



**FAKULTA** **ústav**  
**STAVEBNÍ** **kovových**  
**a dřevěných konstrukcí**

# **ANALÝZA STYČNÍKU PRUTŮ TRUBKOVÉHO PRŮŘEZU A JEHO PRAKTICKÉ VYUŽITÍ V NOSNÉ OCELOVÉ KONSTRUKCI LÁVKY PRO PĚŠÍ**

ANALYSIS OF A JOINT OF STEEL TUBES MEMBERS AND ITS PRACTICAL USE IN  
LOAD-BEARING STRUCTURE OF A PEDESTRIAN BRIDGE

**STATICKÝ VÝPOČET**

STATIC CALCULATION

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Olga Kuttelwascherová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. ONDŘEJ PEŠEK, Ph.D.**

**BRNO 2024**

## Obsah

1	Geometrie konstrukce .....	6
2	Materiálové charakteristiky .....	8
2.1	Konstrukční ocel S355 .....	8
2.2	Rostlé jehličnaté dřevo C30 .....	8
2.3	Izolační vrstvené sklo .....	8
2.4	Beton C 30/37 .....	8
2.5	Betonářská výztuž B500B .....	8
3	Zatížení působící na konstrukci .....	9
3.1	Stálá zatížení .....	9
3.2	Proměnná zatížení .....	10
3.2.1	Užitné zatížení kategorie C .....	10
3.2.2	Užitné zatížení kategorie H .....	11
3.2.3	Zatížení větrem .....	11
3.2.4	Zatížení sněhem .....	14
3.2.5	Zatížení teplotou .....	15
3.3	Přehled zatěžovacích stavů .....	16
4	Kombinace zatížení .....	17
5	Analýza konstrukce .....	18
5.1	Obecné informace .....	18
5.2	Modelování styčnicku křížových ztužidel .....	18
6	Posouzení ocelových prvků na MSÚ .....	21
6.1	Sloupy – svislé prvky .....	21
6.1.1	Prostý tlak .....	22
6.1.2	Ohyb .....	22
6.1.3	Vzpěr .....	23
6.1.4	Kombinace ohybu a tlaku .....	24
6.1.5	Smyk .....	25
6.2	Sloupy – vodorovné prvky .....	26
6.2.1	Prostý tlak .....	27
6.2.2	Ohyb .....	28
6.2.3	Vzpěr .....	28
6.2.4	Kombinace tlaku a ohybu .....	29

6.2.5	Prostý tah.....	30
6.3	Sloupy – ztužující prvky .....	30
6.3.1	Prostý tlak .....	31
6.3.2	Ohyb.....	32
6.3.3	Vzpěr .....	32
6.3.4	Kombinace tlaku a ohybu .....	33
6.4	Horní pásy hlavních nosníků .....	34
6.4.1	Prostý tlak .....	35
6.4.2	Ohyb.....	35
6.4.3	Vzpěr .....	36
6.4.4	Kombinace tlaku a ohybu .....	36
6.4.5	Klopení .....	37
6.5	Dolní pásy hlavních nosníků .....	39
6.5.1	Prostý tlak .....	40
6.5.2	Ohyb.....	40
6.5.3	Vzpěr .....	41
6.5.4	Kombinace tlaku a ohybu .....	41
6.5.5	Klopení .....	42
6.6	Příčníky primární .....	44
6.6.1	Prostý tlak .....	45
6.6.2	Ohyb.....	45
6.6.3	Vzpěr .....	46
6.6.4	Kombinace tlaku a ohybu .....	46
6.6.5	Klopení .....	47
6.7	Příčníky sekundární .....	49
6.7.1	Prostý tlak .....	50
6.7.2	Ohyb.....	50
6.7.3	Vzpěr .....	51
6.7.4	Kombinace tlaku a ohybu .....	51
6.7.5	Klopení .....	52
6.8	Svislice .....	54
6.8.1	Prostý tlak .....	55
6.8.2	Ohyb.....	55
6.8.3	Vzpěr .....	55

6.8.4	Kombinace tlaku a ohybu .....	56
6.8.5	Smyk .....	57
6.9	Diagonály .....	58
6.9.1	Prostý tlak .....	59
6.9.2	Ohyb .....	59
6.9.3	Vzpěr .....	60
6.9.4	Kombinace tlaku a ohybu .....	60
6.10	Ztužidla vodorovná .....	62
6.10.1	Prostý tlak .....	63
6.10.2	Vzpěr .....	63
7	Posouzení ocelových prvků na MSP .....	65
8	Posouzení dřevěných prvků .....	67
8.1	MSÚ .....	67
8.1.1	Dvouosý ohyb .....	68
8.2	MSP .....	69
9	Posouzení skleněných prvků .....	70
9.1	MSÚ .....	70
9.2	MSP .....	74
10	Posouzení madla zábradlí .....	75
10.1	MSÚ .....	75
10.1.1	Ohyb .....	75
10.2	MSP .....	76
11	Návrh detailů .....	78
11.1	Montážní spoj hlavních nosníků .....	78
11.2	Přípoj primárního příčnicku k hlavnímu nosníku .....	79
11.3	Přípoj svislice a diagonál k hlavnímu nosníku .....	81
11.4	Vzájemné křížení diagonál .....	85
11.5	Přípoj sloupů k patnímu plechu .....	86
11.5.1	Posouzení čepu na kombinaci stříhu a ohybu .....	87
12	Návrh kotvení konstrukce .....	88
12.1	Kotvení namáhané tlakem .....	89
12.1.1	Posouzení na přenos smykové síly .....	89
12.1.2	Posouzení patky na tlak .....	90
12.2	Kotvení namáhané tahem .....	92

12.2.1	Posouzení na přenos smykové síly .....	92
12.2.2	Posouzení patky na tah .....	93
13	Dynamické vlastnosti konstrukce .....	95
14	Závěr.....	98

# 1 Geometrie konstrukce

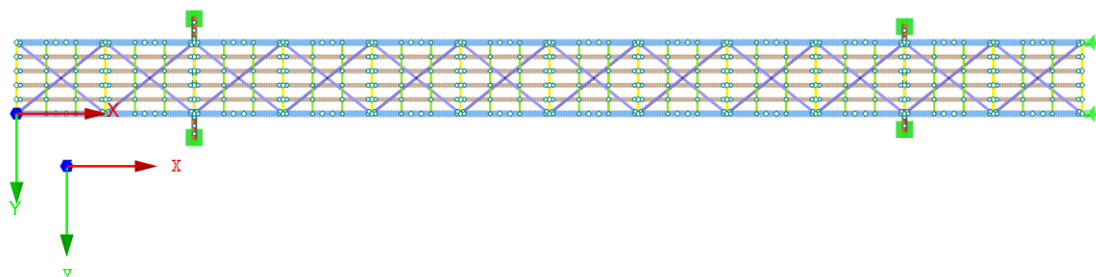
Předmětem této části práce je návrh nosné konstrukce lávky pro pěší. Lávka spojuje dvě stávající stavby, a to výukovou budovu v areálu Základní školy v Litomyšli s blízkou sportovní halou, která je pravidelně využívána pro výuku tělesné výchovy. Dojde k propojení dvou interiérových částí, proto je lávka navržena jako uzavřená, přičemž boční stěny jsou opatřeny skleněným opláštěním.

Hlavní nosnou konstrukci tvoří dva hlavní nosníky, které jsou vzájemně po délce propojeny příčnými rámy. Příčné rámy rozdělují konstrukci lávky podélně celkem do 12 polí. Celková délka konstrukce je 45 m, každé pole tedy má délku 3,75 m. Konstrukční výška lávky je 3,5 m. Lávka je podepřena dvěma rámovými podpěrami, které jsou ve vzdálenostech 9 m od konce lávky. Výška sloupů je 8 m a 5,4 m. Celková výška lávky je tedy 11,5 m. Rozpětí konstrukce mezi sloupy je 30 m, délka převislého konce činí na obou stranách 7,5 m.

Ze statického hlediska se konstrukce lávky chová jako prostý nosník s převislými konci. Svislé podepření v místech napojení na stávající budovy se neuvažuje, neboť nebyl proveden průzkum, zda by zdivo bylo schopné přenést přídavné zatížení od konstrukce lávky.

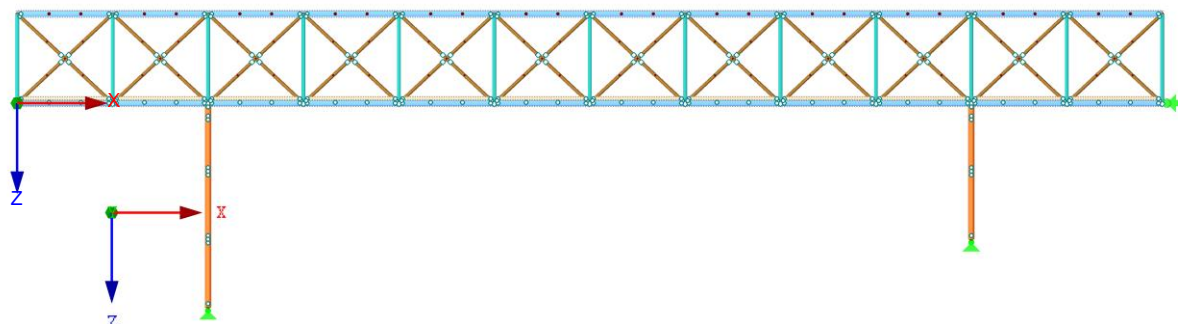
## Půdorysné schéma konstrukce

Ve směru Z



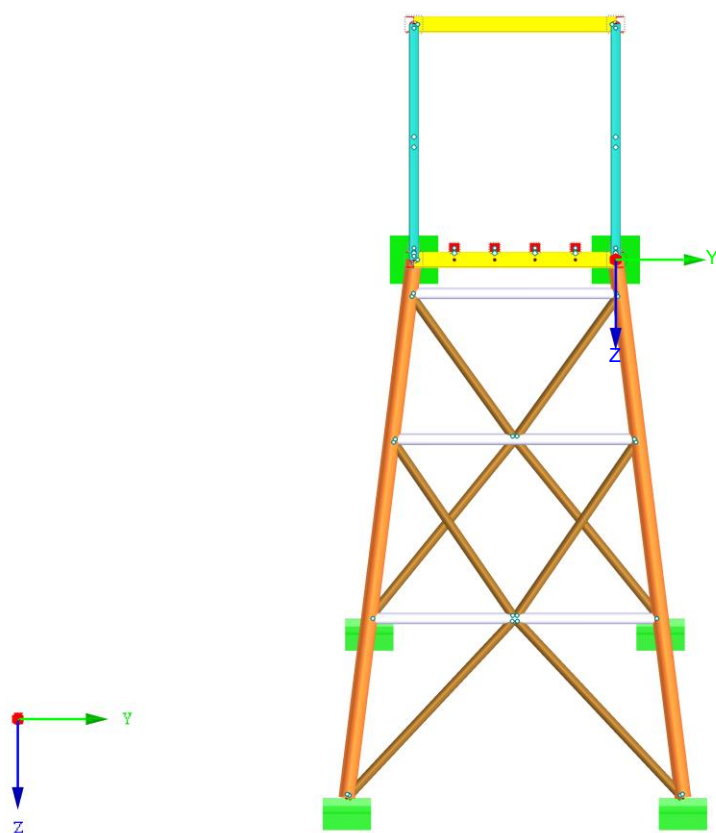
## Podélný pohled

Proti směru osy Y



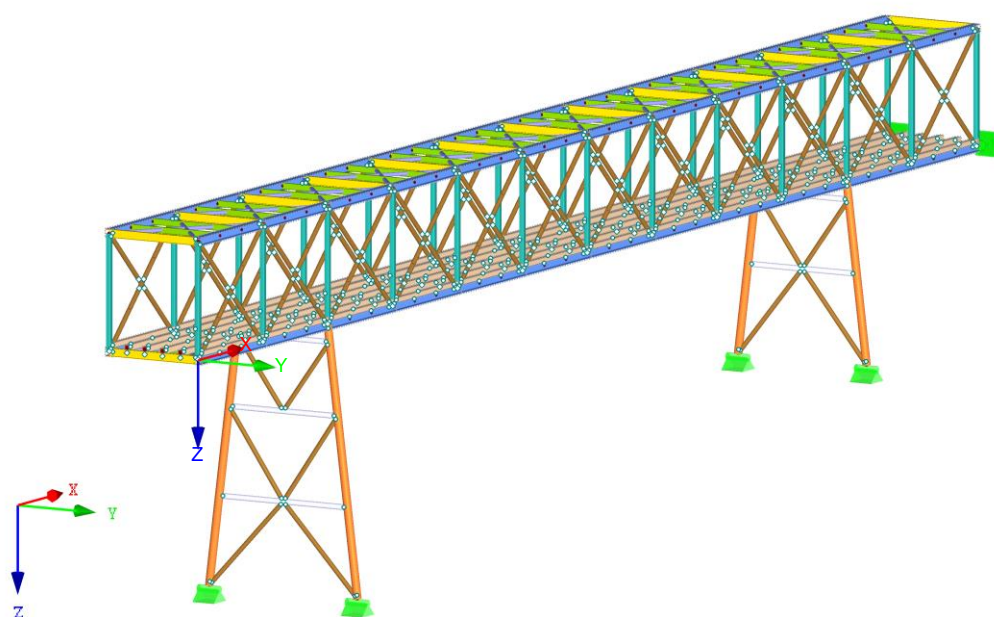
## Příčný pohled

Ve směru X



## Izometrický pohled na konstrukci

Izometrie



## 2 Materiálové charakteristiky

### 2.1 Konstrukční ocel S355

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

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

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

### 2.2 Rostlé jehličnaté dřevo C30

$$f_{m,k} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23 \text{ MPa}$$

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

$$E = 12 \text{ GPa}$$

### 2.3 Izolační vrstvené sklo

$$f_{ck} = 120 \text{ MPa}$$

$$E = 70 \text{ GPa}$$

$$G = 30 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0,23$$

$$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$$

### 2.4 Beton C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu,3} = 3,5 \text{ ‰}$$

### 2.5 Betonářská výztuž B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$



### 3 Zatížení působící na konstrukci

V této kapitole jsou shrnuta veškerá zatížení, která působí na konstrukci lávky. Na závěr je uveden výčet zatěžovacích stavů, které byly použity do statického modelu konstrukce.

#### 3.1 Stálá zatížení

Mezi stálá zatížení se řadí vlastní tíha ocelové konstrukce, jež byla stanovena pomocí programu Dlubal RFEM. Dále sem patří ostatní stálá zatížení, v tomto případě se jedná o skladbu podlahy a skladbu stropní konstrukce. Rovněž se sem řadí tíha skleněných tabulí na bočních stěnách lávky.

Skladba podlahy:

- Pochozí plocha – dřevěná prkna tl. 30 mm:  $\gamma = 8 \text{ kNm}^{-3}$
- Izolace tl. 130 mm:  $\gamma = 2 \text{ kNm}^{-3}$
- Záklop – dřevěná prkna tl. 10 mm:  $\gamma = 7 \text{ kNm}^{-3}$

Skladba střechy:

- Plechová krytina tl. 1,5 mm:  $\gamma = 0,35 \text{ kNm}^{-2}$
- Izolace tl. 360 mm:  $\gamma = 1,5 \text{ kNm}^{-3}$
- Záklop – dřevěná prkna tl. 10 mm:  $\gamma = 8 \text{ kNm}^{-3}$

Skleněné tabule:

- Vrstvené izolační sklo o tl. 6, resp. 8 mm:  $\gamma = 25 \text{ kNm}^{-3}$
- Rozměry jedné tabule:  $1,25 \times 3,5 \text{ m}$

Poznámka: statickému posouzení skleněných tabulí se věnuje kapitola 9.

Výpočet stálého zatížení na jednotlivé prvky:

OSTATNÍ STÁLÉ	objem. tíha	tloušťka	výška	šířka	zatížení		
tíha střechy	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	t [m]		ZŠ [m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN]
plechová krytina				1,25	0,35	0,4375	
izolace	1,5	0,36		1,25		0,675	
záklop	8	0,01		1,25		0,100	
zatížení na vnitřní nosníky						<b>1,213</b>	
zatížení na krajní nosníky						<b>0,606</b>	
tíha pochozí plochy	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	t [m]		ZŠ [m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN]
dřevěná prkna	8	0,03		0,6		0,144	
zatížení na vnitřní nosníky						<b>0,144</b>	
zatížení na krajní nosníky						<b>0,072</b>	
tíha podlahy	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	t [m]		ZŠ [m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN]
izolace	1,5	0,13		1,25		0,244	
záklop	7	0,01		1,25		0,088	

zatížení na vnitřní nosníky						0,331	
zatížení na krajní nosníky						0,166	
<b>tíha skleněných tabulí</b>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$t$ [m]	$h$ [m]	$b$ [m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN]
skleněné tabule	25	0,025	3,5	1,25			2,734
celkem svislá síla vnitřní							0,911
celkem svislá síla krajní							0,456

## 3.2 Proměnná zatížení

Mezi proměnná zatížení se uvažuje užité zatížení kategorie C, užité zatížení na střechy kategorie H, zatížení sněhem, zatížení větrem a zatížení teplotou.

### 3.2.1 Užité zatížení kategorie C

Pochodí plocha lávky pro pěší z hlediska užitého zatížení spadá do kategorie ploch, kde může docházet ke shromažďování lidí. Dle ČSN EN 1991-1-1 se jedná o kategorii C5. Hodnota užitého zatížení je tedy rovna  $q_{C5} = 5,0 \text{ kNm}^{-2}$  a působí na celé pochodí ploše lávky.

Protože se ale ze statického hlediska jedná o prostý nosník s převislými konci, je provedeno rozdělení zatížení na 3 skupiny:

- Užité chodci šach 1 – zatížení působí pouze na převislých koncích
- Užité chodci šach 2 – zatížení působí pouze v hlavním poli
- Užité chodci plné – zatížení působí zároveň na hlavním poli i převislých koncích

Zatížení způsobeno pěší dopravou vyvolává na konstrukci svislé a vodorovné účinky. Vodorovné zatížení může působit jak v podélném směru lávky, tak i v příčném směru. Zároveň platí, že svislé a vodorovné zatížení působí vždy současně.

#### Přepočet zatížení na prvky konstrukce:

Zatížení působí na dřevěné prvky, které vynáší podlahu, zatěžovací šířka je rovna jejich vzájemné vzdálenosti.

#### Svislé zatížení na 1 nosník:

$$q_{sv} = q_{C5} \cdot Z\check{S} = 5,0 \cdot 0,6 = 3,0 \text{ kN/m}$$

Vodorovné příčné i podélné zatížení má působit intenzitou, která se rovná 10 % z hodnoty svislého zatížení.

#### Vodorovné příčné zatížení na 1 nosník:

$$q_{pr} = q_{C5} \cdot 0,1 \cdot Z\check{S} = 5,0 \cdot 0,1 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ kN/m}$$

#### Vodorovné podélné zatížení na 1 nosník:

$$q_{pod} = q_{C5} \cdot 0,1 \cdot Z\check{S} \cdot L = 5,0 \cdot 0,1 \cdot 0,6 \cdot 3,75 = 1,125 \text{ kN}$$

Zatížení svislé může působit současně buď s příčným zatížením anebo s podélným vodorovným zatížením. Vodorovné zatížení může působit zleva nebo zprava. Proto je užité zatížení od chodců rozděleno celkem do 12 zatěžovacích stavů.

### 3.2.2 Užité zatížení kategorie H

Zastřešení lávky pro pěší z hlediska užitého zatížení lze zařadit do kategorie střech nepřístupných s výjimkou běžné údržby a oprav. Jedná se o kategorii H. Hodnota užitého zatížení je tedy rovna  $q_{C5} = 0,75 \text{ kNm}^{-2}$  a působí na celé pochozí ploše lávky. Stejně jako v případě užitého zatížení od chodců je provedeno rozdělení zatížení na 3 skupiny:

- Užité střešní šach 1 – zatížení působí pouze na převislých koncích
- Užité střešní šach 2 – zatížení působí pouze v hlavním poli
- Užité střešní plně – zatížení působí zároveň na hlavním poli i převislých koncích

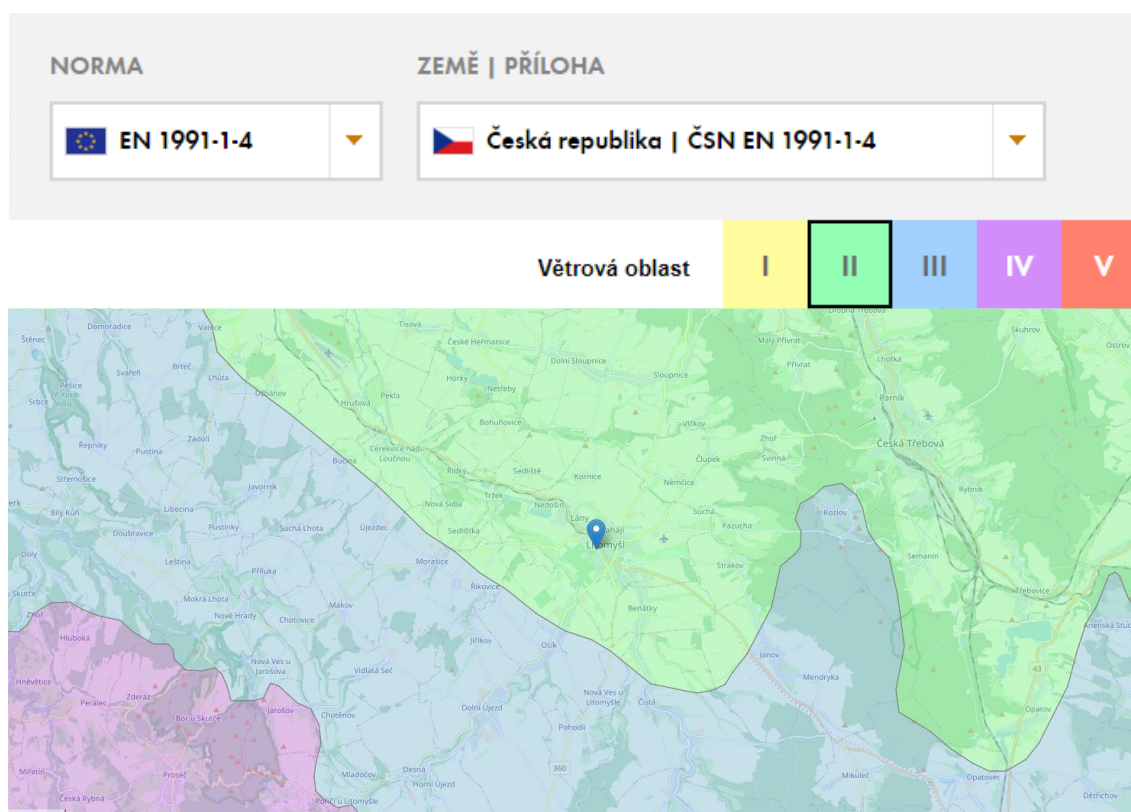
**Přepočet zatížení na prvky konstrukce:**

Zatěžovací šířka se rovná vzájemné vzdálenosti příčníků, které přenášejí střechu a veškeré zatížení, které na ni působí.

$$q_{u,s} = q_{C5} \cdot Z\bar{S} = 0,75 \cdot 1,25 = 0,938 \text{ kN/m}$$

### 3.2.3 Zatížení větrem

Konstrukce se nachází ve větrné oblasti II s výchozí základní rychlostí větru  $v_{b0} = 25 \text{ m/s}$ , oblast byla stanovena na základě údajů z mapy větrných oblastí (viz níže). Terén odpovídá kategorii terénu III.



(převzato z: <https://www.dlupal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>)

**Základní rychlost větru:**

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

$C_{dir}$  ... součinitel směru větru, doporučená hodnota pro ČR je 1,0

$C_{season}$  ...součinitel ročního období, doporučená hodnota pro ČR je 1,0

$C_0(z)$  ...součinitel orografie, doporučená hodnota pro ČR je 1,0

$k_I$  ...součinitel turbulence, doporučená hodnota pro ČR je 1,0

Parametr drsnosti terénu  $z_0 = 0,3 \text{ m}$

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

**Součinitel terénu:**

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

**Součinitel drsnosti terénu:**

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,215 \cdot \ln \left( \frac{9,75}{0,3} \right) = 0,748$$

**Střední rychlost větru:**

$$v_m(z) = C_r(z) \cdot C_0(z) \cdot v_b = 0,748 \cdot 1,0 \cdot 25 = 18,7 \text{ m/s}$$

**Turbulence větru:**

$$I_v(z) = \frac{k_I}{C_0(z) \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln \left( \frac{9,75}{0,3} \right)} = 0,287$$

**Maximální dynamický tlak:**

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,287] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 18,7^2 = 0,658 \text{ kPa}$$

**Součinitel  $C_{pe}$ :**  $C_{pe} = 2,4$

**Zatížení větrem na plochy:**

$$q_v = q_p(z) \cdot C_{pe} = 0,658 \cdot 2,4 = 1,579 \text{ kPa}$$

**Zatížení na boční stěny lávky**

Ve statickém modelu se uvažuje působení větru v bočním směru. Vítr se přenáší na ocelovou konstrukci lávky prostřednictvím skleněných tabulí o rozměrech  $b \times h$ .

**Zatížení větrem na 1 skleněnou tabuli:**

$$F_1 = q_p(z) \cdot C_{pe} \cdot h \cdot b = 0,658 \cdot 2,4 \cdot 3,5 \cdot 1,25 = 6,909 \text{ kN}$$

Každá skleněná tabule je kotvená ke konstrukci celkem v 6 bodech. Proto náhradní zatížení větrem pro každou skleněnou tabuli působí na konstrukci jako 6 osamělých sil.

Síla působící v každém bodě kotvení skleněné tabule:

$$F_{1/6} = \frac{F_1}{6} = \frac{6,909}{6} = 1,152 \text{ kN}$$

### Zatížení na jednotlivé ocelové prvky

Je nutné stanovit liniové zatížení na jednotlivé prvky ocelové konstrukce. Jedná se o svislé a ztužidlové prvky sloupů.

#### Zatížení větrem na ocelovou konstrukci

maximální dynamický tlak větru	$q_p(z_e)$	0,658 kPa
hustota vzduchu	$\rho$	0,0125 kN/m <sup>3</sup>
maximální rychlost větru ve výšce $z_e$	$v(z_e)$	7,255 m/s

$$v(z_e) = \sqrt{\left(\frac{q_p(z_e)}{\rho}\right)} = \sqrt{\left(\frac{0,658}{0,0125}\right)} = 7,255 \text{ m/s}$$

ekvivalentní drsnost	$k$	0,02 -
kinematická viskozita vzduchu	$\nu$	0,000015 m <sup>2</sup> /s
součinitel koncového efektu – vliv lze zanedbat	$\psi_\lambda$	1 -

Liniové zatížení větrem působící na svislé prvky sloupů: TR 244,5x12 mm.

