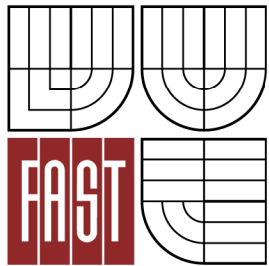


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**

**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

# **STATICKÝ VÝPOČET**

STATIC CALCULATION

## **STÁJ PRO CHOV SKOTU**

STABLE FOR CATTLE

### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**VENDULA SEIDLOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. ONDŘEJ PEŠEK**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Vendula Seidlová

**Název** Stáj pro chov skotu

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Ondřej Pešek

**Datum zadání  
bakalářské práce** 30. 11. 2014

**Datum odevzdání  
bakalářské práce** 29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014

.....  
prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Ferjenčík, P. a kol. Navrhovanie ocelových konštrukcií, 1. časť + 2. časť, ALFA Bratislava / SNTL Praha, 1986.  
Marek, P. a kol. Kovové konstrukce pozemních staveb, SNTL / ALFA, Praha, 1985.  
Bujňák, J., Vičan, J. Navrhovanie ocelových konštrukcií, Žilinská univerzita v Žiline, 2012, ISBN 978-80-554-0529-2.  
ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí  
ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí  
ČSN EN 1993 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí  
Předpisy upravující požadavky na stavby pro chov hospodářských zvířat a další související normy a technické dokumenty.

## **Zásady pro vypracování**

Vypracujte statický návrh nosné ocelové konstrukce jednolodního halového objektu pro účely ustájení asi 300 kusů skotu.

Půdorysné rozměry stavby budou přibližně 36x78 metrů. Dimenze upřesněte tak, aby užitený prostor připadající na jeden kus dobytka splňoval předepsané hodnoty a také s ohledem na provozní požadavky. Výška objektu není omezena.

Konstrukce bude navržena na účinky klimatických zatížení odpovídajících umístění stavby v Jaroměřicích u Velkých Opatovic.

Výstupem práce bude statický výpočet hlavních prvků nosné konstrukce, návrh směrných detailů, výkresová dokumentace podle pokynů vedoucího bakalářské práce a technická zpráva.

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
Ing. Ondřej Pešek  
Vedoucí bakalářské práce

### **Abstrakt**

Předmětem této bakalářské práce je návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce pro ustájení 300 kusů skotu. Objekt je situován v lokalitě Jaroměřice. Půdorysné rozměry stavby jsou 78 x 34 m, výška nosné konstrukce dosahuje 11 metrů, se světlíkem je celková výška konstrukce 12 m. Střecha je provedena ve sklonu 22,4°. Příčnou vazbu stáje tvoří rám s kloubovým uložením na základových patkách. Rám má proměnný průřez, příčle jsou v polovině rozpětí podepřeny sloupy kruhového průřezu. Osová vzdálenost příčných vazeb je 6 m. Mezi řešené detaily patří montážní spoj, rámový roh, kotvení, připojení ztužidel k příčli rámu nebo připojení sloupu.

### **Klíčová slova**

zemědělská stavba, ustájení skotu, nosná ocelová konstrukce, kloubové uložení na patkách, vzpěrné délky rámu, rám s proměnným průřezem

### **Abstract**

The aim of this Bachelor's thesis is the design and the analysis of the steel structure of cattle stable (300 head of cattle). The object is situated in location Jaroměřice. Ground plan dimensions are 78 x 34 metres, the height of steel structure is 11 metres – 12 metres with a skylight. The roof angle is 22,4°. The transverse links of the structure are made of the frames hinged on base footings. The frame cross-section is variable and supported by columns with round cross-section. The axial span of transverse links is 6 metres. Solved details contain joint montage, frame corner, hinged footings, bracing and frame connection, or a column and frame connection.

### **Keywords**

farm building, cattle housing, steel structure, hinged on base footings, buckling lengths of frame, variable cross-section frame



### **Bibliografická citace VŠKP**

SEIDLOVÁ, Vendula. *Stáj pro chov skotu*. Brno, 2015. 93 s., 17 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Ondřej Pešek.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 20.5.2015

.....

podpis autora  
Vendula Seidlová

**Poděkování:**

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Ondřeji Peškovi za velmi užitečné rady a vstřícnost při konzultacích k bakalářské práci. Dále bych chtěla poděkovat rodině a přátelům za podporu a trpělivost.

## Obsah

Úvod .....	8
1 Zatížení .....	10
1.1 Zatížení stálé .....	10
1.2 Zatížení sněhem .....	10
1.3 Zatížení větrem .....	10
1.4 Užité zatížení .....	17
2 Střešní krytina.....	18
3 Vaznice .....	21
4 Táhla u vaznic.....	27
5 Příčná vazba.....	29
5.1 Stojka rámu .....	33
5.2 Příčel rámu .....	39
5.3 Sloup .....	50
6 Štítová stěna.....	53
6.1 Rám štítové stěny .....	53
6.2 Sloupek 1 .....	59
6.3 Sloupek 2 .....	62
6.4 Paždík.....	65
7 Ztužidla.....	68
8 Posouzení modelu na MSP .....	70
9 Vybrané detaily.....	71
9.1 Rámový roh.....	71
9.2 Montážní styk .....	74
9.3 Vrchol rámu .....	79
9.4 Kotvení.....	82
9.5 Napojení střešního ztužidla na příčel .....	87
9.6 Připojení sloupu k rámu .....	88
Závěr.....	90
Použité zdroje .....	91
Seznam příloh .....	93

## Úvod

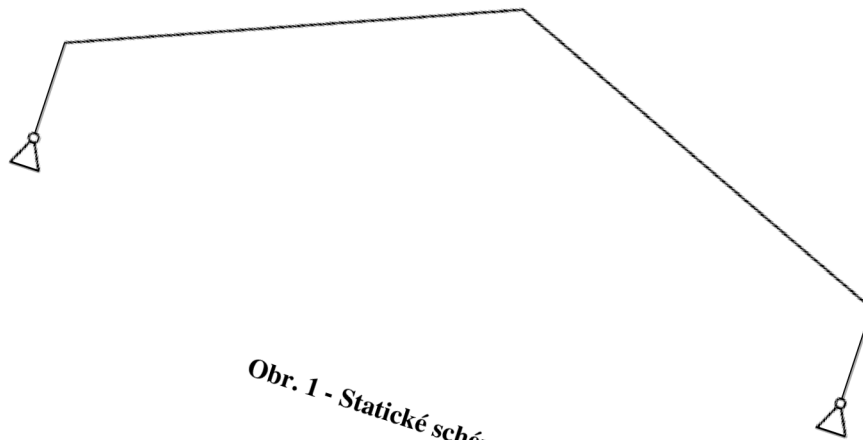
Předmětem mé bakalářské práce je návrh nosné ocelové konstrukce stáje pro skot. Objekt je umístěn v lokalitě Jaroměřice. Tomu odpovídají hodnoty zatížení sněhem a větrem. Jaroměřice se nacházejí ve sněhové oblasti II a větrné oblasti taktéž II. Stavba bude sloužit k ustájení 300 kusů skotu. Použit bude systém volného ustájení, který je v dnešní době již samozřejmostí.

Půdorysné rozměry stavby jsou 34 x 78 metrů. Výška konstrukce je 11 metrů (výška bez světlíku). Příčná vazba byla navržena jako rámová – staticky působí jako rám uložený kloubově. Jeho průřez je proměnný, svařovaný a jeho výška odpovídá průřezům HEA 300 ~ HEA 550 v příčli a HEA 240 ~ HEA 400 ve stojce rámu. Příčle rámu jsou v polovině své délky podepřeny sloupy s kruhovým průřezem. Osová vzdálenost rámu je 6 m. Příčnou vazbu jsem v rámci MSÚ posoudila na kombinaci vzpěru s ohybem a dále na smyk. Také byl posouzen MSP, a to svislý a vodorovný posun vrcholu rámu a dále podélný posun celého modelu.

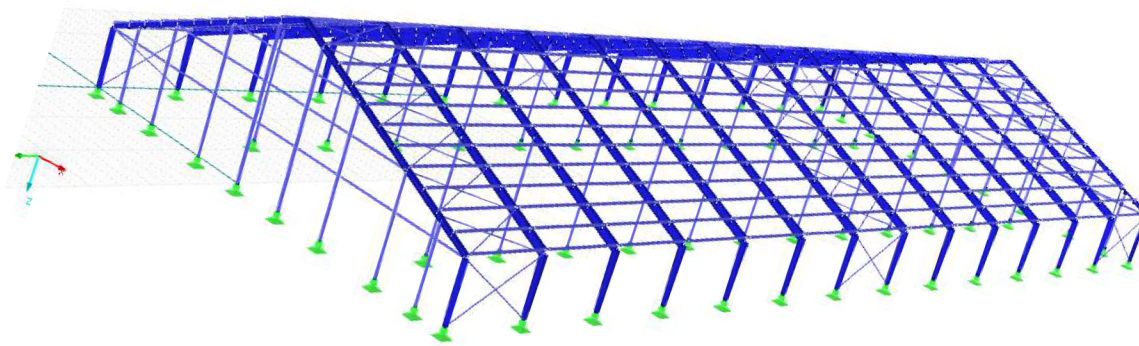
Vaznicím jsem přiřadila průřez IPN 180 s tím, že budou ve třetinách podepřeny táhly (střídavě ve vrchní a spodní části stojiny), tím pádem nebudou vaznice namáhány kroucením. Ověřena byla únosnost ve smyku a ohybu (s uvážením součinitele klopení), dále také velikost průhybu. Diagonály ztužidel, které jsou tvořeny kruhovými profily, byly navrženy na maximální tahovou sílu. Vybočení tlačných diagonál je přípustné, zatížení je přisouzeno taženým prutům a při změně směru zatížení se tah s tlakem v prutu vystřídá (diagonály jsou zkřížené).

Pruty štítové stěny byly navrženy z kruhových profilů a ověřen byl MSÚ i MSP. Mezi detaily, které jsem řešila, patří tuhý styčník stojky a příčle (rámový roh), připojení sloupu k příčli rámu, vrcholový spoj příčlí, montážní styk, kotvení do základu a kloubové připojení ztužidel.

Všechny konstrukční prvky na uvedené posudky vyhověly. Výpočet vnitřních sil modelu byl proveden v programu R-FEM – Dlubal Software.



