot 4,5) = \mathbf{1,3 \text{ kN}}$ , což odpovídá spojitému zatížení **0,29 kN/m**



## SCHODIŠŤOVÝ STUPEŇ

výška schodišťového stupně: 30 mm  
maximální šířka průřezu: 385 mm

### Určení $c_{f,0}$ :

poměr stran  $d/b = 0,03/0,28 = 0,11$ , po odečtení z tabulky pro zjištění součinitele  $c_{f,0}$   
je tato hodnota stanovena na 2,0.

### Součinitel $c_f$ :

- efektivní štíhlost  $\lambda = 37 \rightarrow \psi_\lambda = 0,87$   
 $c_f = 2,0 \cdot 0,87 = 1,74$

Výsledné zatížení na schodišťový stupeň, při maximálním dynamickém tlaku  $q_p$  (výška 19,6m) 1,09 kN/m<sup>2</sup>:

$$q_k = q_p(19,6m) \cdot c_{sCd} \cdot c_f \cdot d = 1,123 \cdot 1,0 \cdot 1,74 \cdot (1,1 \cdot 0,03) = \mathbf{0,06 \text{ kN/m}}$$

## ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ

výška hřebene konstrukce: 24 m  
sklon střešní konstrukce: 20°

### Součinitel $c_r(z)$ :

$$c_r(24) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{22,1}{0,05}\right) = 1,1573$$

Součinitel expozice  $c_e(24)$  byl určen na hodnotu 2,94.

### Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 2,94 \cdot 0,39 = 1,145 \text{ kN/m}^2$$

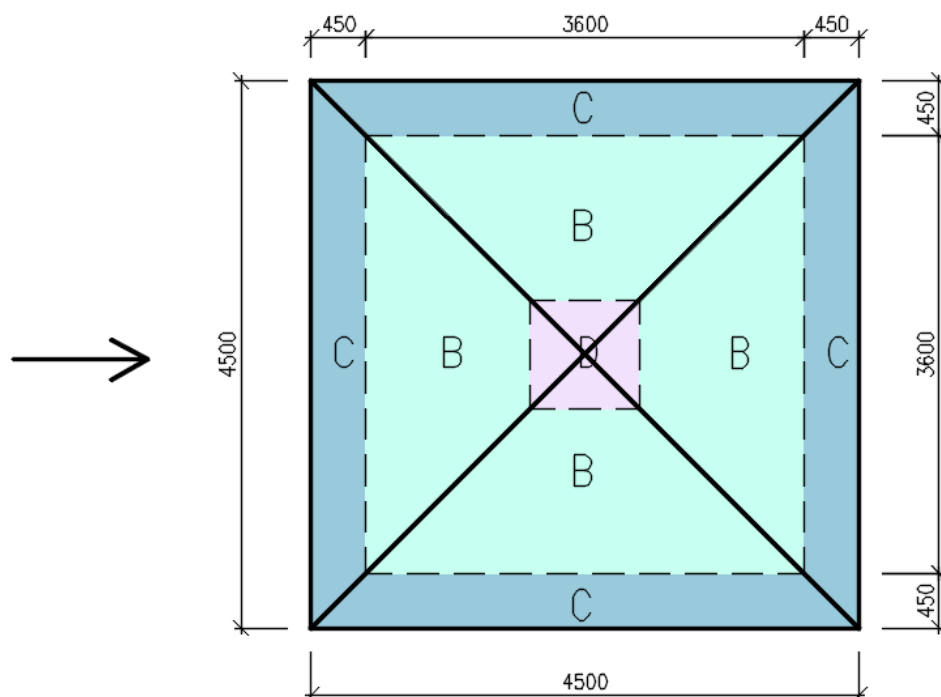
Zastřešení bylo rozděleno do následujících "zón" a byly určeny součinitelé  $C_{pe}$  a zatížení  $w_{e,k}$ , které se určilo ze vzorce

Jelikož se jedná o přístřešek, musí se počítat se sáním větru. Vítr díky chybějícím bočním stěnám proudí i pod konstrukcí přístřešku.

Norma neurčuje součinitele  $c_f$  a  $c_{p,net}$  pro valbové střechy. Tudíž jsem použila modifikované hodnoty pro střechy sedlové.

Hodnota  $\phi$  je stanovena jako 0.

Rozdělení na jednotlivé oblasti pro sklon střechy 20° je podle následujícího obrázku.



Obrázek 11 - Zatížení střešní konstrukce  
 zdroj: vlastní

Oblast	B	C	D
$C_{p,net}; \phi=0$	-1,8	-1,4	-2,0
$C_{p,net}; \phi=\max$	+1,1	+1,5	+0,4

součinitel  $c_f$  pro  $\phi = 0$  je -0,9,  
 pro  $\phi = \max$ ,  $c_f = +0,6$

#### Zatížení zona B

$$wk_{B, \phi, \max} = 1,1 \cdot 1,145 \cdot (+0,6) = 0,76 \text{ kN/m}^2 ; wk_{B, \phi, 0} = -1,8 \cdot 1,145 \cdot (-0,9) = -1,9 \text{ kN/m}^2$$

#### Zatížení zona C

$$wk_{C, \phi, \max} = 1,5 \cdot 1,145 \cdot (+0,6) = 1,03 \text{ kN/m}^2 ; wk_{C, \phi, 0} = -1,4 \cdot 1,145 \cdot (-0,9) = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

#### Zatížení zona D

$$wk_{D, \phi, \max} = 0,4 \cdot 1,145 \cdot (+0,6) = 0,3 \text{ kN/m}^2 ; wk_{D, \phi, 0} = -2,0 \cdot 1,145 \cdot (-0,9) = 2,06 \text{ kN/m}^2$$



### 3.4 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je uvažováno pouze na střešní konstrukci, jednotlivé schodišťové stupně a podesty.

#### Zatížení na střešní konstrukci:

Zatížení na střešní konstrukci se stanoví podle vzorce  $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$

Stavba se nachází ve sněhové oblasti II pro kterou platí charakteristická hodnota zatížení sněhem **1,0 kN/m<sup>2</sup>**.

Součinitel expozice  $C_e$  byl stanoven na hodnotu 1,2.

Součinitel  $C_t$  je 1,0.

Tvarový součinitel pro sedlovou střechu se sklonem 20° je určen na stálou hodnotu:

$$\mu_1 = 0,8$$

#### Zatížení s:

$$s = 0,8 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{0,96 \text{ kN/m}^2}.$$

Spojité zatížení na jednotlivé schodišťové stupně a podesty bude určeno stejně jako v předchozích případech (vl.tíha, užité).

### 3.5 Kombinace zatížení

Pro kombinace budou použity dva "typy" zatížení větrem. Tedy kdy vítr fouká kolmo na prvky rozhledny, a kdy vítr fouká na prvky pod úhlem 45°.

C01 - 1,35 stálé zatížení + 1,5 vítr podélný + (1,5 · 0,7) užité + (1,5 · 0,5) sníh

C02 - 1,35 stálé zatížení + 1,5 vítr šikmý + (1,5 · 0,7) užité + (1,5 · 0,5) sníh

C03 - 1,35 stálé zatížení + (1,5 · 0,6) vítr podélný + 1,5 proměnné + (1,5 · 0,5) sníh na střešní konstrukci

C04 - 1,35 stálé zatížení + (1,5 · 0,6) vítr šikmý + 1,5 proměnné + (1,5 · 0,5) sníh na střešní konstrukci

C05 - 1,35 stálé zatížení + (1,5 · 0,6) vítr podélný + (1,5 · 0,0) proměnné + 1,5 sníh

C06 - 1,35 stálé zatížení + (1,5 · 0,6) vítr šikmý + (1,5 · 0,0) proměnné + 1,5 sníh

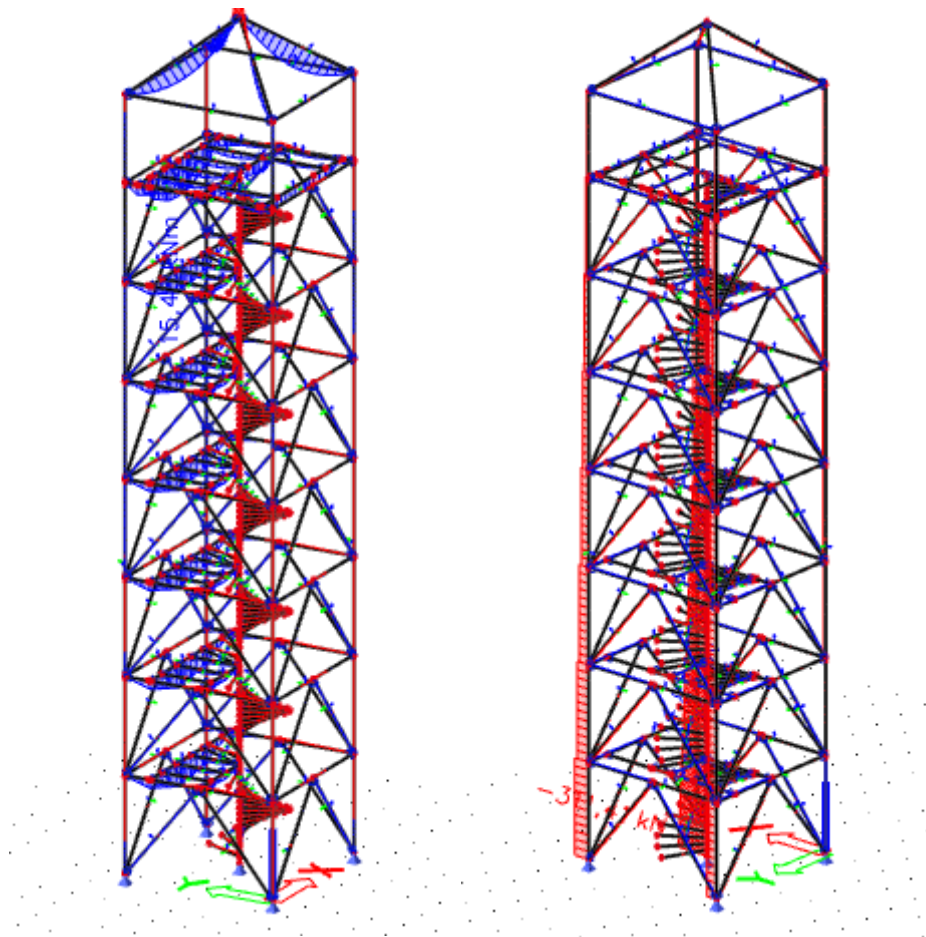
C07 - 0,9 stálé zatížení + 1,5 vítr sání





## 4 VÝSLEDKY

Veškeré návrhové vnitřní síly budou uvedeny u jednotlivých prvků, které budou posuzovány. Na následujícím obrázku je uveden orientačně pouze výpočtový model a jeho výsledky.





## 5 VARIANTA I – OCEL S235

### 5.1 Hlavní sloup - trubka 108 x 5,0

#### NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

rozhodující kombinace CO2

$$N_{Ed} = -167 \text{ kN}$$

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

$$M_z = 1,5 \text{ kNm}$$

$$V_z = 0,5 \text{ kN}$$

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

#### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$d = 108 \text{ mm}$$

$$t = 5,0 \text{ mm}$$

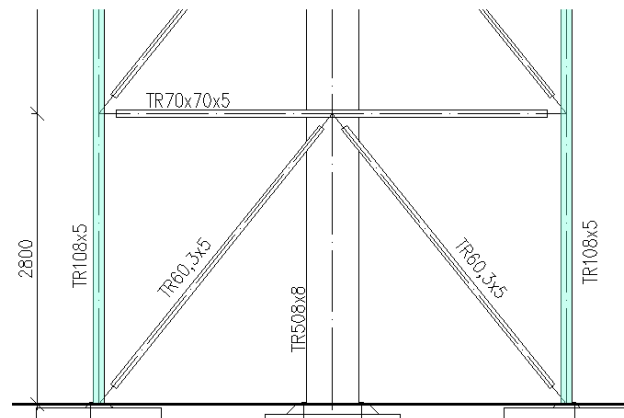
$$A = 1618 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1030 \text{ mm}^2$$

$$W = 39\,800 \text{ mm}^3$$

$$I = 2\,150\,000 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 53\,100 \text{ mm}^3$$



Obrázek 12 - TR 108x5  
zdroj: vlastní

#### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU:

pro trubky platí kritérium:  $d/t = 108/5 = 21,6$

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/235)^{1/2} = 1,0$$

$$d/t < 50\varepsilon^2$$

$$21,6 < 50 \cdot 1,0^2$$

$$21,6 < 50,0 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$

#### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,001618 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{380 \text{ kN}}$$



## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Délka trubky je 22,1 metru. Jelikož je trubka po své výšce "držena" jednotlivými ztužidly, bude se jako vzpěrná délka počítat výška jednoho patra. Protože právě takto může vybočit. Trubka je držena ve směru y a i ve směru z, proto jsou hodnoty  $L_{crit}$  totožné. Ačkoliv je dole trubka vetknuta do základu, po zbytek její výšky je po jednotlivých úsecích pro vybočení "podpíraná" kloubově. Proto se  $L_{crit} = L$  jednoho patra, tedy 2,8 metru.

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 2,15 \cdot 10^{-6}}{2,8^2}$$

$$F_{cr} = 568 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001618 \cdot 235 \cdot 10^3}{568}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,82$$

Z poměrné štíhlosti  $\bar{\lambda}$  a křivky vzpěrné pevnosti se zjistí potřebný součinitel  $\chi$ :

Křivka vzpěrné pevnosti pro kruhovou trubku - c, tedy součinitel imperfekce  $\alpha = 0,49$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

kde  $\phi$ :

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

$$\phi = 0,5[1 + 0,49(0,82 - 0,2) + 0,82^2]$$

$$\phi = 0,99$$

$$\chi = \frac{1}{0,99 + \sqrt{0,99^2 - 0,82^2}}$$

$$\chi = 0,65$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 2,80 metrů bude,

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$



$$N_{c,Rd} = \frac{0,65 \cdot 0,001618 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{247 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$16 \text{ kN} < 247 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST

Jelikož se jedná o uzavřený dutý průřez, nemusí se zde posuzovat klopení. Proto stačí posoudit prostou únosnost v ohybu.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{5,31 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{c,Rd} = \mathbf{12,5 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$1,5 \text{ kNm} < 12,5 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,001030 \cdot \left(\frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = \mathbf{140 \text{ kN}}$$

Návrhová posouvací síla je 1,5 kN. Jelikož  $1,5 < 0,5 \cdot 140$  platí zde malý smyk. Tudíž se nemusí nijak redukovat smyková únosnost.

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$1,5 \text{ kN} < 140 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYB A OSOVÁ SÍLA

Jelikož se jedná o průřez třídy 1, musí platit tato podmínka:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$



kde,

$$M_{n,Rd} = M_{pl,Rd} [1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{n,Rd} = 12,5 [1 - (167/247)^2] = 6,8 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$1 \text{ kNm} < 6,8 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

### OVĚŘENÍ ŠIKMÉHO OHYBU

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

koeficienty  $\alpha$  a  $\beta$  jsou brány jako konzervativní hodnota – 1,0.

$$\left[ \frac{1}{6,8} \right]^1 + \left[ \frac{1,5}{6,8} \right]^1 = 0,37 < 1$$

**vyhovuje**

### KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{Lt} M_{y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{Lt} M_{z,Rd}} \leq 1$$

Výpočet interakčních součinitelů  $k_{yy}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{yz}$  a  $k_{zz}$ :

součinitel  $C_{my}$  a  $C_{mz}$  je roven 0,9, jelikož tvar momentového obrazce je lineární.

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} (1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}) \leq C_{my} (1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}})$$

$$k_{yy} = 0,9 (1 + (0,82 - 0,2) \frac{167}{0,65 \cdot 380}) \leq 0,9 (1 + 0,8 \frac{167}{0,65 \cdot 380})$$

$$k_{yy} = \mathbf{1,28} < 1,39$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{zy} = 0,6 \cdot 1,28 = \mathbf{0,77}$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} (1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}) \leq C_{mz} (1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}})$$



$$k_{zz} = 0,9(1 + (2 \cdot 0,82 - 0,6) \frac{167}{0,65 \cdot 380}) \leq 0,9(1 + 1,4 \frac{167}{0,65 \cdot 380})$$
$$k_{zz} = \mathbf{1,53} < 1,75$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \cdot 1,53 = \mathbf{0,92}$$

Posouzení:

$$\frac{167}{0,65 \cdot 380} + 1,28 \frac{1}{12,5} + 0,92 \frac{1,5}{12,5} = \mathbf{0,89} \leq 1$$

$$\frac{167}{0,65 \cdot 380} + 0,77 \frac{1}{12,5} + 1,53 \frac{1,5}{12,5} = \mathbf{0,92} \leq 1$$

**vyhovuje**



## 5.2 Diagonála ztužidla TR 60,3 x 5

### NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

- rozhodující kombinace C02

$$N_{Ed} = -26 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,25 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,35 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 0,30 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,30 \text{ kN}$$

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$d = 60,3 \text{ mm}$$

$$t = 5,0 \text{ mm}$$

$$A = 869 \text{ mm}^2$$

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

$$W = 553 \text{ mm}^3$$

$$I = 334\,800 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 15\,332 \text{ mm}^3$$

$$L = 3,590 \text{ metru}$$

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/235)^{1/2} = 1,0$$

$$d/t < 50\varepsilon^2$$

$$60,3/5,0 < 50 \cdot 1,0^2$$

$$12,1 < 50,0 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$

### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

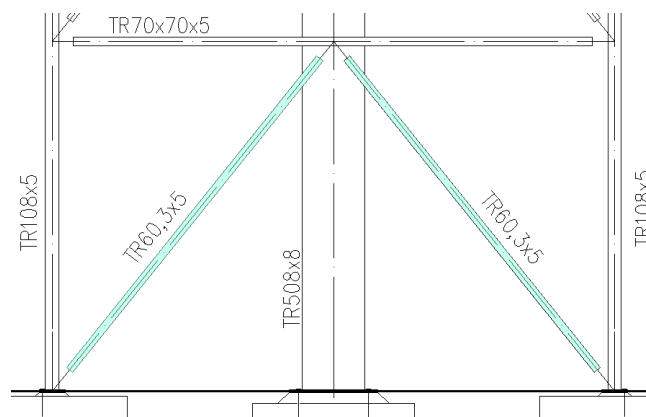
$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,000869 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,00}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{204 \text{ kN}}$$

### TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Trubka je uložena kloubově k hlavnímu sloupu, a i k další ztužidlové trubce. Tudíž se jako  $L_{crit}$  bere celková délka trubky, tedy 3,590 metru.



Obrázek 13- Diagonála TR 60,3x5  
zdroj: vlastní





Jako  $L_{crit}$  by se v tomto případě mohla brát polovina  $L_{teor}$ , ale jelikož v některých místech rozhledny při dané kombinace vznikne v obou ztužidlových trubkách tlak, nebyla by jedna trubka „stabilizovaná“ tou druhou, proto by toto zjednodušení bylo nebezpečné.