Výška vzdorující větru:

$$b = d = 0,2445 \text{ m}$$

Reynoldsovo číslo:

$$Re = b \cdot \frac{v(z_e)}{\nu} = 0,2445 \cdot \frac{7,255}{0,000015} = 118\,256$$

Poměr ekvivalentní drsnosti ku výšce vzdorující větru:

$$\frac{k}{b} = \frac{0,02}{0,2445} = 0,082$$

Součinitel  $c_{f,0}$ :

$$c_{f,0} = 1,2 + \frac{(0,18 \cdot \log(10 \cdot \frac{k}{b}))}{1 + 0,4 \cdot \log(\frac{Re}{10^6})} = 1,2 + \frac{(0,18 \cdot \log(10 \cdot 0,082))}{1 + 0,4 \cdot \log(\frac{118\,256}{10^6})} = 1,175$$

Součinitel  $c_f$ :

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,175 \cdot 1,0 = 1,175$$

Liniové tlakové zatížení na prut:  $f_{w,1} = c_f \cdot b \cdot q_p(z_e) = 1,175 \cdot 0,2445 \cdot 0,658 = 0,189 \text{ kN/m}$

Liniové zatížení větrem působící na ztužidlové prvky sloupu: TR139,7x5 mm

Výška vzdorující větru:

$$b = d = 0,1397 \text{ m}$$

Reynoldsovo číslo:

$$Re = b \cdot \frac{v(z_e)}{\nu} = 0,1397 \cdot \frac{7,255}{0,000015} = 67\,568$$

Poměr ekvivalentní drsnosti ku výšce vzdorující větru:

$$\frac{k}{b} = \frac{0,02}{0,1397} = 0,143$$

Součinitel  $c_{f,0}$ :

$$c_{f,0} = 1,2 + \frac{(0,18 \cdot \log(10 \cdot \frac{k}{b}))}{1 + 0,4 \cdot \log(\frac{Re}{10^6})} = 1,2 + \frac{(0,18 \cdot \log(10 \cdot 0,143))}{1 + 0,4 \cdot \log(\frac{67\,568}{10^6})} = 1,253$$

Součinitel  $c_f$ :

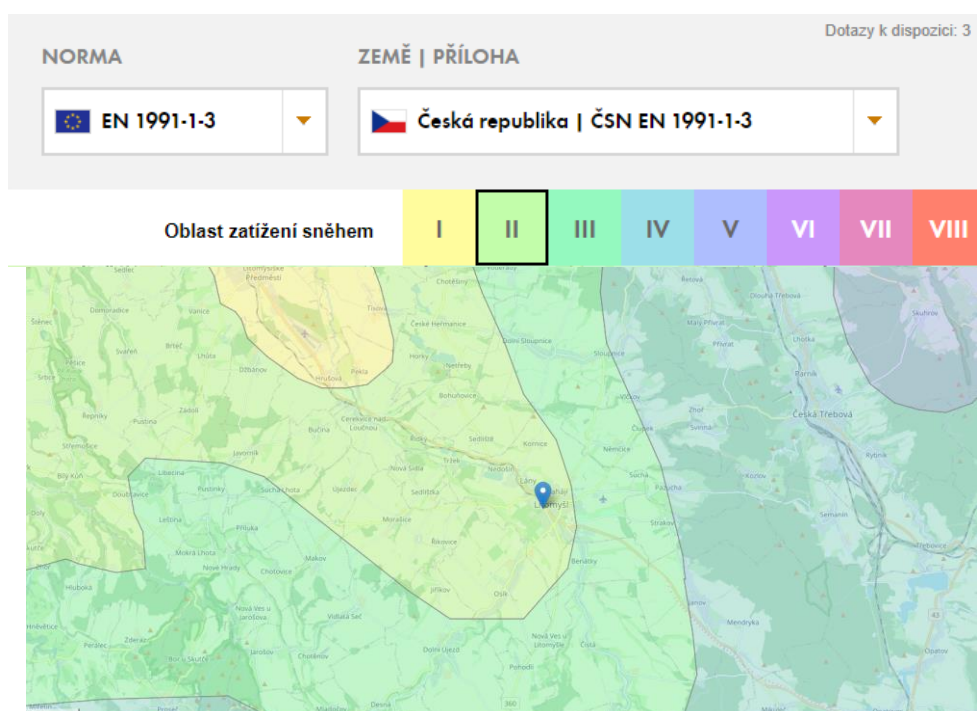
$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,253 \cdot 1,0 = 1,253$$

Liniové tlakové zatížení na prut:

$$f_{w,2} = c_f \cdot b \cdot q_p(z_e) = 1,253 \cdot 0,1397 \cdot 0,658 = 0,114 \text{ kN/m}$$

### 3.2.4 Zatížení sněhem

Konstrukce se nachází ve sněhové oblasti II. Charakteristické zatížení sněhem na zemi je tedy rovno  $s_k = 1,00 \text{ kNm}^{-2}$ .



(převzato z:

<https://www.dlupal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>)

$C_e = 1,00$  ... normální typ krajiny

$C_t = 1,00$  ... normální tepelná prostupnost střechy

$\mu_i = 0,8$  ... úhel sklonu střechy:  $\alpha = 0^\circ$

**Zatížení sněhem na střeše:**

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 \text{ kNm}^{-2}$$

**Přepočet zatížení na prvky konstrukce:**

Zatěžovací šířka se rovná vzájemné vzdálenosti příčníků, které přenáší skladbu střechy a tudíž i zatížení sněhem.

$$q_s = s \cdot Z\check{S} = 0,8 \cdot 1,25 = 1,0 \text{ kN/m}$$

### 3.2.5 Zatížení teplotou

Zatížení teplotou je vyvoláno rozdílem teploty v interiéru lávky a teploty okolního prostředí.

Venkovní teplota – ověřeny dva případy:

1. Teplota – léto:  $35^\circ\text{C}$
2. Teplota – zima:  $-20^\circ\text{C}$

Referenční = montážní teplota:  $T_{REF} = 18^\circ\text{C}$

Teplota uvnitř lávky (interiéru):  $20^\circ\text{C}$

$T_0$  ... teplota na horní straně prvku

$T_u$  ... teplota na dolní straně prvku

**Změna teploty v ose prutu:**

$$\text{Léto: } T_c = \frac{(T_{01} + T_u)}{2} - T_{REF} = \frac{(35 + 20)}{2} - 18 = 9,5^\circ\text{C}$$

$$\text{Zima: } T_c = \frac{(T_{01} + T_u)}{2} - T_{REF} = \frac{(-20 + 20)}{2} - 18 = -18^\circ\text{C}$$

**Změna teploty po výšce prutu:**

Léto:

$$\text{Horní prvky lávky: } \Delta T_1 = T_0 - T_u = 35 - 20 = 15^\circ\text{C}$$

$$\text{Dolní prvky lávky: } \Delta T_1 = T_0 - T_u = 20 - 35 = -15^\circ\text{C}$$

Zima:

$$\text{Horní prvky lávky: } \Delta T_1 = T_0 - T_u = -20 - 20 = -40^\circ\text{C}$$

$$\text{Dolní prvky lávky: } \Delta T_1 = T_0 - T_u = 20 - (-20) = 40^\circ\text{C}$$

### 3.3 Přehled zatěžovacích stavů

ZS1: vlastní tíha

ZS2: ostatní stálé zatížení

ZS3: užité – chodci šach 1 + podélné J

ZS4: užité – chodci šach 2 + podélné J

ZS5: užité – chodci plné + podélné J

ZS6: užité – chodci šach 1 + podélné S

ZS7: užité – chodci šach 2 + podélné S

ZS8: užité – chodci plné + podélné S

ZS9: užité – chodci šach 1 + příčné Z

ZS10: užité – chodci šach 2 + příčné Z

ZS11: užité – chodci plné + příčné Z

ZS12: užité – chodci šach 1 + příčné V

ZS13: užité – chodci šach 2 + příčné V

ZS14: užité – chodci plné + příčné V

ZS15: užité – střecha šach 1

ZS16: užité – střecha šach 2

ZS17: užité – střecha plné

ZS18: vítr – boční Z

ZS19: vítr – boční V

ZS20: sníh – šach 1

ZS21: sníh – šach 2

ZS22: sníh – plné

ZS23: teplota – léto

ZS24: teplota – zima



## 4 Kombinace zatížení

Kombinace zatížení byly vygenerovány pomocí programu Dlubal RFEM. Jednotlivé prvky byly posouzeny na kombinace výsledků dle rovnic 6.10a a 6.10b pro mezní stav únosnosti a na charakteristickou kombinaci 6.14b pro mezní stav použitelnosti.

### Seznam kombinací:

$$KV3 = 1,00 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2$$

$$KV4 = 1,00 \cdot ZS3 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS4 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS5 \text{ nebo } \dots \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS14$$

$$KV5 = 1,00 \cdot ZS15 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS16 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS17$$

$$KV6 = 1,00 \cdot ZS18 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS19$$

$$KV7 = 1,00 \cdot ZS20 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS21 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS22$$

$$KV8 = 1,00 \cdot ZS23 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS24$$

$$KV9 = 1,35 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV10 = 1,00 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV11 = 1,15 \cdot KV3 + 1,50 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV12 = 1,15 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 1,50 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 0,09 \cdot KV8$$

$$KV13 = 1,15 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 1,50 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV14 = 1,15 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 1,50 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV15 = 1,15 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 1,50 \cdot KV8$$

$$KV16 = 1,00 \cdot KV3 + 1,5 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV17 = 1,00 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 1,50 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV18 = 1,00 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 1,50 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV19 = 1,15 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 1,5 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV20 = 1,00 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 0,90 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 1,50 \cdot KV8$$

$$KV21 = 1,15 \cdot KV3 + 1,05 \cdot KV4 + 0,00 \cdot KV5 + 1,50 \cdot KV6 + 0,75 \cdot KV7 + 0,90 \cdot KV8$$

$$KV22 = 1,00 \cdot ZS3 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS4 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS5 \text{ nebo } \dots \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS14$$

$$KV23 = 1,00 \cdot ZS20 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS21 \text{ nebo } 1,00 \cdot ZS22$$

$$KV24 = 1,00 \cdot KV3 + 1,00 \cdot KV21 + 0,00 \cdot KV22 + 0,60 \cdot KV6 + 0,50 \cdot KV23 + 0,60 \cdot KV8$$

$$KV25 = 1,00 \cdot KV3 + 0,70 \cdot KV21 + 1,00 \cdot KV22 + 0,60 \cdot KV6 + 0,50 \cdot KV23 + 0,60 \cdot KV8$$

$$KV26 = 1,00 \cdot KV3 + 0,70 \cdot KV21 + 0,00 \cdot KV22 + 1,00 \cdot KV6 + 0,50 \cdot KV23 + 0,60 \cdot KV8$$

$$KV27 = 1,00 \cdot KV3 + 0,70 \cdot KV21 + 0,00 \cdot KV22 + 0,60 \cdot KV6 + 1,00 \cdot KV23 + 0,60 \cdot KV8$$

$$KV28 = 1,00 \cdot KV3 + 0,70 \cdot KV21 + 0,00 \cdot KV22 + 0,60 \cdot KV6 + 0,50 \cdot KV23 + 1,00 \cdot KV8$$

$$KV29 = MSÚ - STR/GEO - trvalá/dočasná - rovnice 6.10a a 6.10b$$

$$KV30 = MSP - charakteristická$$

## 5 Analýza konstrukce

### 5.1 Obecné informace

Statický model konstrukce byl vytvořen v programu Dlubal RFEM. Jedná se o prutový model. Analýza konstrukce byla provedena podle teorie I. řádu, rozhodnutí bylo provedeno na základě výsledků stabilitní analýzy z přídatného modulu RF – STABILITY.

**Součinitel kritického zatížení pro 1. vlastní tvar:**

$\alpha = 21,448 \geq 10$  ... lze tedy provést analýzu konstrukce podle teorie I. řádu

**Okrajové podmínky:**

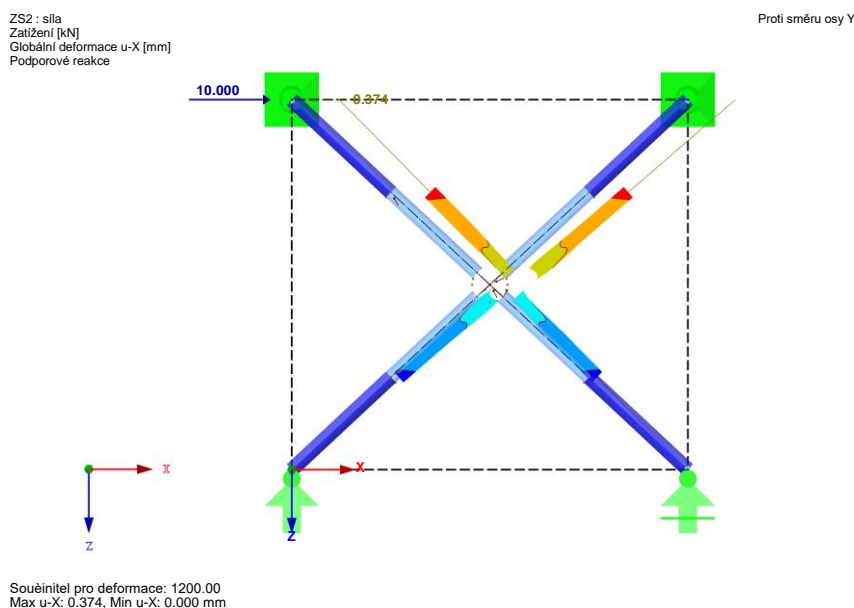
Uložení všech sloupů se uvažuje jako uložení kloubové neposuvné. Podepření v podélném směru je zajištěno prostřednictvím jedné z propojovaných budov, jedná se tedy o pevné podepření ve směru osy  $x$ , v ostatních směrech je podepření posuvné.

### 5.2 Modelování styčnicku křížových ztužidel

**Tuhost přípoje v místě křížení diagonál**

Konstrukční návrh styčnicku křížových ztužidel byl proveden dle geometrie uvedené v teoretické části této diplomové práce. Jedná se o křížení uzavřených průřezů prostřednictvím prstence. Prstenec je navržen z trubky TRKR 355x20 mm. Jedná se o průřez z běžně dostupného sortimentu kruhových trubek. Dle výsledků parametrické studie ale nelze pro prstenec s těmito rozměry uvažovat stejnou tuhost jako v případě tuhého spojení. Proto byla nejprve zjištěna tuhost tohoto prstence na deskostěnovém modelu a následně byla hodnota tuhosti vložena do globálního modelu konstrukce lávky. V místě křížení byl pro každou diagonálu vložen kloub s požadovanou tuhostí ve směru posunu  $u_x$ .

**Výsledky z deskostěnového modelu:**



Působící vodorovná síla:  $F = 10 \text{ kN}$

Vodorovný posun:  $u_x = 0,374 \text{ mm}$

Výsledná tuhost:

$$k = \frac{F}{u_x} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,374 \cdot 10^{-3}} = 26,738 \text{ MN/m}$$

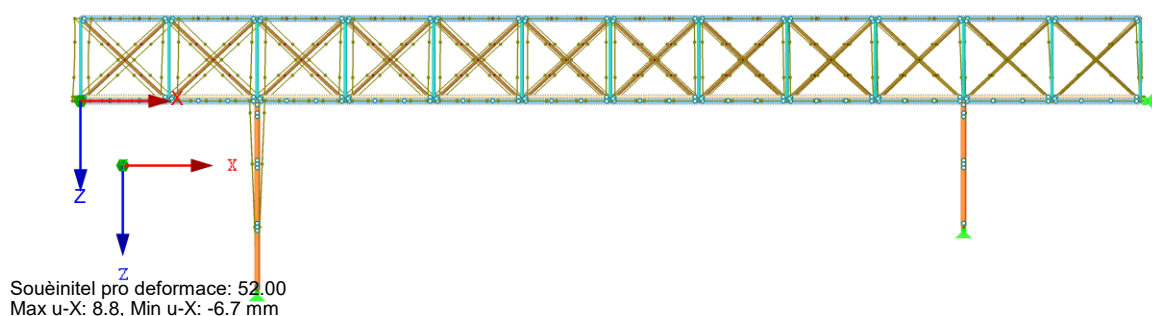
Použitím nižší tuhosti dochází k tomu, že konstrukce vykazuje větší deformace.

### Deformace modelu s tuhými styčníky v místě křížení diagonál

V podélném směru:

KV30 : MSP - charakteristická  
Globální deformace u-X [mm]  
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Proti směru osy Y



Ve svislém směru:

KV30 : MSP - charakteristická  
Globální deformace u-Z [mm]  
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Proti směru osy Y

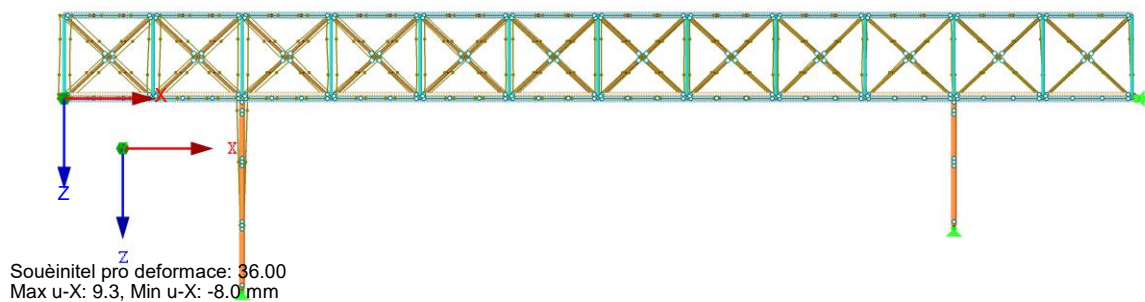


## Deformace modelu se zadanou tuhostí styčníků křížení ztužidel:

V podélném směru:

KV30 : MSP - charakteristická  
Globální deformace u-X [mm]  
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

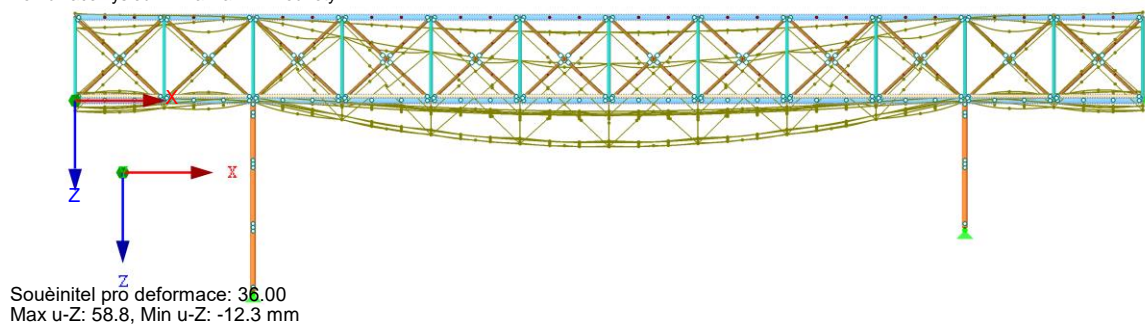
Proti směru osy Y



Ve svislém směru:

KV30 : MSP - charakteristická  
Globální deformace u-Z [mm]  
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Proti směru osy Y

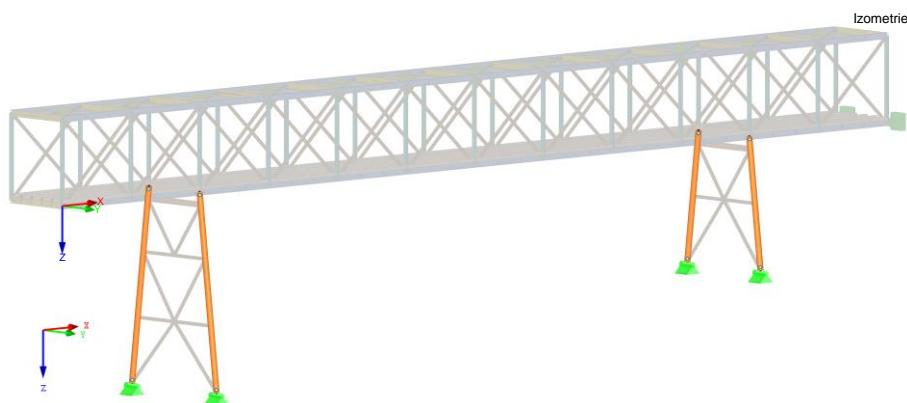


## 6 Posouzení ocelových prvků na MSÚ

Tato kapitola obsahuje posouzení jednotlivých typů ocelových prvků v konstrukci. Následující tabulka obsahuje souhrn navržených dimenzí jednotlivých typů prvků.

Prvek	Průřez
Horní a dolní pásy	HEB 240
Příčníky hlavní	IPE 240
Svislice	SHS 150x10
Ztužidla vodorovná	TRKR 114,3x5
Příčníky sekundární	IPE180
Diagonály	TRKR 139,7x5
Sloupy – svislé prvky	TRKR 244,5x12
Sloupy – vodorovné	TRKR 168,3x5
Sloupy – ztužidla	TRKR 139,7x5

### 6.1 Sloupy – svislé prvky



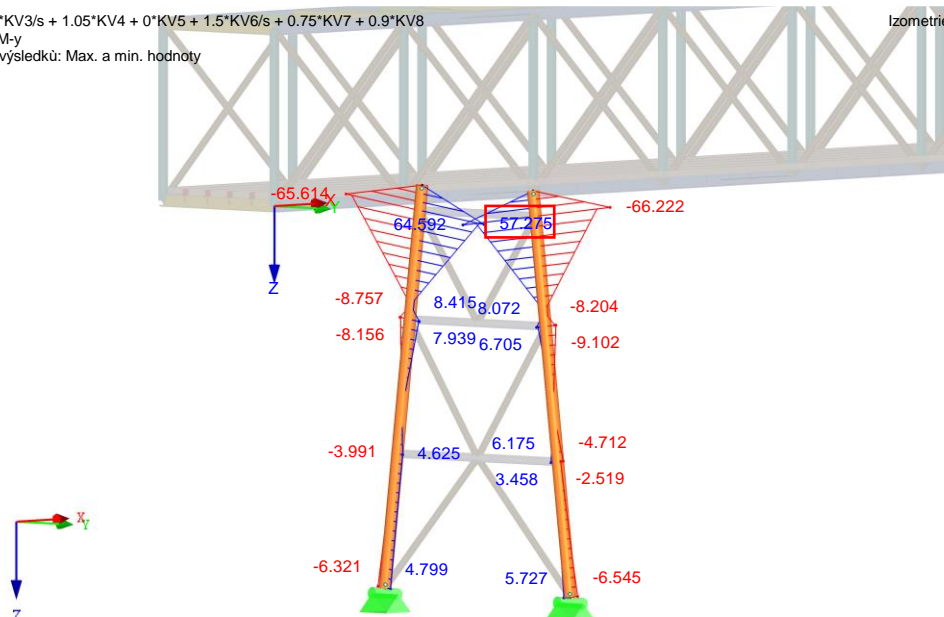
Posouzení svislých prvků bylo provedeno pro kombinace KV13, která vyvodí maximální ohybový moment a odpovídající vnitřní síly.

**Vnitřní síly z KV13 pro posouzení na tlak:**

	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	<b>-41,683</b>	0,000	-119,772	0,369	-60,306	0,000	ZS 1,2,19,24
min N	<b>-606,585</b>	-0,008	92,626	0,206	46,665	0,004	ZS 1,2,11,18,22,23
max V <sub>y</sub>	-194,480	<b>0,007</b>	-86,580	-0,115	-43,595	-0,004	ZS 1,2,12,19,20,24
min V <sub>y</sub>	-506,700	<b>-0,016</b>	52,673	0,764	26,533	0,008	ZS 1,2,13,18,21,23
max V <sub>z</sub>	-508,853	-0,006	<b>128,444</b>	-0,051	64,697	0,003	ZS 1,2,14,18,20,23
min V <sub>z</sub>	-202,233	-0,009	<b>-131,505</b>	0,901	-66,216	0,004	ZS 1,2,13,19,21,24
max M <sub>T</sub>	-317,779	-0,015	-74,174	<b>1,134</b>	-37,342	0,007	ZS 1,2,13,19,21,23
min M <sub>T</sub>	-421,452	0,003	85,154	<b>-0,505</b>	42,884	-0,002	ZS 1,2,12,18,20,24
max M <sub>y</sub>	-515,421	-0,006	128,444	-0,051	<b>57,275</b>	0,003	ZS 1,2,14,18,20,23
min M <sub>y</sub>	-202,233	-0,009	-131,505	0,901	<b>-66,216</b>	0,004	ZS 1,2,13,19,21,24
max M <sub>z</sub>	-506,700	-0,016	52,673	0,764	26,533	<b>0,008</b>	ZS 1,2,13,18,21,23
min M <sub>z</sub>	-194,480	0,007	-86,580	-0,115	-43,595	<b>-0,004</b>	ZS 1,2,12,19,20,24

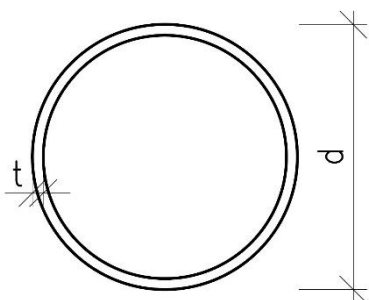
KV13 : 1.15\*KV3/s + 1.05\*KV4 + 0\*KV5 + 1.5\*KV6/s + 0.75\*KV7 + 0.9\*KV8  
 Vnitřní síly M-y  
 Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Izometrie



Max M-y: 65.567, Min M-y: -74.051 [kNm]

**Průřezové charakteristiky:** kruhová trubka Ø 244,5×12,0 mm.



$d$	244,5 mm
$t$	12 mm
$A$	8770 mm <sup>2</sup>
$I_y = I_z$	$5,938 \cdot 10^7$ mm <sup>4</sup>
$W_{pl,y} = W_{pl,z}$	$6,49 \cdot 10^5$ mm <sup>3</sup>
$i_y = i_z$	82,3 mm
$I_t$	$1,188 \cdot 10^8$ mm <sup>4</sup>

Třída průřezu: 1

## 6.1.1 Prostý tlak

Návrhová únosnost v tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{8770 \cdot 355}{1,0} = 3113,35 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{515,421}{3113,35} \leq 1,0 \quad 0,17 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.1.2 Ohyb

Návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{6,49 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 230,40 \text{ kNm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{57,725}{230,40} \leq 1,0 \quad 0,25 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{0,003}{230,40} \leq 1,0 \quad 0,00 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

**6.1.3 Vzpěr****Vzpěrná délka:**

Vzpěrná délka byla určena jako vzdálenost uzlů zabezpečených proti vybočení. U svislých prvků sloupu je to ve směru y (v rovině sloupu) vzdálenost mezi vodorovnými prvky sloupu. Ve směru z (z roviny sloupu) je vzpěrná délka rovna celkové výšce sloupu.

$$L_{cr,y} = 2687 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 8000 \text{ mm}$$

**Kritická síla:**

$$N_{cr,y} = \pi^2 \cdot \frac{EI}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 \cdot \frac{210000 \cdot 5,938 \cdot 10^7}{2687^2} = 17046,06 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 \cdot \frac{EI}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \cdot \frac{210000 \cdot 5,938 \cdot 10^7}{8000^2} = 1923,0 \text{ kN}$$

**Poměrná štíhlost:**

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8770 \cdot 355}{17040,7 \cdot 10^3}} = 0,427$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{8770 \cdot 355}{1923,0 \cdot 10^3}} = 1,272$$

**Křivka vzpěrné pevnosti:  $c \rightarrow \alpha = 0,49$** 

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,427 - 0,2) + 0,427^2] = 0,647$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,272 - 0,2) + 1,272^2] = 1,572$$

**Součinitel vzpěrnosti:**

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,636 + \sqrt{0,636^2 - 0,41^2}} = 0,883$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,556 + \sqrt{1,556^2 - 1,262^2}} = 0,401$$

**Návrhová vzpěrná únosnost:**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,401 \cdot 8770 \cdot 355}{1,1} = 1134,96 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{515,421}{1134,96} \leq 1,0 \quad 0,45 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

**6.1.4 Kombinace ohybu a tlaku**

Stanovení součinitelů ekvivalentního konstantního momentu  $C_m$  a interakčních součinitelů  $k$  pro pruty náchylné jen k rovinnému vzpěru:

$C_{my} = C_{mz} = 1,0$  (dle programu RFEM)

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \wedge k_{yy} \leq C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left[ 1 + (0,427 - 0,2) \cdot \frac{508,853}{\frac{0,883 \cdot 3113,35}{1,1}} \right] \wedge k_{yy} \leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{508,853}{\frac{0,883 \cdot 3113,35}{1,1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,042 \wedge k_{yy} \leq 1,19 \rightarrow k_{yy} = 1,042$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[ 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \wedge k_{zz} \leq C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0 \cdot \left[ 1 + (1,272 - 0,2) \cdot \frac{508,853}{\frac{0,401 \cdot 3113,35}{1,1}} \right] \wedge k_{zz} \leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{508,853}{\frac{0,401 \cdot 3113,35}{1,1}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,326 \wedge k_{zz} \leq 1,415 \rightarrow k_{zz} = 1,326$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,042 = 0,625$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,415 = 0,796$$

**Podmínky spolehlivosti**

Uzavřené kruhové průřezy nejsou náchylné ke klopení, proto se jeho vliv zanedbává.

