

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2017**

**Bc. Karol Řezníček**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**

**Skladová hala s jeřábem**

**Storage hall with crane**

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Doc Ing. Martina Eliášová, CSc.

**Bc. Karol Řezníček**

---

**Praha 2017**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>REZNÍČEK</u>	Jméno: <u>Karol</u>	Osobní číslo: <u>380238</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Skladová hala s jeřábem</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Storage hall with crane</u>	
Pokyny pro vypracování: Návrh a posouzení ocelové konstrukce skladové haly s jeřábem s administrativní přístavbou. Statický výpočet všech nosných prvků ocelové konstrukce včetně nosníku jeřábové dráhy a prvků zajišťujících prostorovou tuhost objektu, řešení všech významných detailů, kotvení, výkresová dokumentace v obvyklém rozsahu (dispoziční výkresy 1:100, 1:200) a výkresy řešených detailů 1:10, technická zpráva.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Doc. Ing. Martina Eliášová, CSc.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>3.10.2016</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>8.1.2017</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ob. roku</small>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Berit na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

<u>3. 10. 2016</u> Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)
---	------------------------------

**Abstrakt**

Diplomová práce obsahuje návrh nosné konstrukce skladové jednolodní ocelové haly o rozpětí 24m, délce 60m a výšce skladebné konzoly 8m. V hale je jeden mostový jeřáb o nosnosti 10t. Hlavními konstrukčními materiály jsou ocele S 235, S355, S460.

**Klíčové slová**

ocelová hala, vazník, vaznice, příčná vazba, sloup, patka, jeřábová dráha

**Abstract**

The diploma thesis contains design of steel one-aisle industrial hall with span 24m, length 60m and height of the holder of a crane track girder 8m. In hal is overhead crane with capacity 10 tons. Main tructural materials are are steels S235, S355, S460.

**Keywords**

steel hall, truss, purlin, tranverse link, column, flap, craneway

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s listinnou formou.

V Praze dne 8.1.2017

-----

Podpis autora

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité zdroje informací.

V Praze dne 8.1.2017

-----

Podpis autora

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Martině Eliášové, CSc. za vedení, cenné rady a čas věnovaný konzultacím při zpracování diplomové práce.



## Obsah

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE .....	1
DIPLOMOVÁ PRÁCE.....	1
<b>1. CHARAKTERISTIKA OBJEKTU.....</b>	<b>9</b>
1.1 POPIS OBJEKTU .....	9
1.1.1 Výrobní hala.....	9
1.1.2 Administrativní objekt .....	9
1.2 PŮDORYSNÉ SCHÉMA OBJEKTU .....	10
1.3 SCHÉMA PŘÍČNÉ VAZBY .....	11
1.4 SCHÉMA ŠTÍTOVÉ VAZBY .....	11
1.5 SKLADBY KONSTRUKCÍ .....	12
1.5.1 1.NP – administrativní přístavba .....	12
1.5.2 Střecha – administrativní přístavba.....	12
1.5.3 Střecha – skladba střechy skladové haly .....	12
1.5.4 Obvodový plášť výrobní haly.....	12
<b>2 ZATÍŽENÍ.....</b>	<b>13</b>
2.1 ZATÍŽENÍ STALÉ.....	13
2.1.1 Zatížení – strop nad 1.NP.....	13
2.1.2 Zatížení – střecha administrativní přístavby.....	13
2.1.3 Zatížení – střecha výrobní haly.....	14
2.1.4 Zatížení – Obvodový plášť.....	14
2.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ .....	14
2.2.1 Užité zatížení.....	14
2.2.2 Přemístitelné příčky .....	15
2.2.3 Výpočet zatížení sněhem dle ČSN EN 1991-1-3.....	15
2.2.4 Vítr.....	17
<b>3 NÁVRH NOSNÍKU JEŘÁBOVÉ DRÁHY .....</b>	<b>23</b>
3.1 POŽADAVKY NA JEŘÁBOVOU DRÁHU .....	23
3.2 VSTUPNÍ PARAMETRY PRO NÁVRH JEŘÁBOVÉ DRÁHY .....	23
3.3 VÝPOČET ZATÍŽENÍ DLE ČSN EN 1991-3 .....	24
3.3.1 Svislé zatížení.....	24
3.3.2 Vodorovné zatížení.....	26
3.4 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL .....	32
3.4.1 Vnitřní síly od svislého zatížení.....	32
3.4.2 Vnitřní síly od vodorovného zatížení.....	34
3.5 NÁVRH NOSNÍKU DRÁHY .....	38
3.5.1 Posouzení MSŮ – prostá únosnost.....	39
3.5.2 Posouzení stojiny při interakci napětí pod kolovým zatížením.....	41
3.5.3 Posouzení interakce klopení a kroucení .....	45
3.6 BOULENÍ STĚN NOSNÍKU.....	51
3.6.1 Rozmístění příčných výztuh .....	51
3.6.2 Únosnost při boulení ve smyku .....	51
3.6.3 Posouzení boulení stojiny nosníku při lokálním zatížení .....	51
3.6.4 Interakce lokálního boulení ohybového momentu.....	52
3.7 POSOUZENÍ MSP .....	53
3.8 POSOUZENÍ NA ÚNAVU - MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI FAT .....	54
3.8.1 Výpočet únavového zatížení (dle ČSN EN 1991-3) .....	54
3.9 NÁVRH NOSNÉ KONSTRUKCE ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY .....	57
3.9.1 Stropní konstrukce 1.NP.....	57
3.9.2 Střešní konstrukce.....	70
3.9.3 Posouzení sloupů .....	81
3.9.4 Návrh a posouzení patky .....	84



3.9.5	Podélné ztužidlo.....	85
<b>4</b>	<b>NÁVRH NOSNÉ KONSTRUKCE HALY.....</b>	<b>86</b>
4.1	NÁVRH PŘÍČNÉ VAZBY .....	86
4.1.1	Schéma vnitřní vazby.....	86
4.1.2	Schéma štitové vazby.....	86
4.2	VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL .....	87
4.2.1	Popis výpočetního modelu.....	87
4.2.2	Zatěžovací stavy.....	87
4.2.3	Návrh vaznice .....	88
4.2.4	Návrh příhradového vazníku .....	90





# **1. CHARAKTERISITKA OBJEKTU**

## **1.1 Popis objektu**

Předmětem statického výpočtu je návrh skladové haly s administrativní přístavbou. Součástí výrobní haly je i mostový jeřáb o požadované nosnosti 10t. Návrh konstrukce jeřábové dráhy je rovněž předmětem statického výpočtu. Schéma objektu viz *Obr. 1* a *Obr. 2*.

### **1.1.1 Výrobní hala**

Jedná se o jednodílnou halu o rozpětí 24m a délkou 60m. Příčnou vazbu představuje příhradový vazník kloubově uložený na vetknuté plnostěnné sloupy. Příčné vazby jsou od sebe vzdáleny 6m. Střecha haly je sedlová se sklonem 3°. Obvodový i střešní plášť je navržen ze sendvičových panelů s tepelnou izolací.

### **1.1.2 Administrativní objekt**

Administrativní přístavba je nepodsklepená a má dvě nadzemní podlaží. Konstrukční výška podlaží je 3,5m.

#### **Stropní konstrukce**

Strop je tvořen betonovou monolitickou deskou, betonovanou do ztraceného bednění z trapézového plechu. Deska je podepřena stropnicemi, které jsou osově vzdálené 2m. Všechny nosníky stropní konstrukce tedy i průvlaky jsou ke sloupům připojeny kloubově. Stropní nosníky jsou pomocí ocelových trnů spřaženy s betonovou deskou – působí jako spřažené ocelobetonové nosníky.

#### **Obvodový plášť**

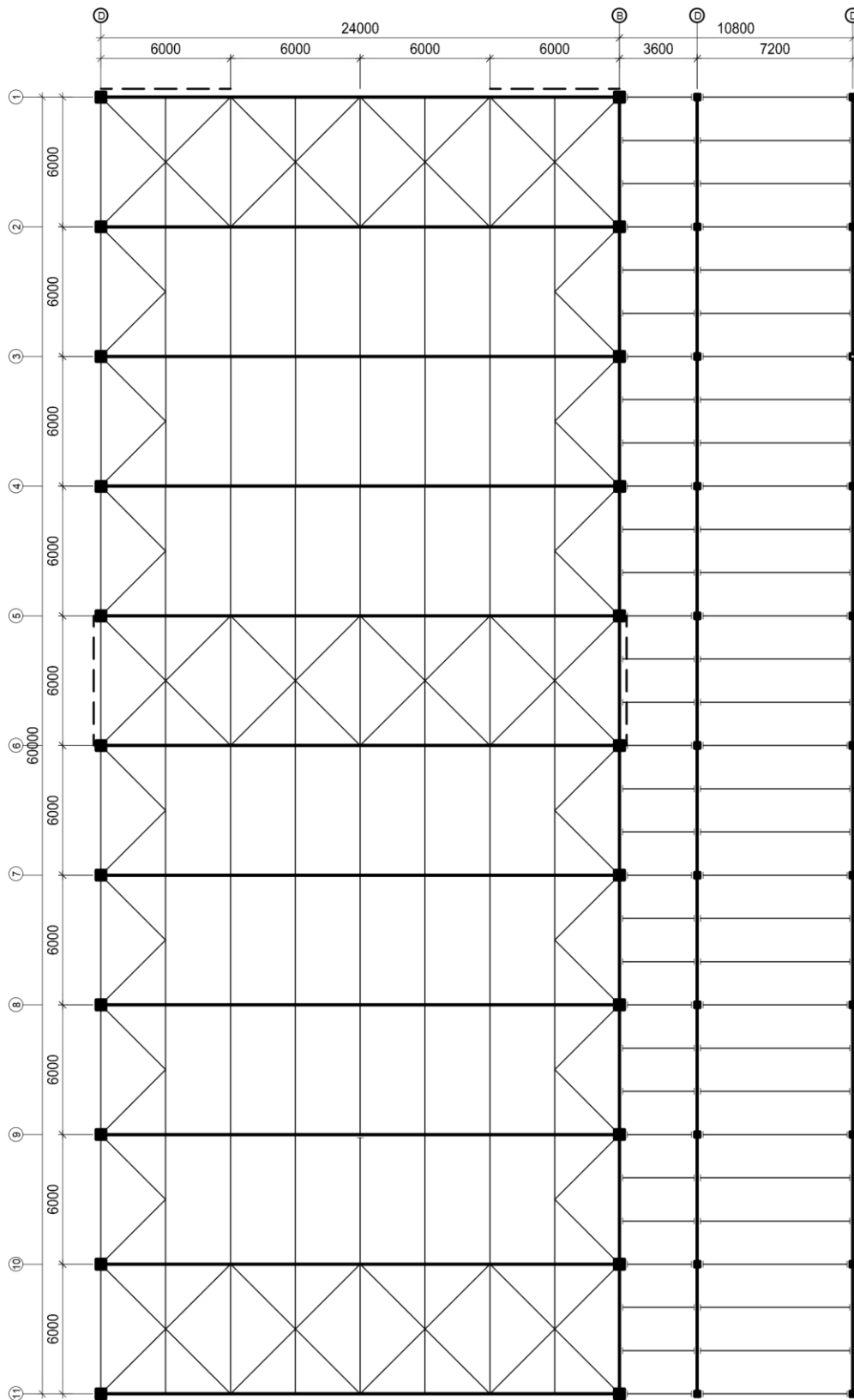
Obvodový plášť je navržen se sendvičových stěnových panelů.

#### **Střešní konstrukce**

Střešní konstrukce tvoří opět monolitická železobetonová deska, uložena do ztraceného bednění ve formě trapézového plechu, spřažená s ocelovými nosníky.



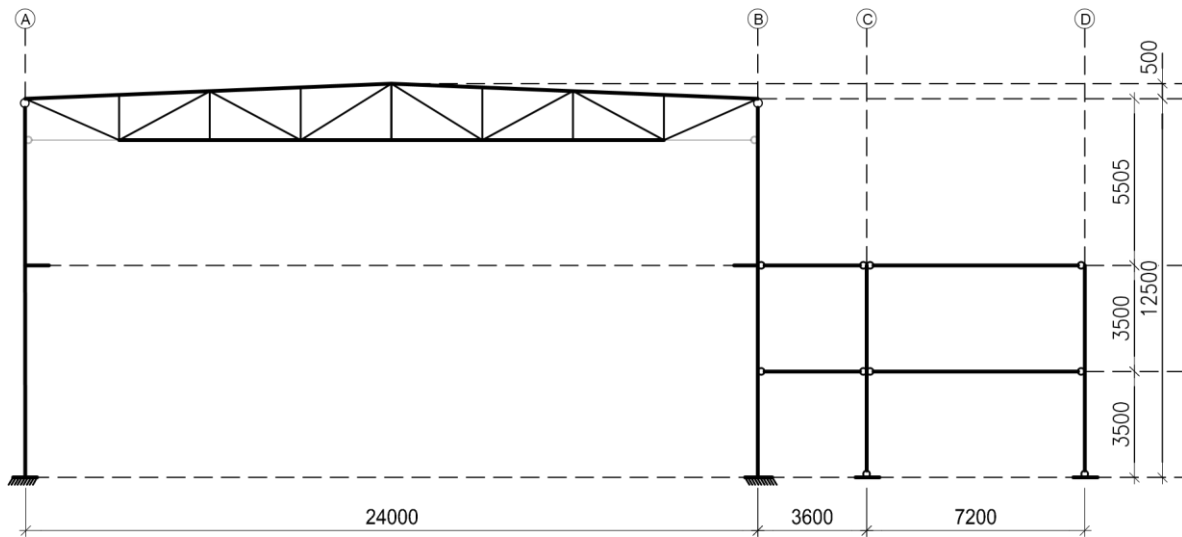
## 1.2 Půdorysné schéma objektu



Obr. 1 - Půdorysné schéma objektu

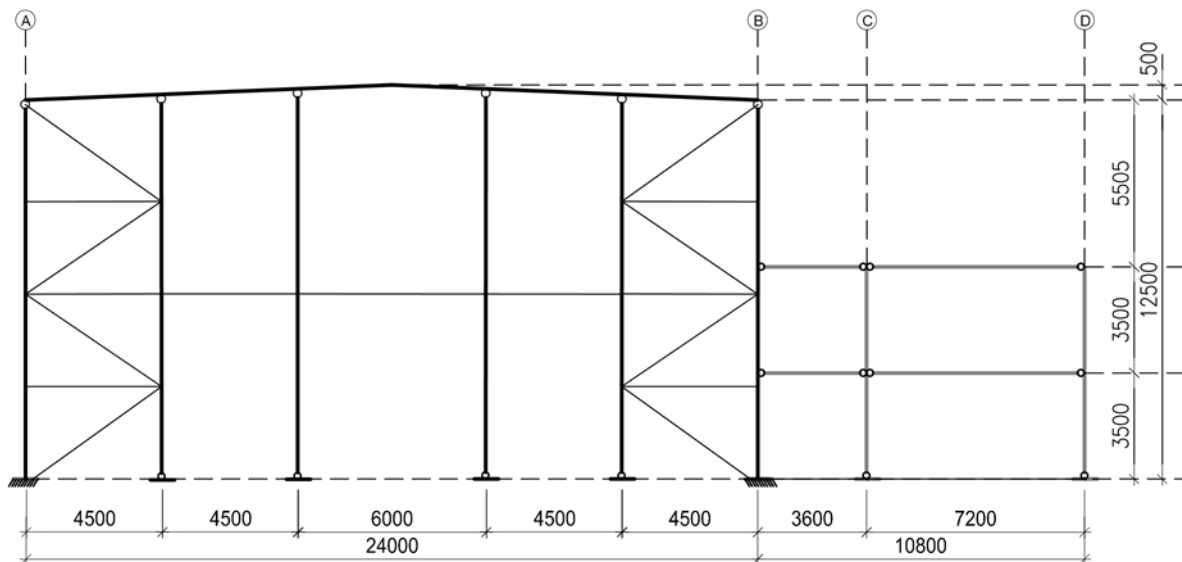


### 1.3 Schéma příčné vazby



Obr. 2 - Schéma příčné vazby

### 1.4 Schéma štítové vazby



Obr. 3 - Schéma štítové vazby



## 1.5 Skladby konstrukcí

### 1.5.1 1.NP – administrativní přístavba

Skladba konstrukce stropu:

- Keramická dlažba
- Lepící tmel – flexibilní
- Vyrovnávací stěrka na bázi cementu
- Betonová mazanina se sítí
- PE folie
- Tepelná izolace EPS
- Separáční vrstva
- Železobetonová deska
- Trapézový plech

### 1.5.2 Střecha – administrativní přístavba

Skladba konstrukce stropu:

- Živičný pás - modifikovaný
- Geotextílie
- Tepelná izolace EPS
- Spádový perlitbeton
- Živičný pás – modifikovaný
- ŽB deska
- Trapézový plech

### 1.5.3 Střecha – skladba střechy skladové haly

Pro střešní plášť výrobní haly se použijí sendvičové panely:

- KINGSPAN KS 1000FF
  - Celková tloušťka panelu  $D = 234 \text{ mm}$
  - Tloušťka jádra  $d = 200 \text{ mm}$
  - Plošná hmotnost  $g = 35,79 \text{ kg/m}^2$

### 1.5.4 Obvodový plášť výrobní haly

Pro střešní plášť výrobní haly se použijí sendvičové panely:

- KINGSPAN KS 1150NF
  - 1) Celková tloušťka panelu  $D = 234 \text{ mm}$
  - 2) Tloušťka jádra  $d = 200 \text{ mm}$
  - 3) Plošná hmotnost  $g = 16,49 \text{ kg/m}^2$



## 2 ZATÍŽENÍ

### 2.1 Zatížení stálé

#### 2.1.1 Zatížení – strop nad 1.NP

Skladba stropní konstrukce	TI. mm	Obj.tíha kN/m <sup>3</sup>	g <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>	γ <sub>g</sub> -	g <sub>d</sub> kN/m <sup>2</sup>
Keramická dlažba	8	22	0,176	1,35	0,238
Lepící tmel flexibilní	10	23	0,230	1,35	0,311
Vyrov.stěrka na bázi cementu	10	23	0,230	1,35	0,311
Betonová mazanina se sítí	50	25	1,250	1,35	1,688
PE folie	-	-	0,001	1,35	0,001
Tep.izolace EPS	80	1	0,080	1,35	0,108
Separace A300H	-	-	0,003	1,35	0,004
Žb deska*	87	25	2,175	1,35	2,936
Trapézový plech	-	-	0,100	1,35	0,135
<b>Celkem</b>			<b>4,245</b>		<b>5,731</b>

Tab. 1 – Stálé zatížení stropu 1. NP

#### 2.1.2 Zatížení – střecha administrativní přístavby

Skladba střechy	TI. mm	Obj.tíha kN/m <sup>3</sup>	g <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>	γ <sub>g</sub> -	g <sub>d</sub> kN/m <sup>2</sup>
Živičný pás modifikovaný	-	-	0,150	1,35	0,203
Geotextilie 300 g/m <sup>2</sup>	-	-	0,003	1,35	0,004
Tep.izolace polystyren	200	1	0,200	1,35	0,270
Spádový perlitbeton max.600kg/m <sup>3</sup>	120	6	0,720	1,35	0,972
Geotextilie 300 g/m <sup>2</sup>	-	-	0,003	1,35	0,004
Živičný pás modifikovaný	-	-	0,150	1,35	0,203
ŽB deska*	87	25	2,175	1,35	2,936
Trapézový plech	-	-	0,100	1,35	0,135
<b>Celkem</b>			<b>3,501</b>		<b>4,726</b>

Tab. 2 – Stálé zatížení stropu 2. NP



## 2.1.3 Zatížení – střecha výrobní haly

### Plošná hmotnost panelu

$$\rightarrow g = 35,79 \text{ kg/m}^2$$

### Charakteristická plošná tíha panelu

$$\rightarrow g_k = 0,3579 = 0,36 \text{ kN/m}^2$$

Skladba střechy	Tl. mm	Obj.tíha kN/m <sup>3</sup>	g <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>	g <sub>d</sub> -	g <sub>d</sub> kN/m <sup>2</sup>
KINGSPAN KS 1000FF	200	-	0,360	1,35	0,486
<b>Celkem</b>			<b>0,360</b>		<b>0,486</b>

Tab. 3 – Plošné zatížení od střešního panelu

## 2.1.4 Zatížení – Obvodový plášť

### Plošná hmotnost panelu

$$\rightarrow g = 16,49 \text{ kg/m}^2$$

### Charakteristická plošná tíha panelu

$$\rightarrow g_k = 0,1649 = 0,17 \text{ kN/m}^2$$

Skladba	Tl. mm	Obj.tíha kN/m <sup>3</sup>	g <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>	g <sub>d</sub> -	g <sub>d</sub> kN/m <sup>2</sup>
-					
KINGSPAN KS 1150NF	200	-	0,170	1,35	0,230
			<b>0,170</b>		<b>0,230</b>

Tab. 4 – Plošné zatížení od stěnového panelu

## 2.2 Proměnné zatížení

### 2.2.1 Užité zatížení

#### Strop 1.NP → Kategorie B - kancelářské plochy

$$\rightarrow q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2 \quad \gamma_Q = 1,5 [-]$$

$$\rightarrow q_d = 3,75 \text{ kN/m}^2$$



## 2.2.2 Přemístitelné příčky

Pro oddělení jednotlivých místnosti v administrativní budově budou použity sádkartonové dvouplášťové příčky. Sádkartonové příčky jsou vždy nad nosníkem stropní konstrukce.

### Plošná hmotnost SDK desky

$$\rightarrow 9,2 \text{ kg/m}^2$$

### Plošná hmotnost SDK příčky

$$\rightarrow 36,8 \text{ kg/m}^2$$

### Plošná tíha

$$\rightarrow g_k = 0,368 \text{ kN/m}^2$$

### Líniové zatížení od příček

$$\rightarrow g'_k = g_k \cdot h$$

$$\rightarrow g'_k = 1,288 \text{ kN/m}$$

### Výška příčky

$$\rightarrow h = 3,5 \text{ m}$$

**Pozn.:** Plošná hmotnost příčky byla stanovená s ohledem na skladbu dvouplášťové SDK příčky (2 desky na každé straně)

Přemístitelné příčky	TI. mm	$g'_k$ kN/m	$\gamma_Q$ -	$g_d$ kN/m <sup>2</sup>
-	-	-	-	-
SDK příčky	-	1,288	1,5	1,932
<b>Ostatní stále zatížení celkem</b>		<b>1,288</b>		<b>1,932</b>

Tab. 5 – Zatížení příčkami

## 2.2.3 Výpočet zatížení sněhem dle ČSN EN 1991-1-3

### Plošné zatížení sněhem

Místo stavby : **Praha**

Sněhová oblast : **I**  $\rightarrow s_k = 0,70 \text{ kN/m}^2$

Typ krajiny: **Normální**  $\rightarrow c_e = 1,00$

Tepel. propustnost střechy **< 1 W/m<sup>2</sup>K**  $\rightarrow c_t = 1,00 \text{ kN/m}^2$

### Tvarové součinitele:

$$\mu_1 = 0,80$$

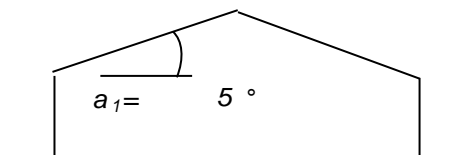
$$\mu_1 = 0,80$$

### Zatížení sněhem:

$$s_k = s_k \cdot C_t \cdot C_e \cdot \mu_1$$

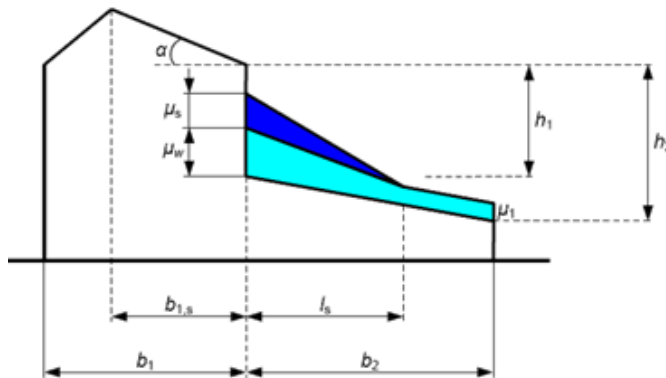
$$s_k = 0,56 \text{ kN/m}^2 \quad \gamma_Q = 1,5$$

$$s_d = 0,84 \text{ kN/m}^2$$





## Zatížení sněhem na střeše sousedící a přiléhající k vyšší stavbě



$$\begin{aligned}h_1 &= 5,50 \text{ m} \\h_2 &= 5,50 \text{ m} \\b_1 &= 24,00 \text{ m} \\b_2 &= 10,80 \text{ m} \\b_{1,s} &= 7,00 \text{ m} \\ \alpha &= 5,00^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}l_s &= 2 h_1 = 11 \\ \text{Doporučená hodnota dle ČSN EN 1991-1-3} \\ l_s &= 5 - 15 \text{ m} \\ l_s &= \mathbf{5 \text{ m}}\end{aligned}$$

### Tvarový součinitel pro nenavátý sníh

$$\mu_1 = 0,80 \quad \rightarrow \quad s_{k,1} = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

### Navátí sněhu

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} = \frac{24 + 10,8}{2 \cdot 5,5} = 3,16$$

### Sesuv sněhu z horní střechy

$$\mu_s = 0,8 \cdot 7 / 11 = 0,51$$

Pozn.: Pro sklon horní střechy  $\alpha < 15^\circ \rightarrow \mu_s = 0$

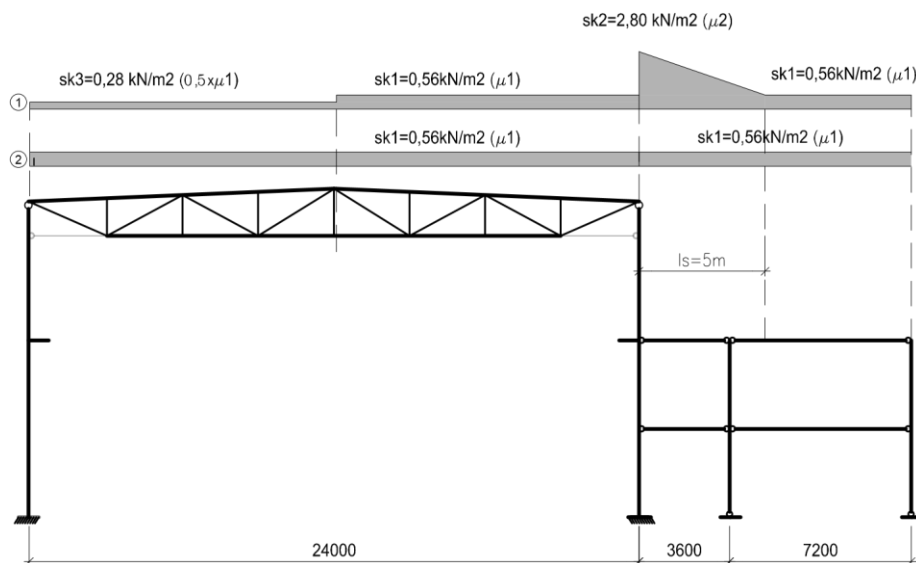
### Tvarový součinitel navátého sněhu

$$\mu_2 = \mu_w + \mu_s$$

$$\mu_2 = 4 + 0 = 4,00 \quad \rightarrow \quad s_{k,2} = 0,7 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 = 2,8 \text{ kN/m}^2$$

### Schéma zatížení sněhem:

- 1) - zatížení navátým sněhem
- 2) - zatížení nenavátým sněhem



Obr. 4 – Zatížení sněhem





## 2.2.4 Vítr

Místo stavby : **Praha**  
Větrná oblast: **II** →  $v_{b,0} = 25,00 \text{ m/s}$   
Kategorie terénu: **III** - oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek

### Základní rychlost větru

Součinitel terénu: →  $k_r = 0,19 \cdot \left[ \frac{0,3}{0,05} \right]^{0,07} = 0,215$   
Součinitel směru větru: →  $c_{dir} = 1,00$   
Součinitel ročního období: →  $c_{season} = 1,00$   
Základní rychlost větru: →  $v_b = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25,00 \text{ m/s}$

### Střední rychlost větru

Součinitel orografie: →  $c_0(z) = 1,0$   
Parametry drsnosti terénu: →  $Z_0 = 0,3 \text{ m}$   
Min. výška: →  $Z_{min} = 5 \text{ m}$   
Maximální výška: →  $Z_e = 12,5 \text{ m}$   
Součinitel drsnosti terénu: →  $c_r(z) = 0,215 \cdot \ln \left[ \frac{12,5}{0,3} \right] = 0,803$   
Základní rychlost větru: →  $v_b = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$   
Střední rychlost větru: →  $v_m(z) = 0,8 \cdot 1 \cdot 25 = 20,08 \text{ m/s}$

### Intenzita turbulence

Součinitel turbulence: →  $k_l = 1,00$   
Směrodatná odchylka turb. větru: →  $s_v = 1 \cdot 0,215 \cdot 25 = 5,385$   
Intenzita turbulence: →  $I_v(z) = 5,38 / 19,4 = 0,278$

### Maximální dynamický tlak větru

Vzhledem k tomu, že budova se skládá ze dvou objektů s různou výškou bude maximální dynamický tlak větru stanoven pro každý objekt.

#### 1) Maximální dynamický tlak pro halu

Měrná hmotnost vzduchu: →  $r = 1,25 \text{ kg/m}^3$   
Základní dyn.tlak větru: →  $q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,6 \text{ N/m}^2$   
Maximální dyn.tlak větru: →  $q_p(z) = (1+7 \cdot 0,268) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20,08^2 = 725,2 \text{ N/m}^2$   
Součinitel expozice: →  $c_e(z) = 725,22 / 390,63 = 1,857$

#### 2) Maximální dynamický tlak pro administrativní budovu

Měrná hmotnost vzduchu: →  $r = 1,25 \text{ kg/m}^3$   
Základní dyn.tlak větru: →  $q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,6 \text{ N/m}^2$   
Maximální dyn.tlak větru: →  $q_p(z) = (1+7 \cdot 0,317) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 16,96^2 = 579,4 \text{ N/m}^2$   
Součinitel expozice: →  $c_e(z) = 579,38 / 390,63 = 1,483$

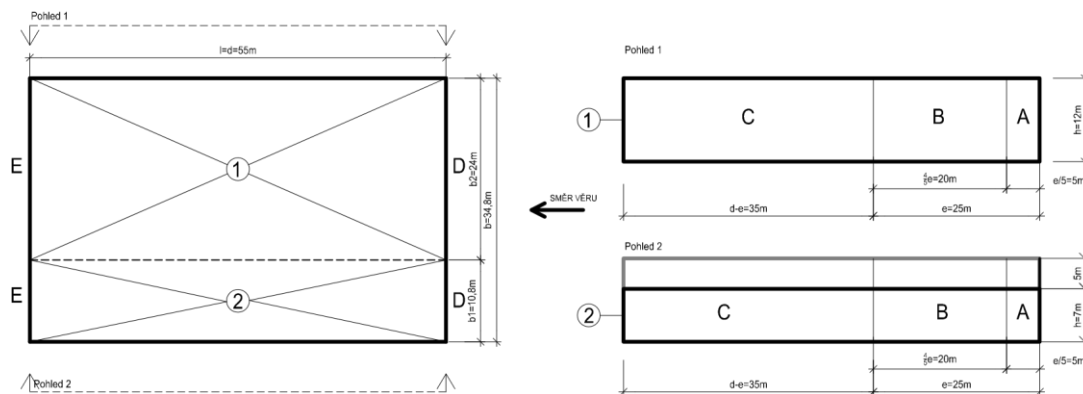


## Podélný vítr

### 1) Zatížení na stěny

Výška atiky  $\rightarrow h_p = 0,0 \text{ m}$   
 Referenční výška  $\rightarrow z_e = 12,5 \text{ m} = h$   
 Šířka budovy (ve směru větru):  $\rightarrow d = 60,0 \text{ m}$   
 Délka budovy (kolmo na vítr):  $\rightarrow b = 34,8 \text{ m}$

$$\rightarrow e = \min(b, 2h) = 25 \text{ m}$$



Obr. 5 – Schéma zatížení stěn od příčného větru

### Maximální dynamický tlak

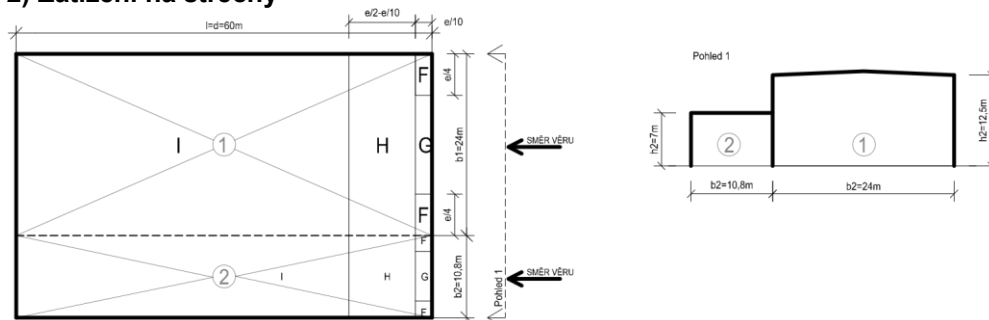
$$\rightarrow q_p(z) = 725,2 \text{ N/m}^2$$

$$\rightarrow e = \min(b, 2h) = 25 \text{ m}$$

Oblast	Šířka [m]	Výška [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	h/d [-]	C <sub>pe,10</sub> [-]	q <sub>p</sub> (z) [N/m <sup>2</sup> ]	W <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	γ <sub>Q</sub> [-]	W <sub>e,d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
A	e/5 = 5	h = 12,5	62,5	0,521	-1,2	725,2	-0,87	1,5	-1,31
B	4e/5 = 20	h = 12,5	250	0,521	-0,8	725,2	-0,58	1,5	-0,87
C	d-e = 35	h = 12,5	-12,5	0,521	-0,5	725,2	-0,36	1,5	-0,54
D	b = 34,8	h = 12,5	435	0,521	0,7	725,2	0,51	1,5	0,76
E	b = 34,8	h = 12,5	435	0,521	-0,3	725,2	-0,22	1,5	-0,33

Tab. 6 – Zatížení stěn objektu od podélného větru

### 2) Zatížení na střechy



Obr. 6 – Schéma zatížení střechy od podélného větru

**Střecha 1**

Maximální dynamický tlak

$$\rightarrow q_p(z) = 725,2 \text{ N/m}^2$$

$$\rightarrow e = \min(b, 2h) = 25 \text{ m}$$

Oblast	Šířka [m]	Délka [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	h/d [-]	C <sub>pe,10</sub> [-]	q <sub>p</sub> (z) [N/m <sup>2</sup> ]	W <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	γ <sub>Q</sub> [-]	W <sub>e,d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
F	e/4 = 6,3	e/10 = 1,4	62,5	0,521	-1,6	725,2	-1,16	1,5	-1,74
G	b-e/2 = 11,5	e/10 = 1,4	250	0,521	-1,3	725,2	-0,94	1,5	-1,41
H	b = 24,0	e/2 = 7,0	168	0,521	-0,7	725,2	-0,51	1,5	-0,76
I	b = 24,0	d-3e/5 = 15,6	435	0,521	-0,6	725,2	-0,44	1,5	-0,65

Tab. 7 – Zatížení střechy haly od podélného větru

**Střecha 2**

Maximální dynamický tlak

$$\rightarrow q_p(z) = 579,4 \text{ N/m}^2$$

$$\rightarrow e = \min(b, 2h) = 14 \text{ m}$$

Oblast	Šířka [m]	Délka [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	h/d [-]	C <sub>pe,10</sub> [-]	q <sub>p</sub> (z) [N/m <sup>2</sup> ]	W <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	γ <sub>Q</sub> [-]	W <sub>e,d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
F	e/4 = 6,3	e/10 = 1,4	35	0,292	-1,6	579,4	-0,93	1,5	-1,39
G	b-e/2 = 11,5	e/10 = 1,4	140	0,292	-1,3	579,4	-0,75	1,5	-1,13
H	b = 24,0	e/2 = 7,0	168	0,292	-0,7	579,4	-0,41	1,5	-0,61
I	b = 24,0	d-3e/5 = 15,6	243,6	0,292	-0,6	579,4	-0,35	1,5	-0,52

Tab. 8- Zatížení střechy administrativní budovy od podélného větru

**Příčný vítr – vpravo****1) Zatížení na stěny**

Výška atiky  $\rightarrow h_p = 0,0 \text{ m}$

Referenční výška  $\rightarrow z_e = 12,5 \text{ m}$

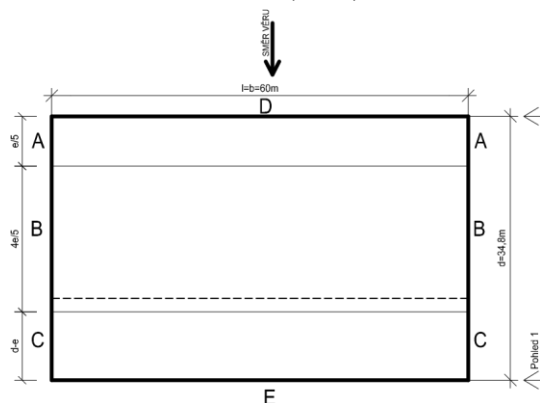
Šířka budovy (ve směru větru):  $\rightarrow d = 24,0 \text{ m}$

Délka budovy (kolmo na vítr):  $\rightarrow b = 60,0 \text{ m}$

**Maximální dynamický tlak**

$$\rightarrow q_p(z) = 725,2 \text{ N/m}^2$$

$$\rightarrow e = \min(b, 2h) = 25 \text{ m}$$



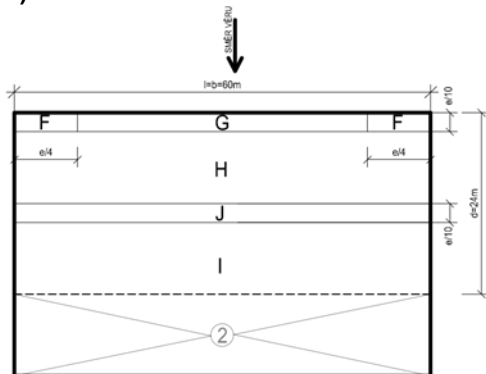
Obr. 7 – Působení příčného větru na stěny



Oblast	Šířka [m]	Výška [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	h/d [-]	C <sub>pe,10</sub> [-]	q <sub>p</sub> (z) [N/m <sup>2</sup> ]	W <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>Q</sub> [-]	W <sub>e,d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
A	e/5 = 5,0	h = 12,5	62,5	0,359	-1,2	725,2	-0,87	1,5	-1,31
B	4e/5 = 20,0	h = 12,5	250	0,359	-0,8	725,2	-0,58	1,5	-0,87
C	d-e = 9,8	h = 12,5	122,5	0,359	-0,5	725,2	-0,36	1,5	-0,54
D	b = 60,0	h = 12,5	750	0,359	0,72	725,2	0,51	1,5	0,76
E	b = 60,0	h = 12,5	750	0,359	-0,3	725,2	-0,22	1,5	-0,33

Tab. 9 – Zatížení stěn objektu od příčného větru

## 2) Zatížení na střeše



Obr. 8 – Působení příčného větru na střeše

### Maximální dynamický tlak

$$\rightarrow q_p(z) = 725,2 \text{ N/m}^2$$

$$\rightarrow e = \min(b, 2h) = 25 \text{ m}$$

Oblast	Šířka [m]	Délka [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	C <sub>pe,10</sub> [-]	q <sub>p</sub> (z) [N/m <sup>2</sup> ]	W <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>Q</sub> [-]	W <sub>e,d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
F	e/10 = 2,5	e/4 = 6,3	15,63	-1,7	725,2	-1,23	1,5	-1,85
G	e/10 = 2,5	b-e/2 = 47,5	118,75	-1,2	725,2	-0,87	1,5	-1,31
H	d/2-e/10 = 9,5	b = 60,0	570,00	-0,6	725,2	-0,44	1,5	-0,65
I	d/2-e/10 = 9,5	b = 60,0	570,00	-0,6	725,2	-0,44	1,5	-0,65
J	e/10 = 2,5	b = 60,0	150,00	-0,6	725,2	-0,44	2,5	-1,09