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,35 \cdot 10^{-5}}{3,59^2}$$

$$F_{cr} = 53,7 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,000869 \cdot 235 \cdot 10^3}{53,7}}$$

$$\bar{\lambda} = 1,95$$

součinitel  $\chi$ :

odečten z tabulky podle  $\alpha = 0,49$  (křivka vzpěrné pevnosti c)

$$\chi = \mathbf{0,21}$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 3,592 metru bude:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,21 \cdot 0,000869 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{42 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} < N_{c,Rd}$$

$$26 \text{ kN} < 42 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{c,Rd} = \mathbf{3,6 \text{ kNm}}$$



Posouzení:

$$M_{Ed} < M_{c,Rd}$$

$$0,35 \text{ kNm} < 3,6 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000553 \cdot \left(\frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = \mathbf{75 \text{ kN}}$$

Návrhová posouvací síla je 0,30kN.

$$0,30 < 0,5 \cdot 75 \rightarrow \text{malý smyk}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$0,30 \text{ kN} < 75 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYB A OSOVÁ SÍLA

Jelikož se jedná o průřez třídy 1, musí platit tato podmínka:

$$M_{Ed} < M_{N,Rd}$$

kde,

$$M_{n,Rd} = M_{pl,Rd} [1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{n,Rd} = 5,4 [1 - (26/42)^2] = 3,3 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$0,35 \text{ kNm} < 3,3 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

OVĚŘENÍ ŠIKMÉHO OHYBU

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}}\right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{0,2}{3,3}\right]^1 + \left[\frac{0,35}{3,3}\right]^1 = 0,16 < 1$$

**vyhovuje**

KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{Lt} M_{y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{Lt} M_{z,Rd}} \leq 1$$



součinitelé  $C_{my}$  a  $C_{mz}$  jsou rovny hodnotě 0,95

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + (1,95 - 0,2) \frac{26}{0,21 \cdot 204}\right) \leq 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{26}{0,21 \cdot 204}\right)$$

$$k_{yy} = 1,98 > \mathbf{1,42}$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \cdot 1,42 = \mathbf{0,85}$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right) \leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \left(1 + (2 \cdot 2,04 - 0,6) \frac{26}{0,21 \cdot 204}\right) \leq 0,95 \left(1 + 1,4 \frac{26}{0,21 \cdot 204}\right)$$

$$k_{zz} = 2,9 > \mathbf{1,8}$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \cdot 1,8 = \mathbf{1,1}$$

Posouzení:

$$\frac{26}{0,21 \cdot 204} + 1,42 \frac{0,2}{3,6} + 1,1 \frac{0,35}{3,6} = \mathbf{0,82} \leq 1$$

$$\frac{26}{0,21 \cdot 204} + 1,8 \frac{0,2}{3,6} + 0,85 \frac{0,35}{3,6} = \mathbf{0,85} \leq 1$$

**vyhovuje**



## 5.3 Vřetenová trubka TR 508 x 6,3

### NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

(kombinace C03)

$$N_{Ed} = - 377 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 10 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -10 \text{ kNm}$$

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

$$V_{y,Ed} = 2,6 \text{ kN}$$

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$d = 508 \text{ mm}$$

$$t = 6,3 \text{ mm}$$

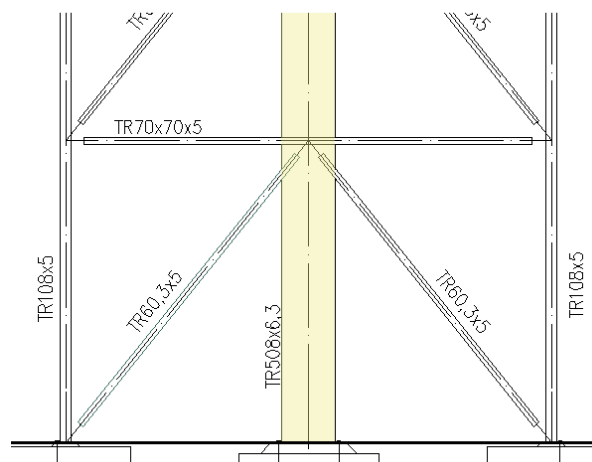
$$A = 9930 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 6321 \text{ mm}^2$$

$$W = 1\,230\,000 \text{ mm}^3$$

$$I = 312\,460\,000 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 1\,586\,000 \text{ mm}^3$$



Obrázek 14- Vřetenová trubka TR 508x6,3  
zdroj: vlastní

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

pro trubky platí kritérium:  $d/t = 508/6,3 = 80,63$

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/235)^{1/2} = 1,0$$

$$d/t < 90\varepsilon^2$$

$$80,63 < 90 \cdot 1,0^2$$

$$80,63 < 90$$

průřez spadá do třídy 3.třídy

### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{Rd} = \frac{0,009930 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{Rd} = \mathbf{2334 \text{ kN}}$$

### TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Délka trubky je 22,1 metru. Jelikož je trubka po své výšce "držena" jednotlivými ztužidly, bude se jako vzpěrná délka počítat výška jednoho patra. Protože právě takto může



vybočit. Trubka je držena ve směru y a i ve směru z, proto jsou hodnoty  $L_{crit}$  totožné. Ačkoliv je dole trubka vetknuta do základu, po zbytek její výšky je po jednotlivých úsecích pro vybočení "podpíraná" kloubově. Proto se  $L_{crit} = L$  jednoho patra, tedy 2,8 metru.

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{EI}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,1246 \cdot 10^{-4}}{2,8^2}$$

$$F_{cr} = 82\,520 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,009930 \cdot 235 \cdot 10^3}{82520}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,17$$

součinitel  $\chi$ :

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka vzpěrné pevnosti c)}$$

$$\chi = 1,0$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 2,8 metrů bude:

$$N_{Rd} = \mathbf{2334 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$337 \text{ kN} < 2334 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{1,23 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{c,Rd} = \mathbf{289 \text{ kNm}}$$



Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$10 \text{ kNm} < 289 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,006321 \cdot \left(\frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = \mathbf{858 \text{ kN}}$$

$$4 \text{ kN} < 0,5 \cdot 858 \text{ kN} \rightarrow \text{malý smyk}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$4 \text{ kN} < 858 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

$$\text{součinitelé } C_{my} = 0,95, C_{mz} = 0,95$$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + (0,17 - 0,2) \frac{377}{1,0 \cdot 2334}\right) \leq 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{377}{1,0 \cdot 2334}\right)$$

$$k_{yy} = \mathbf{0,97} < 1,04, \text{ tedy součinitel } k_{yy} \text{ je roven } 0,97$$

Součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = 0,8 \quad k_{yy} = 0,8 \cdot 0,97 = \mathbf{0,77}$$

součinitel  $k_{zz}$  se rovná:

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + 0,6\bar{\lambda}\right) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}} \leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right)$$



$$k_{zz} = 0,95(1 + 0,6 \cdot 1,0) \frac{377}{1,0 \cdot 2334} \leq 0,95(1 + 0,6 \frac{377}{1,0 \cdot 2334})$$

$$k_{zz} = \mathbf{0,97} < 1,04$$

součinitel  $k_{yz}$ :

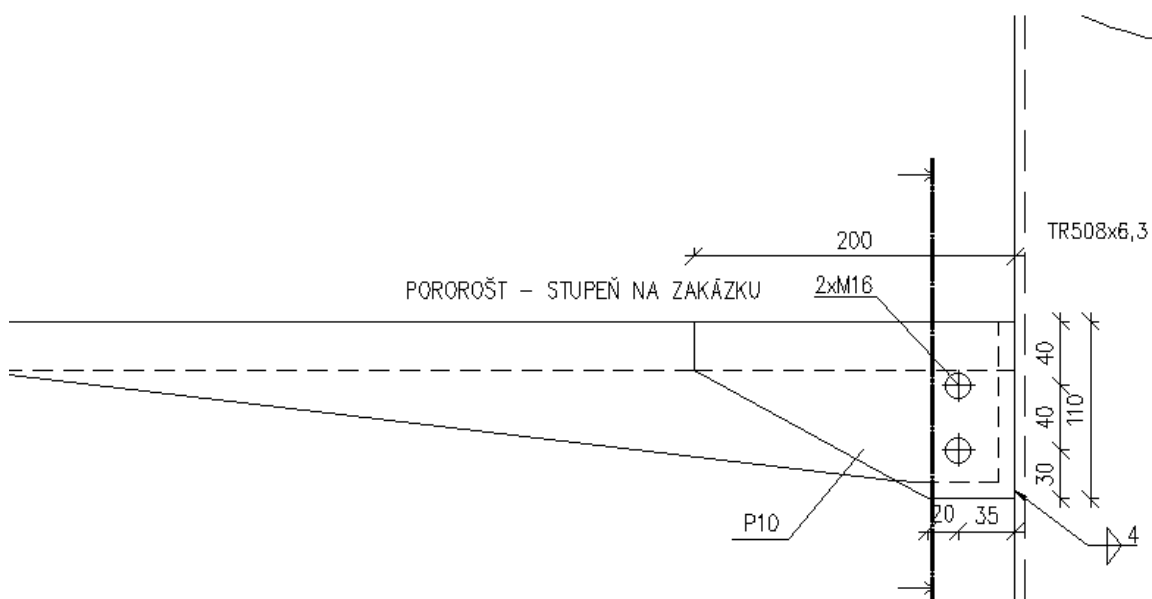
$$k_{yz} = k_{zz} = 0,97$$

Posouzení:

$$\frac{377}{1,0 \cdot 2334} + 0,97 \frac{10}{289} + 0,97 \frac{10}{4,97} = \mathbf{0,23} \leq \mathbf{1}$$

$$\frac{377}{1,0 \cdot 2334} + 0,77 \frac{10}{289} + 0,97 \frac{10}{289} = \mathbf{0,22} \leq \mathbf{1}$$

Protlačení vřetenové trubky od schodišťového stupně:



Obrázek 15 - Připojení stupně  
zdroj: vlastní

$$N = 0,12 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2,14 \text{ kNm}$$

Rozdělení momentu:

rameno: 40 mm

$$F = M / (0,040 \cdot 2) = 26,75 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = N + F = 0,12 + 26,75 = 26,87 \text{ kN}$$





Únosnost stěny vřetene:

Ploušťka připojeného plechu = 20 mm

$$N_{stěna} = \frac{t_{plechu} \cdot t_{vřeteno} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{stěna} = \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 0,0063 \cdot 235000}{1,0}$$

$$N_{stěna} = 29,61 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{stěna}$$

$$26,87 \text{ kN} < 29,61 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Z posudku vyplývá, že vřetenová trubka je zbytečně předimenzovaná. Jelikož ale při návrhu dispozice (hlavně schodiště) se vycházelo z předem odhadnutých profilů, musí zůstat trubka tohoto rozměru. Při zmenšování jejího průřezu by došlo ke změně rozměrů schodiště (šířka schodišťového stupně a jeho délka). Tím by se musela změnit zase celá dispozice rozhledny. Tudíž profil trubky zanechávám na daném rozměru.



## 5.4 Vodorovná trubka TR 70 x 70 x 5

### NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

- kombinace C02

$$N_{Ed} = - 11 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 4,5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -1,1 \text{ kNm}$$

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

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

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$b = 70 \text{ mm}$$

$$h = 70 \text{ mm}$$

$$t = 5,0 \text{ mm}$$

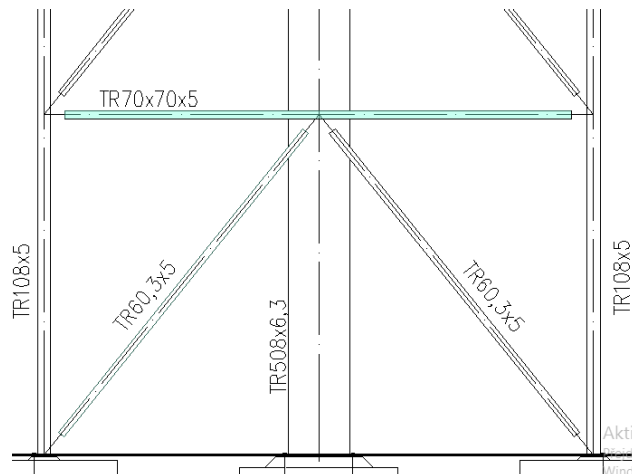
$$A = 1270 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 635 \text{ mm}^2$$

$$W = 25\,300 \text{ mm}^3$$

$$I = 885\,000 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 30\,800 \text{ mm}^3$$



Obrázek 16 – Vodorovná trubka TR 70x70x5  
zdroj: vlastní

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/235)^{1/2} = 1,0$$

$$d/t < 38\varepsilon$$

$$d = h - 3t = 70 - 3 \cdot 5 = 55 \text{ mm}$$

$$55/5 < 38 \cdot 1,0$$

$$11 < 38$$

průřez spadá do třídy 1.

### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,001270 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{299 \text{ kN}}$$



## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Vybočení kolmo na osu y:

$L_{crit} = 2,25$  metru (vzdálenost mezi přípojem k hlavní trubce a připojením diagonály ztužidla - trubky TR60,3x5)

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{EI}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-7}}{2,25^2}$$

$$F_{cr} = 362 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001270 \cdot 235 \cdot 10^3}{362}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,91$$

$$\alpha = 0,49$$

součinitel  $\chi$ :

$$\chi = 0,6$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 2,25 metrů bude:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,6 \cdot 0,001270 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{178 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$11 \text{ kN} < 178 \text{ kN}$$

**vyhovuje**



Vybočení kolmo na osu z:

$$L_{\text{crit}} = 4,5 \text{ metru}$$

Kritická síla  $F_{\text{cr}}$ :

$$F_{\text{cr}} = \pi^2 \frac{EI}{L_{\text{cr}}^2}$$

$$F_{\text{cr}} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-7}}{4,5^2}$$

$$F_{\text{cr}} = 90 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{\text{cr}}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001270 \cdot 235 \cdot 10^3}{90}}$$

$$\bar{\lambda} = 1,82$$

součinitel  $\chi$ :

součinitel imperfekce  $\alpha = 0,49$

$$\chi = 0,23$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 4,5 metrů bude:

$$N_{\text{c,Rd}} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{\text{m1}}}$$

$$N_{\text{c,Rd}} = \frac{0,23 \cdot 0,001270 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{\text{c,Rd}} = \mathbf{69 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{\text{Ed}} \leq N_{\text{c,Rd}}$$

$$11 \text{ kN} < 69 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST

$$M_{\text{pl,Rd}} = \frac{W_{\text{pl}} f_y}{\gamma_{\text{m0}}}$$



$$M_{c,Rd} = \frac{3,1 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{c,Rd} = 7,2 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} < M_{c,Rd}$$

$$4,5 \text{ kNm} < 7,2 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{mo}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000635 \cdot \left(\frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = 86 \text{ kN}$$

$$12 \text{ kN} < 0,5 \cdot 86 \text{ kN} \rightarrow \text{malý smyk}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$14 \text{ kN} < 81,4 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYB A OSOVÁ SÍLA

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

kde,

$$M_{n,Rd} = M_{pl,Rd} [1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{n,Rd} = 7,2 [1 - (11/69)^2] = 7 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$4,5 \text{ kNm} < 7 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

OVĚŘENÍ ŠIKMÉHO OHYBU

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}}\right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{4,5}{7}\right]^1 + \left[\frac{1,1}{7}\right]^1 = 0,80 < 1$$

**vyhovuje**



## KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$
$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitel  $C_{my} = 0,90$ ,  $C_{mz} = 0,95$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \left(1 + (0,90 - 0,2) \frac{11}{0,6 \cdot 299}\right) \leq 0,9 \left(1 + 0,8 \frac{11}{0,6 \cdot 299}\right)$$

$k_{yy} = \mathbf{0,94}$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{zy} = 0,6 \cdot 0,94 = 0,56$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right) \leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \left(1 + (2 \cdot 1,82 - 0,6) \frac{11}{0,23 \cdot 299}\right) \leq 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{11}{0,23 \cdot 299}\right)$$

$k_{zz} = 1,20 > \mathbf{1,07}$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{yz} = 0,6 \cdot 1,07 = \mathbf{0,64}$$

Posouzení:

$$\frac{11}{0,6 \cdot 299} + 0,94 \frac{4,5}{7,2} + 0,64 \frac{1,1}{7,2} = \mathbf{0,75} \leq 1$$

$$\frac{11}{0,6 \cdot 299} + 0,56 \frac{4,5}{7,2} + 1,07 \frac{1,1}{7,2} = \mathbf{0,57} \leq 1$$

**vyhovuje**



## 5.5 Nosník pro pororošť – IPE 80

### NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

- kombinace C04

$$N_{Ed} = -3 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 3,2 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,25 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 6,7 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,35 \text{ kN}$$

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY IPE 80

$$h = 80 \text{ mm}$$

$$b = 46 \text{ mm}$$

$$t_f = 5,2 \text{ mm}$$

$$t_w = 3,8 \text{ mm}$$

$$A = 764 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 358 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 20000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = 3690 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 801400 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 84900 \text{ mm}^4$$

$$W_{ply} = 23220 \text{ mm}^3$$

$$W_{plz} = 5820 \text{ mm}^3$$

délka nosníku: nejdelší část = 1,875 metru

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/235)^{1/2} = 1,0$$

Stojina:

$$c/t < 33\varepsilon$$

$$59,6/3,8 < 33 \cdot 0,814$$

$$15,7 < 33 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$

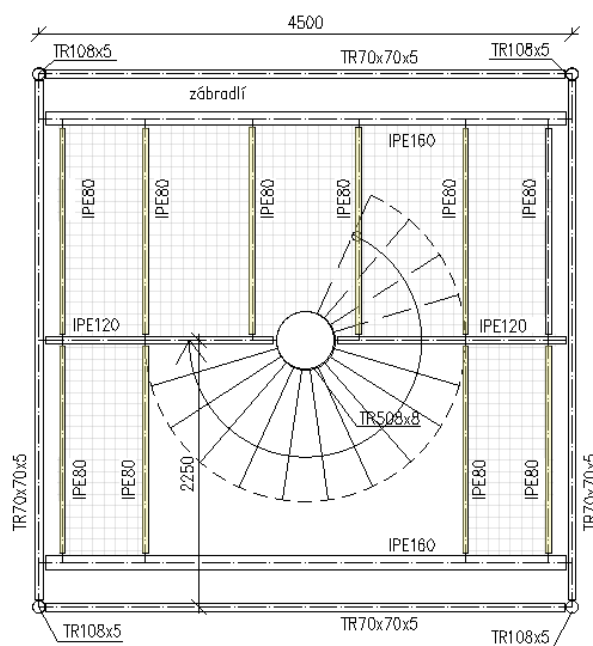
Pásnice:

$$c/t = 16,1/5,2 = 3,1$$

$$c/t < 9\varepsilon$$

$$3,1 < 9 \cdot 1,0$$

$$3,1 < 9,0 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$



Obrázek 17- Nosník IPE 80  
 zdroj: vlastní



## TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,000764 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{180 \text{ kN}}$$

## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Nosník je uložen kloubově na obou koncích, tudíž  $L_{crit}$  bude rovna délce nosníku, tedy 1,875 metru.

Vybočení nosníku kolmo k ose y:

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I_y}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 80,1 \cdot 10^{-7}}{1,875^2}$$

$$F_{cr} = 472 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,000764 \cdot 235 \cdot 10^3}{472}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,62$$

součinitel  $\chi$ :

Křivka vzpěrné pevnosti pro IPE 80 a vybočení kolmo k ose y je - a, tedy součinitel imperfekce  $\alpha = 0,21$ , potom  $\chi$  se rovná:

$$\chi = 0,88$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 1,875 metrů a kolmo k ose y:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$





$$N_{c,Rd} = \frac{0,88 \cdot 0,0007642 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{159 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$2,5 \text{ kN} < 159 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Vybočení nosníku kolmo k ose z:

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I_z}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 8,49 \cdot 10^{-7}}{1,875^2}$$

$$F_{cr} = 50 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,000764 \cdot 235 \cdot 10^3}{50}}$$

$$\bar{\lambda} = 1,90$$

součinitel  $\chi$ :

Křivka vzpěrné pevnosti pro IPE 80 a vybočení kolmo k ose z je - b, tedy součinitel imperfekce  $\alpha = 0,34$ .

- součinitel  $\chi$  po odečtení z tabulky:

$$\chi = 0,23$$

Tlaková únosnost kolmo k ose z pro vzpěrnou délku 1,875 metrů:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,31 \cdot 0,000764 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{41 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$3 \text{ kN} < 41 \text{ kN}$$

**vyhovuje**



## OHYBOVÁ ÚNOSNOST

### **1)Únosnost od momentu My:**

$$M_{cy,Rd} = \frac{W_{ply} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{cy,Rd} = \frac{3,94 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cy,Rd} = \mathbf{9,2 \text{ kNm}}$$

Jelikož jsou na nosníky IPE připevněny pororošty v části tlačené pásnice nedojde ke klopení.

$$M_{cy,Rd} = \frac{W_{ply} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{cy,Rd} = \frac{2,32 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cy,Rd} = 5,5 \text{ kNm}$$

### Posouzení:

$$M_{Ed,y} \leq M_{cy,Rd}$$

$$3,2 \text{ kNm} < 5,5 \text{ kNm}$$

### **2)Únosnost od momentu Mz:**

$$M_{cz,Rd} = \frac{W_{plz} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{cz,Rd} = \frac{5,82 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cz,Rd} = \mathbf{1,37 \text{ kNm}}$$

### Posouzení:

$$M_{Ed,y} \leq M_{cy,Rd}$$

$$0,5 \text{ kNm} < 1,37 \text{ kNm}$$

## SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000358 \cdot \left(\frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$



$$V_{pl,Rd} = 49 \text{ kN}$$

Návrhová posouvací síla je 6,7 kN. Jelikož  $6,7 \text{ kN} < 0,5 \cdot 49 \text{ kN}$ , platí zde malý smyk. Tudíž se nemusí nijak redukovat smyková únosnost.

### OHYB A OSOVÁ SÍLA

Platí:

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

$$2,5 \text{ kN} < 0,25 \cdot 41 = 10,3 \text{ kN}$$

a zároveň:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,0596 \cdot 0,0038 \cdot 235000}{1,0} = 53,2 \text{ kN}$$

$$2,5 \text{ kN} < 53,2 \text{ kN}$$

Není nutné uvažovat účinek osové síly na plastický moment únosnosti při ohybu okolo osy y a z.

### KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

pro součinitel  $C_{my}$  a  $C_{mz} = 0,95$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right) \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left( 1 + (0,62 - 0,2) \frac{2,5}{0,88 \cdot 180} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 0,8 \frac{2,5}{0,88 \cdot 180} \right)$$

$$k_{yy} = \mathbf{0,96} < 1,01$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,96 = \mathbf{0,57}$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$



$$k_{zz} = 0,95(1 + (2 \cdot 1,9 - 0,6) \frac{2,5}{0,23 \cdot 180}) \leq 0,95(1 + 1,4 \frac{2,5}{0,23 \cdot 180})$$

$$k_{zz} = 1,13 > \mathbf{1,05}$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \cdot 1,05 = \mathbf{0,63}$$

Posouzení:

$$\frac{2,5}{0,88 \cdot 180} + 0,95 \frac{2,5}{3,6} + 0,63 \frac{0,5}{1,4} = \mathbf{0,69} \leq 1$$

$$\frac{2,5}{0,23 \cdot 180} + 0,57 \frac{2,5}{3,6} + 1,05 \frac{0,5}{1,4} = \mathbf{0,59} \leq 1$$

**vyhovuje**



## 5.6 Podestový nosník - IPE 120

### NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

Rozhodující kombinace CO2

$$N_{Ed} = -1,5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 7,5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -1, \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 15 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 2,7 \text{ kN}$$

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY IPE 120

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 64 \text{ mm}$$

$$t_f = 6,3 \text{ mm}$$

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

$$A = 1321 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 631 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 53\,000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = 8\,650 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 3\,178\,000 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 276\,600 \text{ mm}^4$$

$$W_{ply} = 60\,730 \text{ mm}^3$$

$$W_{plz} = 13\,580 \text{ mm}^3$$

délka nosníku: 2,25 metru

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/235)^{1/2} = 1,0$$

Stojina:

$$d/t = 934,4/4,4 = 21,2$$

$$d/t < 50\varepsilon$$

$$21,2 < 33 \cdot 1,0$$

$$21,2 < 33,0 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$

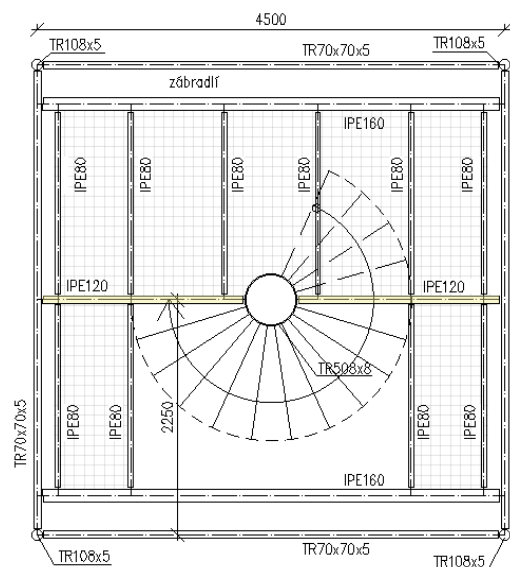
Pásnice:

$$c/t = 22,8/6,3 = 3,6$$

$$c/t < 9\varepsilon$$

$$3,6 < 9 \cdot 1,0$$

$$3,6 < 9,0 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$



Obrázek 18- Nosník IPE 120  
 zdroj: vlastní



## TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,001321 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{310 \text{ kN}}$$

## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Nosník je uložen kloubově na obou koncích, tudíž  $L_{crit}$  bude rovna délce nosníku, tedy 2,25 metru.

Vybočení nosníku kolmo k ose y:

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I_y}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,178 \cdot 10^{-6}}{2,25^2}$$

$$F_{cr} = 1872 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001321 \cdot 235 \cdot 10^3}{1300}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,49$$

Součinitel  $\chi$ :

Křivka vzpěrné pevnosti pro IPE 120 a vybočení kolmo k ose y je - a, tedy součinitel imperfekce  $\alpha = 0,21$ .

$$\chi = 0,93$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 2,25 metrů a kolmo k ose y:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$



$$N_{c,Rd} = \frac{0,93 \cdot 0,001321 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{288 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} < N_{c,Rd}$$

$$1,5 \text{ kN} < 288 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Vybočení nosníku kolmo k ose z:

Jelikož jsou k nosníku připevněny další nosníky IPE v kolmém směru, bude délka pro vybočení menší 2,25 metru. Vzdálenost mezi nosníky je 0,75 metru.

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 2,77 \cdot 10^{-7}}{1,1^2}$$

$$F_{cr} = 473 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001321 \cdot 235 \cdot 10^3}{1018}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,81$$

Součinitel  $\chi$ :

Křivka vzpěrné pevnosti pro IPE 120 a vybočení kolmo k ose z je - b, tedy součinitel imperfekce  $\alpha = 0,34$

$$\chi = 0,7$$

Tlaková únosnost kolmo k ose z pro vzpěrnou délku 1,1 metru:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,7 \cdot 0,001321 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$



$$N_{c,Rd} = 223 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} < N_{c,Rd}$$
$$1,5 \text{ kN} < 223 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST

**1) Únosnost od momentu My:**

Jelikož se jedná o průřez IPE, může zde dojít ke klopení. Ohybová únosnost se potom vypočte ze vztahu:

$$M_{c,Rd} = \chi_{Lt} \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

Pro výpočet  $\chi_{Lt}$  musím zjistit kritický Moment -  $M_{crit}$ .

Pro dosažení výpočtu musím přidat chybějící veličiny oslabeného průřezu -  $I_t$ ,  $I_w$  :

$$I_t = 1,74 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$
$$I_w = 8,90 \cdot 10^{-10} \text{ m}^6$$

Z průběhu momentu, který má parabolický tvar se určí následující součinitelé:

$$k_y = 1,0 ; k_z = 1,0 ; k_w = 1,0$$
$$C_1 = 1,13 ; C_2 = 0,46 ; C_3 = 0,53$$

Bezrozměrný parametr v kroucení  $k_{wt}$ :

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{1 \cdot 1,1} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 8,9 \cdot 10^{-10}}{81 \cdot 10^6 \cdot 1,74 \cdot 10^{-8}}} = 1,04$$

Výpočet  $\mu_{cr}$ :

Jelikož průřez je symetrický a zatížení bude procházet středem smyku, tak součinitelé  $\zeta$  budou nulové.

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \sqrt{1 + 1,04^2}$$

$$\mu_{cr} = 1,63$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$





$$M_{cr} = 1,63 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 3,18 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 1,74 \cdot 10^{-8}}}{1,1}$$

$$M_{cr} = 42 \text{ kNm}$$

Výpočet  $\bar{\lambda}_{LT}$ :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{6,07 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{42}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,58$$

Součinitel  $\chi_{LT}$ :

- součinitel imperfekce = 0,21 (křivka a)

$$\chi_{LT} = 0,9$$

Ohybová únosnost:

$$M_{cy,Rd} = 0,90 \frac{6,1 \cdot 10^{-5} \cdot 235000}{1,0}$$

$$M_{cy,Rd} = \mathbf{12,8 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{cy,Rd}$$

$$7,5 \text{ kNm} < 12,8 \text{ kNm}$$

**2) Únosnost od momentu  $M_z$ :**

$$M_{cz,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{cz,Rd} = \frac{1,358 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cz,Rd} = \mathbf{3,2 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$1 \text{ kNm} < 3,2 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**



## SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{mo}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000631 \cdot \left(\frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = \mathbf{86 \text{ kN}}$$

15 kN < 0,5 · 86 kN -> platí zde malý smyk.

## KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitel  $C_{my} = 0,95$ ,  $C_{mz} = 0,4$  a  $C_{mLT} = 0,95$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}}\right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}}\right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + (0,49 - 0,2) \frac{1,5}{0,93 \cdot 310}\right) \leq 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{1,5}{0,93 \cdot 310}\right)$$

$$k_{yy} = \mathbf{0,95} < 1,00$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda} z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi z \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}}\right] \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \geq \left(1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi z \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}}\right) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}}$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,81}{(0,95 - 0,25) 0,7 \cdot 310}\right] \frac{1,5}{0,7 \cdot 310} \geq \left(1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25) 0,7 \cdot 310}\right) \frac{1,5}{0,7 \cdot 310}$$

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

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}}\right) \leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}}\right)$$

$$k_{zz} = 0,40 \left(1 + (2 \cdot 0,81 - 0,6) \frac{1,5}{0,7 \cdot 310}\right) \leq 0,40 \left(1 + 1,4 \frac{1,5}{0,7 \cdot 310}\right)$$



$$k_{zz} = 0,96$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,96 = \mathbf{0,57}$$

Posouzení:

$$\frac{1,5}{0,93 \cdot 310} + 0,95 \frac{6}{12,8} + 0,57 \frac{1}{3,2} = \mathbf{0,74} \leq 1$$

$$\frac{1,5}{0,86 \cdot 310} + 0,40 \frac{6}{12,8} + 1,00 \frac{1}{3,2} = \mathbf{0,88} \leq 1$$

**vyhovuje**



## 5.7 Podestový nosník – IPE 160

### NÁVRHOVÉ VNITŘNÍ SÍLY

-rozhodující kombinace C03

$$N_{ED} = -1,5 \text{ kN}$$

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

$$M_{z,Ed} = -1,1 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 17,5 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 3,5 \text{ kN}$$

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY IPE 160

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

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

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

$$t_w = 5,0 \text{ mm}$$

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

$$A_{vz} = 966 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 109\,000 \text{ mm}^3$$

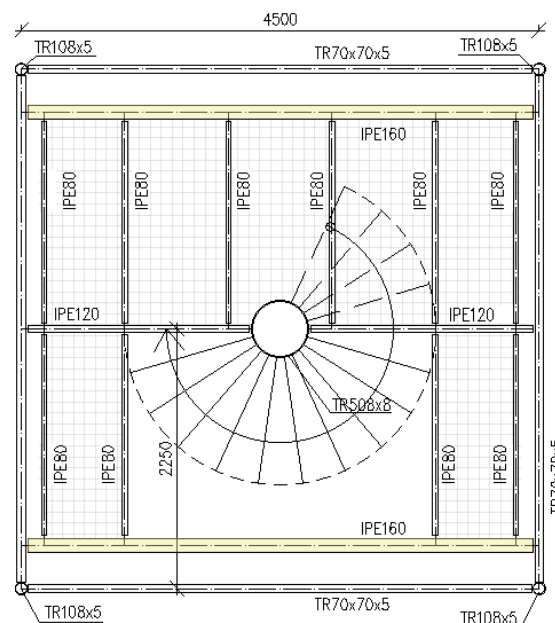
$$W_z = 16\,700 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 8\,693\,000 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 683\,000 \text{ mm}^4$$

$$W_{ply} = 123\,900 \text{ mm}^3$$

$$W_{plz} = 26\,100 \text{ mm}^3$$



Obrázek 19 - Nosník IPE 160  
 zdroj: vlastní

délka nosníku: 4,5 metru,

Ve vzdálenostech cca 900 mm jsou k nosníku připevněny nosníky průřezu IPE, které nesou pororošt. Nejdelší vzdálenost, kde nosník není podepřen je 1,57 metru.

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = 1,0$$

Stojina:

$$d/t = 127,2/5 = 25,4$$

$$d/t \leq 33\varepsilon$$

$$25,4 \leq 33 \cdot 1,0$$

$$25,4 < 33$$

průřez spadá do třídy 1.

Pásnice:

$$c/t = 29,5/7,4 = 4,0$$

$$c/t \leq 9\varepsilon$$

$$4 \leq 9 \cdot 1,0$$

$$4 < 9,0$$

průřez spadá do třídy 1.



## TAHOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,002009 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{472 \text{ kN}}$$

## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Vybočení nosníku kolmo k ose y:

Kritická síla  $F_{cr}$ :

Nosník je uložen kloubově na obou koncích, tudíž  $L_{crit}$  bude rovna délce nosníku, tedy 4,5 metru.

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I_y}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 8,69 \cdot 10^{-6}}{4,5^2}$$

$$F_{cr} = 4000 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,002809 \cdot 235 \cdot 10^3}{4000}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,34$$

Součinitel  $\chi$ :

Křivka vzpěrné pevnosti pro IPE 160 a vybočení kolmo k ose y je křivka a.

$$\chi = 0,97$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 4,5 metru kolmo k ose y:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,97 \cdot 0,002009 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{457 \text{ kN}}$$



Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$1,5 \text{ kN} < 457 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Vybočení nosníku kolmo k ose z:

Jelikož jsou ke stojině nosníku připevněny falší nosníky IPE v kolmém směru, bude délka pro vybočení menší než 4,5 metru. Vzdálenost mezi nosíky je běžně 0,90 metru, ale největší vzdáleností je 1,57 metru, tudíž se tato hodnota bude dosazovat za  $L_{crit}$ .

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I_z}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 6,83 \cdot 10^{-6}}{1,57^2}$$

$$F_{cr} = 574 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,002009 \cdot 235 \cdot 10^3}{574}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,91$$

Součinitel  $\chi$ :

Křivka vzpěrné pevnosti pro IPE 160a vybočení kolmo k ose z je křivka b.

$$\alpha = 0,34$$

$$\chi = 0,66$$

Tlaková únosnost kolmo k ose z pro vzpěrnou délku 0,90 metrů:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,66 \cdot 0,002009 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{310 \text{ kN}}$$

Posouzení:



$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$
$$1,5 \text{ kN} < 310 \text{ kN}$$

vyhovuje

## OHYBOVÁ ÚNOSNOST

### 1) Únosnost od momentu $M_y$ :

$$M_{cy,Rd} = \chi_{Lt} \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$I_t = 3,6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$
$$I_w = 3,96 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$
$$L = 1,57 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0 ; k_z = 1,0 ; k_w = 1,0$$
$$C_1 = 1,36 ; C_2 = 0,46 ; C_3 = 0,53$$

Bezrozměrný parametr v kroucení  $k_{wt}$ :

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{1 \cdot 1,57} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,96 \cdot 10^{-9}}{81 \cdot 10^6 \cdot 3,6 \cdot 10^{-8}}} = 1,07$$

Výpočet  $\mu_{cr}$ :

Jelikož průřez je symetrický a zatížení bude procházet středem smyku, tak součinitelé  $\zeta$  budou nulové.

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \sqrt{1 + 1,07^2}$$

$$\mu_{cr} = 1,65$$

Kritický Moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 1,65 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 6,83 \cdot 10^{-7} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 3,6 \cdot 10^{-8}}}{1,57}$$

$$M_{cr} = 67,6 \text{ kNm}$$



Výpočet  $\bar{\lambda}_{LT}$ :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{12,4 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{67,6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,66$$

Součinitel  $\chi_{LT}$ :

součinitel imperfekce = 0,21 (křivka a)

$$\chi_{LT} = 0,87$$

Ohybová únosnost:

$$M_{cy,Rd} = 0,87 \frac{12,4 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cy,Rd} = \mathbf{25 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{cy,Rd}$$
$$19 \text{ kNm} < 25 \text{ kNm}$$

**2) Únosnost od momentu  $M_z$ :**

$$M_{cz,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{cz,Rd} = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cz,Rd} = \mathbf{6 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{cz,Rd}$$
$$1,1 \text{ kNm} < 6 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

**SMYKOVÁ ÚNOSNOST**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000966 \cdot \left(\frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$





$$V_{pl,Rd} = 131 \text{ kN}$$

Jelikož  $17,5 \text{ kN} < 0,5 \cdot 131 \text{ kN}$ , platí malý smyk

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$17,5 \text{ kN} < 131 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitel  $C_{my} = 0,95$ ,  $C_{mz} = 0,4$  a  $C_{mLT} = 0,95$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right) \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left( 1 + (0,34 - 0,2) \frac{1,5}{0,97 \cdot 472} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 0,8 \frac{1,5}{0,97 \cdot 472} \right)$$

$$k_{yy} = \mathbf{0,95} < 1,00$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right] \geq \left( 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,91}{(0,95 - 0,25)} \frac{1,5}{0,67 \cdot 472} \right] \geq \left( 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \frac{1,5}{0,67 \cdot 472} \right)$$

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

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,40 \left( 1 + (2 \cdot 0,91 - 0,6) \frac{1,5}{0,67 \cdot 472} \right) \leq 0,40 \left( 1 + 1,4 \frac{1,5}{0,67 \cdot 472} \right)$$

$$k_{zz} = \mathbf{0,90}$$



součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \cdot 0,90 = \mathbf{0,54}$$

Posouzení:

$$\frac{1,5}{0,97 \cdot 472} + 0,95 \frac{19}{25} + 0,54 \frac{1,1}{6} = \mathbf{0,82} \leq 1$$

$$\frac{1,5}{0,97 \cdot 472} + 1,0 \frac{19}{25} + 0,9 \frac{1,1}{6} = \mathbf{0,93} \leq 1$$

**vyhovuje**



## 5.8 Krokev - IPE 140

### NÁVROVÉ VNITŘNÍ SÍLY

$$N_{Ed} = -23 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 9 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 0,5 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 15 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,10 \text{ kN}$$

Rozhodující kombinace CO6

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$b = 73 \text{ mm}$$

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

$$t_f = 6,9 \text{ mm}$$

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

$$A = 1643 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 764 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 77\,300 \text{ mm}^3$$

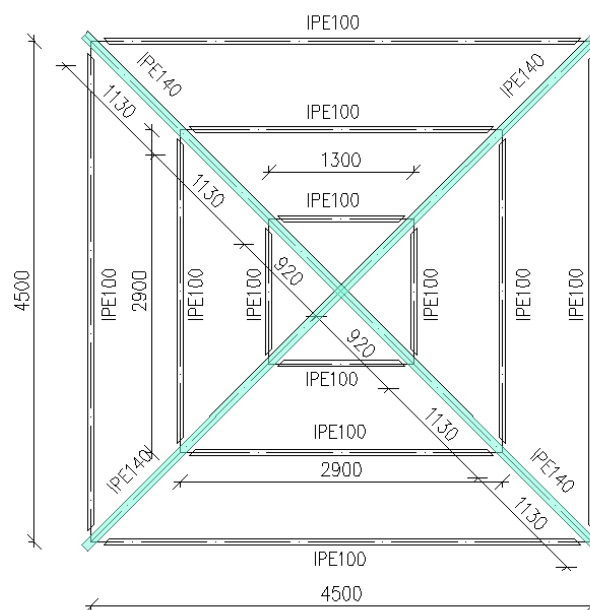
$$W_z = 12\,300 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 5\,412\,000 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 449\,200 \text{ mm}^4$$

$$W_{ply} = 88\,340 \text{ mm}^3$$

$$W_{plz} = 19\,250 \text{ mm}^3$$



Obrázek 20 - Krokev IPE 140  
zdroj: vlastní

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = 1,0$$

Stojina:

$$d/t = 112,2/4,7 = 23,87$$

$$23,87 < 38\varepsilon$$

$$23,87 < 38 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$

Pásnice:

$$c/t = 27,2/6,9 = 3,9$$

$$c/t < 9\varepsilon$$

$$3,9 < 9 \cdot 1,0$$

$$3,9 < 9,0 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$



## TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,001643 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{388 \text{ kN}}$$

## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Vybočení kolmo ke směru y:

$$L_{crit} = 7,42 \text{ metru} = L$$

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I_y}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 5,41 \cdot 10^{-6}}{7,42^2}$$

$$F_{cr} = 1510 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001643 \cdot 235 \cdot 10^3}{1510}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,51$$

Součinitel  $\chi$ :

součinitel imperfekce  $\alpha = 0,21$

$$\chi = 0,92$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 4,5 metru:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,92 \cdot 0,001643 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{356 \text{ kN}}$$



Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$
$$23 \text{ kN} < 221 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Vybočení kolmo ke směru z:

Největší rozteč mezi vaznicemi, které nesou trapézový plech je 1,2 metru.  $L_{crit}$  se bude rovnat této vzdálenosti, tedy 1,2 metru.

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I_z}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 4,49 \cdot 10^{-6}}{1,2^2}$$

$$F_{cr} = 646 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001643 \cdot 235 \cdot 10^3}{646}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,77$$

Součinitel  $\chi$ :

Křivka vzpěrné pevnosti pro IPE 140 je křivka b- tedy součinitel imperfekce  $\alpha = 0,34$

$$\chi = 0,74$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 1,2 metru:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,74 \cdot 0,001643 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = 286 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$
$$23 \text{ kN} < 268 \text{ kN}$$

**vyhovuje**



## OHYBOVÁ ÚNOSNOST

### 1) Únosnost od momentu $M_y$ :

$$M_{c,Rd} = \chi_{Lt} \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

Pro výpočet  $\chi_{Lt}$  musím zjistit kritický Moment -  $M_{crit}$ .

$$I_t = 2,45 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_w = 1,98 \cdot 10^{-9} \text{ m}^6$$

$$L = 1,2 \text{ m}$$

Jelikož je tlačena pásnice zde držena vaznicemi.

Z průběhu momentu se určí následující součinitelé:

$$k_y = 1,0 ; k_z = 1,0 ; k_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,13 ; C_2 = 0,46 ; C_3 = 0,53$$

Bezrozměrný parametr v kroucení  $k_{wt}$ :

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{1 \cdot 1,21} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 1,98 \cdot 10^{-9}}{81 \cdot 10^6 \cdot 2,45 \cdot 10^{-8}}} = 1,2$$

Výpočet  $\mu_{cr}$ :

Jelikož průřez je symetrický a zatížení bude procházet středem smyku, tak součinitelé  $\zeta$  budou nulové.

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \sqrt{1 + 1,2^2}$$

$$\mu_{cr} = 1,76$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 1,76 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 4,49 \cdot 10^{-7} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 2,45 \cdot 10^{-8}}}{1,2}$$

$$M_{cr} = 63 \text{ kNm}$$



Výpočet  $\bar{\lambda}_{LT}$ :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{8,83 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{63}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,57$$

Součinitel  $\chi_{LT}$ :

- součinitel imperfekce = 0,21 (křivka a)

$$\chi_{LT} = 0,9$$

Ohybová únosnost:

$$M_{cy,Rd} = 0,9 \frac{8,83 \cdot 10^{-6} \cdot 235000}{1,0}$$

$$M_{cy,Rd} = \mathbf{18,6 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} < M_{cy,Rd}$$

$$9 \text{ kNm} < 18,6 \text{ kNm}$$

**2) Únosnost od momentu  $M_z$ :**

$$M_{cz,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{cz,Rd} = \frac{1,93 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cz,Rd} = 4,5 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,5 \text{ kNm} < 4,5 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

**SMYKOVÁ ÚNOSNOST**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,0000764 \cdot \left(\frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$



$$V_{pl,Rd} = 104 \text{ kN}$$

15 kN < 0,5 · 104 kN, platí zde malý smyk.