Obr. 1 - Statické schéma



Obr. 2 - Schéma objektu

# 1 Zatížení

## 1.1 Zatížení stálé

- Vlastní tíha světlíku  $0,1 \text{ kN/m}^2$
  - Vlastní tíha střešní krytiny  $0,16 \text{ kN/m}^2$   
(AGROpanely, prosvětlovací panely)
  - Tíha technologického zařízení  $0,2 \text{ kN/m}^2$   
(ventilátory, skrápěče, osvětlení)
- Celkem ( $g_k$ ):  $0,46 \text{ kN/m}^2$**

## 1.2 Zatížení sněhem

- Sněhová oblast: II
- $s_{k,II} = 1,0 \text{ kN/m}^2$
- normální topografie:  $c_e = 1,0$
- tepelný součinitel:  $c_t = 1,0$
- tvarový součinitel (pro  $\alpha = 22,4^\circ$ ):  $\mu = 0,8$

$$s_k = s_{k,II} * c_e * c_t * \mu = 1,0 * 1,0 * 1,0 * 0,8 = \mathbf{0,8 \text{ kN/m}^2}$$

## 1.3 Zatížení větrem

- Větrná oblast: II
  - >  $v_{b,o} = 25 \text{ m/s}$
  - >  $z = 12 \text{ m}$
- Kategorie terénu: II
  - >  $z_o = 0,05 \text{ m}$
  - >  $z_{min} = 2 \text{ m}$
- Základní rychlost větru:
  - > Součinitel směru větru:  $c_{dir} = 1,0$

> Součinitel ročního období:  $c_{seas} = 1,0$

$$v_b = v_{b,o} * c_{dir} * c_{seas} = 25 * 1,0 * 1,0 = 25 \text{ m/s}$$

- Střední rychlost větru:

> Parametr drsnosti terénu pro kategorii II:  $z_{o,II} = 0,05 \text{ m}$

> Součinitel terénu:

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

> Součinitel drsnosti terénu:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) = 0,19 * \ln\left(\frac{12}{0,05}\right) = 1,0413$$

> Součinitel orografie:  $c_o(z) = 1,0$

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b = 1,0413 * 1,0 * 25 = 26,033 \text{ m/s}$$

- Maximální dynamický tlak:

> Měrná hmotnost vzduchu:  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

> Součinitel turbulence:  $k_1 = 1,0$

> Intenzita turbulence:

$$I_v = \frac{k_1}{c_o * \ln\left(\frac{z}{z_o}\right)} = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{12}{0,05}\right)} = 0,1825$$

$$q_p(z) = (1 + 7 * I_v) * 0,5 * \rho * v_m(z)^2 = (1 + 7 * 0,1825) * 0,5 * 1,25 * 26,033^2 = 964,57 = \mathbf{0,965 \text{ kN/m}^2}$$

## Tlak větru na povrchy

### Výpočet vnějšího tlaku

referenční výška:  $z_e = h = 12 \text{ m}$

### Stěny objektu

> Příčný vítr

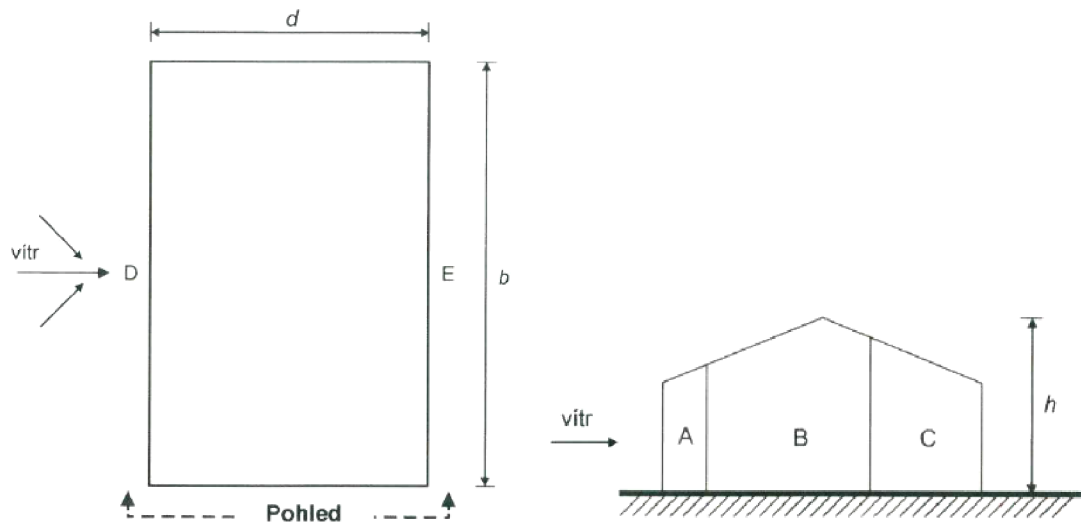
$$d = 34 \text{ m}$$

$$b = 78 \text{ m}$$



$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{78 \text{ m}; 2 * 12 \text{ m}\} = 24 \text{ m}$$

$$h/d = 12/34 = 0,353$$



**Obr. 3 - Půdorys objektu a pohled na něj**

$$w_{k,e} = q_p(z) * c_{pe}$$

	A	B	C	D	E
$c_{pe}$	-1,200	-0,882	-0,500	+0,714	-0,328
$w_{k,e} \text{ [kN/m}^2\text{]}$	-1,158	-0,852	-0,483	+0,689	-0,316

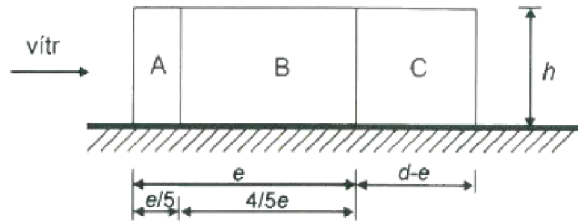
> Podélný vítr

$$b = 34 \text{ m}$$

$$d = 78 \text{ m}$$

$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{34 \text{ m}; 2 * 12 \text{ m}\} = 24 \text{ m}$$

$$h/d = 12/78 = 0,154$$



Obr. 4 - Pohled na boční stěnu

$$w_{k,e} = q_p(z) * c_{pe}$$

	A	B	C	D	E
$c_{pe}$	-1,200	-0,800	-0,500	+0,700	-0,300
$w_{k,e}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,158	-0,772	-0,483	+0,676	-0,290

Sřecha objektu

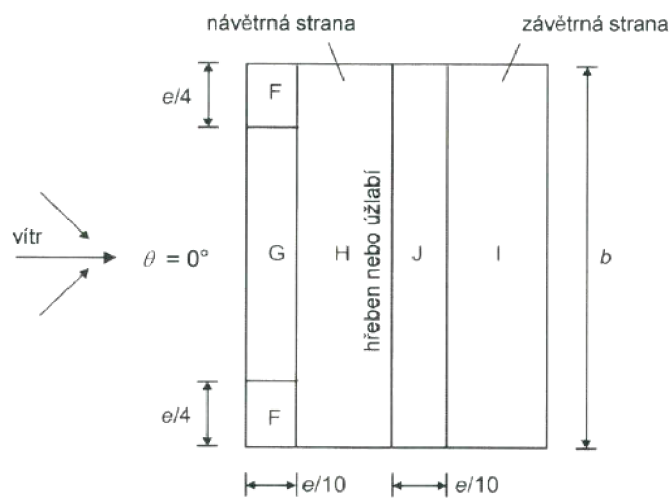
> Příčný vítr

$$\alpha = 22,4^\circ$$

$$d = 34 \text{ m}$$

$$b = 78 \text{ m}$$

$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{78 \text{ m}; 2 * 12 \text{ m}\} = 24 \text{ m}$$



Obr. 5 - Půdorys střechy - příčný vítr

$$w_{k,e} = q_p(z) * c_{pe}$$

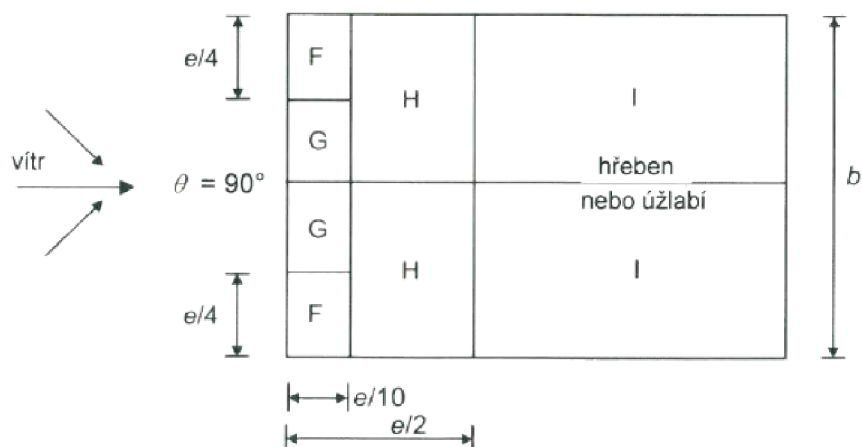
	F	G	H	I	J
$c_{pe,min}$	-0,703	-0,652	-0,251	-0,400	-0,753
$c_{pe,max}$	+0,447	+0,447	+0,299		
$w_{k,e,min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,678	-0,629	-0,242	-0,386	-0,727
$w_{k,e,max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	+0,431	+0,431	+0,288		

> Podélný vítr

$$b = 34 \text{ m}$$

$$d = 78 \text{ m}$$

$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{34 \text{ m}; 2 * 12 \text{ m}\} = 24 \text{ m}$$



Obr. 6 - Půdorys střechy - podélný vítr

$$w_{k,e} = q_p(z) * c_{pe}$$

	F	G	H	I
$c_{pe}$	-1,201	-1,349	-0,699	-0,500
$w_{k,e}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,159	-1,302	-0,674	-0,483

### Výpočet vnitřního tlaku

$$c_{pi,min} = -0,3$$

$$c_{pi,max} = +0,2$$

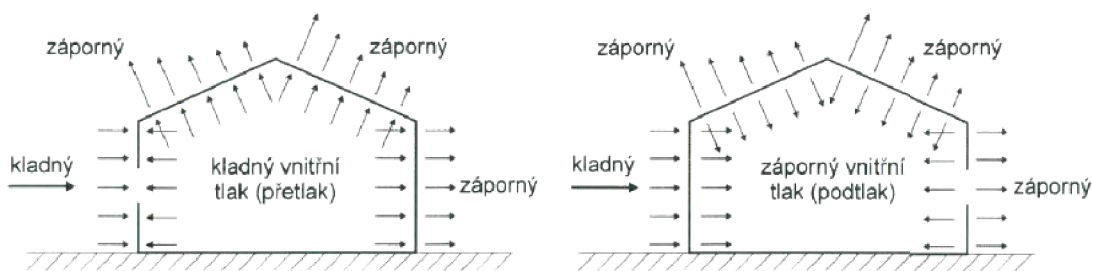
$$w_{k,i,min} = q_p(z) * c_{pi,min} = 0,965 * (-0,3) = -0,290 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{k,i,max} = q_p(z) * c_{pi,max} = 0,965 * (+0,2) = +0,193 \text{ kN/m}^2$$

### Celkový tlak

$$w_k = w_{k,e} + w_{k,i}$$

výsledný tlak větru na návětrné a závětrné straně upraven o násobek 0,85 ( $h/d < 1$ )



Obr. 7 - Dynamický tlak na povrchy

### Štítová stěna

	Příčný vítr			Podélný vítr	
	A	B	C	D	E
$w_{k,min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>-1,231</b>	<b>-0,971</b>	<b>-0,657</b>	<b>+0,328</b>	<b>-0,493</b>
$w_{k,max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>-0,820</b>	<b>-0,560</b>	<b>-0,247</b>	<b>+0,739</b>	<b>-0,082</b>

### Boční stěny

	Podélný vítr			Příčný vítr	
	A	B	C	D	E
$w_{k,min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>-1,231</b>	<b>-0,903</b>	<b>-0,657</b>	<b>+0,339</b>	<b>-0,515</b>
$w_{k,max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>-0,820</b>	<b>-0,492</b>	<b>-0,247</b>	<b>+0,750</b>	<b>-0,105</b>

Střecha

Příčný vítr

	F	G	H	I	J
$w_{k,min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>-0,968</b>	<b>-0,919</b>	<b>-0,532</b>	<b>-0,676</b>	<b>-1,017</b>
$w_{k,max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>+0,624</b>	<b>+0,624</b>	<b>+0,481</b>	<b>+0,179</b>	<b>+0,520</b>