Tab. 10 – Zatížení střechy od příčného větru



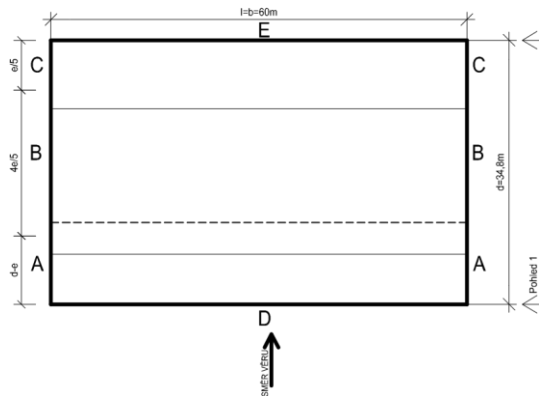
## Příčný vítr - levý

### 1) Zatížení na stěny

Maximální dynamický tlak

$$\rightarrow q_p(z) = 725,2 \text{ N/m}^2$$

$$\rightarrow e = \min(b, 2h) = 25 \text{ m}$$

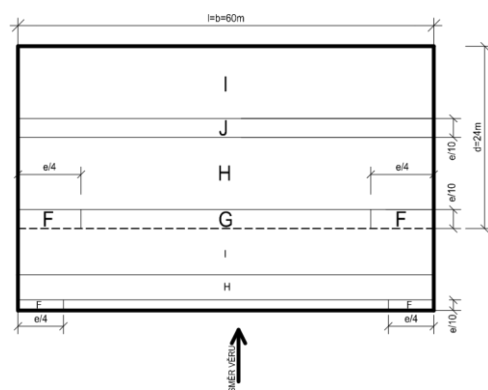


Obr. 9 – Působení příčného větru na stěny

Oblast	Šířka [m]	Výška [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	h/d [-]	C <sub>pe,10</sub> [-]	q <sub>p</sub> (z) [N/m <sup>2</sup> ]	w <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	γ <sub>q</sub> [-]	w <sub>e,d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
A	e/5 = 5,0	h = 12,5	62,5	0,359	-1,2	725,2	-0,87	1,5	-1,31
B	4e/5 = 20,0	h = 12,5	250	0,359	-0,8	725,2	-0,58	1,5	-0,87
C	d-e = 9,8	h = 12,5	122,5	0,359	-0,5	725,2	-0,36	1,5	-0,54
D	b = 60,0	h = 12,5	750	0,359	0,72	725,2	0,51	1,5	0,76
E	b = 60,0	h = 12,5	750	0,359	-0,3	725,2	-0,22	1,5	-0,33

Tab. 11

### 2) Zatížení na střechy



Obr. 10 – Působení příčného větru na střechy



## Střecha 1

Výška atiky  $\rightarrow h_p = 0,0 \text{ m}$

Referenční výška  $\rightarrow z_e = 12,5 \text{ m}$

Šířka budovy (ve směru větru):  $\rightarrow d = 24,0 \text{ m}$

Délka budovy (kolmo na vítr):  $\rightarrow b = 60,0 \text{ m}$

### Maximální dynamický tlak

$\rightarrow q_p(z) = 725,2 \text{ N/m}^2$

$\rightarrow e = \min(b, 2h) = 25 \text{ m}$

Oblast	Šířka [m]	Délka [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	C <sub>pe,10</sub> [-]	q <sub>p</sub> (z) [N/m <sup>2</sup> ]	w <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>Q</sub> [-]	w <sub>e,d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
F	e/10 = 2,5	e/4 = 6,3	15,63	-1,7	725,2	-1,23	1,5	-1,85
G	e/10 = 2,5	b-e/2 = 47,5	118,75	-1,2	725,2	-0,87	1,5	-1,31
H	d/2-e/10 = 9,5	b = 60,0	570,00	-0,6	725,2	-0,44	1,5	-0,65
I	d/2-e/10 = 9,5	b = 60,0	570,00	-0,6	725,2	-0,44	1,5	-0,65
J	e/10 = 2,5	b = 60,0	150,00	-0,6	725,2	-0,44	2,5	-1,09

Tab. 12 – Zatížení střechy hal od příčného větru zleva

## Střecha 2

Výška atiky  $\rightarrow h_p = 0,0 \text{ m}$

Referenční výška  $\rightarrow z_e = 7,0 \text{ m}$

Šířka budovy (ve směru větru):  $\rightarrow d = 24,0 \text{ m}$

Délka budovy (kolmo na vítr):  $\rightarrow b = 60,0 \text{ m}$

### Maximální dynamický tlak

$\rightarrow q_p(z) = 579,4 \text{ N/m}^2$

$\rightarrow e = \min(b, 2h) = 14 \text{ m}$

Oblast	Šířka [m]	Délka [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	C <sub>pe,10</sub> [-]	q <sub>p</sub> (z) [N/m <sup>2</sup> ]	w <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>Q</sub> [-]	w <sub>e,d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
F	e/10 = 1,4	e/4 = 3,5	10,82	-1,8	579,4	-1,04	1,5	-1,56
G	e/10 = 1,4	b-e/2 = 53,0	103,17	-1,2	579,4	-0,70	1,5	-1,04
H	e/2-e/10 = 5,6	b = 60,0	595,20	-0,7	579,4	-0,41	1,5	-0,61
I	d-e/2 = 17,0	b = 60,0	595,20	-0,2	579,4	-0,12	1,5	-0,17

Tab. 13 – Zatížení střechy administrativní budovy od příčného větru zleva



### 3 NÁVRH NOSNÍKU JEŘÁBOVÉ DRÁHY

#### 3.1 Požadavky na jeřábovou dráhu

Cílem diplomové práce je návrh skladové haly, ve které bude umístěn mostový jeřáb s požadovanou nosností 10 tun. Provoz jeřábu bude probíhat uvnitř navrhované haly a součástí jeřábu nebude kabina jeřábníka. Pro návrh jeřábové dráhy bude použita norma ČSN EN 1993-6 a norma ČSN EN 1993-1-1. Zatížení jeřábové dráhy se stanoví dle normy ČSN EN 1991-3 – zatížení od jeřábu a strojního vybavení. Hodnoty pro výpočet zatížení jeřábové dráhy jsou převzaty z podkladů výrobce jeřábu FERRO.

#### 3.2 Vstupní parametry pro návrh jeřábové dráhy

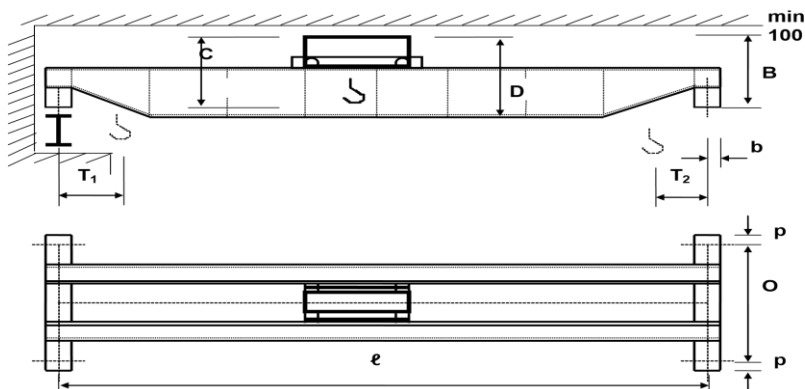
Parametry jeřábu:

Jeřáb 10,0t		
Zdvíhová třída	-	HC2
Rozpětí jeřábu	l	22,5 m
Rozvor kol příčnicku	a	4 m
Dojezd háku	e	0,85 m

Jeřáb 10,0t		
Tíha břemene	$Q_h$	100 kN
Tíha kočky	$Q_t$	10 kN
Tíha jeřábu	$Q_c$	130 kN
Rychlost zdvíhu kladkostroje	$v_h$	0,150 m/s
Rychlost pojezdu kladkostroje	$v_c$	0,450 m/s
Rychlost rozjezdu jeřábu	$v_c$	0,9 m/s

Rozpětí nosníku jeřábové dráhy	L	6 m
--------------------------------	---	-----

Schéma použitého jeřábu:



Obr. 11 – Jeřáb FERRO, typ JD



### 3.3 Výpočet zatížení dle ČSN EN 1991-3

Zatížení způsobené provozem jeřábu:

1) Svislé zatížení:

- Vlastní tíha nosníku jeřábové dráhy, lávek a plošin (stálé zatížení)
- Vlastní tíha jeřábu
- Tíha kladkostroje

2) Vodorovné zatížení v podélném směru

- Zatížení od zrychlení nebo brždění jeřábového mostu

3) Vodorovné zatížení v příčném směru

- Zatížení od zrychlení nebo brždění jeřábového mostu
- Zatížení od přičení jeřábu na dráze
- Zatížení od zrychlení nebo brždění jeřábové kočky

#### 3.3.1 Svislé zatížení

**Tíha jeřábu – maximální zatížení nosníku od zatíženého jeřábu**

Svislé síly od kol jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou.

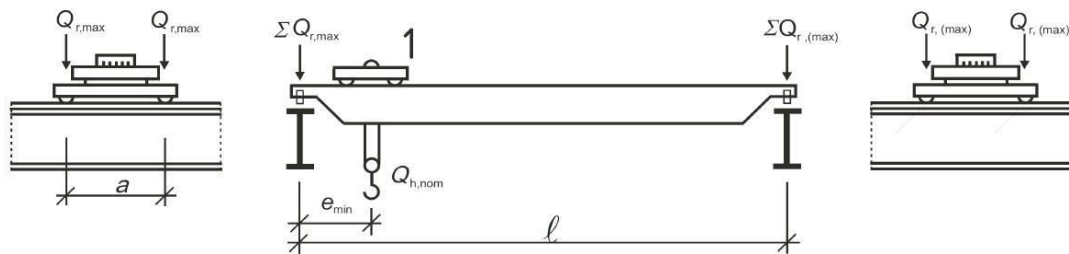
Maximální zatížení na jedno kolo zatíženého jeřábu

$$Q_{C,r,max} = \frac{1 \cdot (Q_C - Q_t)}{n} + \frac{Q_t \cdot (l - e)}{l} \quad Q_{C,r,max} = 39,62 \text{ kN}$$

Doprovodné zatížení na jedno kolo zatíženého jeřábu

$$Q_{C,r,(max)} = \frac{1 \cdot (Q_C - Q_t)}{n} + \frac{Q_t \cdot (e)}{l} \quad Q_{C,r,(max)} = 30,38 \text{ kN}$$

Počet dvojic kol  $n = 2$



Obr. 12 – Uspořádání jeřábu při maximálním zatížení nosníku jeřábové dráhy





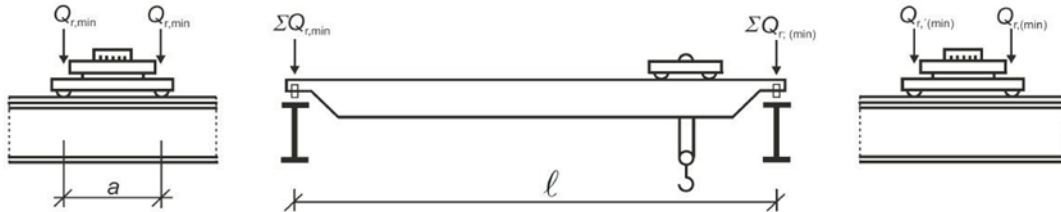
## Tíha jeřábu – minimální zatížení nosníku od zatíženého jeřábu

### Minimální zatížení na jedno kolo nezatíženého jeřábu

$$Q_{C,r,min} = 30,38 \text{ kN}$$

### Doprovodné zatížení na jedno kolo nezatíženého jeřábu

$$Q_{C,r,(min)} = 39,62 \text{ kN}$$



Obr. 13 – Uspořádání jeřábu při minimálním zatížení nosníku jeřábové dráhy

### Zatížení kladkostrojem

Svislé síly od kol jeřábu způsobené zatížením kladkostroje. Zatížení kladkostroje zahrnuje tíhu užitečného zatížení (břemene), prostředků pro uchopení břemene a části zavěšených zvedacích lan nebo řetězů.

$$Q_{H,r,max} = \frac{1}{n} \frac{Q_h \cdot (l-e)}{l} = Q_{H,r,max} = 48,11 \text{ kN}$$

$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{n} \frac{Q_h \cdot (e)}{l} = Q_{H,r,(max)} = 1,89 \text{ kN}$$

### Celkové svislé zatížení

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{C,r,max} &= 175,47 \text{ kN} \\ \Sigma Q_{r,(max)} &= 64,53 \text{ kN} \\ \Sigma Q_r &= 240,00 \text{ kN} \end{aligned}$$



### 3.3.2 Vodorovné zatížení

#### Zrychlení mostu jeřábu – podélné zatížení

Síly v podélném (viz *Obr. 14*) směru způsobené rozjezdem nebo bržděním jeřábu vznikají jako důsledek působení hnací síly na styčné ploše mezi kolejnicí a hnacím kolem.

#### Podélné síly

$$\rightarrow H_{L,1} = H_{L,2} = \frac{K}{n_r} \qquad H_{L,1} = \mathbf{6,08 \text{ kN}}$$
$$\rightarrow n_r = 2 - \text{počet větví jeřábové dráhy}$$

#### Hnací síla

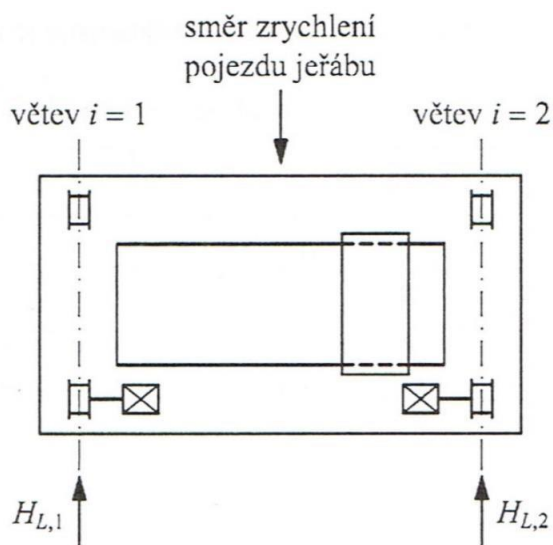
Hnací sílu  $K$  lze pro jeřáb s pohonem jednotlivých kol určit dle následujícího vztahu (viz odst. 2.7.3 ČSN EN 1991-3)

$$\rightarrow K = \mu \cdot m_w \cdot (Q_{r,\min}) \qquad K = \mathbf{12,15 \text{ kN}}$$

#### Počet pohonů jednotlivých kol

- $\rightarrow m_w = 2$
- $\rightarrow \mu = 0,2$  – součinitel tření pro kombinaci ocel - ocel

#### Schéma působení podélného zatížení:



*Obr. 14 – Působení podélných sil způsobených rozjezdem jeřábu*



### Zrychlení mostu jeřábu – příčné zatížení

Zatížení nosníku JD silami, které jsou ekvivalentní k momentu způsobeného excentricitou hnací síly vůči těžišti jeřábu. (viz Obr. 15)

#### Podíl vzdálenosti těžiště jeřábu od osy jeřábové kolejnice

$$\xi_1 = \frac{Q_{r,\max}}{\sum Q_r} \quad \xi_2 = (1 - \xi_1)$$
$$\xi_1 = 0,721 \quad \xi_2 = 0,279$$

#### Vychýlení těžiště jeřábu od poloviny jeho rozpětí

$$l_S = (\xi_1 - 0,5) \cdot s$$
$$l_S = 4,96 \text{ m}$$

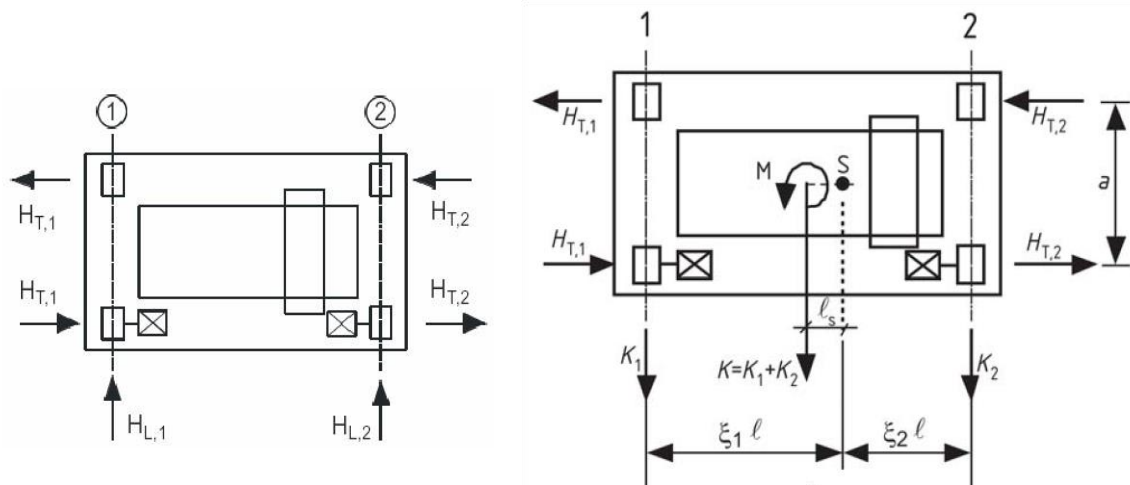
#### Moment hnací síly k těžišti jeřábu

$$M = K \cdot l_S$$
$$M = 59,94 \text{ kNm}$$

#### Příčné síly od rozjezdu nebo brždění jeřábu $H_{T,i}$

$$H_{T,1} = \xi_2 \cdot (M/a) \quad H_{T,2} = \xi_1 \cdot (M/a)$$
$$H_{T,1} = 4,18 \text{ kN} \quad H_{T,2} = 10,81 \text{ kN}$$

#### Schéma působení sil od rozjezdu jeřábu:



Obr. 15 – Působení příčných a podélných sil od rozjezdu jeřábu

### Příčení jeřábu

Zatížení od příčení vznikají kvůli reakcím vodících prostředků, vyvolaných koly odchylujícími se při valení ze svého přirozeného podélného směru.

#### Součinitel příčení

Součinitel reakcí při příčení je parametr závislý na úhlu příčení  $\alpha$ .

Dle 2.7.4 ČSN EN 1991-3 je uhel příčení konzervativně volen hodnotou  $\alpha = 0,015 \text{ rad}$ .

$f = 0,3$  pro  $\alpha = 0,015 \text{ rad}$

Počet dvojic kol  $n = 2$



### Součinitel síly od kola

(Určeno na základě Tab. 2.9 ČSN EN 1991-3 pro typ kol – IFF)

$$\lambda_{S,1,1,T} = \xi_2/n = 0,1395$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \xi_1/n = 0,3605$$

### Síly od vodícího prostředku způsobené přičlením jeřábu

(Viz odst. 2.7.4 ČSN EN 1991-3)

$$S = f \cdot \lambda_S \Sigma Q_r = 34,5 \text{ kN}$$

$$H_{S,1,T} = f \cdot \lambda_{S,1,1,T} \Sigma Q_r = 9,62 \text{ kN}$$

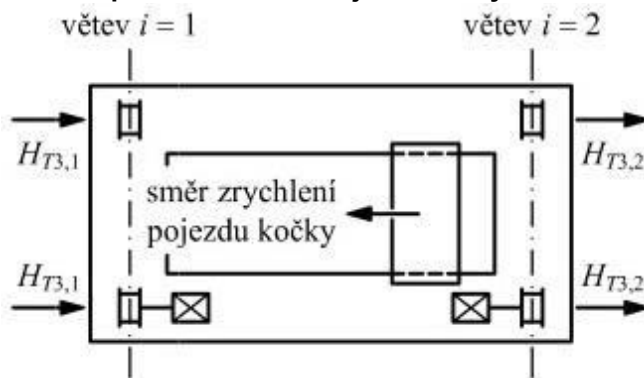
$$H_{S,2,T} = f \cdot \lambda_{S,2,1,T} \Sigma Q_r = 24,88 \text{ kN}$$

### Zrychlení kočky

Dle ČSN EN 1991-3 za předpokladu, že břemeno není rozkývané, lze výslednici příčných vodorovných sil určit jako 10% součtu zatížení kladkostroje  $Q_t$  a a tíhy kočky  $Q_h$ .

$$H_{T,3} = 0,1 \cdot (Q_t + Q_h) = 11 \rightarrow \text{(10\% zatížení kladkostroje)}$$

### Schéma působení sil od rozjezdu kočky:



### Výsledné zatížení od rozjezdu jeřábové kočky

$$H_{T,3,1} = (H_{T,3}) \cdot \frac{(s-c)}{s} = 5,29 \text{ kN}$$

$$H_{T,3,2} = (H_{T,3}) \cdot \frac{(c)}{s} = 0,21 \text{ kN}$$



## Dílčí součinitelé spolehlivosti

Tab. 14 – viz odst. A22-ČSN EN 1991-3

Zatížení	Značka	Situace	
		P/T	A
<b>Stálá zatížení od jeřábu</b>			
-nepříznivá	$\gamma_G^{sup}$	1,35	1,00
-příznivá	$\gamma_G^{inf}$	1,00	1,00
<b>Proměnná zatížení od jeřábu</b>			
-nepříznivá	$\gamma_Q^{sup}$	1,35	1,00
-příznivá	$\gamma_Q^{inf}$		
-s jeřábem		1,00	1,00
-bez jeřábu		0,00	0,00
<b>Ostatní proměnná zatížení</b>	$\gamma_Q$		
-nepříznivá		1,50	1,00
-příznivá		0,00	0,00
<b>Mimořádná</b>	$\gamma_A$	-	1,00

Tab. 14 – Dílčí součinitelé spolehlivosti pro nosníky jeřábových drah

## Výpočet dynamických součinitelů

(Čl. 2.2 – ČSN EN 1991-3)

### Druhy dynamických součinitelů

V tabulce není zobrazen dynamický součinitel  $\varphi_3$ , který reprezentuje dynamický účinek náhlého uvolnění zatížení v případě použití magnetů nebo drapaků.

Dynamický součinitel	Uvažované účinky	Použije se pro
$\varphi_1$	Buzení vibrační konstrukcí jeřábu při zvednutí zatížení kladkostroje ze země	Vlastní tíhu jeřábu
$\varphi_2$	Dynamické účinky zatížení kladkostroje při zvedání ze země k jeřábu	Zatížení kladkostroje
$\varphi_4$	Dynamické účinky vznikající při pojezdu na jeřábových drahách	Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje
$\varphi_5$	Dynamické účinky vyvolané hnacími silami	Hnací síly
$\varphi_7$	Dynamický pružný účinek nárazu na nárazníky	Síly na nárazníky

Tab. 15 – Druhy použitých dynamických součinitelů

**Dynamický součinitel  $\varphi_1$**  – stanoven za předpokladu, že je dosaženo horní hodnoty rázového zatížení.

$$\varphi_1 = 1,1$$



**Dynamický součinitel  $\varphi_2$**  lze stanovit dle níže uvedeného vztahu (viz tab. 2.4. ČSN EN 1991-3), kde se hodnoty  $\beta_2$ ,  $\varphi_{2,min}$  určí na základě příslušné zdvihové třídy určí dle tab.

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h =$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \quad \varphi_2 &= 1,151 \\ \rightarrow \quad v_h &= 0,150 \text{ m/s} \\ \rightarrow \quad \varphi_{2,min} &= 1,1 \\ \rightarrow \quad \beta_2 &= 0,34 \end{aligned}$$

Zdvihová třída	$\beta_2$	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
<b>HC2</b>	<b>0,34</b>	<b>1,10</b>
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

Tab. 16

**Dynamický součinitel  $\varphi_4$**  – (dle tab 2.4 ČSN EN 1991-3) za předpokladu, že jsou dodrženy tolerance kolejových tratí podle ČSN EN 1993-6.

$$\varphi_4 = 1$$

**Dynamický součinitel  $\varphi_5$**  – je stanoven na základě tab. 2.6 ČSN EN 1991-3 z předpokladu, že se zatížení mění pozvolna.

$$\varphi_5 = 1,5$$

### Skupiny zatížení

Skupiny zatížení představují současné působení a seskupení svislých a vodorovných složek zatížení od jeřábu. V tab. 17 jsou uvedeny maximální hodnoty svislých a vodorovných sil, které mohou působit na nejvíce namáhanou větev jeřábové dráhy.

Zatížení	Značka	Hodnota [kN]	Skupina zatížení									
			MSÚ							Zkušební zatížení	Mimořádná zatížení	
			1	2	3	4	5	6	7		8	9
Vlastní tíha jeřábu	$Q_C$	39,62	$\varphi_1 = 1,1$	$\varphi_1 = 1,1$	1	$\varphi_4 = 1$	$\varphi_4 = 1$	$\varphi_4 = 1$	1	$\varphi_1 =$	1	-
Zatížení kladkostroje	$Q_n$	48,11	$\varphi_2 = 1,151$	$\varphi_3 = 1$	1	$\varphi_4 = 1$	$\varphi_4 = 1$	$\varphi_4 = 1$	$\eta$	-	1	1
Zrychlení nebo brždění mostového jeřábu	$H_1$ $H_{T2}$	6,08 11,53	$\varphi_5 = 1,5$	$\varphi_5 = 1,5$	$\varphi_5 = 1,5$	$\varphi_5 = 1,5$	-	-	-	$\varphi_5 = 1,5$	-	-
Příčení mostového jeřábu	$H_{5,2,1,T}$	26,32	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Zrychlení nebo brždění kočky nebo pojízdného kladkostroje	$H_{T,3,2}$	0,21	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Vítr za provozu jeřábu	$F_w$		1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
Zkušební zatížené jeřábu	$Q_T$		$\varphi_1 =$	-	-	-	-	-	-	$\varphi_6 =$	-	-
Síly na nárazníky	$H_B$		$\varphi_1 =$	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_7 =$	-

Tab. 17 – Přehled skupin zatížení



## Návrhové hodnoty zatížení jeřábové dráhy pro jednotlivé skupiny zatížení

### Vztahy pro výpočet návrhového zatížení od jeřábu

#### Svislé zatížení:

$$\rightarrow F_{i,Ed} = \gamma_{Q,sup} (Q_C \varphi + Q_H \varphi)$$

#### Vodorovné zatížení:

$$\rightarrow H_{Li,Ed} = \gamma_{Q,sup} H_L \varphi$$

$$\rightarrow H_{Ti,Ed} = \gamma_{Q,sup} H_{T,2} \varphi$$

$$\rightarrow H_{Si,Ed} = \gamma_{Q,sup} H_{S,2,1,T} \varphi$$

$$\rightarrow H_{T,3i,Ed} = \gamma_{Q,sup} H_{T,3,2} \varphi$$

Hodnoty dynamických součinitelů použité pro jednotlivé skupiny zatížení jsou zřejmé z tab. 17.

#### SVISLÉ ZATÍŽENÍ

$$F_{1,Ed} = 133,6 \text{ kN}$$

$$F_{2,Ed} = 123,8 \text{ kN}$$

$$F_{3,Ed} = 118,4 \text{ kN}$$

$$F_{4,Ed} = 118,4 \text{ kN}$$

$$F_{5,Ed} = 118,4 \text{ kN}$$

$$F_{6,Ed} = 118,4 \text{ kN}$$

#### VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ

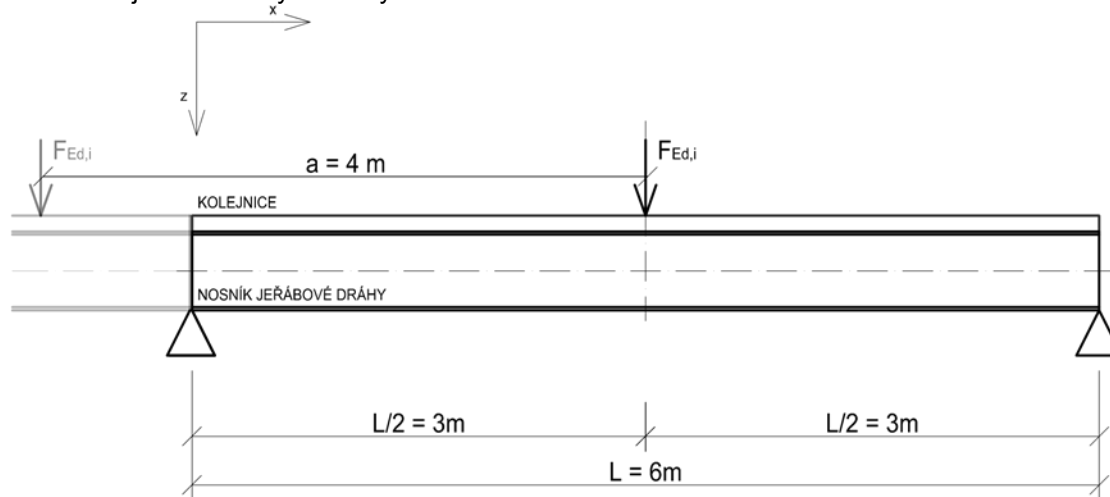
Skupina zatížení	$H_{Li,Ed}$	$H_{Ti,Ed}$	$H_{Si,Ed}$	$H_{T,3i,Ed}$
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
1	12,30	23,34	-	-
2	12,30	23,34	-	-
3	12,30	23,34	-	-
4	12,30	23,34	-	-
5	-	-	35,53	-
6	-	-	-	0,28

Tab. 18 – Návrhové hodnoty zatížení

### 3.4 Výpočet vnitřních sil

#### 3.4.1 Vnitřní síly od svislého zatížení

Svislé zatížení vyvolá největší ohybový moment, když je břemeno uprostřed nosníku (viz Obr. 18) Hodnoty vnitřních sil a reakcí pro jednotlivé skupiny zatížení jsou spočteny v Tab. 20. V Tab. 21 jsou uvedeny hodnoty vnitřních sil včetně stálého zatížení.



Obr. 16 – Poloha jeřábu pro maximální ohybový moment od svislého zatížení

#### Geometrie nosníku

Rozpětí nosníku  $L = 6$  m

Vzdálenost břemen  $a = 4$  m

**Pozn.:** vzdálenost břemen představuje rozvor kol příčnicku

Velikost břemene  $F_{Ed,i}$  [kN]

**Pozn.:** Velikost břemen pro jednotlivé skupiny zatížení viz tab. 18 na straně 25.

#### Vnitřní síly od svislého zatížení jeřábem

##### Reakce

$$\rightarrow R_a = R_b = 1/2 \cdot F_{ed,i}$$

##### Ohybový moment

$$\rightarrow M_{y,Ed} = 1/4 \cdot F_{ed,i} \cdot l^2$$

##### Posouvající síla

$$\rightarrow V_z = R_a$$

Skupina zatížení	$R_a$ [kN]	$R_b$ [kN]	$M_y$ [kNm]	$V_z$ [kN]
1	66,80	66,80	200,39	66,80
2	61,89	61,89	185,68	61,89
3	59,22	59,22	177,66	59,22
4	59,22	59,22	177,66	59,22
5	59,22	59,22	177,66	59,22
6	59,22	59,22	177,66	59,22

Tab. 19 – Vnitřní síly od svislého zatížení





### Vlastní tíha nosníku jeřábové dráhy (odhad)

$$g_k = 4,5 \text{ kN/m} \quad \gamma_F = 1,35 \quad \rightarrow \quad M_{y,Ed} = 1/8 \cdot g_d \cdot l^2$$

$$g_d = 6,08 \text{ kN/m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$M_y = 27,34 \text{ kNm}$$

$$V_z = 18,23 \text{ kN}$$

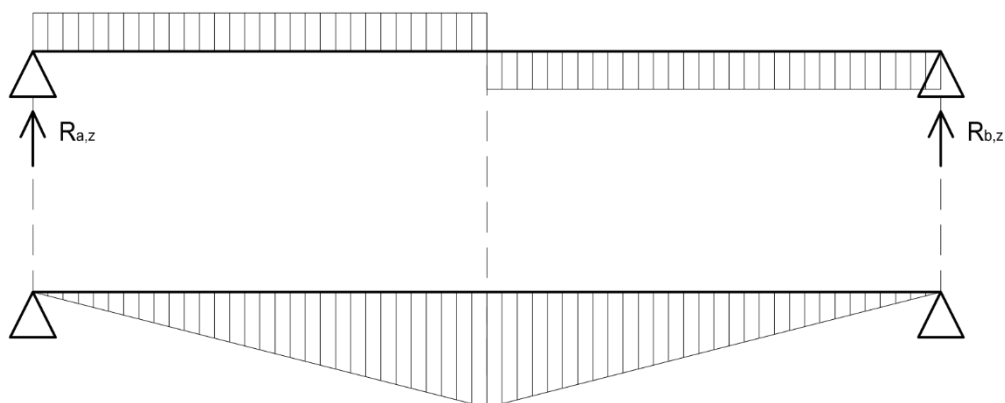
$$R_a = 18,23 \text{ kN}$$

$$R_b = 18,23 \text{ kN}$$

### Výsledné vnitřní síly od svislého zatížení

Skupina zatížení	$R_a$	$R_b$	$M_y$	$V_z$
	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]
1	85,02	85,02	227,73	85,02
2	80,12	80,12	213,02	80,12
3	77,45	77,45	205,00	77,45
4	77,45	77,45	205,00	77,45
5	77,45	77,45	205,00	77,45
6	77,45	77,45	205,00	77,45

Tab. 20 – Výsledné vnitřní síly od svislého zatížení

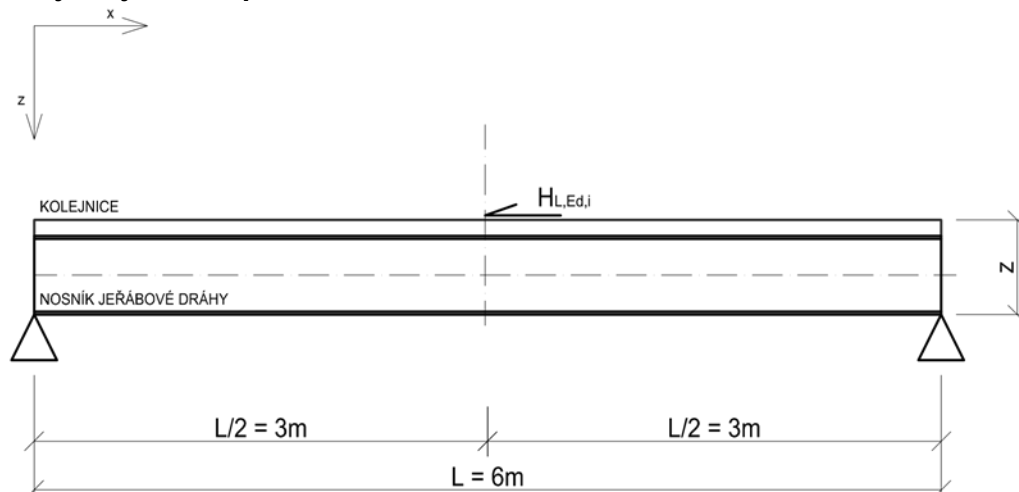


Obr. 17 – Průběh vnitřních sil od svislého zatížení jeřábem - nahoře posouvající síla, dole ohybový moment



### 3.4.2 Vnitřní síly od vodorovného zatížení

#### Rozjezd jeřábu – podélné zatížení



Obr. 18 – Působení podélné síly od rozjezdu jeřábu na nosník

#### Působíště podélné síly $H_L$

Výška kolejnice  $h_r = 85 \text{ mm}$  (Odhad)

Výška nosníku JD  $h = 500 \text{ mm}$  (Odhad)

Výška horní hrany kolejnice

$$z = h_r + h \rightarrow z = 0,585 \text{ m} \quad \text{Rozpětí nosníku} \rightarrow L = 6 \text{ m}$$

#### Výpočet vnitřních sil

Reakce:

$$\rightarrow R_{a,x} = H_L = 12,30 \text{ kN}$$

$$\rightarrow R_{a,z} = \frac{H_L \cdot z}{L} = 1,20 \text{ kN}$$

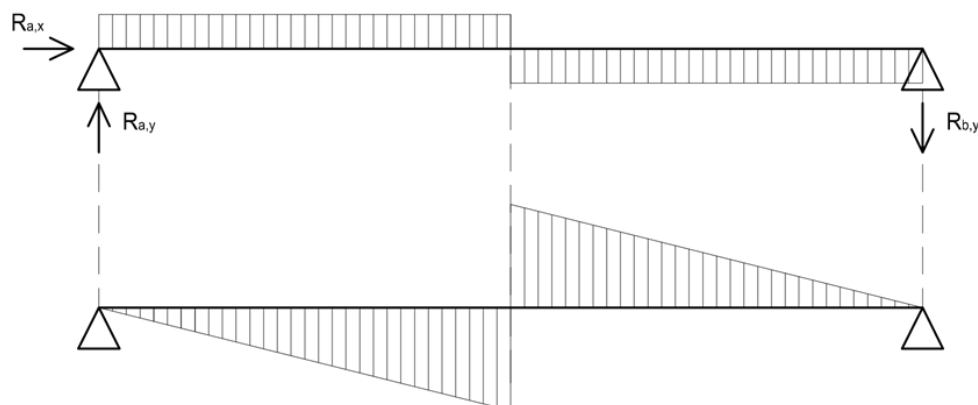
$$R_{b,z} = -R_{a,z} = -1,2 \text{ kN}$$

#### Vnitřní síly

$N_{E,Ld} = 12,23 \text{ kN}$  → Normálová síla

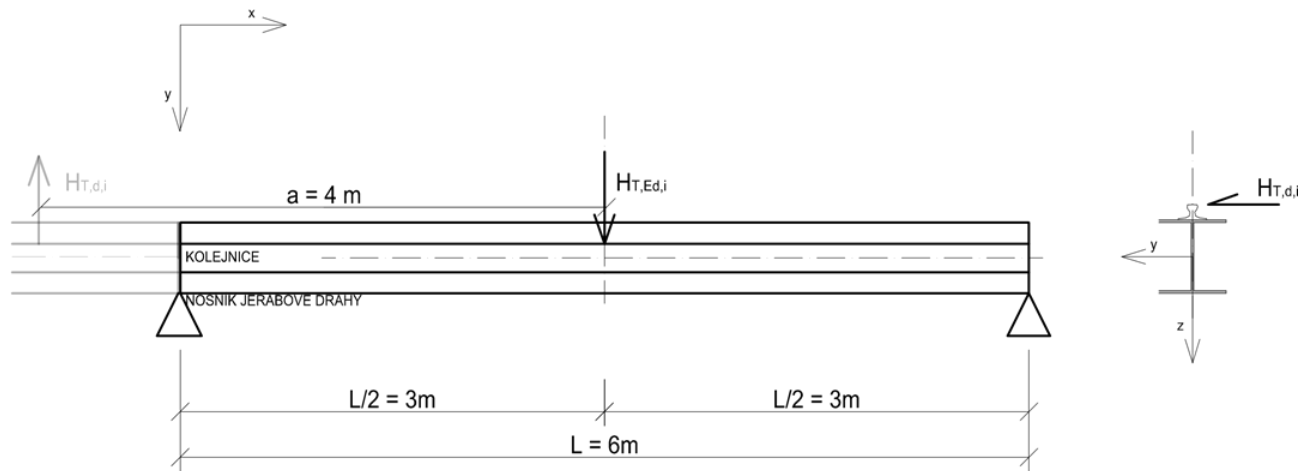
$V_{E,Ld} = 1,192 \text{ kN}$  → Posouvající síla

$M_{y,L,Ed} = 4,768 \text{ kN/m}$  → Ohybový moment



Obr. 19 Průběh vnitřních sil od podélného zatížení - nahoře posouvající síla, dole ohybový moment

## Rozjezd jeřábu – příčné zatížení



Obr. 20- Působení příčného zatížení od rozjezdu jeřábu – maximální ohybový moment