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$15 \text{ kN} < 104 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitel  $C_{my} = 0,95$ ,  $C_{mz} = 0,90$ ,  $C_{LT} = 0,95$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk/\gamma_{m1}}} \right) \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk/\gamma_{m1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left( 1 + (0,51 - 0,2) \frac{23}{0,9 \cdot 386} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 0,8 \frac{23}{0,9 \cdot 386} \right)$$

$$k_{yy} = \mathbf{0,97} < \mathbf{1,1}$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \cdot 0,97 = 0,58$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{rk/\gamma_{m1}}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{rk/\gamma_{m1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,90 \left( 1 + (2 \cdot 0,77 - 0,6) \frac{23}{0,74 \cdot 386} \right) \leq 0,90 \left( 1 + 0,8 \frac{23}{0,74 \cdot 386} \right)$$

$$k_{zz} = \mathbf{0,97} < \mathbf{1,0}$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{rk/\gamma_{m1}}} \right] \geq \left( 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{rk/\gamma_{m1}}} \right)$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,77}{(0,95 - 0,25)} \frac{23}{0,74 \cdot 386} \right] \geq \left( 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \frac{23}{0,74 \cdot 386} \right)$$





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

Posouzení:

$$\frac{23}{0,9 \cdot 386} + 0,97 \frac{9,2}{18,6} + 1,0 \frac{0,5}{4,5} = \mathbf{0,66} \leq 1$$

$$\frac{23}{0,74 \cdot 386} + 0,58 \frac{9,2}{18,6} + 0,96 \frac{0,5}{4,5} = \mathbf{0,47} \leq 1$$

**vyhovuje**

## 5.9 Vaznice pro střešní plášť

zatížení – nejnepříznivější kombinace – C06

- tíha trapézového plechu – 0,02 kN/m<sup>2</sup>
- vl. tíha vaznice – 0,06 kN/m
- sníh – 0,96 kN/m<sup>2</sup>
- vítr – 0,8 kN/m<sup>2</sup>

Délka – 4,5 metru (nejdelší varianta vaznice)

Rozteč – 0,80 metru

Spojité zatížení na krajní vaznici (poloviční zatěžovací plocha):

- trapézový plech – 0,008 kN/m
- vlastní tíha – 0,06 kN/m
- sníh – 0,96 · 0,4 = 0,38 kN/m
- vítr – 0,8 · 0,4 = 0,32 kN/m

Nejnepříznivější kombinace:

1,35 stále + 1,5 sníh na střeše + (1,5·0,7) vítr

$$1,35 (0,008+0,06) + 1,5(0,38) + 1,02(0,32) = 1 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = (1/8) fl^2 = (1/2) \cdot 1 \cdot 4,5^2 = 2,5 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{39,4 \cdot 10^{-6} \cdot 235000}{1,0} = \mathbf{9,3 \text{ kNm}}$$

Posouzení:



$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$
$$2,5 \text{ kNm} < 9,3 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

### POSOUZENÍ PRŮHYBU

$$w = (5/384) q l^4 / EI = (5/384) \cdot 1 \cdot (4,5)^4 / 210 \cdot 10^6 \cdot 1,71 \cdot 10^{-6} = 14,9 \text{ mm}$$
$$L_{\text{limt}} = 18 \text{ mm}$$

Detail připojení vaznice na krokev je ve výkresové části.

## 5.10 Schodišťový stupeň a mezipodesta

Schodišťový stupeň bude vyroben na zakázku, už jen kvůli svému tvaru. Bude se skládat z pororoštu a dvou bočních plechů - bočnic tloušťky 10 mm a pororoštu 30/30. Přípustné zatížení je více než 5 kN/m<sup>2</sup>.

Ilustrativní stupeň je uveden na obrázku.

Ke schodišťovému stupni je z boku připevněn plech, ke kterému je přivařeno zábradlí. Výška zábradlí bude 1100 mm a maximální vzdálenost mezi sloupky zábradlí bude 140 mm. Zábradlí bude opatřeno madlem průměru 80 mm.

Schodišťový stupeň bude opatřen protiskluzovou nášlapnou hranou.

Schéma tvaru schodišťového stupně je uvedeno ve výkresové části.

To samé platí pro pororošty použité jako podesta či mezipodesta. Zde bude použit pororošt typu 30/3 (s velikostí ok 30/30), který má maximální plošné přípustné zatížení 18,82 kN/m<sup>2</sup> a průhyb při tomto zatížení činí 4,2 mm.

Uchycení roštů k nosníkům IPE 80 je za pomoci nerezové spojky s profilovou příložkou a šroubem.

Schodišťový stupeň i podesta jsou opatřeny zinkovou povrchovou úpravou, jelikož se tato úprava doporučuje do venkovních prostor samotným výrobcem.





Posouzení:

$$V_{Ed,c} \leq F_{b,Rd}$$
$$17,5 \text{ kN} < 27 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{m2}}$$

$$k_1 = \min[2,5; ((2,8e_2/d_0)-1,7)]$$

$$k_1 = [2,5; 2,8 \cdot 25/13] - 1,7 = \min[2,5; 3,68]$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(e_1/3d_0; 500/360; 1,0) = \min(0,77; 1,38; 1,0)$$

t = tloušťka stojiny nosníku

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 0,012 \cdot 0,004}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 26,6 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{Ed,c} \leq F_{b,Rd}$$
$$17,5 \text{ kN} < 26,6 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

POSOUZENÍ SVARU

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 17,5 \cdot 0,025 = 0,44 \text{ kNm}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 60 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{17,5}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,06} = 48,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} = \frac{0,44}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) 0,003 \cdot 0,06^2} = 122,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 122,2 / \sqrt{2} = 86,4 \text{ MPa}$$

Posouzení:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$
$$\sqrt{86,4^2 + 3(86,4^2 + 48,6^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$



192,3 MPa < 360 MPa

**vyhovuje**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

86,4 MPa < 259,2 MPa

**vyhovuje**

## POSUDEK PŘÍLOŽKOVÉHO PLECHU

Kritický řez v tahu a ve smyku:

$$A_{nv} = t_p(e_1 - 0,5d_0) = 0,005(0,03 - 1,5 \cdot 0,013) = 5,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{nt} = t_p(e_2 - d_0/2) = 0,005(0,025 - 0,013/2) = 9,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Únosnost kritického řezu v tahu a ve smyku:

$$F_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$F_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 9,3 \cdot 10^{-5} \cdot 360000}{1,25} + \frac{5,25 \cdot 10^{-5} \cdot 235000}{1,0} = 25,7 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

17,5 kN < 25,7 kN

**vyhovuje**

Únosnost ve smyku:

$$A_{v,net} = (h_p - d_0) \cdot t = (0,06 - 0,013) \cdot 0,005 = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{oslabená plocha}$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 31,9 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

17,5 kN < 31,9 kN

**vyhovuje**

Ohybová únosnost plechu:

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$W_{el} = (1/6) \cdot t_p \cdot h_p^2 = (1/6) \cdot 0,005 \cdot 0,06^2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 235000}{1,0} = 0,71 \text{ kNm}$$



**Posouzení:**

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,51 \text{ kNm} < 0,71 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

**POSOUZENÍ STOJINY PŘIPOJOVANÉHO NOSNÍKU**

**Únosnost stojiny ve smyku:**

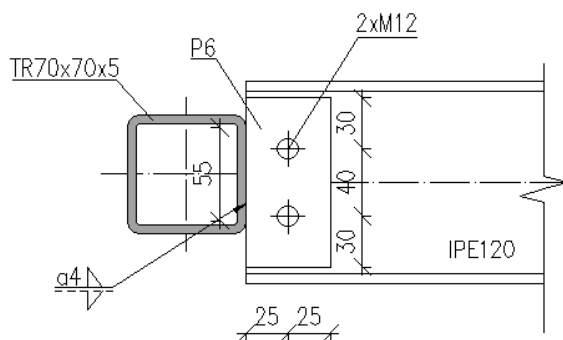
$$A_{v,net} = (h_w - d_o) \cdot t_w = (0,127 - 0,013) \cdot 0,005 = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{5,7 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 77 \text{ kN}$$

Posouzení oslabeného průřezu v tahu nebude prováděn, jelikož průřezům v žádné z kombinací nevychází výrazný tah.

**5.11.2 Připojení nosníku IPE 120 ke ztužidlu**

Připojení nosníku IPE120 ke ztužidlu (trubka 70x70x5)



Obrázek 22 - Přípoj IPE 120 I  
 zdroj: vlastní

Návrhová maximální síla  $F_{VEd} = 15 \text{ kN}$

Jelikož je návrhová síla menší než u posudku IPE 160 a parametry detailu (příložkový plech, šrouby, svar) nebudou posudky znovu počítány, jelikož vyhoví.

Posoudí se pouze smyková únosnost stojiny IPE.

**Posouzení smykové únosnosti stojiny:**

$$A_{v,net} = (h_w - d_o) \cdot t_w = (0,1 - 0,013) \cdot 0,0041 = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 49 \text{ kN}$$

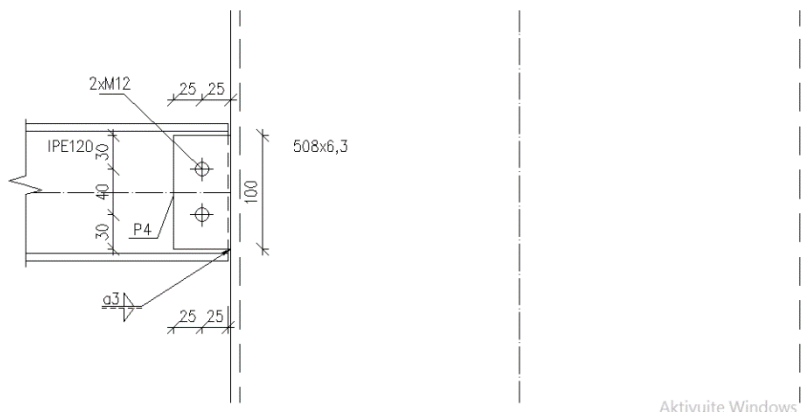
**Posouzení:**

$$15 \text{ kN} < 35 \text{ kN}$$

**vyhovuje**



### 5.11.3 Připojení IPE 120 k vřetenové trubce



Obrázek 23 - Přípoj IPE 120 II  
zdroj: vlastní

Návrh 2x šroub **M12 6.8**,  $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$

$f_{yb} = 480 \text{ MPa}$

$f_{ub} = 600 \text{ MPa}$

Posudek únosnosti ve stříhu a v otlacení je identický jako u připojení IPE ke ztužidlové trubce.

Návrhová maximální síla  $F_{VEd} = 15 \text{ kN}$

$M_{Ed} = F_{VEd} \cdot e = 15 \cdot 0,025 = 0,38 \text{ kN}$

#### POSOUZENÍ SVARU

$a_w = 3 \text{ mm}$

$l_w = 100 \text{ mm}$

$$\tau_{II} = \frac{F_{VEd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{15}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,1} = 25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} = \frac{0,38}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) 0,003 \cdot 0,1^2} = 38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 38 / \sqrt{2} = 26,87 \text{ MPa}$$

#### Posouzení:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$



$$\sqrt{26,87^2 + 3(26,87^2 + 25^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$45,486 \text{ MPa} < 36 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

II.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$26,870 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$26,870 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

### POSUDEK PŘÍLOŽKOVÉHO PLECHU

Kritický řez v tahu a ve smyku:

$$A_{nv} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{nt} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Únosnost kritického řezu v tahu a ve smyku:

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{Rd} = 25,53 \text{ kN (viz posudek IPE ke ztužidlové trubce)}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$15 \text{ kN} < 19,14 \text{ kN}$$

Únosnost smyku:

Viz posudek připojení nosníku IPE ke ztužidlu.

Ohybová únosnost plechu:

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$W_{el} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = 0,71 \text{ kNm}$$





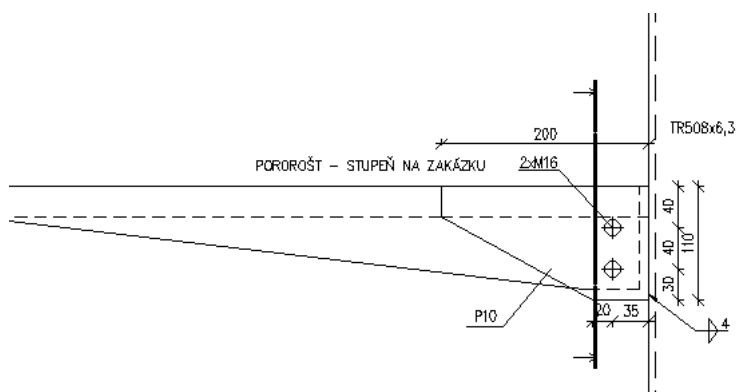
Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,38 \text{ kNm} < 0,71 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

### 5.11.4 Připojení schodišťového stupně



Obrázek 24 - Připojení schodišťového stupně  
zdroj: vlastní

#### Připojení nosníku k vřetenové trubce

Návrh 2x šroub **M16, 6.8**  $A_s = 2 \cdot 157 \text{ mm}^2$

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

Návrhová posouvací síla 2,6 kN, navrženy celkem 2 šrouby  $\rightarrow F_{1,F} = F/2 = 2,6/2 = 1,3 \text{ kN}$

Návrhový moment  $M=2,14 \text{ kNm}$ , - vzdálenost mezi jednotlivými šrouby je 40 mm.

$$F_{1,M} = M/h = 2,14/0,04 = 53,5 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed} = (F_{1,F}^2 + F_{1,M}^2)^{1/2} = (1,3^2 + 53,5^2)^{1/2} = 53,5 \text{ kN}$$

#### ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{yb} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{m2}}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot 480 \cdot 10^3 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{1,25}$$

$$F_{V,Rd} = 72 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd}$$

$$53,5 \text{ kN} < 72 \text{ kN}$$

**vyhovuje**



## ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{m2}}$$

$$k_1 = \min [2,5; ((2,8e_2/d_0)-1,7)]$$

$$k_1 = [2,5 ; 2,8 \cdot 25/13) - 1,7] = \min[2,5; 3,68]$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(e_1/3d_0; 500/360; 1,0) = \min(0,56; 1,38; 1,0)$$

t = tloušťka plechu pro pororošt - 10 mm

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 0,016 \cdot 0,01}{\gamma_{m2}}$$

$$F_{b,Rd} = 64 \text{ kN}$$

### Posouzení:

$$F_{V,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$53,5 \text{ kN} < 64 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

## POSOUZENÍ SVARU

$$V_{Ed} = 2,6 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M + V_{Ed} \cdot e = 2,14 + 2,6 \cdot 0,035 = 2,23 \text{ kNm}$$

### Návrh svaru:

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 110 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{2,6}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,11} = 2,955 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} = \frac{2,23}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) 0,004 \cdot 0,11^2} = 137,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 137,6 / \sqrt{2} = 97,3 \text{ MPa}$$

### Posouzení:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{97,3^2 + 3(97,3^2 + 2,955^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$



$$194,667 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

II.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$97,3 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

### POSUDEK PŘÍLOŽKOVÉHO PLECHU

Kritický řez v tahu a ve smyku:

$$A_{nv} = t_p(e_1 + p_1 - 1,5d_0) = 0,01(0,03 + 0,04 - 1,5 \cdot 0,018) = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{nt} = t_p(e_2 - d_0/2) = 0,01(0,035 - 0,018/2) = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Únosnost kritického řezu v tahu a ve smyku:

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot 360000}{1,25} + \frac{4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{1,0} = 98,5 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$53,5 \text{ kN} < 98,5 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Únosnost průřezu v tahu a ve smyku:

$$A_{v,net} = (h_p - 2 \cdot d_0) \cdot t = (0,11 - 2 \cdot 0,018) \cdot 0,01 = 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{7,4 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 174 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$53,5 \text{ kN} < 174 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Ohybová únosnost plechu:

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$W_{el} = (1/6) \cdot t_p \cdot h_p^2 = (1/6) \cdot 0,01 \cdot 0,11^2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 235000}{1,0} = 4,7 \text{ kNm}$$



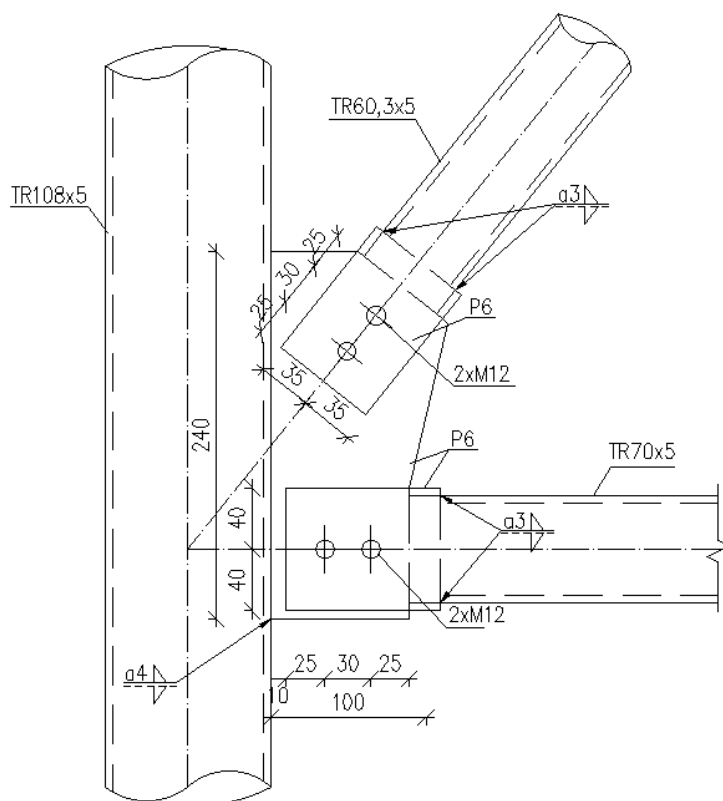
**Posouzení:**

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$
$$2,23 \text{ kNm} < 4,7 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

Jelikož má připojený nosník prakticky totožné rozměry jako plech, není nutné zde uvádět výpočet, který by měl téměř identické hodnoty.

### 5.11.5 Připojení ztužidel ke sloupu



Obrázek 25 - Připoj ztužidel  
zdroj: vlastní

### POSOUZENÍ SPOJE ŠIKMÉHO ZTUŽIDLA

Návrhová posouvající síla šikmého ztužidla,  $N_{1} = - 26 \text{ kN}$

- Návrhová svislá síla  $F_{sd,1} = N_{1} \cdot \sin 51 = 20,4 \text{ kN}$ .