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

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$



$$\frac{515,421}{0,427 \cdot 3113,35} + 1,042 \cdot \frac{57,275}{1,0 \cdot 230,40} + 0,796 \cdot \frac{0,003}{230,40} \leq 1,0$$

$$0,49 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{515,421}{0,76 \cdot 3113,35} + 0,625 \cdot \frac{57,275}{1,0 \cdot 230,40} + 1,326 \cdot \frac{0,003}{230,40} \leq 1,0$$

$$0,63 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.1.5 Smyk

Smyková plocha u kruhových dutých průřezů:

$$A_v = 2 \cdot \frac{A}{\pi} = 2 \cdot \frac{8770}{\pi} = 5583,16 \text{ mm}^2$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{5583,16 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1144,32 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{128,444}{1144,32} \leq 1,0 \quad 0,12 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

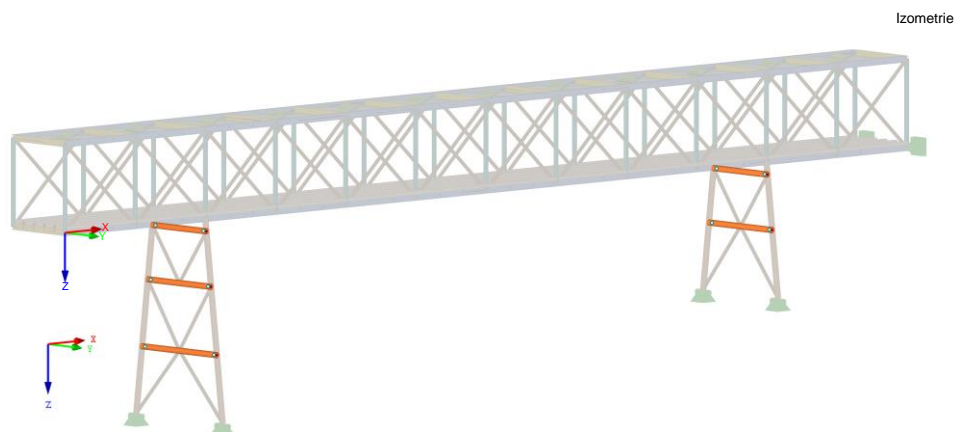
Vliv smyku na ohybovou únosnost:

Podmínka spolehlivosti:

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd} \quad 128,444 \leq 0,5 \cdot 1144,32 \quad 128,444 \leq 572,16 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Vliv smyku na ohybovou únosnost je možné zanedbat.

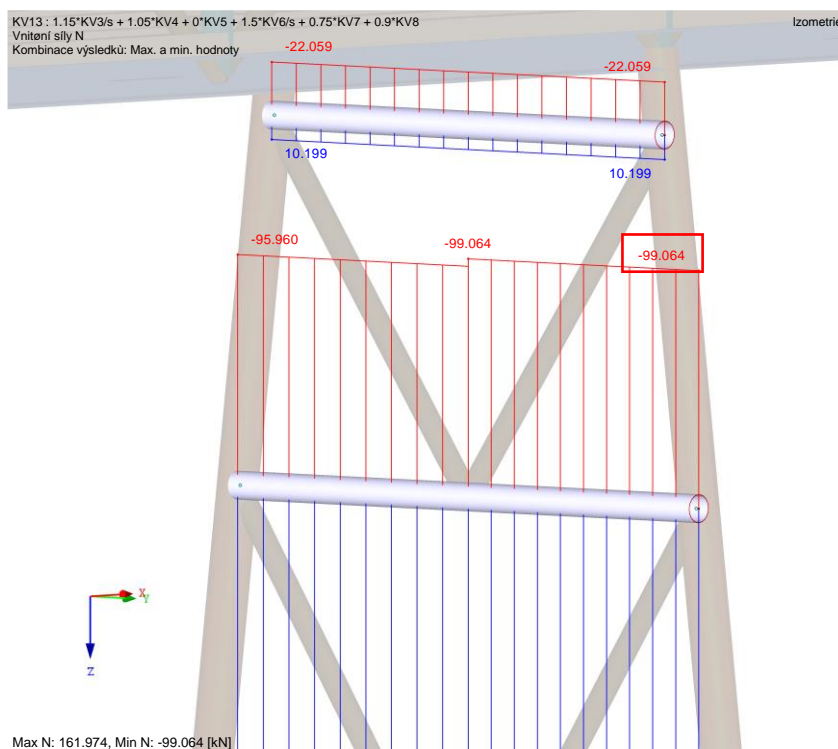
## 6.2 Sloupy – vodorovné prvky



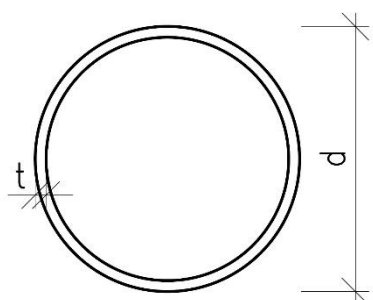
Posouzení bylo provedeno pro rozhodující kombinaci KV13, která vyvodí maximální tlakovou sílu a odpovídající vnitřní síly.

**Vnitřní síly:**

	N [kN]	$V_y$ [kN]	$V_z$ [kN]	$M_T$ [kNm]	$M_y$ [kNm]	$M_z$ [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	<b>162,027</b>	-0,010	0,896	0,077	2,033	0,019	ZS 1,2,11,18,22,24
min N	<b>-99,064</b>	0,004	-0,378	-0,024	-0,303	-0,007	ZS 1,2,12,19,23
max $V_y$	-90,543	<b>0,015</b>	-0,216	-0,029	-0,005	-0,027	ZS 1,2,13,19,24
min $V_y$	145,668	<b>-0,015</b>	0,687	0,114	1,650	0,027	ZS 1,2,10,18,22,23
max $V_z$	162,027	-0,010	<b>0,896</b>	0,077	2,033	0,019	ZS 1,2,11,18,22,24
min $V_z$	-93,797	0,008	<b>-0,424</b>	-0,022	-0,387	-0,016	ZS 1,2,19,23
max $M_T$	145,169	-0,015	0,678	<b>0,116</b>	1,634	0,027	ZS 1,2,10,18,21,23
min $M_T$	-76,939	0,013	-0,206	<b>-0,061</b>	0,011	-0,024	ZS 1,2,9,19,20,24
max $M_y$	162,027	-0,010	0,896	0,077	<b>2,033</b>	0,019	ZS 1,2,11,18,22,24
min $M_y$	-93,797	0,008	-0,424	-0,022	<b>-0,387</b>	-0,016	ZS 1,2,19,23
max $M_z$	145,668	-0,015	0,687	0,114	1,650	<b>0,027</b>	ZS 1,2,10,18,22,23
min $M_z$	-90,543	0,015	-0,216	-0,029	-0,005	<b>-0,027</b>	ZS 1,2,13,19,24



**Průřezové charakteristiky:** kruhová trubka  $\varnothing 168,3 \times 5,0$  mm.



$d$	168,3 mm
$t$	5 mm
$A$	2570 mm <sup>2</sup>
$I_y = I_z$	$8,56 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>
$W_{pl,y} = W_{pl,z}$	$1,33 \cdot 10^5$ mm <sup>3</sup>
$i_y = i_z$	57,8 mm
$I_t$	$1,712 \cdot 10^7$ mm <sup>4</sup>

**Třída průřezu:** 1

## 6.2.1 Prostý tlak

**Únosnost v tlaku:**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2570 \cdot 355}{1,0} = 912,350 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{99,064}{912,35} \leq 1,0 \quad 0,11 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.2.2 Ohyb

Návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,33 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 47,215 \text{ kNm}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{0,303}{47,215} \leq 1,0 \quad 0,01 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{0,007}{47,215} \leq 1,0 \quad 0,00 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.2.3 Vzpěr

Vzpěrná délka:

Vzpěrná délka byla určena jako vzdálenost uzlů zabezpečených proti vybočení. Vybočení v rovině vazníku je zabráněno v místech připojení ztužidel. Vybočení z roviny vazníku je zabráněno v uzlech připojení ke svislým prvkům.

$$L_{cr,y} = 1834 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 3667 \text{ mm}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \pi^2 \cdot \frac{EI_y}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 \cdot \frac{210000 \cdot 8,56 \cdot 10^6}{1834^2} = 5274,66 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 \cdot \frac{EI_y}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 \cdot \frac{210000 \cdot 8,56 \cdot 10^6}{3667^2} = 1319,62 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2570 \cdot 355}{5724,66 \cdot 10^3}} = 0,416$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2570 \cdot 355}{1391,62 \cdot 10^3}} = 0,832$$

Křivka vzpěrné pevnosti:  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,416 - 0,2) + 0,416^2] = 0,639$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,832 - 0,2) + 0,832^2] = 1,000$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,639 + \sqrt{0,639^2 - 0,416^2}} = 0,889$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,000 + \sqrt{1,000^2 - 0,832^2}} = 0,642$$

**Návrhová vzpěrná únosnost:**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,642 \cdot 2570 \cdot 355}{1,1} = 532,77 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{99,064}{732,77} \leq 1,0 \quad 0,19 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.2.4 Kombinace tlaku a ohybu

Stanovení součinitelů ekvivalentního konstantního momentu  $C_m$  a interakčních součinitelů  $k$ :

$$C_{my} = 1,00 \text{ (dle programu RFEM)}$$

$$C_{mz} = 1,00 \text{ (dle programu RFEM)}$$

$$k_{yy} = 1,026 \quad k_{zz} = 1,104$$

$$k_{yz} = 0,662 \quad k_{zy} = 0,616$$

**Podmínky spolehlivosti**

Uzavřené kruhové průřezy nejsou náchylné ke klopení, proto se jeho vliv zanedbává.

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

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{99,064}{\frac{0,889 \cdot 912,35}{1,1}} + 1,026 \cdot \frac{0,303}{\frac{1,0 \cdot 47,215}{1,1}} + 0,602 \cdot \frac{0,007}{\frac{47,215}{1,1}} \leq 1,0$$

$$0,14 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{99,064}{\frac{0,642 \cdot 912,35}{1,1}} + 0,616 \cdot \frac{0,303}{\frac{1,0 \cdot 47,215}{1,1}} + 1,104 \cdot \frac{0,007}{\frac{47,215}{1,1}} \leq 1,0$$

$$0,19 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.2.5 Prostý tah

Posouzeno na maximální tahovou sílu  $N_{Ed} = 162,027 \text{ kN}$

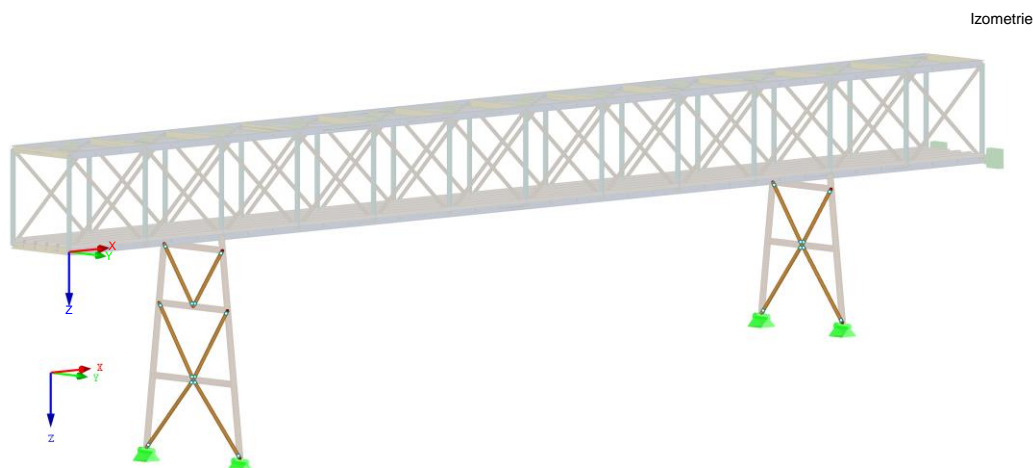
Únosnost v tahu:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2570 \cdot 355}{1,0} = 912,350 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{162,027}{912,35} \leq 1,0 \quad 0,18 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

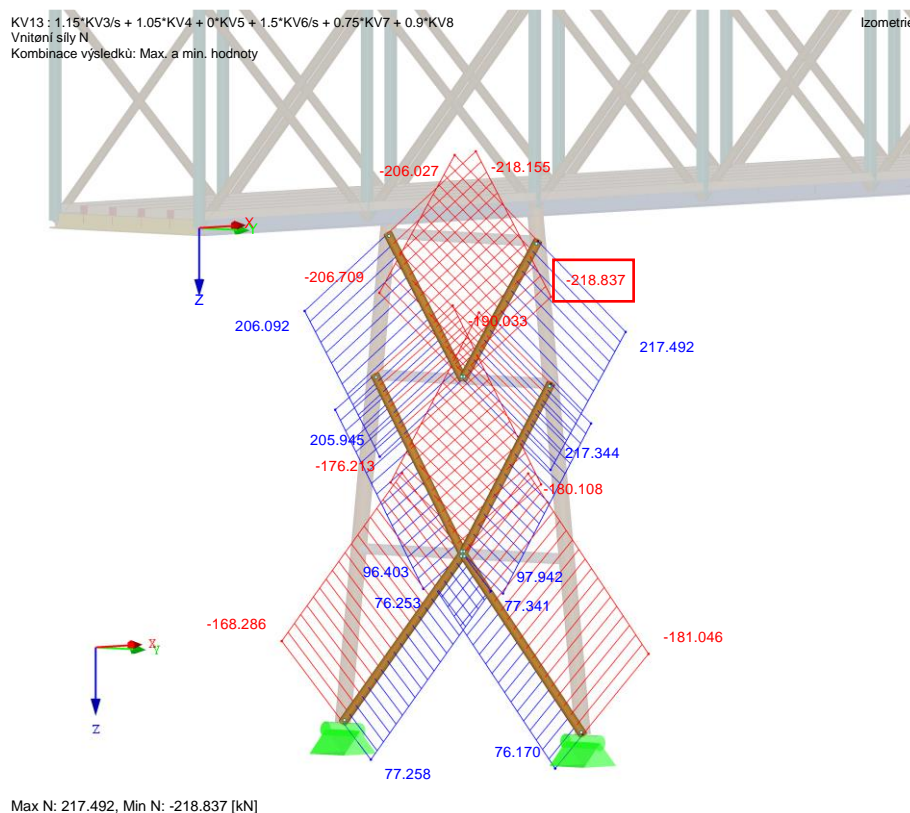
### 6.3 Sloupy – ztužující prvky



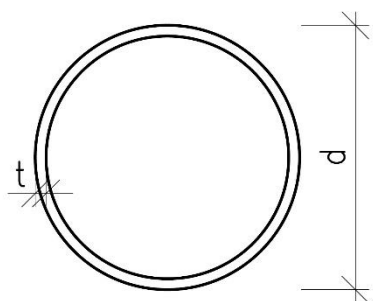
Posouzení bylo provedeno pro kombinaci KV13, který vyvodí maximální tlakovou sílu a odpovídající vnitřní síly.

Vnitřní síly:

	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné ZS
max N	<b>206,206</b>	0,000	2,336	-0,050	-4,442	0,000	ZS 1,2,13,19,23
min N	<b>-218,837</b>	0,000	-2,388	-0,060	5,094	0,000	ZS 1,2,14,18,22,24
max V <sub>y</sub>	0,419	<b>0,000</b>	0,124	-0,029	0,011	0,000	ZS 1,2
min V <sub>y</sub>	0,419	<b>0,000</b>	0,124	-0,029	0,011	0,000	ZS 1,2
max V <sub>z</sub>	206,206	0,000	<b>2,336</b>	-0,050	-4,442	0,000	ZS 1,2,13,19,23
min V <sub>z</sub>	-218,266	0,000	<b>-2,388</b>	-0,060	5,094	0,000	ZS 1,2,14,18,22,24
max M <sub>T</sub>	175,599	0,000	1,687	<b>0,040</b>	-3,138	0,000	ZS 1,2,9,19,20,24
min M <sub>T</sub>	-205,733	0,000	-1,895	<b>-0,122</b>	4,122	0,000	ZS 1,2,10,18,21,23
max M <sub>y</sub>	-218,266	0,000	-2,388	-0,060	<b>5,094</b>	0,000	ZS 1,2,14,18,22,24
min M <sub>y</sub>	206,206	0,000	2,336	-0,050	<b>-4,442</b>	0,000	ZS 1,2,13,19,23
max M <sub>z</sub>	0,419	0,000	0,124	-0,029	0,011	<b>0,000</b>	ZS 1,2
min M <sub>z</sub>	0,419	0,000	0,124	-0,029	0,011	<b>0,000</b>	ZS 1,2



**Průřezové charakteristiky:** kruhová trubka Ø 139,7×5,0 mm.



$d$	139,7 mm
$t$	5 mm
$A$	2120 mm <sup>2</sup>
$I_y = I_z$	$4,81 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>
$W_{pl,y} = W_{pl,z}$	$9,08 \cdot 10^4$ mm <sup>3</sup>
$i_y = i_z$	47,7 mm
$I_t$	$9,61 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>

**Třída průřezu:** 1

### 6.3.1 Prostý tlak

**Únosnost v tlaku:**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2120 \cdot 355}{1,0} = 752,6 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{218,837}{752,600} \leq 1,0 \quad 0,29 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.3.2 Ohyb

**Návrhová únosnost v ohybu:**

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{9,08 \cdot 10^6 \cdot 355}{1,0} = 32,234 \text{ kNm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{5,094}{32,234} \leq 1,0 \quad 0,16 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.3.3 Vzpěr

**Vzpěrné délky:**

Vybočení v rovině i z roviny sloupu je zabráněno v koncových uzlech prutu. Vzpěrná délka tedy odpovídá systémové délce rozhodující diagonály.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2671 \text{ mm}$$

**Kritická síla:**  $N_{cr,y} = N_{cr,z} = 1397,38 \text{ kN}$

**Poměrná štíhlost:**  $\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = 0,734$

**Křivka vzpěrné pevnosti:**  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_y = \phi_z = 0,900$$

**Součinitel vzpěrnosti:**  $\chi_y = \chi_z = 0,704$

**Návrhová vzpěrná únosnost:**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,704 \cdot 2120 \cdot 355}{1,1} = 481,4 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{218,837}{481,400} \leq 1,0 \quad 0,45 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$



### 6.3.4 Kombinace tlaku a ohybu

Stanovení součinitelů ekvivalentního konstantního momentu  $C_m$  a interakčních součinitelů  $k$ : dle programu Dlubal RFEM

$$C_{my} = 1,00$$

$$C_{mz} = 1,00$$

$$k_{yy} = k_{yy} = 1,243$$

$$k_{zy} = k_{yz} = 0,746$$

#### Podmínky spolehlivosti

Uzavřené kruhové průřezy nejsou náchylné ke klopení, proto se jeho vliv zanedbává.

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

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{218,837}{\frac{0,704 \cdot 752,6}{1,1}} + 1,243 \cdot \frac{5,094}{\frac{1,0 \cdot 32,234}{1,1}} + 0 \leq 1,0$$

$$0,67 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

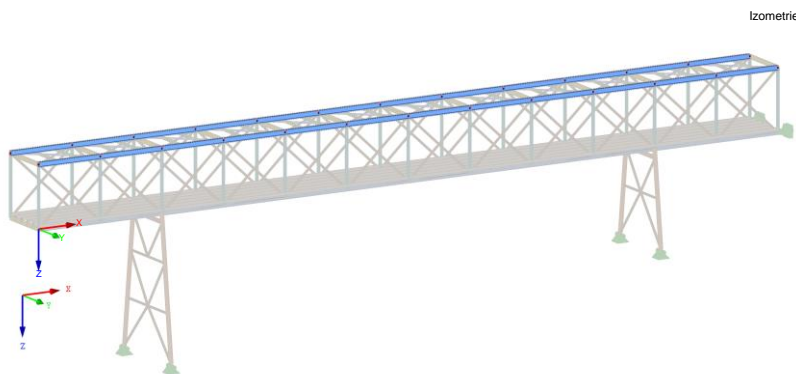
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{218,837}{\frac{0,704 \cdot 752,6}{1,1}} + 0,746 \cdot \frac{5,094}{\frac{1,0 \cdot 32,234}{1,1}} + 0 \leq 1,0$$

$$0,58 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Ztužidla jsou též namáhána tahem. Ve všech kombinacích jsou tahové síly menší než tlakové, proto není třeba posuzovat, ztužidla na tah vyhoví.

## 6.4 Horní pásy hlavních nosníků

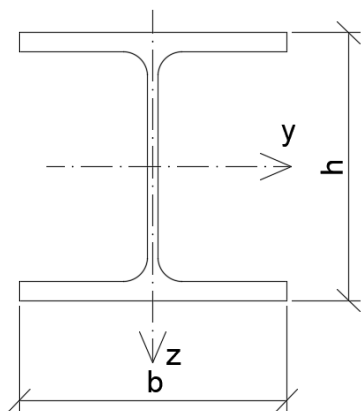


Posouzení bylo provedeno pro rozhodující kombinaci KV15, která vyvodí maximální ohybový moment a příslušné vnitřní síly.

**Vnitřní síly:**

	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
Max N	<b>128,196</b>	-1,181	15,242	0,307	-73,774	-0,538	ZS 1,2,12,18,20,24
Min N	<b>-108,338</b>	1,567	15,301	-0,097	28,347	0,711	ZS 1,2,13,19,21,23
Max V <sub>y</sub>	-108,338	<b>1,567</b>	15,301	-0,097	28,347	0,711	ZS 1,2,13,19,21,23
Min V <sub>y</sub>	128,196	<b>-1,181</b>	15,242	0,307	-73,774	-0,538	ZS 1,2,12,18,20,24
Max V <sub>z</sub>	49,373	1,339	<b>37,564</b>	-0,057	-60,824	1,078	ZS 1,2,11,18,22,23
Min V <sub>z</sub>	-29,013	1,107	<b>3,285</b>	0,152	-64,231	-0,875	ZS 1,2,19,21,24
Max M <sub>T</sub>	-7,261	-0,470	22,261	<b>0,326</b>	-69,275	-0,220	ZS 1,2,13,18,21,24
Min M <sub>T</sub>	59,088	1,386	35,721	<b>-0,310</b>	-152,274	1,119	ZS 1,2,11,18,21,24
Max M <sub>y</sub>	-16,976	-0,445	22,908	0,074	<b>56,167</b>	0,348	ZS 1,2,13,18,22,23
Min M <sub>y</sub>	103,629	1,408	36,056	-0,308	<b>-153,496</b>	1,137	ZS 1,2,11,18,22,24
Max M <sub>z</sub>	123,540	1,528	24,732	-0,287	-128,208	<b>1,276</b>	ZS 1,2,9,18,20,24
Min M <sub>z</sub>	-108,338	1,567	14,104	-0,097	46,725	<b>-1,248</b>	ZS 1,2,13,19,21,23

**Průřezové charakteristiky:** profil HEB 240.



$h$	240 mm	$I_y$	$1,13 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
$b$	240 mm	$I_z$	$3,92 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
$A$	10600 mm <sup>2</sup>	$W_{pl,y}$	$1,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
$t_f$	17 mm	$W_{pl,z}$	$4,96 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_w$	10 mm	$i_y$	103,0 mm
		$i_z$	60,8 mm
		$I_w$	$4,87 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6$
		$I_t$	$1,04 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

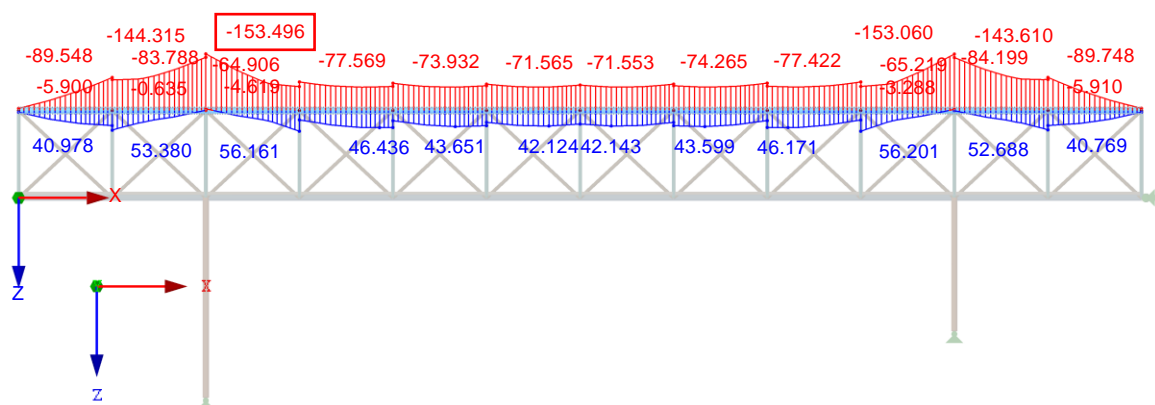
**Třída průřezu:** 1

KV15 : 1.15\*KV3/s + 1.05\*KV4 + 0\*KV5 + 0.9\*KV6 + 0.75\*KV7 + 1.5\*KV8/s

Vnitřní síly M-y

Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Proti směru osy Y



Max M-y: 56.201, Min M-y: -153.496 [kNm]

## 6.4.1 Prostý tlak

Únosnost v tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{10600 \cdot 355}{1,0} = 3763,0 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{103,629}{3763,0} \leq 1,0 \quad 0,03 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.4.2 Ohyb

Návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,13 \cdot 10^8 \cdot 355}{1,0} = 372,75 \text{ kNm}$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,96 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 176,08 \text{ kNm}$$

Podmínky spolehlivosti:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{153,496}{372,75} \leq 1,0 \quad 0,41 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{1,137}{176,08} \leq 1,0 \quad 0,01 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.4.3 Vzpěr

**Vzpěrné délky:**

Vybočení v rovině i z roviny vazníku je zabráněno v místě tuhých ráků (primárních příčníků a svislic). Vzpěrná délka tedy odpovídá délce jednoho pole.

$$L_{cr,y} = 3750 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 3750 \text{ mm}$$

**Kritická síla:**  $N_{cr,y} = 16654,63 \text{ kN}$

$$N_{cr,z} = 5777,53 \text{ kN}$$

**Poměrná štíhlost:**  $\bar{\lambda}_y = 0,475$

$$\bar{\lambda}_z = 0,807$$

**Křivka vzpěrné pevnosti:**  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,613$$

$$\phi_z = 0,826$$

**Součinitel vzpěrnosti:**  $\chi_y = 1,00$

$$\chi_z = 1,00$$

**Návrhová vzpěrná únosnost:**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,00 \cdot 10600 \cdot 355}{1,1} = 3420,91 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{103,629}{3420,91} \leq 1,0 \quad 0,03 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.4.4 Kombinace tlaku a ohybu

Stanovení součinitelů ekvivalentního konstantního momentu  $C_m$  a interakčních součinitelů  $k$ : dle programu Dlubal RFEM

$$C_{my} = 1,00$$

$$C_{mz} = 1,00$$

$$k_{yy} = 1,01 \quad k_{zz} = 1,049$$

$$k_{zy} = 0,995 \quad k_{yz} = 0,629$$

## Podmínky spolehlivosti

$$\chi_{LT} = 0,992$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{103,629}{1,0 \cdot 752,6} + 1,263 \cdot \frac{153,496}{0,992 \cdot 372,75} + \frac{1,137}{176,08} \leq 1,0$$

$$0,50 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{103,629}{1,0 \cdot 752,6} + 0,605 \cdot \frac{153,496}{0,992 \cdot 32,234} + \frac{1,137}{176,08} \leq 1,0$$

$$0,45 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.4.5 Klopení

součinitel reprezentující uložení v ohybu	$k_z$	1 -
součinitel reprezentující uložení v kroucení	$k_\omega$	1 -
vzdálenost působíště zatížení od středu smyku	$z_g$	0 m
	$z_j$	0 -

→  $z_j$  je roven nule pro průřezy symetrické k ose y, což je splněno

součinitele zatížení a podmínek uložení	$C_1$	1,13 -
	$C_2$	0,46 -
	$C_3$	0,53 -
Délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny	$L$	3,75 m

## Bezrozměrný parametr kroucení:

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_\omega \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 3,75} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 4,87 \cdot 10^{11}}{81000 \cdot 1,04 \cdot 10^6}} = 8,282$$

## Bezrozměrný parametr působíště zatížení vůči středu smyku:

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 3,75} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,92 \cdot 10^7}{81000 \cdot 1,04 \cdot 10^6}} = 0$$

**Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu:**

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 3,75} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,92 \cdot 10^7}{81000 \cdot 1,04 \cdot 10^6}} = 0$$

**Bezrozměrný kritický moment:**

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{(1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2) - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)} \right] = \\ &= \frac{1,13}{1} \cdot \left[ \sqrt{(1 + 8,282^2 + (0,46 \cdot 0 - 0 \cdot 0)^2) - (0,46 \cdot 0 - 0 \cdot 0)} \right] = 9,427 \end{aligned}$$

**Pružný kritický moment pro ohyb k ose y:**

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 28,098 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 3,92 \cdot 10^7 \cdot 81000 \cdot 1,04 \cdot 10^6}}{1,25} = \\ &= 6576,64 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**Poměrná štíhlost:**

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,05 \cdot 10^6 \cdot 355}{6576,64 \cdot 10^3}} = 0,238$$

**Křivka vzpěrné pevnosti:  $\alpha \rightarrow \alpha = 0,21$**

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,238 - 0,2) + 0,238^2] = 0,532$$

**Součinitel klopení:**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,532 + \sqrt{0,532^2 - 0,238^2}} = 0,992$$

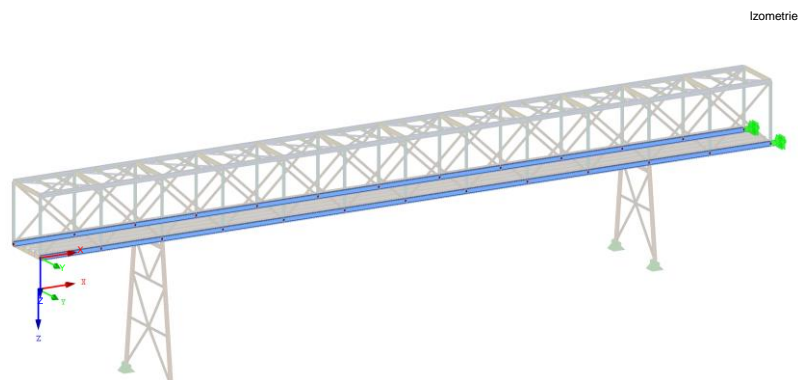
**Návrhová ohybová únosnost při klopení:**

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,992 \cdot 1,05 \cdot 10^6 \cdot 355}{1,1} = 336,153 \text{ kNm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{153,496}{336,153} \leq 1,0 \quad 0,46 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.5 Dolní pásy hlavních nosníků



Posouzení bylo provedeno pro rozhodující kombinaci KV15, která vyvodí maximální ohybový moment a příslušné vnitřní síly.