### Zatížení

$$\rightarrow H_{T1,d} = 4,24 \text{ kN}$$

$$\rightarrow H_{T2,d} = 23,34 \text{ kN}$$

### Výpočet vnitřních sil

#### Reakce:

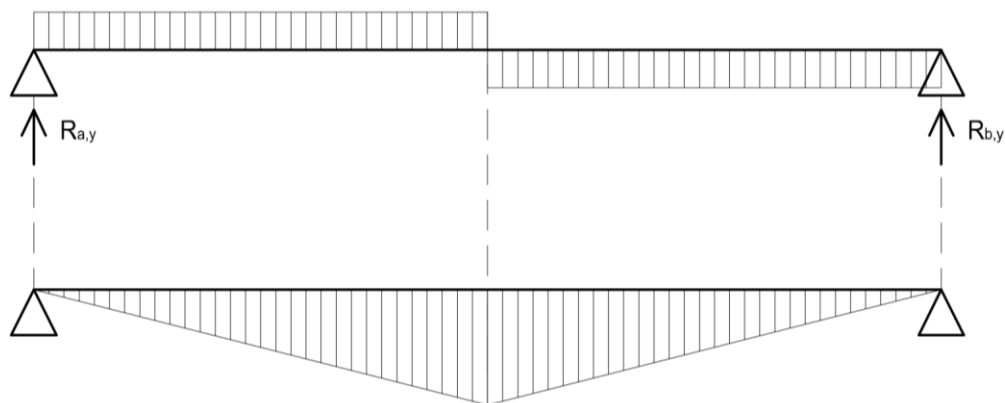
$$\rightarrow R_{b,y} = R_{a,y} = \frac{H_{T2,d}}{2} = 11,67 \text{ kN}$$

#### Posouvající síla:

$$\rightarrow V_{HT,Ed,y} = 11,67 \text{ kN}$$

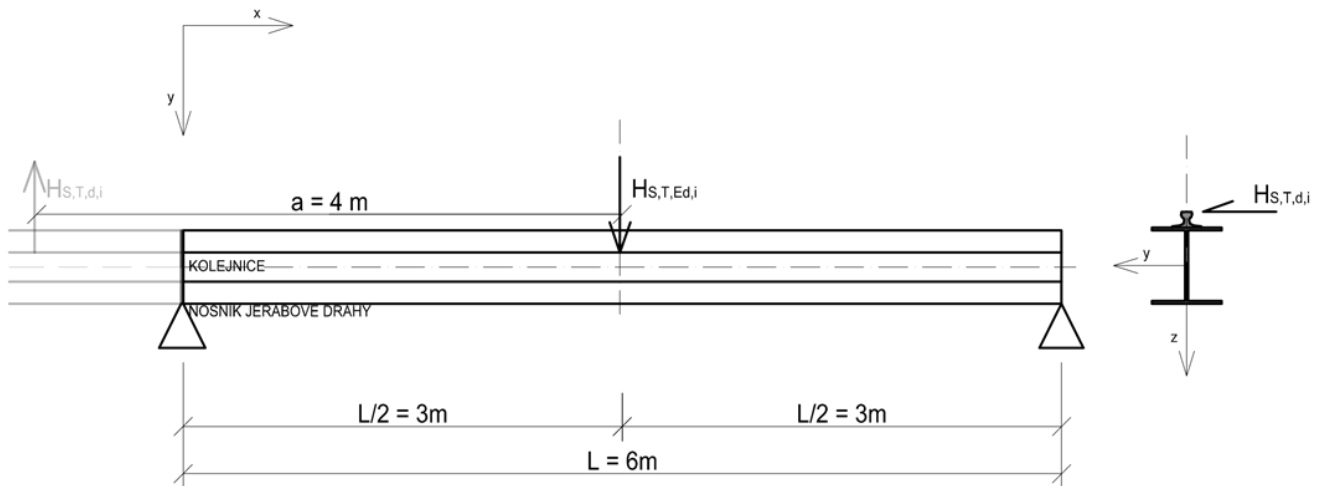
#### Ohybový moment:

$$\rightarrow M_{HT,Ed,z} = R_{b,y} \cdot \frac{L}{2} = 35,01 \text{ kNm}$$



Obr. 21 - Průběh vnitřních sil od příčného zatížení - nahoře posouvající síla, dole ohybový moment

### Příčení jeřábu



Obr. 22 – Poloha zatížení pro maximální ohybový moment od příčení jeřábu

### Zatížení

$$H_{S,1,1,T,i} = 12,99 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,1,T,i} = 33,58 \text{ kN}$$

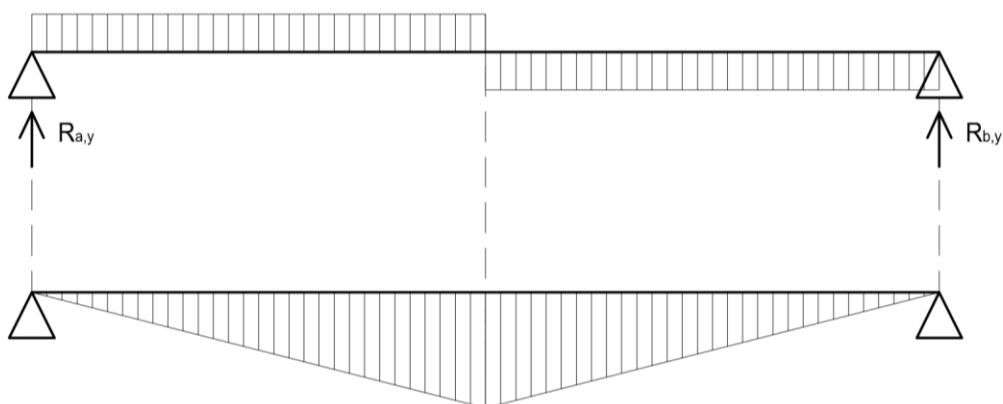
### Výpočet vnitřních sil

Reakce:

$$R_{b,y} = R_{a,y} = \frac{H_{S,2,1,T,d}}{2} = 16,79 \text{ kN}$$

$$V_{ST,Ed,y} = R_a = 16,79 \text{ kN}$$

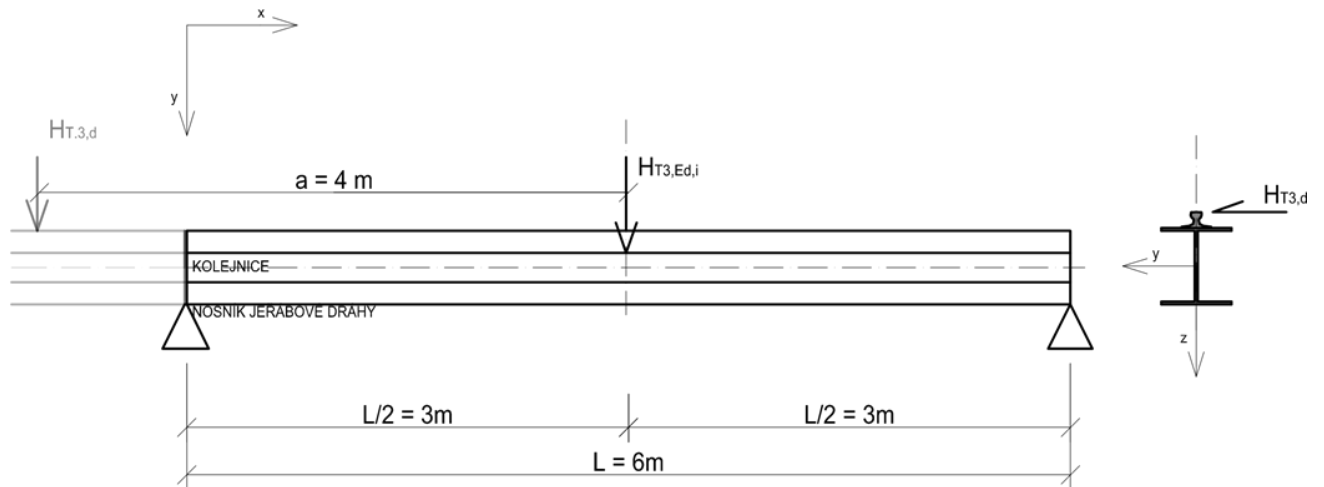
$$M_{ST,Ed,z} = R_{b,y} \frac{L}{2} = 50,38 \text{ kN}$$



Obr. 23 – Průběh vnitřních sil od příčení jeřábu, nahoře posouvající síla, dole ohybový moment



## Rozjezd a brždění kočky



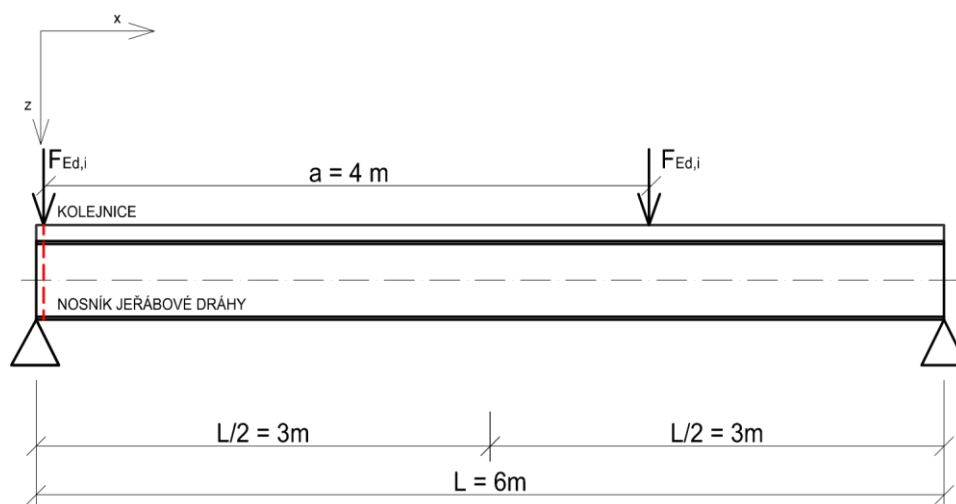
Obr. 24 – Poloha zatížení pro maximální ohybový moment

Vnitřní síly:

$$M_{HT3,Ed,z} = R_{b,i} \cdot x' \rightarrow V_{T3,Ed,y} = 4,763 \text{ kN}$$

$$V_{HT3,Ed,y} = R_{b,i} \quad M_{T3,Ed,z} = 9,526 \text{ kN}$$

## Postavení jeřábu – maximální posouvající síla



Obr. 25 – Poloha zatížení pro maximální posouvající sílu

$$V_{Ed,z} \approx 178,1 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} \approx 0 \text{ kNm}$$



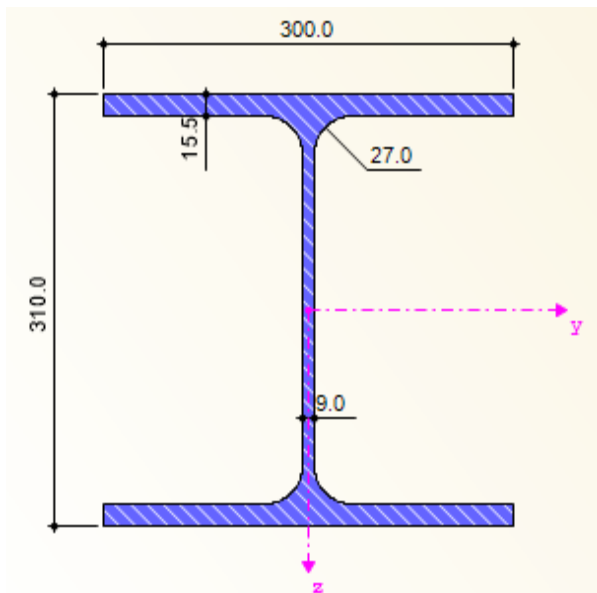
### 3.5 Návrh nosníku dráhy

Při návrhu nosníku jeřábové dráhy je nutné vycházet ze zásad ČSN EN 1993-1-1, ČSN EN 1993-1-5, ČSN EN 1993-1-8, ČSN EN 1993-1-9 a ČSN EN 1993-6. Nosník bude posouzen z hlediska mezního stavu únosnosti a z hlediska mezního stavu použitelnosti.

Posouzení nosníku jeřábové dráhy bude provedeno pro dva mezní stavy únosnosti.

- Mezní stav únosnosti STR
- Mezní stav únosnosti FAT

#### Mezní stav únosnosti STR



Profil nosníku: HEA320

#### Materiálové charakteristiky:

→ $f_{yk}$ =	460 MPa
$f_{yd}$ =	460 MPa
$E$ =	210000 MPa
$G$ =	80700 MPa

#### Dílčí součinitelé spolehlivosti:

→ $\gamma_{M0}$ =	1,00 [-]
$\gamma_{M1}$ =	1,00 [-]
$\gamma_{M2}$ =	1,25 [-]

#### Rozpětí nosníku:

→ $L$ =	6	m
---------	---	---

Ocel: S 460

#### Průřezové charakteristiky:

→ $A$ =	12 437 mm <sup>2</sup>
$A_{v,z}$ =	4114 mm <sup>2</sup>
$I_y$ =	2,293E+08 mm <sup>4</sup>
$I_z$ =	6,985E+07 mm <sup>4</sup>
$W_{el,y}$ =	1479262 mm <sup>3</sup>
$W_{el,z}$ =	465682 mm <sup>3</sup>
$W_{Pl,y}$ =	1628089 mm <sup>3</sup>
$W_{Pl,z}$ =	709740 mm <sup>3</sup>
$I_t$ =	1,080E+06 mm <sup>4</sup>
$I_\omega$ =	1,512E+12 mm <sup>6</sup>

#### Rozměry průřezu:

→ $h$ =	310 mm
$b$ =	300 mm
$t_w$ =	9,0 mm
$t_f$ =	15,5 mm
$r$ =	27 mm
$h_w$ =	279 mm

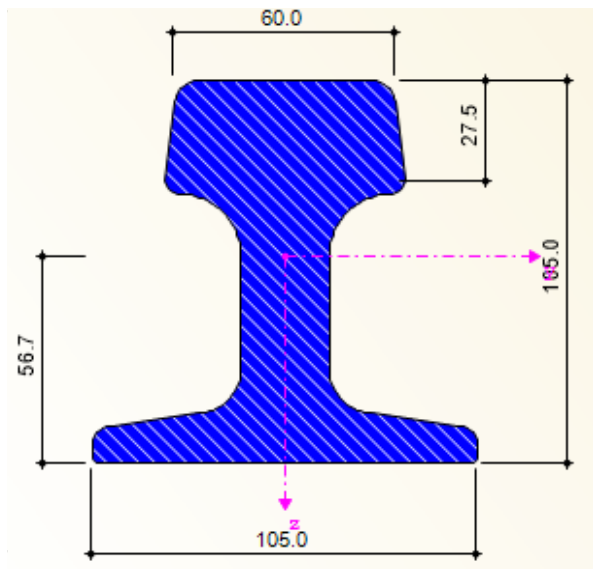
#### Poloha těžiště:

→ $e_d$ =	155 mm
$e_h$	155 mm

Dle odst. 5.4.1 ČSN EN 1993-6 se doporučuje pružností globální analýza pokud je u jeřábové dráhy požadována odolnost na únavu. Z tohoto důvodu není provedena klasifikace průřezu a pro analýzu napětí v průřezu se použije elastický průřezový modul.



### Průřez kolejnice:



### Průřezové charakteristiky:

Moment setrvačnosti kolejnice

$$\rightarrow J_x = 6546000 \text{ mm}^4$$

Šířka paty kolejnice

$$\rightarrow b_{fr} = 105 \text{ mm}$$

Výška kolejnice

$$\rightarrow h_r = 105 \text{ mm}$$

Šířka hlavy kolejnice

$$\rightarrow h_h = 60 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti kolejnice

(snížení o 25% - vliv opotřebení)

$$\rightarrow J_x' = 4909500 \text{ mm}^4$$

**Pozn.:** Jeřábová kolejnice je klasifikována jako nepřipojená neposuvně k pásnici nosníku jeřábové dráhy. Průřez kolejnice proto nebude zahrnut do průřezových charakteristik nosníku jeřábové dráhy.

### 3.5.1 Posouzení MSÚ – prostá únosnost

Nosník jeřábové dráhy bude předběžně posouzen na prostou únosnost dle ČSN EN 1993-1-1.

### Únosnost v ohybu

Normálová napětí vznikající v průřezu od rozhodujících skupin zatížení:

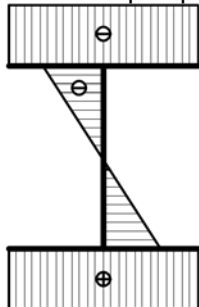
$$\sigma_{c,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} \rightarrow \text{Napětí od normálové síly (Skupina 1)}$$

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{W_{el,y}} \rightarrow \text{Napětí od ohybového moment } M_y$$

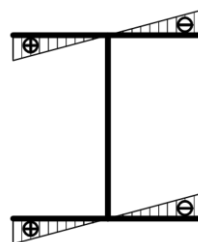
$$\sigma_{nt,Ed} = \frac{M_{Ed,z}}{W_{el,z}} \rightarrow \text{Napětí od ohybového moment } M_z$$

### Schéma průběhu napětí od ohybu

Průběh napětí pro moment  $M_y$



Průběh napětí pro moment  $M_z$



Obr. 26 – Průběh napětí od ohybových momentů  $M_y$ ,  $M_z$



Pro posouzení normálového napětí se použije následující vztah (viz čl. 6.2 ČSN EN 1993-1-1):

$$\rightarrow \sigma_x = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed,y}}{W_{el,y}} + \frac{M_{Ed,z}}{W_{el,z}} \leq f_{y,d}$$

Skupina zatížení	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{m,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{mt,Ed}$ [MPa]	$\sigma_x$ [MPa]	$f_y$ [MPa]	Posouzení
1	0,99	153,95	75,19	230,12	460	Vyhovuje
5	-	138,58	114,45	253,03	460	Vyhovuje
6	-	138,58	0,90	139,48	460	Vyhovuje

Tab. 21 – Předběžné posouzení – prostá únosnost

**Pozn.:** Rezerva v únosnosti je nutná, protože k uvedeným složkám napětí přibudou napětí od účinků kroucení a rovněž bude do výpočtu zahrnut vliv klopení.

**Pozn.:** Normálové napětí od podélné síly bude pro svojí nízkou hodnotu v dalších výpočtech zanedbáno.

### Posouzení smykové únosnosti

Uspořádání zatížení, které vyvolá maximální posouvající sílu je zřejmé z Obr. 27 na straně 37.

Smykové napětí pro jednotlivé skupiny zatížení se stanoví dle vztahu:

$$T_{v,Ed} = \frac{V_{Ed,y} \cdot S_{yh}}{I_y \cdot t_w} \rightarrow \text{Smykové napětí}$$

Podmínka spolehlivosti (viz odst. 6.2.6 ČSN EN 1993-1-1)

$$T_{v,Rd} > T_{v,Ed}$$

$$T_{v,Rd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 265,58 \text{ MPa} \rightarrow \text{Smyková únosnost}$$

Skupina zatížení	$T_{v,Ed}$ [MPa]		$T_{v,Rd}$ [MPa]	Posouzení
1	77,02	<	265,58	Vyhovuje
5	69,46	<	265,58	Vyhovuje
6	69,46	<	265,58	Vyhovuje

Tab. 22 – Posouzení smyku

**Pozn.:** Z hodnot smykového napětí  $\tau_{v,Ed}$  (viz Tab.22) je zřejmé, že  $0,5 T_{v,Rd} > T_{v,Ed}$  a jedná se o tzv. malý smyk. Není nutné uvažovat vliv smyku na únosnost v ohybu.

**Průřez HEA 320 v předběžném posouzení vyhoví.**





### 3.5.2 Posouzení stojiny při interakci napětí pod kolovým zatížením

Únosnost stojiny při interakci napětí pod kolovým zatížením je nutno prokázat v rozhodujících průřezech. Pro nosník, který je předmětem tohoto návrhu bude interakce posouzena v průřezu s maximálním ohybovým momentem a v průřezu u podpory, kde působí maximální posouvající síla. V průřezích dochází k napětí od globálních vnitřních sil a lokálních vnitřních sil.

#### 1) Globální napětí

- Globální ohybové napětí  $\sigma_{m,Ed}$  - vyvozené ohybovým momentem  $M_{Ed}$
- Globální smykové napětí  $\tau_{v,Ed}$  - vyvozené posouvající silou  $V_{Ed}$

#### 2) Lokální napětí – vyvozené kolovým zatížením $F_{Ed}$

- Lokální svislé tlakové napětí  $\sigma_{oz,Ed}$
- Lokální svislé smykové napětí  $\tau_{ozx,Ed}$
- Lokální ohybové napětí  $\sigma_{T,Ed}$  - důsledek excentricity kolového zatížení

#### Vstupní parametry pro výpočet lokálního tlakového napětí

Moment setrvačnosti kolejnice	$J_x =$	6546000 mm <sup>4</sup>
Vliv opotřebení - 25 %	$J_x' =$	4909500 mm <sup>4</sup>
Šířka paty kolejnice	$b_{fr} =$	105 mm
Výška kolejnice	$h_r =$	105 mm
Tloušťka stojiny	$t_w =$	9,0 mm
Tloušťka pásnice	$t_{f1} =$	15,5 mm

Lokální svislé tlakové napětí se dle odst. 5.7 ČSN EN 1993-6 může určit podle vztahu:

$$\rightarrow \sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{Ed}}{I_{eff..} t_w}$$

→  $F_{Ed}$  - návrhová hodnota kolového zatížení  
→  $I_{f,eff}$  - účinná roznášecí délka  
→  $t_w$  - tloušťka stojiny

#### Návrhová hodnota kolového zatížení

$$\rightarrow F_{Ed} = 133,6 \text{ kN} \rightarrow \text{pro skupinu zatížení 1}$$

#### Účinná šířka pásnice

$$\rightarrow b_{eff} = b_{fr} + 0,75 \cdot h_r + t_{f1} = 199,3 \text{ mm}$$

#### Moment setrvačnosti pásnice o účinné šířce k ose y

$$\rightarrow I_{f,eff} = 61831,84 \text{ mm}^4$$

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} \times b_{eff} \times t_{f1}^3$$

#### Účinná roznášecí délka

$$\rightarrow I_{,eff} = 266,49 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 3,25 \times \sqrt[3]{\frac{J_x + I_{f,eff}}{t_w}}$$

**Pozn.:** Účinná roznášecí délka se určí dle tab. 5.1 ČSN EN 1993-6 v závislosti na způsobu připojení a uložení jeřábové kolejnice k pásnici nosníku – jeřábová kolejnice nepřipojená neposuvně k pásnici.

#### Lokální tlakové napětí

$$\rightarrow \sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{Ed}}{I_{eff..} t_w} = 55,70 \text{ MPa}$$



**Lokální smykové napětí** lze dle ČSN EN 1993-6 určit jako 20% svislého lokálního tlakového napětí:

$$\rightarrow \tau_{\text{oxz,Ed}} = 0,2 \cdot \sigma_{\text{oz,,Ed}} = 11,14 \text{ MPa}$$

**Lokální ohybové napětí** lze dle ČSN EN 1993-6 určit na základě následujícího vztahu:

$$\rightarrow \sigma_{T,Ed} = \frac{6T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) = 1,98 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \eta = \left[ \frac{0,75a \cdot t_w^3}{I_{f1,t}} \cdot \frac{\sinh^2(\pi \cdot h_w/a)}{\sinh(2\pi \cdot h_w/a) - (2\pi \cdot h_w/a)} \right]^{0,5} = 7,31 \text{ [-]}$$

$\rightarrow a = 6000 \text{ mm}$  – vzdálenost příčných výtuh – v místě podpor

**Moment tuhosti v prostém kroucení horní pásnice**

$$\rightarrow I_{f1,t} = \frac{1}{3} \cdot (b - 0,63 \cdot t_{f1}) \cdot t_{f1}^3 = 2,663E+05 \text{ mm}^4$$

**Kroutící moment způsobený excentricitou svislého zatížení**

$$\rightarrow T_{Ed} = e \cdot F_{Ed} = 2,004 \text{ kNm}$$

**Excentricita kolového zatížení**

(Článek 2.5.2.1 ČSN EN 1991-3)

$$\rightarrow e = 0,25 \cdot b_r = 15 \text{ mm}$$

Podmínka

$$\rightarrow e = 15 \text{ mm} \geq 0,5 \cdot t_w = 4 \text{ mm}$$

$$\rightarrow b_r = 60 \text{ mm} \text{ - šířka kolejnice}$$

**Posouzení lokálního napětí**

Skupina zatížení	$F_{z,Ed} = Q_{rd}$ [N]	Tlakové napětí $\bar{\sigma}_{z,loc}$ [MPa]	Smykové napětí $\tau_{z,loc}$ [MPa]	$f_y$ [MPa]	$f_y/\sqrt{3}$	Podmínka $\bar{\sigma}_{z,loc} < f_y$	Podmínka $\tau_{z,loc} < f_y/\sqrt{3}$
1	133596,45	55,70	11,14	460	265,6	Vyhovuje	Vyhovuje
5	118440	49,38	9,88	460	265,6	Vyhovuje	Vyhovuje
6	118440	49,38	9,88	460	265,6	Vyhovuje	Vyhovuje

Tab. 23 – Posouzení lokálního normálového a smykového napětí

**Posouzení interakce lokálního normálového a lokálního smykového zatížení**

$$\rightarrow \sigma_{D,Loc} = \sqrt{\sigma_{z,loc}^2 + 3\tau_{z,loc}^2} \leq f_y$$

Skupina zatížení	$\sigma_{D,loc}$ [MPa]	$f_y$ [MPa]	Posouzení
1	58,95	460	Vyhovuje
5	52,26	460	Vyhovuje
6	52,26	460	Vyhovuje

Tab. 24 – Posouzení interakce lokálních napětí



## Posouzení interakce napětí v průřezu s maximálním ohybovým momentem

Pro posouzení interakce se určí globální normálové napětí  $\sigma_{m,Ed}$  od ohybového momentu  $M_y$  na okraji stojiny a smykové napětí  $\tau_{v,Ed}$ . Jak je zřejmé z Obr.28 na straně 39, průběh napětí  $\sigma_{m,Ed}$  od momentu  $M_z$  nemá na posouzení stojiny vliv.

### Výpočet globálního ohybového napětí na okraji stojiny

Maximální ohybový moment

$$\rightarrow M_{Ed,y} = 227,73 \text{ kNm}$$

Vdálenost okraje stojiny od těžišťové osy  $y$

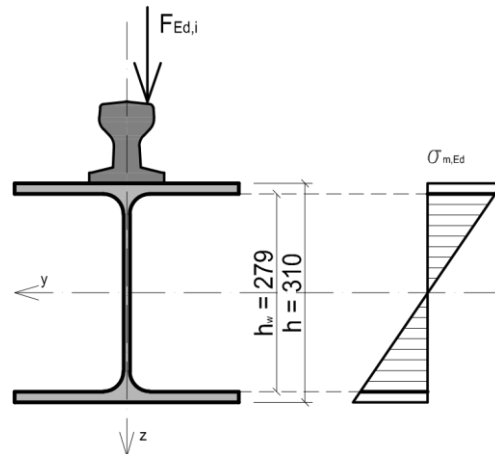
$$\rightarrow h_w = 139,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti

$$\rightarrow I_y = 2,29E+08 \text{ mm}^4$$

Globální ohybové napětí

$$\rightarrow \sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{I_y} \cdot h_w = 138,6 \text{ MPa}$$



### Výpočet globálního smykového napětí

Posouvající síla

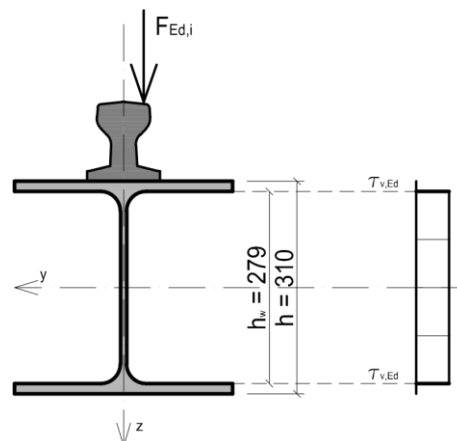
$$\rightarrow V_{Ed,y} = 85,02 \text{ kNm}$$

Statický moment horní pásnice k těžišťové ose  $y$

$$\rightarrow S_{y,h} = 814000 \text{ mm}^3$$

Globální smykové napětí

$$\rightarrow \tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed,y} \cdot S_{yh}}{I_y \cdot t_w} = 33,54 \text{ MPa}$$



Šířka stojiny

$$\rightarrow t_w = 9 \text{ mm}$$

### Interakce napětí

$$\rightarrow \sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} = 138,6 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 55,70 + 1,98 = 57,68 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow T_{Ed} = T_{v,Ed} + T_{oxz,Ed} = 33,54 + 11,14 = 44,68 \text{ MPa}$$

Pokud při stejné kombinaci zatížení působí ve dvou navzájem kolmých řezech návrhová napětí  $\sigma_{x,Ed}$  a  $\tau_{v,Ed}$  má být splněná následující podmínka (viz odst. 6.2 ČSN EN 1993-1-1)

Posouzení

$$\rightarrow \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 + 3\tau_{v,Ed}^2} = 191,1 \text{ MPa} \leq 460 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje



## Posouzení interakce napětí v průřezu s maximální posouvající silou

Uspořádání zatížení pro maximální posouvající sílu viz Obr. 27 na straně 37.

### Výpočet globálního ohybového napětí na okraji stojiny.

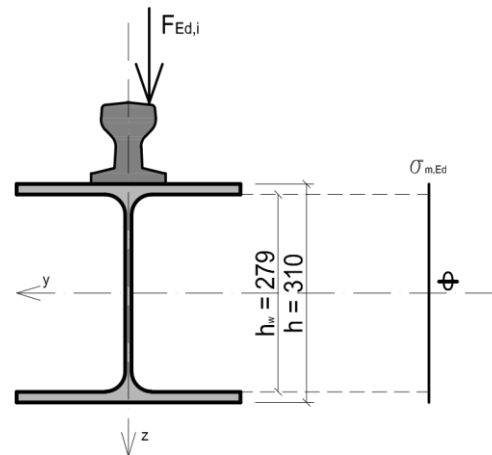
Průřez s největší posouvající silou se nachází v těsné blízkosti podpory nosníku. Protože uložení nosníku je kloubové lze považovat moment v tomto průřezu za nulový.

Maximální ohybový moment

$$\rightarrow M_{Ed,y} \approx 0 \text{ kNm}$$

Globální ohybové napětí

$$\rightarrow \sigma_{m,Ed} \approx 0 \text{ MPa}$$



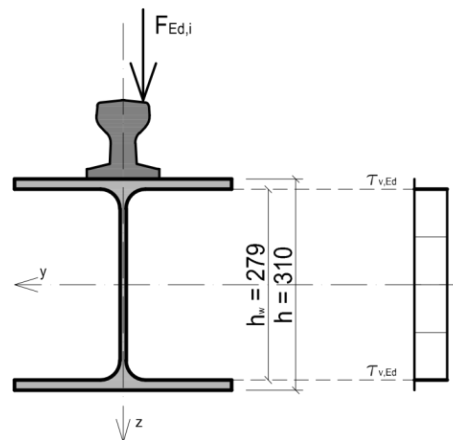
### Výpočet globálního smykového napětí

Posouvající síla

$$\rightarrow V_{Ed,y} = 178,1 \text{ kN}$$

Globální smykové napětí

$$\rightarrow \tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed,y} \cdot S_{yh}}{I_y \cdot t_w} = 77,02 \text{ MPa}$$



### Interakce napětí

$$\rightarrow \sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 55,70 + 1,98 = 57,68 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow T_{Ed} = T_{v,Ed} + T_{oxz,Ed} = 77,02 + 11,14 = 88,16 \text{ MPa}$$

### Posouzení

$$\rightarrow \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2} + \sqrt{\sigma_{x,Ed} \sigma_{z,Ed} + 3\tau_{Ed}^2} = 163,2 \text{ MPa} \leq 460 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje



### 3.5.3 Posouzení interakce klopení a kroucení

#### Kroucení

Protože zatížení působící na nosník jeřábové dráhy neprochází středem smyku, který je v tomto případě v těžišti průřezu dochází ke kroucení profilu a je nutné vyšetřit účinky kroucení na nosník jeřábové dráhy. Ke kroucení dochází vlivem excentricity svislého zatížení a vlivem excentricity vodorovného zatížení, které působí v úrovni horní hrany kolejnice.

Velikost kroutícího momentu od excentricity svislého zatížení byla stanovena při výpočtu lokálního ohybového napětí (str.42) a vzhledem k nízké hodnotě bude zanedbán.

Následující výpočet stanoví účinky kroucení od excentricity příčného vodorovného zatížení.

Výpočet bude proveden dle národní přílohy NB.2 ČSN EN 1993-1-1 pro rozhodující skupiny zatížení č.1, která vyvolá maximální svislé tlaky kol a č. 5, která vyvolá maximální boční rázy – přičení jeřábu.

#### Parametr tuhosti při kroucení

$$\rightarrow K_t = L \cdot \left[ \frac{G I_\omega}{E I_t} \right]^{0,5}$$

$$\rightarrow K_t = 3,144 [-]$$

#### Rozdělovací parametr

$$\rightarrow \kappa = 0,396$$

$$\rightarrow \alpha = 3,7$$

#### Působíště síly:

$$\rightarrow e = 260$$

$$\beta = 1,08$$

$$b = 300$$

**Pozn.:** Rozdělovací parametr se stanoví na základě hodnot  $\alpha$ ,  $\beta$  viz Tab. 25.

Okrajové podmínky při kroucení		Kroutící zatížení		$\alpha$	$\beta$
Oboustranné podepření nosníku	prosté podepření (volná deplanace)	plně rovnoměrné		3,1	1,00
		obecné		3,7	1,08
	vetknutí (deplanaci je zabráněno)	plně rovnoměrné	pro vnitřní síly v podpoře	8,0	1,25
			pro maximum v poli	5,6	1,00
		obecné		6,9	1,14
Konzola	vetknutí	obecné – pro vnitřní síly v podpoře		2,7	1,11

Tab. 25 – Koefficienty pro určení rozdělovacího parametru

#### Výpočet vnitřních sil

Výpočet vnitřních sil je podrobně proveden pro skupinu zatížení č.1.

#### Bimoment

$$\rightarrow B_{Ed} = M_{Ed,z} \cdot e \cdot (1-\kappa)$$

$$\rightarrow B_{Ed} = 5,498 \text{ kNm}^2$$

#### Moment prostého kroucení

$$\rightarrow T_{t,Ed} = V_{Ed,y} \cdot e \cdot \kappa$$

$$\rightarrow T_{t,Ed} = 1,202 \text{ kNm}$$

#### Moment vázaného kroucení

$$\rightarrow T_{\omega,Ed} = V_{Ed,y} \cdot e \cdot (1-\kappa)$$

$$\rightarrow T_{\omega,Ed} = 1,833 \text{ kNm}$$

Skupina zatížení	$M_{z,Ed}$ [kNm]	$V_{y,Ed}$ [mm <sup>3</sup> ]	e [mm]	$\kappa$ [-]	$B_{Ed}$ [kNm <sup>2</sup> ]	$T_{t,Ed}$ [kNm]	$T_{\omega,Ed}$ [kNm]
1	35,01	11,67	260	0,396	5,50	1,20	1,83
5	53,3	17,77	260	0,396	8,37	1,83	2,79

Tab. 26 – Přehled vnitřních sil od kroucení



## Výpočet napětí od kroucení

### Vázané kroucení

#### Normálové napětí od vázaného kroucení

$$\rightarrow \sigma_{x,\omega} = \pm \frac{B_{Ed}}{I_{\omega}} \omega = \pm 74,69 \text{ MPa}$$

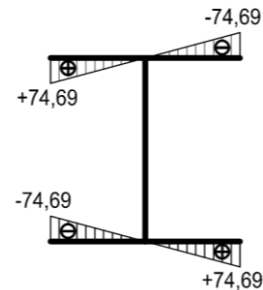
#### Maximální výsečová pořadnice

$$\rightarrow \omega = \frac{1}{4} b h_w$$

$$\omega = 20541 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow h_w = h - t_f = 295 \text{ mm}$$

$$\rightarrow b = 300 \text{ mm}$$



Skupina zatížení	$B_{Ed}$ [kNm <sup>2</sup> ]	$I_{\omega}$ [mm <sup>6</sup> ]	$\omega$ [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{x,\omega}$ [MPa]
1	5,50	1,512E+12	20541	74,69
5	8,37	1,512E+12	20541	113,71

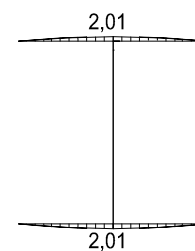
Tab. 27 – Normálové napětí od bimomentu

**Pozn.:** Na celé stojině, kde leží střed smyku je hodnota výsečové souřadnice nulová, proto zde nebudou vznikat normálová napětí od vázaného kroucení.