-Návrhová vodorovná síla  $F_{vd,1} = N_{1} \cdot \cos 51 = 16,7 \text{ kN}$

Návrh 2x2 šroub **M12 5.8**,  $A_s = 168,6 \text{ mm}^2$

$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$



### ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{yb} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{m2}}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 168,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 27 \text{ kN}$$

#### Posouzení:

$$V_{Ed,c} \leq F_{v,Rd}$$
$$26 \text{ kN} < 27 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = 34,3 \text{ kN}$$

odečteno z tabulek

#### Posouzení:

$$F_{Ed} \leq F_{b,Rd}$$
$$26 \text{ kN} < 34,3 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### POSOUZENÍ SPOJE VODOROVNÉ TRUBKY

Návrhová posouvající síla vodorovného ztužidla  $F_{Ed} = 15 \text{ kN}$

-šroub 2x **M12 5.8**,  $A_s = 168,6 \text{ mm}^2$

### ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{yb} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{m2}}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 168,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 25 \text{ kN}$$

### ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{k1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{m2}}$$

$$F_{b,Rd} = 34 \text{ kN, odečteno z tabulek}$$



Posouzení:

$$V_{Ed,c} \leq F_{v,Rd}$$

$$15 \text{ kN} < 34 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### POSOUZENÍ SVARU PŘIPOJENÍ PLECHU K TRUBCE TR108

$$F_{vd} = 16,7 + 15 = 31,7 \text{ kN (vodorovná síla)}$$

$$F_{sd} = 20,2 + 14 = 34,2 \text{ kN (svislá síla)}$$

$$M_{Ed} = F_{Hd} \cdot e = 16,7 \cdot 0,01 + 15 \cdot 0,07 = 1,2 \text{ kNm}$$

Návrh svaru:

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 240 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F_{sd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{34,2}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,240} = 23,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{F_{vd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} =$$

$$\frac{31,7}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,240} + \frac{1,2}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) 0,004 \cdot 0,240^2} = 42,847 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 42,847 / \sqrt{2} = 30,298 \text{ MPa}$$

Posouzení:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$
$$\sqrt{30,298^2 + 3(30,298^2 + 23,75^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$73,24 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

II.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$30,298 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

### POSOUZENÍ OSLABENÉHO PRŮŘEZU TR70 X 70 X 5

$$N_{Ed} = 15 \text{ kN}$$

$$A_{net} = A - 2 \cdot b \cdot t = 1270 - (2 \cdot 4 \cdot 5) = 1230 \text{ mm}^2 = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$



$$N_{Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$N_{Rd} = \frac{0,9 \cdot 1,23 \cdot 10^{-3} \cdot 360000}{1,25} = 319 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$
$$15 \text{ kN} < 319 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

POSOUZENÍ OSLABENÉHO PRŮŘEZU STYČNÍKOVÉHO PLECHU

$$A_{net} = (80 - 13)t = 67 \cdot 4 = 268 \text{ mm}^2 = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{0,9 \cdot 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot 360000}{1,25} = 69 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd}$$
$$15 \text{ kN} < 69 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

POSOUZENÍ SVARU TRUBKY A PLECHU

$$N_{Ed} = 15 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} = 14 \text{ kN}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$
$$l_w = 2 \cdot 20 = 40 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{15}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,04} = 62,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{14}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,04} = 58,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 58333 / \sqrt{2} = 41,248 \text{ MPa}$$

Posouzení:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{41,248^2 + 3(41,248^2 + 62,5^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$135,104 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**



II.

$$\sigma_{\perp} \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$41,248 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

### OHYBOVÁ ÚNOSNOST PLECHU

$$M_{ed} = V_{Ed} \cdot (e) = 14 \cdot 0,08 = 1,12 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$W_{el} = (1/6) \cdot t_p \cdot h_p^2 = (1/6) \cdot 0,006 \cdot 0,08^2 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{6,4 \cdot 10^{-6} \cdot 235000}{1,0} = 1,5 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$1,12 \text{ kNm} < 1,5 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

### POSOUZENÍ OSLABENÉHO PRŮŘEZU STYČNÍKOVÉHO PLECHU

$$A_{net} = (70 - 13)t = 52 \cdot 6 = 342 \text{ mm}^2 = 3,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{0,9 \cdot 3,42 \cdot 10^{-4} \cdot 360000}{1,25} = 89 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$15 \text{ kN} < 89 \text{ kN}$$

### POSOUZENÍ SVARU TRUBKY A PLECHU

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 2 \cdot 20 = 40 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{26}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,03} = 108,333 \text{ MPa}$$





$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

Posouzení:

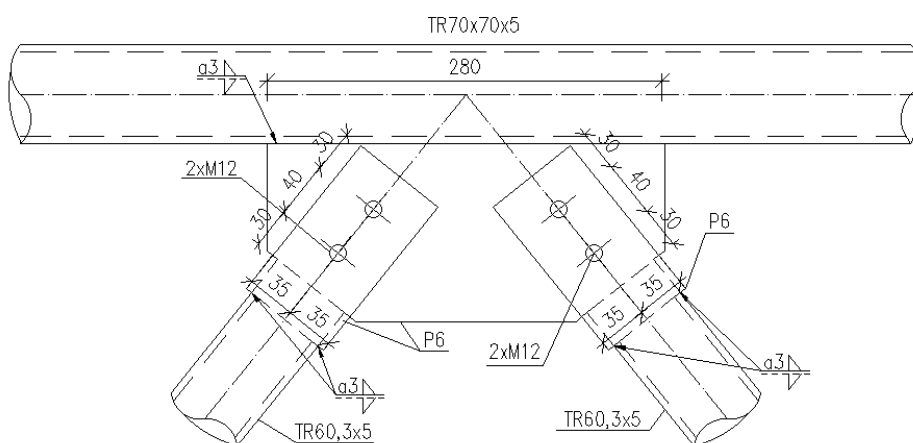
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3(0^2 + 108,333^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$187,628 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

### 5.11.6 Přípoj šikmých ztužidel



Obrázek 26 - Připojení šikmých ztužidel  
 zdroj: vlastní

Návrhová posouvající síla šikmého ztužidla  $N_1 = - 26 \text{ kN}$

- Návrhová svíslá síla  $F_{sd,1} = N_1 \cdot \sin 51 = 20,4 \text{ kN}$ .

-Návrhová vodorovná síla  $F_{vd,1} = N_1 \cdot \cos 51 = 16,7 \text{ kN}$

Návrhová posouvající síla druhého šikmého ztužidla  $N_2 = 15 \text{ kN}$

- Návrhová svíslá síla  $F_{sd,2} = N_2 \cdot \sin 51 = 11,7 \text{ kN}$ .

-Návrhová vodorovná síla  $F_{vd,2} = N_2 \cdot \cos 51 = 9,4 \text{ kN}$

### ÚNOSNOST VE STŘIHU A V OTLAČENÍ

- viz předcházející posudek diagonály



## POSOUZENÍ SVARU PLECHU K TRUBCE

$$F_{vEd} = 16,7 + 9,4 = 26,1 \text{ kN}$$

$$F_{sEd} = 20,4 + 11,7 = 32,1 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = F_{sEd} \cdot e = 32,1 \cdot 0,028 = 0,9 \text{ kNm}$$

## POSOUZENÍ SVARU

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 280 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F_{vEd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{26,1}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,28} = 15,336 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{F_{vEd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} = \frac{26,1}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,28} + \frac{0,9}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,28^2} = 21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 21 / \sqrt{2} = 14,864 \text{ MPa}$$

### Posouzení:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$
$$\sqrt{21^2 + 3(21^2 + 15,336^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$39,866 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

II.

$$\sigma_w \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$14,864 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

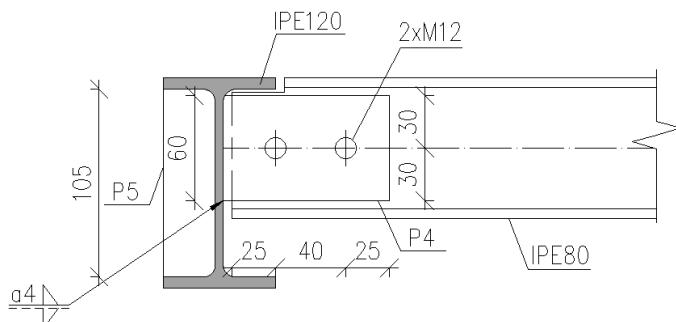
**vyhovuje**

## POSUDEK STYČNÍKOVÉHO PLECHU

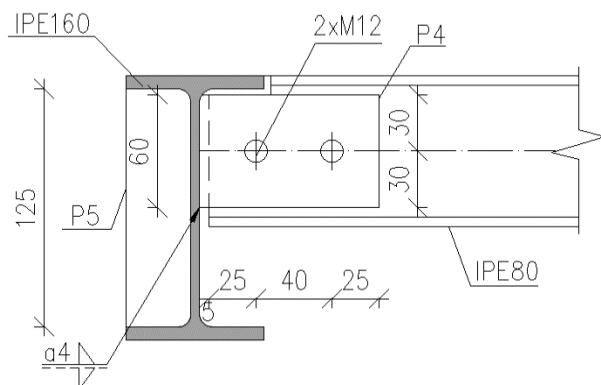
rozměry i návrh je identický jako v předcházejícím posouzení. Nebude se tedy znovu posuzovat a spoj vyhoví.



### 5.11.7 Připojení nosníku IPE 80 k nosníkům IPE 160 a IPE 120



Obrázek 27 - Připojení IPE 80 k IPE 120



Obrázek 28 - Připojení IPE 80 k IPE 160

$$V_{Ed,max} = 6,7 \text{ kN}$$

Návrh 2x šroub **M12 4.8**,  $A_s = 168,6 \text{ mm}^2$

$$f_{yb} = 320 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$$

Návrhová síla  $F_{Ed} = 6,7 \text{ kN}$

#### ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{yb} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{m2}}$$

$\alpha_v = 0,5$  pro šrouby 4.8

$n = 1$  (1 střižná rovina)

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 320 \cdot 10^3 \cdot 168,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{1,25}$$



$$F_{v,Rd} = 21,6 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{Ed,c} \leq F_{v,Rd}$$
$$6,7 \text{ kN} < 21,6 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$F_{b,Rd} = 21,7 \text{ kN}$ ,  
viz tabulky, pro doporučené rozteče

Posouzení:

$$V_{Ed,c} \leq F_{b,Rd}$$
$$6,7 \text{ kN} < 21,7 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

POSOUZENÍ SVARU

$$V_{Ed} = 6,7 \text{ kN}$$
$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 6,7 \cdot 0,05 = 0,34 \text{ kNm}$$

Účinné rozměry svaru:

$$a_w = 3 \text{ mm}$$
$$l_w = 60 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{6,7}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,06} = 18,611 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} = \frac{0,34}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) 0,003 \cdot 0,06^2} = 93,065 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 93,056 / \sqrt{2} = 65,8 \text{ MPa}$$

Posouzení:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{65,8^2 + 3(65,8^2 + 18,611^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$135,490 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**



II.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$65,8 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

### POSUDEK PŘÍLOŽKOVÉHO PLECHU

Únosnost kritického řezu v tahu a ve smyku:

$$A_{nv} = t_p(e_1 - 0,5d_0) = 0,004(0,03 - 0,5 \cdot 0,013) = 9,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{nt} = t_p(e_2 - 1,5d_0) = 0,004(0,025 - 0,013/2) = 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$F_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$F_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 7,4 \cdot 10^{-5} \cdot 360000}{1,25} + \frac{9,4 \cdot 10^{-5} \cdot 235000}{1,0} = 32,8 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd}$$

$$6,7 \text{ kN} < 32,8 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Únosnost plechu ve smyku:

$$A_{v,net} = (h_p - d_0) \cdot t = (0,60 - 0,013) \cdot 0,004 = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{1,9 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 25,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$6,7 \text{ kN} < 25,5 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Ohybová únosnost plechu:

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$W_{el} = (1/6) \cdot t_p \cdot h_p^2 = (1/6) \cdot 0,004 \cdot 0,06^2 = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 235000}{1,0} = 0,6 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,34 \text{ kNm} < 0,6 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**



## POSOUZENÍ STOJINY PŘIPOJOVANÉHO NOSNÍKU

Únosnost stojiny IPE ve smyku:

$$A_{v,net} = (h_w - d_0) \cdot t_w = (0,0596 - 0,013) \cdot 0,0038 = 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{1,77 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 24 \text{ kN}$$

Posouzení oslabeného průřezu IPE v tahu:

$$N_{Ed} = 5,2 \text{ kN}$$

$$A_{net} = (65 - 13) \cdot 6 = 312 \text{ mm}^2 = 3,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = \frac{0,9 \cdot 3,12 \cdot 10^{-4} \cdot 360000}{1,25} = 8 \text{ kN}$$

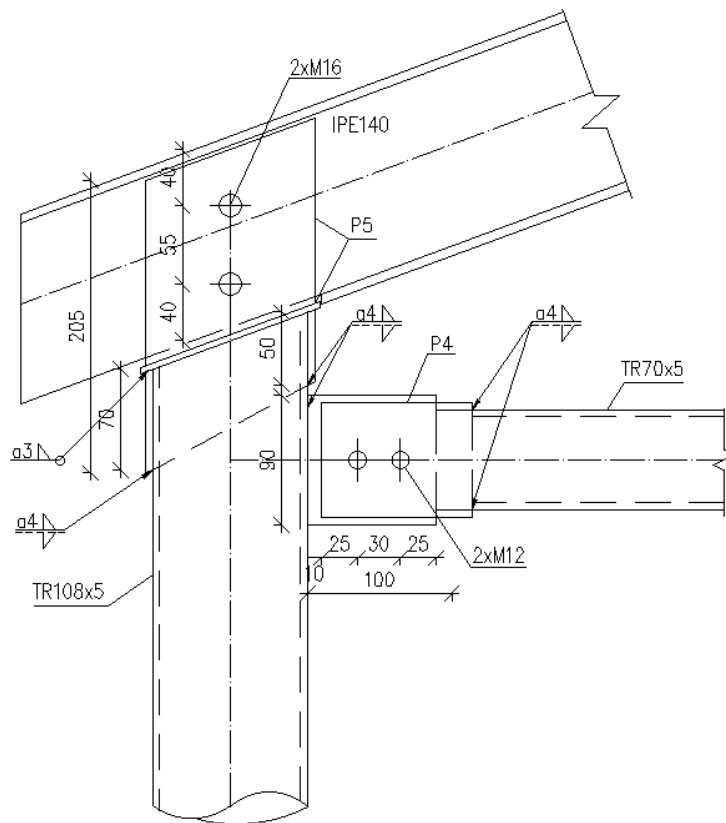
Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{Net,Rd}$$
$$5,2 \text{ kN} < 8 \text{ kN}$$

**vyhovuje**



### 5.11.8 Návrh přípoje krokve



Obrázek 29 - Přípoj krokve  
 zdroj: vlastní

$$F_{Eds} = 21 \cdot \sin 20 + 12,5 \cdot \cos 20 = 19 \text{ kN}$$

$$F_{Edv} = 21 \cdot \cos 20 + 12,5 \cdot \sin 20 = 24 \text{ kN}$$

Návrh 2x šroub **M16 4.8**,  $A_s = 314 \text{ mm}^2$

$$f_{yb} = 320 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$$

#### ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{yb} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{m2}}$$

$$\alpha_v = 0,5 \text{ pro šrouby 4.8}$$

$$n = 1 \text{ (1 střížná rovina)}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 320 \cdot 10^3 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 40 \text{ kN}$$



Posouzení:

$$F_{Ed,c} \leq F_{v,Rd}$$
$$24 \text{ kN} < 40 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = 36,8 \text{ kN}$$

odečteno z tabulek

Posouzení:

$$F_{Ed,c} \leq F_{b,Rd}$$
$$24 \text{ kN} < 36,8 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST PLECHU

$$M_{Ed} = F_{Edv} \cdot e = 24 \cdot 0,115 = 2,9 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$W_{el} = (1/6) \cdot t_p \cdot h_p^2 = (1/6) \cdot 0,005 \cdot 0,135^2 = 1,52 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,52 \cdot 10^{-5} \cdot 235000}{1,0} = 3,6 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$
$$2,9 \text{ kNm} < 3,6 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

POSOUZENÍ SVARU

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 50 \cdot 2 + 2 \cdot 70 = 240 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F_{sEd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{19}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,24} = 9,895 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{F_{vEd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} =$$
$$\frac{24}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,24} + \frac{2,9}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) 0,004 \cdot 0,24^2} = 50,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 50,26 / \sqrt{2} = 35,539 \text{ MPa}$$

Posouzení:

I.





$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{35,539^2 + 3(35,539^2 + 9,895^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$73,115 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

II.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$35,539 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$36,639 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

### ÚNOSNOST VE SMYKU OSLABENÉHO PRŮŘEZU

$$A_{v,net} = 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{5,66 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 77 \text{ kN}$$

#### Posouzení:

$$F_{Eds} \leq V_{Rd}$$

$$19 \text{ kN} < 77 \text{ kN}$$

### PŘIPOJENÍ ZTUŽIDLOVÉ TRUBKY

Hodnoty únosnosti v otláčení, ve střihu a ohybová únosnost plechu jsou totožné a již posouzeny u přípoje tohoto prvku k trubce TR108. Posoudí se svar plechu k trubce TR108.

### POSOUZENÍ SVARU

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 90 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F_{sEd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{15}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,09} = 20,833 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} = \frac{15 \cdot 0,05}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) 0,004 \cdot 0,09^2} = 69,444 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 69,444 / \sqrt{2} = 49,104 \text{ MPa}$$



Posouzení svaru:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{49,104^2 + 3(49,104^2 + 20,833^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$104,628 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

II.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

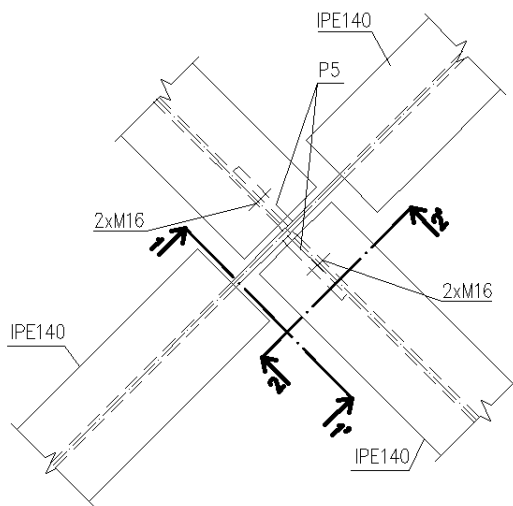
$$49,104 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$49,104 \text{ MPa} < 259,200 \text{ MPa}$$

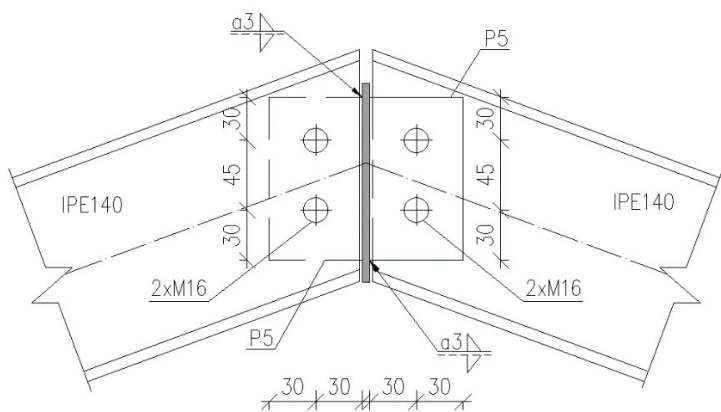
**vyhovuje**



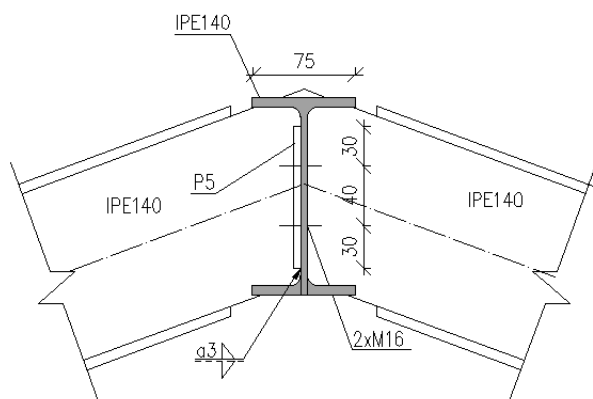
### 5.11.9 Spoj ve vrcholu



Obrázek 32 - Půdorys spoje- vrchol  
zdroj: vlastní



Obrázek 31 - Řez spoje - vrchol I  
zdroj: vlastní



Obrázek 30 - Řez spoj - vrchol II  
zdroj: vlastní



$$F_{Eds} = 18 \cdot \sin 20 + 9,5 \cdot \cos 20 = 15 \text{ kN}$$
$$F_{Edv} = 18 \cdot \cos 20 + 9,5 \cdot \sin 20 = 20 \text{ kN}$$

Návrh 2x šroub **M16 5.8**,  $A_s = 314 \text{ mm}^2$   
 $f_{yb} = 400 \text{ MPa}$   
 $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$

### ÚNOSNOST VE STŘIHU

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{yb} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{m2}}$$
$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 27 \text{ kN}$$

#### Posouzení:

$$F_{Edv} \leq F_{v,Rd}$$
$$20 \text{ kN} < 27 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### ÚNOSNOST V OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = 37 \text{ kN (tabulková hodnota)}$$

#### Posouzení:

$$V_{Ed,c} \leq F_{b,Rd}$$
$$20 \text{ kN} < 26 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### OHYBOVÁ ÚNOSNOST PLECHU

$$M_{Ed} = F_{vEd} \cdot e = 15 \cdot 0,03 = 0,45 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$W_{el} = (1/6) \cdot t_p \cdot h_p^2 = (1/6) \cdot 0,005 \cdot 0,105^2 = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 235000}{1,0} = 3,1 \text{ kNm}$$

#### Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$
$$0,45 \text{ kNm} < 3,1 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**



## POSOUZENÍ SVARU

### Účinné rozměry svaru:

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 105 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{F_{sEd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{15}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,105} = 23,81 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{F_{vEd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} =$$
$$\frac{20}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,105} + \frac{0,45}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) 0,003 \cdot 0,105^2} = 72,562 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 72,562 / \sqrt{2} = 51,309 \text{ MPa}$$

### Posouzení:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{51309^2 + 3(51309^2 + 23810^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$110,595 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

II.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$51,309 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$51,309 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

## ÚNOSNOST VE SMYKU OSLABENÉHO PRŮŘEZU

$$A_{Vnet} = (112 - 2 \cdot 18) \cdot 4,7 = 358 \text{ mm}^2 = 3,58 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