### Vnitřní síly:

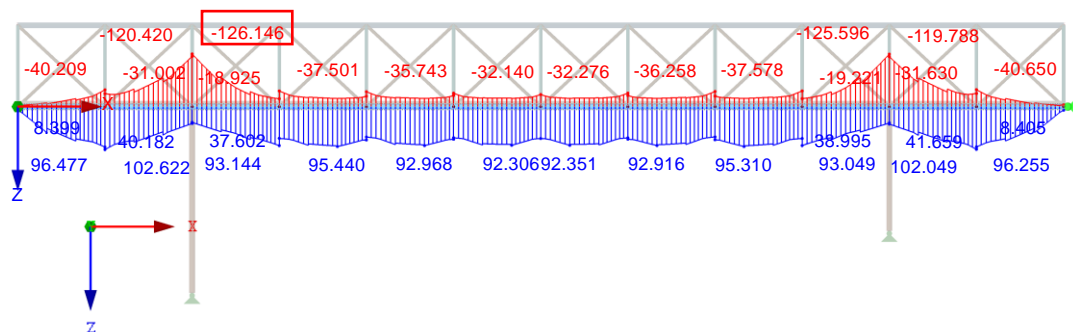
	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	<b>167,555</b>	-4,186	20,595	0,133	6,135	-6,212	ZS 1,2,13,19,24
min N	<b>-390,266</b>	6,967	57,036	-0,582	-117,438	7,781	ZS 1,2,5,18,22,23
max V <sub>y</sub>	-368,128	<b>9,449</b>	50,879	-0,580	-108,593	9,694	ZS 1,2,14,18,21,23
min V <sub>y</sub>	118,982	<b>-5,320</b>	28,152	-0,076	10,640	-6,832	ZS 1,2,12,19,20,24
max V <sub>z</sub>	-274,402	7,077	<b>68,771</b>	-0,515	-69,854	7,405	ZS 1,2,11,18,22,24
min V <sub>z</sub>	92,386	-3,509	<b>6,990</b>	0,027	-27,998	-5,343	ZS 1,2,19,23
max M <sub>T</sub>	124,378	-3,316	16,717	<b>0,236</b>	46,944	-4,038	ZS 1,2,19,24
min M <sub>T</sub>	-349,052	8,235	64,844	<b>-0,691</b>	-126,035	8,231	ZS 1,2,11,18,22,23
max M <sub>y</sub>	124,378	-3,316	16,717	0,236	<b>46,944</b>	-4,038	ZS 1,2,19,24
min M <sub>y</sub>	-349,052	8,235	64,844	-0,691	<b>-126,146</b>	8,231	ZS 1,2,11,18,22,23
max M <sub>z</sub>	-381,742	8,961	56,626	-0,584	-116,533	<b>9,776</b>	ZS 1,2,11,18,21,23
min M <sub>z</sub>	118,982	-5,320	28,152	-0,076	10,640	<b>-6,832</b>	ZS 1,2,12,19,20,24

KV15 : 1.15\*KV3/s + 1.05\*KV4 + 0\*KV5 + 0.9\*KV6 + 0.75\*KV7 + 1.5\*KV8/s

Vnitřní síly M-y

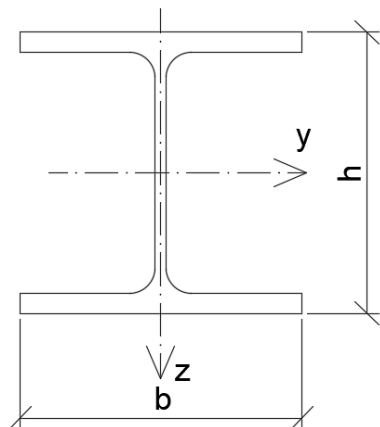
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Proti směru osy Y



Max M-y: 102.622, Min M-y: -126.146 [kNm]

Průřezové charakteristiky: profil HEB 240.



$h$	240 mm	$I_y$	$1,13 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
$b$	240 mm	$I_z$	$3,92 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
$A$	$10600 \text{ mm}^2$	$W_{pl,y}$	$1,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
$t_f$	17 mm	$W_{pl,z}$	$4,96 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_w$	10 mm	$i_y$	103,0 mm
		$i_z$	60,8 mm
		$I_w$	$4,87 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6$
		$I_t$	$1,04 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Třída průřezu: 1

### 6.5.1 Prostý tlak

Únosnost v tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{10600 \cdot 355}{1,0} = 3763,0 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{349,052}{3763,0} \leq 1,0 \quad 0,09 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.5.2 Ohyb

Návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,13 \cdot 10^8 \cdot 355}{1,0} = 372,75 \text{ kNm}$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,96 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 176,08 \text{ kNm}$$

Podmínky spolehlivosti:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{126,146}{372,75} \leq 1,0 \quad 0,34 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{8,231}{176,08} \leq 1,0 \quad 0,05 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$



### 6.5.3 Vzpěr

#### Vzpěrné délky:

Vybočení v rovině i z roviny vazníku je zabráněno v místě tuhých ráků (primárních příčníků a svislic). Vzpěrná délka tedy odpovídá délce jednoho pole.

$$L_{cr,y} = 3750 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 3750 \text{ mm}$$

**Kritická síla:**  $N_{cr,y} = 16654,63 \text{ kN}$

$$N_{cr,z} = 5777,53 \text{ kN}$$

**Poměrná štíhlost:**  $\bar{\lambda}_y = 0,475$

$$\bar{\lambda}_z = 0,807$$

**Křivka vzpěrné pevnosti:**  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,613$$

$$\phi_z = 0,826$$

**Součinitel vzpěrnosti:**  $\chi_y = 1,00$

$$\chi_z = 1,00$$

#### Návrhová vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,00 \cdot 10600 \cdot 355}{1,1} = 3420,91 \text{ kN}$$

#### Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{349,052}{3420,91} \leq 1,0 \quad 0,10 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.5.4 Kombinace tlaku a ohybu

Stanovení součinitelů ekvivalentního konstantního momentu  $C_m$  a interakčních součinitelů  $k$ : dle programu Dlubal RFEM

$$C_{my} = 1,00$$

$$C_{mz} = 1,00$$

$$k_{yy} = 1,01 \quad k_{zz} = 1,049$$

$$k_{zy} = 0,995 \quad k_{yz} = 0,629$$

## Podmínky spolehlivosti

$$\chi_{LT} = 0,992$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{349,052}{1,0 \cdot 752,6}}{1,1} + 1,263 \cdot \frac{\frac{126,146}{0,992 \cdot 372,75}}{1,1} + \frac{\frac{8,231}{176,08}}{1,1} \leq 1,0$$

$$0,51 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{349,052}{1,0 \cdot 752,6}}{1,1} + 0,605 \cdot \frac{\frac{126,146}{0,992 \cdot 32,234}}{1,1} + \frac{\frac{8,231}{176,08}}{1,1} \leq 1,0$$

$$0,49 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.5.5 Klopení

součinitel reprezentující uložení v ohybu	$k_z$	1 -
součinitel reprezentující uložení v kroucení	$k_\omega$	1 -
vzdálenost působíště zatížení od středu smyku	$z_g$	0 m
	$z_j$	0 -

→  $z_j$  je roven nule pro průřezy symetrické k ose y, což je splněno

součinitele zatížení a podmínek uložení	$C_1$	1,13 -
	$C_2$	0,46 -
	$C_3$	0,53 -
Délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny	$L$	3,75 m

## Bezrozměrný parametr kroucení:

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_\omega \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 3,75} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 4,87 \cdot 10^{11}}{81000 \cdot 1,04 \cdot 10^6}} = 8,282$$

## Bezrozměrný parametr působíště zatížení vůči středu smyku:

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 3,75} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,92 \cdot 10^7}{81000 \cdot 1,04 \cdot 10^6}} = 0$$

**Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu:**

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 3,75} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,92 \cdot 10^7}{81000 \cdot 1,04 \cdot 10^6}} = 0$$

**Bezrozměrný kritický moment:**

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{(1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2) - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)} \right] = \\ &= \frac{1,13}{1} \cdot \left[ \sqrt{(1 + 8,282^2 + (0,46 \cdot 0 - 0 \cdot 0)^2) - (0,46 \cdot 0 - 0 \cdot 0)} \right] = 9,427 \end{aligned}$$

**Pružný kritický moment pro ohyb k ose y:**

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 28,098 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 3,92 \cdot 10^7 \cdot 81000 \cdot 1,04 \cdot 10^6}}{1,25} = \\ &= 6576,64 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**Poměrná štíhlost:**

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,05 \cdot 10^6 \cdot 355}{6576,64 \cdot 10^3}} = 0,238$$

**Křivka vzpěrné pevnosti:  $\alpha \rightarrow \alpha = 0,21$**

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,238 - 0,2) + 0,238^2] = 0,532$$

**Součinitel klopení:**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,532 + \sqrt{0,532^2 - 0,238^2}} = 0,992$$

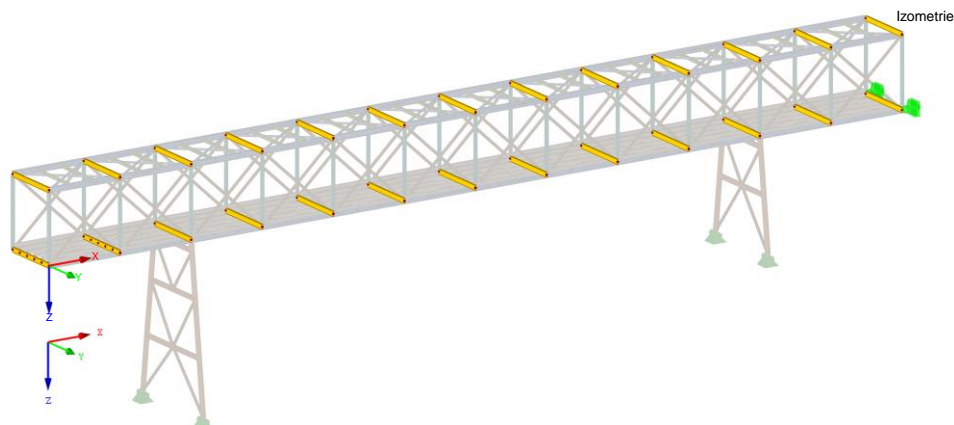
**Návrhová ohybová únosnost při klopení:**

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,992 \cdot 1,05 \cdot 10^6 \cdot 355}{1,1} = 336,153 \text{ kNm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{126,146}{336,153} \leq 1,0 \quad 0,37 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.6 Příčnický primární



Posouzení bylo provedeno pro kombinaci KV13, která vyvodí maximální ohybový moment a odpovídající vnitřní síly.

Vnitřní síly:

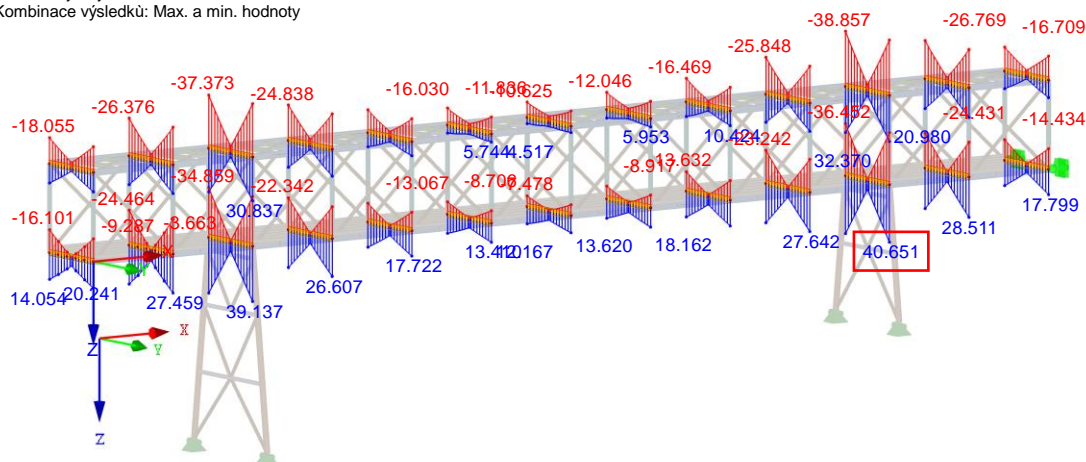
	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	<b>-3,210</b>	-1,746	0,957	-0,305	7,103	-0,881	ZS 1,2,24
min N	<b>-45,393</b>	3,205	-12,851	0,555	20,098	1,841	ZS 1,2,8,18,22,23
max V <sub>y</sub>	-42,282	<b>3,243</b>	15,053	0,573	-21,628	1,747	ZS 1,2,8,19,21,23
min V <sub>y</sub>	-18,043	<b>-3,021</b>	-12,994	-0,534	29,072	-1,593	ZS 1,2,5,18,20,24
max V <sub>z</sub>	-24,789	-0,645	<b>24,836</b>	-0,094	-30,333	-0,491	ZS 1,2,13,19,22,24
min V <sub>z</sub>	-36,452	0,991	<b>-22,851</b>	0,162	34,938	0,608	ZS 1,2,11,18,23
max M <sub>T</sub>	-42,282	3,243	15,053	<b>0,573</b>	-21,628	1,747	ZS 1,2,8,19,21,23
min M <sub>T</sub>	-18,043	-3,021	-12,994	<b>-0,534</b>	29,072	-1,593	ZS 1,2,5,18,20,24
max M <sub>y</sub>	-27,055	-0,791	-22,851	-0,150	<b>40,651</b>	-0,288	ZS 1,2,11,18,24
min M <sub>y</sub>	-34,186	1,136	24,836	0,218	<b>-36,484</b>	0,405	ZS 1,2,13,19,22,23
max M <sub>z</sub>	-45,300	3,217	-12,851	0,557	20,134	<b>1,847</b>	ZS 1,2,8,18,21,23
min M <sub>z</sub>	-15,024	-2,995	14,909	-0,519	-12,689	<b>-1,693</b>	ZS 1,2,5,19,20,24

KV13 : 1.15\*KV3/s + 1.05\*KV4 + 0\*KV5 + 1.5\*KV6/s + 0.75\*KV7 + 0.9\*KV8

Vnitřní síly M-y

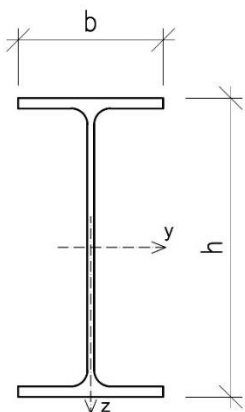
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Izometrie



Max M-y: 40.651, Min M-y: -38.857 [kNm]

Průřezové charakteristiky: profil IPE 240.



$h$	240 mm	$I_y$	$3,89 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
$b$	120 mm	$I_z$	$2,83 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
$A$	3910 mm <sup>2</sup>	$W_{pl,y}$	$3,66 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_f$	9,8 mm	$W_{pl,z}$	$7,39 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$t_w$	6,2 mm	$i_y$	99,7 mm
		$i_z$	26,9 mm
		$I_w$	$3,74 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6$
		$I_t$	$1,31 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$

Třída průřezu: 1

### 6.6.1 Prostý tlak

Únosnost v tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3910 \cdot 355}{1,0} = 1388,76 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{27,055}{1388,76} \leq 1,0 \quad 0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.6.2 Ohyb

Návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,87 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 130,16 \text{ kNm}$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7,39 \cdot 10^4 \cdot 355}{1,0} = 26,23 \text{ kNm}$$

Podmínky spolehlivosti

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{40,651}{130,16} \leq 1,0 \quad 0,31 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{0,288}{26,23} \leq 1,0 \quad 0,01 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.6.3 Vzpěr

**Vzpěrné délky:**

Vzpěrná délka byla určena jako vzdálenost uzlů zabezpečených proti vybočení. Vybočení v rovině i z roviny vazníku je zabráněno v koncových uzlech prutu. Vzpěrná délka tedy odpovídá systémové délce diagonály.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3000 \text{ mm}$$

**Kritická síla:**  $N_{cr,y} = 8962,92 \text{ kN}$

$$N_{cr,z} = 653,17 \text{ kN}$$

**Poměrná štíhlost:**  $\overline{\lambda}_y = 0,394$

$$\overline{\lambda}_z = 1,458$$

**Křivka vzpěrné pevnosti:**  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,577$$

$$\phi_z = 1,563$$

**Součinitel vzpěrnosti:**  $\chi_y = 1,000$

$$\chi_z = 0,47$$

**Návrhová vzpěrná únosnost:**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,47 \cdot 3910 \cdot 355}{1,1} = 593,79 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{27,055}{593,79} \leq 1,0 \quad 0,05 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.6.4 Kombinace tlaku a ohybu

Stanovení součinitelů ekvivalentního konstantního momentu  $C_m$  a interakčních součinitelů  $k$ : dle programu Dlubal RFEM

$$C_{my} = 1,00$$

$$C_{mz} = 1,00$$

$$k_{yy} = 1,004 \quad k_{zz} = 1,033$$

$$k_{zy} = 0,602 \quad k_{yz} = 0,620$$

**Podmínky spolehlivosti**

$$\chi_{LT} = 0,999$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{27,055}{1,0 \cdot 1388,76} + 1,004 \cdot \frac{40,651}{1,0 \cdot 130,16} + 0,620 \cdot \frac{0,288}{26,23} \leq 1,0$$

$$0,37 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{27,055}{0,47 \cdot 1388,76} + 0,602 \cdot \frac{40,651}{1,0 \cdot 130,16} + 1,033 \cdot \frac{0,288}{26,23} \leq 1,0$$

$$0,24 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.6.5 Klopení

součinitel reprezentující uložení v ohybu	$k_z$	1 -
součinitel reprezentující uložení v kroucení	$k_\omega$	1 -
vzdálenost působíště zatížení od středu smyku	$z_g$	0,07 m
	$z_j$	0 -

→  $z_j$  je roven nule pro průřezy symetrické k ose y, což je splněno

součinitele zatížení a podmínek uložení	$C_1$	1,13 -
	$C_2$	0,46 -
	$C_3$	0,53 -
Délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny	$L$	3,000 m

### Bezrozměrný parametr kroucení:

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_\omega \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 3,000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,74 \cdot 10^{10}}{81000 \cdot 1,31 \cdot 10^5}} = 0,250$$

### Bezrozměrný parametr působíště zatížení vůči středu smyku:

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 3,000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 2,83 \cdot 10^6}{81000 \cdot 1,31 \cdot 10^5}} = 0$$

### Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu:

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 3,000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 2,83 \cdot 10^6}{81000 \cdot 1,31 \cdot 10^5}} = 0$$

**Bezrozměrný kritický moment:**

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{(1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2) - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)} \right] = \\ &= \frac{1,13}{1} \cdot \left[ \sqrt{(1 + 0,250^2 + (0,46 \cdot 0 - 0 \cdot 0)^2) - (0,46 \cdot 0 - 0 \cdot 0)} \right] = 1,165 \end{aligned}$$

**Pružný kritický moment pro ohyb k ose y:**

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,165 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 2,83 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 1,31 \cdot 10^5}}{3,0} = \\ &= 3041,17 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**Poměrná štíhlost:**

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,66 \cdot 10^5 \cdot 355}{3041,17 \cdot 10^3}} = 0,207$$

**Křivka vzpěrné pevnosti:  $a \rightarrow \alpha = 0,21$**

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,207 - 0,2) + 0,207^2] = 0,522$$

**Součinitel klopení:**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,558 + \sqrt{0,558^2 - 0,306^2}} = 0,999$$

**Návrhová ohybová únosnost při klopení:**

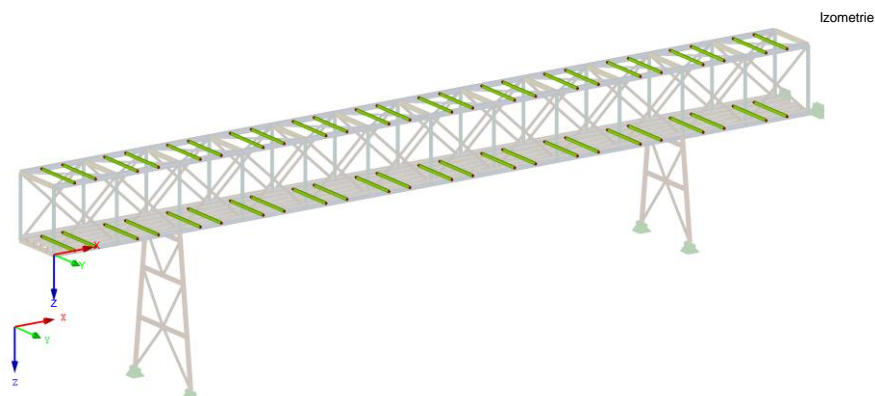
$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,999 \cdot 3,66 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,1} = 118,21 \text{ kNm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{40,651}{118,21} \leq 1,0 \quad 0,35 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$



## 6.7 Příčníky sekundární

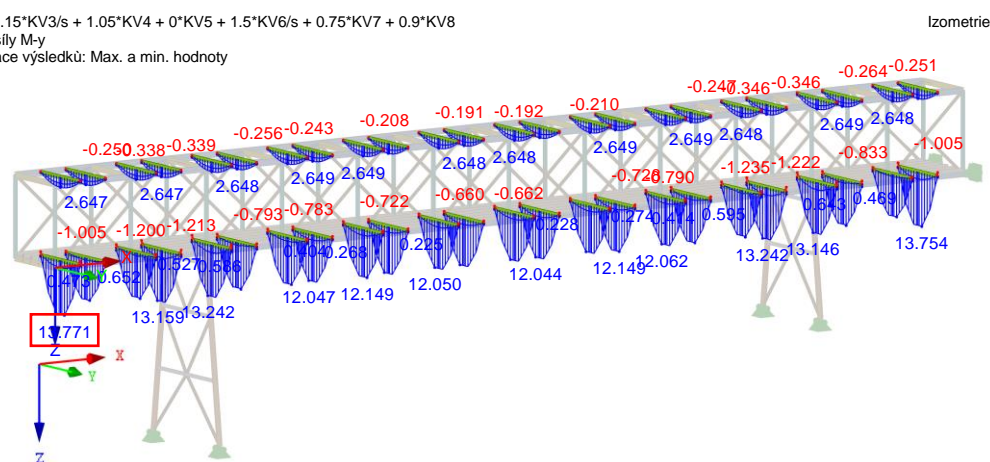


Posouzení bylo provedeno pro kombinaci KV13, která vyvodí maximální ohybový moment a odpovídající vnitřní síly.

Vnitřní síly:

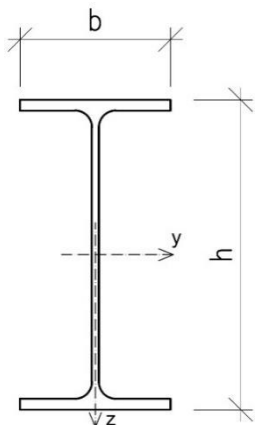
	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max V <sub>y</sub>	-2,404	<b>1,529</b>	15,537	0,242	9,049	-0,394	ZS 1,2,8,18,20,24
min V <sub>y</sub>	1,372	<b>-1,455</b>	21,914	-0,229	11,990	0,462	ZS 1,2,5,19,21,23
max V <sub>z</sub>	-1,942	-0,492	<b>22,058</b>	-0,096	12,195	0,186	ZS 1,2,14,18,22,23
min V <sub>z</sub>	-1,318	0,812	<b>1,661</b>	0,167	1,312	-0,230	ZS 1,2,19,24
max M <sub>T</sub>	-2,404	1,529	15,537	<b>0,242</b>	9,049	-0,394	ZS 1,2,8,18,20,24
min M <sub>T</sub>	1,372	-1,455	21,914	<b>-0,229</b>	11,990	0,462	ZS 1,2,5,19,21,23
max M <sub>y</sub>	-2,724	0,487	21,923	0,075	<b>13,771</b>	-0,098	ZS 1,2,14,18,22,24
min M <sub>y</sub>	-0,014	-0,820	1,886	-0,118	<b>0,924</b>	0,243	ZS 1,2,19,23
max M <sub>z</sub>	1,372	-1,455	21,914	-0,229	11,990	<b>0,462</b>	ZS 1,2,5,19,21,23
min M <sub>z</sub>	-2,404	1,529	15,537	0,242	9,049	<b>-0,394</b>	ZS 1,2,8,18,20,24

KV13 : 1.15\*KV3/s + 1.05\*KV4 + 0\*KV5 + 1.5\*KV6/s + 0.75\*KV7 + 0.9\*KV8  
Vnitřní síly M-y  
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty



Max M-y: 13.771, Min M-y: -1.235 [kNm]

Průřezové charakteristiky: profil IPE 180.