#### Smykové napětí od vázaného kroucení

$$\rightarrow \tau_{\omega} = \frac{T_{\omega,Ed}}{t_f} \frac{S_{\omega}}{I_{\omega}} = 2,01 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow S_{\omega} = \frac{1}{16} b_f^2 t_f h_w = 2,90E+07 \text{ mm}^4$$



Skupina zatížení	$T_{\omega,Ed}$ [kNm]	$I_{\omega}$ [mm <sup>6</sup> ]	$S_{\omega}$ [mm <sup>6</sup> ]	$t_f$ [mm]	$\tau_{\omega}$ [MPa]
1	1,83	1,512E+12	2,57E+07	15,5	2,01
5	2,79	1,512E+12	2,57E+07	15,5	3,06

Tab. 28- Smykové napětí – vázané kroucení

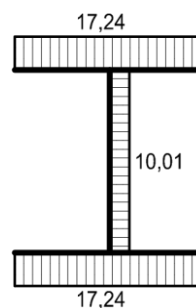


### Smykové napětí od prostého kroucení - pásnice

$$\rightarrow \tau_{tf} = \frac{T_{t,Ed}}{I_t} t_f = 17,24 \text{ MPa}$$

### Smykové napětí od prostého kroucení – stojina

$$\rightarrow \tau_{tw} = \frac{T_{t,Ed}}{I_t} t_w = 10,01 \text{ MPa}$$



### Přehled napětí od prostého kroucení

Skupina zatížení	$T_{t,Ed}$ [kNm]	$I_t$ [mm <sup>6</sup> ]	$t_w$ [mm]	$\tau_{tf}$ [MPa]
1	1,20	1080000	9,0	10,01
5	1,83	1080000	9,0	15,25

Tab. 29 – Smykové napětí v pásnici

Skupina zatížení	$T_{t,Ed}$ [kNm]	$I_t$ [mm <sup>6</sup> ]	$t_f$ [mm]	$\tau_{tf}$ [MPa]
1	1,20	1080000	15,5	17,24
5	1,83	1080000	15,5	26,26

Tab. 30 Smykové napětí ve stojině



## Klopení

Výpočet kritického momentu se stanoví dle NB.3 ČSN EN 1993-1-1

### Určení součinitelů vzpěrné délky $k_z$ , $k_y$ , $k_w$ :

Součinitelé vzpěrné délky  $k_z$ ,  $k_y$  popisují okrajové podmínky uložení prutu v ohybu. Pro tento případ, kdy jsou oba konce prutu uloženy kloubově a vzpěrná délka shodná s délkou prutu, jsou jejich hodnoty následovné:

$$\rightarrow k_z = 1 \quad [-]$$

$$\rightarrow k_y = 1 \quad [-]$$

Součinitel  $k_w$  popisuje okrajové podmínky uložení v kroucení a pokud není bráněno deplanaci, lze použít následující hodnotu  $k_w=1$ .

$$\rightarrow k_w = 1 \quad [-]$$

### Souřadnice působišť zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\begin{aligned} \rightarrow z_g &= \frac{h}{2} + h_r && \rightarrow h - \text{výška nosníku} \\ & && \rightarrow z_g - \text{výška kolejnice} \\ z_g &= 260 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Bezrozměrný parametr kroucení

$$\begin{aligned} \rightarrow k_{wt} &= \frac{\pi}{k_w \cdot l} \cdot \left[ \frac{E I_\omega}{G I_t} \right]^{0,5} \\ k_{wt} &= 0,999 \quad [-] \end{aligned}$$

### Určení součinitelů $C_1$ , $C_2$ , $C_3$ (viz tab. NB.3.2 ČSN EN 1993-1-1)

$$\begin{aligned} \rightarrow C_{1,0} &= 1,35 \quad [-] \\ \rightarrow C_{1,1} &= 1,36 \quad [-] \\ \rightarrow C_1 &= C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) k_{wt} \leq C_{1,1} \\ \rightarrow C_1 &= 1,36 \quad [-] \leq C_{1,1} = 1,36 \end{aligned}$$

### Bezrozměrný parametr působišť zatížení

$$\begin{aligned} \rightarrow \zeta_g &= \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot l} \cdot \left[ \frac{E I_z}{G I_t} \right]^{0,5} \\ \zeta_g &= 1,766 \quad [-] \end{aligned}$$

### Bezrozměrný kritický moment

$$\begin{aligned} \rightarrow \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ -\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g + C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g + C_3 \zeta_j)^2 \right] \\ \mu_{cr} &= 1,012 \quad [-] \end{aligned}$$

### Kritický moment

$$\begin{aligned} \rightarrow M_{cr} &= \mu_{cr} \cdot \pi \cdot \left[ \frac{E I_z G I_t}{L} \right]^{0,5} \\ M_{cr} &= 599,005 \text{ kNm} \end{aligned}$$





### Poměrná štíhlost

$$\rightarrow \lambda_{LT}^- = \left[ \frac{W_y f_y}{M_{cr}} \right]^{0,5}$$

$$\lambda_{LT}^- = 1,066 [-]$$

### Součinitel klopení

$$\rightarrow \chi_{LT} = 0,624$$

**Pozn.:** Součinitel klopení byl určen pomocí tabulek [10] pro křivku vzpěrné pevnosti b.

Účinky klopení se do výpočtu zavedou pomocí následujícího vztahu, kde se elastický modul pružnosti redukuje součinitelem klopení. Hodnoty napětí s vlivem klopení pro jednotlivé skupiny viz *Tab 31*.

$$\rightarrow \sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{W_{el,y} \chi_{LT}}$$

Skupina zatížení	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	$\chi_{LT}$ [-]	$\sigma_{m,Ed}$ [MPa]
1	227,7	1891000	0,624	<b>192,97</b>
5	205	1891000	0,624	<b>173,73</b>
6	205	1891000	0,624	<b>173,73</b>

*Tab. 31 – Napětí od momentu  $M_y$  s vlivem klopení*

### Interakce napětí

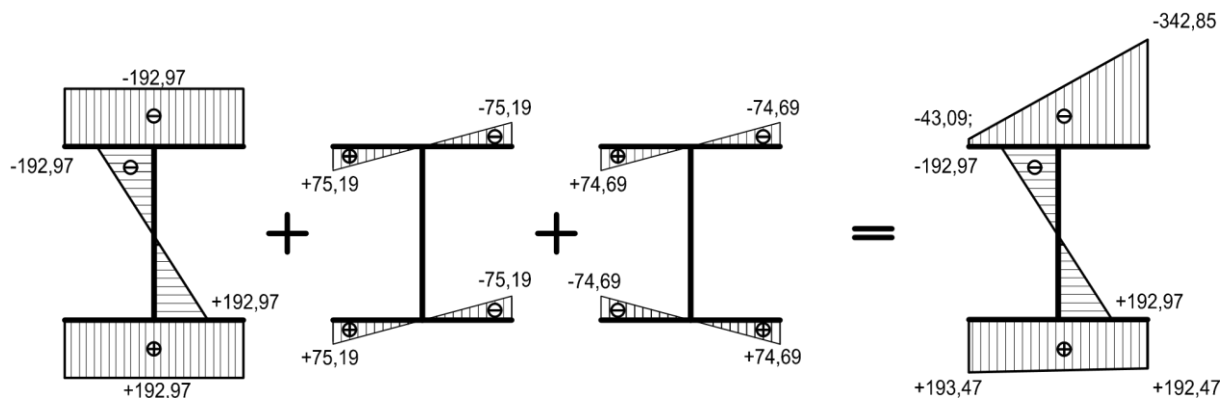
Výsledné normálové napětí  $\sigma_{x,Ed}$  jako součet normálových napětí od ohybu a kroucení. Hodnoty jsou uvedeny v *Tab.32*. Výsledný průběh napětí v nejvíce namáhaném průřezu lze vidět na *Obr.27* a *Obr. 28*.

$$\rightarrow \sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{mt,Ed} + \sigma_{x,\omega}$$

Skupina zatížení	$\sigma_{m,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{mt,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{x,\omega}$ [MPa]	$\sigma_{x,Ed}$ [MPa]
1	192,97	75,19	74,69	342,85
5	173,73	114,45	113,71	401,90

*Tab. 32 – Součet normálových napětí*

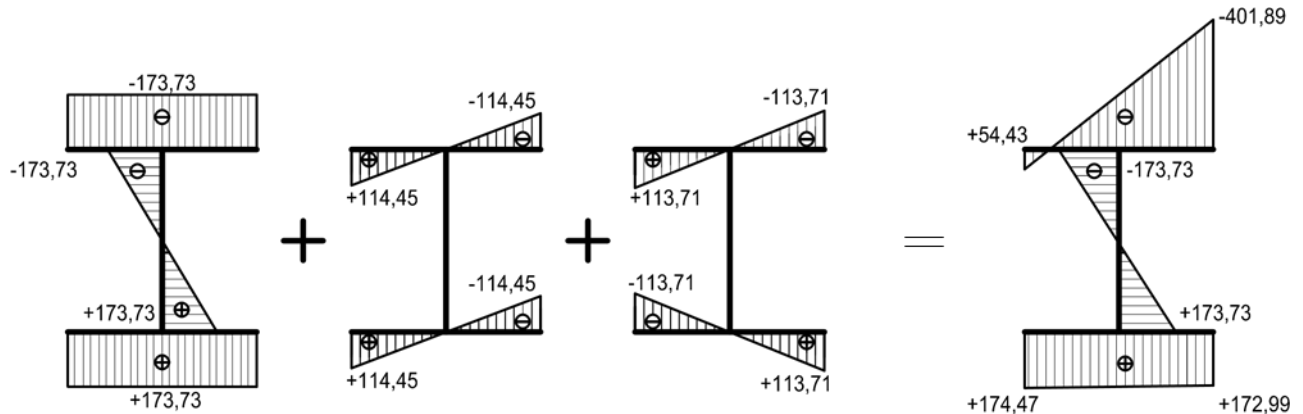
### Průběh normálového napětí pro skupinu zatížení č.1



*Obr. 27 – Výsledný průběh napětí – skupina 1*



### Průběh normálového napětí pro skupinu zatížení č.5



Obr. 28 – Výsledný průběh napětí – skupina 5

### Smykové napětí

Výsledné smykové napětí se určí jako součet smykových napětí od posouvající síly a kroucení. Hodnoty pro jednotlivé skupiny zatížení viz tab.

Skupina zatížení	$\tau_{v,Ed}$ [MPa]	$\tau_{\omega,Ed}$ [MPa]	$\tau_{Ed}$ [MPa]
1	33,61	2,01	35,61
5	30,55	3,06	33,61

Obr. 29 - Smykové napětí

### Srovnávací napětí - pásnice

$$\rightarrow \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + 3\tau_{Ed}^2}$$

Skupina zatížení	$\sigma_{x,Ed}$ [MPa]		$f_{yd}$ [MPa]	Posouzení
1	348,35	<	460	Vyhovuje
5	406,09	<	460	Vyhovuje

Obr. 30 – Srovnávací napětí

### Srovnávací napětí – okraj stojiny

Vzhledem k tomu, že při posuzování interakce globálních a lokálních napětí ve stojině vyšla rezerva v únosnosti více než 50% a největší příspěvek od kroucení představuje napětí od bimomentu, které je pro stojiny nulové není nutné stojinu opět posuzovat.



### 3.6 Boulení stěn nosníku

#### 3.6.1 Únosnost při boulení ve smyku

Podle odst. 5.1 ČSN EN 1993-1-5 se mají na únosnost při boulení ve smyku posoudit stěny splňující následující podmínku. Stěny, které podmínku splní se rovněž mají opatřit příčnými výztuhami alespoň v místě podpor.

$$\rightarrow \frac{h_w}{t_w} > \frac{72}{\eta} \varepsilon$$

Pro nosník HEA 320 a použité oceli třídy S 460:

$$\rightarrow \frac{h_w}{t_w} = 31 < \frac{72}{\eta} \varepsilon = 43$$

$$\rightarrow h_w = 279 \text{ mm} \quad - \text{ výška stojiny}$$

$$\rightarrow t_w = 9 \text{ mm} \quad - \text{ tloušťka stojiny}$$

$$\rightarrow \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,715$$

$$\rightarrow f_y = 460 \text{ MPa} \quad - \text{ mez kluzu oceli S460}$$

Pro oceli do třídy S460 se dle ČSN EN 1993-1-5 doporučuje:

$$\rightarrow \eta = 1,2$$

**Není nutné posuzovat únosnost stojiny na boulení ve smyku.**

#### 3.6.2 Rozmístění příčných výztuh

Dle výše uvedené podmínky, nemusí být posuzovaný nosník opatřen příčnými výztuhami. Z konstrukčních důvodů však budou v místě podpor použity příčné výztuhy P10 279x130mm.

#### 3.6.3 Posouzení boulení stojiny nosníku při lokálním zatížení

Vzhledem ke štíhlosti stojiny je nutné ověřit zda nebude při lokálním zatížení ztracena stabilita vlivem boulení.

**Návrhová únosnost při lokálním boulení stojiny** (viz odst. 6.2 ČSN EN 1993-1-5)

$$\rightarrow F_{Rd} = \frac{f_y l_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = 1169 \text{ kN}$$

**Účinná délka**

$$\rightarrow L_{eff} = \chi_F l_y = 282,5 \text{ mm}$$

**Účinná zatěžovací délka**

$$\rightarrow l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 445,6 \text{ mm}$$



### Bezrozměrné parametry $m_1, m_2$

$$\rightarrow m_1 = \frac{b}{t_w} = 33 \text{ [-]}$$

$$\rightarrow m_2 = 0$$

**Pozn.:**  $m_2$  je paramer závislý na poměrné štíhlosti, pro  $\lambda_F < 0.5 \rightarrow m_2 = 0$   
Poměrná štíhlost bude vypočtená níže a v případě potřeby bude hodnota  $m_2$  opravena.

### Roznášecí délka (viz odst. 6.5.2 ČSN EN 1993-6)

$$\rightarrow s_s = l_{eff} - 2t_f = 235,7 \text{ mm}$$

### Kritická síla při boulení (viz odst. 6.5 ČSN EN 1993-1-5)

$$\rightarrow F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} = 2965 \text{ kN}$$

### Součinitel boulení

$$\rightarrow k_F = 6 + 2 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 = 6,00 \text{ [-]}$$

### Poměrná štíhlost

$$\rightarrow \lambda_F = \left[ \frac{I_y t_w f_y}{F_{cr}} \right]^{0,5} = 0,789$$

### Součinitel boulení

$$\rightarrow \chi_F = \frac{1}{\lambda_F} = 0,63 < 1$$

### Posouzení

$$\rightarrow F_{Ed} = 133,6 \text{ kN} < F_{Rd} = 1169 \text{ kN}$$

$\rightarrow$  Vyhovuje

### 3.6.4 Interakce lokálního boulení ohybového momentu

Je-li průřez průřez při téže kombinaci současně namáhan osovou silou, ohybovým momentem a lokální příčnou silou má být dle ČSN EN 1993-1-5 posouzen dle následujícího vztahu:

$$\rightarrow \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,4$$

**Pozn.:**  $F_{Ed}, F_{Rd}$ , viz kapitola 3.5.4

### Moment od příčného zatížení (skupina 1)

$$\rightarrow M_{Ed,Rd} = 227,73 \text{ kN/m}$$

### Plastický moment únosnosti

$$\rightarrow M_{pl,Rd} = W_{pl,y} f_y$$

$$M_{pl,Rd} = 748,92 \text{ kN/m}$$

$$\rightarrow W_{pl,y} = 1628089 \text{ mm}^3$$

$$\rightarrow f_y = 460 \text{ MPa}$$



### Posouzení

$$\rightarrow \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,4$$
$$\rightarrow 0,11 + 0,24 = 0,36 \leq 1,4$$

→ Vyhovuje

### 3.7 Posouzení MSP

V mezním stavu použitelnosti bude posouzen průhyb nosníku dle tab. 7.1 ČSN EN 1993-6.

- Vodorovný průhyb nosníku  $\rightarrow \delta_y \leq L/600$
- Svislý průhyb nosníku  $\rightarrow \delta_z \leq L/600$
- Rozdíl svislých průhybu jeřábových větví  $\Delta h_c \leq s/600$

Průhyby nosníku jsou vypočteny pomocí programu CRANEWAY 8.06.

#### Vodorovný průhyb nosníku

Největší vodorovný průhyb lze předpokládat uprostřed nosníku při zatížení příčným jeřábu.

$$\rightarrow \delta_y = 8,074 \text{ mm} < L/600 = 10 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

#### Svislý průhyb nosníku

$$\rightarrow \delta_z = 8,199 \text{ mm} < L/600 = 10 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

#### Rozdíl svislých průhybu jeřábové větve

##### Průhyb maximálně zatížené větve

$$\rightarrow \delta_{z1} = 8,199 \text{ mm}$$

##### Průhyb minimálně zatížené větve

$$\rightarrow \delta_{z2} = 3,016 \text{ mm}$$

##### Rozdíl svislých průhybu

$$\rightarrow \Delta h_c = \delta_{z1} - \delta_{z2} = 5,183 \text{ mm} < s/600 = 37,5 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

$$\rightarrow s = 22,5 \text{ m} - \text{rozpětí jeřábu}$$



### 3.8 Posouzení na únavu - mezní stav únosnosti FAT

#### 3.8.1 Výpočet únavového zatížení (dle ČSN EN 1991-3)

Ekvivalentní únavové zatížení jedním kolem nezatíženého jeřábu může být vypočteno podle následujícího vztahu:

$$\rightarrow Q_e = \varphi_{fat} \lambda Q_{r,max}$$

$\rightarrow \varphi_{fat}$  - dynamický součinitel pro ekvivalentní poškození rázem

$\rightarrow \lambda$  - součinitel ekvivalentního poškození

**Dynamický součinitel pro ekvivalentní poškození rázem – obvyklé podmínky**

$$\rightarrow \varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} = 1,05$$

$\rightarrow \varphi_1$  - dynamický součinitel viz str. 29

$$\rightarrow \varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = 1,075$$

$\rightarrow \varphi_2$  - dynamický součinitel viz str. 30

**Pozn.:** Maximální zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu  $Q_{r,max}$  sestává ze složek:

$$\rightarrow Q_{C,r,max} = 39,62 \text{ kN}$$

$$\rightarrow Q_{H,r,max} = 48,11 \text{ kN}$$

#### Únavové zatížení – globální účinky

S ohledem na dvě složky svislého zatížení od kola jeřábu jsou ekvivalentní únavová zatížení dána vztahy:

$$\rightarrow Q_{e,\sigma} = \varphi_{fat,1} \lambda_\sigma Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \lambda_\sigma Q_{H,r,max} = 58,79 \text{ kN}$$

$$\rightarrow Q_{e,\tau} = \varphi_{fat,1} \lambda_\tau Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \lambda_\tau Q_{H,r,max} = 70,74 \text{ kN}$$

**Součinitelé ekvivalentního poškození (dle Tab. 33 pro kategorii S5)**

$$\rightarrow \lambda_\sigma = 0,630$$

$$\rightarrow \lambda_\tau = 0,758$$

Kategorie S	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>
Normálové napětí	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	<b>0,630</b>	0,794	1,000	1,260	1,587
Smykové napětí	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	<b>0,758</b>	0,871	1,000	1,149	1,320

Tab. 33 – Kategorie únavové třídy



### Únavové zatížení – lokální účinky

$$\rightarrow Q_{e,\sigma,loc} = \varphi_{fat,1} \lambda_{\sigma} Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \lambda_{\sigma} Q_{H,r,max} = 65,62 \text{ kN}$$

$$\rightarrow Q_{e,\tau,loc} = \varphi_{fat,1} \lambda_{\tau} Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \lambda_{\tau} Q_{H,r,max} = 36,24 \text{ kN}$$

### Součinitel ekvivalentního poškození

Stanoví se pro kategorii únavových účinků o jednu třídu výše – kategorie S6 (viz Tab. 33)

$$\rightarrow \lambda_{\sigma,loc} = 0,794$$

$$\rightarrow \lambda_{\tau,loc} = 0,871$$

### Posouzení

Popis detailu	Odkaz na ČSN EN 1993-1-9	Kategorie detailu
Základní materiál stojiny s přivařenou výztuhou v místě podpor	Tab. 8.4, č.7	80

Tab. 34 – Posuzované detaily únavové pevnosti

Metoda hodnocení	Důsledky poškození	
	mírné	závažné
Přípustná poškození	1,00	1,15
Bezpečná životnost	1,15	1,35

Tab. 35 – Součinitelé bezpečnosti

**Pozn.:** Je použita metoda hodnocení – přípustná poškození

### Reakce

$$\rightarrow R_a = R_b = 1/2 \cdot F_M$$

$$R_a = R_b = 29,4 \text{ kN}$$

### Ohybový moment

$$\rightarrow \Delta M_{E2} = 1/4 \cdot F_M \cdot l$$

$$\Delta M_{E2} = 88,19 \text{ kNm}$$

### Posouvající síla

$$\rightarrow \Delta V_{E2} = R_a = 29,4 \text{ kN}$$

$$\rightarrow \Delta \sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{W_{el,y}} = 59,62 \text{ MPa} \quad \rightarrow W_{el,y} = 1479262 \text{ mm}^3$$

### Posouzení stojiny pro rozkmit hlavního napětí od ohybového momentu a posouvající síly

#### Ekvivalentní rozkmit jmenovitého normálového napětí

$$\rightarrow \Delta \sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{W_{el,y}} = 59,62 \text{ MPa}$$



### Ekvivalentní rozkmit jmenovitého normálového napětí

$$\rightarrow \Delta\tau_{E2} = \frac{\Delta V_{E2}}{I_y} \frac{S_y}{t_w} = 11,6 \text{ MPa}$$

### Rozkmit hlavního napětí

$$\rightarrow \Delta\sigma_{eq,E2} = \frac{1}{2} \left( \Delta\sigma_{E2} + \left[ \Delta\sigma_{E2}^2 + 4 \Delta\tau_{E2}^2 \right]^{0,5} \right) = 61,79 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow D_\sigma = \gamma_{Ff}^3 \Delta\sigma_{eq,E2} \frac{\gamma_{Mf}^3}{\Delta\sigma_{E2}^3} = 0,652 < 1$$

→ Vyhovuje

**Návržený profil HEA 320 vyhoví z hlediska mezního stavu únosnosti FAT.**





## 3.9 Návrh nosné konstrukce administrativní budovy

### 3.9.1 Stropní konstrukce 1.NP

Návrh spřažené ocelobetonové stropní konstrukce je proveden dle ČSN EN 1994-1-1.

#### Zatížení stropnice:

- vlastní tíha stropní desky
- vlastní tíha nosníku
- užité zatížení
- zatížení přemístitelnými příčkami

#### Zatížení průvlastku:

- vlastní tíha nosníku
- reakce od stropnic – osamělé břemeno

#### Kombinace zatížení:

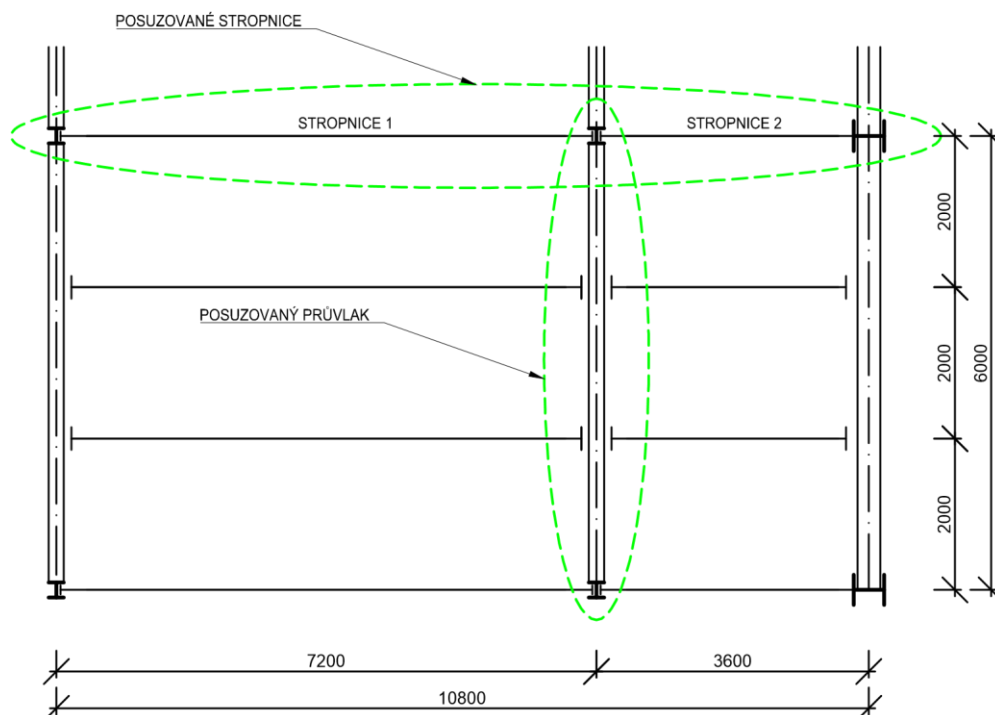
Pro výpočet vnitřních sil bude použita kombinace 6.10 dle ČSN EN 1990.

#### Posouzení MSÚ

- momentová únosnost
- smyková únosnost
- posouzení spřažení

#### Posouzení MSP

- pružné působení spřaženého nosníku při provozním zatížení
- průhyb



Obr. 31 – Posuzované stropní nosníky 1.NP



## Návrh a posouzení trapézového plechu

Trapézový plech působí jako spojitý nosník o 3 polích, kde rozpětí pole představuje osovou vzdálenost stropnic. Navrhuje se pro přenos zatížení v montážním stádiu. Zvýšené montážní zatížení je bezpečně uvažováno jako rovnoměrné po celé délce nosníku hodnotou  $q_k = 1,5 \text{ kN/m}$

Navržený profil: TR 50/250/0,88

Ocel: S 320GD  $\gamma_M = 1$   
 $\rightarrow f_{yk} = 320 \text{ MPa}$   
 $\rightarrow f_{yd} = 320 \text{ MPa}$   
 $\rightarrow E = 210000 \text{ MPa}$

Průřezové charakteristiky:

$\rightarrow W_{Eff,min} = 10240 \text{ mm}^3/\text{m}$   
 $\rightarrow I_{Eff,min} = 262000 \text{ mm}^4/\text{m}$

## Zatížení

Stálé zatížení

Zatížení	Tíha	t	Plošné zatížení	
	$g_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]		$g'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Tíha čerstvého betonu	26	0,087	2,262	3,054
Trapézový plech	-	-	0,100	0,135
<b>Celkem plošné zatížení</b>			<b>2,362</b>	<b>3,189</b>

Proměnné zatížení

Zatížení	Tíha	t	Plošné zatížení	
	$g_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]		$g'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Montážní zatížení - zvýšené	-	-	1,500	2,250
<b>Celkem plošné proměnné zatížení</b>			<b>1,500</b>	<b>2,250</b>

## Mezní stav únosnosti

Ohybový moment

$$\rightarrow M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) L^2}{10} = 2,175 \text{ kN/m} < M_{Eff,rd} = f_{yd} W_{Eff,min} = 3,277 \text{ kN/m}$$

$\rightarrow$  Vyhovuje

## Mezní stav použitelnosti

Průhyb:

$$\rightarrow M_{b,k} = \frac{g_k L^2}{10} = -0,945 \text{ kN/m}$$

$$\rightarrow \delta = \frac{1}{E I_{Eff}} \left( \frac{5}{384} g_k L^4 + \frac{1}{16} M_{b,k} L^2 \right) = 4,651 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\rightarrow \delta = 4,651 \text{ mm} < t/10 = 8,7 \text{ mm}$$

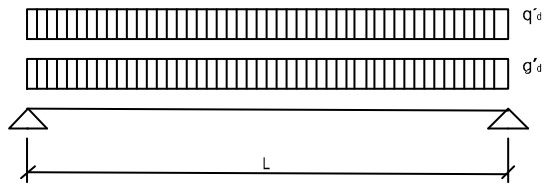
$\rightarrow$  Vyhovuje

Navržený trapézový plech vyhovuje na MSÚ i MSP pro zatížení v montážním stádiu.



## Stropnice 1

Statické schéma konstrukce:



Rozpětí stropnice

$$\rightarrow L = 7,2 \text{ m}$$

Zatěžovací šířka

$$\rightarrow l_{zat} = 2 \text{ m}$$

Materiály a materiálové vlastnosti:

Ocel: S 355  $\gamma_M = 1$

$$\rightarrow f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

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

Beton: C 25 /30  $\gamma_M = 1,5$

$$\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{cd} = 0,85f_{ck} / \gamma_M$$

$$\rightarrow f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow E_{cm} = 31000 \text{ MPa}$$

Zatížení:

Stálé zatížení stropnice

Zatížení	Plošné		$l_{zat}$ [m]	Líniové	
	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$g'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
VI. tíha nosníku	-	-	-	0,188	0,254
Skladba stropu	4,245	5,731	2	8,490	11,462
<b>Celkem líniové zatížení</b>				<b>8,678</b>	<b>11,715</b>

Tab. 36 – Stálé zatížení

Proměnné zatížení stropnice

Zatížení	Plošné		$l_{zat}$ [m]	Líniové	
	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$q'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Úžitné	2,5	3,375	2	5,000	6,750
Příčky	-	-	-	1,288	1,932
<b>Celkem líniové zatížení</b>				<b>6,288</b>	<b>8,682</b>

Tab. 37 – Proměnné zatížení

## Výpočet vnitřních sil

Reakce:

$$\rightarrow R_a = R_b = \frac{(g_d + q_d) \cdot L}{2} = 76,13 \text{ kN}$$

Posouvající síla:

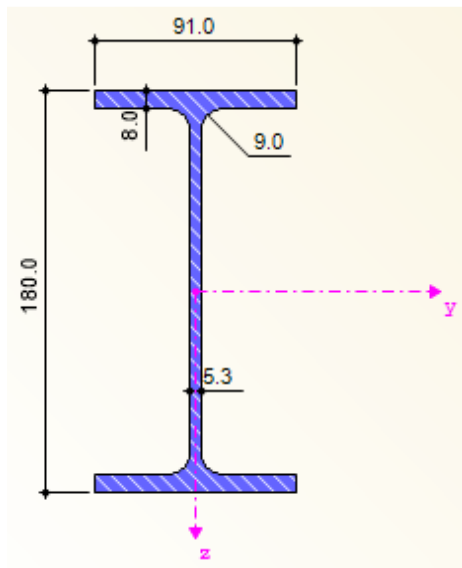
$$\rightarrow V_{Ed} = R_a = 76,13 \text{ kN}$$

Ohybový moment:

$$\rightarrow M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \cdot L^2}{8} = 137 \text{ kN/m}$$



## Návrh a posouzení ocelobetonového průřezu



Průřez :

IPE180

Rozměry průřezu:

- $h = 180 \text{ mm}$
- $b = 91 \text{ mm}$
- $A = 2395,0 \text{ mm}^2$
- $A_{v,z} = 1125,0 \text{ mm}^2$
- $I_y = 1,32E+07 \text{ mm}^4$
- $W_{Pl,y} = 166415,0 \text{ mm}^3$
- $W_{El,y} = 146329,0 \text{ mm}^3$

Účinná šířka desky

$$\rightarrow b_{eff} = \beta_0 \frac{L}{4} = 1350 \text{ mm} \quad \rightarrow \beta_0 = 0,75$$

**Pozn.:** Výpočet účinné šířky je proveden dle ČSN EN 1994-1-1 a je použit vztah pro výpočet účinné šířky na konci nosníku.

Rovnováha vnitřních sil

$$\rightarrow N_a = N_c = A_a f_{yd} = x b_{eff} f_{cd}$$

$$x = \frac{b_{eff} f_{cd}}{A_a f_{yd}} = 44,46 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Výška tlačené oblasti}$$

**Pozn.:** Neutrální osa leží v betonové desce. Tloušťka betonové desky  $h=70\text{mm}$

Rameno vnitřních sil

$$\rightarrow r = \frac{h_{IPE}}{2} + 50 + 70 - \frac{x}{2} = 187,8 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

$$\rightarrow M_{Pl,Rd} = N_a r = N_c r = 159,6 \text{ kN/m} > M_{Ed} = 137 \text{ kN/m}$$

→ Vyhovuje

Smyková únosnost

$$\rightarrow V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} f_{yd}}{\sqrt{3}} = 230,6 \text{ kN} > V_{Ed,Rd} = 76,13 \text{ kN}$$

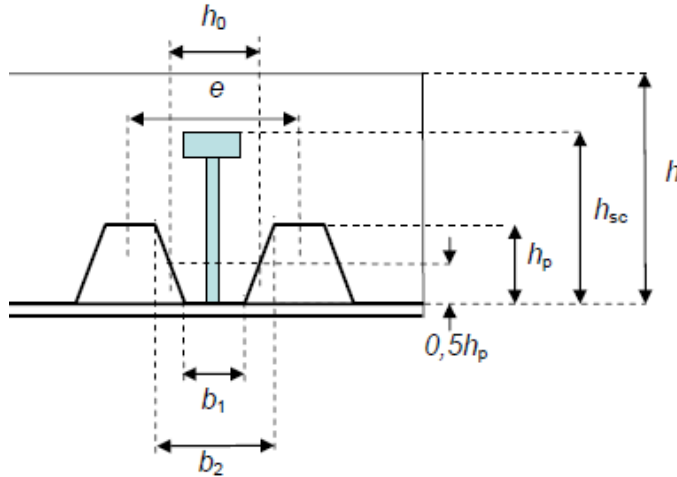
→ Vyhovuje

**Navržený průřez vyhovuje z hlediska MSÚ.**



## Spřažení

Schéma spřahovacího trnu:



Spřahovací trn → 22/100

### Rozměry trnu

$$\begin{aligned} \rightarrow d &= 22 \text{ mm} \\ \rightarrow h_{sc} &= 100 \text{ mm} \\ \rightarrow A &= 380,1 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### Materiálové vlastnosti

$$\begin{aligned} \rightarrow f_u &= 360 \text{ MPa} \\ \rightarrow \gamma_M &= 1,25 [-] \end{aligned}$$

Únosnost jednoho trnu:

$$\rightarrow P_{Rk,1} = 0,8 f_u \frac{A}{\gamma_V} = 87\,583 \text{ N}$$

$$\rightarrow P_{Rk,2} = (0,29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0,5}) = 98\,852 \text{ N}$$

$$\alpha = 1 [-] \quad \text{pro } h_{sc} > 4d$$

Návrhová únosnost jednoho trnu

$$\begin{aligned} \rightarrow P_{Rd,1} &= P_{Rk,1} \cdot k_t = 74,45 \text{ kN} \\ P_{Rd,2} &= P_{Rk,2} \cdot k_t = 84,02 \text{ kN} \end{aligned} \rightarrow P_{Rd} = \min(P_{Rd,1}; P_{Rd,2}) = 74,45 \text{ kN}$$

Redukční součinitel

$$\rightarrow k_t = \frac{0,7 b_1}{\sqrt{n_r} h_p} \left[ \frac{h_{sc}}{d} - 1 \right] = 1,183 [-]$$

$$\rightarrow k_t = 0,75$$

**Pozn.:** Pro trn v žebrové desce s žebry kolmo na nosník a trn s průměrem  $d > 22\text{mm}$  je maximální hodnota  $k_t = 0,75$ .

Výpočet množství trnů

$$\rightarrow F_{cf} = N_a = N_c = 850,2 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů

$$\rightarrow n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = 11,42 \rightarrow 12 \text{ trnů na jedné polovině}$$

Maximální počet spřahovacích trnů pro jednu polovinu nosníku je 14 při délce  $L/2 = 3,6\text{m}$ . Spřahovací trn se vloží do každé vlny trapézového plechu.



## Mezní stav použitelnosti – stropnice 1

### Parametry ideálního průřezu

#### Pracovní součinitel

$$\rightarrow n = \frac{E_a}{E'_c} = 13,55$$

#### Plocha ideálního průřezu

$$\rightarrow A_i = A_a + \frac{70 \cdot b_{\text{eff}}}{n} = 9370 \text{ mm}^2$$

#### Těžiště ideálního průřezu

$$\rightarrow e = 220 \text{ mm}$$

#### Moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$\rightarrow I_i = 7,062\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

### Posouzení pružného působení při provozním zatížení

#### Ohybový moment (charakteristický)

$$\rightarrow M_{Ek} = 98,17 \text{ kN/m}$$

#### Dolní vlákna

$$\rightarrow \sigma_{a,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = 302,5 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\rightarrow z_d = e = 220 \text{ mm}$$

#### Horní vlákna

$$\rightarrow \sigma_{a,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{n I_i} z_h = 6,057 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 21,25 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\rightarrow z_h = h - e = 80 \text{ mm}$$

$$\rightarrow h = (h_{IPE} + 50 + 70) = 300 \text{ mm}$$

### Posouzení průhybu od proměnného zatížení

$$\rightarrow \delta_2 = \frac{5 q_k L^4}{384 E I_i} = 14,84 \text{ mm} < \frac{L}{250} = 29 \text{ mm}$$

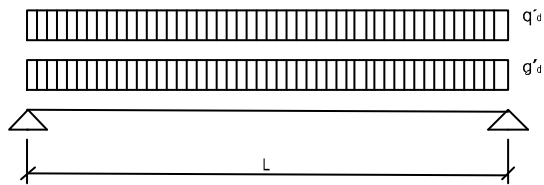
→ Vyhovuje

**Navržený průřez vyhovuje z hlediska MSP.**



## Stropnice 2

Statické schéma konstrukce:



Rozpětí stropnice

$$\rightarrow L = 3,6 \text{ m}$$

Zatěžovací šířka

$$\rightarrow l_{zat} = 2 \text{ m}$$

Materiály a materiálové vlastnosti:

Ocel: S 355  $\gamma_M = 1$

$$\rightarrow f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow E = 210000 \text{ MPa}$$

Beton: C 25 /30  $\gamma_M = 1,5$

$$\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow f_{cd} = 0,85f_{ck} / \gamma_M$$
$$\rightarrow f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow E = 31000 \text{ MPa}$$

Stálé zatížení stropnice

Zatížení	Plošné		$l_{zat}$ [m]	Líniové	
	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$g'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
VI. tíha nosníku	-	-	-	0,188	0,254
Skladba stropu	4,245	5,731	2	8,490	11,462
<b>Celkem líniové zatížení</b>				<b>8,678</b>	<b>11,715</b>

Tab. 38 – Stálé zatížení – stropnice 2

Proměnné zatížení stropnice

Zatížení	Plošné		$l_{zat}$ [m]	Líniové	
	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$q'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Užitné	2,5	3,750	2	5,000	7,500
<b>Celkem líniové zatížení</b>				<b>5,000</b>	<b>7,500</b>

Tab. 39 – Proměnné zatížení – stropnice 2

**Pozn.:** Dle dispozičního uspořádání tvoří kratší pole 1.NP spojovací chodba – nad stropnicemi nejsou příčky.

Reakce:

$$\rightarrow R_a = R_b = \frac{(g_d + q_d) \cdot L}{2} = 34,38 \text{ kN}$$

Posouvající síla:

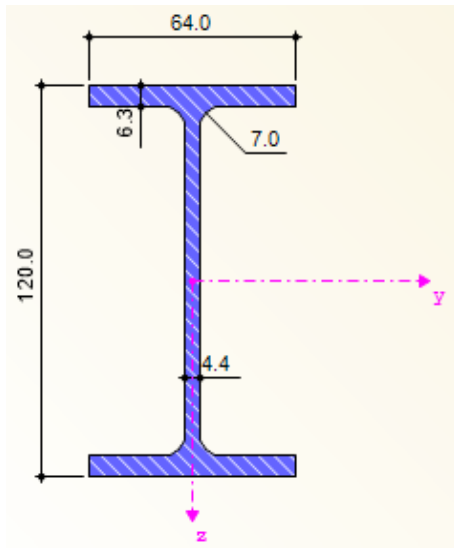
$$\rightarrow V_{Ed} = R_a = 34,38 \text{ kN}$$

Ohybový moment:

$$\rightarrow M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \cdot L^2}{8} = 31,13 \text{ kN/m}$$



## Posouzení ocelobetonového průřezu



Průřez :

IPE120

Rozměry průřezu:

→ $h$	=	120 mm
→ $b$	=	64 mm
→ $A$	=	1321,0 mm <sup>2</sup>
→ $A_{v,z}$	=	631,0 mm <sup>2</sup>
→ $I_y$	=	3,18E+06 mm <sup>4</sup>
→ $W_{Pl,y}$	=	60725,0 mm <sup>3</sup>
→ $W_{El,y}$	=	52959,0 mm <sup>3</sup>

Účinná šířka desky

$$\rightarrow b_{eff} = \beta_0 \frac{L}{4} = 675 \text{ mm} \quad \rightarrow \beta_0 = 0,75$$

Rovnováha vnitřních sil

$$\rightarrow N_a = N_c = A_a f_{yd} = x b_{eff} f_{cd}$$
$$x = \frac{b_{eff} f_{cd}}{A_a f_{yd}} = 49,04 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Výška tlačené oblasti}$$

Rameno vnitřních sil

$$\rightarrow r = \frac{h_{IPE}}{2} + 50 + 70 - \frac{x}{2} = 155,5 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

$$\rightarrow M_{Pl,Rd} = N_a r = N_c r = 71,14 \text{ kN/m} > M_{Ed} = 30,94 \text{ kN/m}$$

→ Vyhovuje

Smyková únosnost

$$\rightarrow V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} f_{yd}}{\sqrt{3}} = 129,3 \text{ kN} > V_{Ed,Rd} = 34,38 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

Pozn.: Jedná se o tzv, malý smyk, neuvažuje se vliv smyku na únosnost v ohybu.

**Navržený ocelobetonový profil vyhovuje z hlediska MSÚ.**





## Spřažení

Hodnoty návrhové únosnosti jednoho trnu jsou shodné s předchozím posouzením stropnice.

### Návrhová únosnost trnu

$$\begin{aligned} \rightarrow P_{Rd,1} &= P_{Rk,1} \cdot k_t = 74,45 \text{ kN} \\ P_{Rd,2} &= P_{Rk,2} \cdot k_t = 84,02 \text{ kN} \end{aligned} \rightarrow P_{Rd} = \min(P_{Rd,1}; P_{Rd,2}) = 74,45 \text{ kN}$$

### Potřebný počet trnů

$$\rightarrow F_{cf} = N_a = N_c = 469 \text{ kN}$$

### Potřebný počet trnů

$$\rightarrow n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd,1}} = 6,299 \rightarrow 7 \text{ trnů na jedné polovině nosníka}$$

Maximální počet spřahovacích trnů pro jednu polovinu nosníku je 7 při délce  $L/2 = 1,8\text{m}$ . Spřahovací trn se vloží do každé vlny trapézového plechu.