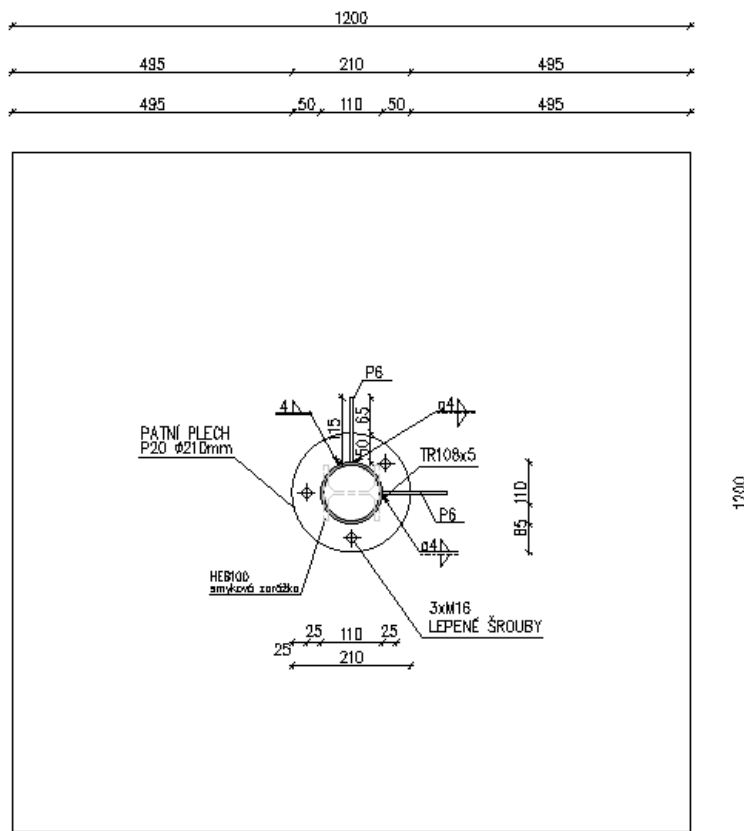
$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{3,58 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 49 \text{ kN}$$

$$F_{Eds} \leq V_{Rd}$$

$$15 \text{ kN} < 49 \text{ kN}$$

**vyhovuje**





Obrázek 34 - Půdorys patky I  
 zdroj: vlastní

$$N_{\max} = -168 \text{ kN}$$

Únosnost základové půdy  $R_d = 250 \text{ kPa}$

Šrouby **3xM16** lepené (únosnost jednoho šroubu 53,98 kN)

Rozteče  $e_1 = 55 \text{ mm}$ ,  $p_1 = 70 \text{ mm}$

Návrh patního plechu:

$$a_0 = D + 102 \text{ mm} = 210 \text{ mm}$$

tloušťka podlití:

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

Základní rozměry patky:

$$ac = 1,2 \text{ m}$$

$$bc = 1,2 \text{ m}$$



Výška základové patky:

$$h_c = 1,0 \text{ m}$$

Maximální tahová síla  $N_{Ed,t} = 13,7 \text{ kN}$

Tíha základu  $G: l \cdot t \cdot h \cdot \gamma_c$

$$\gamma_c = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$G = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 22 = 31,68 \text{ kN} \rightarrow \text{nedojde k překlolení/vytažení základu}$$

Posouzení základové půdy:

$$N/A_{patky} \leq R_{d,půdy}$$

$$167/(1,2 \cdot 1,2) \leq 250$$

$$116 \text{ kPa} \leq 250 \text{ kPa}$$

**vyhovuje**

$$a_1 = \min(3a_0; a_0 + h_c; a_c)$$

$$a_1 = \min(3 \cdot 210; 210 + 1000; 1100) = \min(630; 1210; 1100)$$

$$k_j = \sqrt{\frac{\frac{\pi a_1^2}{4}}{\frac{\pi a_0^2}{4}}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi 0,630^2}{4}}{\frac{\pi 0,21^2}{4}}} = 3,0$$

Návrhová pevnost betonu:

Beton C16/20

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

$$\beta_j = 2/3$$

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 16000}{1,5} = 21,333 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky:

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_{jd}}} = 0,01 \sqrt{\frac{235000}{3 \cdot 21333}}$$

$$c = 0,038 \text{ m}$$

Efektivní plocha:

$$A_{eff} = \pi r^2 = \pi((0,108 + 2 \cdot 0,038)/2)^2 = 0,026 \text{ m}^2$$

NÁVRHOVÁ ÚNOSNOST PATKY

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 0,026 \cdot 21333 = 571 \text{ kN}$$





### Posouzení svaru patního plechu a sloupu:

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

$$L = \pi \cdot d = \pi \cdot 108 = 340 \text{ mm}$$

### NÁVRH SVARU

$$\sigma_x = \frac{R_z}{a \cdot l} = \frac{13,7}{4 \cdot 340} = 10,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_T = \frac{\sigma_x}{\sqrt{2}} = \frac{10,1}{\sqrt{2}} = 7,12 \text{ MPa}$$

### Smykové napětí:

$$\tau_{\parallel} = \frac{R_{xy}}{0,5 \cdot a \cdot l} = \frac{1,11}{0,5 \cdot 4 \cdot 34} = 0,16 \text{ MPa}$$

### Posouzení svaru:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

$$\sqrt{7,12^2 + 3(7,12^2 + 0,16^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$14,2 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

II.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$7,12 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$7,12 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

### NÁVRH SMYKOVÉ ZARÁŽKY

Návrhová smyková síla = 1,11 kN

$$F_{VEd} = V_{Ed} - c_{fd} \cdot N_{Ed}$$

$c_{fd}$  = součinitel tření mezi betonem a ocelí – 0,2

$$F_{VEd} = 1,11 - (0,2(-167)) = 34 \text{ kN}$$

Návrh HEB 100 = 100 mm

$$A_{vz} = 1100 \text{ mm}^2$$

$W_{pl,z} = 81000 \text{ mm}^3$  (jelikož v tomto směru je průřez měkkí)



Výška smykové zarážky:

$$h > \frac{F_{v,Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{34}{0,1 \cdot \frac{16000}{1,5}} = 0,32$$

Návrh  $h = 35 \text{ mm}$

Posouzení na smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000901 \cdot \left(\frac{235 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = 122 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$F_{v,Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$34 \text{ kN} < 122 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Ohybová únosnost:

$$\text{Návrhový moment } M_{ed} = F_{v,Ed} \cdot e = 34 \cdot (0,03 + 0,035/2) = 1,87 \text{ kNm}$$

Moment  $M_z$ :

$$M_{cz,Rd} = \frac{W_{plz} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{cz,Rd} = \frac{5,14 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cz,Rd} = 12 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed,y} \leq M_{cy,Rd}$$

$$1,87 \text{ kNm} < 12 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

PŘIPOJENÍ ZTUŽIDLA TR60,3X5

Návrhová posouvající síla šikmého ztužidla,  $N_{,1} = -26 \text{ kN}$

- Návrhová svíslá síla  $F_{sd,1} = N_{,1} \cdot \sin 51 = 20,4 \text{ kN}$ .

- Návrhová vodorovná síla  $F_{vd,1} = N_{,1} \cdot \cos 51 = 16,7 \text{ kN}$

Účinné rozměry svaru:

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

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



$$\tau_{II} = \frac{F_{Vd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{16,7}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,05} = 41,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{F_{sd}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{M_{Ed}}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) a_w \cdot l_w^2} =$$
$$\frac{20,4}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,05} + \frac{20,4 \cdot 0,025}{2 \cdot \left(\frac{1}{6}\right) 0,004 \cdot 0,05^2} = 204 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 204 / \sqrt{2} = 144,250 \text{ MPa}$$

### Posouzení:

I.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$
$$\sqrt{41750^2 + 3(144250^2 + 41750^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$297,424 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**

II.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$144,250 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

**vyhovuje**





$$N_{\max} = -377 \text{ kN}$$

Šrouby **4xM16** lepené (únosnost jednoho šroubu 123,6 kN)

Návrh patního plechu:

$$a_0 = D + 2(p_1 + e_1 + 10) = 508 + 102 = 610 \text{ mm}$$

tloušťka podlití:

$$t_p = (0,1 - 0,2)a_0 = (0,1-0,2)610 = 90 \text{ mm}$$

Základní rozměry patky:

$$a_c = 1,3 \text{ m}$$

$$b_c = 1,3 \text{ m}$$

$$h_c = 0,65 \text{ m}$$

$$a_1 = \min(3a_0; a_0 + h_c; a_c)$$

$$a_1 = \min(3 \cdot 610; 610 + 650; 1000) = \min(1830; \mathbf{1260}; 1300)$$

$$k_j = \sqrt{\frac{\frac{\pi a_1^2}{4}}{\frac{\pi a_0^2}{4}}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi 1,3^2}{4}}{\frac{\pi 0,88^2}{4}}} = 2,1 \leq 3,0$$

Návrhová pevnost betonu:

Beton C16/20

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

$$\beta_j = 2/3$$

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 2,1 \cdot 16000}{1,5} = 14,700 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky:

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_{jd}}} = 0,09 \sqrt{\frac{235000}{3 \cdot 14700}}$$

$$c = 0,05 \text{ m}$$

Efektivní plocha:

$$A_{\text{eff}} = \pi r^2 = \pi((0,508 + 2 \cdot 0,05)/2)^2 = 0,29 \text{ m}^2$$

NÁVRHOVÁ ÚNOSNOST PATKY

$$N_{Rd} = A_{\text{eff}} \cdot f_{jd} = 0,29 \cdot 14700 = 4159 \text{ kN}$$

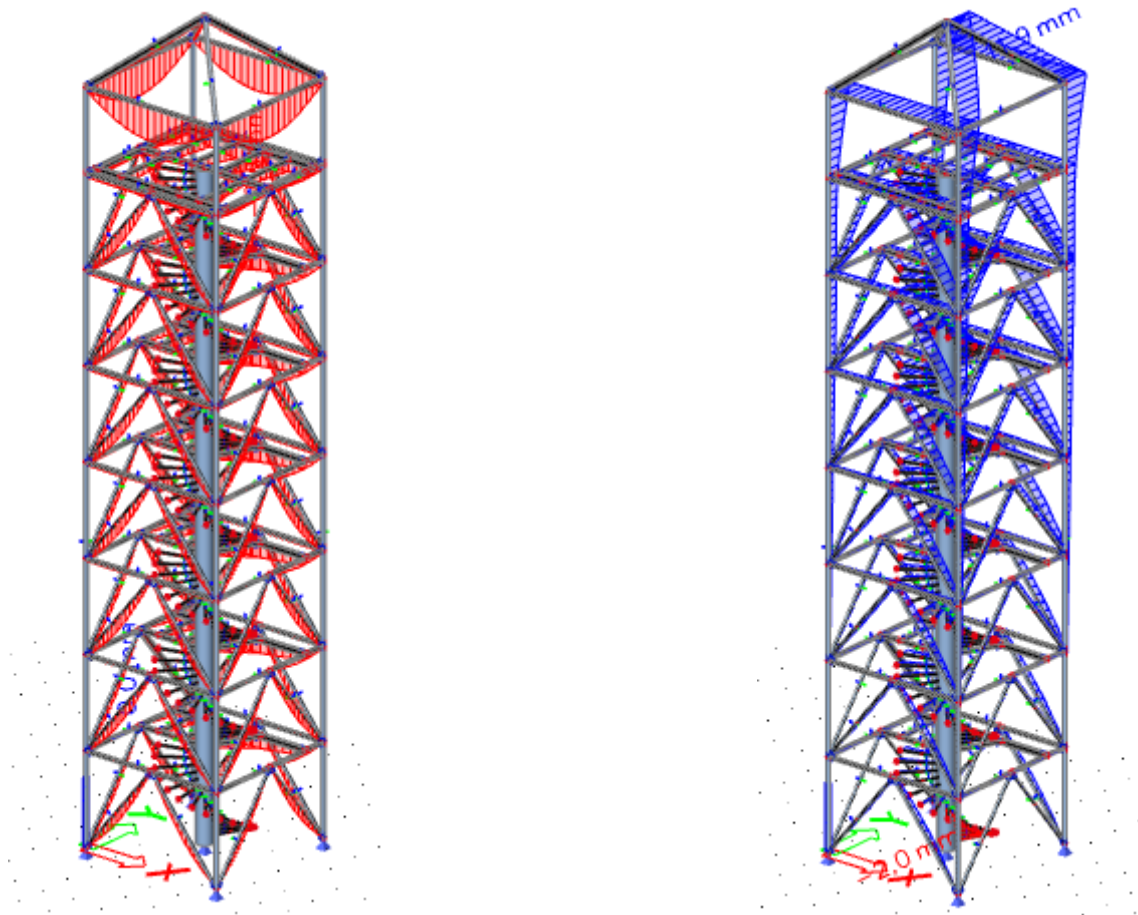


**Posouzení:**

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$
$$377 \text{ kN} < 4159 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

## 5.12 MSP



Obrázek 37 - Výstup ze softwaru – deformace  
zdroj: vlastní

Posouzení průhybů pro prvky navržené z oceli S235.

### 5.12.1 Hlavní sloup trubka TR 108 x 5

Dominantní je zatížení od větru.

$$w_{max} = 9,6 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = L/250 = 22100/250 = 88,4 \text{ mm}$$

**Posouzení:**

$$w_{max} \leq w_{lim}$$
$$9,6 \text{ mm} < 88,4 \text{ mm}$$

**vyhovuje**



### 5.12.2 Vřetenová trubka

Pro zatížení od šikmého větru vychází průhyb následující.

$$w_{\max} = 6,1 \text{ mm}$$

$$w_{\lim} = L/250 = 19600/250 = 78,4 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} \leq w_{\lim}$$

$$6,1 \text{ mm} < 78,4 \text{ mm}$$

**vyhovuje**

### 5.12.3 Diagonála ztužidla TR 60,3 x 5

Taktéž se zde počítá s dominantním zatížením – tedy od větru.

$$w_{\max} = 5,9 \text{ mm}$$

$$w_{\lim} = L/250 = 3590/250 = 14,36 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} \leq w_{\lim}$$

$$5,9 \text{ mm} < 14,36 \text{ mm}$$

### 5.12.4 Vodorovná trubka TR 70 x 70 x 5

$$w_{\max} = 6 \text{ mm}$$

$$w_{\lim} = L/250 = 4500/250 = 18 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} \leq w_{\lim}$$

$$6 \text{ mm} < 18 \text{ mm}$$

**vyhovuje**

### 5.12.5 Nosník IPE 80

Jako nejhorší možnost pro průhyb se zde jeví užité zatížení. Průhyb tedy bude spočítán jako průhyb od vlastní tíhy a užitého zatížení. Pro výpočet limitního průhybu je přístupná 200tina rozpětí.

$$w_{\max} = 1,2 + 7,8 = 9 \text{ mm}$$

$$w_{\lim} = L/200 = 1850/200 = 9,25 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} > w_{\lim}$$

$$9 \text{ mm} < 9,25 \text{ mm}$$

**vyhovuje**



### 5.12.6 Nosník IPE 120

$$w_{\max} = 0,9 + 5,6 = 6,5 \text{ mm}$$

$$w_{\max} = 6 \text{ mm}$$

$$w_{\lim} = L/250 = 2250/250 = 9 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} \leq w_{\lim}$$

$$6,5 \text{ mm} < 9 \text{ mm}$$

**vyhovuje**

### 5.12.7 Nosník IPE 160

$$w_{\max} = 1,3 + 10,2 = 11,5 \text{ mm}$$

$$w_{\max} = 18 \text{ mm}$$

$$w_{\lim} = L/250 = 4500/250 = 18 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} \leq w_{\lim}$$

$$11,5 \text{ mm} < 18 \text{ mm}$$

**vyhovuje**

### 5.12.8 Krokev IPE 140

Pro posouzení průhybu zde rozhoduje zatížení od sněhu na střeše. Výsledná deformace je tedy součtem vlastní tíhy s ostatním stálým zatížením a sněhem na střeše.

$$w_{\max} = 0,5 + 1,4 + 2,3 = 4,2 \text{ mm}$$

$$w_{\max} = 4,2 \text{ mm}$$

$$w_{\lim} = L/250 = 4500/250 = 18 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} \leq w_{\lim}$$

$$13 \text{ mm} < 18 \text{ mm}$$

**vyhovuje**

Průhyb od zatížení větrem je 11,9 mm (ve směru osy y). Tato hodnota je rovněž menší než limitní hodnota.





## 6 VARIANTA II - OCEL S355

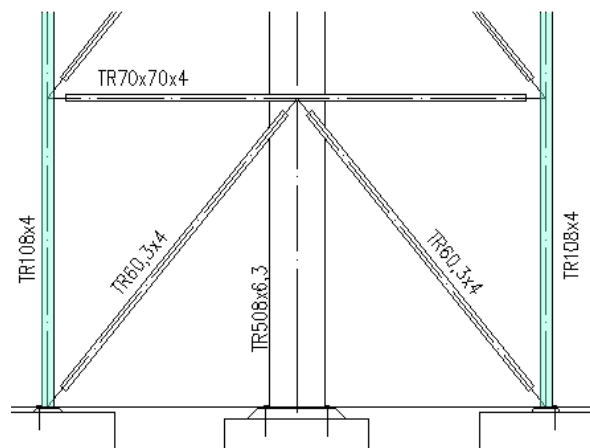
Další – druhou variantou pro návrh prvků je použití oceli S355. Posouzeny budou pouze hlavní nosné prvky rozhledny (vyjma prvků pro komunikaci – schodiště, podesty). Tedy hlavní - obvodové trubky, ztužidla a zastřešení rozhledny. Tento samý postup bude použit i ve třetí variantě, návrhu rozhledny z oceli S690.

Pro tyto další varianty se nebudou měnit hodnoty vnitřních sil, ačkoliv návrh vede k menším profilům, tudíž menší hmotnosti prvků. Po přepočítání výsledky vedli k rozdílům, které byly nebyly větší než 5%. Tento rozdíl není nijak rozhodující a pro lepší orientaci tedy ponechám stávající hodnoty, které byly vypočteny na modelu z oceli S235.

### 6.1 Hlavní sloup - trubka 108 x 4

#### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

d	=	108 mm
t	=	4,0 mm
A	=	1307 mm <sup>2</sup>
A <sub>vz</sub>	=	832 mm <sup>2</sup>
W	=	32 800 mm <sup>3</sup>
I	=	1 770 000 mm <sup>4</sup>
W <sub>pl</sub>	=	43 300 mm <sup>3</sup>



Obrázek 38 - TR 108x4  
 zdroj: vlastní

#### ZATRŽIDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/355)^{1/2} = 0,814$$

$$d/t = 108/4 = 27$$

$$d/t < 50\varepsilon^2$$

$$27 < 50 \cdot 0,814^2$$

$$27 < 33,13$$

průřez spadá do třídy 1.

#### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,001307 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{464 \text{ kN}}$$



## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 1,77 \cdot 10^{-6}}{2,8^2}$$

$$F_{cr} = 467,5 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001307 \cdot 355 \cdot 10^3}{467,5}}$$

$$\bar{\lambda} = 1,0$$

Součinitel  $\chi$ :

součinitel imperfekce  $\alpha = 0,49$

$$\chi = 0,54$$

Tlaková únosnost:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,54 \cdot 0,001307 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{252 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$167 \text{ kN} < 252 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

## OHYBOVÁ ÚNOSNOST

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{4,33 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{c,Rd} = \mathbf{15,4 \text{ kNm}}$$



Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$1,5 \text{ kNm} < 15,4 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000832 \cdot \left(\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = \mathbf{171 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} < V_{pl,Rd}$$

$$1 \text{ kN} < 171 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYB A OSOVÁ SÍLA

Jelikož se jedná o průřez třídy 1, musí platit tato podmínka:

$$M_{Ed} < M_{N,Rd}$$

kde,

$$M_{n,Rd} = M_{pl,Rd} [1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{n,Rd} = 15,4 [1 - (167/252)^2] = 8,6 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$1,5 \text{ kNm} < 8,6 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

OVĚŘENÍ ŠIKMÉHO OHYBU

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}}\right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{1}{15,4}\right]^1 + \left[\frac{1,5}{15,4}\right]^1 = 0,16 < 1$$

**vyhovuje**

KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{Lt} M_{y,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{Lt} M_{z,Rd}} \leq 1$$



Výpočet interakčních součinitelů  $k_{yy}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{yz}$  a  $k_{zz}$ :

součinitel  $C_{my}$  a  $C_{mz} = 0,9$

součinitelů  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk/\gamma_{m1}}} \right) \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \left( 1 + (1,0 - 0,2) \frac{167}{0,54 \cdot 464} \right) \leq 0,9 \left( 1 + 0,8 \frac{167}{0,54 \cdot 464} \right)$$

$k_{yy} = 1,4$

součinitelů  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{zy} = 0,6 \cdot 1,4 = 0,83$$

součinitelů  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk/\gamma_{m1}}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,6 \left( 1 + (2 \cdot 1,0 - 0,6) \frac{167}{0,54 \cdot 464} \right) \leq 0,6 \left( 1 + 1,4 \frac{167}{0,54 \cdot 464} \right)$$

$k_{zz} = 1,73$

součinitelů  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{yz} = 0,6 \cdot 1,73 = 1,0$$

Posouzení:

$$\frac{167}{0,54 \cdot 464} + 1,4 \frac{1}{15,4} + 1,0 \frac{1,5}{15,4} = 0,85 \leq 1$$

$$\frac{167}{0,54 \cdot 464} + 0,83 \frac{1}{15,4} + 1,73 \frac{1,5}{15,4} = 0,89 \leq 1$$

**vyhovuje**

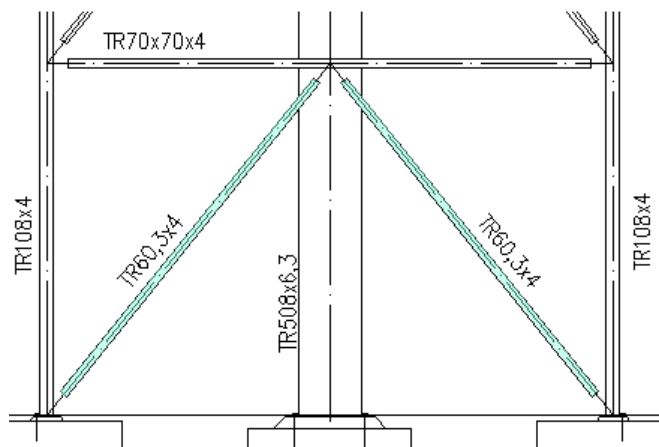


## 6.2 Diagonála ztužidla TR 60,3 x 4,0

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

d	=	60,3 mm
t	=	4 mm
A	=	707 mm <sup>2</sup>
A <sub>vz</sub>	=	450 mm <sup>2</sup>
W	=	9 340 mm <sup>3</sup>
I	=	281 700 mm <sup>4</sup>
W <sub>pl</sub>	=	12 700 mm <sup>3</sup>

L = 3,592 metru



Obrázek 39 - Diagonála TR 60,3x4  
zdroj: vlastní

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = 0,814$$

$$d/t = 60,3/4 = 15,1$$

$$d/t < 50\varepsilon^2$$

$$15,1 < 50 \cdot 0,814^2$$

15,1 < 33,13      průřez spadá do třídy 1.

### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,000707 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{251 \text{ kN}}$$

### TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Kritická síla F<sub>cr</sub>:

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 2,82 \cdot 10^{-7}}{3,592^2}$$

$$F_{cr} = \mathbf{45 \text{ kN}}$$



Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,000707 \cdot 355 \cdot 10^3}{45}}$$

$$\bar{\lambda} = 2,36$$

součinitel  $\chi$ :

$\alpha = 0,49$  (křivka vzpěrné pevnosti c)

$\chi = 0,15$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,15 \cdot 0,000707 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = 37 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$26 \text{ kN} < 37 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{127 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{c,Rd} = 4,5 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,35 \text{ kNm} < 4,5 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**



## SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,00045 \cdot \left(\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,00}$$

$$V_{pl,Rd} = \mathbf{92 \text{ kN}}$$

### Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$
$$0,30 \text{ kN} < 92 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

## OHYB A OSOVÁ SÍLA

Jelikož se jedná o průřez třídy 1, musí platit tato podmínka:

$$M_{Ed} < M_{N,Rd}$$

kde,

$$M_{n,Rd} = M_{pl,Rd} [1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{n,Rd} = 4,5 [1 - (26/37)^2] = 2,3 \text{ kNm}$$

### Posouzení:

$$0,35 \text{ kNm} < 2,3 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

## OVĚŘENÍ ŠIKMÉHO OHYBU

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}}\right]^\beta \leq 1$$

$$\left[\frac{0,25}{2,3}\right]^1 + \left[\frac{0,35}{2,3}\right]^1 = 0,26 < 1$$

**vyhovuje**

## KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitelé  $C_{my}$  a  $C_{mz}$  jsou rovny hodnotě 0,95.

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} (1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}/\gamma_{m1}}) \leq C_{my} (1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}/\gamma_{m1}})$$



$$k_{yy} = 0,95(1 + (2,36 - 0,2) \frac{26}{0,15 \cdot 251}) \leq 0,95(1 + 0,8 \frac{26}{0,15 \cdot 251})$$

$$k_{yy} = 1,50$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{zy} = 0,6 \cdot 1,5 = \mathbf{0,89}$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} (1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk} / \gamma_{m1}}) \leq C_{mz} (1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}})$$

$$k_{zz} = 0,95(1 + (2 \cdot 2,36 - 0,6) \frac{26}{0,15 \cdot 251}) \leq 0,95(1 + 1,4 \frac{26}{0,15 \cdot 251})$$

$$k_{zz} = 1,8$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{yz} = 0,6 \cdot 1,8 = \mathbf{1,08}$$

Posouzení:

$$\frac{26}{0,15 \cdot 251} + 1,5 \frac{0,25}{4,5} + 1,08 \frac{0,35}{4,5} = \mathbf{0,88} \leq 1$$

$$\frac{26}{0,15 \cdot 251} + 0,89 \frac{0,25}{4,5} + 1,8 \frac{0,35}{4,5} = \mathbf{0,90} \leq 1$$

**vyhovuje**

### 6.3 Vřetenová trubka TR 508 x 6,3

Návrh vřetenové trubky se sestává pouze z jedné varianty a to oceli pevnosti S235. Jelikož byl její rozměr odhadnut hned z počátku, nemohl být její průřez více optimalizován. Zmenšením průřezu trubky by se značně změnila dispozice rozhledny - vychází z toho návrh schodiště a všechny jeho potřebné šířky vycházející z norem

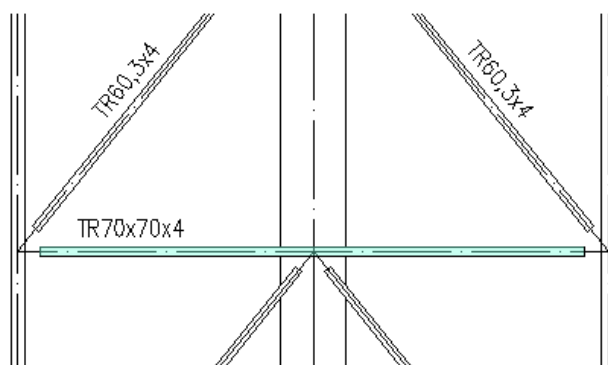




## 6.4 Vodorovná trubka TR 70 x 70 x 4

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

b	=	70 mm
h	=	70 mm
t	=	4,0 mm
A	=	1040 mm <sup>2</sup>
Avz	=	520 mm <sup>2</sup>
W	=	21 300 mm <sup>3</sup>
I	=	747 000 mm <sup>4</sup>
W <sub>pl</sub>	=	25 500 mm <sup>3</sup>



Obrázek 40 – Vodorovná trubka TR 70x70x4  
zdroj: vlastní

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = 0,814$$

$$d/t < 38\varepsilon$$

$$d = h - 3t = 70 - 3 \cdot 4 = 58 \text{ mm}$$

$$58/4 < 38 \cdot 0,814$$

$$14,5 < 26,73 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$

### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,001040 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{369 \text{ kN}}$$

### TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

#### Vybočení kolmo na osu y:

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 7,47 \cdot 10^{-7}}{2,25^2}$$

$$F_{cr} = 306 \text{ kN}$$



Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001040 \cdot 355 \cdot 10^3}{306}}$$

$$\bar{\lambda} = 1,27$$

$$\chi = 0,4$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 2,25 metru bude:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,4 \cdot 0,001040 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{148 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$11 \text{ kN} < 148 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Vybočení kolmo k ose z:

$$L_{crit} = 4,5 \text{ metru}$$

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 7,47 \cdot 10^{-7}}{4,5^2}$$

$$F_{cr} = 76 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001040 \cdot 355 \cdot 10^3}{76}}$$

$$\bar{\lambda} = 2,2$$



Součinitel  $\chi$ :

$$\alpha = 0,49$$

$$\chi = 0,17$$

Tlaková únosnost (L = 4,5 m):

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,17 \cdot 0,001040 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{63 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$11 \text{ kN} < 63 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{2,6 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{c,Rd} = \mathbf{9,2 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$4,5 \text{ kNm} < 9,2 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

SMYKOVÁ ÚNOSNOST

ověření boulení:

$$d/t_w < 72\varepsilon/\eta$$

$$14,5 < 72 \cdot 0,814/1,2$$

6,5 < 48,84 -> boulení nemusí být posuzováno

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000520 \cdot \left(\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,00}$$

$$V_{pl,Rd} = \mathbf{107 \text{ kN}}$$



Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$
$$12 \text{ kN} < 107 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYB A OSOVÁ SÍLA

$$M_{Ed} < M_{N,Rd}$$

kde,

$$M_{n,Rd} = M_{pl,Rd} [1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2]$$

$$M_{n,Rd} = 9,2 [1 - (11/63)^2] = 9 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$4,5 \text{ kNm} < 9 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

OVĚŘENÍ ŠIKMÉHO OHYBU

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\left[ \frac{4,5}{9} \right]^1 + \left[ \frac{1,1}{9} \right]^1 = 0,78 < 1$$

**vyhovuje**

KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{zRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitel  $C_{my} = 0,9$ ,  $C_{mz} = 0,95$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk}/\gamma_{m1}} \right) \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk}/\gamma_{m1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \left( 1 + (1,27 - 0,2) \frac{11}{0,4 \cdot 369} \right) \leq 0,9 \left( 1 + 0,8 \frac{11}{0,4 \cdot 369} \right)$$

$k_{yy} = \mathbf{0,96}$



součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \cdot 0,96 = 0,58$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk} / \gamma_{m1}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \left( 1 + (2 \cdot 2,2 - 0,6) \frac{11}{0,17 \cdot 369} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 1,4 \frac{11}{0,17 \cdot 369} \right)$$

$$k_{zz} = 1,35 > \mathbf{1,11}$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \cdot 1,11 = \mathbf{0,67}$$

Posouzení:

$$\frac{11}{0,4 \cdot 369} + 0,96 \frac{4,5}{9,2} + 0,67 \frac{1,1}{9,2} = 0,62 \leq 1$$

$$\frac{11}{0,17 \cdot 369} + 0,58 \frac{4,5}{9,2} + 1,11 \frac{1,1}{9,2} = 0,60 \leq 1$$

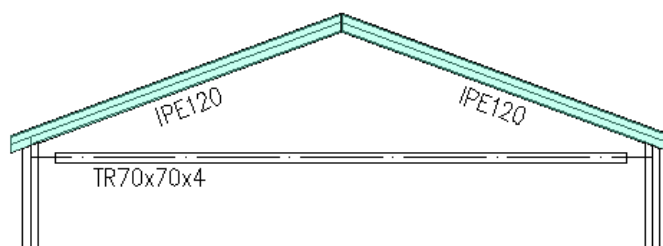
**vyhovuje**



## 6.5 Krokev – IPE 120:

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

h	=	120 mm
b	=	64 mm
t <sub>f</sub>	=	6,3mm
t <sub>w</sub>	=	4,7mm
A	=	1321 mm <sup>2</sup>
A <sub>vz</sub>	=	631 mm <sup>2</sup>
W <sub>y</sub>	=	53 000 mm <sup>3</sup>
W <sub>z</sub>	=	8 650 mm <sup>3</sup>
I <sub>y</sub>	=	3 178 000 mm <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	=	276 600 mm <sup>4</sup>
W <sub>ply</sub>	=	60730 mm <sup>3</sup>
W <sub>plz</sub>	=	13 580 mm <sup>3</sup>



Obrázek 41 - Krokev IPE 120  
zdroj: vlastní

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = 0,814$$

zatřídění stojiny

$$d/t < 33 \varepsilon$$

$$21,2 < 33 \cdot 0,814$$

$$21,2 < 26,9$$

průřez spadá do 1.třídy

zatřídění pásnice

$$3,6 < 9 \cdot 0,814 = 7,32$$

průřez spadá do třídy 1

### TAHOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,001321 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{469 \text{ kN}}$$



## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

### Vybočení nosníku kolmo k ose z:

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,178 \cdot 10^{-6}}{7,4^2}$$

$$F_{cr} = 887 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001321 \cdot 355 \cdot 10^3}{887}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,73$$

Součinitel  $\chi$ :

$$\chi = 0,84$$

Tlaková únosnost pro  $L = 7,5 \text{ m}$ :

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,84 \cdot 0,001321 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{391 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$23 \text{ kN} < 391 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### Vybočení nosníku kolmo k ose z:

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 2,77 \cdot 10^{-7}}{1,2^2}$$

$$F_{cr} = 398 \text{ kN}$$



Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001321 \cdot 235 \cdot 10^3}{1018}}$$

$$\bar{\lambda} = 1,1$$

Součinitel  $\chi$ :

$$\chi = 0,54$$

Tlaková únosnost kolmo k ose z pro vzpěrnou délku 1,2 metru:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,54 \cdot 0,001321 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{255 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$23 \text{ kN} < 255 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST

**1) Únosnost od momentu  $M_y$ :**

$$M_{c,Rd} = \chi_{Lt} \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$I_t = 1,74 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_w = 8,90 \cdot 10^{-10} \text{ m}^6$$

$$L = 1,2 \text{ m}$$

Z průběhu momentu, který má parabolický tvar se určí následující součinitelé:

$$k_y = 1,0 ; k_z = 1,0 ; k_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,13 ; C_2 = 0,46 ; C_3 = 0,53$$





Bezrozměrný parametr v kroucení  $k_{wt}$ :

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$
$$k_{wt} = \frac{\pi}{1 \cdot 1,25} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 8,9 \cdot 10^{-10}}{81000 \cdot 10^6 \cdot 1,74 \cdot 10^{-8}}} = 0,95$$

Výpočet  $\mu_{cr}$ :

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$
$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \sqrt{1 + 0,95^2}$$
$$\mu_{cr} = 1,56$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$
$$M_{cr} = 1,56 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 3,18 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 1,74 \cdot 10^{-8}}}{1,2}$$
$$M_{cr} = 37 \text{ kNm}$$

Výpočet  $\bar{\lambda}_{LT}$ :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$
$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{6,07 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{37}}$$
$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,76$$

Součinitel  $\chi_{LT}$ :

- součinitel imperfekce = 0,21 (křivka a)

$$\chi_{LT} = 0,82$$

Ohybová únosnost:

$$M_{c,Rd} = 0,82 \frac{6,1 \cdot 10^{-5} \cdot 355000}{1,0}$$
$$M_{c,Rd} = 17,6 \text{ kNm}$$



Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$9,2 \text{ kNm} < 17,6 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

## 2) Únosnost od momentu Mz:

Jelikož je moment Mz ve směru měkčí osy, nemusí se posuzovat klopení, ohybová únosnost potom bude:

$$M_{cz,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{cz,Rd} = \frac{1,358 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cz,Rd} = 4,8 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,15 \text{ kNm} < 9,8 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

## SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{ply,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{ply,Rd} = \frac{0,000631 \cdot \left(\frac{355 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{ply,Rd} = \mathbf{129 \text{ kN}}$$

## KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitel  $C_{my} = 0,95$ ,  $C_{mz} = 0,9$  a  $C_{mLT} = 0,95$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}}\right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}}\right)$$



$$k_{yy} = 0,95(1 + (0,73 - 0,2) \frac{23}{0,84 \cdot 469}) \leq 0,95(1 + 0,8 \frac{23}{0,84 \cdot 469})$$

$$k_{yy} = \mathbf{0,98} < 1,00$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = [1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi Z \frac{N_{Ed}}{\gamma_{m1}}} \frac{N_{Ed}}{\gamma_{m1}}] \geq (1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi Z \frac{N_{Ed}}{\gamma_{m1}}})$$

$$k_{zy} = [1 - \frac{0,1 \cdot 1,1}{(0,95 - 0,25) 0,54 \cdot 469} \frac{23}{0,54 \cdot 469}] \geq (1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25) 0,54 \cdot 469})$$

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

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz}(1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk}}) \leq C_{mz}(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}})$$

$$k_{zz} = 0,9(1 + (2 \cdot 1,1 - 0,6) \frac{23}{0,54 \cdot 469}) \leq 0,9(1 + 1,4 \frac{23}{0,54 \cdot 469})$$

$$k_{zz} = 1,01$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \cdot 1,01 = \mathbf{0,61}$$

Posouzení:

$$\frac{23}{0,84 \cdot 469} + 0,98 \frac{9,2}{10,1} + 0,61 \frac{0,5}{4,8} = \mathbf{0,69} \leq 1$$

$$\frac{23}{0,54 \cdot 469} + 1,0 \frac{9,2}{10,1} + 1,01 \frac{0,5}{4,8} = \mathbf{0,72} \leq 1$$

**vyhovuje**



## 6.6 MSP

posouzení průhybů pro prvky navržené z oceli S355

### 6.6.1 Hlavní sloup TR 108 x 4

$$w_{\max} = 17,4 \text{ mm}$$

$$w_{\text{lim}} = L/250 = 22100/250 = 88,4 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} \leq w_{\text{lim}}$$

$$17,4 \text{ mm} < 88,4 \text{ mm}$$

**vyhovuje**

### 6.6.2 Diagonála ztužidla TR 60,3 x 4

$$w_{\max} = 8,9$$

$$w_{\text{lim}} = L/250 = 3590/250 = 14,36 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} \leq w_{\text{lim}}$$

$$8,5 \text{ mm} < 14,36 \text{ mm}$$

**vyhovuje**

### 6.6.3 Vodorovná trubka TR 70 x 70 x 4

$$w_{\max} = 18 \text{ mm (horní u krokve), jinak } 9,1 \text{ mm}$$

$$w_{\text{lim}} = L/250 = 4500/250 = 18 \text{ mm}$$

### 6.6.4 Krokev IPE 120

$$w_{\max} = 0,7 + 3,3 + 5,8 = 9,8 \text{ mm}$$

$$w_{\text{lim}} = 3706/250 = 14,8 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$w_{\max} \leq w_{\text{lim}}$$

$$9,8 \text{ mm} < 14,8 \text{ mm}$$

**vyhovuje**



## 7 VARIANTA III - OCEL S690

Výpočet této varianty slouží pouze pro teoretické účely. V mém případě pro následné porovnání jednotlivých variant (spotřeba oceli).

### 7.1 Trubka 102 x 4

#### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

d	=	102 mm
t	=	4,0 mm
A	=	1232 mm <sup>2</sup>
A <sub>vz</sub>	=	784 mm <sup>2</sup>
W	=	29 000 mm <sup>3</sup>
I	=	1 480 000 mm <sup>4</sup>
W <sub>pl</sub>	=	38 400 mm <sup>3</sup>

#### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/690)^{1/2} = 0,584$$

$$d/t = 102/4 = 25,5$$

$$d/t < 90\varepsilon^2$$

$$25,5 < 90 \cdot 0,584^2$$

$$25,5 < 30,7$$

průřez 3.třídy

#### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

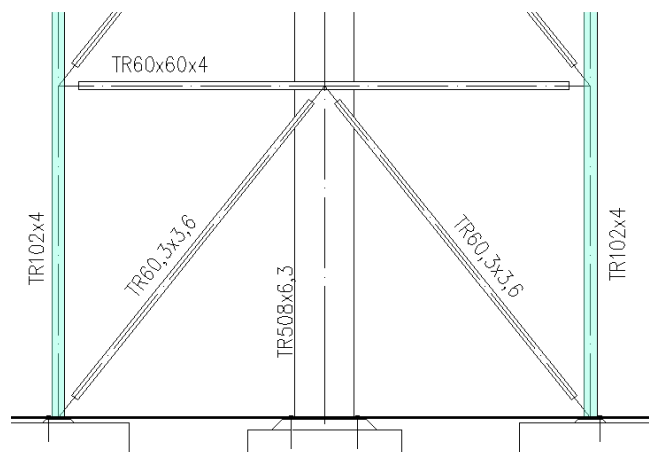
$$N_{pl,Rd} = \frac{0,001232 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{850 \text{ kN}}$$

#### TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$



Obrázek 42 - TR 102x4  
 zdroj: vlastní



$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 1,48 \cdot 10^{-6}}{2,8^2}$$

$$F_{cr} = \mathbf{391 \text{ kN}}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001232 \cdot 690 \cdot 10^3}{391}}$$

$$\bar{\lambda} = 1,47$$

součinitel  $\chi$ :

součinitel imperfekce  $\alpha = 0,49$

$$\chi = 0,32$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 2,80 metru:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,32 \cdot 0,001232 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{272 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$167 \text{ kN} < 272 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

OHYBOVÁ ÚNOSNOST

Průřez je tuhý v kroucení, nedojde ke klopení.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{2,9 \cdot 10^{-5} \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{c,Rd} = \mathbf{20 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} < M_{c,Rd}$$

$$1,5 \text{ kNm} < 21,3 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**



## SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000784 \cdot \left(\frac{690 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = \mathbf{312 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} < V_{pl,Rd}$$

$$1 \text{ kN} < 312 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

## KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitel  $C_{my}$  a  $C_{mz} = 0,9$

Výpočet interakčních součinitelů  $k_{yy}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{yz}$  a  $k_{zz}$ :

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda} \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}}\right) \leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}}\right)$$

$$k_{yy} = 0,9 \left(1 + 0,6 \cdot 1,47\right) \frac{167}{0,32 \cdot 850} \leq 0,9 \left(1 + 0,6 \frac{167}{0,32 \cdot 850}\right)$$

$$k_{yy} = \mathbf{1,23}$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = 0,6 k_{yy} = 0,8 \cdot 1,23 = \mathbf{0,98}$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = k_{yy} = \mathbf{1,23}$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = k_{zz} = \mathbf{1,23}$$



### Posouzení:

$$\frac{167}{0,32 \cdot 850} + 1,23 \frac{1}{20} + 0,98 \frac{1,5}{20} = 0,75 \leq 1$$

$$\frac{167}{0,32 \cdot 850} + 1,23 \frac{1}{20} + 1,23 \frac{1,5}{20} = 0,77 \leq 1$$

vyhovuje

## 7.2 Diagonála ztužidla TR 60,3 x 3,6

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

d	=	60,3 mm
t	=	3,6 mm
A	=	641 mm <sup>2</sup>
A <sub>vz</sub>	=	320 mm <sup>2</sup>
W	=	8 580 mm <sup>3</sup>
I	=	259 000 mm <sup>4</sup>
W <sub>pl</sub>	=	11 600 mm <sup>3</sup>

L = 3,592 metru

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/690)^{1/2} = 0,584$$

$$d/t = 60,3/3,6 = 16,8$$

$$d/t < 50\varepsilon^2$$

$$16,8 < 50 \cdot 0,0,584^2$$

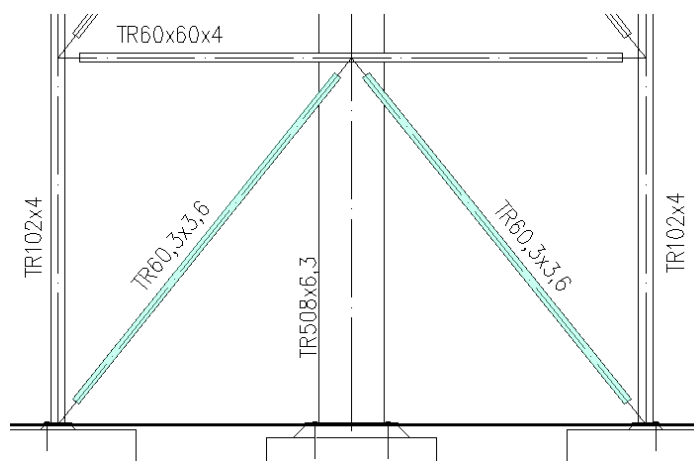
$$16,8 < 17 \quad \text{průřez spadá do třídy 1.}$$

### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,000641 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = 442 \text{ N}$$



Obrázek 43 – Diagonála TR 60,3x3,6  
zdroj: vlastní





## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

Jelikož je prvek kruhového průřezu a tvarovaný za studena, bude křivka vzpěrné pevnosti taktéž c.