$h$	180 mm
$b$	91 mm
$A$	2390 mm <sup>2</sup>
$t_f$	8 mm
$t_w$	5,3 mm

$I_y$	$1,32 \cdot 10^7$ mm <sup>4</sup>
$I_z$	$1,01 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>
$W_{pl,y}$	$1,66 \cdot 10^5$ mm <sup>3</sup>
$W_{pl,z}$	$3,46 \cdot 10^4$ mm <sup>3</sup>
$i_y$	74,2 mm
$i_z$	20,5 mm
$I_w$	$7,34 \cdot 10^9$ mm <sup>6</sup>
$I_t$	$4,78 \cdot 10^4$ mm <sup>4</sup>

Třída průřezu: 1

### 6.7.1 Prostý tlak

Únosnost v tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2390 \cdot 355}{1,0} = 848,50 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{2,724}{848,50} \leq 1,0 \quad 0,00 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.7.2 Ohyb

Návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,66 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 59,08 \text{ kNm}$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3,46 \cdot 10^4 \cdot 355}{1,0} = 12,283 \text{ kNm}$$

Podmínky spolehlivosti:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{13,771}{59,08} \leq 1,0 \quad 0,23 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{0,098}{12,183} \leq 1,0 \quad 0,01 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.7.3 Vzpěr

#### Vzpěrné délky:

Vzpěrná délka byla určena jako vzdálenost uzlů zabezpečených proti vybočení. Vybočení v rovině i z roviny vazníku je zabráněno v koncových uzlech prutu. Vzpěrná délka tedy odpovídá systémové délce diagonály.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3000 \text{ mm}$$

$$\textbf{Kritická síla: } N_{cr,y} = 3039,84 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = 232,59 \text{ kN}$$

$$\textbf{Poměrná štíhlost: } \overline{\lambda}_y = 0,529$$

$$\overline{\lambda}_z = 1,913$$

$$\textbf{Křivka vzpěrné pevnosti: } c \rightarrow \alpha = 0,49$$

$$\phi_y = 0,640$$

$$\phi_z = 2,330$$

$$\textbf{Součinitel vzpěrnosti: } \chi_y = 1,00$$

$$\chi_z = 0,273$$

#### Návrhová vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,273 \cdot 2390 \cdot 355}{1,0} = 211,13 \text{ kN}$$

#### Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{2,724}{211,13} \leq 1,0 \quad 0,01 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.7.4 Kombinace tlaku a ohybu

Stanovení součinitelů ekvivalentního konstantního momentu  $C_m$  a interakčních součinitelů  $k$ : dle programu Dlubal RFEM

$$C_{my} = 1,00$$

$$C_{mz} = 1,00$$

$$k_{yy} = 1,001 \quad k_{zz} = 1,017$$

$$k_{zy} = 0,998 \quad k_{yz} = 0,610$$

## Podmínky spolehlivosti

$$\chi_{LT} = 0,993$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{2,724}{0,70 \cdot 752,6} + 1,001 \cdot \frac{13,771}{0,993 \cdot 59,08} + 0,610 \cdot \frac{0,098}{12,283} \leq 1,0$$

$$0,24 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{2,724}{0,23 \cdot 752,6} + 0,998 \cdot \frac{13,771}{0,993 \cdot 59,08} + 1,017 \cdot \frac{0,098}{12,283} \leq 1,0$$

$$0,23 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.7.5 Klopení

součinitel reprezentující uložení v ohybu	$k_z$	1 -
součinitel reprezentující uložení v kroucení	$k_\omega$	1 -
vzdálenost působíště zatížení od středu smyku	$z_g$	0 m
	$z_j$	0 -

→  $z_j$  je roven nule pro průřezy symetrické k ose y, což je splněno

součinitele zatížení a podmínek uložení	$C_1$	1,13 -
	$C_2$	0,46 -
	$C_3$	0,53 -
Délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny	$L$	3,0 m

## Bezrozměrný parametr kroucení:

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_\omega \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 3,0} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 7,34 \cdot 10^9}{81000 \cdot 4,78 \cdot 10^4}} = 0,245$$

## Bezrozměrný parametr působíště zatížení vůči středu smyku:

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 3,0} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,01 \cdot 10^6}{81000 \cdot 4,78 \cdot 10^4}} = 0$$

**Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu:**

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{1 \cdot 3,0} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,01 \cdot 10^6}{81000 \cdot 4,78 \cdot 10^4}} = 0$$

**Bezrozměrný kritický moment:**

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{(1 + \kappa_{\omega t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,13}{1} \cdot \left[ \sqrt{(1 + 0,245^2 + (0,46 \cdot 0 - 0 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0 - 0 \cdot 0) \right] = 1,163 \end{aligned}$$

**Pružný kritický moment pro ohyb k ose y:**

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,163 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 1,01 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 4,78 \cdot 10^4}}{3,000} = \\ &= 1103,993 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**Poměrná štíhlost:**

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,66 \cdot 10^5 \cdot 355}{1103,993 \cdot 10^3}} = 0,231$$

**Křivka vzpěrné pevnosti:  $\alpha \rightarrow \alpha = 0,21$**

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,231 - 0,2) + 0,231^2] = 0,530$$

**Součinitel klopení:**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,530 + \sqrt{0,530^2 - 0,231^2}} = 0,993$$

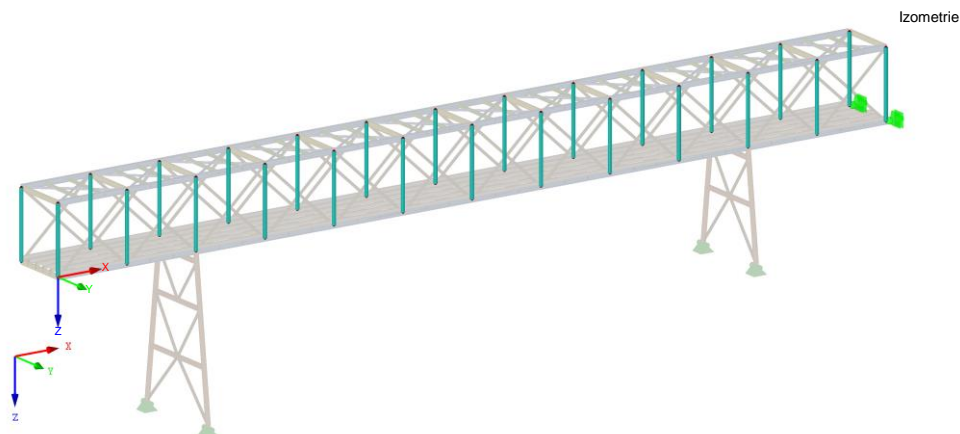
**Návrhová ohybová únosnost při klopení:**

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,975 \cdot 1,66 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,1} = 53,329 \text{ kNm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{12,427}{53,329} \leq 1,0 \quad 0,23 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.8 Svislice



Posouzení bylo provedeno pro kombinaci KV13, která vyvodí maximální ohybový moment a odpovídající vnitřní síly.

**Vnitřní síly:**

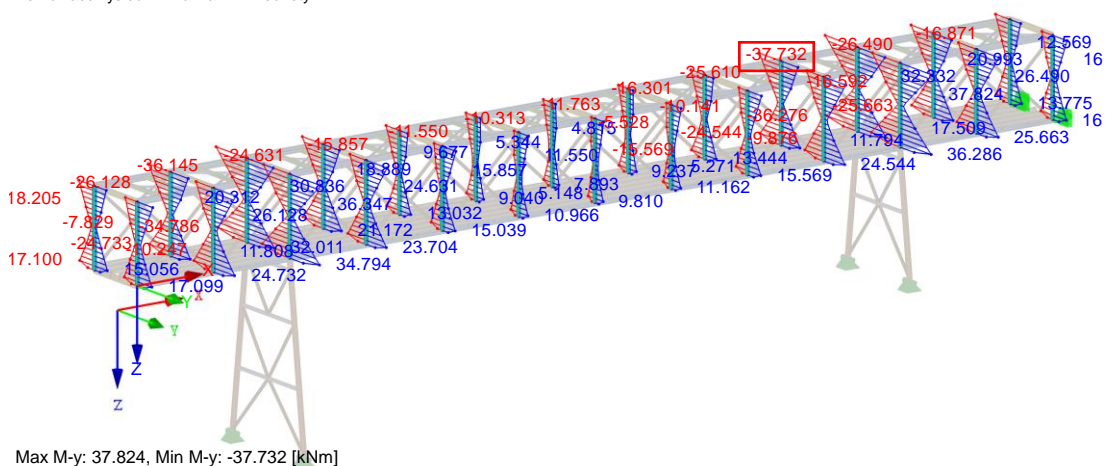
	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	<b>-11,497</b>	-1,908	-15,089	-0,061	-25,948	3,442	ZS 1,2,19,24
min N	<b>-261,837</b>	-6,241	12,278	-0,005	19,546	10,573	ZS 1,2,11,18,22,23
max V <sub>y</sub>	-89,325	<b>1,233</b>	-8,795	-0,099	-18,842	-1,979	ZS 1,2,12,19,20,23
min V <sub>y</sub>	-209,286	<b>-9,635</b>	10,919	0,113	22,472	16,429	ZS 1,2,13,18,21,24
max V <sub>z</sub>	-258,886	-5,459	<b>19,512</b>	0,030	31,965	9,243	ZS 1,2,11,18,22,23
min V <sub>z</sub>	-59,458	-6,280	<b>-15,412</b>	-0,009	-26,569	10,752	ZS 1,2,13,19,24
max M <sub>T</sub>	-199,057	-6,839	18,479	<b>0,118</b>	35,414	11,675	ZS 1,2,13,18,20,24
min M <sub>T</sub>	-146,105	-8,982	-8,195	<b>-0,149</b>	-17,803	15,069	ZS 1,2,10,19,21,23
max M <sub>y</sub>	-242,061	-5,504	19,387	0,041	<b>37,732</b>	9,560	ZS 1,2,11,18,22,24
min M <sub>y</sub>	-76,283	-6,236	-15,288	-0,020	<b>-31,561</b>	10,434	ZS 1,2,13,19,23
max M <sub>z</sub>	-209,286	-9,635	10,919	0,113	22,472	<b>16,429</b>	ZS 1,2,13,18,21,24
min M <sub>z</sub>	-89,325	1,233	-8,795	-0,099	-18,842	<b>-1,979</b>	ZS 1,2,12,19,20,23

KV13 : 1.15\*KV3/s + 1.05\*KV4 + 0\*KV5 + 1.5\*KV6/s + 0.75\*KV7 + 0.9\*KV8

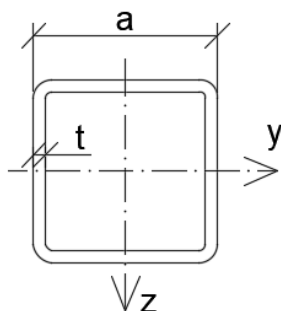
Vnitřní síly M-y

Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Izometrie



Průřezové charakteristiky: profil SHS 150x10mm.



$a$	150 mm
$t$	10 mm
$A$	5490 mm <sup>2</sup>
$I_y = I_z$	$1,77 \cdot 10^7$ mm <sup>4</sup>
$W_{pl,y} = W_{pl,z}$	$2,86 \cdot 10^5$ mm <sup>3</sup>
$i_y = i_z$	56,8 mm
$I_t$	$2,83 \cdot 10^7$ mm <sup>4</sup>

Třída průřezu: 1

### 6.8.1 Prostý tlak

Únosnost v tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{5490 \cdot 355}{1,0} = 1948,95 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{242,061}{1948,95} \leq 1,0 \quad 0,12 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.8.2 Ohyb

Návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2,86 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 101,53 \text{ kNm}$$

Podmínky spolehlivosti:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{37,732}{101,53} \leq 1,0 \quad 0,37 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{9,56}{101,53} \leq 1,0 \quad 0,09 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.8.3 Vzpěr

Vzpěrné délky:

Vybočení v rovině i z roviny vazníku je zabráněno v koncových uzlech prutu. Vzpěrná délka tedy odpovídá systémové délce svislice.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3500 \text{ mm}$$

Kritická síla:  $N_{cr,y} = N_{cr,z} = 2994,72 \text{ kN}$

Poměrná štíhlost:  $\overline{\lambda}_y = \overline{\lambda}_z = 0,807$

Křivka vzpěrné pevnosti:  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_y = \phi_z = 0,974$$

Součinitel vzpěrnosti:  $\chi_y = \chi_z = 0,658$

Návrhová vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,658 \cdot 5490 \cdot 355}{1,1} = 1165,71 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{242,061}{1165,71} \leq 1,0 \quad 0,21 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.8.4 Kombinace tlaku a ohybu

Stanovení součinitelů ekvivalentního konstantního momentu  $C_m$  a interakčních součinitelů  $k$ : dle programu Dlubal RFEM

$$C_{my} = 1,00$$

$$C_{mz} = 1,00$$

$$k_{yy} = k_{zz} = 1,115$$

$$k_{zy} = k_{yz} = 0,669$$

Podmínky spolehlivosti

Uzavřené průřezy nejsou náchylné ke klopení, proto se jeho vliv zanedbává.

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

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{242,061}{0,658 \cdot 1948,95} + 1,115 \cdot \frac{37,732}{1,0 \cdot 101,53} + 0,669 \cdot \frac{9,56}{101,53} \leq 1,0$$

$$0,72 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{242,061}{0,658 \cdot 1948,95} + 0,669 \cdot \frac{37,732}{1,0 \cdot 101,53} + 1,115 \cdot \frac{9,56}{101,53} \leq 1,0$$

$$0,58 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$



### 6.8.5 Smyk

Smyková plocha u čtvercových dutých průřezů:

$$A_v = 2 \cdot (a - 2 \cdot r) \cdot t = 2 \cdot (150 - 2 \cdot 15) \cdot 10 = 2400 \text{ mm}^2$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2400 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 491,90 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{19,387}{491,90} \leq 1,0 \quad 0,04 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Vliv smyku na ohybovou únosnost:

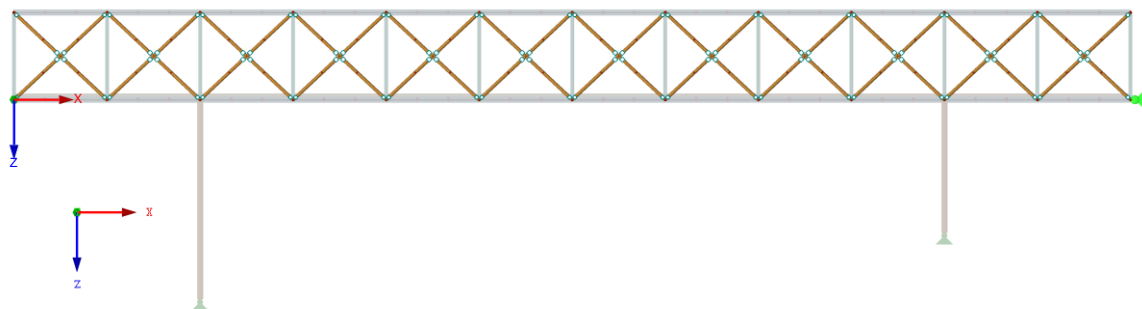
Podmínka spolehlivosti:

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd} \quad 19,387 \leq 0,5 \cdot 491,90 \quad 19,387 \leq 245,95 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Vliv smyku na ohybovou únosnost je možné zanedbat.

## 6.9 Diagonály

Proti směru osy Y



Vnitřní síly z KV11:

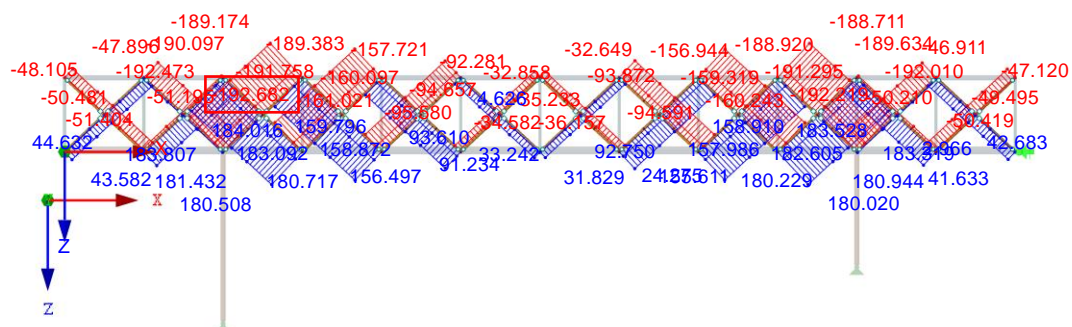
	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	<b>-26,364</b>	3,819	-0,212	0,641	0,495	6,110	ZS 1,2,12,19,20,23
min N	<b>-191,959</b>	-0,201	-0,244	-0,108	0,569	-0,321	ZS 1,2,13,18,21,24
max V <sub>y</sub>	-101,552	<b>3,844</b>	-0,212	1,231	0,495	6,150	ZS 1,2,13,19,24
min V <sub>y</sub>	-167,638	<b>-0,408</b>	-0,244	-1,062	0,569	-0,654	ZS 1,2,10,18,22,23
max V <sub>z</sub>	-85,948	-0,230	<b>-0,212</b>	0,158	0,494	-0,368	ZS 1-3,18,20,24
min V <sub>z</sub>	-133,778	2,286	<b>-0,286</b>	0,318	0,668	3,657	ZS 1,2,7,19,21,23
max M <sub>T</sub>	-108,240	3,842	-0,212	<b>1,235</b>	0,495	6,147	ZS 1,2,13,19,22,24
min M <sub>T</sub>	-160,950	-0,407	-0,244	<b>-1,066</b>	0,569	-0,651	ZS 1,2,10,18,23
max M <sub>y</sub>	-133,778	2,286	-0,286	0,318	<b>0,668</b>	3,657	ZS 1,2,7,19,21,23
min M <sub>y</sub>	-85,948	-0,230	-0,212	0,158	<b>0,494</b>	-0,368	ZS 1-3,18,20,24
max M <sub>z</sub>	-101,552	3,844	-0,212	1,231	0,495	<b>6,150</b>	ZS 1,2,13,19,24
min M <sub>z</sub>	-167,638	-0,408	-0,244	-1,062	0,569	<b>-0,654</b>	ZS 1,2,10,18,22,23

KV11 : 1.15\*KV3/s + 1.5\*KV4/s + 0\*KV5 + 0.9\*KV6 + 0.75\*KV7 + 0.9\*KV8

Vnitřní síly N

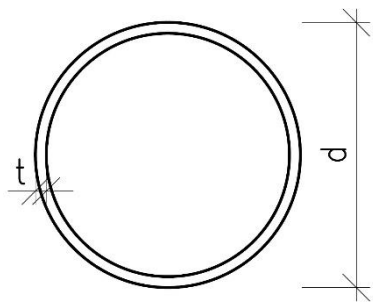
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Proti směru osy Y



Max N: 184.016, Min N: -192.682 [kN]

Průřezové charakteristiky: kruhová trubka  $\varnothing 139,7 \times 5,0$  mm.



$d$	139,7 mm
$t$	5 mm
$A$	2120 mm <sup>2</sup>
$I_y = I_z$	$4,81 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>
$W_{pl,y} = W_{pl,z}$	$9,08 \cdot 10^4$ mm <sup>3</sup>
$i_y = i_z$	47,7 mm
$I_t$	$9,61 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>

Třída průřezu: 1

### 6.9.1 Prostý tlak

Únosnost v tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2120 \cdot 355}{1,0} = 752,6 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{192,682}{752,600} \leq 1,0 \quad 0,26 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.9.2 Ohyb

Návrhová únosnost v ohybu:

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{9,08 \cdot 10^4 \cdot 355}{1,0} = 32,234 \text{ kNm}$$

Podmínky spolehlivosti:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{0,569}{32,234} \leq 1,0 \quad 0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{0,321}{32,234} \leq 1,0 \quad 0,01 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.9.3 Vzpěr

#### Vzpěrné délky:

Vzpěrná délka v rovině vazníku odpovídá polovině systémové délky diagonály, vzpěrná délka z roviny vazníku odpovídá celkové délce diagonály.

$$L_{cr,y} = 5310 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 2565 \text{ mm}$$

**Kritická síla:**  $N_{cr,y} = 353,577 \text{ kN}$

$$N_{cr,z} = 1515,217 \text{ kN}$$

**Poměrná štíhlost:**  $\overline{\lambda}_y = 1,459$

$$\overline{\lambda}_z = 0,705$$

**Křivka vzpěrné pevnosti:**  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_y = 1,873$$

$$\phi_z = 0,872$$

**Součinitel vzpěrnosti:**  $\chi_y = 0,328$

$$\chi_z = 0,722$$

#### Návrhová vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,328 \cdot 2120 \cdot 355}{1,1} = 236,726 \text{ kN}$$

#### Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{191,959}{2224,55} \leq 1,0 \quad 0,86 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.9.4 Kombinace tlaku a ohybu

Stanovení součinitelů ekvivalentního konstantního momentu  $C_m$  a interakčních součinitelů  $k$ : dle programu Dlubal RFEM

$$C_{my} = 1,00$$

$$C_{mz} = 1,00$$

$$k_{yy} = 1,622$$

$$k_{zz} = 1,178$$

$$k_{zy} = 0,973$$

$$k_{yz} = 0,707$$

## Podmínky spolehlivosti

Uzavřené kruhové průřezy nejsou náchylné ke klopení, proto se jeho vliv zanedbává.

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

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{192,682}{\frac{0,328 \cdot 752,6}{1,1}} + 1,622 \cdot \frac{0,569}{\frac{1,0 \cdot 32,234}{1,1}} + 0,707 \cdot \frac{0,321}{\frac{1,0 \cdot 32,234}{1,1}} \leq 1,0$$

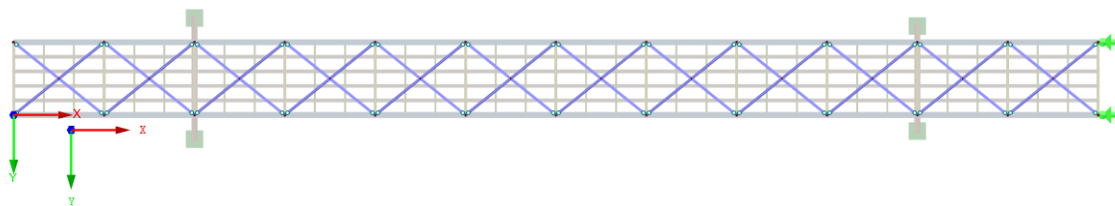
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad 0,90 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{192,682}{\frac{0,772 \cdot 752,6}{1,1}} + 0,973 \cdot \frac{0,569}{\frac{1,0 \cdot 32,234}{1,1}} + 1,178 \cdot \frac{0,321}{\frac{1,0 \cdot 32,234}{1,1}} \leq 1,0$$

$$0,42 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 6.10 Ztužidla vodorovná

Ve směru Z



Posouzení bylo provedeno pro vnitřní síly z kombinace KV18, která vyvodí maximální tlakovou sílu a příslušné vnitřní síly.

## Vnitřní síly z KV18:

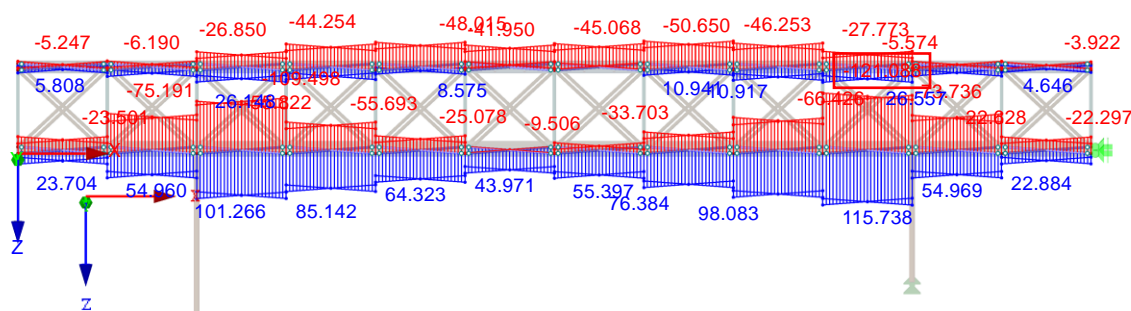
	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
Max N	<b>115,388</b>	0,041	0,254	-0,116	-0,220	-0,018	ZS 1,2,13,19,21,24
Min N	<b>-121,088</b>	-0,097	-0,333	-0,328	1,248	-0,042	ZS 1,2,11,18,20,23
Max V <sub>y</sub>	81,353	<b>0,110</b>	0,262	-0,429	-0,241	0,047	ZS 1,2,12,19,20,23
Min V <sub>y</sub>	-74,718	<b>-0,120</b>	-0,327	0,061	1,232	-0,071	ZS 1,2,13,18,21,24
Max V <sub>z</sub>	88,054	0,080	<b>0,268</b>	-0,361	-0,255	0,023	ZS 1,2,19,23
Min V <sub>z</sub>	-113,229	-0,116	<b>-0,709</b>	0,002	0,000	0,217	ZS 1,2,11,18,22,24
Max M <sub>T</sub>	-52,291	-0,072	-0,196	<b>0,310</b>	0,859	-0,042	ZS 1,2,18,24
Min M <sub>T</sub>	43,083	0,041	0,120	<b>-0,555</b>	0,159	0,007	ZS 1,2,5,19,22,23
Max M <sub>y</sub>	-113,229	-0,116	-0,337	0,002	<b>1,256</b>	-0,061	ZS 1,2,11,18,22,24
Min M <sub>y</sub>	88,054	0,080	0,268	-0,361	<b>-0,255</b>	0,023	ZS 1,2,19,23
Max M <sub>z</sub>	-98,714	-0,114	-0,696	0,081	0,000	<b>0,224</b>	ZS 1,2,9,18,21,24
Min M <sub>z</sub>	81,353	0,110	-0,062	-0,429	0,000	<b>-0,218</b>	ZS 1,2,12,19,20,23

KV18 : KV3/s + 1.05\*KV4 + 0\*KV5 + 1.5\*KV6/s + 0.75\*KV7 + 0.9\*KV8

Vnitřní síly N

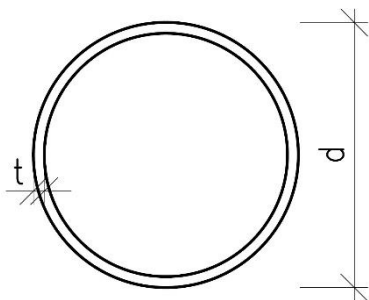
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Izometrie



Max N: 115.738, Min N: -121.088 [kN]

Průřezové charakteristiky: kruhová trubka  $\varnothing 114,3 \times 5,0$  mm.



$d$	114,3 mm
$t$	5 mm
$A$	1720 mm <sup>2</sup>
$I_y = I_z$	$2,57 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>
$W_{pl,y} = W_{pl,z}$	$5,98 \cdot 10^4$ mm <sup>3</sup>
$i_y = i_z$	38,7 mm
$I_t$	$5,14 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>

Třída průřezu: 1

### 6.10.1 Prostý tlak

Únosnost v tlaku:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1720 \cdot 355}{1,0} = 610,6 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{121,088}{610,60} \leq 1,0 \quad 0,20 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 6.10.2 Vzpěr

Vzpěrné délky:

Vzpěrná délka v rovině horního, resp. dolního pásu odpovídá polovině systémové délky ztužidla, vzpěrná délka z roviny pásu odpovídá celkové délce ztužidla.

$$L_{cr,y} = 2401 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 4802 \text{ mm}$$

Kritická síla:  $N_{cr,y} = 923,99 \text{ kN}$

$$N_{cr,z} = 231,00 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:  $\bar{\lambda}_y = 0,813$

$$\bar{\lambda}_z = 1,626$$

Křivka vzpěrné pevnosti:  $c \rightarrow \alpha = 0,49$

$$\phi_y = 0,981$$

$$\phi_z = 2,171$$

Součinitel vzpěrnosti:  $\chi_y = 0,654$

$$\chi_z = 0,277$$

Návrhová vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,277 \cdot 1720 \cdot 355}{1,1} = 153,78 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{121,088}{153,78} \leq 1,0 \quad 0,79 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$



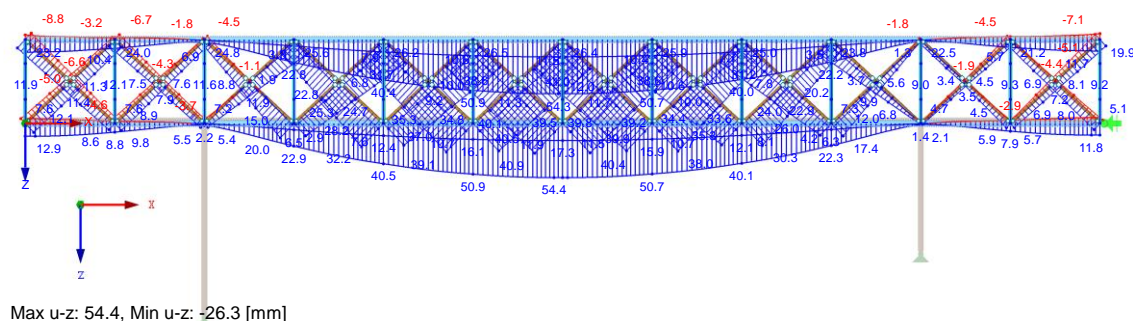
## 7 Posouzení ocelových prvků na MSP

Následující tabulka obsahuje posouzení jednotlivých typů prvků v konstrukci z hlediska mezního stavu použitelnosti. Je zde uveden výčet lokálních deformací jednotlivých prvků. Posouzení na mezní stavy použitelnosti bylo ověřeno pro charakteristickou kombinaci výsledků dle rovnice 6.14b. Byly ověřeny hodnoty maximálních lokálních vodorovných a svislých průhybů. Výsledky jsou patrné z tabulek níže.