## Mezní stav použitelnosti

### Parametry ideálního průřezu

#### Pracovní součinitel

$$\rightarrow n = \frac{E_a}{E'_c} = 13,55$$

#### Plocha ideálního průřezu

$$\rightarrow A_i = A_a + \frac{70 \cdot b_{\text{eff}}}{n} = 4344 \text{ mm}^2$$

#### Těžiště ideálního průřezu

$$\rightarrow e = 165 \text{ mm}$$

#### Moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$\rightarrow I_i = 2,475\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

## Posouzení pružného působení

Dolní vlákna

$$\sigma_{a,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = 149,2 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\rightarrow z_d = e = 161 \text{ mm}$$

Horní vlákna

$$\rightarrow \sigma_{a,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{n I_i} z_h = 8,156 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 21,25 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\rightarrow z_h = h - e = 79 \text{ mm}$$

$$\rightarrow h = (h_{IPE} + 50 + 70) = 240 \text{ mm}$$



## Posouzení průhybu

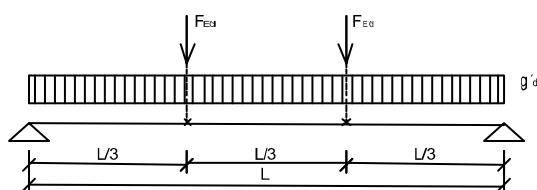
### Průhyb

$$\rightarrow \delta_2 = \frac{5 q_k L^4}{384 E I_i} = 2,19 \text{ mm} < \frac{L}{250} = 14 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

## Návrh průvlaku 1. NP

### Statické schéma průvlaku:



### Rozpětí stropnice

$$\rightarrow L = 6 \text{ m}$$

### Zatěžovací šířka

$$\rightarrow l_{\text{zat}} = 2 \text{ m}$$

### Materiály a materiálové vlastnosti:

Ocel: S 355  $\gamma_M = 1$  [-]

$$\rightarrow f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

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

Beton: C 25 /30  $\gamma_M = 1,5$  [-]

$$\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow E = 31000 \text{ MPa}$$

### Stálé zatížení průvlaku

Zatížení	Plošné		$l_{\text{zat}}$ [m]	Liniové	
	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$g'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
VI. tíha nosníku	-	-	-	0,307	0,415
<b>Celkem liniové zatížení</b>				<b>0,307</b>	<b>0,415</b>

Tab. 40 – Liniové zatížení průvlaku – stálé

### Reakce stropnic

$$\rightarrow G_{Ek} = 46,71 \text{ kN} \quad \gamma_M = 1,35$$

$$\rightarrow G_{Ed} = 63,06 \text{ kN}$$

### Proměnné liniové zatížení průvlaku

Zatížení	Plošné		$l_{\text{zat}}$ [m]	Liniové	
	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$q'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Příčky	-	-	-	1,500	2,250
<b>Celkem liniové zatížení</b>				<b>1,500</b>	<b>2,250</b>

Tab. 41 – Liniové zatížení průvlaku - proměnné



Reakce stropnic

$$\begin{aligned} \rightarrow Q_{Ek} &= 31,64 \text{ kN} & \gamma_M &= 1,5 \\ \rightarrow Q_{Ed} &= 47,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

Celkové zatížení od stropnic

$$\begin{aligned} \rightarrow F_{Ek} &= G_{Ek} + Q_{Ek} = 78,35 \text{ kN} \\ \rightarrow F_{Ed} &= G_{Ed} + Q_{Ed} = 110,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

## Výpočet vnitřních sil

Reakce:

$$\rightarrow R_a = R_b = \frac{(g_d + q_d) \cdot L + F_{Ed}}{2} = 117,4 \text{ kN}$$

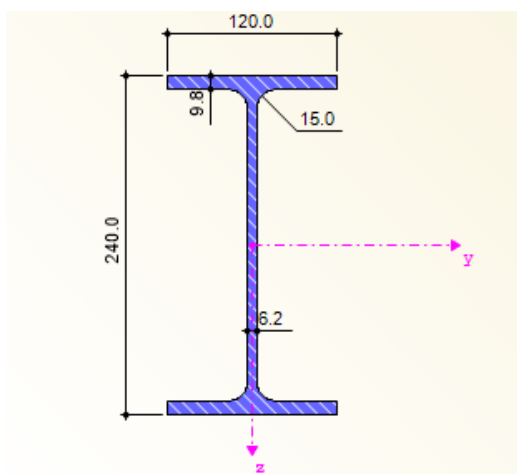
Posouvající síla:

$$\rightarrow V_{Ed} = R_a = 117,4 \text{ kN}$$

Ohybový moment:

$$\rightarrow M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \cdot L^2}{8} + R_a \frac{L}{3} = 245,7 \text{ kNm}$$

Průřez : IPE 240



Průřezové charakteristiky

$$\begin{aligned} \rightarrow h &= 240 \text{ mm} \\ \rightarrow b &= 120 \text{ mm} \\ \rightarrow A &= 1321,0 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow A_{v,z} &= 631,0 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow I_y &= 3,18 \text{E}+06 \text{ mm}^4 \\ \rightarrow W_{Pl,y} &= 60725,0 \text{ mm}^3 \\ \rightarrow W_{El,y} &= 52959,0 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Účinná šířka desky

$$\rightarrow b_{eff} = \beta_0 \frac{L}{4} = 1125 \text{ mm} \quad \rightarrow \beta_0 = 0,75$$

Rovnováha vnitřních sil

$$\rightarrow N_a = N_c = A_a f_{yd} = x b_{eff} f_{cd}$$

$$x = \frac{b_{eff} f_{cd}}{A_a f_{yd}} = 68,96 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Výška tlačené oblasti}$$

Rameno vnitřních sil

$$\rightarrow r = \frac{h_{IPE}}{2} + 50 + 70 - \frac{x}{2} = 205,5 \text{ mm}$$



### Moment únosnosti

$$\rightarrow M_{Pl,Rd} = N_a r = N_c r = 285,4 \text{ kN/m} > M_{Ed} = 245,7 \text{ kN/m}$$

→ Vyhovuje

### Smyková únosnost

$$\rightarrow V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} f_{yd}}{\sqrt{3}} = 392,5 \text{ kN} > V_{Ed,Rd} = 117,4 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

**Pozn.:** Jedná se o tzv. malý smyk, neuvažuje se vliv smyku na únosnost v ohybu.

**Navržený profil IPE 240 vyhovuje z hlediska MSÚ.**

### Spřažení

$$\begin{aligned} \rightarrow P_{Rd,1} &= P_{Rk,1} \cdot k_t = 87,58 \text{ kN} \\ P_{Rd,2} &= P_{Rk,2} \cdot k_t = 98,85 \text{ kN} \end{aligned} \rightarrow P_{Rd} = \min(P_{Rd,1}; P_{Rd,2}) = 87,58 \text{ kN}$$

### Redukce

$$\rightarrow k_t = 0,60 \frac{b_0}{h_p} \left[ \frac{h_{sc}}{d} - 1 \right] = 1,014 \text{ [-]}$$

$$\rightarrow k_t = 1$$

$$n_r = 1 \text{ ks} \rightarrow \text{počet trnů v jedné vlně}$$

$$h_p = 50 \text{ mm} \rightarrow \text{výška vlny}$$

$$b_0 = 84,5 \text{ mm} \rightarrow \text{šířka vlny}$$

**Pozn.:** Pro trn v žebrové desce s žebry rovnoběžně na nosník je maximální hodnota  $k_t = 1,0$ .

### Výpočet množství trnů

$$\rightarrow F_{cf} = N_a = N_c = 1389 \text{ kN}$$

### Potřebný počet trnů na polovině nosníku

$$\rightarrow n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd,1}} = 15,86 \rightarrow 16 \text{ trnů}$$

### Vzdálenost trnů na polovině nosníku

$$\rightarrow a = \frac{L/2}{n_f} = 187,5 \text{ mm}$$

### Minimální vzdálenost trnů

$$\rightarrow 5d = 110 \text{ mm} < a = 187,5 \text{ mm}$$

Podmínka pro minimální vzdálenost trnů je splněna. Na jednu polovinu nosníku lze umístit 16 trnů s osovou vzdáleností **a = 187,5mm**.



## Mezní stav použitelnosti

### Parametry ideálního průřezu

#### Pracovní součinitel

$$n = \frac{E_a}{E'_c} = 13,55$$

#### Plocha ideálního průřezu

$$\rightarrow A_i = A_a + \frac{70 \cdot b_{\text{eff}}}{n} = 9725 \text{ mm}^2$$

#### Těžiště ideálního průřezu

$$\rightarrow e = 243 \text{ mm}$$

#### Moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$\rightarrow I_i = 1,396\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

## Posouzení pružného působení nosníku při provozním zatížení

#### Ohybový moment

$$\rightarrow M_{Ek} = 163,9 \text{ kN/m}$$

#### Dolní vlákna

$$\sigma_{a,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = 284,8 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

#### Horní vlákna

$$\rightarrow \sigma_{a,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{n I_i} z_h = 3,249 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 21,25 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

## Posouzení průhybu od proměnného zatížení

#### Průhyb

$$\rightarrow \delta_2 = \frac{23}{648} \frac{Q_k L^3}{E I_i} = 8,28 \text{ mm} < \frac{L}{250} = 24 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje

**Navržený ocelobetonový průřez vyhovuje z hlediska MSP.**



### 3.9.2 Střešní konstrukce

Následující výpočet je uveden pro nejlépe zatížené stropní nosníky ve střešní konstrukci.

#### Zatížení stropnice:

- vlastní tíha stropní desky
- vlastní tíha nosníku
- zatížení sněhem

#### Zatížení průvlaku:

- vlastní tíha nosníku
- reakce od stropnic

#### Kombinace zatížení:

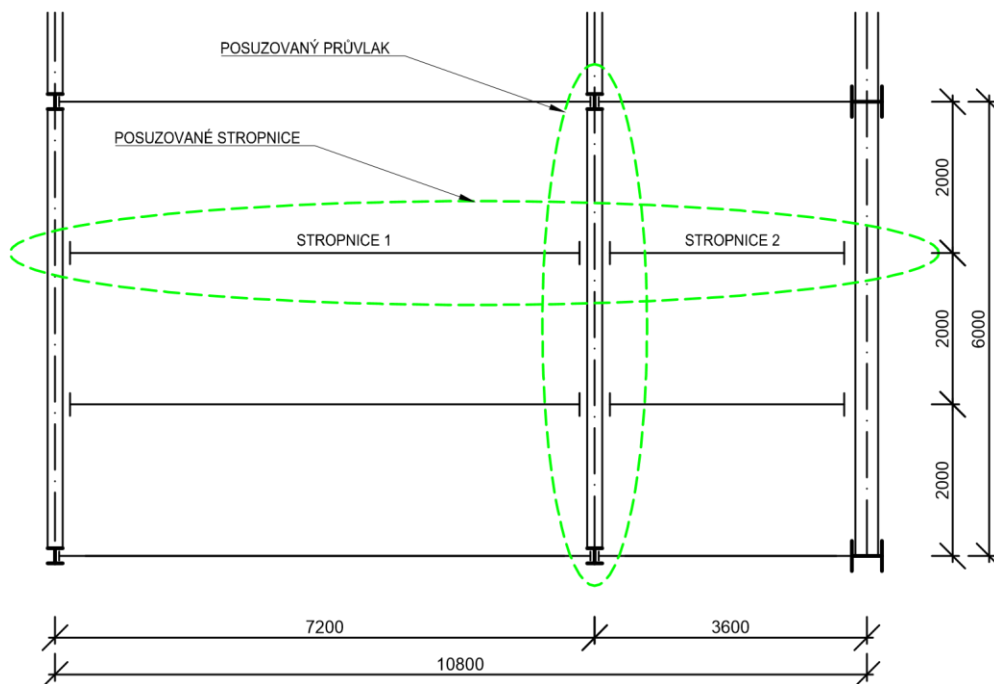
Pro výpočet vnitřních sil na stropnici bude použita kombinace 6.10 dle ČSN EN 1990.

#### Posouzení MSÚ

- momentová únosnost
- smyková únosnost
- posouzení spřažení

#### Posouzení MSP

- pružné působení spřaženého nosníku při provozním zatížení
- průhyb



Obr. 32 – Posuzované stropní nosníky - střecha

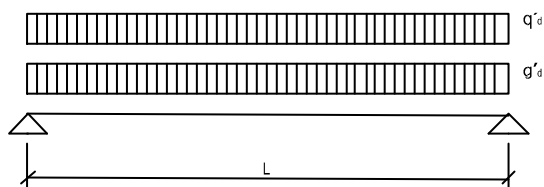


## Trapézový plech

Pro střešní konstrukci bude použit stejný trapezový plech jako v případě stropní konstrukce 1.NP.

### Stropnice 1

Statické schéma konstrukce:



Rozpětí stropnice

$$\rightarrow L = 7,2 \text{ m}$$

Zatěžovací šířka

$$\rightarrow l_{zat} = 2 \text{ m}$$

Materiály a materiálové vlastnosti:

Ocel: S 355  $\gamma_M = 1$

$$\rightarrow f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow E = 210000 \text{ MPa}$$

Beton: C 25 /30  $\gamma_M = 1,5$

$$\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow f_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_M$$
$$\rightarrow f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow E = 31000 \text{ MPa}$$

Stálé zatížení stropnice

Zatížení	Plošné		$l_{zat}$ [m]	Líniové	
	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$g'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
VI. tíha nosníku	-	-	-	0,104	0,140
Skladba stropu	3,501	4,726	2	7,002	9,453
<b>Celkem líniové zatížení</b>				<b>7,106</b>	<b>9,593</b>

Proměnné zatížení stropnice

Zatížení	Plošné		$l_{zat}$ [m]	Líniové	
	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$q'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Sníh	0,56	0,840	2	1,120	1,680
<b>Celkem líniové zatížení</b>				<b>1,120</b>	<b>1,680</b>

Reakce:

$$\rightarrow R_a = R_b = \frac{(g_d + q_d) \cdot L}{2} = 40,58 \text{ kN}$$

Posouvající síla:

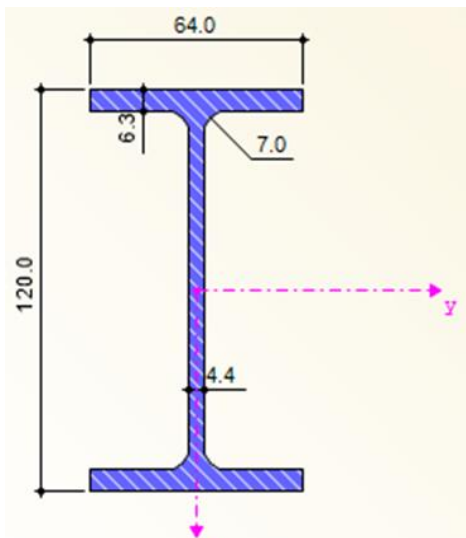
$$\rightarrow V_{Ed} = R_a = 40,58 \text{ kN}$$

Ohybový moment:

$$\rightarrow M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \cdot L^2}{8} = 73,05 \text{ kN/m}$$



## Posouzení ocelobetonového průřezu



Průřez :

IPE120

Rozměry průřezu:

$$\begin{aligned} \rightarrow h &= 120 \text{ mm} \\ \rightarrow b &= 64 \text{ mm} \\ \rightarrow A &= 1321,0 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow A_{v,z} &= 631,0 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow I_y &= 3,18E+06 \text{ mm}^4 \\ \rightarrow W_{Pl,y} &= 60725,0 \text{ mm}^3 \\ \rightarrow W_{El,y} &= 52959,0 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Účinná šířka desky

$$\rightarrow b_{eff} = \beta_0 \frac{L}{4} = 1350 \text{ mm} \quad \rightarrow \beta_0 = 0,75$$

Rovnováha vnitřních sil

$$\begin{aligned} \rightarrow N_a = N_c &= A_a f_{yd} = x b_{eff} f_{cd} \\ x &= \frac{A_a f_{yd}}{b_{eff} f_{cd}} = 24,52 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Výška tlačené oblasti} \end{aligned}$$

Rameno vnitřních sil

$$\rightarrow r = \frac{h_{IPE}}{2} + 50 + 70 - \frac{x}{2} = 167,7 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

$$\rightarrow M_{Pl,Rd} = N_a r = N_c r = 78,66 \text{ kN/m} > M_{Ed} = 73,05 \text{ kN/m}$$

→ Vyhovuje na MSÚ

### Spřažení

Návrhová únosnost jednoho trnu

$$\begin{aligned} \rightarrow P_{Rd,1} &= P_{Rk,1} \cdot k_t = 74,45 \text{ kN} \\ P_{Rd,2} &= P_{Rk,2} \cdot k_t = 84,02 \text{ kN} \end{aligned} \quad \rightarrow P_{Rd} = \min(P_{Rd,1}; P_{Rd,2}) = 74,45 \text{ kN}$$

(Podrobný výpočet viz str. 61)

Počet trnů

$$\rightarrow F_{cf} = N_a = N_c = 469 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů

$$\rightarrow n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd,1}} = 6,299 \rightarrow 7 \text{ trnů na jedné polovině nosníka}$$

Maximální počet spřahovacích trnů pro jednu polovinu nosníku je 14 při délce  $L/2=3,6\text{m}$ . Spřahovací trn se vloží do každé vlny druhé vlny.





## Mezní stav použitelnosti

### Parametry ideálního průřezu

#### Pracovní součinitel

$$n = \frac{E_a}{E'_c} = 13,55$$

#### Plocha ideálního průřezu

$$\rightarrow A_i = A_a + \frac{70 \cdot b_{\text{eff}}}{n} = 8296 \text{ mm}^2$$

#### Těžiště ideálního průřezu

$$\rightarrow e = 182 \text{ mm}$$

#### Moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$\rightarrow I_i = 2,938\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

## Posouzení pružného působení nosníku při provozním zatížení

### Ohybový moment

$$\rightarrow M_{Ek} = 53,3 \text{ kN/m}$$

#### Dolní vlákna

$$\sigma_{a,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = 330 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\rightarrow z_d = e = 182 \text{ mm}$$

#### Horní vlákna

$$\rightarrow \sigma_{c,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{n I_i} z_h = 13,14 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 21,25 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\rightarrow z_h = h - e = 62 \text{ mm}$$

$$\rightarrow h = (h_{IPE} + 50 + 70) = 120 \text{ mm}$$

## Posouzení průhybu nosníku

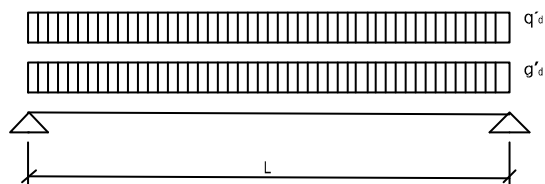
$$\rightarrow \delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_k L^4}{E I_i} = 6,35 \text{ mm} < \frac{L}{250} = 29 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje



## Stropnice 2

Statické schéma konstrukce:



Rozpětí stropnice

$$\rightarrow L = 3,6 \text{ m}$$

Zatěžovací šířka

$$\rightarrow l_{zat} = 2 \text{ m}$$

Materiály a materiálové vlastnosti:

Ocel: S 355  $\gamma_M = 1$

$$\rightarrow f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow E = 210000 \text{ MPa}$$

Beton: C 25 /30  $\gamma_M = 1,5$

$$\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow f_{cd} = 0,85f_{ck} / \gamma_M$$
$$\rightarrow f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$$
$$\rightarrow E = 31000 \text{ MPa}$$

Stálé zatížení stropnice

Zatížení	Plošné		$l_{zat}$ [m]	Liniové	
	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$g'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
VI. tíha nosníku	-	-	-	0,104	0,140
Skladba stropu	3,501	4,726	2	7,002	9,453
<b>Celkem liniové zatížení</b>				<b>7,106</b>	<b>9,593</b>

Proměnné zatížení stropnice

Zatížení	Plošné		$l_{zat}$ [m]	Liniové	
	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$q'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Sníh	1,68	2,520	2	3,360	5,040
<b>Celkem liniové zatížení</b>				<b>3,360</b>	<b>5,040</b>

Reakce:

$$\rightarrow R_a = R_b = \frac{(g_d + q_d) \cdot L}{2} = 26,34 \text{ kN}$$

Posouvající síla:

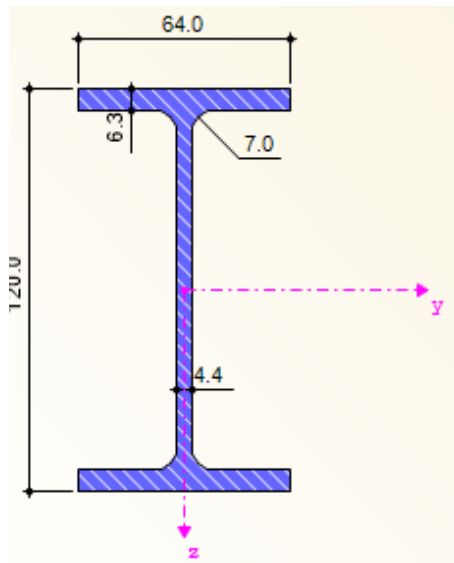
$$\rightarrow V_{Ed} = R_a = 26,34 \text{ kN}$$

Ohybový moment:

$$\rightarrow M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \cdot L^2}{8} = 23,7 \text{ kN/m}$$



## Posouzení průřezu



Průřez :

IPE120

Rozměry průřezu:

$$\begin{aligned} \rightarrow h &= 120 \text{ mm} \\ \rightarrow b &= 64 \text{ mm} \\ \rightarrow A &= 1321,0 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow A_{v,z} &= 631,0 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow I_y &= 3,18E+06 \text{ mm}^4 \\ \rightarrow W_{Pl,y} &= 60725,0 \text{ mm}^3 \\ \rightarrow W_{El,y} &= 52959,0 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Účinná šířka desky

$$\rightarrow b_{eff} = \beta_0 \frac{L}{4} = 675 \text{ mm} \quad \rightarrow \beta_0 = 0,75$$

Rameno vnitřních sil

$$\rightarrow r = \frac{h_{IPE}}{2} + 50 + 70 - \frac{x}{2} = 155,5 \text{ mm}$$

Rovnováha vnitřních sil

$$\begin{aligned} \rightarrow N_a = N_c = A_a f_{yd} = x b_{eff} f_{cd} \\ x = \frac{A_a f_{yd}}{b_{eff} f_{cd}} = 49,04 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Výška tlačené oblasti} \end{aligned}$$

Moment únosnosti

$$\rightarrow M_{Pl,Rd} = N_a r = N_c r = 75,79 \text{ kN/m} > M_{Ed} = 23,7 \text{ kN/m}$$

→ Vyhovuje na MSÚ

Návrhová únosnost jednoho trnu

$$\begin{aligned} \rightarrow P_{Rd,1} = P_{Rk,1} \cdot k_t = 74,45 \text{ kN} \\ P_{Rd,2} = P_{Rk,2} \cdot k_t = 84,02 \text{ kN} \quad \rightarrow P_{Rd} = \min(P_{Rd,1}; P_{Rd,2}) = 74,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

(Podrobný výpočet viz str. 61)

Počet trnů

$$\rightarrow F_{cf} = N_a = N_c = 469 \text{ kN}$$

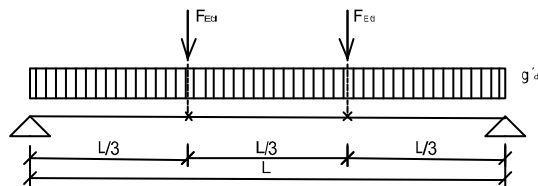
Potřebný počet trnů

$$\rightarrow n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd,1}} = 6,299 \rightarrow 7 \text{ trnů na jedné polovině nosníka}$$



## Průvlak

### Statické schéma průvlaku:



### Rozpětí nosníku

$$\rightarrow L = 6 \text{ m}$$

### Materiály a materiálové vlastnosti:

Ocel: S 355  $\gamma_M = 1$  [-]  
 $\rightarrow f_{yk} = 355 \text{ MPa}$   
 $\rightarrow f_{yd} = 355 \text{ MPa}$   
 $\rightarrow E = 210000 \text{ MPa}$

Beton: C 25 /30  $\gamma_M = 1,5$  [-]  
 $\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ MPa}$   
 $\rightarrow f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$   
 $\rightarrow E = 31000 \text{ MPa}$

### Stálé zatížení průvlaku

Zatížení	Plošné		$l_{\text{zat}}$ [m]	Liniové	
	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]		$g'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g'_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
VI. tíha nosníku	-	-	-	0,224	0,302
<b>Celkem liniové zatížení</b>				<b>0,224</b>	<b>0,302</b>

### Reakce stropnic

$$\rightarrow G_{Ek} = 38,37 \text{ kN} \quad \gamma_M = 1,35$$
$$\rightarrow G_{Ed} = 51,8 \text{ kN}$$

### Proměnné zatížení

#### Reakce stropnic

$$\rightarrow Q_{Ek} = 10,08 \text{ kN} \quad \gamma_M = 1,5$$
$$\rightarrow Q_{Ed} = 15,12 \text{ kN}$$
  
$$\rightarrow F_{Ek} = G_{Ek} + Q_{Ek} = 48,45 \text{ kN}$$
$$\rightarrow F_{Ed} = G_{Ed} + Q_{Ed} = 66,92 \text{ kN}$$

### Reakce:

$$\rightarrow R_a = R_b = \frac{(g_d + q_d) \cdot L + F_{Ed}}{2} = 74,43 \text{ kN}$$

### Posouvající síla:

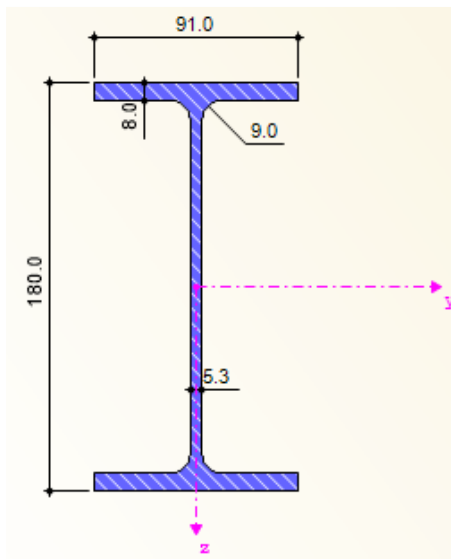
$$\rightarrow V_{Ed} = R_a = 74,43 \text{ kN}$$

### Ohybový moment:

$$\rightarrow M_{Ed} = \frac{(g_d + q_d) \cdot L^2}{8} + R_a \frac{L}{3} = 148,9 \text{ kN/m}$$



## Mezní stav únosnosti



Průřez :

IPE180

Rozměry průřezu:

→ h	=	180 mm
→ b	=	91 mm
→ A	=	2395,0 mm <sup>2</sup>
→ A <sub>v,z</sub>	=	1125,0 mm <sup>2</sup>
→ I <sub>y</sub>	=	1,32E+07 mm <sup>4</sup>
→ W <sub>Pl,y</sub>	=	166415,0 mm <sup>3</sup>
→ W <sub>El,y</sub>	=	146329,0 mm <sup>3</sup>

Účinná šířka desky

$$\rightarrow b_{eff} = \beta_0 \frac{L}{4} = 1500 \text{ mm} \quad \rightarrow \beta_0 = 0,75$$

Rovnováha vnitřních sil

$$\rightarrow N_a = N_c = A_a f_{yd} = x b_{eff} f_{cd}$$

$$x = \frac{b_{eff} f_{cd}}{A_a f_{yd}} = 53,35 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Výška tlačené oblasti}$$

Rameno vnitřních sil

$$\rightarrow r = \frac{h_{IPE}}{2} + 50 + 70 - \frac{x}{2} = 183,3 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

$$\rightarrow M_{Pl,Rd} = N_a r = N_c r = 155,9 \text{ kN/m} > M_{Ed} = 148,9 \text{ kN/m}$$

→ Vyhovuje

Smyková únosnost

$$\rightarrow V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} f_{yd}}{\sqrt{3}} = 230,6 \text{ kN} > V_{Ed,Rd} = 74,43 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

Navržený ocelobetonový průřez vyhovuje z hlediska MSÚ.



## Mezní stav použitelnosti

### Parametry ideálního průřezu

#### Pracovní součinitel

$$n = \frac{E_a}{E'_c} = 13,55$$

#### Plocha ideálního průřezu

$$\rightarrow A_i = A_a + \frac{70 \cdot b_{\text{eff}}}{n} = 10145 \text{ mm}^2$$

#### Těžiště ideálního průřezu

$$\rightarrow e = 214 \text{ mm}$$

#### Moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$\rightarrow I_i = 6,749\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

## Posouzení pružného působení při provozním zatížení

### Ohybový moment

$$\rightarrow M_{Ek} = 30,24 \text{ kN/m}$$

### Horní vlákna

$$\sigma_{a,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = 95,85 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

### Dolní vlákna

$$\rightarrow \sigma_{a,\text{max}} = \frac{M_{Ek}}{n I_i} z_h = 2,186 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 21,25 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

## Posouzení průhybu

$$\rightarrow \delta_2 = \frac{23}{648} \frac{q_k L^4}{E I_i} = 5,45 \text{ mm} < \frac{L}{250} = 24 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje



## Přípoje stropních nosníků

Pro všechny přípoje stropních nosníků je použita čelní deska, rozměry čelní desky jsou pro všechny nosníky stanoveny na základě malých roztečí šroubů viz [10] kap. 3.5.3.

### Použité rozteče šroubů

$$\rightarrow e_1 = e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$\rightarrow p_1 = p_2 = 40 \text{ mm}$$

### Rozměry čelní desky

$$\rightarrow b = h = 2 e_1 + p_1 = 100 \text{ mm}$$

### Návrh šroubů: M 16 8.8

Únosnost šroubu ve stříhu

$$\rightarrow F_{v,Rd,1} = 32,5 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v otláčení (S355, malé rozteče)

$$\rightarrow F_{b,Rd,1} = 69 \text{ kN} \quad \rightarrow t = 10 \text{ mm}$$

### Přípoj stropnice na průvlak

#### Reakce od nosníku

$$\rightarrow R_{Ed,1} \text{ - Reakce od delší stropnice}$$

$$\rightarrow R_{Ed,2} \text{ - Reakce od kratší stropnice}$$

$$\rightarrow R_{Ed} = \max ( R_{Ed,1} \quad R_{Ed,2} )$$

	$R_{Ed,1}$ [kN]	$R_{Ed,2}$ [kN]	$R_{Ed}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$n_v$ [-]	$n_b$ [-]	Návrh
1.NP	76,13	37,66	76,13	41,6	34,5	1,83	2,21	4x M16 5.6
2.NP	41,48	26,79	41,48	41,6	34,5	1,00	1,20	4x M16 5.6

#### Redukce únosnosti v otláčení – vliv tloušťky stojiny průvlaku

$$\rightarrow F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rd,1} t_2}{t} = 34,5 \text{ kN} \quad \rightarrow t_1 = 10 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka čelní desky}$$

$$\rightarrow t_2 = 5 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka stojiny průvlaku}$$

#### Potřebný počet šroubů

Z hlediska otláčení

$$\rightarrow n_b = \frac{R_{Ed}}{F_{b,Rd}}$$

Z hlediska stříhu

$$\rightarrow n_v = \frac{R_{Ed}}{F_{v,Rd}}$$



## Stropnice na sloup

Pro přípoj stropnice na sloup lze použít stejné šrouby a čelní desku jako pro přípoj stropnice na průvlak.

## Přípoj průvlaku na sloup

### Únosnost šroubu ve stříhu

$$\rightarrow F_{v,Rd,1} = 41,6 \text{ kN}$$

### Únosnost šroubu v otláčení

$$\rightarrow F_{b,Rd,1} = 73,66 \text{ kN} \quad \rightarrow t = 10 \text{ mm}$$

	$R_{Ed}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$n_v$ [-]	$n_b$ [-]	Návrh
1.NP	117,4	32,5	42,78	3,61	2,74	4x M16 5.6
2.NP	41,42	32,5	42,78	1,27	0,97	2x M16 5.6

### Redukce únosnosti v otláčení – vliv tloušťky stojiny sloupu

$$\rightarrow F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rd,1} t_2}{t} = 42,78 \text{ kN} \quad \rightarrow t_1 = 8 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka čelní desky}$$
$$\rightarrow t_2 = 6,2 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka stojiny průvlaku}$$

### Potřebný počet šroubů

Z hlediska otláčení

$$\rightarrow n_b = \frac{R_{Ed}}{F_{b,Rd}}$$

Z hlediska stříhu

$$\rightarrow n_v = \frac{R_{Ed}}{F_{v,Rd}}$$

## Posouzení svarů

### Koutový svar

$$\rightarrow 2 \times a = 3 \text{ mm}$$

$$\rightarrow L_{we} = 100 \text{ mm}$$

$$\rightarrow f_u = 510 \text{ MPa}$$

### Korelační součinitel

$$\rightarrow \beta_w = 0,9$$

$$\rightarrow \gamma_{M2} = 1,25$$

### Návrhová pevnost

$$\rightarrow f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = 261,7 \text{ MPa}$$

### Únosnost svaru

$$\rightarrow F_{w,Rd} = 2 a L_{we} f_{vw,d}$$

$$F_{w,Rd} = 157,04 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$F_{w,Rd} = 157,04 \text{ kN} > R_{Ed,1} = 117,40 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

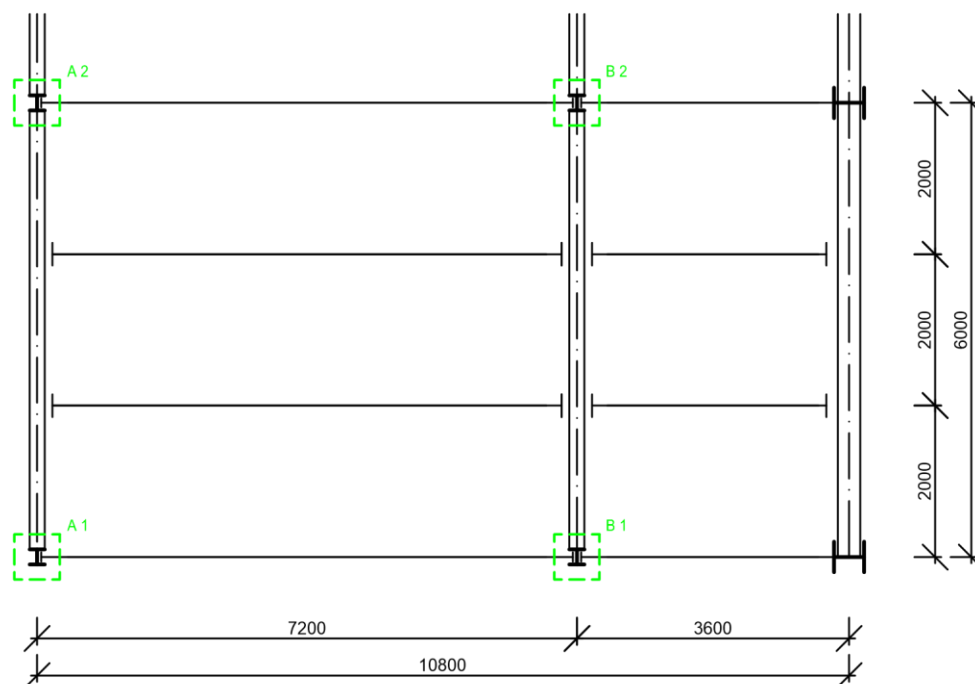




### 3.9.3 Posouzení sloupů

Při návrhu bude posouzen vnitřní sloup B2 (viz *obr.24*). Sloup je namáhán centrickým tlakem a je zatížen největší osovou silou. Ohybové momenty mohou vzniknout pouze od excentricit při nestejných reakcích stropních nosníků připojených na pásnice sloupu. V tomto případě jsou průvlaky stejně dlouhé a případný rozdíl reakcí od šachovnicového uspořádání proměnného zatížení je zanedbatelný. Stropnice, které nejsou stejně dlouhé jsou připojeny na stojinu a tudíž nevzniká excentricita vůči ose sloupu. Z hlediska namáhání ohybovým momentem jsou na tom nejhůř sloupy A1 a B1, které jsou však zatíženy menší osovou silou.

Označení posuzovaných sloupů:



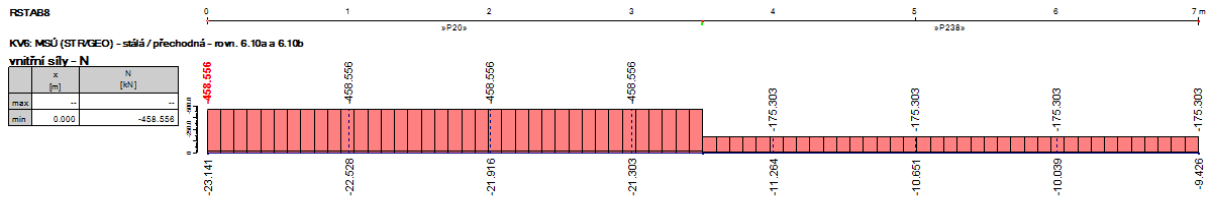
 Označení posuzovaných sloupů

*Obr. 33 – Posuzované sloupy*



## Posouzení sloupu B2

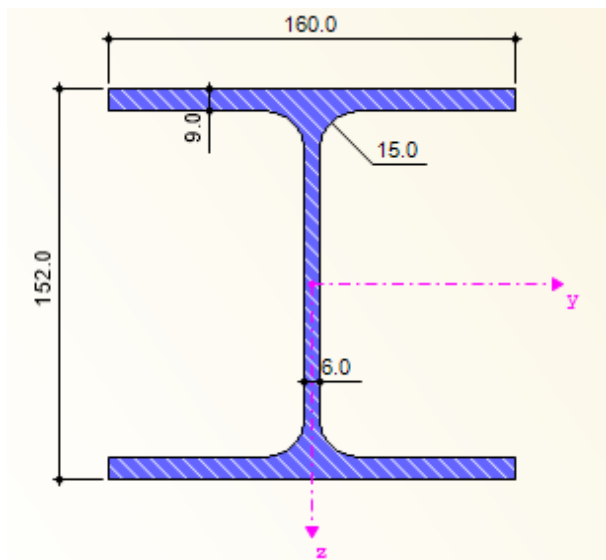
### Normálová síla



### Vnitřní síly

$$\begin{aligned} \rightarrow N_{Ed} &= 458,6 \text{ kN} \\ \rightarrow M_{Ed,y} &= 0 \text{ kN/m} \\ \rightarrow M_{Ed,z} &= 0 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

### Návrh a posouzení průřezu



Průřez :  
HEA 160

#### Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} \rightarrow h &= 152 \text{ mm} \\ \rightarrow b &= 160 \text{ mm} \\ \rightarrow t_w &= 6 \text{ mm} \\ \rightarrow t_f &= 9 \text{ mm} \\ \rightarrow A &= 3877,0 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow i_y &= 65,70 \text{ mm}^4 \\ \rightarrow i_z &= 39,80 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

#### Materiálové charakteristiky:

$$\begin{aligned} \rightarrow f_{yk} &= 235 \text{ MPa} & \gamma_M &= 1 [-] \\ \rightarrow f_{yd} &= 235 \text{ MPa} \end{aligned}$$

#### Zatřídění průřezu:

Třída průřezu 1



### Výpočet vzpěrných parametrů:

#### Vzpěrné délky:

$$\rightarrow L_{cr,y} = 3,5 \text{ m}$$

$$\rightarrow L_{cr,z} = 3,5 \text{ m}$$

#### Štíhlost sloupů:

$$\rightarrow \lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = 53,27$$

$$\rightarrow \lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = 87,94$$

Pozn.: Vzpěrná délka je shodná s konstrukční výškou podlaží.

#### Poměrná štíhlost:

$$\rightarrow \lambda_{\bar{y}} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0,567$$

$$\rightarrow \lambda_1 = 93,9 \sqrt{(235/f_y)} = 93,9 [-]$$

$$\rightarrow \lambda_{\bar{z}} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0,937$$

#### Součinitelé vzpěrné pevnosti:

$$\rightarrow \chi_y = 0,852$$

→ křivka vzpěrné pevnosti b

$$\rightarrow \chi_z = 0,575$$

→ křivka vzpěrné pevnosti c

#### Vzpěrná únosnost v tlaku

$$N_{Rd} = \chi_z A f_{yd} = 523,88 \text{ kN} > N_{Ed} = 458,556 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

### Přehled normálových sil v ostatních sloupech

#### Sloup A<sub>1</sub>

$$\rightarrow N_{Ed} = 138,4 \text{ kN}$$

#### Sloup A<sub>2</sub>

$$\rightarrow N_{Ed} = 302,6 \text{ kN}$$

#### Sloup B<sub>1</sub>

$$\rightarrow N_{Ed} = 210,4 \text{ kN}$$



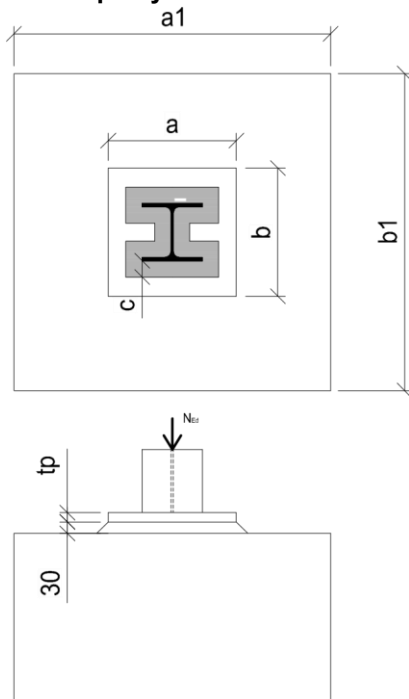
### 3.9.4 Návrh a posouzení patky

Patky skeletu administrativní přístavby jsou navrženy jako kloubové – přenášejí pouze svislé zatížení. Použije se nevyztužený patní plech.