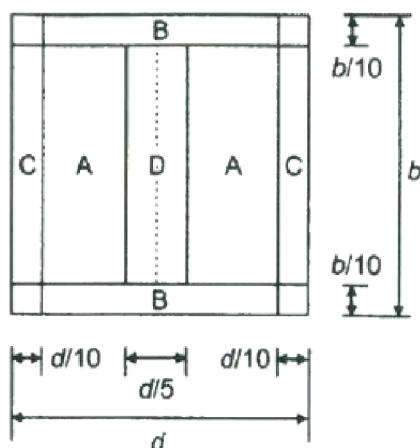
Podélný vítr

	F	G	H	I
$w_{k,min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>-1,449</b>	<b>-1,592</b>	<b>-0,964</b>	<b>-0,773</b>
$w_{k,max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>-0,966</b>	<b>-1,109</b>	<b>-0,481</b>	<b>-0,290</b>

### Přístřešek

(pokud bude roletové opláštění vyhrnuté, konstrukce se bude při zatížení větrem chovat jako přístřešek)

- součinitel plnosti:  $\varphi = 0,4$
- sklon střechy:  $\alpha = 22,4^\circ$



Obr. 8 - Půdorys střechy objektu

$$w_{k,celkové} = q_p(z) * c_{p,net}$$

	A	B	C	D
$c_{p,net,max}$	+1,148	+1,900	+1,548	+0,448
$c_{p,net,min}$	-1,348	-1,976	-1,476	-2,026
$w_{k,max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>+1,108</b>	<b>+1,834</b>	<b>+1,494</b>	<b>+0,432</b>
$w_{k,min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	<b>-1,301</b>	<b>-1,907</b>	<b>-1,424</b>	<b>-1,955</b>

#### 1.4 Užité zátížení

Kategorie střechy: H (střechy nepřístupné s výjimkou údržby a oprav)

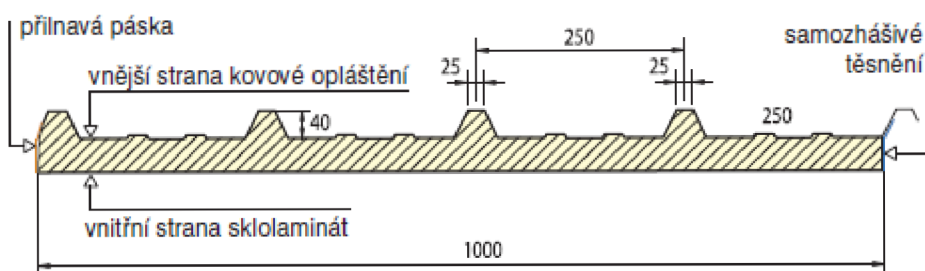
- zátížení plošné:  $q_k = 0,400 \text{ kN/m}^2$  (působící na ploše  $A = 10 \text{ m}^2$ )
- zátížení bodové:  $Q_k = 1,000 \text{ kN}$

Návrh a posouzení prvků

## 2 Střešní krytina

### Schéma prvku

Střešní sendvičový panel – AGROpanel: polyurethanová tvrzená pěna + pozinkovaný ocelový plech.



Obr. 9 - Řez střešní krytinou

- tloušťka plechu (odhad): 1,0 mm
- síla panelu (pěny): 60 mm
- sklon střechy :  $\alpha = 22,4^\circ$

### Zatížení

ZS1: stálé zatížení

> Vlastní tíha krytiny  $0,16 \text{ kN/m}^2$

$$g_k = 0,16 * \cos 22,4^\circ = \underline{0,148 \text{ kN/m}^2}$$

ZS2: zatížení sněhem

> Sníh (na půdorysný průmět)  $0,8 \text{ kN/m}^2$

> Sníh (na celou plochu)  $0,8 * \frac{17}{18,385} = 0,742 \text{ kN/m}^2$

$$s_k = 0,742 * \cos 22,4^\circ = \underline{0,688 \text{ kN/m}^2}$$

ZS3: zatížení větrem

> Tlak větru  $w_{k,t} = \underline{+1,834 \text{ kN/m}^2}$

> Sání větru  $w_{k,s} = \underline{-1,955 \text{ kN/m}^2}$

ZS4: užité zatížení

> Hodnota užitého zat.  $0,4 \text{ kN/m}^2$

$$q_k = 0,4 * \cos 22,4^\circ = \underline{0,371 \text{ kN/m}^2}$$

### **Kombinace**

Součinitele:

$$\gamma_G = 1,35 \text{ (1,0)}$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$\psi_{o,\text{SNÍH}} = 0,5$$

$$\psi_{o,\text{VÍTR}} = 0,6$$

$$\psi_{o,\text{UŽIT.}} = 0,7$$

K1:

$$\begin{aligned} q_d &= \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * ZS2 + \gamma_Q * \psi_{o,\text{VÍTR}} * ZS3_{\text{TLAK}} + \gamma_Q * \psi_{o,\text{UŽIT.}} * ZS4 = \\ &= 1,35 * 0,148 + 1,5 * 0,688 + 1,5 * 0,6 * 1,834 + 1,5 * 0,7 * 0,371 = \\ &= \underline{3,272 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

K2:

$$\begin{aligned} q_d &= \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * \psi_{o,\text{SNÍH}} * ZS2 + \gamma_Q * ZS3_{\text{TLAK}} + \gamma_Q * \psi_{o,\text{UŽIT.}} * ZS4 = \\ &= 1,35 * 0,148 + 1,5 * 0,5 * 0,688 + 1,5 * 1,834 + 1,5 * 0,7 * 0,371 = \\ &= \underline{3,856 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

K3:

$$\begin{aligned} q_d &= \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * \psi_{o,\text{SNÍH}} * ZS2 + \gamma_Q * \psi_{o,\text{VÍTR}} * ZS3_{\text{TLAK}} + \gamma_Q * ZS4 = \\ &= 1,35 * 0,148 + 1,5 * 0,5 * 0,688 + 1,5 * 0,6 * 1,834 + 1,5 * 0,371 = \\ &= \underline{2,923 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

K4:



$$q_d = \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * ZS3_{\text{SÁNÍ}} = 1,0 * 0,148 + 1,5 * (-1,955) = \underline{-2,785 \text{ kN/m}^2}$$

Maximální zatížení v kombinaci K2:  $q_d = \mathbf{3,856 \text{ kN/m}^2}$



## Návrh

(převzato z technických listů společnosti PAMA)

síla plechu mm	Max. rovnoměrné zatížení (kg/m <sup>2</sup> ) ocel													
	vzdálenost podpěr (m):  rozpětí jednoduché							 rozpětí násobné						
	1	1,25	1,50	1,75	2,0	2,25	2,5	1	1,25	1,50	1,75	2,0	2,25	2,5
0,5	510	332	231	169	130	96	71	664	430	288	212	163	130	105
0,6	614	393	273	200	153	115	84	768	491	341	251	192	152	123
0,7	716	458	318	234	179	135	98	896	573	398	292	224	177	143
0,8	820	524	364	267	205	154	112	1025	650	455	334	256	202	164
1,0	1024	655	455	334	256	193	140	1280	819	560	418	320	253	204

Obr. 10 - Únosnost střešní krytiny

- rozpětí násobné
- vzdálenost podpěr: 1,5 m
- síla plechu: 0,8 mm
- síla panelu (pěny): 60 mm
- únosnost střešní krytiny:  $4,55 \text{ kN/m}^2 > q_d = 3,856 \text{ kN/m}^2$

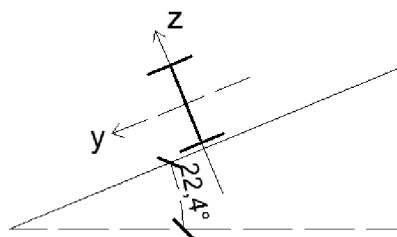
### 3 Vaznice

#### *Průřez a rozměry prvku*

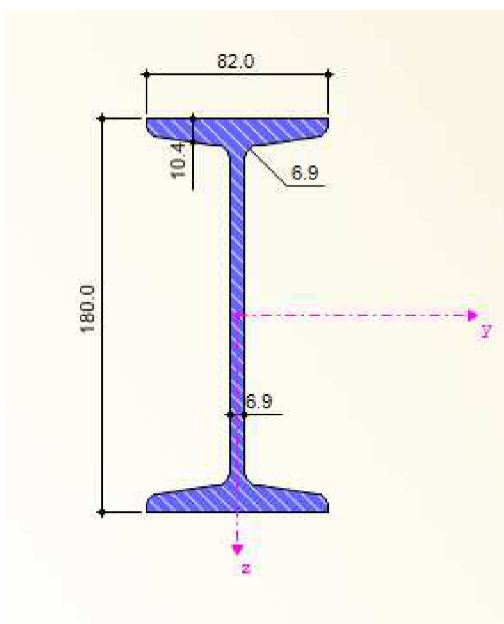
$L_y = 6 \text{ m}$

$L_z = 2 \text{ m}$  (táhla ve třetinách vaznice)

$B = 1,5 \text{ m}$  (zatěžovací šířka)



Obr. 11 - Schéma uložení vaznice



Obr. 12 - IPN 180

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	180,000	mm
Šířka profilu	b	82,000	mm
Tloušťka stojiny	t <sub>w</sub>	6,900	mm
Tloušťka pásnice	t <sub>f</sub>	10,400	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	6,900	mm
Vnější poloměr zaoblení	r <sub>1</sub>	4,100	mm
Plocha průřezu	A	27,900	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	1450,000	cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>z</sub>	81,300	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	72,000	mm
Poloměr setrvačnosti	i <sub>z</sub>	17,100	mm
Hmotnost průřezu	G	21,900	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	9,580	cm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti	I <sub>@v</sub>	5920,000	cm <sup>6</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	187,000	cm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,z</sub>	33,300	cm <sup>3</sup>

Třída průřezu: 1

Kvalita oceli: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

### Zatížení

ZS1: zatížení stálé

$$> \text{ Tíha krytiny} \quad 0,16 * 1,5 = 0,24 \text{ kN/m}$$

$$> \text{ Vlastní tíha vaznice} \quad 21,9 * 0,01 = 0,219 \text{ kN/m}$$

$$g_k = 0,24 + 0,219 = 0,459 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,z} = g_k * \cos 22,4^\circ = \underline{0,426 \text{ kN/m}}$$

$$g_{k,y} = g_k * \sin 22,4^\circ = \underline{0,172 \text{ kN/m}}$$

ZS2: zatížení sněhem

$$> s_k = \left(0,8 * \frac{17}{18,385}\right) * 1,5 = 1,113 \text{ kN/m}$$

$$s_{k,z} = s_k * \cos 22,4^\circ = \underline{1,032 \text{ kN/m}}$$

$$s_{k,y} = s_k * \sin 22,4^\circ = \underline{0,417 \text{ kN/m}}$$

ZS3: zatížení větrem

$$> w_{k,t} = 1,834 * 1,5 = \underline{+2,751 \text{ kN/m}}$$

$$> w_{k,s} = -1,955 * 1,5 = \underline{-2,933 \text{ kN/m}}$$

ZS4: užité zatížení

$$> q_k = 0,4 * 1,5 = 0,6 \text{ kN/m}$$

$$q_{k,z} = q_k * \cos 22,4^\circ = \underline{0,556 \text{ kN/m}}$$

$$q_{k,y} = q_k * \sin 22,4^\circ = \underline{0,225 \text{ kN/m}}$$

### **Kombinace**

Součinitele:

$$\gamma_G = 1,35 (1,0)$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$\psi_{o,SNÍH} = 0,5$$

$$\psi_{o,VÍTR} = 0,6$$

$$\psi_{o,UŽIT.} = 0,7$$

Zatížení v ose z:

K1,z:

$$\begin{aligned} q_{d,z} &= \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * ZS2 + \gamma_Q * \psi_{o,VÍTR} * ZS3_{TLAK} + \gamma_Q * \psi_{o,UŽIT.} * ZS4 = \\ &= 1,35 * 0,426 + 1,5 * 1,032 + 1,5 * 0,6 * 2,751 + 1,5 * 0,7 * 0,556 = \\ &= \underline{5,183 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

K2,z:

$$\begin{aligned} q_{d,z} &= \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * \psi_{o,SNÍH} * ZS2 + \gamma_Q * ZS3_{TLAK} + \gamma_Q * \psi_{o,UŽIT.} * ZS4 = \\ &= 1,35 * 0,426 + 1,5 * 0,5 * 1,032 + 1,5 * 2,751 + 1,5 * 0,7 * 0,556 = \\ &= \underline{6,014 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

K3,z:

$$\begin{aligned} q_{d,z} &= \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * \psi_{o,SNÍH} * ZS2 + \gamma_Q * \psi_{o,VÍTR} * ZS3_{TLAK} + \gamma_Q * ZS4 = \\ &= 1,35 * 0,426 + 1,5 * 0,5 * 1,032 + 1,5 * 0,6 * 2,751 + 1,5 * 0,556 = \\ &= \underline{4,632 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

K4,z:

$$q_{d,z} = \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * ZS3_{\text{SÁNÍ}} = 1,0 * 0,426 + 1,5 * (-2,933) = \underline{-4,632 \text{ kN/m}}$$

Odpovídající zatížení v ose y:

K1,y:

$$\begin{aligned} q_{d,y} &= \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * ZS2 + \gamma_Q * \psi_{o,UŽIT.} * ZS4 = \\ &= 1,35 * 0,172 + 1,5 * 0,417 + 1,5 * 0,7 * 0,225 = \underline{1,094 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

K2,y:

$$\begin{aligned} q_{d,y} &= \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * \psi_{o,SNÍH} * ZS2 + \gamma_Q * \psi_{o,UŽIT.} * ZS4 = \\ &= 1,35 * 0,172 + 1,5 * 0,5 * 0,417 + 1,5 * 0,7 * 0,225 = \underline{0,781 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

K3,y:

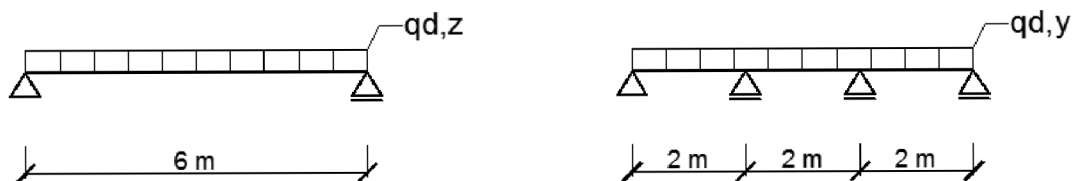
$$\begin{aligned} q_{d,y} &= \gamma_G * ZS1 + \gamma_Q * \psi_{o,SNÍH} * ZS2 + \gamma_Q * ZS4 = \\ &= 1,35 * 0,172 + 1,5 * 0,5 * 0,417 + 1,5 * 0,225 = \underline{0,882 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

K4,y:

$$q_{d,y} = \gamma_G * ZS1 = 1,0 * 0,172 = \underline{0,172 \text{ kN/m}}$$

Maximální účinek způsobí kombinace K2:  $\underline{q_{d,z} = 6,014 \text{ kN/m a } q_{d,y} = 0,781 \text{ kN/m}}$

### Vnitřní síly



Obr. 13 - Statické schéma vaznice

Ve směru osy z:

$$V_{Ed,y} = \frac{1}{2} * 6,014 * 6 = \underline{18,042 \text{ kN}}$$

$$M_{Ed,y} = \frac{1}{8} * 6,014 * 6^2 = \underline{27,063 \text{ kNm}}$$

Ve směru osy y: (zjištěno ze statických tabulek)

$$V_{Ed,z} = \underline{0,623 \text{ kN}}$$

$$M_{Ed,z} = \underline{0,078 \text{ kNm}}$$

Celkem:

$$V_{Ed} = \sqrt{(18,042^2) + (0,623^2)} = \underline{18,053 \text{ kN}}$$

$$M_{Ed} = \sqrt{(27,063^2) + 78} = \underline{27,063 \text{ kNm}}$$

### *Posouzení na MSÚ*

*Ohyb*

$$k_z = 1,0$$

$$k_\omega = 1,0$$

$$L_z = 2 \text{ m}$$

$$L_\omega = 6 \text{ m}$$

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$z_g = h/2 = 180/2 = 90 \text{ mm}$$

$$\kappa_{\omega,t} = \frac{\pi}{k_\omega * L_\omega} * \sqrt{\frac{E * I_\omega}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 6000} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 5,92 * 10^9}{81 * 10^9 * 9,58 * 10^4}} = 0,210$$

$$\xi_g = \frac{\pi * z_g}{k_z * L_z} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 90}{1,0 * 2000} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 0,813 * 10^6}{81 * 10^9 * 9,58 * 10^4}} = 0,663$$

$$\mu_{CR} = \frac{C_1}{k_z} * (\sqrt{1 + \kappa_{\omega,t}^2 + (C_2 * \xi_g)^2} - (C_2 * \xi_g)) =$$

$$= \frac{1,13}{1,0} * (\sqrt{1 + 0,21^2 + (0,46 * 0,663)^2} - (0,46 * 0,663)) = 0,8604$$

$$M_{CR} = \mu_{CR} * \frac{\pi * \sqrt{E * G * I_z * I_t}}{L_z} = 0,8604 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^9 * 81 * 10^9 * 0,813 * 10^{-6} * 9,58 * 10^{-8}}}{2} =$$

$$= 49,193 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,87 * 10^{-4} * 235 * 10^6}{49193}} = 0,945$$

z tabulek dle křivky klopení →  $\chi_{LT} = 0,635$

$$\sigma_x = \pm \frac{Med,y}{W_{y,pl} \cdot \chi_{LT}} \pm \frac{Med,z}{W_{z,pl}} = \pm \frac{27,063 \cdot 10^6}{1,87 \cdot 10^5 \cdot 0,635} \pm \frac{0,078 \cdot 10^6}{3,32 \cdot 10^4} = \underline{\underline{230,3 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}}}$$

**VYHOVUJE**

*Smyk*

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f = 2790 - 2 \cdot 82 \cdot 10,4 + (6,9 + 2 \cdot 6,9) \cdot 10,4 = \\ = 1300 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{V_{ed}}{A_v} = \frac{18,053 \cdot 10^3}{1300} = \underline{\underline{13,9 \text{ MPa}}} < \frac{f_y}{\gamma_{m1} \cdot \sqrt{3}} = \frac{235}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = \underline{\underline{135,7 \text{ MPa}}}$$

**VYHOVUJE**

### **Posouzení na MSP**

Kombinace pro průhyb:

Zatížení v ose z:

K1,z:

$$q_{k,z} = ZS1 + ZS2 + ZS3_{TLAK} + ZS4 = 0,426 + 1,032 + 2,751 + 0,556 = \\ = \underline{\underline{4,765 \text{ kN/m}}}$$

K2,z:

$$q_{k,z} = ZS1 + ZS3_{SÁNÍ} = 0,426 - 2,933 = \underline{\underline{-2,507 \text{ kN/m}}}$$

Odpovídající zatížení v ose y:

$$q_{k,y} = ZS1 + ZS2 + ZS4 = 0,172 + 0,417 + 0,225 = \underline{\underline{0,814 \text{ kN/m}}}$$

Složky průhybu:

$$\delta_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k,z} \cdot L y^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,765 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,45 \cdot 10^{-5}} = 26,4 \text{ mm}$$

$$\delta_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k,y} \cdot L z^4}{E \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,814 \cdot 10^3 \cdot 2^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 8,13 \cdot 10^{-7}} = 1,0 \text{ mm}$$

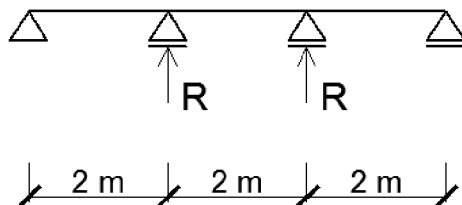
Celkový průhyb:

$$\delta = \sqrt{(26,4^2) + (1,0^2)} = \underline{\underline{26,4 \text{ mm}}} < \delta_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{6000}{200} = \underline{\underline{30 \text{ mm}}}$$

**VYHOVUJE**

## 4 Táhla u vaznic

### Statické schéma



Obr. 14 - Statické schéma vaznice s táhly

### Zatížení

součet podporových reakcí R od všech táhel:

$$R = 1,1 * q_{d,y} * L_z = 1,1 * 0,781 * 2 = 1,718 \text{ kN}$$

$$\Sigma R = 12 * R = 12 * 1,718 = 20,618 \text{ kN}$$

Síla v jednom táhle  $N_{Ed} = \Sigma R = \underline{\underline{20,618 \text{ kN}}}$

### Návrh průřezu

$$A_{req} = \frac{N_{ed}}{f_y} * \gamma_{m1} = \frac{20,618 * 10^3}{235} * 1,0 = 87,7 \text{ mm}^2$$

Navržen profil **RO 20 x 4**

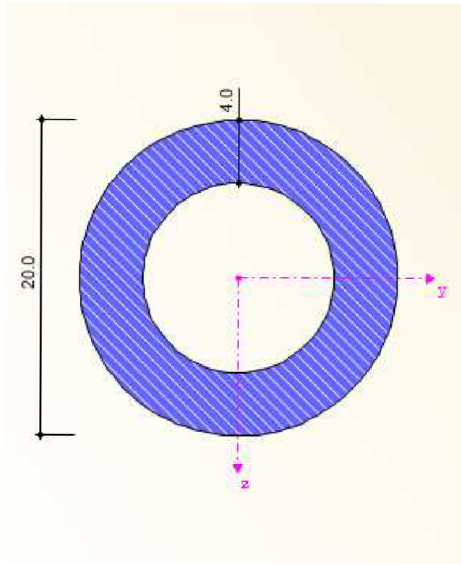
$$A = 201 \text{ mm}^2$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$d_o = 18 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$





Obr. 15 - RO 20x4

$$A_{\text{závit}} = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} - \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = \frac{\pi \cdot 18^2}{4} - \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = \underline{\underline{141,4 \text{ mm}}} > A_{\text{req}} = 87,7 \text{ mm}$$