Prvek	Max lokální svislý průhyb	Limitní svislý průhyb	Limitní svislý průhyb	Využití	Posouzení
	$u_z$	$u_{z,lim}$	$u_{z,lim}$		
Ocel S355	[mm]	kritérium	[mm]		$u_z \leq u_{z,lim}$
Sloup vyšší – svislé prvky	3,0	$L/250$	32,0	9 %	VYHOVUJE
Sloup vyšší – vodorovné	1,8	$L/250$	12,5	14 %	VYHOVUJE
Sloup vyšší – ztužidla	5,8	$L/300$	10,7	54 %	VYHOVUJE
Sloup nižší – svislé prvky	1,8	$L/250$	21,2	8 %	VYHOVUJE
Sloup nižší – vodorovné	1,5	$L/250$	12,5	12 %	VYHOVUJE
Sloup nižší – ztužidla	3,3	$L/300$	10,7	31 %	VYHOVUJE
Horní pásy	54,3	$L/250$	120,0	45 %	VYHOVUJE
Dolní pásy	54,4	$L/250$	120,0	45 %	VYHOVUJE
Příhradové vazníky	54,4	$L/400$	75,0	73 %	VYHOVUJE
Příčníky hlavní	0,2	$L/250$	12,0	2 %	VYHOVUJE
Příčníky sekundární	0,2	$L/250$	12,0	2 %	VYHOVUJE
Diagonály	8,0	$L/300$	17,1	47 %	VYHOVUJE
Ztužidla vodorovná	4,6	$L/300$	16,0	29 %	VYHOVUJE
Svislice	0,0	$L/250$	14,0	0 %	VYHOVUJE

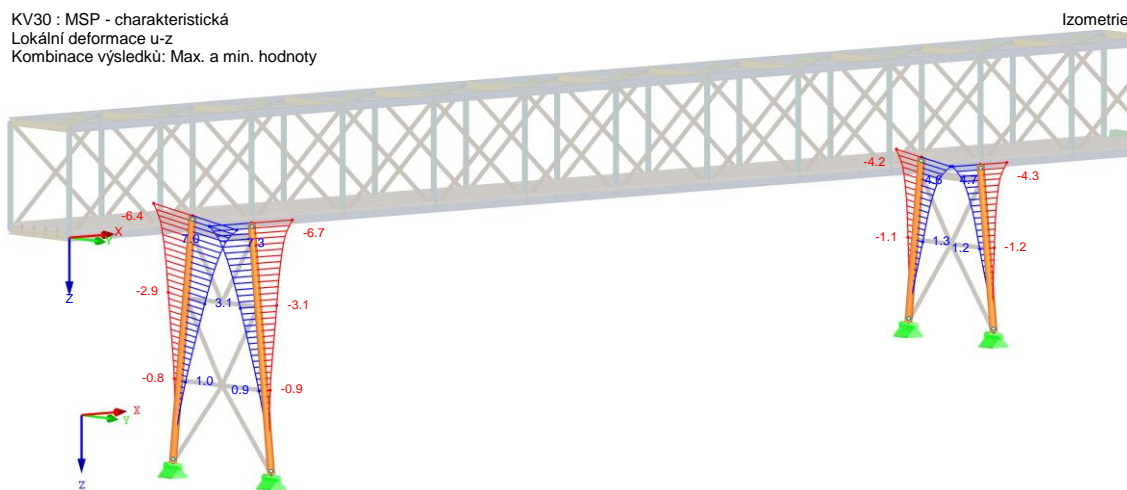
KV30 : MSP - charakteristická  
Lokální deformace u-z  
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty

Proti směru osy Y



Prvek	Max lokální vodorovný průhyb	Limitní vodorovný průhyb	Limitní vodorovný průhyb	Využití	Posouzení
	$u_{\text{vod}}$	$u_{\text{vod,lim}}$	$u_{\text{vod,lim}}$		
Ocel S355	[mm]	kritérium	[mm]		$u_{\text{vod}} \leq u_{\text{vod,lim}}$
Sloup vyšší – svislé prvky	7,3	$L/250$	32,0	23 %	VYHOVUJE
Sloup vyšší – vodorovné	6,0	$L/250$	12,5	48 %	VYHOVUJE
Sloup vyšší – ztužidla	6,0	$L/250$	10,7	56 %	VYHOVUJE
Sloup nižší – svislé prvky	4,7	$L/250$	21,2	22 %	VYHOVUJE
Sloup nižší – vodorovné	3,0	$L/250$	12,0	25 %	VYHOVUJE
Sloup nižší – ztužidla	1,6	$L/250$	20,5	8 %	VYHOVUJE
Horní pásy	26,5	$L/250$	120,0	22 %	VYHOVUJE
Dolní pásy	12,0	$L/250$	120,0	10 %	VYHOVUJE
Příhradové vazníky	30,8	$L/250$	120,0	26 %	VYHOVUJE
Příčníky hlavní	0,2	$L/250$	12,0	2 %	VYHOVUJE
Příčníky sekundární	5,6	$L/250$	12,0	47 %	VYHOVUJE
Diagonály	0,1	$L/250$	10,3	1 %	VYHOVUJE
Ztužidla vodorovná	3,9	$L/250$	9,6	41 %	VYHOVUJE
Svislice	4,3	$L/250$	14,0	31 %	VYHOVUJE

KV30 : MSP - charakteristická  
Lokální deformace u-z  
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty



Max u-z: 7.3, Min u-z: -6.7 [mm]

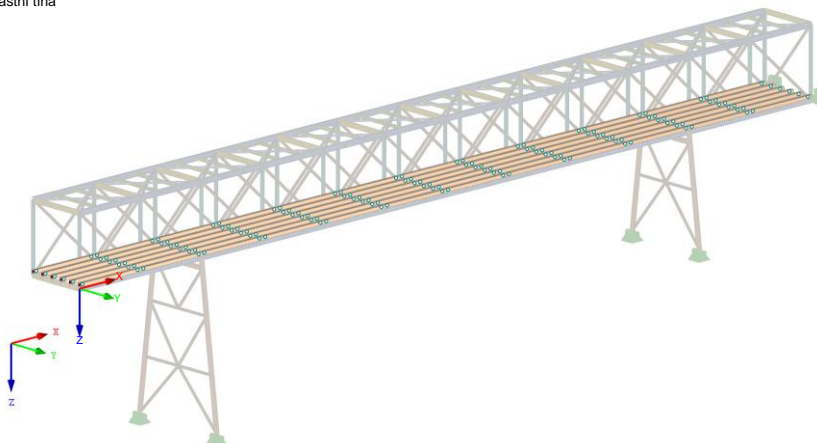
## 8 Posouzení dřevěných prvků

Prvky navrženy z rostlého jehličnatého dřeva vynáší podlahu, tudíž přenáší tíhu pochozí plochy a účinky pěší dopravy.

### 8.1 MSÚ

ZS1 : vlastní tíha

Izometrie

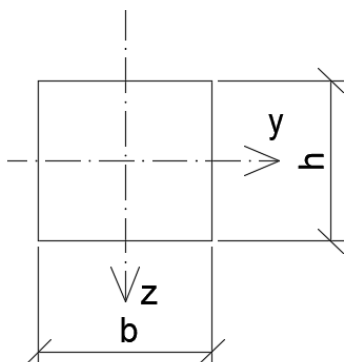


Posouzení bylo provedeno na kombinaci KV11, která vyvodí maximální tlakovou sílu a odpovídající vnitřní síly.

Vnitřní síly:

	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	2,363	-0,636	5,994	0,000	<b>-3,746</b>	-0,796	ZS 1,2,8,18,21,23
min N	<b>-2,076</b>	-0,261	5,994	0,000	-3,746	-0,326	ZS 1,2,5,19,20,24
max V <sub>y</sub>	-1,445	<b>0,105</b>	0,369	0,000	-0,230	0,131	ZS 1,2,4,19,24
min V <sub>y</sub>	1,313	<b>-0,957</b>	5,994	0,000	-3,746	-0,845	ZS 1,2,14,18,22,23
max V <sub>z</sub>	-0,386	-0,425	<b>5,994</b>	0,000	-3,746	-0,531	ZS 1-3
min V <sub>z</sub>	0,228	-0,060	<b>0,369</b>	0,000	-0,230	-0,075	ZS 1,2
max M <sub>T</sub>	0,228	-0,060	0,369	<b>0,000</b>	-0,230	-0,075	ZS 1,2
min M <sub>T</sub>	0,228	-0,060	0,369	<b>0,000</b>	-0,230	-0,075	ZS 1,2
max M <sub>y</sub>	0,228	-0,060	0,369	0,000	<b>-0,230</b>	-0,075	ZS 1,2
min M <sub>y</sub>	-0,386	-0,425	5,994	0,000	<b>-3,746</b>	-0,531	ZS 1-3
max M <sub>z</sub>	-1,445	0,105	0,369	0,000	-0,230	<b>0,131</b>	ZS 1,2,4,19,24
min M <sub>z</sub>	1,313	-0,957	5,994	0,000	-3,746	<b>-0,845</b>	ZS 1,2,14,18,22,23

Průřezové charakteristiky: obdélník 150×150 mm.



$b$	150 mm
$h$	150 mm
$A$	22500 mm <sup>2</sup>
$I_y$	$4,219 \cdot 10^7$ mm <sup>4</sup>
$I_z$	$4,219 \cdot 10^7$ mm <sup>4</sup>
$W_y$	$5,625 \cdot 10^5$ mm <sup>3</sup>
$W_z$	$5,625 \cdot 10^5$ mm <sup>3</sup>
$i_y$	43,3 mm
$i_z$	43,3 mm

Třída průřezu: 1

### 8.1.1 Dvouosý ohyb

$$W_y = W_z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 150 \cdot 150^2 = 562500 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{myd} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y} = \frac{3,746}{562500} = 6,66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{mzd} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z} = \frac{0,796}{562500} = 1,42 \text{ MPa}$$

Třída prostředí: 2

$\gamma_m = 1,3$  ... rostlé dřevo

$k_{mod} = 0,9$  ... krátkodobé zatížení

$k_m = 0,7$  ... obdélníkový průřez

Návrhová pevnost v ohybu:

$$f_{myd} = f_{mzd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{30}{1,3} = 20,77 \text{ MPa}$$

Podmínky spolehlivosti:

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1,0$$

$$0,7 \cdot \frac{6,66}{20,77} + \frac{1,42}{20,77} \leq 1,0$$

$$0,29 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1,0$$

$$\frac{6,66}{20,77} + 0,7 \cdot \frac{1,42}{20,77} \leq 1,0$$

$$0,37 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

## 8.2 MSP

Bylo provedeno posouzení na svislý a vodorovný průhyb.

**Limitní průhyb:**

$$u_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{1,25}{250} = 0,0125 \text{ m} = 5 \text{ mm}$$

**Svislý průhyb:**

$$u_{vod} = 2,9 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$u_{vod} \leq u_{lim}$$

$$2,9 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

**Vodorovný průhyb:**

$$u_{vod} = 1,4 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$u_{vod} \leq u_{lim}$$

$$1,4 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

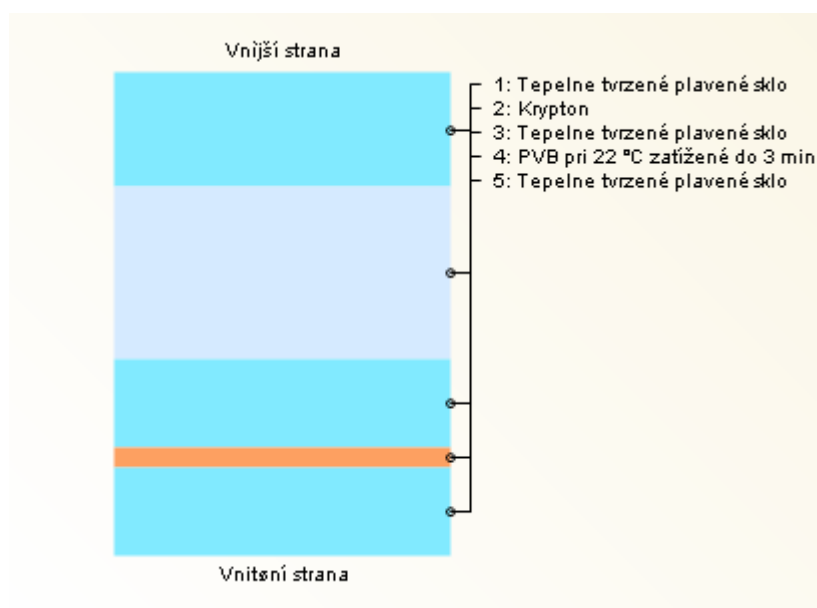
## 9 Posouzení skleněných prvků

### 9.1 MSÚ

Skleněné prvky jsou navrženy v konstrukci jako boční opláštění lávky. Musí splňovat izolační vlastnosti a zároveň plnit funkci výplně zábradlí. Skleněné tabule nejsou součástí globálního modelu konstrukce. Posouzení bylo provedeno na samostatném modelu v programu Dlubal RFEM.

Posouzení skleněných tabulí bylo provedeno z hlediska statického působení zatížení. Dynamické posouzení skleněných prvků není předmětem této práce.

#### Skladba skleněné tabule:



#### Parametry jednotlivých vrstev:

Vrstva č.	Typ vrstvy	Označení materiálu	Tloušťka t [mm]	Mezní napětí $\sigma_{mezni}$ [MPa]	Tepelně tvrzené	Vrstvené bezp. sklo
1	Sklo	Tepelne tvrzené plavené sklo	8,0	120,000	+	-
2	Plyn	Krypton	12,0		-	-
3	Sklo	Tepelne tvrzené plavené sklo	6,0	120,000	+	-
4	Fólie	PVB pri 22 °C zatížené do 3 min	1,5		-	-
5	Sklo	Tepelne tvrzené plavené sklo	6,0	120,000	+	-

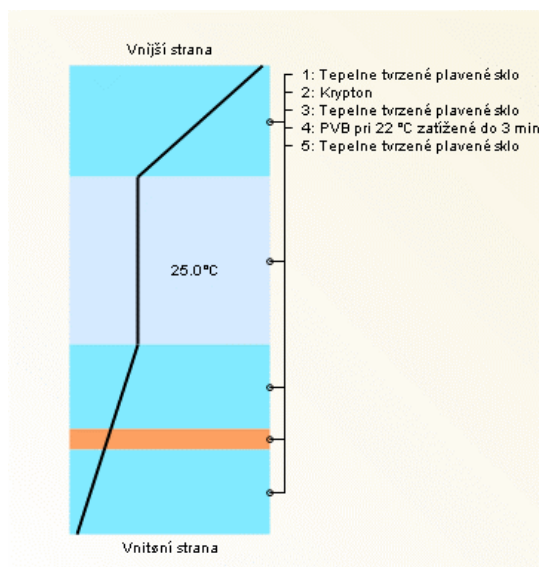
Vrstva č.	Typ vrstvy	Modul pružnosti E [MPa]	Smykový modul G [MPa]	Poissonův součinitel $\nu$ [-]	Objemová tíha $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Tepl. souč. rozt. $\alpha_T$ [1/K]	Tepel. vodivost $\lambda$ [W/m/K]
1	Sklo	70000,000	28455,300	0,230	25,00	9,0E-06	1,00
2	Plyn				0,04		
3	Sklo	70000,000	28455,300	0,230	25,00	9,0E-06	1,00
4	Fólie	3,000	1,001	0,499	10,70	8,0E-05	1,00
5	Sklo	70000,000	28455,300	0,230	25,00	9,0E-06	1,00

Napětí na jednotlivých vrstvách izolačního skla bylo stanoveno pomocí přídatného modulu RF-GLASS.

Byly definovány 2 zatěžovací stavy:

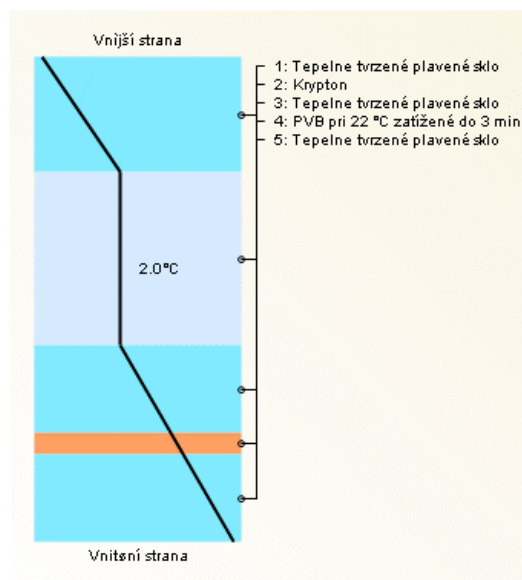
### ZS1: Klimatické zatížení – léto:

Výroba			
Atmosférický tlak	$p_{p,met}$	103,00	kPa
Nadmořská výška	$H_1$	200,0	m
Teplota	$T_p$	19,0	°C
Montáž			
Obecné			
Atmosférický tlak	$p_{out,met}$	101,00	kPa
Rozdíl v atmosférickém tlaku	$\Delta p$	-2,00	kPa
Nadmořská výška	$H_2$	300,0	m
Rozdíl v nadm. výšce	$\Delta H$	100,0	m
Vnější strana			
Teplota vzduchu	$T_e$	35,0	°C
Plyn č. 1 (vrstva č.: 2)			
Teplota plynu	$T_1$	25,0	°C
Rozdíl teplot plynu	$\Delta T_1$	6,0	°C
Vnitřní strana			
Teplota vzduchu	$T_i$	20,0	°C



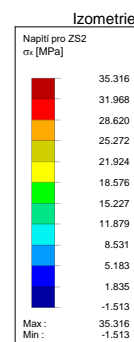
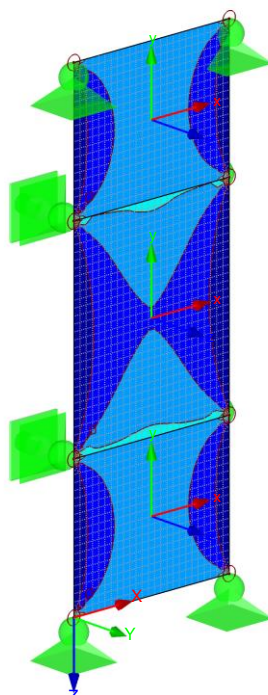
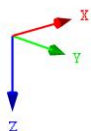
### ZS2: Klimatické zatížení – zima:

Výroba			
Atmosférický tlak	$p_{p,met}$	99,00	kPa
Nadmořská výška	$H_1$	300,0	m
Teplota	$T_p$	27,0	°C
Montáž			
Obecné			
Atmosférický tlak	$p_{out,met}$	103,00	kPa
Rozdíl v atmosférickém tlaku	$\Delta p$	4,00	kPa
Nadmořská výška	$H_2$	300,0	m
Rozdíl v nadm. výšce	$\Delta H$	0,0	m
Vnější strana			
Teplota vzduchu	$T_e$	-10,0	°C
Plyn č. 1 (vrstva č.: 2)			
Teplota plynu	$T_1$	2,0	°C
Rozdíl teplot plynu	$\Delta T_1$	-25,0	°C
Vnitřní strana			
Teplota vzduchu	$T_i$	19,0	°C



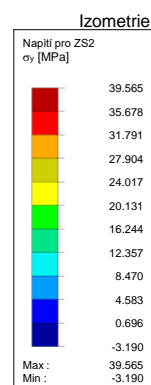
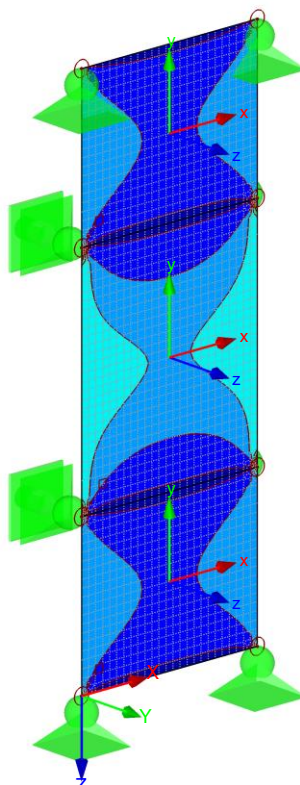
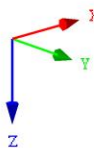
Pro posouzení byla zvolena vrstva č.3, ve které rozhodující napětí vyvolaly účinky zatížení zatěžovacího stavu 2.

RF-GLASS PØ1  
Vrstva è. 3, Horní  
Napětí pro ZS2 Sigma-x [MPa]



Max Sigma-x: 35.316, Min Sigma-x: -1.513 MPa

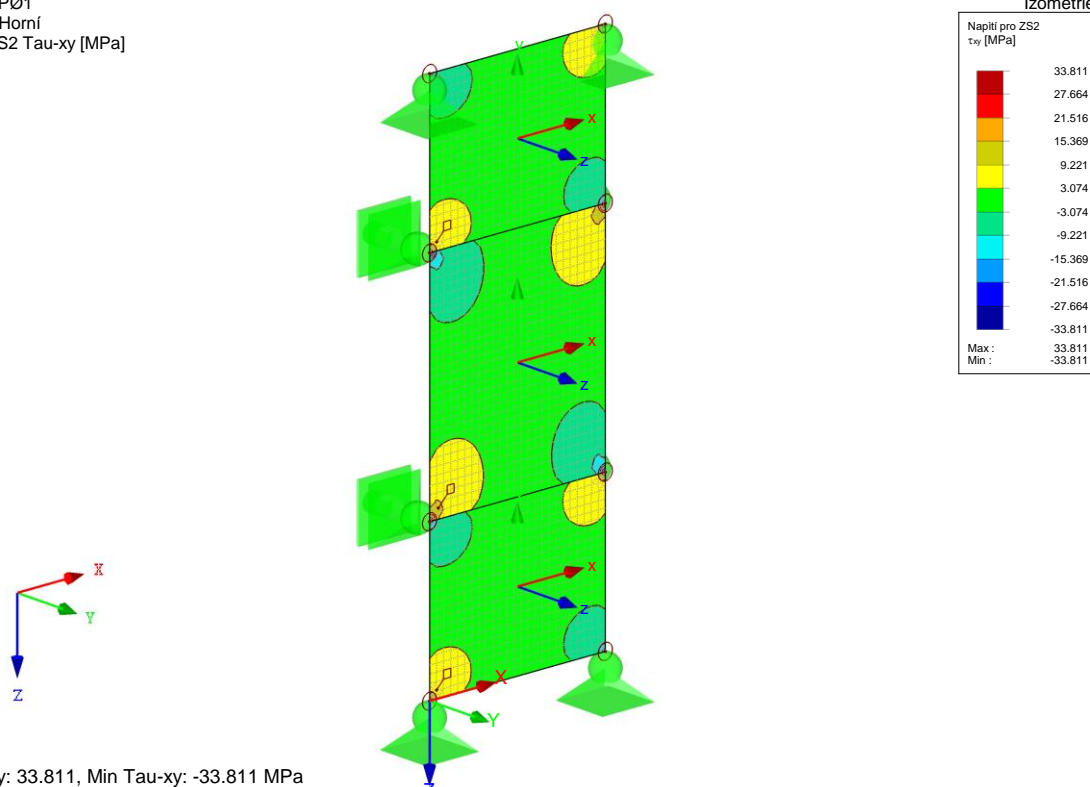
RF-GLASS PØ1  
Vrstva è. 3, Horní  
Napětí pro ZS2 Sigma-y [MPa]



Max Sigma-y: 39.565, Min Sigma-y: -3.190 MPa



RF-GLASS PØ1  
Vrstva è. 3, Horní  
Napětí pro ZS2 Tau-xy [MPa]



Napětí ve skleněných tabulích nesmí překročit návrhovou pevnost použitého skla.

Pevnost plaveného skla:  $f_{ck} = 39,565 \text{ MPa}$

Maximální napětí:  $\sigma_{max} = 39,565 \text{ MPa}$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\sigma_{Ed} \leq f_{ck}$$

$$39,565 \text{ MPa} \leq 120 \text{ MPa}$$

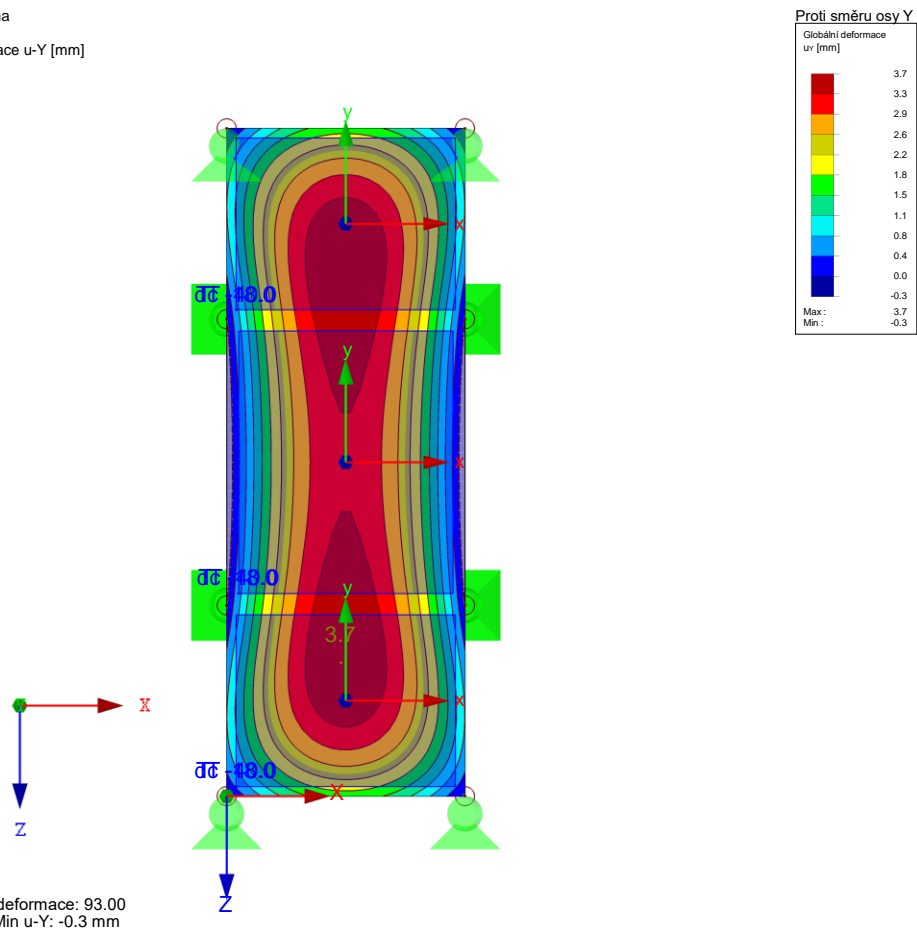
VYHOVUJE

## 9.2 MSP

Bylo provedeno posouzení na vodorovný průhyb.

Průhyb od zatížení teplotou – zima: 3,7 mm

ZS4 : teplota zima  
Zatížení [°C]  
Globální deformace u-Y [mm]



**Limitní průhyb:**

$$u_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{1,5}{100} = 0,015 \text{ m} = 15 \text{ mm}$$

**Vodorovný průhyb:**

$$u_{vod} = 3,7 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$u_{vod} \leq u_{lim} \quad 3,7 \text{ mm} \leq 15 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 10 Posouzení madla zábradlí

Funkci zábradlí plní skleněná výplň stěn doplněná o ocelové madlo. Madlo bylo navrženo dle požadavků normy ČSN 74 3305.

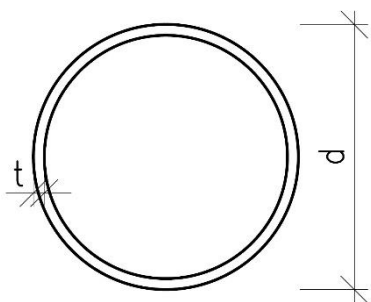
### 10.1 MSÚ

Dle normy musí zábradlí vyhovět na přenos následujících zatížení:

- Osamělá síla  $F = 1 \text{ kN}$
- Spojité zatížení  $q = 1 \text{ kN/m}$

Bylo provedeno posouzení zábradlí na jednom poli lávky. Jeho délka je tedy 3,75 m. Madlo je kotveno ve výšce 1 m na svislice a diagonály. Ze statického hlediska se jedná o spojitý nosník o třech polích. Rozměry polí: vnější 1,07 m, vnitřní 1,61 m.