#### Návrh:

- rozměry betonové patky: 850x850x900mm
- patní plech tl. 25mm
- kotevní šrouby 2xM20

#### Schéma patky



#### Rozměry ocelové patky:

$$\begin{aligned} \rightarrow a &= 280 \text{ mm} \\ \rightarrow b &= 280 \text{ mm} \\ \rightarrow t_p &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Rozměry betonové patky:

$$\begin{aligned} \rightarrow a_c &= 850 \text{ mm} \\ \rightarrow b_c &= 850 \text{ mm} \\ \rightarrow h_c &= 900 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Materiálové charakteristiky:

Ocel: S 235  $\gamma_M = 1$  [-]

$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

Beton C 20 /25  $\gamma_c = 1,5$  [-]

$$\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{cd} = 13,33 \text{ MPa}$$

#### Započitatelné rozměry betonové patky

$$\rightarrow a_1 = \min(a_c, 3a, a+h_c) = \min(850, 840, 1240) = 840 \text{ mm}$$

$$\rightarrow b_1 = a_1$$

#### Součinitel koncentrace napětí

$$\rightarrow k_j = \left[ \frac{a_1 b_1}{a b} \right]^{0,5} = 3$$

#### Návrhová pevnost betonu

$$\rightarrow f_{jd} = \frac{2 k_j f_{ck}}{3 \gamma_c} = 26,67 \text{ MPa}$$

#### Přesah desky

$$\rightarrow c = t_p \left[ \frac{f_{yd}}{3 f_{jd}} \right]^{0,5} = 42,85 \text{ mm}$$

#### Účinná plocha patního plechu

$$\rightarrow A_{eff} = 51156 \text{ mm}^2$$

Pozn.: Určeno graficky pomocí softwaru AutoCAD 2014.



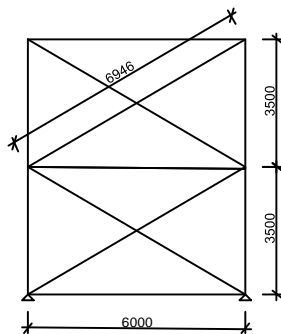
### Posouzení patky

$$\rightarrow N_{Rd} = A_{eff} f_{jd} = 1364 \text{ kN} > N_{Ed} = 458,6 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

### 3.9.5 Podélné ztužidlo

Schéma ztužidla:



Geometrie ztužidla:

Délka diagonály

$$\rightarrow L_D = 6,496 \text{ m}$$

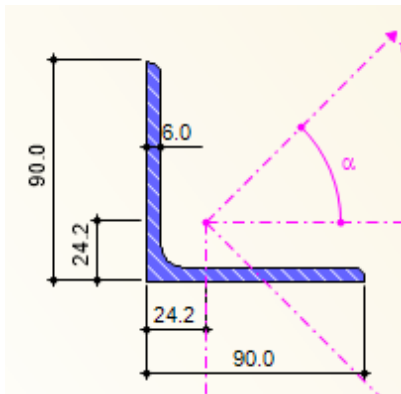
Materiálové charakteristiky

$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1 [-]$$

$$\rightarrow f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

Průřez: L 90x6



Průřezové charakteristiky

$$\rightarrow A = 1050 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow i = 27,7 \text{ mm}$$

Vnitřní síly

$$\rightarrow N_{t,Ed} = 12,67 \text{ kN}$$

$$\rightarrow N_{c,Ed} = 27,65 \text{ kN}$$

Vzpěrná délka:

$$\rightarrow L_{cr} = L_D = 6,496 \text{ m}$$

Štíhlost:

$$\rightarrow \lambda = \frac{L_{cr}}{i} = 234,5$$

Poměrná štíhlost prutu

$$\rightarrow \lambda^* = \frac{\lambda}{\lambda_1} = 2,497$$

$$\rightarrow \lambda_1 = 93,9 \sqrt{(235/f_y)} = 93,9 [-]$$

Součinitel vzpěru

$$\rightarrow \chi_y = 0,136$$

→ křivka vzpěrné pevnosti c

Posouzení tlakové únosnosti

$$\rightarrow N_{Rd} = \chi_z A f_{yd} = 33,56 \text{ kN} > N_{c,Ed} = 27,65 \text{ kN}$$

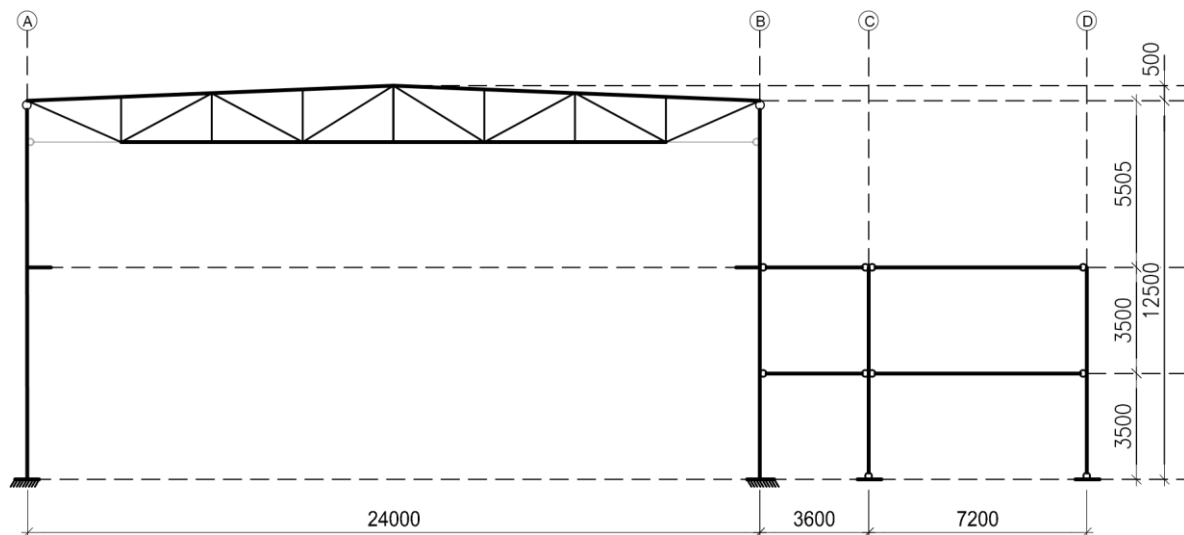
→ Vyhovuje



## 4 NÁVRH NOSNÉ KONSTRUKCE HALY

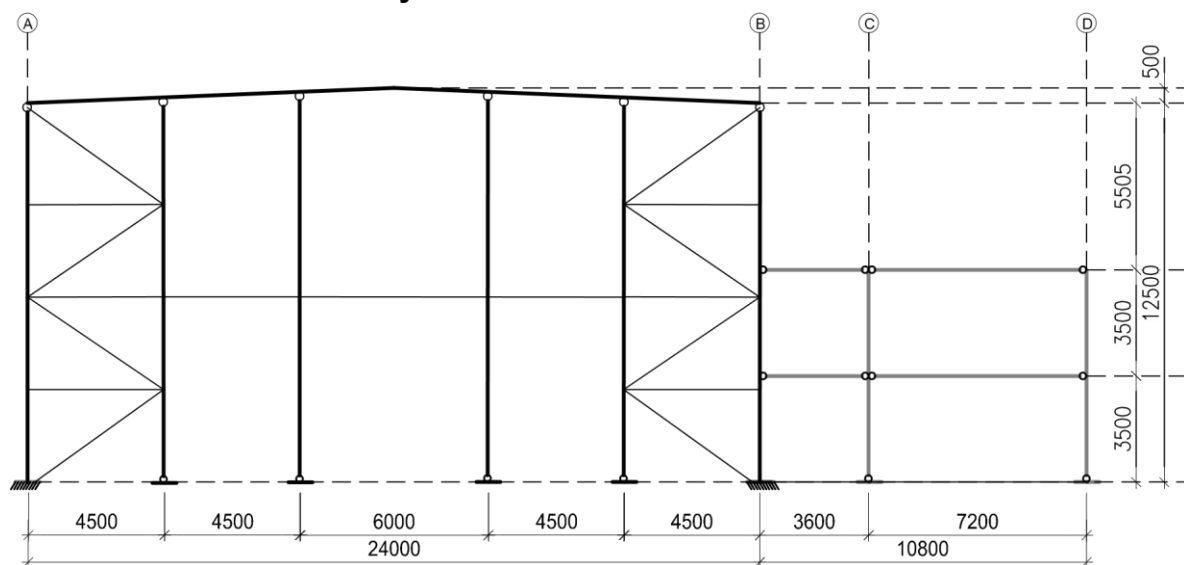
### 4.1 Návrh příčné vazby

#### 4.1.1 Schéma vnitřní vazby



Obr. 34 – Příčná vazba

#### 4.1.2 Schéma štitové vazby



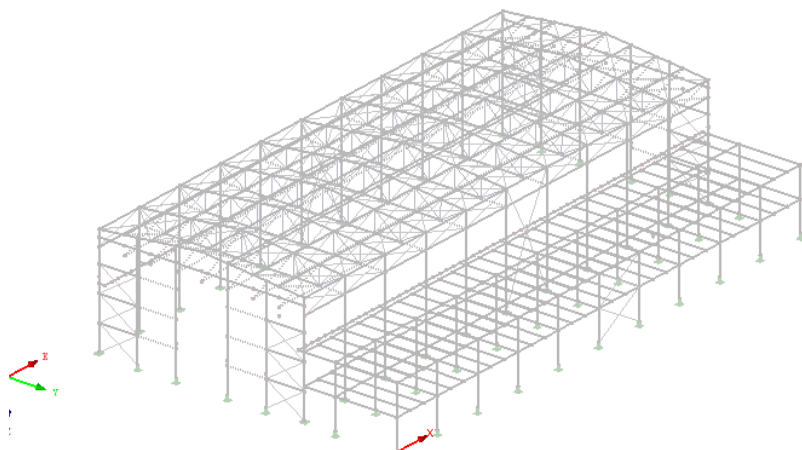
Obr. 35 – Štítová vazba



## 4.2 Výpočet vnitřních sil

### 4.2.1 Popis výpočetního modelu

Pro analýzu vnitřních sil je použit výpočetní model v program RSTAB 8. Model je proveden jako prutová soustava zatížená vypočteným zatížením a jeho kombinací.



### 4.2.2 Zatěžovací stavy

<b>ZS1</b>	Vlastní tíha konstrukce (generováno programem RSTAB)
<b>ZS2</b>	Vlastní tíha vodorovných konstrukcí – střešní plášť, stropní konstrukce
<b>ZS3</b>	Vlastní tíha obvodového pláště
<b>ZS4</b>	Užitné zatížení
<b>ZS5</b>	Přemístitelné příčky
<b>ZS6</b>	Sníh plný
<b>ZS7</b>	Sníh navátý 1
<b>ZS8</b>	Sníh navátý 2
<b>ZS9</b>	Vítr – podélný
<b>ZS10</b>	Vítr – příčný zleva
<b>ZS11</b>	Vítr – příčný zprava
<b>ZS12</b>	Jeřáb – nad sloupem – vlevo (SKUPINA 1)
<b>ZS13</b>	Jeřáb – v poli – vlevo (SKUPINA 1)
<b>ZS14</b>	Jeřáb – nad sloupem – vlevo-štít (SKUPINA 1)
<b>ZS15</b>	Jeřáb – nad v poli – vlevo-štít (SKUPINA 1)
<b>ZS16</b>	Jeřáb – nad sloupem – vpravo (SKUPINA 1)
<b>ZS17</b>	Jeřáb – v poli – vpravo (SKUPINA 1)
<b>ZS18</b>	Jeřáb – nad sloupem – vpravo-štít (SKUPINA 1)
<b>ZS19</b>	Jeřáb – nad v poli – vpravo-štít (SKUPINA 1)
<b>ZS20</b>	Jeřáb – nad sloupem – vlevo (SKUPINA 5)
<b>ZS21</b>	Jeřáb – v poli – vlevo (SKUPINA 5)
<b>ZS22</b>	Jeřáb – nad sloupem – vlevo-štít (SKUPINA 5)
<b>ZS23</b>	Jeřáb – nad v poli – vlevo-štít (SKUPINA 5)
<b>ZS24</b>	Jeřáb – nad sloupem – vpravo (SKUPINA 5)
<b>ZS25</b>	Jeřáb – v poli – vpravo (SKUPINA 5)
<b>ZS26</b>	Jeřáb – nad sloupem – vpravo-štít (SKUPINA 5)
<b>ZS27</b>	Jeřáb – nad v poli – vpravo-štít (SKUPINA 5)



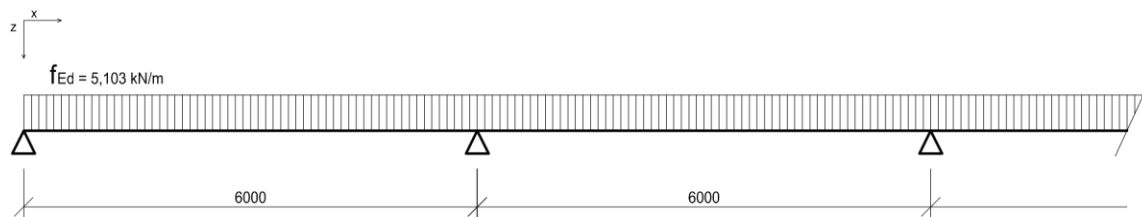
### 4.2.3 Návrh vaznice

Vaznice bude navržena jako tenkostěnný Z profil. Staticky budou vaznice působit jako spojité nosníky na celou délku haly. Vaznice budou posouzeny dle tabulek výrobce. Tabulky jsou zpracovány podle platné normy ČSN EN 1993-1-3.

#### Rozhodující kombinace zatěžovacích stavů

##### KZS 1:

- ZS 1 – vlastní tíha konstrukce
- ZS 2 – vlastní tíha vodorovných konstrukcí
- ZS 6 – sníh plný

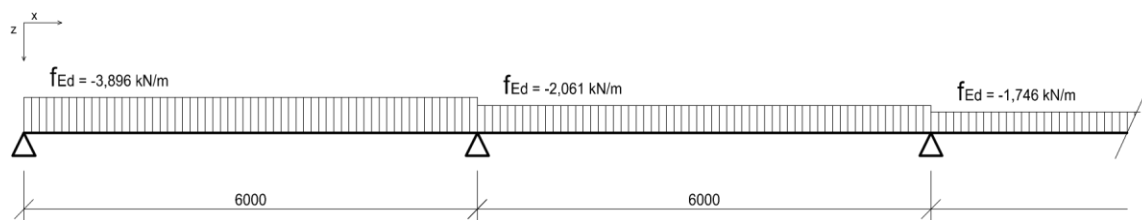


Obr. 36 – Schéma zatížení pro KZS1

##### KZS 91:

- Minimální stálé zatížení
- ZS 9 – vítr – příčný

**Pozn.:** Zatížení z jednotlivých oblastí F, G, H bylo určeno lineární interpolací podle dílčích zatěžovacích ploch.

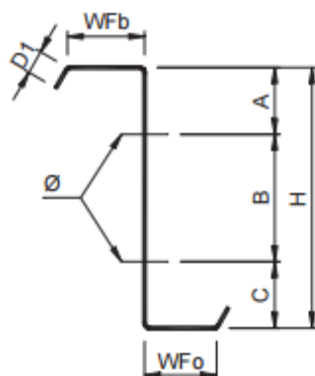


Obr. 37 – Schéma zatížení pro KZS91

#### Posouzení mezilehlé vaznice:

Návrh profilu: Z300/3

Rozměry průřezu:



- $H$  = 300 mm
- $A$  = 61 mm
- $B$  = 180 mm
- $C$  = 59 mm
- $W_{Fb}$  = 70 mm
- $W_{F0}$  = 71 mm

Rozpětí pole vaznice:

- $L$  = 6000 mm





## Mezní stav únosnosti

**Z 300-S**

Únosnost dle ČSN EN 1993-1-3:

Rádek č. 1 : Únosnost bez vlivu osově síly (návrhová hodnota)

Rádek č. 2 : Únosnost s vlivem osově síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Rádek č. 3 : Únosnost pro sání bez vlivu osově síly (návrhová hodnota)

Rádek č. 4 : Únosnost pro sání s vlivem osově síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Rádek č. 5 : Maximální zatížení pro deformaci L/200 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)

Rádek č. 6 : Maximální zatížení pro deformaci L/300 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)

SPOJITÝ NOSNÍK O 5 A VÍCE POLÍCH - PŘESAHY 0,6 m + 0,9 m

Profil		Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		6.00	6.50	7.00	7.25	7.50	7.75	8.00	8.25	8.50	8.75	9.00	9.50	10.00	10.50	11.00	11.50	12.00
krajní : Z 300/2,5	1	6.23	5.21	4.40	4.06	3.76	3.49	3.24	3.01	2.80	2.61	2.43	2.13	1.87	1.67	1.49	1.34	1.21
	2	5.21	4.52	3.96	3.73	3.51	3.32	3.14	2.92	2.72	2.54	2.38	2.09	1.85	1.65	1.48	1.33	1.20
	3	-4.44	-3.73	-3.18	-2.95	-2.74	-2.55	-2.38	-2.22	-2.08	-1.95	-1.84	-1.63	-1.45	-1.30	-1.17	-1.06	-0.96
vnitřní : Z 300/2,0	4	-2.99	-2.48	-2.09	-1.92	-1.77	-1.64	-1.52	-1.41	-1.31	-1.23	-1.15	-1.01	-0.89	-0.79	-0.70	-0.63	-0.56
	5	9.36	7.36	5.90	5.31	4.79	4.35	3.95	3.60	3.29	3.02	2.77	2.36	2.02	1.75	1.52	1.33	1.17
krajní : Z 300/3,0 vnitřní : Z 300/2,5	1	8.30	7.04	6.04	5.62	5.24	4.90	4.58	4.26	3.96	3.69	3.44	3.01	2.65	2.36	2.11	1.90	1.71
	2	7.37	6.34	5.52	5.17	4.85	4.57	4.31	4.01	3.74	3.50	3.27	2.88	2.55	2.28	2.04	1.84	1.67
	3	-5.68	-4.78	-4.08	-3.78	-3.51	-3.27	-3.05	-2.86	-2.67	-2.51	-2.36	-2.09	-1.87	-1.68	-1.51	-1.37	-1.24
	4	-4.28	-3.57	-3.02	-2.78	-2.57	-2.39	-2.22	-2.07	-1.93	-1.80	-1.69	-1.49	-1.32	-1.17	-1.05	-0.94	-0.85
	5	11.8	9.28	7.43	6.69	6.04	5.48	4.98	4.54	4.15	3.80	3.50	2.97	2.55	2.20	1.92	1.68	1.48
	6	7.87	6.19	4.95	4.46	4.03	3.65	3.32	3.03	2.77	2.54	2.33	1.98	1.70	1.47	1.28	1.12	0.98

Obr. 38 – Tabulka únosnosti tenkostěnné vaznice

### Parametry únosnosti (pro rozpětí L=6 m):

Únosnost s vlivem normálové síly:

$$\rightarrow f_{Rd,1} = 7,37 \text{ kN/m}$$

Únosnost pro sání s vlivem normálové síly:

$$\rightarrow f_{Rd,2} = -4,28 \text{ kN/m}$$

### KZS1:

$$\rightarrow f_{Rd,1} = 7,37 \text{ kN/m} > f_{Ed,1} = 5,103 \text{ kN/m}$$

→ Vyhovuje

### KZS91:

$$\rightarrow f_{Rd,1} = -4,28 \text{ kN/m} > f_{Ed,2} = -3,896 \text{ kN/m}$$

→ Vyhovuje

### Mezní stav použitelnosti:

Max. zatížení pro L/200:

$$\rightarrow f_{Ed,max} = 9,32 \text{ kN/m} > f_{Ed,1} = 5,103 \text{ kN/m} \text{ (KZS1)}$$

$$> f_{Ed,2} = -3,896 \text{ kN/m} \text{ (KZS91)}$$

→ Vyhovuje

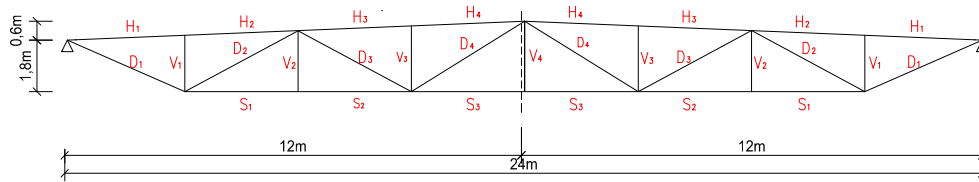
### Okapová vaznice

Okapová vaznice je v důsledku menší zatěžovací šířky namáhána ohybem méně než mezilehlá vaznice. Z tohoto důvodu je pro okapovou vaznici bez výpočtu bezpečně navržena vaznice profilu Z300/3 stejně jako u mezilehlé vaznice. Okapová vaznice se neuvazuje jako prvek přenášející reakci z příčného střešního ztužidla do podélného ztužidla haly. Pro tento účel bude navržena zvláštní prvek.



#### 4.2.4 Návrh příhradového vazníku

Schéma vazníku:



Obr. 39 – Schéma příhradového vazníku

Vzpěrné délky prutů: (pro uhlíkový vazník)

Horní pás	z roviny	vzdálenost vaznic
	v rovině	vzdálenost uzlů
Dolní pás	z roviny	vzdálenost svislých ztužidel
	v rovině	vzdálenost svislých ztužidel
Vnitřní pruty	z roviny	$L_{teor}$
	v rovině	$L_{teor}$

Vzdálenost vaznic

→ 3 m

Vzdálenost uzlů

→ 3 m

Vzdálenost svislých ztužidel

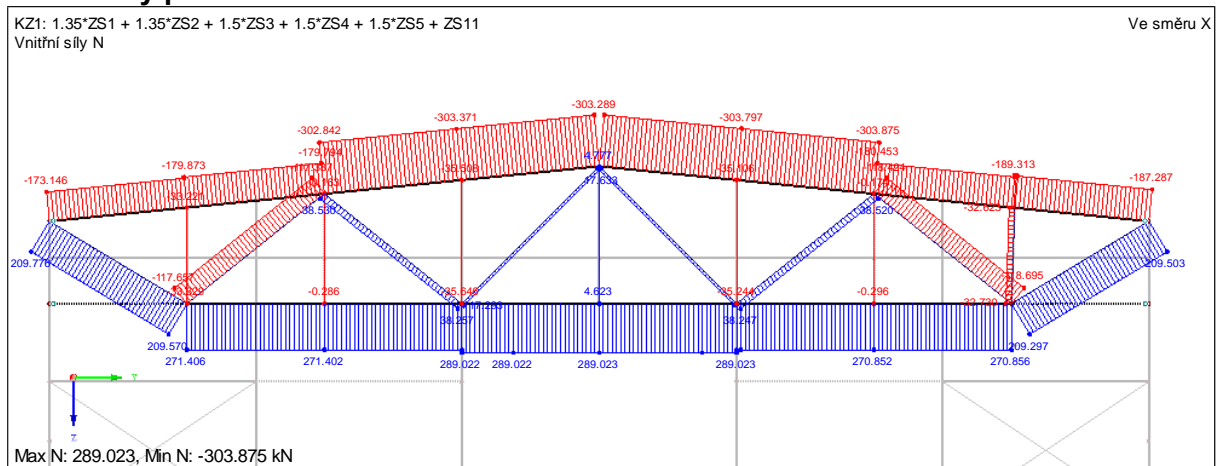
→ 12 m

Tab. 42 – Vzpěrné délky příhradových prutů

Rozhodující kombinace zatěžovacích stavů:

- KZS1
- KZS91

Vnitřní síly pro KZS 1



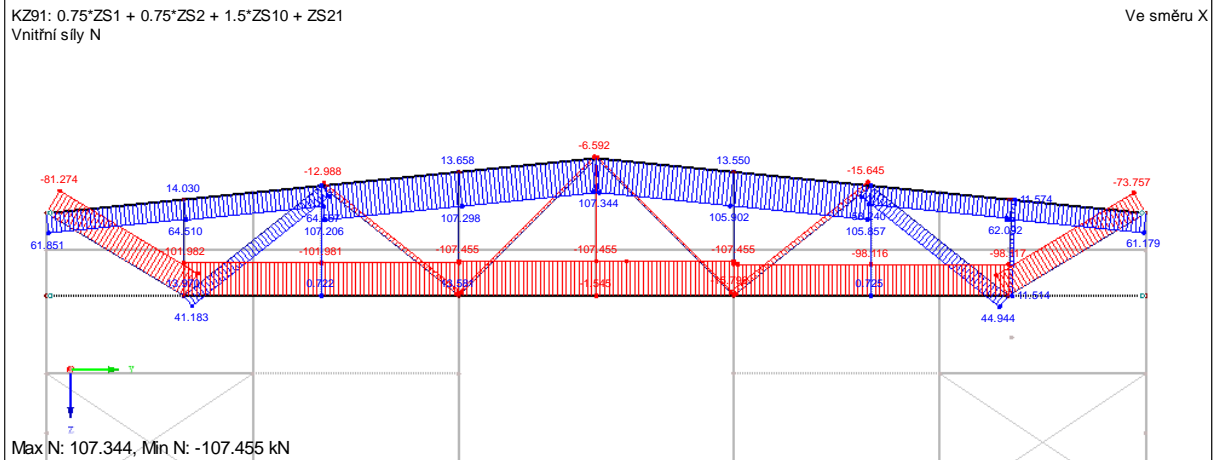
Obr. 40 – Osově síly pro KZS1

Maximální normálové síly:

H	$N_{Ed}(+)$	=	-	kN	H	$N_{Ed}(-)$	=	303,9	kN
S	$N_{Ed}(+)$	=	289,0	kN	S	$N_{Ed}(-)$	=	-	kN
D	$N_{Ed}(+)$	=	209,8	kN	D	$N_{Ed}(-)$	=	117,6	kN
V	$N_{Ed}(+)$	=	4,8	kN	V	$N_{Ed}(-)$	=	32,02	kN



### Vnitřní síly pro KZS91



Obr. 41 – Osově síly pro KZS91

### Maximální normálové síly

H	$N_{Ed} (+)$	=	107,3 kN	H	$N_{Ed} (-)$	=	- kN
S	$N_{Ed} (+)$	=	- kN	S	$N_{Ed} (-)$	=	107,5 kN
D	$N_{Ed} (+)$	=	44,9 kN	D	$N_{Ed} (-)$	=	81,3 kN
V	$N_{Ed} (+)$	=	13,7 kN	V	$N_{Ed} (-)$	=	12,98 kN

### Materiálové vlastnosti:

Ocel: **S 355**  $\gamma_M = 1$

→	$f_{yk}$	=	355 MPa
→	$f_{yd}$	=	355 MPa
→	$E$	=	210000 MPa

### Návrh a posouzení prutů příhradového vazníku

#### Mezní stav únosnosti

Posouzení průřezu jednotlivých prutů je provedeno pomocí tabulek, viz Tab. 43 a Tab. 44.

#### Posouzení tahové únosnosti

Prut	$N_{Ed} (+)$ [kN]	Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [MPa]	$N_{t,Rd}$ [kN]	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	Posouzení		
H	107,3	HEA 120	2530	355	898,2	0,12	<	1	Vyhovuje
S	289,0	U 160	2400	355	852	0,34	<	1	Vyhovuje
D <sub>1</sub>	209,8	TR 82,5x3,6	892	355	316,7	0,66	<	1	Vyhovuje
D <sub>2</sub>	44,9	TR 89x4	1068	355	379,1	0,12	<	1	Vyhovuje
D <sub>3</sub>	38,3	TR 48,3x3,2	453	355	160,8	0,24	<	1	Vyhovuje
D <sub>4</sub>	17,2	TR 48,3x3,2	453	355	160,8	0,11	<	1	Vyhovuje
V	13,7	TR 48,3x3,2	453	355	160,8	0,08	<	1	Vyhovuje

Tab. 43 – Posouzení tahové únosnosti



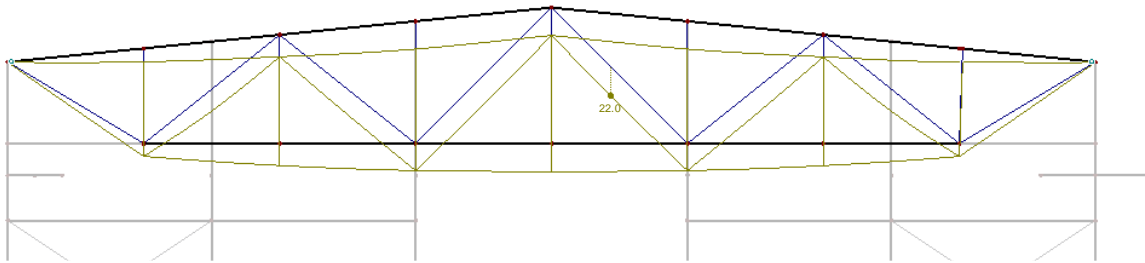
### Posouzení únosnosti – vzpěrný tlak

Prut	N <sub>Ed</sub> (-) [kN]	Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	i <sub>y</sub> [mm]	i <sub>z</sub> [mm]	f <sub>y</sub> [MPa]	L <sub>teor</sub> [mm]	L <sub>cr,z</sub> [mm]	λ <sub>z</sub> [-]	λ <sub>1</sub> [-]	λ <sub>z</sub> [-]	χ [-]	Prut	N <sub>t,Rd</sub> [kN]	N <sub>Ed</sub> /N <sub>t,Rd</sub>	Posouzení
H	303,9	HEA 120	2530	48,9	30,2	355	3000	3000	99,34	76,4	1,3	0,427	H	383,5	0,79	< 1 Vyhovuje
S	107,5	U 160	2400	18,9	62,1	355	12000	12000	193,2	76,4	2,529	0,135	S	115,0	0,93	< 1 Vyhovuje
D <sub>1</sub>	81,3	TR 82,5x3,6	892	27,9	27,9	355	3498	3498	125,4	76,4	1,641	0,319	D <sub>1</sub>	101,0	0,80	< 1 Vyhovuje
D <sub>2</sub>	117,7	TR 89x4	1068	30,1	30,1	355	3662	3662	121,7	76,4	1,592	0,337	D <sub>2</sub>	127,8	0,92	< 1 Vyhovuje
D <sub>3</sub>	12,9	TR 48,3x3,2	453	16	16	355	3662	3662	228,9	76,4	2,996	0,099	D <sub>3</sub>	15,9	0,81	< 1 Vyhovuje
D <sub>4</sub>	6,5	TR 48,3x3,2	453	16	16	355	3842	3842	240,1	76,4	3,143	0,09	D <sub>4</sub>	14,5	0,45	< 1 Vyhovuje
V	32,02	TR 48,3x3,2	453	16	16	355	2400	2400	150	76,4	1,963	0,217	V	34,9	0,92	< 1 Vyhovuje

Tab. 44 – Vzpěrná únosnost prutů

### Mezní stav použitelnosti

Svislý průhyb vazníku byl vypočten pomocí programu RSTAB 8.



Obr. 42 – Průhyb vazníku

### Posouzení svislého průhybu

$$\delta = 22 \text{ mm} < \delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{24000}{250} = 96 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje



## Návrh montážních styků

### Horní pás

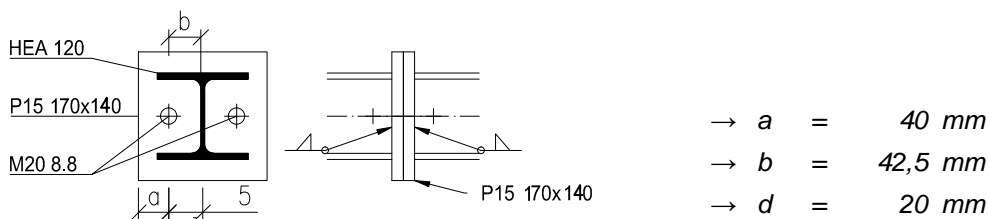
Navržen kontaktní styk s opracováním styčných ploch.

$$\begin{aligned} \rightarrow N_{Ed,max (+)} &= 107,3 \text{ kN} \\ \rightarrow N_{Ed,max (-)} &= 303,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Návrh šroubu :

$$\rightarrow \mathbf{M20\ 8.8} \quad \rightarrow F_{t,Rd} = 121,7 \text{ kN} \quad - \text{ únosnost šroubu v tahu}$$

Schéma připojení:



Nejmenší tloušťka desky, při které nedojde k páčení:

$$\rightarrow t_e = 4,3 (b \cdot d^2 / a)^{1/3} = 32,33 \text{ mm} \quad t = 15 \text{ mm}$$

Zvětšující součinitel - vliv páčení

$$\rightarrow \gamma_p = 1 + 0,005 \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1,38$$

Posouzení tahové únosnosti šroubů

$$\rightarrow \gamma_p N_{t,Ed} = 148,1 \text{ kN} < 2 F_{t,Rd} = 243,4 \text{ kN}$$

$\rightarrow$  **Vyhovuje**

Posouzení svaru

$$\begin{aligned} \rightarrow \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} &= \frac{1 N_d}{\sqrt{2} a \cdot l} = 29,27 \text{ MPa} & a &= 4 \text{ mm} \quad - \text{ účinná tloušťka svaru} \\ & & l &= 648 \text{ mm} \quad - \text{ délka svaru} \\ & & N_d &= N_{t,Ed} = 107,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\rightarrow [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 58,54 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_M} = 453,3 \text{ MPa}$$

$\rightarrow$  **Vyhovuje**

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,9 \text{ [-]}$$

$$\gamma_M = 1,25 \text{ [-]}$$



### Spodní pás Příložkový styk

$$\begin{aligned} \rightarrow N_{Ed,max (+)} &= 289 \text{ kN} \\ \rightarrow N_{Ed,max (-)} &= 107,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### Návrh šroubu: M16 5.6

Únosnost šroubu ve stříhu (střih v závitu, jednostřížný)

$$\rightarrow F_{v,Rd} = 33,7 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v otláčení (pro  $t=10\text{mm}$ , malé rozteče, S355)

$$\rightarrow F_{b,Rd,1} = 45,2 \text{ kN} \quad \rightarrow t = 10 \text{ mm}$$

Stojina:

$$\rightarrow F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rd,1} t_1}{t} = 33,9 \text{ kN} \quad \rightarrow t_1 = 7,5 \text{ mm} \quad - \text{ tloušťka stojiny}$$

Pásnice: (tloušťka čelní desky  $t=10\text{mm}$ )

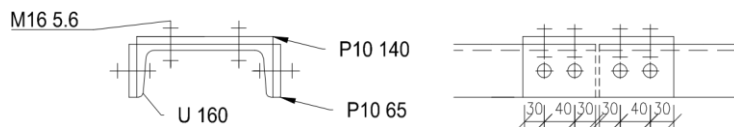
$$\rightarrow F_{b,Rd} = F_{b,Rd,1} = 45,2 \text{ kN}$$

**Pozn.:** Rozhoduje únosnost v otláčení

#### Potřebný počet šroubů:

$$\rightarrow n = \frac{N_{t,Ed}}{F_{b,Rd}} = 6,394 \quad \rightarrow \text{Návrh: 2 řady po 4 šroubech}$$

#### Schéma připojení:



#### Oslabení dolního pásu

$$\rightarrow A_{net} = 2400 - 2 \cdot 18 \cdot 7,5 - 2 \cdot 18 \cdot 10,5 = 1770 \text{ mm}^2$$

#### Únosnost oslabeného průřezu

$$\begin{aligned} \rightarrow N_{u,Rd} &= \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = 649,9 \text{ kN} & \rightarrow f_u &= 510 \text{ MPa} \\ & & \rightarrow \gamma_{M2} &= 1,25 \end{aligned}$$

$$\rightarrow N_{u,Rd} = 649,9 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 289 \text{ kN}$$

$\rightarrow$  Vyhovuje



### Přípoj vnitřních prutů k pasům

Posouzení přípoje nejvíce zatížené diagonály k pasům.

**Osová síla v prutu (diagonála D1):**

$$\rightarrow N_{t,Rd} = 289 \text{ kN}$$

Délka svaru

$$\rightarrow l = \pi D = 279,6 \text{ mm} \quad \rightarrow D = 89 \text{ mm}$$

**Pozn.:** Ve skutečnosti má svar diagonály k pásu v půdorysu tvar elipsy. Pro zjednodušení je při výpočtu délky svaru bezpečně uvažován kruhový tvar.

**Návrhová smyková pevnost svaru**

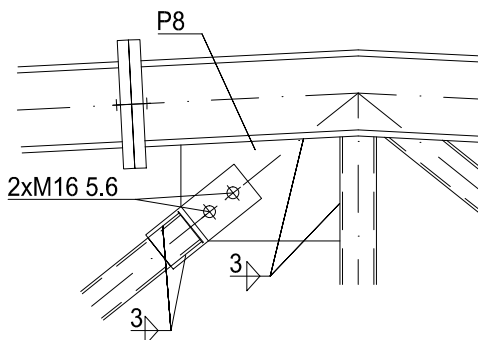
$$\rightarrow f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = 261,7 \text{ MPa}$$

**Únosnost svaru**

$$\rightarrow F_{w,Rd} = a L_{we} f_{vw,d} = 292,7 \text{ kN} > N_{Ed} = 209,8 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

### Montážní styk diagonály



**Maximální osová síla v diagonále**

$$\rightarrow N_{max,d} = 17,63 \text{ kN}$$

**Návrh 2xM16 5.6** – bezpečně vyhoví.

### Uložení vazníku

Tlaková síla v místě uložení vazníku se přenáší prostým kontaktem. Šrouby jsou posouzeny na přenos svislé tahové reakce.

**Největší tahová reakce**

$$\rightarrow N_{min,Ed} = 63,07 \text{ kN}$$

**Návrh šroubů: 4xM16 5.6**

$$\rightarrow N_{t,Rd} = 48,7 \text{ kN}$$

**Posouzení**

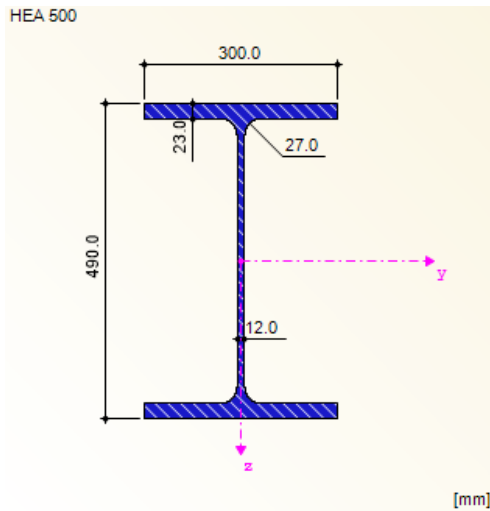
$$\rightarrow N_{min,Ed} = 63,07 \text{ kN} < 4 N_{t,Rd} = 194,8 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje



#### 4.9.4 Návrh a posouzení sloupů

Průřez sloupů: **HEA 500**



Průřezové charakteristiky:

- $A = 19750 \text{ mm}^2$
- $I_y = 8,7E+08 \text{ mm}^4$
- $I_z = 1,04E+08 \text{ mm}^4$
- $W_{pl} = 3949000 \text{ mm}^3$
- $i_y = 209,8 \text{ mm}$
- $i_z = 72,4 \text{ mm}$
- $I_t = 3093000 \text{ mm}^4$
- $I_\omega = 5,64E+12 \text{ mm}^6$
- $b = 300 \text{ mm}$
- $h = 490 \text{ mm}$
- $t_w = 12 \text{ mm}$
- $t_f = 23 \text{ mm}$

#### Posouzení MSP

Posouzení mezního stavu použitelnosti je provedeno s ohledem na podmínku maximální přípustné vodorovné deformace v úrovni horní hrany kolejnice jeřábové dráhy dle ČSN EN 1993-6.