Kvalita oceli: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

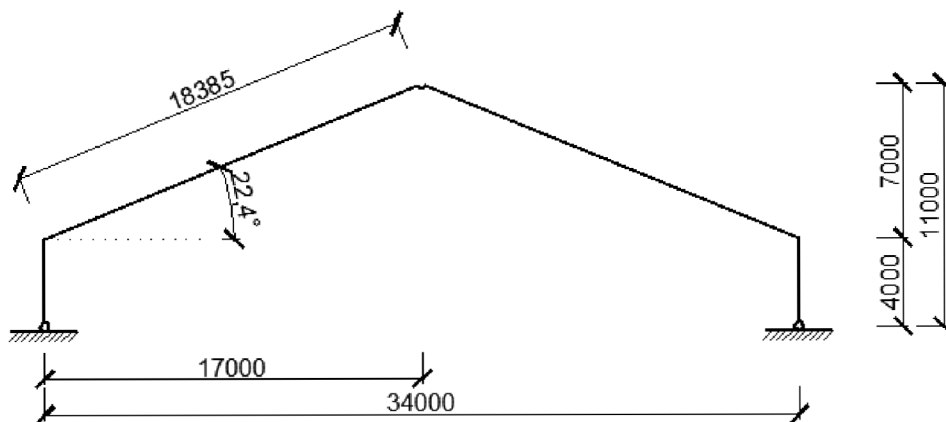
*Posouzení průřezu*

$$N_{\text{Rd}} = 0,85 \cdot \frac{A_{\text{závit}} \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = 0,85 \cdot \frac{141,4 \cdot 235}{1,0} = \underline{\underline{28,239 \text{ kN}}} > N_{\text{Ed}} = 20,618 \text{ kN}$$

**VYHOVUJE**

## 5 Příčná vazba

### Statické schéma



Obr. 16 - Statické schéma příčné vazby

- vzdálenost příčných vazeb:  $B = 6 \text{ m}$
- stupeň statické neurčitosti:  $n_s = 1$

### Zatížení

Zatěž. stav	Označení zatěž. stavu	EN 1990 + 1995   ČSN Kategorie účinků	EN 1990 + 1995   ČSN Doba trvání zatížení
ZS1	Stálé	Stálé	Stálé
ZS2	Sníh	Sníh ( $H \leq 1000 \text{ m n.m.}$ )	Krátkodobé
ZS3	Užitné	Užitná zatížení - kategorie H: střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav	Krátkodobé
ZS4	Příčný vítr_podtlak	Vítr	Krátkodobé
ZS5	Příčný vítr_přetlak	Vítr	Krátkodobé
ZS6	Podélný vítr_podtlak	Vítr	Krátkodobé
ZS7	Podélný vítr_přetlak	Vítr	Krátkodobé
ZS8	Přístřešek_L+P+	Vítr	Krátkodobé
ZS9	Přístřešek_L+	Vítr	Krátkodobé
ZS10	Přístřešek_P+	Vítr	Krátkodobé

ZS11	Přístřešek_L-P-	Vítr	Krátkodobé
ZS12	Přístřešek_L-	Vítr	Krátkodobé
ZS13	Přístřešek_P-	Vítr	Krátkodobé

Pozn. k ZS 8 – 13:

- L+ zatížení levé části střechy – tlaková síla
- P+ zatížení pravé části střechy – tlaková síla
- L- zatížení levé části střechy – sání větru
- P- zatížení pravé části střechy – sání větru

### **Kombinace**

Kombin. zatížení	Označení	ZS.1		ZS.2		ZS.3		ZS.4	
		Faktor	Č.	Faktor	Č.	Faktor	Č.	Faktor	Č.
KZ1	1.35*ZS1	1,350	ZS1						
KZ2	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2	1,350	ZS1	1,500	ZS2				
KZ3	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS4	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS4		
KZ4	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS5	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS5		
KZ5	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS6	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS6		
KZ6	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS7	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS7		
KZ7	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS8	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS8		
KZ8	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS9	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS9		
KZ9	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS10	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS10		
KZ10	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS11	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS11		
KZ11	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS12	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS12		
KZ12	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS13	1,350	ZS1	1,500	ZS2	0,900	ZS13		
KZ13	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3	1,350	ZS1	1,500	ZS3				
KZ14	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3		
KZ15	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS4	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS4
KZ16	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS5	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS5
KZ17	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS6	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS6
KZ18	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS7	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS7
KZ19	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS8	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS8
KZ20	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS9

	+ 0.9*ZS9								
KZ21	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS10	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS10
KZ22	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS11	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS11
KZ23	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS12	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS12
KZ24	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS13	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS3	0,900	ZS13
KZ25	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS4	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS4		
KZ26	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS5	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS5		
KZ27	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS6	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS6		
KZ28	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS7	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS7		
KZ29	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS8	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS8		
KZ30	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS9	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS9		
KZ31	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS10	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS10		
KZ32	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS11	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS11		
KZ33	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS12	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS12		
KZ34	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS13	1,350	ZS1	1,500	ZS3	0,900	ZS13		
KZ35	1.35*ZS1 + 1.5*ZS4	1,350	ZS1	1,500	ZS4				
KZ36	1.35*ZS1 + 1.5*ZS5	1,350	ZS1	1,500	ZS5				
KZ37	1.35*ZS1 + 1.5*ZS6	1,350	ZS1	1,500	ZS6				
KZ38	1.35*ZS1 + 1.5*ZS7	1,350	ZS1	1,500	ZS7				
KZ39	1.35*ZS1 + 1.5*ZS8	1,350	ZS1	1,500	ZS8				
KZ40	1.35*ZS1 + 1.5*ZS9	1,350	ZS1	1,500	ZS9				
KZ41	1.35*ZS1 + 1.5*ZS10	1,350	ZS1	1,500	ZS10				
KZ42	1.35*ZS1 + 1.5*ZS11	1,350	ZS1	1,500	ZS11				
KZ43	1.35*ZS1 + 1.5*ZS12	1,350	ZS1	1,500	ZS12				
KZ44	1.35*ZS1 + 1.5*ZS13	1,350	ZS1	1,500	ZS13				
KZ45	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS4	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS4		
KZ46	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS5	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS5		
KZ47	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS6	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS6		
KZ48	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS7	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS7		
KZ49	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS8	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS8		
KZ50	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS9	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS9		
KZ51	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS10	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS10		
KZ52	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS11	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS11		
KZ53	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS12	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS12		
KZ54	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS13	1,350	ZS1	0,750	ZS2	1,500	ZS13		
KZ55	ZS1	1,000	ZS1						
KZ56	ZS1 + ZS2	1,000	ZS1	1,000	ZS2				

KZ57	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS4	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS4		
KZ58	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS5	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS5		
KZ59	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS6	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS6		
KZ60	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS7	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS7		
KZ61	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS8	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS8		
KZ62	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS9	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS9		
KZ63	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS10	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS10		
KZ64	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS11	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS11		
KZ65	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS12	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS12		
KZ66	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS13	1,000	ZS1	1,000	ZS2	0,600	ZS13		
KZ67	ZS1 + ZS3	1,000	ZS1	1,000	ZS3				
KZ68	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3		
KZ69	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS4	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS4
KZ70	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS5	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS5
KZ71	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS6	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS6
KZ72	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS7	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS7
KZ73	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS8	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS8
KZ74	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS9	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS9
KZ75	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS10	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS10
KZ76	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS11	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS11
KZ77	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS12	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS12
KZ78	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS13	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS3	0,600	ZS13
KZ79	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS4	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS4		
KZ80	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS5	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS5		
KZ81	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS6	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS6		
KZ82	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS7	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS7		
KZ83	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS8	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS8		
KZ84	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS9	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS9		
KZ85	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS10	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS10		
KZ86	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS11	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS11		
KZ87	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS12	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS12		
KZ88	ZS1 + ZS3 + 0.6*ZS13	1,000	ZS1	1,000	ZS3	0,600	ZS13		
KZ89	ZS1 + ZS4	1,000	ZS1	1,000	ZS4				
KZ90	ZS1 + ZS5	1,000	ZS1	1,000	ZS5				
KZ91	ZS1 + ZS6	1,000	ZS1	1,000	ZS6				
KZ92	ZS1 + ZS7	1,000	ZS1	1,000	ZS7				
KZ93	ZS1 + ZS8	1,000	ZS1	1,000	ZS8				
KZ94	ZS1 + ZS9	1,000	ZS1	1,000	ZS9				
KZ95	ZS1 + ZS10	1,000	ZS1	1,000	ZS10				

KZ96	ZS1 + ZS11	1,000	ZS1	1,000	ZS11				
KZ97	ZS1 + ZS12	1,000	ZS1	1,000	ZS12				
KZ98	ZS1 + ZS13	1,000	ZS1	1,000	ZS13				
KZ99	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS4	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS4		
KZ100	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS5	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS5		
KZ101	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS6	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS6		
KZ102	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS7	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS7		
KZ103	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS8	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS8		
KZ104	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS9	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS9		
KZ105	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS10	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS10		
KZ106	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS11	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS11		
KZ107	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS12	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS12		
KZ108	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS13	1,000	ZS1	0,500	ZS2	1,000	ZS13		

## Posouzení na MSÚ

### 5.1 Stojka rámu

$$L_{\text{sys}} = 4 \text{ m}$$

kvalita oceli: S355

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

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

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

### Vnitřní síly

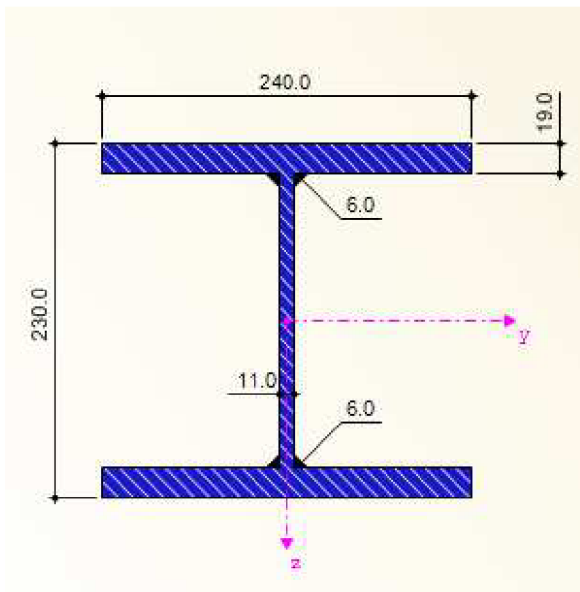
Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Kombinace
				N	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	
177	80	0,000	max N	<b>8,17</b>	0,04	11,78	0,00	0,00	0,00	KZ 42
			min N	<b>-107,11</b>	-0,06	51,27	0,00	0,00	0,00	KZ 49
			max V <sub>y</sub>	-25,70	<b>0,66</b>	31,59	-0,07	0,00	0,00	KZ 48
			min V <sub>y</sub>	-92,35	<b>-0,08</b>	42,80	0,00	0,00	0,00	KZ 39
			max V <sub>z</sub>	-98,32	-0,07	<b>79,99</b>	0,00	0,00	0,00	KZ 50
			min V <sub>z</sub>	-1,84	0,03	<b>-21,16</b>	0,00	0,00	0,00	KZ 43

			max $M_T$	-37,73	0,06	45,24	<b>0,00</b>	0,00	0,00	KZ 46
			min $M_T$	-25,70	0,66	31,59	<b>-0,07</b>	0,00	0,00	KZ 48
			max $M_y$	-39,91	-0,01	17,56	0,00	<b>0,00</b>	0,00	KZ 1
			min $M_y$	-69,51	0,45	41,90	-0,07	<b>0,00</b>	0,00	KZ 5
			max $M_z$	-69,51	0,45	41,90	-0,07	0,00	<b>0,00</b>	KZ 5
			min $M_z$	-95,74	-0,04	66,74	0,00	0,00	<b>0,00</b>	KZ 8
	81	4,000	max N	<b>13,76</b>	0,04	7,90	0,00	37,53	-0,14	KZ 42
			min N	<b>-101,86</b>	-0,06	46,60	0,00	194,24	0,24	KZ 49
			max $V_y$	-20,24	<b>0,59</b>	23,16	-0,12	105,66	-2,35	KZ 48
			min $V_y$	-86,99	<b>-0,07</b>	38,35	0,00	160,71	0,30	KZ 39
			max $V_z$	-93,61	-0,07	<b>74,96</b>	0,01	308,57	0,28	KZ 50
			min $V_z$	3,71	0,03	<b>-25,03</b>	0,00	-94,19	-0,11	KZ 43
			max $M_T$	-93,61	-0,07	74,96	<b>0,01</b>	308,57	0,28	KZ 50
			min $M_T$	-64,14	0,33	40,08	<b>-0,12</b>	163,47	-1,34	KZ 5
			max $M_y$	-93,61	-0,07	74,96	0,01	<b>308,57</b>	0,28	KZ 50
			min $M_y$	3,71	0,03	-25,03	0,00	<b>-94,19</b>	-0,11	KZ 43
			max $M_z$	-86,99	-0,07	38,35	0,00	160,71	<b>0,30</b>	KZ 39
			min $M_z$	-20,24	0,59	23,16	-0,12	105,66	<b>-2,35</b>	KZ 48