**Průřezové charakteristiky:** kruhová trubka  $\varnothing 48,3 \times 3,2 \text{ mm}$ .



$d$	48,3 mm
$t$	3,2 mm
$A$	453 mm <sup>2</sup>
$I_y = I_z$	$1,16 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$
$W_{pl,y} = W_{pl,z}$	$6,52 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
$i_y = i_z$	16 mm
$I_t$	$2,32 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$

**Třída průřezu:** 1

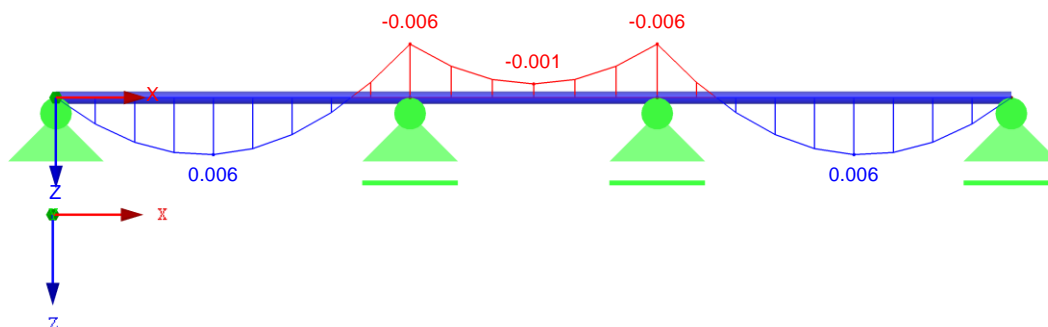
#### 10.1.1 Ohyb

**Působící ohybový moment:**

$M_g = 0,006 \text{ kNm}$  ... moment od vlastní tíhy

ZS1 : vlastní tíha  
Vnitřní síly M-y

Proti směru osy Y

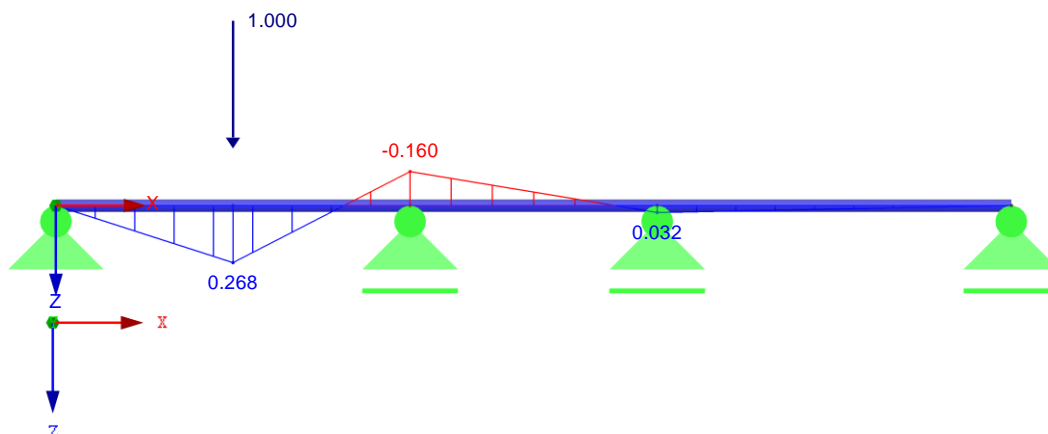


Max M-y: 0.006, Min M-y: -0.006 [kNm]

$M_F = 0,268 \text{ kNm}$  ... max ohybový moment vyvolala osamělá síla v krajním poli.

ZS9 : síla krajní  
Zatížení [kN]  
Vnitřní síly M-y

Proti směru osy Y



Max M-y: 0.268, Min M-y: -0.160 [kNm]

$$M_{Ed} = M_g + M_F = 0,006 + 0,274 = 1,5 \text{ mm}$$

**Návrhová únosnost v ohybu:**

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{6,52 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 2,315 \text{ kNm}$$

**Podmínky spolehlivosti:**

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{0,274}{2,315} \leq 1,0 \quad 0,12 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 10.2 MSP

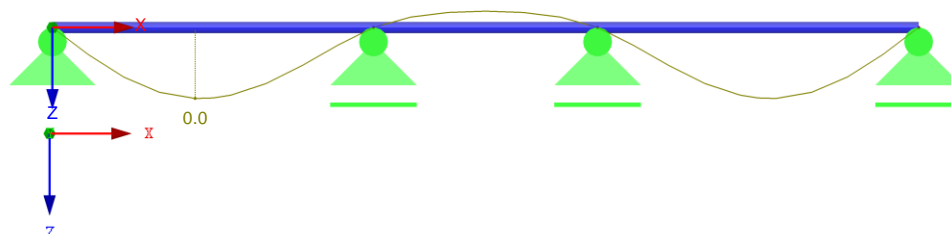
**Limitní průhyb:**

$$u_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{1,61}{200} = 0,008 \text{ m} = 8 \text{ mm}$$

**Průhyb:** vlastní tíha + osamělá síla

ZS1 : vlastní tíha  
Globální deformace u-Z [mm]

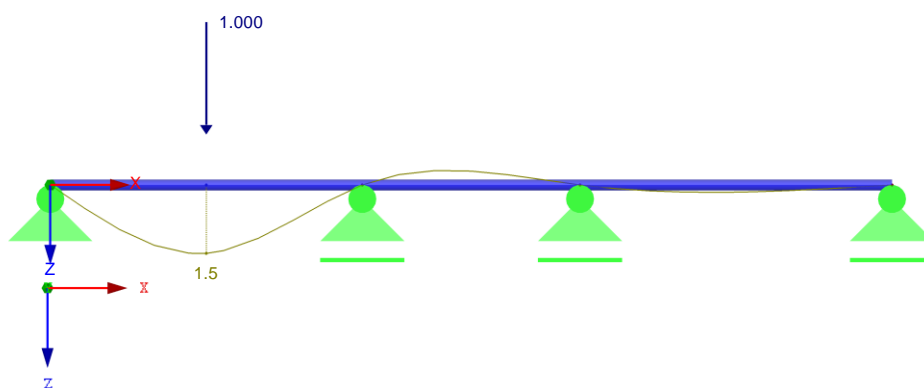
Proti směru osy Y



Součinitel pro deformace: 7000.00  
Max u-Z: 0.0, Min u-Z: 0.0 mm

ZS9 : síla krajní  
Zatížení [kN]  
Globální deformace u-Z [mm]

Proti směru osy Y



Součinitel pro deformace: 200.00  
Max u-Z: 1.5, Min u-Z: -0.3 mm

$$u_{vod} = u_g + u_F = 0,0 + 1,5 = 1,5 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$u_{vod} \leq u_{lim}$$

$$1,5 \text{ mm} \leq 8 \text{ mm}$$

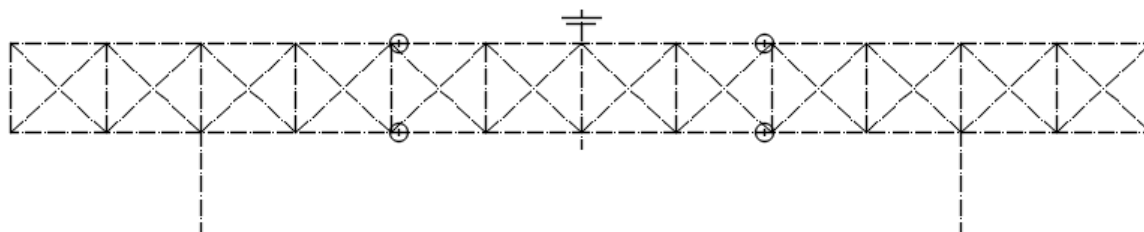
VYHOVUJE

## 11 Návrh detailů

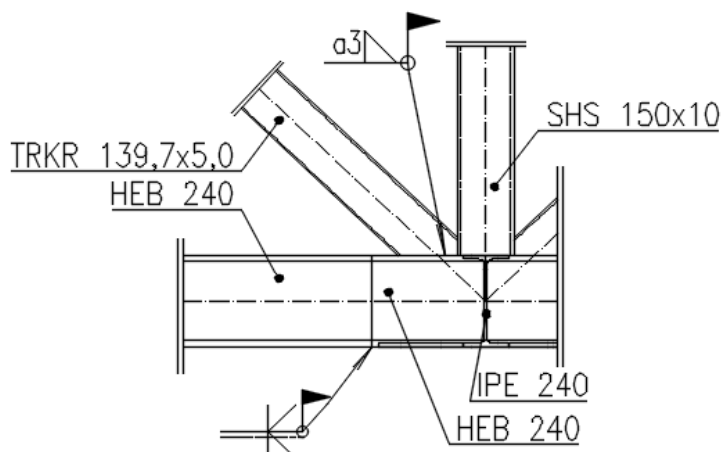
Tato kapitola obsahuje statické posudky vybraných konstrukčních detailů.

### 11.1 Montážní spoj hlavních nosníků

Jedná se o montážní svarový spoj hlavních nosníků. Následující obrázek znázorňuje umístění přípoje v konstrukci.



Posouzení bylo provedeno v místě montážního spoje dolního pásu.



Vnitřní síly:

	Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušné zatěžovací stavy
	N	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	
Max N	<b>427,112</b>	0,195	3,244	0,015	61,597	-1,649	ZS 1,2,10,18,21,24
Min N	<b>-81,201</b>	-1,564	4,140	-0,025	-16,657	-0,708	ZS 1,2,9,19,20,23
Max V <sub>y</sub>	296,753	<b>4,828</b>	20,507	-0,279	38,241	2,098	ZS 1,2,14,18,21,24
Min V <sub>y</sub>	214,943	<b>-4,963</b>	-21,130	0,443	-20,589	2,612	ZS 1,2,14,18,21,23
Max V <sub>z</sub>	226,650	0,201	<b>27,079</b>	-0,369	-28,503	0,543	ZS 1,2,7,19,21,23
Min V <sub>z</sub>	299,685	-3,916	<b>-25,633</b>	0,297	36,197	2,552	ZS 1,2,11,18,20,24
Max M <sub>T</sub>	271,806	-1,973	-20,499	<b>0,449</b>	7,509	-1,293	ZS 1,2,13,18,21,23
Min M <sub>T</sub>	267,538	0,462	25,798	<b>-0,431</b>	-23,700	-0,349	ZS 1,2,13,18,21,23
Max M <sub>y</sub>	382,653	-3,119	-16,003	0,127	<b>90,487</b>	-1,798	ZS 1,2,10,18,21,24
Min M <sub>y</sub>	100,151	-1,822	19,912	-0,291	<b>-36,436</b>	-0,900	ZS 1,2,13,19,23
Max M <sub>z</sub>	324,980	-4,511	-25,018	0,443	-21,167	<b>2,902</b>	ZS 1,2,10,18,21,23
Min M <sub>z</sub>	367,850	4,085	15,692	-0,199	62,270	<b>-3,126</b>	ZS 1,2,10,18,21,24

Navrženo: tupý K – svar

**Návrhová pevnost v tahu:**

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10600 \cdot 355}{1,0} = 3763 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{382,653}{3763,0} \leq 1,0 \quad 0,10 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

**Návrhová pevnost ve smyku:**

$$V_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{10600 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 2172,57 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{16,003}{2172,57} \leq 1,0 \quad 0,007 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

**Návrhová pevnost v ohybu:**

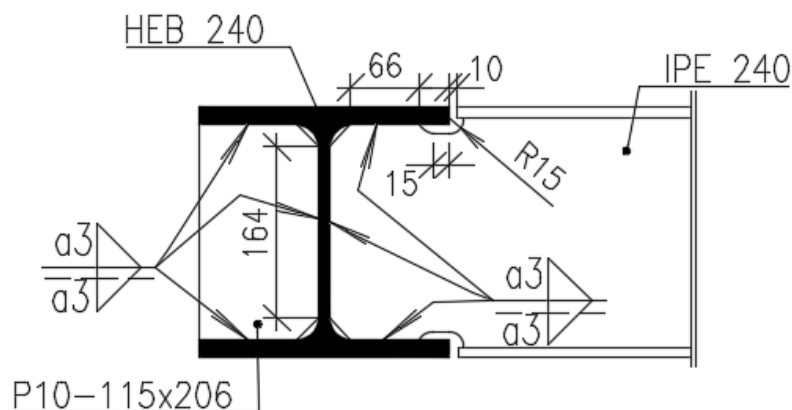
$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,05 \cdot 10^6 \cdot 355}{1,0} = 372,75 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{90,487}{372,75} \leq 1,0 \quad 0,007 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 11.2 Přípoj primárního příčnicku k hlavnímu nosníku

Geometrie přípoje je patrná z obrázku:



Koutové svary jsou navrženy na účinky kombinace KV11 pro maximální tlakovou sílu.

	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	-3,210	-1,746	0,957	-0,305	7,103	-0,881	ZS 1,2,24
min N	-45,393	3,205	-12,851	0,555	20,098	1,841	ZS 1,2,8,18,22,23

**Délka svarů příčnicku (IPE 240):**

**Boční svar:**  $L_1 = 66 \text{ mm}$

**Čelní svar:**  $L_2 = 164 \text{ mm}$

**Vliv N: boční svary**

$\beta_w = 0,9$  ... pro ocel S355

$f_u = 490 \text{ MPa}$

**Účinná tloušťka svaru:**  $a = 3 \text{ mm}$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 251,47 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost bočních svarů:**

$$F_{w,Rd,1} = 2 \cdot 2 \cdot L_1 \cdot a \cdot \tau_{\parallel} = 2 \cdot 2 \cdot 66 \cdot 3 \cdot 251,47 = 199,162 \text{ kN}$$

**Čelní svary**

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_R = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{2}} = 307,98 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost čelních svarů:**

$$F_{w,Rd,2} = 2 \cdot L_2 \cdot a \cdot \sigma_R = 2 \cdot 164 \cdot 3 \cdot 307,98 = 303,052 \text{ kN}$$

**Návrhová pevnost všech svarů:**

$$F_{w,Rd} = F_{w,Rd,1} + F_{w,Rd,2} = 199,162 + 303,052 = 502,672 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{F_{wEd}}{F_{w,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{45,393}{502,672} \leq 1,0 \quad 0,09 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

**Vliv V + M: čelní svary**

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot L_2} = \frac{12,851}{2 \cdot 3 \cdot 164} = 13,06 \text{ MPa}$$



$$\sigma_M = \frac{M}{W_w} = \frac{20,098}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot L_2^2} = \frac{20,098}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 164^2} = 122,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{122,55}{\sqrt{2}} = 86,66 \text{ MPa}$$

Srovnávací napětí:

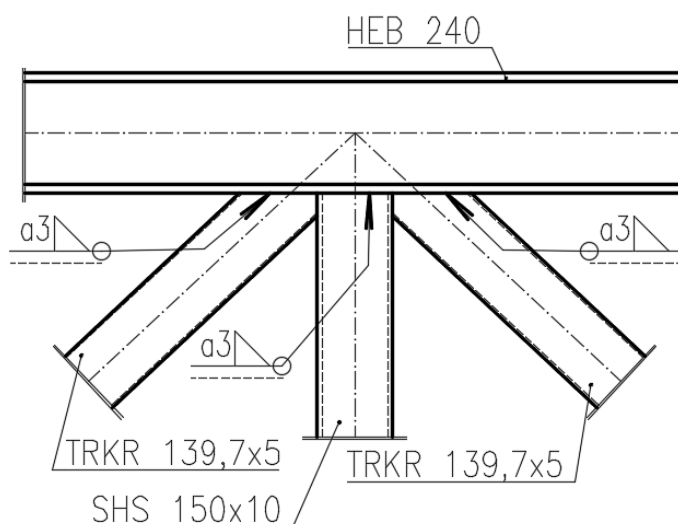
$$\sqrt{\sigma_{\perp} + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}}$$

$$\sqrt{86,66 + 3 \cdot 86,66^2 + 3 \cdot 13,06^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} \wedge 86,66 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25 \cdot \sqrt{2}}$$

$$174,79 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \wedge 86,66 \leq 325,8 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 11.3 Přípoj svislice a diagonál k hlavnímu nosníku

Jedná se o přípoj svislice a dvou ztužidel k dolnímu, resp. hornímu pásu příhradového vazníku. Na následujícím obrázku je patrná geometrie styčnicku.



#### Svislice

Koutový svar svislice je posouzen zvlášť na tah a na kombinaci ohybu a smyku. Svary svislice jsou ověřeny na vnitřní síly z kombinace KV13, která vyvodí maximální tahovou sílu a odpovídající vnitřní síly, na smyk a ohyb maximální ohybový moment a odpovídající vnitřní síly.

Vnitřní síly pro posouzení svislice na tah: max N z KV11

	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	30,620	0,000	-1,535	-0,019	-3,999	0,002	ZS 1,2,10,18,24

Obvod svislice:  $L = 574,248 \text{ mm}$

Napětí vyvozené N:

$\beta_w = 0,9$  ... pro ocel S355

$f_u = 490 \text{ MPa}$

Účinná tloušťka svaru:  $a = 3 \text{ mm}$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sigma_N = \frac{N}{L \cdot a} = \frac{30,62}{574,248 \cdot 3} = 17,77 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{17,77}{\sqrt{2}} = 8,89 \text{ MPa}$$

Srovnávací napětí:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}}$$

$$\sqrt{8,89^2 + 3 \cdot 8,89^2 + 3 \cdot 0^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} \wedge 8,89 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25 \cdot \sqrt{2}}$$

$$17,78 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \wedge 8,89 \leq 325,8 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Vnitřní síly pro posouzení na smyk a ohyb:

	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
Max M <sub>y</sub>	-245,012	-6,285	12,154	0,006	<b>24,537</b>	10,890	ZS 1,2,11,18,22,24

Napětí vyvozené V<sub>y</sub> a M<sub>y</sub>:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot L_2} = \frac{12,154}{2 \cdot 3 \cdot 150} = 13,50 \text{ MPa}$$

Průřezový modul obvodového svaru:

$$\begin{aligned} W_w &= \frac{I_y}{z} = \\ &= \frac{2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 150^3 + 3 \cdot 150 \cdot (75 - 75)^2 \right) + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 150^3 + 3 \cdot 150 \cdot (75 - 0)^2 \right)}{75} \\ &= \frac{6,75 \cdot 10^6}{75} = 9,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\sigma_M = \frac{M_y}{W_w} = \frac{24,537}{9,00 \cdot 10^4} = \frac{24,537}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 150^2} = 272,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{272,63}{\sqrt{2}} = 192,78 \text{ MPa}$$

**Srovnávací napětí:**

$$\sqrt{\sigma_{\perp} + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \wedge \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}}$$

$$\sqrt{192,78 + 3 \cdot 192,78^2 + 3 \cdot 13,50^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} \wedge 192,78 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25 \cdot \sqrt{2}}$$

$$386,27 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \wedge 192,78 \leq 325,8 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Tlačená diagonála

Koutový svar je posouzen na sílu, která se rovná vektorovému součtu normálové a posouvající síly v diagonále z kombinace KV11.

**Vnitřní síly:**

	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
min N	<b>-192,682</b>	-0,201	-0,244	-0,108	0,569	-0,321	ZS 1,2,13,18,21,24

$$V_{Ed} = \sqrt{V_y^2 + V_z^2} = \sqrt{0,201^2 + 0,244^2} = 0,316 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{N^2 + V^2} = \sqrt{192,682^2 + 0,316^2} = 192,682 \text{ kN}$$

**Délka obvodového svaru diagonály:**  $L = 566,638 \text{ mm}$

**Síla působící na 1 mm délky svaru:**

$$F_{wEd} = \frac{F_{Ed}}{L} = \frac{192,682}{566,638} = 340,040 \text{ N/mm}$$

$$\beta_w = 0,9 \dots \text{ pro ocel S355}$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost svaru ve smyku:**

$$f_{wv,d} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{\frac{490}{\sqrt{3}}}{0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

**Účinná tloušťka svaru:**  $a = 3 \text{ mm}$

**Návrhová únosnost jednotkové délky svaru:**

$$F_{wRd} = f_{wRd} \cdot a = 251,47 \cdot 3 = 754,41 \text{ N/mm}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{F_{wEd}}{F_{w,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{340,040}{754,41} \leq 1,0 \quad 0,45 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

**Tažená diagonála**

**Vnitřní síly: z KV11 pro max N**

	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	Příslušné zatěžovací stavy
max N	<b>183,269</b>	0,195	-0,243	-0,393	0,569	0,312	ZS 1,2,13,18,21,23

$$V_{Ed} = \sqrt{V_y^2 + V_z^2} = \sqrt{0,195^2 + 0,243^2} = 0,312 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{N^2 + V^2} = \sqrt{183,269^2 + 0,312^2} = 183,269 \text{ kN}$$

**Délka obvodového svaru diagonály:  $L = 566,638 \text{ mm}$**

**Síla působící na 1 mm délky svaru:**

$$F_{wEd} = \frac{F_{Ed}}{L} = \frac{183,269}{566,638} = 323,433 \text{ N/mm}$$

$\beta_w = 0,9 \dots$  pro ocel S355

$f_u = 490 \text{ MPa}$

**Návrhová pevnost svaru ve smyku:**

$$f_{wv,d} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{\frac{490}{\sqrt{3}}}{0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

**Účinná tloušťka svaru:  $a = 3 \text{ mm}$**

**Návrhová únosnost jednotkové délky svaru:**

$$F_{wRd} = f_{wRd} \cdot a = 251,47 \cdot 3 = 754,41 \text{ N/mm}$$

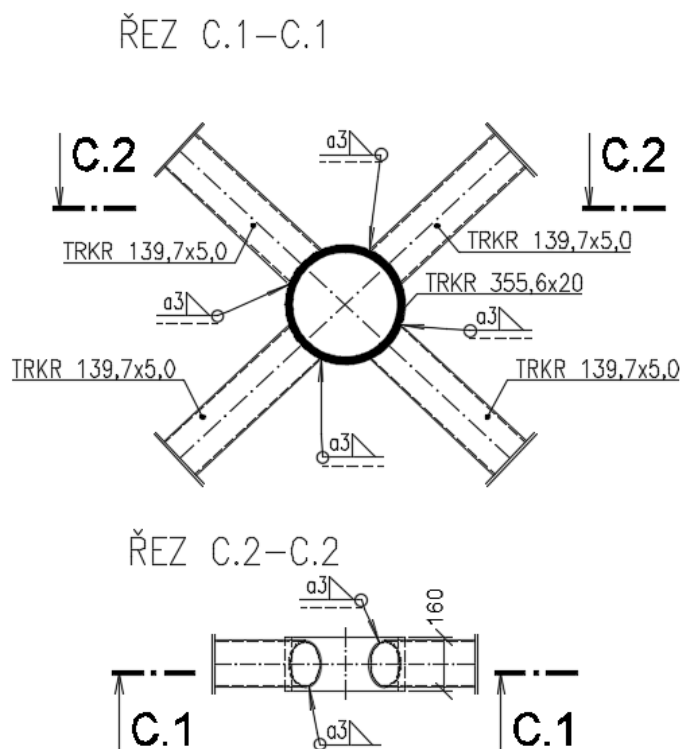
**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{F_{wEd}}{F_{w,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{323,433}{754,41} \leq 1,0 \quad 0,43 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 11.4 Vzájemné křížení diagonál

Geometrie detailu použitého pro křížení diagonál vychází z teoretické části této práce. Jedná se o křížení prvků, které jsou navrženy z uzavřených průřezů, konkrétně kruhové trubky, a které jsou vzájemně propojeny prostřednictvím ocelového prstence.

Geometrie přípoje je patrná z obrázku:



Byl navržen prstenec z trubky: TRKR 355x20 mm. Svary pro připojení diagonál k prstenci musí přenést stejné normálové síly jako svary pro přípoj diagonály k hlavnímu nosníku.

$$F_{Ed} = \sqrt{N^2 + V^2} = \sqrt{191,959^2 + 0,316^2} = 191,959 \text{ kN}$$

**Délka obvodového svaru diagonály:**  $L = 469,275 \text{ mm}$

**Síla působící na 1 mm délky svaru:**

$$F_{wEd} = \frac{F_{Ed}}{L} = \frac{191,959}{469,275} = 409,054 \text{ N/mm}$$

$\beta_w = 0,9 \dots$  pro ocel S355

$f_u = 490 \text{ MPa}$

**Návrhová pevnost svaru ve smyku:**

$$f_{wv,d} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{\frac{490}{\sqrt{3}}}{0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$$

**Účinná tloušťka svaru:**  $a = 3 \text{ mm}$

**Návrhová únosnost jednotkové délky svaru:**

$$F_{wRd} = f_{wRd} \cdot a = 251,47 \cdot 3 = 754,41 \text{ N/mm}$$

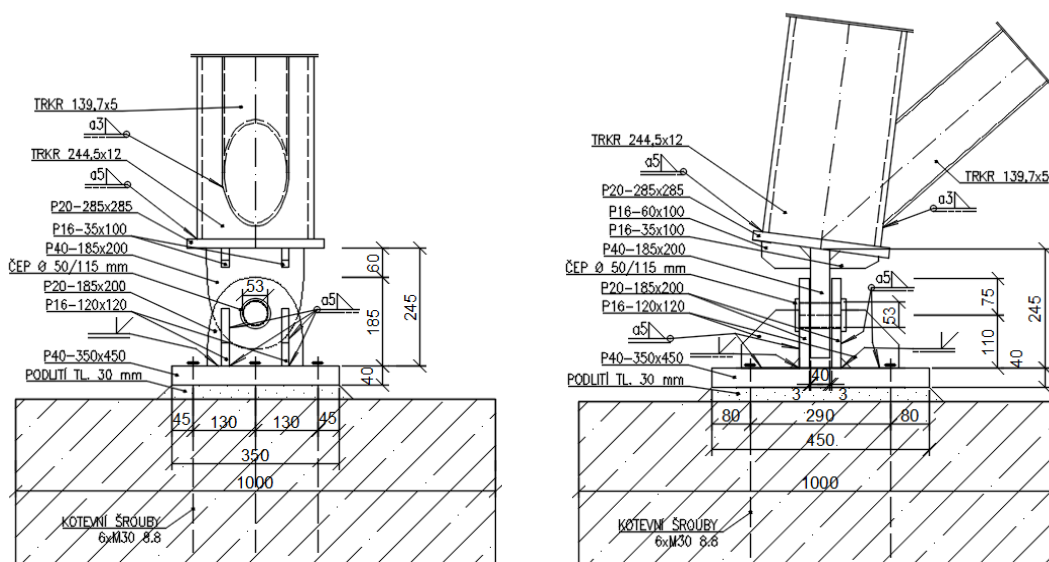
### Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{F_{wEd}}{F_{w,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{409,054}{754,41} \leq 1,0 \quad 0,54 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 11.5 Příklad sloupů k patnímu plechu

Konstrukce je kotvená celkem do čtyř železobetonových základových konstrukcí. Ze statického hlediska se ve všech případech jedná o neposuvné kloubové podpory. Kloubové působení je zprostředkováno čepovým spojem.

### Geometrie čepového spoje:



### Materiálové charakteristiky:

**Čepové desky: ocel S355**

## Materiálové charakteristiky pro tl. do 40 mm

$$f_{y,d,25} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{u.d.25} = 490 \text{ MPa}$$

**Čep:** s hlavou a otvorem pro závlačku z konstrukční oceli S460

**Rozměry čepu:** Ø 50 mm; L = 100 mm

$$f_{vp} = 460 \text{ MPa}$$

$$f_{up} = 540 \text{ MPa}$$

$$A = 1963.50 \text{ mm}^2$$

$$W_{el} = 12257 \text{ mm}^3$$

$$f_y = \min(f_{y,d}; f_{yp}) = \min(335; 460) = 335 \text{ MPa}$$

$$\text{Návrhová normálová síla: } F_{Ed} = 966,118 \text{ kN}$$

$$\text{Průměr čepu a otvoru pro čep: } d = 50 \text{ mm} \rightarrow d_0 = 53 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost plechu a čepu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 40 \cdot 50 \cdot 355}{1,0} = 1065 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{966,118}{1065,00} \leq 1,0 \quad 0,91 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 11.5.1 Posouzení čepu na kombinaci stříhu a ohybu

#### Střih

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} = \frac{966,118}{2} = 483,059 \text{ kN}$$

Únosnost čepu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 1963,5 \cdot 540}{1,25} = 636,17 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{483,059}{636,17} \leq 1,0 \quad 0,76 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### Ohyb

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (t_1 + 4 \cdot e + 2 \cdot t_2) = \frac{966,118}{8} \cdot (40 + 4 \cdot 5 + 2 \cdot 40) = 16,908 \text{ kNm}$$

Únosnost čepu v ohybu:

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 12,257 \cdot 10^3 \cdot 460}{1,25} = 67,658 \text{ kNm}$$

Podmínka spolehlivosti:

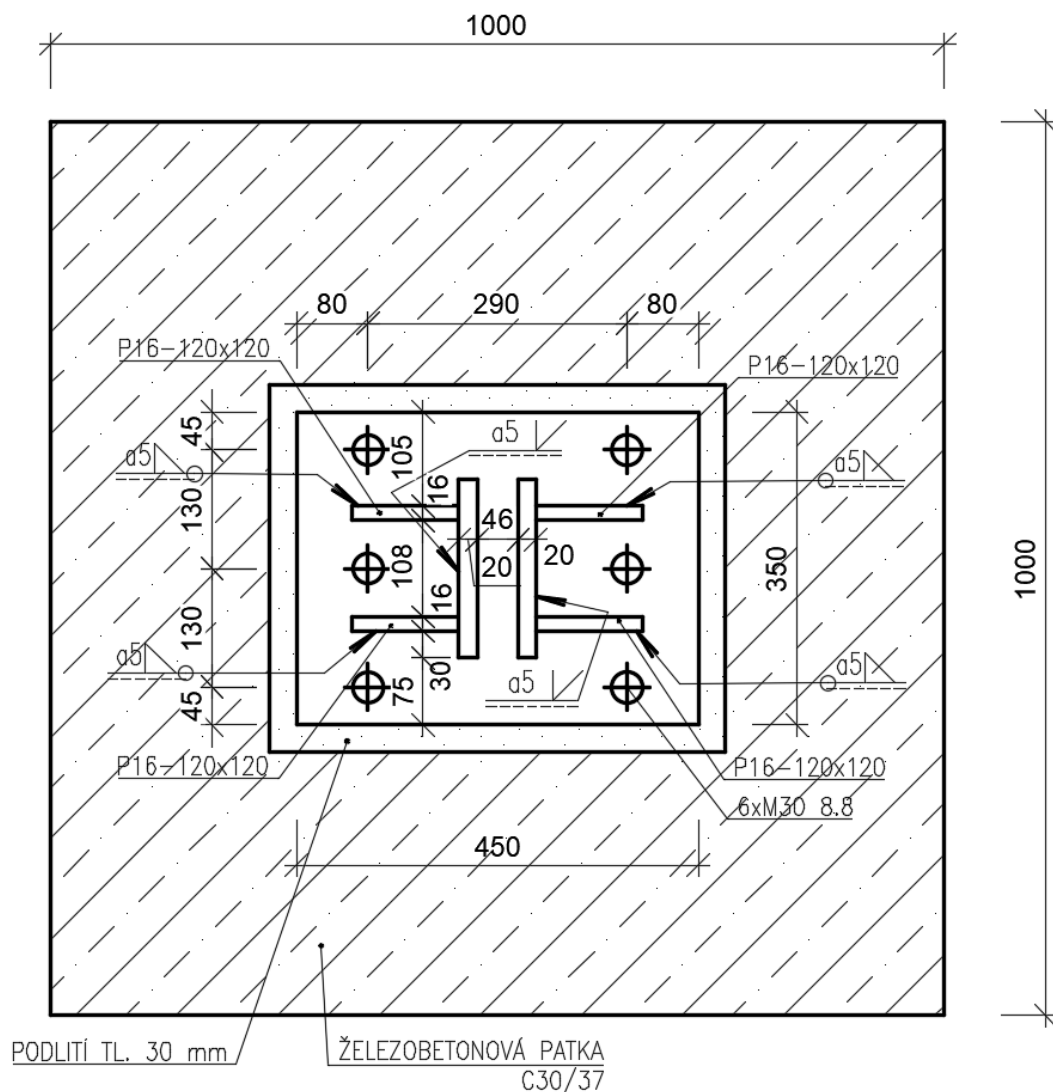
$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{16,908}{67,658} \leq 1,0 \quad 0,25 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Podmínka spolehlivosti pro kombinaci smyku a ohybu:

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1,0 \quad \left[ \frac{16,908}{67,658} \right]^2 + \left[ \frac{483,059}{636,17} \right]^2 \leq 1,0 \quad 0,64 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 12 Návrh kotvení konstrukce

Kotvení sloupů do základové konstrukce je provedeno pomocí poddajného patního plechu, který je k železobetonové patce upevněn pomocí kotevních šroubů. Rozmístění kotevních šroubů je patrné z obrázku.