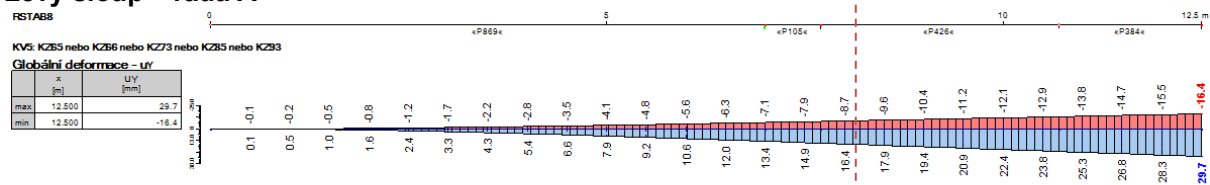
Uvedená norma určuje maximální vodorovný náklon horní hrany kolejnice následující hodnotou:

→  $\delta_{max} = h_c / 400$  →  $h_c = 8100 \text{ mm}$  - výška horní hrany kolejnice  
 →  $\delta_{max} = 20 \text{ mm}$

#### Průběh deformace sloupů

Z průběhu vodorovného náklonu sloupů lze určit hodnotu vodorovné deformace v bodě  $h_c = 8,1 \text{ m}$ .

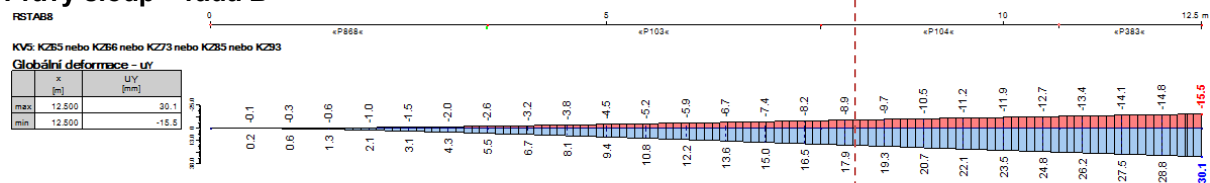
#### Levý sloup – řada A



→  $\delta = 16,7 \text{ mm} < \delta_{max} = 20 \text{ mm}$

→ **Vyhovuje**

#### Pravý sloup – řada B



→  $\delta = 18,2 \text{ mm} < \delta_{max} = 20 \text{ mm}$

→ **Vyhovuje**

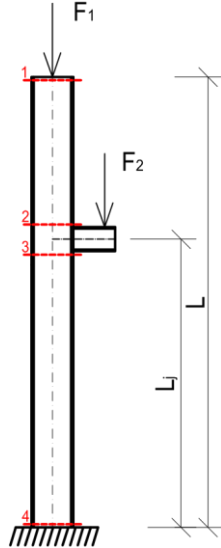




## Mezní stav použitelnosti

### Sloup v řadě A

Schéma sloupu:



Materiálové charakteristiky:

$$\begin{aligned} \rightarrow f_{yk} &= 235 \text{ MPa} & \gamma_M &= 1 [-] \\ \rightarrow f_{yd} &= 235 \text{ MPa} \\ \rightarrow E &= 210 \text{ GPa} \\ \rightarrow G &= 80,7 \text{ GPa} \end{aligned}$$

Geometrie sloupu:

Délka sloupu

$$\rightarrow L = 12,5 \text{ m}$$

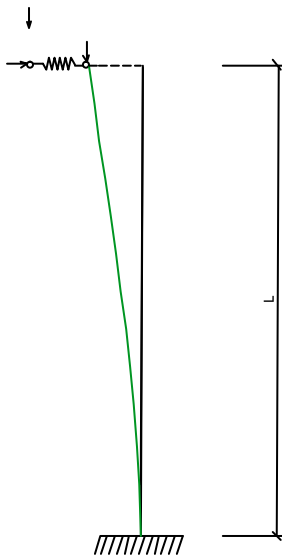
Výška nosníku JD ( na osu )

$$\rightarrow L_j = 7,85 \text{ m}$$

### Určení vzpěrné délky

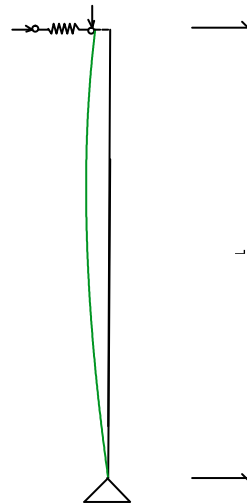
Při stanovení vzpěrné délky pro vybočení z roviny byl zanedbán účinek konstrukce obvodového pláště, vzhledem k tomu, že rozhodující pro návrh sloupu bude MSP.

a) vybočení v rovině



$$\beta = 2$$

b) vybočení z roviny



$$\beta = 1$$

Obr. 43 – Vzpěrné délky prutů

Vzpěrné délky:

$$\begin{aligned} \rightarrow L_{cr,y} &= \beta_y L = 25 \text{ m} & \rightarrow L &= 12,5 \text{ m} \\ \rightarrow L_{cr,z} &= \beta_z L = 12,5 \text{ m} \end{aligned}$$



## Výpočet parametrů vzpěrné pevnosti

### Štíhlost sloupu

$$\rightarrow \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 119,2$$

$$\rightarrow \lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 172,7$$

### Poměrná štíhlost

$$\rightarrow \lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1,27$$

$$\rightarrow \lambda_1 = 93,9 \sqrt{(235/f_y)} = 93,9 [-]$$

$$\rightarrow \lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,839$$

### Součinitelé vzpěrné pevnosti

$$\chi_y = 0,487 \quad \rightarrow \text{křivka vzpěrné pevnosti a}$$

$$\chi_z = 0,243 \quad \rightarrow \text{křivka vzpěrné pevnosti b}$$

Součinitelé vzpěrné pevnosti jsou určeny na základě tabulek pro válcovaný průřez a podmínku  $h/b < 2$ .

### Výpočet parametrů klopení

$$\rightarrow k_z = 1 [-]$$

$$\rightarrow k_y = 1 [-]$$

$$\rightarrow k_w = 0,7 [-]$$

**Pozn.:** Hodnota  $k_w$  je volena s ohledem na to, že v patě sloupu bude bráněno deplanaci pomocí přivařených podélných výztuh a v uložení vazníku je deplanace volná.

### Součinitel $C_1$

Součinitel  $C_1$  byl stanoven dle ČSN EN 1993-1-1 na základě průběhu momentu a hodnot  $k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_w$ .

$$\rightarrow C_{1,0} = 1,71 [-]$$

$$\rightarrow C_{1,1} = 1,9 [-]$$

$$\rightarrow C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) k_{wt}$$

$$\rightarrow C_1 = 1,859 [-] \leq C_{1,1}$$

### Bezrozměrný parametr kroucení

$$\rightarrow k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot l} \cdot \left[ \frac{E I_\omega}{G I_t} \right]^{0,5}$$

$$k_{wt} = 0,782 [-]$$

### Bezrozměrný parametr působíště zatížení

$$\rightarrow \zeta_g = 0,000 [-]$$

### Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\rightarrow \zeta_i = 0 [-]$$



### Bezrozměrný kritický moment

$$\rightarrow \mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ 1 + k_{wt}^2 \right]^{0,5}$$

$$\rightarrow \mu_{cr} = 2,360 [-]$$

### Kritický moment

$$\rightarrow M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \pi \cdot \left[ \frac{I_z G I_t}{L} \right]^{0,5}$$

$$M_{cr} = 1412,437 \text{ kNm}$$

### Poměrná štíhlost

$$\rightarrow \lambda_{LT}^- = \left[ \frac{W_y f_y}{M_{cr}} \right]^{0,5}$$

$$\rightarrow \lambda_{LT}^- = 0,811 [-]$$

### Součinitel klopení

$$\rightarrow \chi_{LT} = 0,74 [-]$$

Křivka a – pro válcované průřezy s poměrem h/b < 2

### Posouzení interakce s ohybem

$$\rightarrow C_{my} = 0,9 + 0,1 \alpha_h = 0,9$$

$$\rightarrow \alpha_h = \frac{M_h}{M_d} = 0 \quad \rightarrow M_h = 0 \text{ kNm} \quad - \text{ moment v horní části sloupu}$$

$$\quad \quad \quad \rightarrow M_d = 157,3 \text{ kNm} \quad - \text{ moment v spodní části sloupu}$$

$$\rightarrow C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \psi = 0,6$$

$$\rightarrow \psi = 0 \quad - \text{ poměr krajních momentů}$$

Pro výpočet součinitelů  $k_{yy}$ ,  $k_{zy}$  v tabulkách jsou použity následující vztahy:

Výpočet součinitele  $k_{yy}$

Výpočet součinitele  $k_{zy}$

$$k_{yy} = \min \left( \begin{array}{l} C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right) =$$

$$k_{zy} = \max \left( \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right) =$$

Pro posouzení interakce tlaku a ohybu jsou použity následující podmínky spolehlivosti:

Podmínka 1

Podmínka 2

$$\rightarrow \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} M_{Rd}} < 1 \quad \rightarrow \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{zy} \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} M_{Rd}} < 1$$



### Rozhodující kombinace zatížení pro levý sloup

- KZS1
- KZS49

### KOMBINACE ZATÍŽENÍ KZ1

- ZS1
- ZS2
- ZS3
- ZS4
- ZS5
- ZS19

KZ1	ŘEZ			
	1	2	3	4
N [kN]	-143,324	-152,151	-330,78	-346,45
M [kNm]	0	46,801	76,882	33,309
V [kN]	9,978	9,69	14,057	14,32

Tab. 45 – Vnitřní síly pro KZS1

KZ1	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$	$N_{Rk}$	$M_{Rk}$	A	$W_{pl,y}$	$f_y$	$X_y$	$X_z$	$X_{LT}$	$\lambda_y$	$\lambda_z$	$C_{my}$	$C_{LT}$
ŘEZ	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	143,3	0	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
2	152,2	46,8	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
3	330,8	76,88	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
4	346,5	33,31	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6

Tab. 46

KZS1	$k_{yy(1)}$	$k_{yy(2)}$	$\min(k_{yy(1)}, k_{yy(2)})$
ŘEZ	[-]	[-]	[-]
1	0,961	0,946	0,95
2	0,965	0,948	0,95
3	1,041	1,005	1,0
4	1,041	1,01	1,0

Podmínka 1			
0,06	<	1	Vyhovuje
0,04	<	1	Vyhovuje
0,25	<	1	Vyhovuje
0,20	<	1	Vyhovuje

Tab. 47 – Posouzení – podmínka 1 – KZS1

KZS1	$k_{zy(1)}$	$k_{zy(2)}$	$\min(k_{zy(1)}, k_{zy(2)})$
ŘEZ	[-]	[-]	[-]
1	0,955	0,965	0,955
2	0,931	0,963	0,931
3	0,85	0,919	0,850
4	0,843	0,915	0,843

Podmínka 2			
0,13	<	1	Vyhovuje
0,19	<	1	Vyhovuje
0,39	<	1	Vyhovuje
0,35	<	1	Vyhovuje

Tab. 48 – Posouzení – podmínka 2 – KZS1



## KOMBINACE ZATÍŽENÍ KZ49

- 0,75\*ZS1
- 0,75\*ZS2
- ZS9
- ZS15

KZ49	ŘEZ			
	1	2	3	4
N [kN]	-15,167	-39,165	-213,269	-320,91
M [kNm]	0	21,63	140,34	157,33
V [kN]	17,703	8,15	17,32	60,484

Tab. 49 – Vnitřní síly pro KZS49

KZ49	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$	$N_{Rk}$	$M_{Rk}$	A	$W_{pl,y}$	$f_y$	$X_y$	$X_z$	$X_{LT}$	$\lambda_y$	$\lambda_z$	$C_{my}$	$C_{LT}$
ŘEZ	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	15,17	0	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
2	39,17	21,63	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
3	213,3	140,3	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
4	320,9	157,3	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6

Tab. 50

KZS49	$k_{yy(1)}$	$k_{yy(2)}$	$\min(k_{yy(1)}, k_{yy(2)})$
ŘEZ	[-]	[-]	[-]
1	1,846	0,905	0,905
2	0,917	0,912	0,912
3	0,991	0,968	0,968
4	1,037	1,002	1,0

Podmínka 1			
0,01	<	1	Vyhovuje
0,04	<	1	Vyhovuje
0,28	<	1	Vyhovuje
0,36	<	1	Vyhovuje

Tab. 51 – Posouzení – podmínka 1 – KZS49

KZS49	$k_{zy(1)}$	$k_{zy(2)}$	$\min(k_{zy(1)}, k_{zy(2)})$
ŘEZ	[-]	[-]	[-]
1	0,993	0,996	0,993
2	0,982	0,99	0,982
3	0,903	0,947	0,903
4	0,855	0,921	0,855

Podmínka 2			
0,01	<	1	Vyhovuje
0,06	<	1	Vyhovuje
0,36	<	1	Vyhovuje
0,47	<	1	Vyhovuje

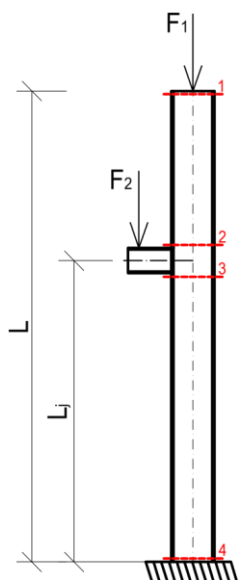
Tab. 52 – Posouzení – podmínka 2 – KZS49

Navržený profil HEA 500 vyhoví v MSÚ i v MSP.



## Sloup v řadě B

Schéma sloupu:



Materiálové charakteristiky:

$$\begin{aligned} \rightarrow f_{yk} &= 235 \text{ MPa} & \gamma_M &= 1 [-] \\ \rightarrow f_{yd} &= 235 \text{ MPa} \\ \rightarrow E &= 210 \text{ GPa} \\ \rightarrow G &= 80,7 \text{ GPa} \end{aligned}$$

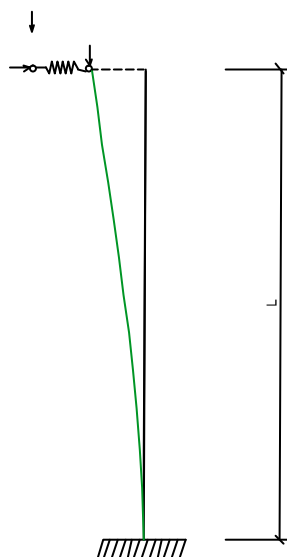
Geometrie sloupu:

$$\begin{aligned} \text{Délka sloupu} \\ \rightarrow L &= 12,5 \text{ m} \\ \text{Výška nosníku JD ( na osu )} \\ \rightarrow L_j &= 7,85 \text{ m} \end{aligned}$$

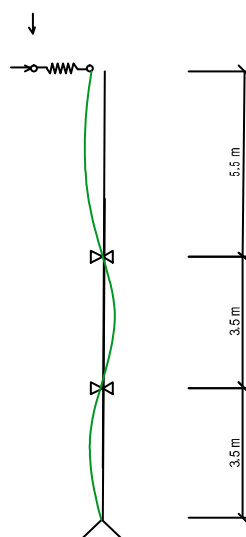
**Vzpěrné délky:**

Protože i sloup v řadě B rozhoduje MSP bude i přes skutečnost, že vybočení sloupů z roviny příčné vazby brání průvlak od stropní konstrukce administrativní budovy použity vzpěrné délky z předchozího posouzení levého sloupu. Parametry vzpěru a klopení jsou tedy shodné s předchozím případem.

a) vybočení v rovině



b) vybočení z roviny



Obr. 44 – Vzpěrné délky pro sloup v řadě B

**Vzpěrné délky použité pro výpočet**

$$\begin{aligned} \rightarrow L_{cr,y} &= \beta_y L = 25 \text{ m} & \rightarrow L &= 12,5 \text{ m} \\ \rightarrow L_{cr,z} &= \beta_z L = 12,5 \text{ m} \end{aligned}$$



### Rozhodující kombinace zatížení

- KZ5
- KZ69

### KOMBINACE ZATÍŽENÍ KZ5

- ZS1
- ZS2
- ZS3
- ZS4
- ZS5
- ZS19

KZ5	ŘEZ			
	1	2	3	4
N [kN]	-141,748	-150,523	-396,082	-524,404
M [kNm]	0	47,839	75,734	29,093
V [kN]	10,01	9,91	13,81	13,04

Tab. 53 – Vnitřní síly pro KZ5

KZS5	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$	$N_{Rk}$	$M_{Rk}$	A	$W_{pl,y}$	$f_y$	$X_y$	$X_z$	$X_{LT}$	$\lambda_y$	$\lambda_z$	$C_{my}$	$C_{LT}$
ŘEZ	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	141,7	0	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
2	150,5	47,8	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
3	396,1	75,7	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
4	524,4	29,09	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6

Tab. 54

KZS5	$k_{yy(1)}$	$k_{yy(2)}$	$\min(k_{yy(1)}, k_{yy(2)})$
ŘEZ	[-]	[-]	[-]
1	0,96	0,945	0,945
2	0,964	0,948	0,948
3	1,069	1,026	1,026
4	1,123	1,067	1,067

Podmínka 1			
0,06	<	1	Vyhovuje
0,27	<	1	Vyhovuje
0,28	<	1	Vyhovuje
0,27	<	1	Vyhovuje

Tab. 55 – Posouzení - podmínka 1 – KZS5

KZS5	$k_{zy(1)}$	$k_{zy(2)}$	$\min(k_{zy(1)}, k_{zy(2)})$
ŘEZ	[-]	[-]	[-]
1	0,936	0,965	0,936
2	0,932	0,99	0,932
3	0,821	0,947	0,821
4	0,763	0,921	0,763

Podmínka 2			
0,13	<	1	Vyhovuje
0,19	<	1	Vyhovuje
0,44	<	1	Vyhovuje
0,50	<	1	Vyhovuje

Tab. 56 - Posouzení – podmínka 2 – KZS5



**KOMBINACE ZATÍŽENÍ KZ69**

- 0,75\*ZS1
- 0,75\*ZS2
- ZS9
- ZS15

KZ69	ŘEZ			
	1	2	3	4
N [kN]	21,87	25,96	-180,752	-227,583
M [kNm]	0	49,308	-71,968	248,196
V [kN]	3,154	16,51	24,75	56,76

Tab. 57 – Vnitřní síly pro KZS69

KZS69	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$	$N_{Rk}$	$M_{Rk}$	A	$W_{pl,y}$	$f_y$	$X_y$	$X_z$	$X_{LT}$	$\lambda_y$	$\lambda_z$	$C_{my}$	$C_{LT}$
ŘEZ	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	21,87	0	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
2	25,96	49,31	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
3	180,8	71,97	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6
4	227,6	248,2	4641	928	19750	3949000	235	0,487	0,243	0,790	1,269	1,839	0,9	0,6

Tab. 58

KZS69	$k_{yy(1)}$	$k_{yy(2)}$	$\min(k_{yy(1)}, k_{yy(2)})$
ŘEZ	[-]	[-]	[-]
1	0,909	0,907	0,907
2	0,911	0,908	0,908
3	0,977	0,958	0,958
4	0,997	0,972	0,972

Podmínka 1			
0,01	<	1	Vyhovuje
0,07	<	1	Vyhovuje
0,17	<	1	Vyhovuje
0,43	<	1	Vyhovuje

Tab. 59 – Posouzení – podmínka 1 – KZS69

KZS69	$k_{zy(1)}$	$k_{zy(2)}$	$\min(k_{zy(1)}, k_{zy(2)})$
ŘEZ	[-]	[-]	[-]
1	0,99	0,995	0,990
2	0,988	0,994	0,988
3	0,918	0,955	0,918
4	0,897	0,944	0,897

Podmínka 2			
0,02	<	1	Vyhovuje
0,09	<	1	Vyhovuje
0,25	<	1	Vyhovuje
0,51	<	1	Vyhovuje

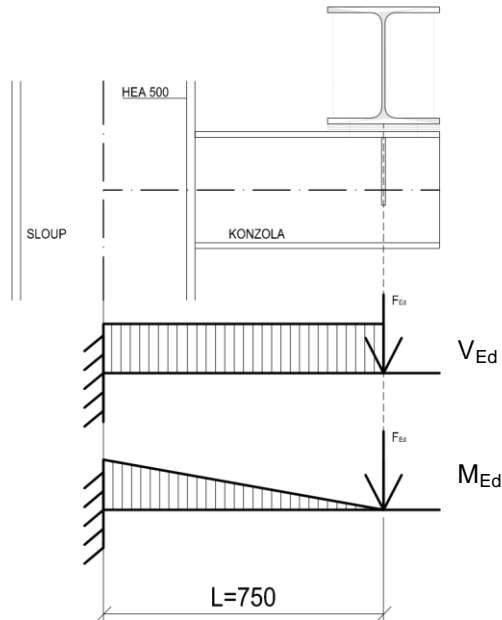
Tab. 60 – Posouzení – podmínka 2 – KZS69





#### 4.9.4 Konzola pro jeřábovou dráhu

Statické schéma konstrukce:



Délka konzoly

$$\rightarrow L = 0,75 \text{ m}$$

Materiály a materiálové vlastnosti:

Ocel: S 235  $\gamma_M = 1$

$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

Zatížení

$$\rightarrow F_{Ed} = 178,1 \text{ kN}$$

Posouvající síla

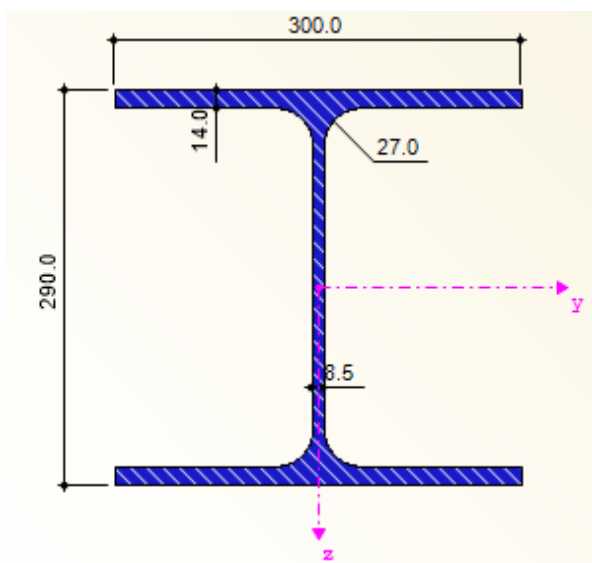
$$\rightarrow V_{Ed} = 178,1 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$\rightarrow M_{Ed} = 133,6 \text{ kN}$$

Průřez :

HEA300



Rozměry průřezu:

$$\rightarrow h = 290 \text{ mm}$$

$$\rightarrow b = 300 \text{ mm}$$

$$\rightarrow A = 11253,0 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow A_{v,z} = 3728,0 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow I_y = 1,83E+08 \text{ mm}^4$$

$$\rightarrow W_{Pl,y} = 1,38E+06 \text{ mm}^3$$

$$\rightarrow W_{El,y} = 1,26E+06 \text{ mm}^3$$



## Mezní stav únosnosti

### Momentová únosnost

$$\rightarrow M_{Rd} = f_{yd} W_{pl,y} = 325,07 \text{ kNm}$$

### Posouzení

$$\rightarrow M_{Rd} = 325,07 \text{ kNm} > M_{Ed} = 133,6 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

### Smyková únosnost

$$\rightarrow V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} f_{yd}}{\sqrt{3}} = 505,8 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\rightarrow V_{pl,Rd} = 505,8 \text{ kN} > V_{Ed} = 178,1 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

### Interakce smyku a ohybu

$$0,5 V_{pl,Rd} = 252,9 \text{ kN} > V_{Ed} = 178,1 \text{ kN}$$

→ Malý smyk

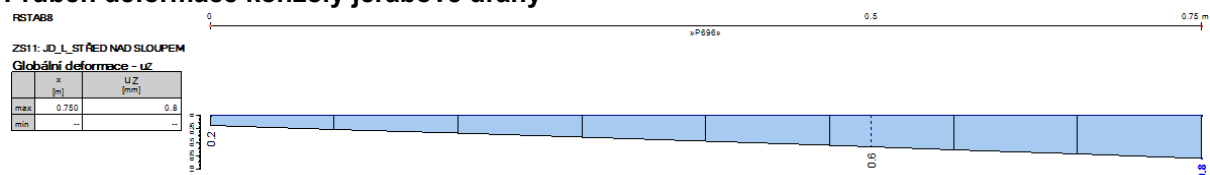
Nebude uvažován vliv smyku na únosnost v ohybu.

## Mezní stav použitelnosti

### Limitní průhyb

$$\rightarrow w_{lim} = \frac{L}{600} = 1,25 \text{ mm}$$

### Průběh deformace konzoly jeřábové dráhy



### Maximální průhyb (charakteristická hodnota zatížení)

$$w_{max} = 0,8 \text{ mm}$$

### Posouzení

$$\rightarrow w_{max} = 0,8 \text{ mm} < w_{lim} = 1,25 \text{ mm}$$

→ Vyhovuje



#### 4.9.4 Přípoj konzoly na sloup

##### Stanovení efektivní šířky pásnice sloupu

Efektivní šířka pásnice sloupu

$$\rightarrow b_{eff} = t_w + 2r + 7t_f = 227 \text{ mm}$$

Rozměry sloupu

$$\begin{aligned} \rightarrow t_w &= 12 \text{ mm} && \text{- tloušťka stojiny} \\ \rightarrow t_f &= 23 \text{ mm} && \text{- tloušťka pásnice} \\ \rightarrow r &= 27 \text{ mm} && \text{- poloměr} \end{aligned}$$

##### Podmínka 1

$$\rightarrow b_{eff} = 227 \text{ mm} < b_c = 300 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

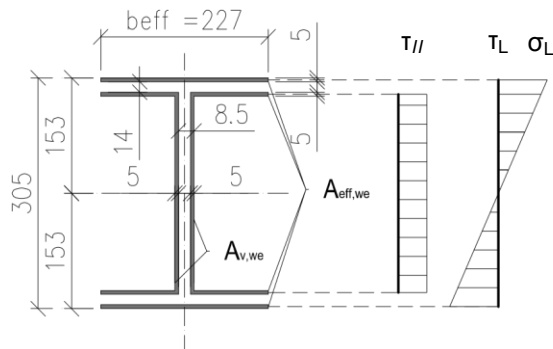
##### Podmínka 2

$$\begin{aligned} \rightarrow b_{eff} &= 227 \text{ mm} > 0,7 b_c = 210 \text{ mm} \rightarrow \text{OK} \\ \rightarrow b_c &= 300 \text{ mm} - \text{šířka pásnice sloupu} \end{aligned}$$

**Pozn.:** Pokud jsou obě podmínky splněny, sloup není nutné vyztužovat příčnými výztuhami.

##### Svarový obrazec

Při posouzení svaru se vychází z napětí v průřezu tvořeném svary – svarového obrazce.



##### Průřezové charakteristiky svarového obrazce

$$\rightarrow A_{eff, we} = 2 \cdot (5 \cdot 227 + 5 \cdot (227 - 8,5)) = 4455 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow A_{v, we} = 2 \cdot 5 \cdot (303 - 2 \cdot 14 - 2 \cdot 5) = 2650 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow I_{we} = 113486308 \text{ mm}^4$$

$$\rightarrow W_{we} = 113486308 / (153 - 14) = 816448,3 \text{ mm}^3$$

##### Výpočet napětí ve svarech

$$\rightarrow \tau_{II} = \frac{F_{Ed}}{A_{v, we}} = 67,21 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \tau_L = \sigma_L = \frac{M_{Ed}}{W_{we} \sqrt{2}} = 115,7 \text{ MPa}$$



### Posouzení svaru

$$\rightarrow \sqrt{\sigma_L^2 + 3(\tau_L^2 + \tau_{II}^2)} = 259,00 \text{ MPa} < \sigma_{Rd} = 360 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 360 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$$

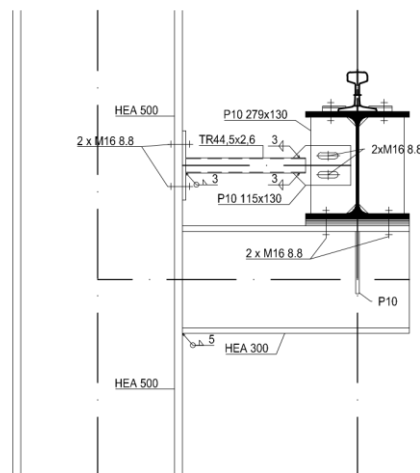
$$\rightarrow \beta_w = 0,8 \text{ - korelační součinitel pro S235}$$

$$\rightarrow \gamma_{M2} = 1,25$$

### 4.9.4 Uložení nosníku jeřábové dráhy

Přenos reakce od vodorovného zatížení se zabezpečí pomocí táhla, které je připevněné k příčné výtuze a pásnici sloupu (viz Obr. 45)

#### Schéma uložení



#### Materiálové charakteristiky

Ocel: S 235

$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_M = 1,0 [-]$$

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

#### Síla v táhlu

$$\rightarrow N_{Ed} = 16,79 \text{ kN}$$

#### Průřez táhla: TR 44,5x2,6

$$\rightarrow A = 342 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow i = 14,8 \text{ mm}$$

Obr. 45 – Uložení nosníku JD

#### Posouzení únosnosti

$$\rightarrow N_{Rd} = A f_{yd} = 80,37 \text{ kN} > N_{Ed} = 16,79 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

#### Posouzení přípoje k sloupu – s vlivem páčení

##### Návrh šroubu: 2xM16 8.8

$$\rightarrow F_{t,Rd} = 121,7 \text{ kN}$$

$$\rightarrow a = 39 \text{ mm}$$

$$\rightarrow b = 39 \text{ mm}$$

$$\rightarrow d = 10 \text{ mm}$$

$$\rightarrow N_{Ed,max (+)} = 16,79 \text{ kN}$$

$$\rightarrow N_{Ed,max (-)} = 16,8 \text{ kN}$$

Nejmenší tloušťka desky, při které nedojde k páčení:

$$\rightarrow t_e = 4,3 (b \cdot d^2 / a)^{1/3} = 19,96 \text{ mm}$$

$$t = 15 \text{ mm}$$



Zvětšující součinitel - vliv páčení

$$\rightarrow \gamma_p = 1 + 0,005 \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1,057 \quad N_{t,Ed} = 16,79 \text{ kN}$$

Posouzení tahové únosnosti šroubů

$$\rightarrow \gamma_p N_{t,Ed} = 17,75 \text{ kN} < 2 F_{t,Rd} = 243,4 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

### Posouzení bočních svarů táhla k desce

Pro boční svary platí:

$$\rightarrow \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

Pevnost bočního svaru ve smyku:

$$\rightarrow T_{\parallel,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = 207,8 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \beta_w = 0,8$$

$$\rightarrow \gamma_M = 1,25$$

Návrhová únosnost svaru

$$\rightarrow F_{w,Rd} = 4 a_w L_w T_{\parallel,Rd} = 99,77 \text{ kN} > N_{Ed} = 16,79 \text{ kN}$$

→ **Vyhovuje**

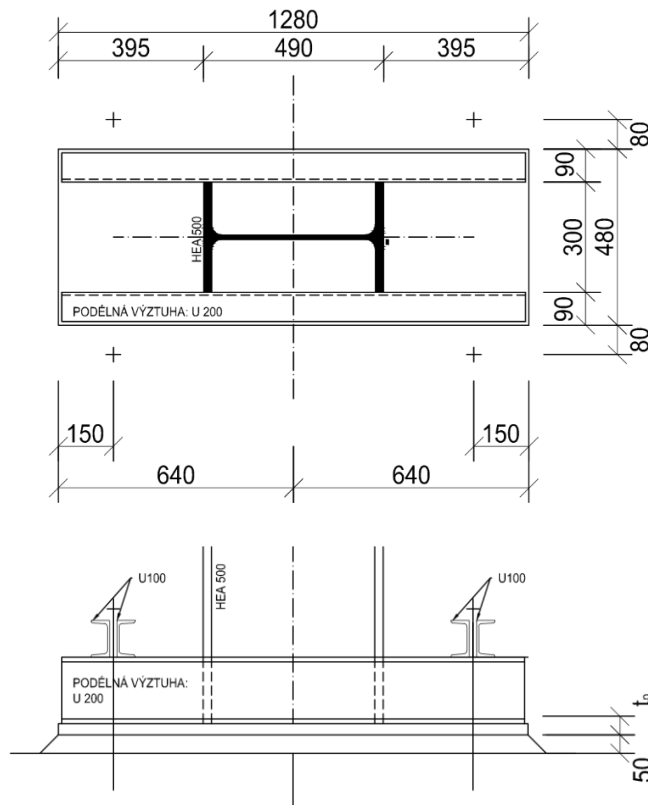
$$\rightarrow a_w = 3 \text{ mm}$$

$$\rightarrow L_w = 40 \text{ mm}$$



#### 4.9.4 Návrh a posouzení patky

Schéma patky:



**Rozměry ocelové patky**

$$\begin{aligned} \rightarrow a &= 1280 \text{ mm} \\ \rightarrow b &= 480 \text{ mm} \\ \rightarrow t_p &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Rozměry betonové patky:**

$$\begin{aligned} \rightarrow a_c &= 1800 \text{ mm} \\ \rightarrow b_c &= 1200 \text{ mm} \\ \rightarrow h_c &= 800 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Materiálové charakteristiky**

**Ocel:** S 235  $\gamma_M = 1 [-]$

$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

**Beton** C 20 /25  $\gamma_c = 1,5 [-]$

$$\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{cd} = 13,33 \text{ MPa}$$

**Započítatelné rozměry betonové patky**

$$\rightarrow a_1 = \min (a_c, 3a, a+h_c) = \min (1800, 3840, 2080) = 1800 \text{ mm}$$

$$\rightarrow b_1 = \min (b_c, 3b, b+h_c) = \min (1200, 1440, 1280) = 1200 \text{ mm}$$

**Pozn.:** Výška podlité stanovená jako 0,1 násobek menšího z půdorysných rozměrů ocelové patky  $\rightarrow 0,1 \cdot 480 = 48 \rightarrow 50 \text{ mm}$ .

**Součinitel koncentrace napětí**

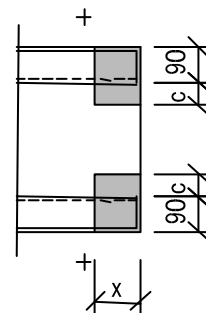
$$\rightarrow k_j = \left[ \frac{a_1 b_1}{a b} \right]^{0,5} = 1,875$$

**Návrhová pevnost betonu**

$$\rightarrow f_{jd} = \frac{2 k_j f_{ck}}{3 \gamma_c} = 16,67 \text{ MPa}$$

**Přesah desky**

$$\rightarrow c = t_p \left[ \frac{f_{yd}}{3 f_{jd}} \right]^{0,5} = 65,04 \text{ mm}$$





Účinná šířka patního plechu

$$\rightarrow b_{eff} = 2 \cdot 90 + 2c = 310,1 = 310 \text{ mm}$$

### Rozhodující kombinace zatížení

Levý sloup

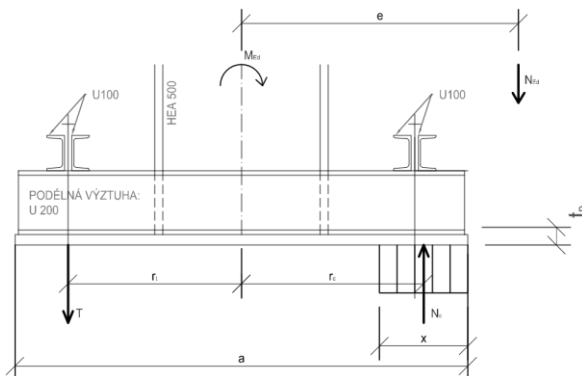
	$V_{Ed}$	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$
	[kN]	[kN]	[kN]
KZS1	14,35	346,5	33,31
KZS49	60,48	<b>320,9</b>	<b>157,3</b>
KZS75	44,27	<b>-30,73</b>	<b>159,8</b>

Pravý sloup

	$V_{Ed}$	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$
	[kN]	[kN]	[kN]
KZS5	13,04	<b>524,4</b>	<b>29,09</b>
KZS69	56,76	<b>227,6</b>	<b>248,2</b>
KZS89	19,76	83,14	113,5

Tab. 61 – Přehled vnitřních sil pro rozhodující KZS

### Namáhání patní spáry a průřezu patky



	KZS5	KZS49	KZS69	KZS75
$M_{Ed}$ [kNm]	29,09	157,3	248,2	159,8
$N_{c,Ed}$ [kN]	524,4	320,9	227,6	-
$N_{t,Ed}$ [kN]	-	-	-	-30,73
e [mm]	55,48	490,3	1091	-5201
x [mm]	48,5	53,46	61,35	24,27
$N_c$ [kN]	234,4	258,4	<b>296,5</b>	117,3
<b>T</b> [kN]	<b>290</b>	62,52	68,95	148

Vztahy pro výpočet hodnot v tabulce:

$$\rightarrow e = \frac{N_{Ed}}{M_{Ed}}$$

$$\rightarrow N_c = b_{eff} \times f_{jd}$$

$$\rightarrow T = N_c - N_{Ed}$$

$$\rightarrow r_t = 490 \text{ mm}$$



### Kvadratická rovnice pro výpočet délky tlačené oblasti $x$

$$\rightarrow b_{eff} f_{jd} x^2 - b_{eff} f_{jd} (2 r_t + a) x + 2 N_{Ed} (e + r_t) = 0$$

<b>1. KZS5</b>
$5333 x^2 - 12053333,33 x + 572098000 = 0$
<b>Kořeny rovnice:</b> $\rightarrow x_1 = 2212 \text{ mm}$ $\rightarrow x_2 = 48,5 \text{ mm} = x$

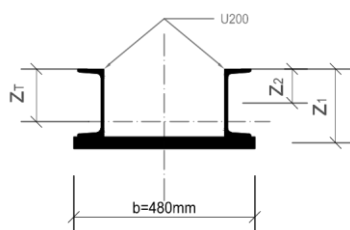
<b>2. KZS49</b>
$5333 x^2 - 12053333,33 x + 629151800 = 0$
<b>Kořeny rovnice:</b> $\rightarrow x_1 = 2207 \text{ mm}$ $\rightarrow x_2 = 53,46 \text{ mm} = x$

<b>3. KZS69</b>
$5333 x^2 - 12053333,33 x + 719420400 = 0$
<b>Kořeny rovnice:</b> $\rightarrow x_1 = 2198 \text{ mm}$ $\rightarrow x_2 = 61,35 \text{ mm} = x$

<b>4. KZS75</b>
$5333 x^2 - 12053333,33 x + 289488520 = 0$
<b>Kořeny rovnice:</b> $\rightarrow x_1 = 2236 \text{ mm}$ $\rightarrow x_2 = 24,27 \text{ mm} = x$

### Posouzení průřezu patky

Průřez patky:



Patní plech: P 30

$$\begin{aligned} \rightarrow b &= 480 \text{ mm} \\ \rightarrow t_p &= 30 \text{ mm} \\ \rightarrow A_P &= 14400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Výztuhy: 2x U 200

$$\begin{aligned} \rightarrow A_U &= 6440 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow I_{y,U} &= 3,8E+07 \text{ mm}^4 \\ \rightarrow A_{vz} &= 3020 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Průřezové charakteristiky svařeného průřezu:

$$\rightarrow A = A_P + A_U = 20840 \text{ mm}^2$$

Poloha těžiště:

$$\rightarrow z_T = \frac{\sum A_i z_i}{A} = 179,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} z_1 &= 215 \text{ mm} \\ z_2 &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

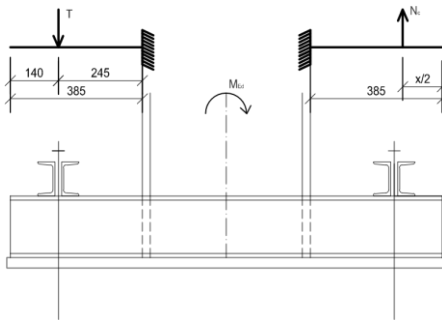




### Moment setrvačnosti

$$\rightarrow I_y = \frac{t_p^3 b}{12} + A_P (z_T - z_1)^2 + I_{y,U} + A_U (z_T - z_2)^2 = 8,83E+07 \text{ mm}^4$$

### Zatížení výztuhy



#### Tlačená část

$$\rightarrow M_P = N_C \left[ 385 - \frac{x}{2} \right] = 106,97 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow N_P = V_P = 296,5 \text{ kN}$$

#### Tažená část

$$\rightarrow M_L = T \cdot 0,245 = 71,04 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow N_L = V_L = 289,96 \text{ kN}$$

Obr. 46 – Schéma zatížení výztuhy

### Průřezový modul

$$\rightarrow W_{y,h} = \frac{I_y}{z_T} = 5,43E+05 \text{ mm}^3 \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$\rightarrow W_{y,d} = \frac{I_y}{(z - z_1)} = 1,31E+06 \text{ mm}^3$$

**Pozn.:** Z důvodu zjednodušení byl pro posouzení nesymetrického průřezu patky použit pružný průřezový modul.

### Posouzení na ohyb

$$\rightarrow \sigma_{h,max} = \frac{M_P}{W_{y,h}} = 196,84 \text{ MPa} < f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

### Posouzení smyku

$$\rightarrow \tau_{max} = \frac{V_{max}}{A_{vz}} = 85,56 \text{ MPa} < \tau_{Rd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 135,68 \text{ MPa}$$

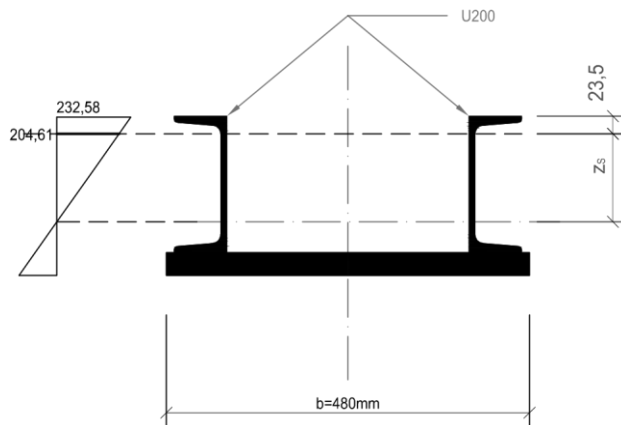
→ Vyhovuje

### Kombinace smyku a ohybu

Kombinace M+V se posoudí na okraji stojiny viz Obr. 46.

$$\rightarrow \tau_{max} = 85,56 \text{ MPa} > \frac{\tau_{Rd}}{2} = 67,84 \text{ MPa}$$

→ Velký smyk - nutné posoudit kombinaci M+V



$$\rightarrow \sigma_s = \frac{M_P}{I_y} z_s = 173,16 \text{ MPa}$$

Obr. 47 – Průběh normálového napětí v průřezu patky

Vzdálenost okraje stojiny od težiště složeného průřezu patky

$$\rightarrow z_s = 143 \text{ mm}$$

**Podmínka spolehlivosti**

$$\left[ \sigma_s^2 + 3\tau^2 \right]^{0,5} = 227,9 \text{ MPa} < f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

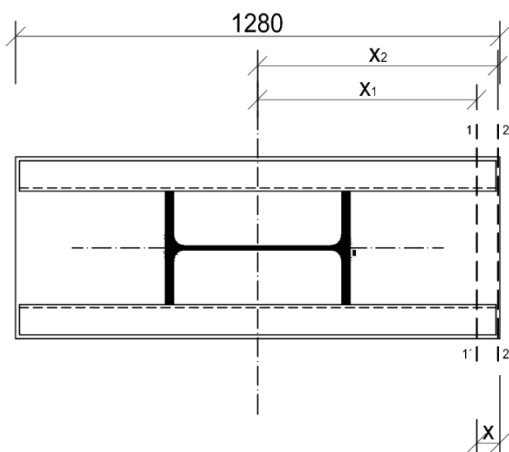
**Připojení podélných výztuh k patnímu plechu**

Svary jsou namáhány silou  $V_p$  od ohybu průřezu patky a současně reakcemi sloupu  $M_{Ed}$ ,  $V_{Ed}$ ,  $N_{Ed}$ . Posouzení je provedeno v řezu 1-1 kde se projeví vliv  $V_p$  a na konci patky, kde je největší vliv momentu  $M_{Ed}$ .