*Kloub stojky*

Průřez:

(průřezy svařované, některé rozměry jsou upravené)

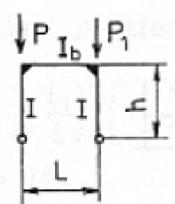


Obr. 17 - HEA 240

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška	h	230,000	mm
Šířka	b	240,000	mm
Tloušťka stojiny	t <sub>w</sub>	11,000	mm
Tloušťka pásnice	t <sub>f</sub>	19,000	mm
Tloušťka koutového svaru	a	6,000	mm
Plocha průřezu	A	112,320	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	10827,000	cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>z</sub>	4379,730	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	98,200	mm
Poloměr setrvačnosti	i <sub>z</sub>	62,400	mm
Hmotnost průřezu	G	88,200	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	113,630	cm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti vztažený na M	I <sub>ω</sub>	487238,000	cm <sup>6</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y,max</sub>	1063,540	cm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,z,max</sub>	553,010	cm <sup>3</sup>

Výpočet vzpěrné délky:

(pro vybočení v rovině rámu)

Rám	$\beta$
	$2\beta_1\sqrt{1+0,4\kappa}$

Obr. 18 - Výpočet vzpěrné délky dle ČSN 73 1401

$$\kappa = \frac{I \cdot L}{I_b \cdot h} = \frac{10827 \cdot 34}{108327 \cdot 4} = 0,85$$

$$\beta_1 = 0,7 * \sqrt{1 + \frac{P_1}{P}} = 0,7 * \sqrt{1 + 0} = 0,7$$

$$\beta = 2 * \beta_1 * \sqrt{1 + 0,4 * \kappa} = 2 * 0,7 * \sqrt{1 + 0,4 * 0,85} = 1,62$$



$$L_{cr,y} = \beta * L_{sys} = 1,62 * 4,0 = \underline{6,48 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{6480}{98,2} * \frac{1}{76,4} = 0,863 \quad \rightarrow \chi_y = 0,687 \text{ (dle křivky vzpěrnosti „b“)}$$

Posouzení na vzpěr:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,687 * 11232 * 355}{1,0} = \underline{2\,739,3 \text{ kN}} > N_{Ed,max} = \underline{107,11 \text{ kN}}$$

**VYHOVUJE**

Posouzení na smyk:

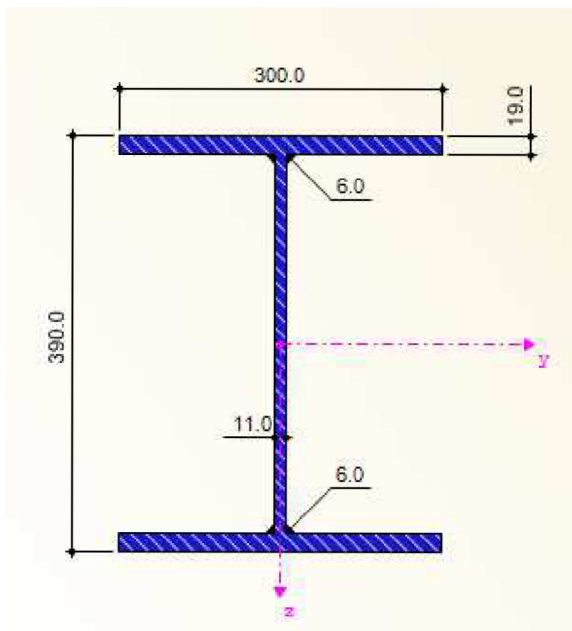
$$A_v = A - 2 * b * t_f = 11\,232 - 2 * 240 * 19 = 2\,112 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{m1} * \sqrt{3}} = \frac{2112 * 355}{1,0 * \sqrt{3}} = \underline{432,9 \text{ kN}} > V_{Ed,max} = \underline{79,99 \text{ kN}}$$

**VYHOVUJE**

*Roh rámu*

Průřez:



**Obr. 19 - HEA 400**

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška	h	390,000	mm
Šířka	b	300,000	mm
Tloušťka stojiny	t <sub>w</sub>	11,000	mm
Tloušťka pásnice	t <sub>f</sub>	19,000	mm
Tloušťka koutového svaru	a	6,000	mm
Plocha průřezu	A	152,720	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	43259,900	cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>z</sub>	8553,900	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	168,300	mm
Poloměr setrvačnosti	i <sub>z</sub>	74,800	mm
Hmotnost průřezu	G	119,900	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	148,170	cm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti vztažený na M	I <sub>ω</sub>	2942000,000	cm <sup>6</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y,max</sub>	2455,440	cm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,z,max</sub>	865,650	cm <sup>3</sup>

Výpočet vzpěrných délek:

> pro vybočení z roviny rámu

$$\beta = 1,0$$

$$L_{cr,z} = 1,0 * 4,0 = \underline{4,0 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{4000}{74,8} * \frac{1}{76,4} = 0,7 \quad \rightarrow \chi_z = 0,725 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „c“})$$

> pro vybočení v rovině rámu

$$\kappa = \frac{I * L}{I_b * h} = \frac{43259,9 * 34}{108327 * 4} = 3,39$$

$$\beta_1 = 0,7 * \sqrt{1 + \frac{P_1}{P}} = 0,7 * \sqrt{1 + \frac{1,62}{3,76}} = 0,84$$

$$\beta = 2 * \beta_1 * \sqrt{1 + 0,4 * \kappa} = 2 * 0,84 * \sqrt{1 + 0,4 * 3,39} = 2,58$$

$$L_{cr,y} = \beta * L_{sys} = 2,58 * 4,0 = \underline{10,315 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_y = \frac{Lcr,y}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{10315}{168,3} * \frac{1}{76,4} = 0,802 \quad \rightarrow \chi_y = 0,724 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „b“})$$

Posouzení na kombinaci vzpěru a ohybu:

$$N_{Rk} = A * f_y = 15\,272 * 355 = 5\,421,56 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{y,pl} * f_y = 2\,455,44 * 10^3 * 355 = 871,68 \text{ kNm}$$

$$k_z = k_\omega = 1,0$$

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$z_g = h/2 = 390/2 = 195 \text{ mm}$$

$$\kappa_{\omega,t} = \frac{\pi}{k_\omega * L_\omega} * \sqrt{\frac{E * I_\omega}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 4000} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 2942 * 10^9}{81 * 10^9 * 1481,7 * 10^3}} = 1,782$$

$$\xi_g = \frac{\pi * z_g}{k_z * L_z} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 195}{1,0 * 4000} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 8553,9 * 10^6}{81 * 10^9 * 1481,7 * 10^3}} = 1,874$$

$$\begin{aligned} \mu_{CR} &= \frac{C_1}{k_z} * (\sqrt{1 + \kappa_{\omega,t}^2 + (C_2 * \xi_g)^2} - (C_2 * \xi_g)) = \\ &= \frac{1,13}{1,0} * (\sqrt{1 + 1,782^2 + (0,46 * 1,874)^2} - (0,46 * 1,874)) = 1,745 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{CR} &= \mu_{CR} * \frac{\pi * \sqrt{E * G * I_z * I_t}}{L_z} = 1,745 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^9 * 81 * 10^9 * 85,589 * 10^{-6} * 1481,7 * 10^{-9}}}{4} = \\ &= 2\,012,9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2455,44 * 10^3 * 355}{2012,9 * 10^6}} = 0,658 \quad \rightarrow \chi_{LT} = 0,749 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „c“})$$

$$C_{my} = 0,6$$

$$C_{my} * (1 + (\lambda_y - 0,2) * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}}) \leq C_{my} * (1 + 0,8 * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}})$$

$$0,6 * (1 + (0,802 - 0,2) * \frac{93,62}{0,724 * \frac{5421,56}{1,0}}) \leq 0,6 * (1 + 0,8 * \frac{93,62}{0,724 * \frac{5421,56}{1,0}})$$

$$0,609 \leq 0,611$$

$$\rightarrow k_{yy} = 0,609$$

$$\rightarrow k_{zy} = 0,6 * 0,609 = 0,365$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_Y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} * \frac{M_{yd} + \Delta M}{\chi_{LT} * \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{93,62}{0,724 * \frac{5421,56}{1,0}} + 0,609 * \frac{308,57 + 0}{0,749 * \frac{871,68}{1,0}} = \underline{\underline{0,31 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

$$\frac{N_{ed}}{\chi_Z * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} * \frac{M_{yd} + \Delta M}{\chi_{LT} * \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{93,62}{0,725 * \frac{5421,56}{1,0}} + 0,365 * \frac{308,57 + 0}{0,749 * \frac{871,68}{1,0}} = \underline{\underline{0,20 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

Posouzení na smyk:

$$A_v = A - 2 * b * t_f = 15\,272 - 2 * 300 * 19 = 3\,872 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{m1} * \sqrt{3}} = \frac{3872 * 355}{1,0 * \sqrt{3}} = \underline{\underline{793,6 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 74,96 \text{ kN}}}$$