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 2,59 \cdot 10^{-7}}{3,592^2}$$

$$F_{cr} = 42 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,000641 \cdot 690 \cdot 10^3}{42}}$$

$$\bar{\lambda} = 3,26$$

součinitel  $\chi$ :

$\alpha = 0,49$  (křivka vzpěrné pevnosti c)

$$\chi = \mathbf{0,08}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,08 \cdot 0,000641 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{36 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$26 \text{ kN} < 36 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

## OHYBOVÁ ÚNOSNOST

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$



$$M_{c,Rd} = \frac{1,16 \cdot 10^{-5} \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$
$$M_{c,Rd} = \mathbf{8 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$
$$0,35 \text{ kNm} < 8 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

### SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$
$$V_{pl,Rd} = \frac{0,00032 \cdot \left(\frac{690 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,00}$$
$$V_{pl,Rd} = 127 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} < V_{pl,Rd}$$
$$0,30 \text{ kN} < 127 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$
$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitelé  $C_{my}$  a  $C_{mz}$  jsou rovny hodnotě 0,95.

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right)$$
$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + (3,26 - 0,2) \frac{26}{0,08 \cdot 442}\right) \leq 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{26}{0,08 \cdot 442}\right)$$
$$k_{yy} = 2,24 > 1,36$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{zy} = 0,6 \quad k_{yy} = 0,6 \cdot 1,36 = \mathbf{0,81}$$



součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \left( 1 + (2 \cdot 3,26 - 0,6) \frac{26}{0,08 \cdot 442} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 1,4 \frac{26}{0,08 \cdot 442} \right)$$

$$k_{zz} = 1,9$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,9 = \mathbf{1,14}$$

Posouzení:

$$\frac{26}{0,08 \cdot 442} + 1,36 \frac{0,25}{8} + 1,14 \frac{0,35}{8} = \mathbf{0,83} \leq 1$$

$$\frac{26}{0,08 \cdot 442} + 0,81 \frac{0,25}{8} + 1,9 \frac{0,35}{8} = \mathbf{0,84} \leq 1$$

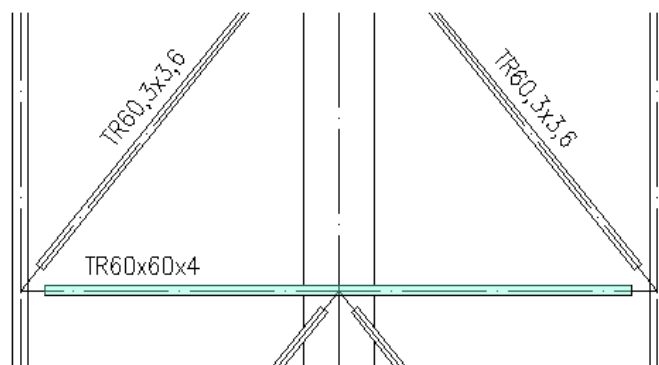
**vyhovuje**

### 7.3 Vodorovná trubka TR 60 x 60 x 4:

#### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

b	=	70 mm
h	=	70 mm
t	=	2,5 mm
A	=	659 mm <sup>2</sup>
$A_{vz}$	=	520 mm <sup>2</sup>
W	=	14 100 mm <sup>3</sup>
I	=	494 000 mm <sup>4</sup>
$W_{pl}$	=	16 500 mm <sup>3</sup>

$$L = 4,5 \text{ metru}$$



Obrázek 44 – Vodorovná trubka TR 60x60x4  
 zdroj: vlastní

#### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = 0,584$$

Průřez je namáhán kombinací ohybu a osové síly:

$$\alpha = 1,0$$



$$d = h - 3t = 70 - 3 \cdot 2,5 = 62,5 \text{ mm}$$
$$d/t = 62,5/2,5 = 25$$

$$25 \leq 456 \varepsilon / 13\alpha - 1$$

$$25 \leq 456 \cdot 0,584 / 12$$

25 > 22,19... -> Průřez spadá do 3. třídy - pružnostní návrh

### TAHOVÁ ÚNOSNOST TRUBKY

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,000659 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,00}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{455 \text{ kN}}$$

### TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

#### Vybočení kolmo k ose y:

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 4,94 \cdot 10^{-7}}{2,25^2}$$

$$F_{cr} = \mathbf{202 \text{ kN}}$$

#### Poměrná štíhlost $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,000659 \cdot 690 \cdot 10^3}{202}}$$

$$\bar{\lambda} = 1,50$$

#### Součinitel $\chi$ :

$$\chi = 0,32$$



Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 2,25 metru:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,32 \cdot 0,000659 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{145 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$11 \text{ kN} < 145 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

Vybočení kolmo k ose z:

$$L_{crit} = 4,5 \text{ metru}$$

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 4,94 \cdot 10^{-7}}{4,5^2}$$

$$F_{cr} = \mathbf{50,6 \text{ kN}}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,000659 \cdot 690 \cdot 10^3}{76}}$$

$$\bar{\lambda} = 2,45$$

$$\alpha = 0,49$$

Součinitel  $\chi$ :

$$\chi = 0,095$$

Tlaková únosnost pro vzpěrnou délku 4,5 metru:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$



$$N_{c,Rd} = \frac{0,095 \cdot 0,000659 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{43 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$11 \text{ kN} < 43 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### OHYBOVÁ ÚNOSNOST

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{c,Rd} = \mathbf{9,7 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$4,5 \text{ kNm} < 9,7 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

### SMYKOVÁ ÚNOSNOST

ověření boulení:

$$d/t_w < 72\varepsilon/\eta$$

$$25 < 72 \cdot 0,584/1,2$$

25 < 35-> boulení nemusí být posuzováno

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000338 \cdot \left(\frac{690 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,00}$$

$$V_{pl,Rd} = \mathbf{134 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$12 \text{ kN} < 134 \text{ kN}$$

**vyhovuje**



## KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$
$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitel  $C_{my} = 0,9$ ,  $C_{mz} = 0,95$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + 0,6\bar{\lambda} \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk}}\right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right)$$
$$k_{yy} = 0,90 \left(1 + (1,50 - 0,2) \frac{11}{0,32 \cdot 455}\right) \leq 0,90 \left(1 + 0,8 \frac{11}{0,32 \cdot 455}\right)$$
$$k_{yy} = 0,94$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = 0,8 \quad k_{yy} = 0,8 \cdot 0,94 = \mathbf{0,75}$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk}}\right) \leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}}\right)$$
$$k_{zz} = 0,95 \left(1 + (2 \cdot 2,45 - 0,6) \frac{11}{0,095 \cdot 455}\right) \leq 0,95 \left(1 + 1,4 \frac{11}{0,0095 \cdot 455}\right)$$
$$k_{zz} = 1,1$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = k_{zz} = 1,1$$

Posouzení:

$$\frac{11}{0,32 \cdot 455} + 0,94 \frac{4,5}{9,7} + 1,1 \frac{1,1}{9,7} = \mathbf{0,64} \leq 1$$

$$\frac{11}{0,095 \cdot 455} + 0,75 \frac{4,5}{9,7} + 1,1 \frac{1,1}{9,7} = \mathbf{0,73} \leq 1$$

**vyhovuje**

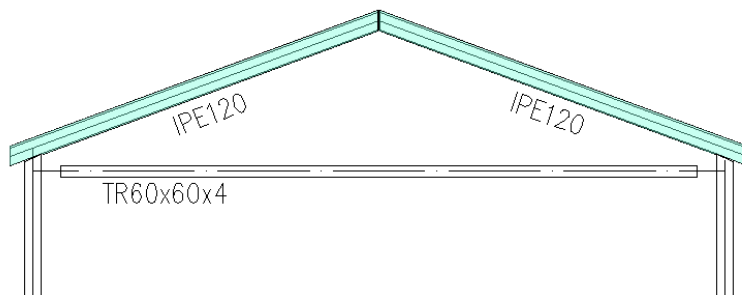


## 7.4 Krokev – IPE 120

Pro návrh jsem nejdříve použila průřez IPE100.

### PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY IPE100

h	=	100 mm
b	=	55 mm
t <sub>f</sub>	=	5,7 mm
t <sub>w</sub>	=	4,1 mm
A	=	1032 mm <sup>2</sup>
A <sub>vz</sub>	=	400 mm <sup>2</sup>
W <sub>y</sub>	=	34 200 mm <sup>3</sup>
W <sub>z</sub>	=	5 790 mm <sup>3</sup>
I <sub>y</sub>	=	1 710 000 mm <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	=	159 200 mm <sup>4</sup>
W <sub>ply</sub>	=	39 410 mm <sup>3</sup>
W <sub>plz</sub>	=	9 150 mm <sup>3</sup>



Obrázek 45 - Krokev IPE 120  
zdroj: vlastní

L = 7,4 (3,6) metrů

### ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/690)^{1/2} = 0,584$$

zatřídění stojiny

$$d/t < 33 \varepsilon$$

$$74,6/4,1 = 18,2 < 33 \cdot 0,584$$

$$18,2 < 19,3 \quad \text{průřez spadá do 1.třídy}$$

zatřídění pásnice

$$18,4/5,7 < 9 \cdot 0,584 =$$

$$3m23 < 5,26 \quad \text{průřez spadá do 1.třídy}$$

### TAHOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{0,001032 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{pl,Rd} = \mathbf{712 \text{ kN}}$$





## TLAKOVÁ ÚNOSNOST SE VZPĚREM

### Vybočení kolmo na osu y:

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 1,71 \cdot 10^{-6}}{7,4^2}$$

$$F_{cr} = \mathbf{65 \text{ kN}}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001032 \cdot 690 \cdot 10^3}{65}}$$

$$\bar{\lambda} = 3,3$$

součinitel  $\chi$ :

$$\chi = 0,09$$

křivka vzpěrné pevnosti  $a_0$ ,  $\alpha = 0,13$

Tlaková únosnost kolmo k ose y pro vzpěrnou délku 7,2 metru:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,09 \cdot 0,001032 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{64 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$23 \text{ kN} < 64 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

### Vybočení nosníku kolmo k ose z:

Kritická síla  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{E I}{L_{cr}^2}$$



$$F_{cr} = \pi^2 \frac{210 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-7}}{1,2^2}$$

$$F_{cr} = 230 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}$ :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{0,001032 \cdot 690 \cdot 10^3}{230}}$$

$$\bar{\lambda} = 1,76$$

Součinitel  $\chi$ :

$$\alpha = 0,13$$

$$\chi = 0,29$$

Tlaková únosnost kolmo k ose z pro vzpěrnou délku 1,2 metru:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,29 \cdot 0,001032 \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{207 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$23 \text{ kN} < 207 \text{ kN}$$

**vyhovuje**

## OHYBOVÁ ÚNOSNOST

### 1) Únosnost od momentu $M_z$ :

$$M_{c,Rd} = \chi_{Lt} \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$I_t = 1,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_w = 3,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^6$$

$$L = 1,2 \text{ m}$$

Z průběhu momentu, který má parabolický tvar se určí následující součinitelé:

$$k_y = 1,0 ; k_z = 1,0 ; k_w = 1,0$$



$$C_1 = 1,13 ; C_2 = 0,46 ; C_3 = 0,53$$

Bezrozměrný parametr v kroucení  $k_{wt}$ :

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$
$$k_{wt} = \frac{\pi}{1 \cdot 1,25} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 3,5 \cdot 10^{-10}}{81000 \cdot 10^6 \cdot 1,2 \cdot 10^{-8}}} = 0,72$$

Výpočet  $\mu_{cr}$ :

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$
$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \sqrt{1 + 0,72^2}$$
$$\mu_{cr} = 1,39$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$
$$M_{cr} = 1,39 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 1,59 \cdot 10^{-7} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 1,2 \cdot 10^{-8}}}{1,2}$$
$$M_{cr} = 20,8 \text{ kNm}$$

Výpočet  $\bar{\lambda}_{LT}$ :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$
$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{9,15 \cdot 10^{-5} \cdot 690 \cdot 10^3}{20,8}}$$
$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,14$$

Součinitel  $\chi_{LT}$ :

- součinitel imperfekce = 0,21 (křivka a)

$$\chi_{LT} = 0,57$$

Ohybová únosnost:

$$M_{cy,Rd} = 0,57 \frac{3,9 \cdot 10^{-5} \cdot 690000}{1,0}$$



$$M_{cy,Rd} = 15,4 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{cy,Rd}$$

$$9,2 \text{ kNm} < 15,4 \text{ kNm}$$

## 2) Únosnost od momentu Mz:

Jelikož je moment  $M_z$  ve směru měkčí osy, nemusí se posuzovat klopení, ohybová únosnost potom bude:

$$M_{cz,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{cz,Rd} = \frac{9,15 \cdot 10^{-6} \cdot 690 \cdot 10^3}{1,0}$$

$$M_{cz,Rd} = 6,3 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Ed} \leq M_{cz,Rd}$$

$$0,5 \text{ kNm} < 6,3 \text{ kNm}$$

**vyhovuje**

## SMYKOVÁ ÚNOSNOST

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{0,000508 \cdot \left(\frac{690 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{1,0}$$

$$V_{pl,Rd} = 202 \text{ kN}$$

## KOMBINACE OHYBU A OSOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{\chi_{Lt} M_{yRd}} + k_{yz} \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} + k_{zz} \frac{M_{zEd}}{\chi_{Lt} M_{zRd}} \leq 1$$

součinitel  $C_{my} = 0,95$ ,  $C_{mz} = 0,4$  a  $C_{mLT} = 0,95$

součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}/\gamma_{m1}}\right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}/\gamma_{m1}}\right)$$



$$k_{yy} = 0,95(1 + (3,3 - 0,2) \frac{23}{0,09 \cdot 712}) \leq 0,95(1 + 0,8 \frac{23}{0,09 \cdot 712})$$

$$k_{yy} = \mathbf{1,19}$$

součinitel  $k_{zy}$ :

$$k_{zy} = [1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi Z \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} \frac{N_{Ed}}{\gamma_{m1}}] \geq (1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi Z \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} \frac{N_{Ed}}{\gamma_{m1}})$$

$$k_{zy} = [1 - \frac{0,1 \cdot 1,76}{(0,95 - 0,25) 0,3 \cdot 712} \frac{23}{0,3 \cdot 712}] \geq (1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25) 0,3 \cdot 712} \frac{23}{0,3 \cdot 712})$$

$$k_{zy} = 0,99$$

součinitel  $k_{zz}$ :

$$k_{zz} = C_{mz}(1 + (2\bar{\lambda} - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi N_{rk}}) \leq C_{mz}(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk/\gamma_{m1}}})$$

$$k_{zz} = 0,4(1 + (2 \cdot 1,76 - 0,6) \frac{23}{0,3 \cdot 712}) \leq 0,4(1 + 1,4 \frac{23}{0,3 \cdot 712})$$

$$k_{zz} = 0,45$$

součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \cdot 0,45 = \mathbf{0,27}$$

Posouzení:

$$\frac{23}{0,09 \cdot 712} + 1,19 \frac{9}{15,4} + 0,27 \frac{0,15}{6,3} = \mathbf{1,06} > 1,0$$

$$\frac{23}{0,3 \cdot 712} + 0,99 \frac{9}{15,4} + 0,45 \frac{0,15}{6,3} = \mathbf{0,70} \leq 1$$

**nevyhovuje**

Průřez IPE 100 nevyhoví. I zde by se musel použít průřez IPE 120, jako u oceli S355. Tudíž by k žádné úspoře ocele nedošlo i při použití oceli s vyšší pevností (mezí kluzu).



## 7.5 MSP

Posouzení průhybů pro prvky z oceli S690.

### 7.5.1 Hlavní sloup – trubka TR 102 x 4

$w_{\max} = 20,6$  mm, od zatížení větrem

$w_{\lim} = L/250 = 22100/250 = 88,4$  mm

Posouzení:

$w_{\max} \leq w_{\lim}$

20,6 mm < 88,4 mm

**vyhovuje**

### 7.5.2 Diagonála ztužidla TR 60,3 x 3,6

$w_{\max} = 11,6$  mm, od větru

$w_{\lim} = L/250 = 3590/250 = 14,36$  mm

Posouzení:

$w_{\max} \leq w_{\lim}$

11,6 mm < 14,36 mm

**vyhovuje**

### 7.5.3 Vodorovná trubka 60 x 60 x 4

$w_{\max} = 21,6$  mm (horní ztužidlo u krokve), jinak 10,2 mm

$w_{\lim} = L/250 = 4500/250 = 18$  mm

Posouzení:

$w_{\max} > w_{\lim}$

21,6 mm > 18 mm, u střešní konstrukce by se musel použít jiný profil trubky, pokud by se nesměla překročit hodnota pro průhyb  $L/250$ .

### 7.5.4 Krokev

Průhyb je totožný jako u krokve u oceli S355 (použití stejného profilu IPE120).



## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Půdorys schodiště .....	3
Obrázek 2 - Půdorys rozhledny .....	4
Obrázek 3- Pohled (schématický) + axonometrie .....	4
Obrázek 4 - Situace.....	5
Obrázek 5 - Umístění konstrukce .....	5
Obrázek 6 - Podrobnější situace.....	6
Obrázek 7 - Schodiště.....	7
Obrázek 8 - Schodišťový stupeň .....	8
Obrázek 9 - Mezipodesta .....	9
Obrázek 10 - Zatížení konstrukce větrem .....	10
Obrázek 11 - Zatížení střešní konstrukce .....	20
Obrázek 12 - TR 108x5.....	23
Obrázek 13 - Diagonála TR 60,3x5.....	28
Obrázek 14 - Vřetenová trubka TR 508x6,3 .....	32
Obrázek 15 - Připojení stupně.....	35
Obrázek 16 - Vodorovná trubka TR 70x70x5 .....	37
Obrázek 17- Nosník IPE 80 .....	42
Obrázek 18- Nosník IPE 120 .....	48
Obrázek 19 - Nosník IPE 160 .....	55
Obrázek 20 - Krokev IPE 140 .....	62
Obrázek 21 - Přípoj IPE 160 .....	70
Obrázek 22 - Přípoj IPE 120 I.....	73
Obrázek 23 - Přípoj IPE 120 II .....	74
Obrázek 24 - Přípoj schodišťového stupně .....	76
Obrázek 25 - Přípoj ztužidel.....	79
Obrázek 26 - Připojení šikmých ztužidel .....	84
Obrázek 27 - Připojení IPE 80 k IPE 120 .....	86
Obrázek 28 - Připojení IPE 80 k IPE 160 .....	86
Obrázek 29 - Přípoj krokve .....	90
Obrázek 32 - Řez spoj - vrchol II .....	94
Obrázek 31 - Řez spoje - vrchol I .....	94
Obrázek 30 - Půdorys spoje- vrchol.....	94
Obrázek 33 - Řez patka I.....	97
Obrázek 34 - Půdorys patky I.....	98
Obrázek 35 - Půdorys patky II.....	103
Obrázek 36 - Řez patka II.....	103
Obrázek 37 - Výstup ze softwaru – deformace .....	105
Obrázek 38 - TR 108x4 .....	108
Obrázek 39 - Diagonála TR 60,3x4.....	112
Obrázek 40 – Vodorovná trubka TR 70x70x4.....	116
Obrázek 41 - Krokev IPE 120 .....	121
Obrázek 42 - TR 102x4.....	128
Obrázek 43 – Diagonála TR 60,3x3,6.....	131
Obrázek 44 – Vodorovná trubka TR 60x60x4.....	134
Obrázek 45 - Krokev IPE 120 .....	139