**Návrh svaru:**  $a = 5 \text{ mm}$

**Vnitřní síly**

$$\begin{aligned} \rightarrow N_{Ed} &= 227,6 \text{ kN} \\ \rightarrow M_{Ed} &= 248,2 \text{ kNm} \quad \rightarrow f_u = 360 \text{ MPa} \\ \rightarrow V_{Ed} &= 56,76 \text{ kN} \quad \rightarrow \beta_w = 0,8 \\ \rightarrow V_p &= 296,5 \text{ kN} \quad \rightarrow \gamma_M = 1,25 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \rightarrow A_{we} &= 25600 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow I_{we} &= 3,495E+09 \text{ mm}^4 \\ \rightarrow S_{f,y} &= 436320 \text{ mm}^3 \\ \rightarrow x &= 61,35 \text{ mm} \\ \rightarrow x_1 &= 579 \text{ mm} \\ \rightarrow x_2 &= 635 \text{ mm} \end{aligned}$$



### ŘEZ 1-1'

$$\rightarrow \tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p S_{f,y}}{I_y 4 a_{we}} = 75,45 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} x_1 = 50,89 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = 35,99 \text{ MPa}$$

### Posouzení

$$\left[ \sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2) \right]^{0,5} = 149,19 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_M} = 360 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje

### ŘEZ 2-2'

$$\rightarrow \tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p S_{f,y}}{I_y 4 a_{we}} = 75,45 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} x_2 = 54,34 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = 38,42 \text{ MPa}$$

### Posouzení

$$\left[ \sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2) \right]^{0,5} = 151,60 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_M} = 360 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje



### Návrh a posouzení kotevních šroubů

$$\rightarrow T_1 = \frac{T_{max}}{2} = 144,98 \text{ kN}$$

$$\rightarrow T_{max} = 289,96 \text{ kN}$$

$$\rightarrow N_{t,Ed,max} = \frac{T_1 (l_1 + l_2)}{l} = 162,56 \text{ kN}$$

$$l_1 = 220 \text{ mm}$$

$$l_2 = 520 \text{ mm}$$

$$l = 660 \text{ mm}$$

$$\rightarrow N_{t,Ed,min} = T_{max} - N_{t,Ed,max} = 127,41 \text{ kN}$$

**Pozn.:** Při určení sil do jednoho šroubu je zohledněna tolerance v osazení šroubů, která je uvažována +/-50mm.

<b>Návrh šroubu:</b>	<b>M 36 x 4</b>	$A = 1257 \text{ mm}^2$	$f_u = 360$
		$A_s = 865 \text{ mm}^2$	$\beta_w = 0,8$
		$D = 40 \text{ mm}$	$\gamma_{M2} = 1,25$

### Únosnost – porušení v místě závitu

$$\rightarrow F_{t,Rd} = 0,85 \frac{0,9 A_s f_u}{\gamma_{M2}} = 190,58 \text{ kN} > N_{t,Ed,max} = 169,15 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

$$\rightarrow F_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 295,31 \text{ kN} > N_{t,Ed,max} = 169,15 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

### Posouzení kotevního příčnicku

#### Vnitřní síly

$$\rightarrow M_{a,d} = N_{t,Ed,min} l_1 = 35,76 \text{ kNm} \quad l_1 = 220 \text{ mm}$$

$$\rightarrow V_{a,d} = N_{t,Ed,min} = 127,41 \text{ kN} \quad l_2 = 120 \text{ mm}$$

$$\rightarrow M_{b,d} = N_{t,Ed,max} l_2 = 19,51 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow V_{b,d} = N_{t,Ed,max} = 162,56 \text{ kN}$$

**Průřez:** 2x U 140

#### Průřezové charakteristiky:

$$\rightarrow A_{vz} = 2020 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow W_{pl,y} = 2E+05 \text{ mm}^3$$

### Posouzení

$$\rightarrow V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} f_{yd}}{\sqrt{3}} = 274,1 \text{ kN} > V_{a,d} = 162,6 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje



### Ohybová únosnost

$$\rightarrow M_{pl,Rd} = W_{pl,y} f_{yd} = 48,32 \text{ kNm} > M_{a,d} = 35,76 \text{ kNm}$$

→ Vyhovuje

### Vliv smyku na ohybovou únosnost

#### Bod 1

$$\rightarrow \rho = \left[ \frac{2 V_{a,d}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right]^2 = 0,005$$

$$\rightarrow M_{V,Rd} = \left[ W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{4 t_w} \right] f_{yd} = 48 \text{ kNm} < M_{a,d} = 35,8 \text{ kNm}$$

→ Vyhovuje

#### Bod 2

$$\rightarrow \rho = \left[ \frac{2 V_{b,d}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right]^2 = 0,035$$

$$\rightarrow M_{V,Rd} = \left[ W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{4 t_w} \right] f_{yd} = 48 \text{ kNm} < M_{a,d} = 19,5 \text{ kNm}$$

→ Vyhovuje

### Přenos vodorovné síly do betonové patky

Rozhodující kombinace je KZS75, při které vzniká největší vodorovná reakce současně s malou tlakovou silou.

#### Vodorovná reakce

$$\rightarrow R_{y,Ed} = 44,27 \text{ kN}$$

#### Tlaková síla ve spáře mezi betonem a ocelí

$$\rightarrow N_c = 117,3 \text{ kN}$$

#### Součinitel tření (ocel - beton)

$$\rightarrow \mu = 0,2$$

#### Posouzení smykové únosnosti v důsledku tření

$$\rightarrow V'_{Ed} = \mu N_c = 23,46 \text{ kN} < R_{y,Ed} = 44,27 \text{ kN}$$

→ **Nevyhovuje**

Pokud se kontroluje utažení šroubů, lze do tlakové síly v patní spáře započítat i předpětí šroubů. Navržené předpětí šroubů při jejich utažení představuje 25%.

#### Předpětí šroubů

$$N_{c+} = 4 \alpha A_s f_{yd} = 203,3 \text{ kN}$$

#### Tlaková síla v patní spáře s vlivem utažení šroubů

$$N_{c1} = N_c + N_{c+} = 320,6 \text{ kN}$$



### Posouzení smykové únosnosti v důsledku tření s vlivem utažení šroubů

$$\rightarrow V_{Ed} = \mu N_c = 64,12 \text{ kN} < R_{y,Ed} = 44.27 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

Není nutné navrhovat smykovou zarážku.

### 4.9.4 Návrh štitové vazby

#### Příčel

##### Vnitřní síly:

$$\rightarrow M_{Ed} = 23,06 \text{ kN/m}$$

$$\rightarrow V_{Ed} = 15,74 \text{ kN/m}$$

##### Materiálové charakteristiky

Ocel: S 235  $\gamma_M = 1 [-]$

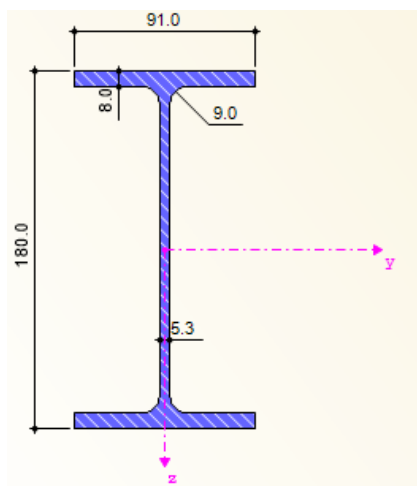
$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

##### Minimální průřezový modul

$$\rightarrow W_{pl,min} = \frac{M_{Ed}}{f_{y,d}} = 98128 \text{ mm}^3$$

##### Průřez: IPE 180



##### Průřezové charakteristiky:

$$\rightarrow A_{vz} = 2395 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow W_{y,pl} = 166400 \text{ mm}^3$$

### Mezní stav únosnosti

#### Posouzení na ohyb

$$\rightarrow M_{pl,Rd} = W_{y,pl} f_{yd} = 39,1 \text{ kNm} > M_{Ed} = 23,06 \text{ kNm}$$

→ Vyhovuje

#### Posouzení na smyk

$$\rightarrow V_{Rd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 135,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 15,74 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje



## Sloup

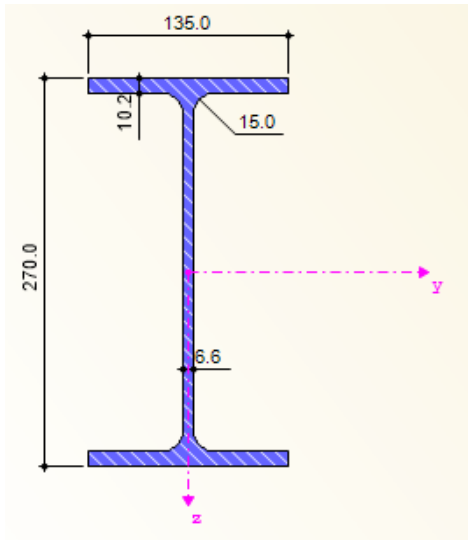
### Vnitřní síly:

$$\begin{aligned}\rightarrow N_{Ed} &= 38,82 \text{ kN} \\ \rightarrow M_{Ed} &= 72,39 \text{ kNm} \\ \rightarrow V_{Ed} &= 22,2 \text{ kN}\end{aligned}$$

### Materiálové charakteristiky:

$$\begin{aligned}\rightarrow f_{yk} &= 235 \text{ MPa} & \gamma_M &= 1 [-] \\ \rightarrow f_{yd} &= 235 \text{ MPa}\end{aligned}$$

### Průřez :



### Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned}\rightarrow h &= 270 \text{ mm} \\ \rightarrow b &= 135 \text{ mm} \\ \rightarrow t_w &= 6,6 \text{ mm} \\ \rightarrow t_f &= 10,2 \text{ mm} \\ \rightarrow A &= 4594,0 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow A_{v,z} &= 2214,0 \text{ mm}^2 \\ \rightarrow I_y &= 5,8E+07 \text{ mm}^4 \\ \rightarrow I_z &= 4,2E+06 \text{ mm}^4 \\ \rightarrow i_y &= 112,30 \text{ mm} \\ \rightarrow i_z &= 30,20 \text{ mm} \\ \rightarrow W_{Pl,y} &= 4,8E+05 \text{ mm}^3 \\ \rightarrow W_{El,y} &= 4,3E+05 \text{ mm}^3 \\ \rightarrow I_t &= 159400 \text{ mm}^4 \\ \rightarrow I_w &= 7,06E+10 \text{ mm}^6\end{aligned}$$

## Výpočet vzpěrnostních parametrů

### Vzpěrné délky

$$\begin{aligned}\rightarrow L_{cr,y} &= \beta_y L = 13,4 \text{ m} \\ \rightarrow L_{cr,z} &= \beta_z L = 4,4 \text{ m}\end{aligned}$$

### Štíhlost sloupu

$$\begin{aligned}\rightarrow \lambda_y &= \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 107,5 \\ \rightarrow \lambda_z &= \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 131,3\end{aligned}$$

### Poměrná štíhlost:

$$\begin{aligned}\rightarrow \lambda_y^- &= \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1,15 \\ \rightarrow \lambda_z^- &= \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,399 \\ \rightarrow \lambda_1 &= 93,9 \sqrt{(235/f_y)} = 93,9 [-]\end{aligned}$$

### Součinitelé vzpěru:

$$\begin{aligned}\rightarrow \chi_y &= 0,562 & \rightarrow \text{křivka vzpěrné pevnosti a} \\ \rightarrow \chi_z &= 0,382 & \rightarrow \text{křivka vzpěrné pevnosti b}\end{aligned}$$



### Výpočet parametrů klopení

$$\rightarrow k_z = 1 \quad [-]$$

$$\rightarrow k_y = 1 \quad [-]$$

$$\rightarrow k_w = 1 \quad [-]$$

### Bezrozměrný parametr kroucení

$$\rightarrow k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot l} \cdot \left[ \frac{E I_\omega}{G I_t} \right]^{0,5}$$

$$k_{wt} = 0,911 \quad [-]$$

### Bezrozměrný parametr působení zatížení

$$\rightarrow \zeta_g = 0,000 \quad [-]$$

### Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\rightarrow \zeta_i = 0 \quad [-]$$

$$\rightarrow C_{1,0} = 1,13 \quad [-]$$

$$\rightarrow C_{1,1} = 1,13 \quad [-]$$

$$\rightarrow C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) k_{wt}$$

$$\rightarrow C_1 = 1,130 \quad [-] \leq C_{1,1}$$

### Poměrný kritický moment

$$\rightarrow \mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ 1 + k_{wt}^2 \right]^{0,5}$$

$$\rightarrow \mu_{cr} = 1,529 \quad [-]$$

### Kritický moment

$$\rightarrow M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \pi \cdot \left[ \frac{E I_z G I_t}{L} \right]^{0,5}$$

$$M_{cr} = 130,601 \text{ kNm}$$

### Poměrná štíhlost

$$\rightarrow \lambda_{LT}^- = \left[ \frac{W_y f_y}{M_{cr}} \right]^{0,5}$$

$$\rightarrow \lambda_{LT}^- = 1,063 \quad [-]$$

### Součinitel klopení

$$\rightarrow \chi_{LT} = 0,624 \quad [-]$$





## Posouzení

KZ1	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kN/m]	$N_{Rk}$ [kN]	$M_{Rk}$ [kN/m]	$A$ [mm <sup>2</sup> ]	$W_{pl,y}$ [mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [MPa]	$X_y$ [-]	$X_z$ [-]	$X_{LT}$ [-]	$\lambda_y$ [-]	$\lambda_z$ [-]	$C_{my}$ [-]	$C_{LT}$ [-]
	26,82	72,39	1080	147,7	4594	6,3E+05	235	0,487	0,243	0,624	1,145	1,399	0,9	0,6

$k_{yy(1)}$	$k_{yy(2)}$	$\min(k_{yy(1)}, k_{yy(2)})$
[-]	[-]	[-]
0,943	0,937	0,937

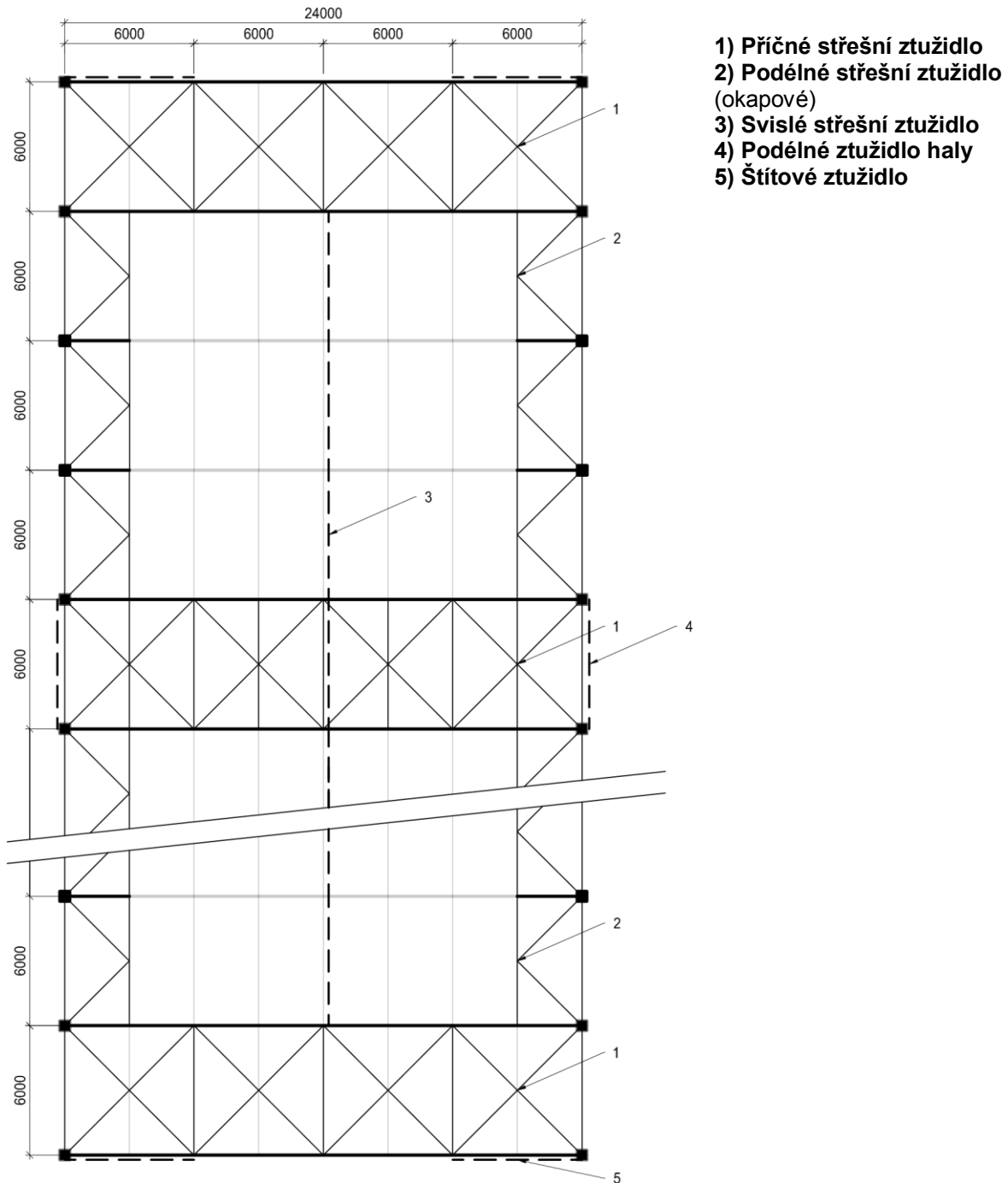
Podmínka 1		
0,77	<	1 Vyhovuje

$k_{zy(1)}$	$k_{zy(2)}$	$\min(k_{zy(1)}, k_{zy(2)})$
[-]	[-]	[-]
0,967	0,972	0,967

Podmínka 2		
0,86	<	1 Vyhovuje

#### 4.9.4 Návrh ztužení haly

##### Schéma rozmístění ztužidel



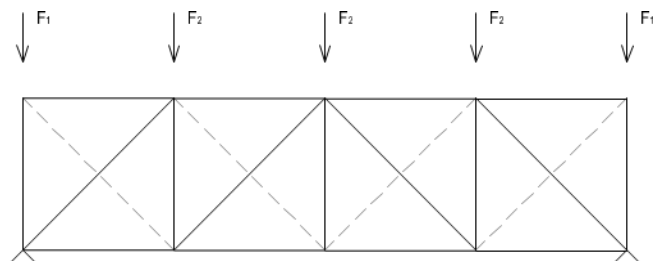
Obr. 48 – Schéma rozmístění ztužidel



### Příčné ztužidlo v rovině střechy

Při návrhu se počítá pouze s taženými diagonálami, tlačené (ve schématu čárkovaně) se považují za vybočené. Vnitřní síly jsou získané z výpočetního modelu.

#### Schéma ztužidla:



#### Geometrie ztužidla:

##### Délka diagonály

$$\rightarrow L_D = 8,48 \text{ m}$$

##### Délka svislice

$$\rightarrow L_V = 6 \text{ m}$$

#### Vnitřní síly

Diagonála  $\rightarrow N_{t,Ed,1} = 34,93 \text{ kN}$

Svislice  $\rightarrow N_{t,Ed,2} = 38,97 \text{ kN}$

#### Materiálové charakteristiky

Ocel: S 235  $\gamma_M = 1 [-]$

$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$$

### Návrh přípoje prutu

Návrh šroubu M16 8.8  $\rightarrow d_0 = 18 \text{ mm}$

#### Únosnost ve stříhu

$$\rightarrow F_{v,Rd} = 66,6 \text{ kN}$$

#### Únosnost v otláčení

$$\rightarrow F_{v,Rd} = 52 \frac{t_1}{t} = 26 \text{ kN} \quad \rightarrow t_1 = 5 \text{ mm}$$

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

#### Počet šroubů

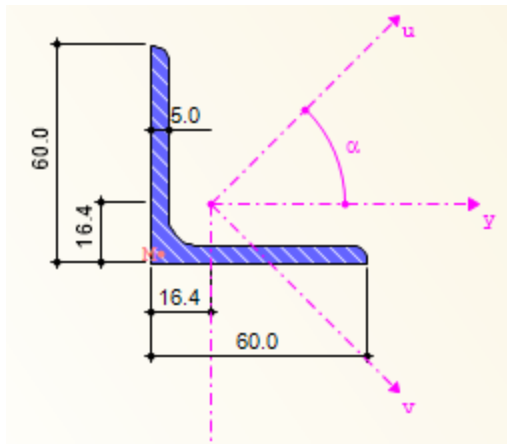
$$\rightarrow n = \frac{N_{t,Ed}}{F_{v,Rd}} = 1,343$$

$\rightarrow$  **Návrh 2x M16 8.8**



## Návrh a posouzení průřezu diagonály

Průřez:



Průřezové charakteristiky:

$$\rightarrow A = 582 \text{ mm}^2$$

Materiálové charakteristiky:

$$\rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow \gamma_{M2} = 1,25$$

Posouzení tahové únosnosti diagonály:

$$\rightarrow N_{t,Rd} = A f_{yd} = 136,8 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 34,93 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

Posouzení oslabeného průřezu

$$\rightarrow N_{u,Rd} = \frac{0,4 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = 56,68 \text{ kN} > N_{Ed,1} = 34,93 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

$$\rightarrow A_{net} = A - (d_0 t_1) = 492 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow d_0 = 18 \text{ mm} \quad \text{- průměr otvoru}$$

$$\rightarrow t_1 = 5 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka profilu}$$

$$\rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$$

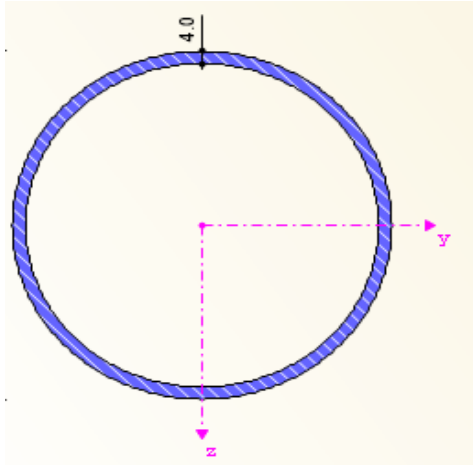
$$\rightarrow \gamma_{M2} = 1,25$$



### Návrh a posouzení svislice

Normálová síla ve svislici stanovená pomocí výpočetního modelu, je vyšší než 30kN, není proto možné jako svislici uvažovat tenkostěnnou vaznici. Pro tento účel bude navržen zvláštní prut.

Průřez: TR 82,5x4



Průřezové charakteristiky:

$$\rightarrow A = 986 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow i = 27,8 \text{ mm}$$

Délka svislice

$$\rightarrow L_V = 6 \text{ m}$$

Vzpěrná délka

$$\rightarrow L_{cr} = 0,95 L_V = 5,7 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\rightarrow \lambda = \frac{L_{cr}}{i} = 205$$

Poměrná štíhlost prutů

$$\rightarrow \lambda^* = \frac{\lambda}{\lambda_1} = 2,184$$

$$\rightarrow \lambda_1 = 93,9 \sqrt{(235/f_y)} = 93,9 [-]$$

Součinitel vzpěru

$$\rightarrow \chi = 0,195$$

→ křivka vzpěrné pevnosti a

Posouzení tlakové únosnosti

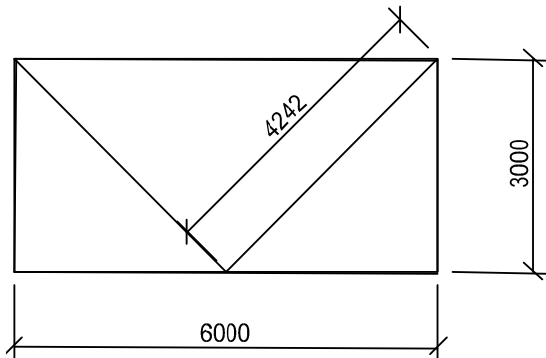
$$N_{Rd} = \chi A f_{yd} = 45,18 \text{ kN} > N_{c,Ed} = 38,97 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje



## Okapové ztužidlo

Schéma ztužidla:



Geometrie ztužidla:

Délka diagonály

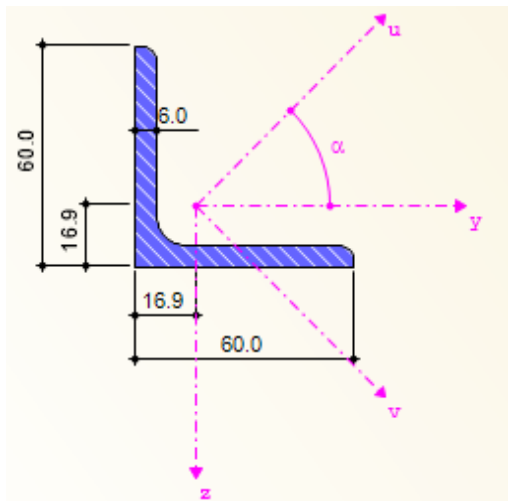
$$\rightarrow L_D = 4,242 \text{ m}$$

Materiálové charakteristiky

$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_M = 1 [-]$$

$$\rightarrow f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

Průřez: L60x6



Průřezové charakteristiky

$$\rightarrow A = 691 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow i = 18,2 \text{ mm}$$

Vnitřní síly

$$\rightarrow N_{t,Ed} = 12,67 \text{ kN}$$

$$\rightarrow N_{c,Ed} = 15,65 \text{ kN}$$

Posouzení tlakové únosnosti

$$\rightarrow N_{Rd} = \chi_z A f_{yd} = 23,87 \text{ kN} > N_{c,Ed} = 15,65 \text{ kN}$$

$\rightarrow$  Vyhovuje

Vzpěrná délka:

$$\rightarrow L_{cr} = L_D = 4,242 \text{ m}$$

Štíhlost:

$$\rightarrow \lambda = \frac{L_{cr}}{i} = 270,2$$

Poměrná štíhlost prutu

$$\rightarrow \lambda^* = \frac{\lambda}{\lambda_1} = 2,482$$

$$\rightarrow \lambda_1 = 93,9 \sqrt{(235/f_y)} = 93,9 [-]$$

Součinitel vzpěru

$$\rightarrow \chi_y = 0,147$$

$\rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti a



### Posouzení tlakové únosnosti

$$\rightarrow N_{Rd} = \chi_z A f_{yd} = 21,69 \text{ kN} > N_{c,Ed} = 15,65 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

### Návrh přípoje prutu

Návrh šroubů: 2xM16 8.8

### Posouzení oslabeného průřezu

$$\rightarrow N_{u,Rd} = \frac{0,4 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = 67,16 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 12,67 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

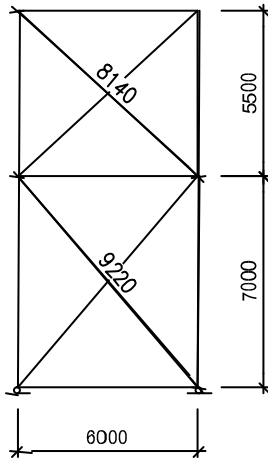
$$\begin{aligned} \rightarrow A_{net} &= A - (d_0 t_1) = 583 \text{ mm} \\ \rightarrow d_0 &= 18 \text{ mm} \quad - \text{ průměr otvoru} \\ \rightarrow t_1 &= 6 \text{ mm} \quad - \text{ tloušťka profilu} \\ \rightarrow f_u &= 360 \text{ MPa} \\ \rightarrow \gamma_{M2} &= 1,25 \end{aligned}$$

**Pozn.:** Součástí okapového ztužidla bude vodorovný prut v úrovni okapové vaznice, který zabezpečí přenos reakce z příčného ztužidla střechy do podélného ztužidla haly. Vzhledem k tomu, že osové síly v tomto prutu jsou dle výpočetního modelu porovnatelné (menší) s osovými silami ve svislici příčného střešního ztužidla je pro tento účel bezpečně navržen profil **TR 82,5x4**.



## Podélné ztužidlo v řadě A

### Schéma ztužidla:



### Geometrie ztužidla

#### Délka dolního prutu

$$\rightarrow L_1 = 9,22 \text{ m}$$

#### Délka horního prutu

$$\rightarrow L_2 = 8,14 \text{ m}$$

### Materiálové charakteristiky

$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1 [-]$$

$$\rightarrow f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

### Vnitřní síly:

#### Dolní část

$$N_{t,Ed,1} = 107,8 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed,1} = 132,2 \text{ kN}$$

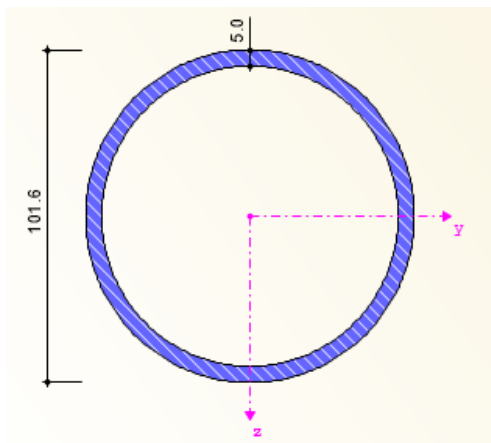
#### Horní část

$$N_{t,Ed,2} = 48,31 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed,2} = 53,72 \text{ kN}$$

### Návrh a posouzení dolní části ztužidla

#### Průřez: TR 102x5



#### Průřezové charakteristiky

$$\rightarrow A = 1524 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow i = 34,3 \text{ mm}$$





### Štíhlost prutů

$$\rightarrow \lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = 134,40$$

$$\rightarrow \lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = 134,40$$

$$\rightarrow \lambda_1 = 93,9 \sqrt{(235/f_y)} = 93,9 [-]$$

### Poměrná štíhlost prutů

$$\rightarrow \lambda_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1,43$$

$$\rightarrow \lambda_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,43$$

### Součinitel vzpěru

$$\rightarrow \chi = 0,413 \quad \rightarrow \text{křivka vzpěrné pevnosti a}$$

### Posouzení tlakové únosnosti

$$N_{Rd} = \chi A f_{yd} = 147,9 \text{ kN} > N_{c,Ed} = 132,2 \text{ kN}$$

$\rightarrow$  Vyhovuje

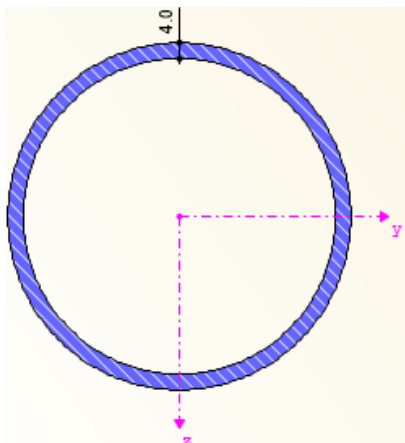
### Posouzení horního tužidla

#### Vzpěrná délka:

$$\rightarrow L_{cr,y,1} = 0,9 L_2 = 7,33 \text{ m}$$

$$\rightarrow L_{cr,z,1} = \frac{L_2}{2} = 4,07$$

### Průřez: TR 82.5x4



### Průřezové charakteristiky

$$\rightarrow A = 986 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow i = 27,8 \text{ mm}$$



### Štíhlost prutů

$$\rightarrow \lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = 131,76$$

$$\rightarrow \lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = 146,40$$

$$\rightarrow \lambda_1 = 93,9 \sqrt{(235/f_y)} = 93,9 [-]$$

### Poměrná štíhlost prutů

$$\rightarrow \lambda_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1,40$$

$$\rightarrow \lambda_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,56$$

### Součinitel vzpěru

$$\rightarrow \chi = 0,348$$

→ křivka vzpěrné pevnosti a

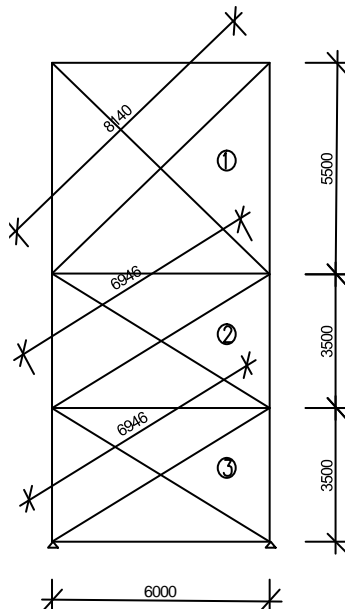
### Posouzení tlakové únosnosti

$$\rightarrow N_{Rd} = \chi A f_{yd} = 80,64 \text{ kN} > N_{c,Ed} = 53,72 \text{ kN}$$

→ Vyhovuje

## Podélné ztužidlo v řadě B

### Schéma ztužidla



### Geometrie ztužidla

#### Délka diagonál

$$\rightarrow L_1 = 8,14 \text{ m}$$

$$\rightarrow L_2 = 6,946 \text{ m}$$

$$\rightarrow L_3 = 6,946 \text{ m}$$

#### Materiálové charakteristiky

$$\rightarrow f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1 [-]$$



## Posouzení průřezu

Návrh: TR82,5x4

Ztužidlo	Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	i [mm]	f <sub>y</sub> [MPa]	N <sub>c,Ed,i</sub> [kN]	N <sub>t,Ed,i</sub> [kN]	L <sub>i</sub> [m]	L <sub>cr,y</sub> [m]	L <sub>cr,z</sub> [m]	λ <sub>y</sub> [-]	λ <sub>z</sub> [-]	λ <sub>1</sub> [-]	λ <sub>y</sub> <sup>-</sup> [-]	λ <sub>z</sub> <sup>-</sup> [-]	χ
1	TR 82,5x4	986	27,8	235	37,83	40,75	8140	3663	4070	131,8	146,4	93,9	1,403	1,559	0,476
2	TR 82,5x4	986	27,8	235	67,32	71,3	6496	2923	3248	105,2	116,8	93,9	1,12	1,244	0,505
3	TR 82,5x4	986	27,8	235	83,01	86,06	6496	2923	3248	105,2	116,8	93,9	1,12	1,244	0,505

Tab. 62 – Parametry pro posouzení podélného ztužidla

N <sub>c,Rd</sub> [kN]	N <sub>Ed</sub> /N <sub>c,Rd</sub>	Posouzení			
110,3	0,34	<	1	Vyhovuje	
117,0	0,58	<	1	Vyhovuje	
117,0	0,71	<	1	Vyhovuje	

Tab. 63 – Tlaková únosnost

N <sub>t,Rd</sub> [kN]	N <sub>Ed</sub> /N <sub>t,Rd</sub>	Posouzení			
231,7	0,18	<	1	Vyhovuje	
231,7	0,31	<	1	Vyhovuje	
231,7	0,37	<	1	Vyhovuje	

Tab. 64 – Tahová únosnost



## Literatura:

- [1] ČSN EN 1993-1-1, Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [2] ČSN EN 1991-1-3, Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem
- [3] ČSN EN 1991-1-4, Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem
- [4] ČSN EN 1991-3, Zatížení konstrukcí – Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
- [5] ČSN EN 1993-1-5, Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1-5: Boulení stěn
- [6] ČSN EN 1993-6, Navrhování ocelových konstrukcí, Část 6: Jeřábové dráhy
- [7] ČSN EN 1993-1-8, Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1-8 Spoje
- [8] ČSN EN 1993-1-9, Navrhování ocelových konstrukcí, Část 9: Únava
- [9] ČSN EN 1994-1-1, Navrhování ocelobetonových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [10] Vraný, T. – Wald. F.: Ocelové konstrukce, Tabulky, ČVUT Praha, 2004.
- [11] Studnička, J.: Ocelové konstrukce 20, ČVUT, Praha 2002, s. 131, ISBN 80-01-01743-5
- [12] Studnička, J.: Ocelové konstrukce, ČVUT, Praha, 2004, s. 144, ISBN 80-01-02942-5
- [13] Eliášová, M. – Sokol, Z.: Ocelové konstrukce 1 – Příklady, ČVUT, Praha 2013, s. 84, ISBN 80-01-05214-3
- [14] Pilgr, M.: Kovové konstrukce – Výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6, VUT, Brno 2012, s.200, ISBN 80-7204-807-6