**VYHOVUJE**

## 5.2 Příčel rámu

$$L_{sys} = 18,385 \text{ m}$$

kvalita oceli: S355

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

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

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

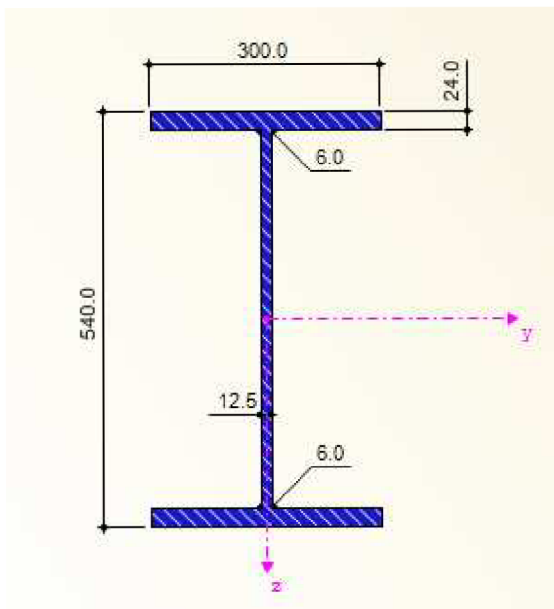
*Vnitřní síly*

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Kombinace
				N	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	
178	81	0,000	max N	<b>30,67</b>	0,00	-1,38	0,00	92,88	-0,04	KZ 43
			min N	<b>-98,27</b>	-0,12	-51,47	0,00	-310,12	0,11	KZ 50
			max V <sub>y</sub>	-6,80	<b>0,34</b>	-0,25	0,09	-108,09	-1,00	KZ 48
			min V <sub>y</sub>	-75,34	<b>-0,14</b>	-60,71	0,00	-195,80	0,09	KZ 49

			max $V_z$	4,20	0,01	<b>9,74</b>	0,00	-38,83	-0,06	KZ 42
			min $V_z$	-75,34	-0,14	<b>-60,71</b>	0,00	-195,80	0,09	KZ 49
			max $M_T$	-13,94	0,25	-7,54	<b>0,27</b>	-69,54	-0,53	KZ 37
			min $M_T$	-45,75	0,11	-25,57	<b>-0,10</b>	-164,75	-0,62	KZ 5
			max $M_y$	30,67	0,00	-1,38	0,00	<b>92,88</b>	-0,04	KZ 43
			min $M_y$	-98,27	-0,12	-51,47	0,00	<b>-310,12</b>	0,11	KZ 50
			max $M_z$	-63,11	-0,12	-52,92	0,00	-162,01	<b>0,12</b>	KZ 39
			min $M_z$	-6,80	0,34	-0,25	0,09	-108,09	<b>-1,00</b>	KZ 48
184	86	9,192	max N	<b>57,46</b>	-0,06	63,34	0,00	-156,56	-0,10	KZ 44
			min N	<b>-61,22</b>	-0,11	36,86	-0,01	-202,81	-0,29	KZ 51
			max $V_y$	35,89	<b>2,24</b>	48,98	0,42	-288,96	6,41	KZ 6
			min $V_y$	15,71	<b>-0,13</b>	126,16	0,00	-355,10	-0,29	KZ 50
			max $V_z$	15,71	-0,13	<b>126,16</b>	0,00	-355,10	-0,29	KZ 50
			min $V_z$	-31,52	-0,04	<b>-40,19</b>	0,00	20,64	-0,10	KZ 43
			max $M_T$	22,52	2,14	61,62	<b>0,49</b>	-321,15	6,12	KZ 5
			min $M_T$	-61,22	-0,11	36,86	<b>-0,01</b>	-202,81	-0,29	KZ 51
			max $M_y$	-31,52	-0,04	-40,19	0,00	<b>20,64</b>	-0,10	KZ 43
			min $M_y$	4,66	0,04	112,95	0,00	<b>-365,79</b>	0,00	KZ 8
			max $M_z$	35,89	2,24	48,98	0,42	-288,96	<b>6,41</b>	KZ 6
			min $M_z$	28,55	-0,13	85,24	0,00	-286,74	<b>-0,29</b>	KZ 12
671	82	18,385	max N	<b>85,49</b>	1,23	-36,97	0,18	210,05	0,45	KZ 48
			min N	<b>-105,81</b>	0,05	25,38	-0,05	106,55	-0,13	KZ 49
			max $V_y$	44,11	<b>1,72</b>	-5,80	0,65	227,11	1,58	KZ 6
			min $V_y$	30,39	<b>-0,93</b>	-7,76	0,02	69,00	0,04	KZ 36
			max $V_z$	-105,81	0,05	<b>25,38</b>	-0,05	106,55	-0,13	KZ 49
			min $V_z$	85,49	1,23	<b>-36,97</b>	0,18	210,05	0,45	KZ 48
			max $M_T$	29,33	1,43	-13,80	<b>0,79</b>	110,79	1,91	KZ 37
			min $M_T$	-63,01	-0,03	3,45	<b>-0,06</b>	139,76	-0,14	KZ 9
			max $M_y$	44,11	1,72	-5,80	0,65	<b>227,11</b>	1,58	KZ 6
			min $M_y$	-24,46	-0,16	15,33	0,00	<b>57,26</b>	0,00	KZ 35
			max $M_z$	29,33	1,43	-13,80	0,79	110,79	<b>1,91</b>	KZ 37
			min $M_z$	-55,71	-0,04	15,76	-0,06	139,73	<b>-0,14</b>	KZ 8

Roh rámu

Průřez:



Obr. 20 - HEA 550

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška	$h$	540,000	mm
Šířka	$b$	300,000	mm
Tloušťka stojiny	$t_w$	12,500	mm
Tloušťka pásnice	$t_f$	24,000	mm
Tloušťka koutového svaru	$a$	6,000	mm
Plocha průřezu	$A$	205,500	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	$I_y$	108327,000	cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	$I_z$	10808,000	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	229,600	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	72,500	mm
Hmotnost průřezu	$G$	161,300	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	296,140	cm <sup>4</sup>
Výšečový moment setrvačnosti vztažený na M	$I_\omega$	7189000,000	cm <sup>6</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y,max}$	4471,650	cm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z,max}$	1099,220	cm <sup>3</sup>

Výpočet vzpěrných délek:

> pro vybočení z roviny rámu

$$\beta = 1,0$$

$$L_{cr,z} = 1,0 * 18,385 = \underline{18,385 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{18385}{72,5} * \frac{1}{76,4} = 3,32 \quad \rightarrow \chi_z = 0,080 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „c“})$$

> pro vybočení v rovině rámu

$$\kappa = \frac{I * L}{I_b * h} = \frac{43259,9 * 34}{108327 * 4} = 3,39$$

$$\beta_1 = 0,7 * \sqrt{1 + \frac{P_1}{P}} = 0,7 * \sqrt{1 + 0} = 0,7$$

$$\beta = 2 * \beta_1 * \sqrt{1 + 0,4 * \kappa} = 2 * 0,7 * \sqrt{1 + 0,4 * 3,39} = 2,15$$

$$L_{cr,y} = \beta * L_{sys} = 2,15 * 18,385 = \underline{39,522 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{39522}{229,6} * \frac{1}{76,4} = 2,25 \quad \rightarrow \chi_y = 0,163 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „b“})$$

Posouzení na kombinaci vzpěru a ohybu:

$$N_{Rk} = A * f_y = 20\,550 * 355 = 7\,295,25 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{y,pl} * f_y = 4\,471,65 * 10^3 * 355 = 1\,587,44 \text{ kNm}$$

$$k_z = k_{\omega} = 1,0$$

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$z_g = h/2 = 540/2 = 270 \text{ mm}$$

$$\kappa_{\omega,t} = \frac{\pi}{k_{\omega} * L_{\omega}} * \sqrt{\frac{E * I_{\omega}}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 18385} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 7189 * 10^9}{81 * 10^9 * 2961,4 * 10^3}} = 0,197$$

$$\xi_g = \frac{\pi * z_g}{kz * LZ} * \sqrt{\frac{E * Iz}{G * It}} = \frac{\pi * 270}{1,0 * 18385} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 108,08 * 10^6}{81 * 10^9 * 2961,4 * 10^3}} = 2,063$$

$$\begin{aligned} \mu_{CR} &= \frac{C1}{kz} * (\sqrt{1 + \kappa \omega, t^2 + (C2 * \xi_g)^2} - (C2 * \xi_g)) = \\ &= \frac{1,13}{1,0} * (\sqrt{1 + 0,197^2 + (0,46 * 2,063)^2} - (0,46 * 2,063)) = 0,501 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{CR} &= \mu_{CR} * \frac{\pi * \sqrt{E * G * Iz * It}}{LZ} = 0,501 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^9 * 81 * 10^9 * 108,08 * 10^{-6} * 2961,4 * 10^{-9}}}{18,385} = \\ &= 199,08 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{Wy * fy}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4471,65 * 10^3 * 355}{199,08 * 10^6}} = 2,82 \quad \rightarrow \chi_{LT} = 0,108 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „c“})$$

$$M_s = -355 \text{ kNm}$$

$$M_h = 103 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = M_h / M_s = 103 / (-355) = -0,29$$

$$\psi = 0,42$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 * \alpha_s = 0,1 - 0,8 * (-0,29) = 0,332 < 0,4$$

$$C_{my} = 0,4$$

$$C_{my} * (1 + (\lambda_y - 0,2) * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}}) \leq C_{my} * (1 + 0,8 * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}})$$

$$0,4 * (1 + (2,25 - 0,2) * \frac{98,27}{0,163 * \frac{7295,25}{1,0}}) \leq 0,4 * (1 + 0,8 * \frac{98,27}{0,163 * \frac{7295,25}{1,0}})$$

$$0,468 \geq 0,426$$

$$\rightarrow k_{yy} = 0,426$$

$$\rightarrow k_{zy} = 0,6 * 0,426 = 0,256$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} * \frac{My_d + \Delta M}{\chi_{LT} * \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{98,27}{0,163 * \frac{7295,25}{1,0}} + 0,426 * \frac{310,12 + 0}{0,108 * \frac{1587,44}{1,0}} = \underline{\underline{0,85 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} * \frac{My_d + \Delta M}{\chi_{LT} * \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{98,27}{0,163 * \frac{7295,25}{1,0}} + 0,256 * \frac{310,12 + 0}{0,108 * \frac{1587,44}{1,0}} = \underline{\underline{0,63 < 1}}$$

**VYHOVUJE**



Posouzení na smyk:

$$A_v = A - 2 * b * t_f = 20\,550 - 2 * 300 * 24 = 6\,150 \text{ mm}^2$$

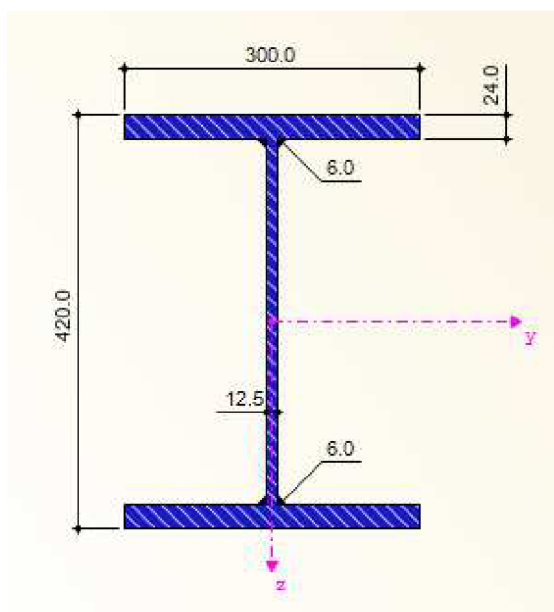
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{m1} * \sqrt{3}} = \frac{6150 * 355}{1,0 * \sqrt{3}} = \underline{\underline{1\,260,5 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 60,71 \text{ kN}}}$$

**VYHOVUJE**

*Střed příčle*

(místo, kde příčel podpírá sloup)

Průřez:



Obr. 21 - IS 420/300/12,5/24/6

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška	h	420,000	mm
Šířka	b	300,000	mm
Tloušťka stojiny	t <sub>w</sub>	12,500	mm
Tloušťka pásnice	t <sub>f</sub>	24,000	mm
Tloušťka koutového svaru	a	6,000	mm
Plocha průřezu	A	190,500	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	61885,300	cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>z</sub>	10806,100	cm <sup>4</sup>