Kotvení bylo posouzeno na 2 kombinace zatížení. Nejprve je rozepsáno posouzení na kombinaci KV13, která vyvodí maximální tlakovou sílu, zároveň maximální smykovou sílu ve směru  $x$  a odpovídající smykovou sílu ve směru  $y$ .



## 12.1 Kotvení namáhané tlakem

	Podporové síly [kN]			Podporové momenty [kNm]			
	P <sub>x'</sub>	P <sub>y'</sub>	P <sub>z'</sub>	M <sub>x'</sub>	M <sub>y'</sub>	M <sub>z'</sub>	
Max P <sub>x'</sub>	<b>0,045</b>	-68,794	-177,568	-7,073	0,000	-0,540	ZS 1,2,13,19,20,24
Min P <sub>x'</sub>	<b>-0,056</b>	209,502	879,643	5,389	0,000	0,055	ZS 1,2,10,18,21,23
Max P <sub>y'</sub>	-0,045	<b>229,097</b>	966,110	5,614	0,000	0,063	ZS 1,2,11,18,22,23
Min P <sub>y'</sub>	0,033	<b>-83,240</b>	-268,315	-6,239	0,000	-0,261	ZS 1,2,19,24
Max P <sub>z'</sub>	-0,043	228,852	<b>966,118</b>	5,716	0,000	0,167	ZS 1,2,11,18,22,24
Min P <sub>z'</sub>	0,031	-82,995	<b>-268,323</b>	-6,341	0,000	-0,365	ZS 1,2,19,23
Max M <sub>x'</sub>	-0,042	211,432	877,304	<b>5,950</b>	0,000	0,209	ZS 1,2,14,18,24
Min M <sub>x'</sub>	0,042	-59,608	-132,990	<b>-7,287</b>	0,000	-0,673	ZS 1,2,13,19,22,23
Max M <sub>z'</sub>	-0,041	172,834	727,966	4,754	0,000	<b>0,384</b>	ZS 1,2,12,18,20,24
Min M <sub>z'</sub>	0,034	-5,499	86,482	-5,331	0,000	<b>-0,705</b>	ZS 1,2,13,19,21,23

Návrhová smyková síla:

$$V_{Ed} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{228,852^2 + 0,043^2} = 228,852 \text{ kN}$$

### 12.1.1 Posouzení na přenos smykové síly

#### Přenos třením

Součinitel tření

$C_{f,d} = 0,2$  ... pro písko-cementovou maltu

Návrhová únosnost v tření:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{Ed} = 0,2 \cdot 966,118 = 193,224 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{V_{Ed}}{F_{f,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{228,852}{193,224} \leq 1,0 \quad 1,15 \leq 1,0 \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

Je nutno ověřit přenos smykové síly stříhem kotevních šroubů.

#### Přenos stříhem kotevních šroubů

Navrženo: 6×M30 pevnostní třídy 8.8

$$\alpha_v = 0,6$$

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

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

$$A_s = 561 \text{ mm}^2$$

$$F_{1,vb,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 6 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 561}{1,25} = 6 \cdot 215,424 = 1292,544 \text{ kN}$$

$$\alpha_{bc} = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb} = 0,44 - 0,0003 \cdot 640 = 0,248$$

$$F_{2,vb,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_{bc} \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 6 \cdot \frac{0,248 \cdot 800 \cdot 561}{1,25} = 6 \cdot 89,041 = 534,251 \text{ kN}$$

**Návrhová únosnost šroubů ve stříhu:**

$$F_{b,Rd} = \min(F_{1,vb,Rd}; F_{2,vb,Rd}) = \min(1292,544; 534,251) = 534,251 \text{ kN}$$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{V_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{228,852}{534,251} \leq 1,0 \quad 0,43 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 12.1.2 Posouzení patky na tlak

Návrhová pevnost betonu v tlaku: C30/37

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

**Rozměry patního plechu:**

$$A \approx \frac{N_{Ed}}{f_{cd}} = \frac{965,723}{20 \cdot 10^3} = 0,0506 \text{ m}^2 \rightarrow A = a \cdot b \rightarrow a = 0,45 \text{ m}; b = 0,35 \text{ m}$$

**Zatížená plocha:**

$$A_{c0} = a \cdot b = 0,45 \cdot 0,35 = 0,1575 \text{ m}^2$$

**Maximální návrhová roznášecí plocha:**

$h_c = 1100 \text{ mm}$  ... výška železobetonové patky

$a_c = b_c = 1000 \text{ mm}$  ... šířka železobetonové patky

$$a_2 = \min(3a; a + h_c; a_c) = \min(3 \cdot 0,45; 0,45 + 1,1; 1,0) = \min(1,35; 1,55; 1,0) = 1,0 \text{ m}$$

$$b_2 = \min(3b; b + h_c; b_c) = \min(3 \cdot 0,35; 0,35 + 1,1; 1,0) = \min(1,05; 1,45; 1,0) = 1,0 \text{ m}$$

$$A_{c1} = a_2 \cdot b_2 = 1 \cdot 1 = 1,0 \text{ m}^2$$

**Tloušťka patního plechu:**  $t = 40 \text{ mm}$

Návrhová pevnost betonu v uložení:

$$f_{Rd,u} = f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{1,0}{0,1575}} = 50,40 \text{ MPa}$$

Součinitel vlivu podlití:  $\beta_j = \frac{2}{3}$

Návrhová pevnost betonu v soustředěném tlaku:

$$f_{jd} = \beta_j \cdot f_{Rd,u} = \frac{2}{3} \cdot 50,40 = 33,6 \text{ MPa}$$

Účinná plocha:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 40 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 33,6}} = 75,07 \text{ mm}$$

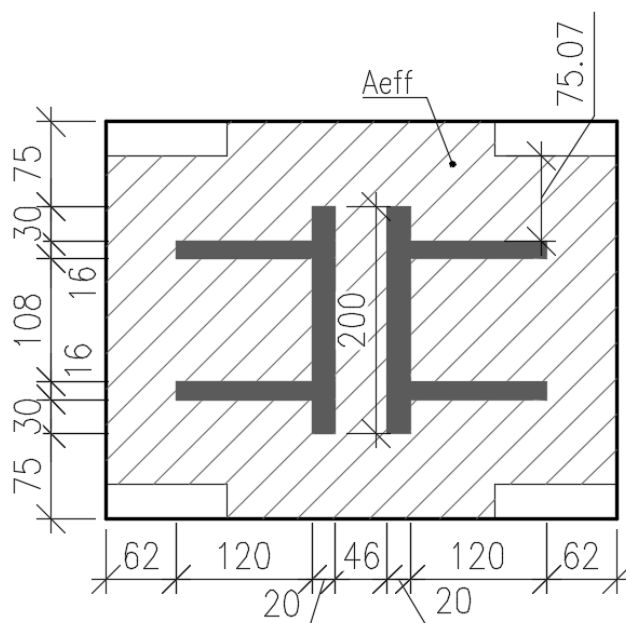
$$A_{eff} = 144\,698 \text{ mm}^2 = 0,144\,698 \text{ m}^2$$

Návrhová únosnost betonu v soustředěném tlaku:

$$N_{Rd} = \frac{f_{jd}}{A_{eff}} = \frac{33,6 \cdot 10^6}{0,144\,698} = 232\,207 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{966,118}{232\,207} \leq 1,0$$



$$0,004 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

## 12.2 Kotvení namáhané tahem

Dále je zpracováno posouzení na kombinaci KV13, která vyvodí tahovou sílu a odpovídající smykové síly ve směru x a y.

	Podporové síly [kN]			Podporové momenty [kNm]			
	P <sub>x'</sub>	P <sub>y'</sub>	P <sub>z'</sub>	M <sub>x'</sub>	M <sub>y'</sub>	M <sub>z'</sub>	
Max P <sub>x'</sub>	<b>0,045</b>	-68,794	-177,568	-7,073	0,000	-0,540	ZS 1,2,13,19,20,24
Min P <sub>x'</sub>	<b>-0,056</b>	209,502	879,643	5,389	0,000	0,055	ZS 1,2,10,18,21,23
Max P <sub>y'</sub>	-0,045	<b>229,097</b>	966,110	5,614	0,000	0,063	ZS 1,2,11,18,22,23
Min P <sub>y'</sub>	0,033	<b>-83,240</b>	-268,315	-6,239	0,000	-0,261	ZS 1,2,19,24
Max P <sub>z'</sub>	-0,043	228,852	<b>966,118</b>	5,716	0,000	0,167	ZS 1,2,11,18,22,24
Min P <sub>z'</sub>	0,031	-82,995	<b>-268,323</b>	-6,341	0,000	-0,365	ZS 1,2,19,23
Max M <sub>x'</sub>	-0,042	211,432	877,304	<b>5,950</b>	0,000	0,209	ZS 1,2,14,18,24
Min M <sub>x'</sub>	0,042	-59,608	-132,990	<b>-7,287</b>	0,000	-0,673	ZS 1,2,13,19,22,23
Max M <sub>z'</sub>	-0,041	172,834	727,966	4,754	0,000	<b>0,384</b>	ZS 1,2,12,18,20,24
Min M <sub>z'</sub>	0,034	-5,499	86,482	-5,331	0,000	<b>-0,705</b>	ZS 1,2,13,19,21,23

Návrhová smyková síla:

$$V_{Ed} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{0,031^2 + 82,955^2} = 85,955 \text{ kN}$$

### 12.2.1 Posouzení na přenos smykové síly

Přenos stříhem kotevních šroubů

Navrženo: 6×M30 pevnostní třídy 8.8

$$\alpha_v = 0,6$$

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

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

$$A_s = 561 \text{ mm}^2$$

$$F_{1,vb,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 6 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 561}{1,25} = 6 \cdot 215,424 = 1292,544 \text{ kN}$$

$$\alpha_{bc} = 0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb} = 0,44 - 0,0003 \cdot 640 = 0,248$$

$$F_{2,vb,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_{bc} \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 6 \cdot \frac{0,248 \cdot 800 \cdot 561}{1,25} = 6 \cdot 89,041 = 534,251 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost šroubů ve stříhu:

$$F_{b,Rd} = \min(F_{1,vb,Rd}; F_{2,vb,Rd}) = \min(1292,544; 534,251) = 534,251 \text{ kN}$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{V_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{85,995}{534,251} \leq 1,0 \quad 0,16 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 12.2.2 Posouzení patky na tah

Navrženo: 6xM30 HILTI HAS-U 8.8, délka  $h = 400$  mm, do lepící hmoty HIT-RE 500 V4.

### Design resistance

Anchor size		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Uncracked concrete									
Tension	HAS-U 5.8	12,2	19,3	28,1	45,8	72,7	99,8	121,9	145,5
	HAS-U 8.8	19,5	28,0	37,8	45,8	72,7	99,8	121,9	145,5
	HAS-U A4	13,7	21,7	31,6	45,8	72,7	99,8	80,2	98,1
	HAS-U HCR	19,5	28,0	37,8	45,8	72,7	99,8	121,9	145,5
	HIS-N 8.8	16,7	30,7	44,7	72,7	77,3	-	-	-
	HIT-Z <sup>a)</sup>	16,0	25,3	33,3	57,3	79,2	-	-	-
	HAS-D	-	-	32,8	45,8	72,7	-	-	-
Shear	HAS-U 5.8	8,8	13,9	20,2	37,7	58,8	84,7	110,2	134,6
	HAS-U 8.8	11,7	18,6	27,0	50,2	78,4	113,0	146,9	179,5
	HAS-U A4	8,2	13,0	18,9	35,2	55,0	79,2	48,2	58,9
	HAS-U HCR	11,7	18,6	27,0	50,2	78,4	70,6	91,8	112,2
	HIS-N 8.8	10,4	18,4	27,2	50,4	46,4	-	-	-
	HIT-Z <sup>a)</sup>	9,6	15,2	21,6	38,4	58,4	-	-	-
	HAS-D	-	-	27,2	50,4	119,2	-	-	-
Cracked concrete									
Tension	HAS-U 5.8	10,0	14,1	23,5	32,1	50,9	69,9	85,4	101,8
	HAS-U 8.8	10,0	14,1	23,5	32,1	50,9	69,9	85,4	101,8
	HAS-U A4	10,0	14,1	23,5	32,1	50,9	69,9	80,2	98,1
	HAS-U HCR	10,0	14,1	23,5	32,1	50,9	69,9	85,4	101,8
	HIS-N 8.8	16,5	26,5	32,1	50,9	67,4	-	-	-
	HIT-Z <sup>a)</sup>	13,4	19,6	26,5	40,1	55,4	-	-	-
	HAS-D	-	-	22,9	32,1	50,9	-	-	-
Shear	HAS-U 5.8	8,8	13,9	20,2	37,7	58,8	84,7	110,2	134,6
	HAS-U 8.8	11,7	18,6	27,0	50,2	78,4	113,0	146,9	179,5
	HAS-U A4	8,2	13,0	18,9	35,2	55,0	79,2	48,2	58,9
	HAS-U HCR	11,7	18,6	27,0	50,2	78,4	70,6	91,8	112,2
	HIS-N 8.8	10,4	18,4	27,2	50,4	46,4	-	-	-
	HIT-Z <sup>a)</sup>	9,6	15,2	21,6	38,4	58,4	-	-	-
	HAS-D	-	-	27,2	50,4	101,8	-	-	-

a) Hilti anchor rod HIT-Z-F: M16 and M20.

(převzato z:

[https://www.hilti.co.uk/medias/sys\\_master/documents/h24/hd9/9876480426014/Tech-HIT-HY-200-R-V3-2023-en-Technical-information-ASSET-DOC-11768542.pdf](https://www.hilti.co.uk/medias/sys_master/documents/h24/hd9/9876480426014/Tech-HIT-HY-200-R-V3-2023-en-Technical-information-ASSET-DOC-11768542.pdf))

Únosnost jedné kotvy HILTI:

$$N_{Rd,1} = 101,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,1} = 179,5 \text{ kN}$$

Únosnost navržených kotev:

$$N_{Rd} = N_{Rd,1} \cdot n = 101,8 \cdot 6 = 610,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = V_{Rd,1} \cdot n = 179,5 \cdot 6 = 1077 \text{ kN}$$

Podmínky spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{268,323}{610,800} \leq 1,0 \quad 0,44 > 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{85,955}{1077,00} \leq 1,0 \quad 0,08 > 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 13 Dynamické vlastnosti konstrukce

Byla provedena modální analýza v programu Dlubal RFEM za pomoci přídatného modulu RF-DYNAM Pro. Vlastní frekvence konstrukce pro prvních 10 vlastních tvarů kmitu se nachází v rozmezí cca  $f = 2,6 - 8,5$  Hz.

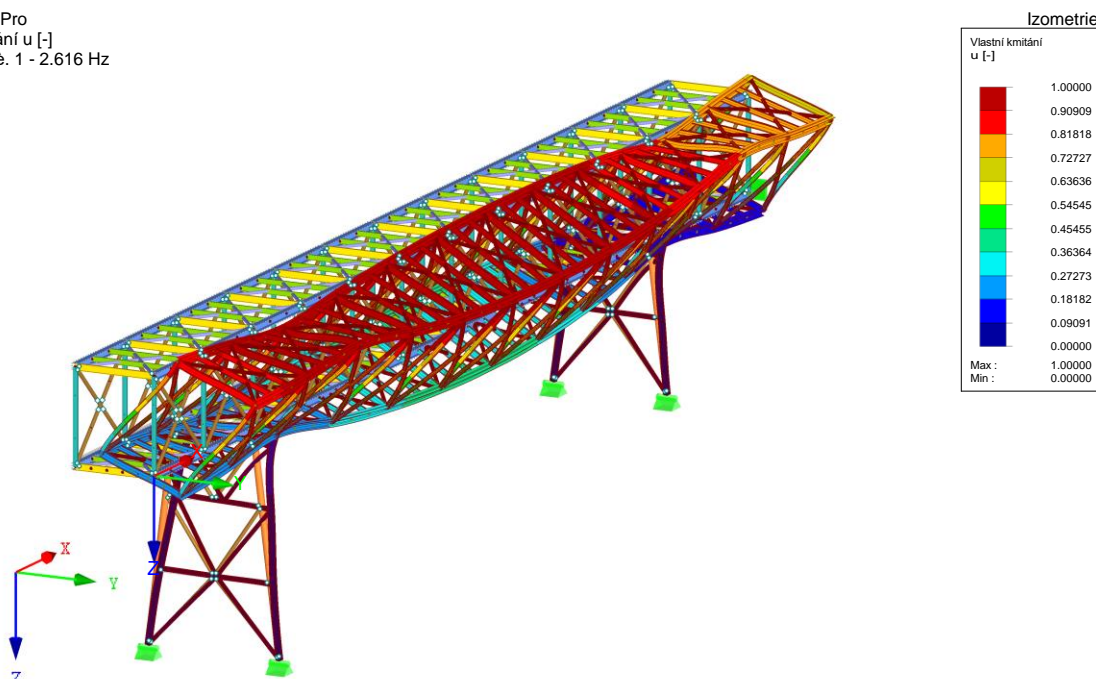
Tvar č.	Vlastní číslo $\lambda$ [1/s <sup>2</sup> ]	Úhlová frekvence $\omega$ [rad/s]	Vlastní frekvence $f$ [Hz]	Vlastní perioda $T$ [s]
1	270,146	16,436	2,616	0,382
2	529,397	23,009	3,662	0,273
3	687,604	26,222	4,173	0,240
4	1162,117	34,090	5,426	0,184
5	1298,157	36,030	5,734	0,174
6	1780,978	42,202	6,717	0,149
7	1886,023	43,428	6,912	0,145
8	2140,984	46,271	7,364	0,136
9	2378,211	48,767	7,761	0,129
10	2873,244	53,603	8,531	0,117

Dle normy ČSN EN 1991-2 vyvolávají pohybující se chodci periodické zatížení o frekvenci 1–3 Hz ve svislém směru, ve vodorovném směru mezi 0,5–1,5 Hz. Některé vlastní frekvence lávky se nachází v rozmezí těchto hodnot, proto je potřeba provést podrobnou dynamickou analýzu konstrukce. Tato analýza není součástí diplomové práce.

#### Grafické znázornění výsledků modální analýzy konstrukce:

##### Vlastní tvar č.1: $f = 2,616$ Hz

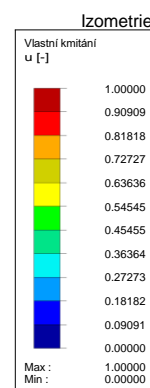
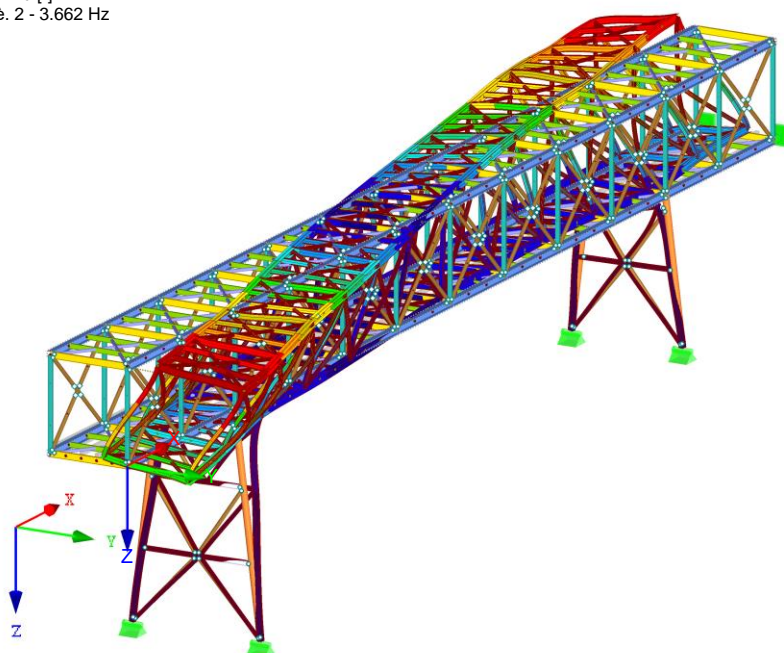
RF-DYNAM Pro  
Vlastní kmitání u [-]  
Vlastní tvar č. 1 - 2.616 Hz



Souèinitel pro deformace: 4.40  
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -

### Vlastní tvar č.2: $f = 3,662 \text{ Hz}$

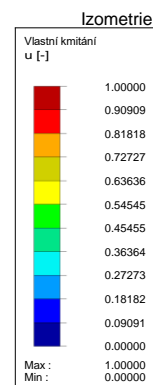
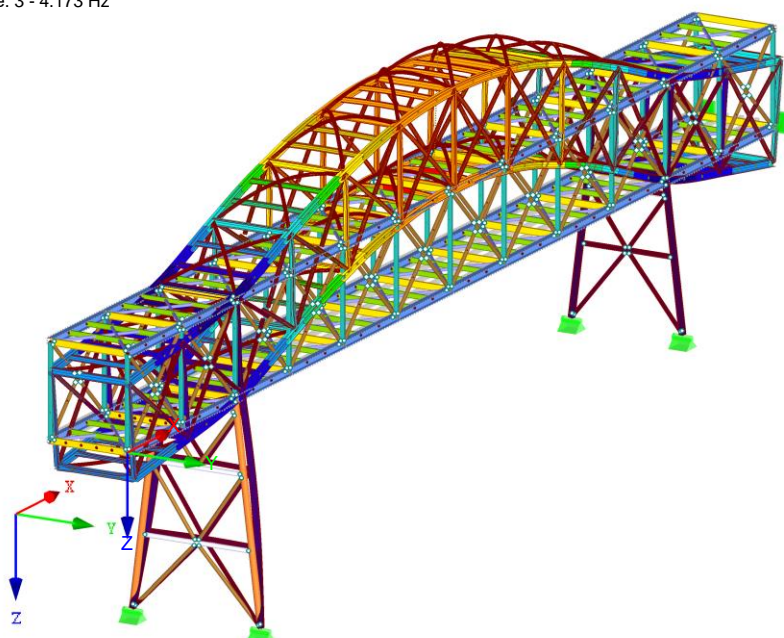
RF-DYNAM Pro  
Vlastní kmitání u [-]  
Vlastní tvar č. 2 - 3.662 Hz



Souèinitel pro deformace: 4.40  
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -

### Vlastní tvar č.3: $f = 4,173 \text{ Hz}$

RF-DYNAM Pro  
Vlastní kmitání u [-]  
Vlastní tvar č. 3 - 4.173 Hz

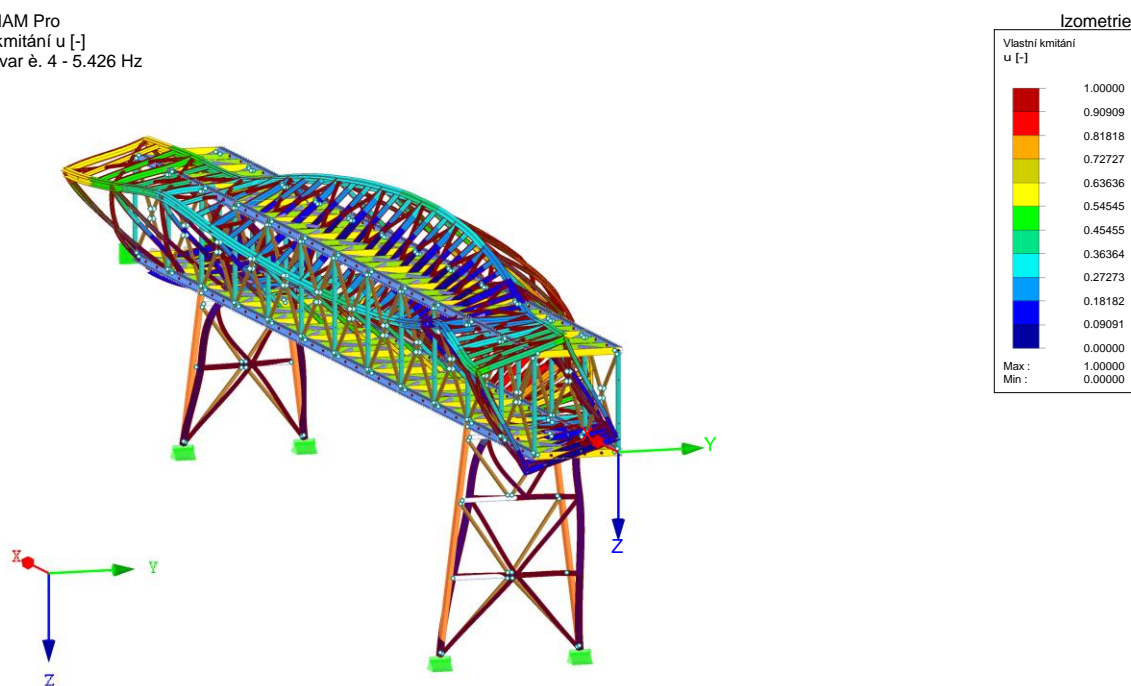


Souèinitel pro deformace: 4.40  
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -



**Vlastní tvar č.4:**  $f = 5,426 \text{ Hz}$ 

RF-DYNAM Pro  
Vlastní kmitání u [-]  
Vlastní tvar č. 4 - 5.426 Hz



Souèinitel pro deformace: 4.40  
Max u: 1.00000, Min u: 0.00000 -

## 14 Závěr

Byl proveden statický návrh a posouzení jednotlivých prvků ocelové lávky. Byl také proveden statický návrh vybraných detailů, což zahrnuje i návrh kotvení. Byla provedena také modální analýza konstrukce pro zjištění hodnot vlastního kmitání. Závěrem statického výpočtu lze konstatovat, že všechny ocelové, dřevěné i skleněné prvky splňují požadavky platných norem z hlediska mezního stavu únosnosti i mezního stavu použitelnosti.