Poloměr setrvačnosti	$i_y$	180,200	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	75,300	mm
Hmotnost průřezu	G	149,500	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	288,330	cm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti vztažený na M	$I\omega$	4234000,000	cm <sup>6</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y,max}$	3283,650	cm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z,max}$	1094,530	cm <sup>3</sup>

Výpočet vzpěrných délek:

> pro vybočení z roviny rámu

$$\beta = 1,0$$

$$L_{cr,z} = 1,0 * 18,385 = \underline{18,385 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{18385}{75,3} * \frac{1}{76,4} = 3,2 \quad \rightarrow \chi_z = 0,084 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „c“})$$

> pro vybočení v rovině rámu

$$\kappa = \frac{I * L}{I_b * h} = \frac{43259,9 * 34}{61885,3 * 4} = 5,9$$

$$\beta_1 = 0,7 * \sqrt{1 + \frac{P_1}{P}} = 0,7 * \sqrt{1 + 0} = 0,7$$

$$\beta = 2 * \beta_1 * \sqrt{1 + 0,4 * \kappa} = 2 * 0,7 * \sqrt{1 + 0,4 * 5,9} = 2,6$$

$$L_{cr,y} = \beta * L_{sys} = 2,6 * 18,385 = \underline{47,230 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{47230}{180,2} * \frac{1}{76,4} = 3,44 \quad \rightarrow \chi_y = 0,078 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „b“})$$

Posouzení na kombinaci vzpěru a ohybu:

$$N_{Rk} = A * f_y = 19\,050 * 355 = 6\,762,8 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{y,pl} * f_y = 3\,283,65 * 10^3 * 355 = 1\,165,7 \text{ kNm}$$

$$k_z = k_{\omega} = 1,0$$

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$z_g = h/2 = 420/2 = 210 \text{ mm}$$

$$\kappa_{\omega,t} = \frac{\pi}{k\omega * L\omega} * \sqrt{\frac{E * I\omega}{G * It}} = \frac{\pi}{1,0 * 18385} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 4234 * 10^9}{81 * 10^9 * 2883,3 * 10^3}} = 0,333$$

$$\xi_g = \frac{\pi * z_g}{kz * LZ} * \sqrt{\frac{E * Iz}{G * It}} = \frac{\pi * 210}{1,0 * 18385} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 108,06 * 10^6}{81 * 10^9 * 2883,3 * 10^3}} = 0,354$$

$$\begin{aligned} \mu_{CR} &= \frac{C_1}{kz} * (\sqrt{1 + \kappa_{\omega,t}^2 + (C_2 * \xi_g)^2} - (C_2 * \xi_g)) = \\ &= \frac{1,13}{1,0} * (\sqrt{1 + 0,333^2 + (0,46 * 0,354)^2} - (0,46 * 0,354)) = 1,037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{CR} &= \mu_{CR} * \frac{\pi * \sqrt{E * G * Iz * It}}{Lz} = 1,037 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^9 * 81 * 10^9 * 108,06 * 10^6 * 2883,3 * 10^3}}{18,385} = \\ &= 407,9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3283,65 * 10^3 * 355}{407,9 * 10^6}} = 1,69 \quad \rightarrow \chi_{LT} = 0,26 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „c“})$$

$$M_s = -366 \text{ kNm}$$

$$M_h = 140 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = M_h / M_s = 140 / (-366) = -0,383$$

$$\psi = -0,314$$

$$C_{my} = 0,1 * (1 - \psi) - 0,8 * \alpha_s = 0,1 * (1 + 0,314) - 0,8 * (-0,383) = 0,44 > 0,4$$

$$C_{my} = 0,44$$

$$C_{my} * (1 + (\lambda_y - 0,2) * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}}) \leq C_{my} * (1 + 0,8 * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}})$$

$$0,44 * (1 + (3,44 - 0,2) * \frac{101,55}{0,078 * \frac{6762,8}{1,0}}) \leq 0,44 * (1 + 0,8 * \frac{101,55}{0,078 * \frac{6762,8}{1,0}})$$

$$0,714 \geq 0,508$$

$$\rightarrow k_{yy} = 0,508$$

$$\rightarrow k_{zy} = 0,6 * 0,508 = 0,302$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{Y^*} \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} * \frac{M_{y,d} + \Delta M}{\chi_{LT^*} \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{101,55}{0,078 * \frac{6762,8}{1,0}} + 0,508 * \frac{365,79 + 0}{0,26 * \frac{1165,7}{1,0}} = \underline{\underline{0,81 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{Z^*} \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} * \frac{M_{y,d} + \Delta M}{\chi_{LT^*} \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{101,55}{0,084 * \frac{6762,8}{1,0}} + 0,302 * \frac{365,79 + 0}{0,26 * \frac{1165,7}{1,0}} = \underline{\underline{0,54 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

Posouzení na smyk:

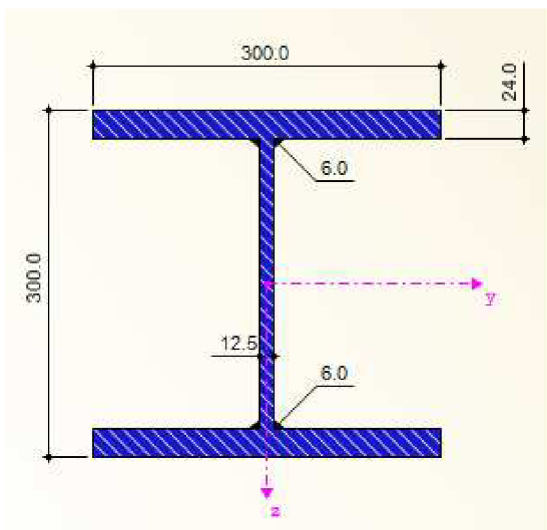
$$A_v = A - 2 * b * t_f = 19\,050 - 2 * 300 * 24 = 4\,650 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{m1} * \sqrt{3}} = \frac{4650 * 355}{1,0 * \sqrt{3}} = \underline{\underline{953,1 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 126,16 \text{ kN}}}$$

**VYHOVUJE**

*Vrchol rámu*

Průřez:



**Obr. 22 - HEA 300**

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška	h	300,000	mm
Šířka	b	300,000	mm

Tloušťka stojiny	$t_w$	12,500	mm
Tloušťka pásnice	$t_f$	24,000	mm
Tloušťka koutového svaru	$a$	6,000	mm
Plocha průřezu	$A$	175,500	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	$I_y$	29159,500	cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	$I_z$	10804,100	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	128,900	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	78,500	mm
Hmotnost průřezu	$G$	137,800	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	280,510	cm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti vztažený na M	$I_\omega$	2057000,000	cm <sup>6</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y,max}$	2185,650	cm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z,max}$	1089,840	cm <sup>3</sup>

Výpočet vzpěrných délek:

> pro vybočení z roviny rámu

$$\beta = 1,0$$

$$L_{cr,z} = 1,0 * 18,385 = \underline{18,385 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{18385}{78,5} * \frac{1}{76,4} = 3,07$$

$$\rightarrow \chi_z = 0,090 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „c“})$$

> pro vybočení v rovině rámu

$$\kappa = \frac{I * L}{I_b * h} = \frac{29159,5 * 34}{108327 * 4} = 2,29$$

$$\beta_1 = 0,7 * \sqrt{1 + \frac{P_1}{P}} = 0,7 * \sqrt{1 + 0} = 0,7$$

$$\beta = 2 * \beta_1 * \sqrt{1 + 0,4 * \kappa} = 2 * 0,7 * \sqrt{1 + 0,4 * 2,29} = 1,94$$

$$L_{cr,y} = \beta * L_{sys} = 1,94 * 18,385 = \underline{35,667 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{35667}{128,9} * \frac{1}{76,4} = 3,62$$

$$\rightarrow \chi_y = 0,070 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „b“})$$

Posouzení na kombinaci vzpěru a ohybu (KZ 49):

$$N_{Rk} = A * f_y = 17\,550 * 355 = 6\,230,3 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{y,pl} * f_y = 2\,185,65 * 10^3 * 355 = 775,9 \text{ kNm}$$

$$k_z = k_\omega = 1,0$$

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$z_g = h/2 = 300/2 = 150 \text{ mm}$$

$$\kappa_{\omega,t} = \frac{\pi}{k\omega * L\omega} * \sqrt{\frac{E * I\omega}{G * It}} = \frac{\pi}{1,0 * 18385} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 2057 * 10^9}{81 * 10^9 * 2805,1 * 10^3}} = 0,236$$

$$\xi_g = \frac{\pi * z_g}{kz * Lz} * \sqrt{\frac{E * Iz}{G * It}} = \frac{\pi * 150}{1,0 * 18385} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 108,04 * 10^6}{81 * 10^9 * 2805,1 * 10^3}} = 0,248$$

$$\begin{aligned} \mu_{CR} &= \frac{C_1}{kz} * (\sqrt{1 + \kappa_{\omega,t}^2 + (C_2 * \xi_g)^2} - (C_2 * \xi_g)) = \\ &= \frac{1,13}{1,0} * (\sqrt{1 + 0,236^2 + (0,46 * 0,248)^2} - (0,46 * 0,248)) = 1,039 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{CR} &= \mu_{CR} * \frac{\pi * \sqrt{E * G * Iz * It}}{Lz} = 1,039 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^9 * 81 * 10^9 * 108,04 * 10^{-6} * 2805,1 * 10^{-9}}}{18,385} = \\ &= 403,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2185,65 * 10^3 * 355}{403,1 * 10^6}} = 1,387 \rightarrow \chi_{LT} = 0,353 \text{ (dle křivky vzpěrnosti „c“)}$$

$$C_{my} = 0,49$$

$$C_{my} * (1 + (\lambda_y - 0,2) * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}}) \leq C_{my} * (1 + 0,8 * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}})$$

$$0,49 * (1 + (3,62 - 0,2) * \frac{105,80}{0,070 * \frac{6230,3}{1,0}}) \leq 0,49 * (1 + 0,8 * \frac{105,80}{0,070 * \frac{6230,3}{1,0}})$$

$$0,897 \geq 0,585$$

$$\rightarrow k_{yy} = 0,585$$

$$\rightarrow k_{zy} = 0,6 * 0,585 = 0,351$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{Y^*} \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} * \frac{M_{yd} + \Delta M}{\chi_{LT^*} \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{105,80}{0,070 * \frac{6230,3}{1,0}} + 0,585 * \frac{106,54 + 0}{0,353 * \frac{775,9}{1,0}} = \underline{\underline{0,47 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

$$\frac{N_{ed}}{\chi_{Z^*} \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} * \frac{M_{yd} + \Delta M}{\chi_{LT^*} \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{105,80}{0,090 * \frac{6230,3}{1,0}} + 0,351 * \frac{106,54 + 0}{0,353 * \frac{775,9}{1,0}} = \underline{\underline{0,53 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

Posouzení na ohyb a tah (KZ 6):

$$\frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed,y}}{W_{y,pl}} = \frac{44,17 * 10^3}{17550} + \frac{227,19 * 10^6}{2185,65 * 10^3} = \underline{\underline{108,5 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}}}$$

**VYHOVUJE**

Posouzení na smyk:

$$A_v = A - 2 * b * t_f = 17\,550 - 2 * 300 * 24 = 3\,150 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{m1} * \sqrt{3}} = \frac{3150 * 355}{1,0 * \sqrt{3}} = \underline{\underline{645,6 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 5,38 \text{ kN}}}$$

**VYHOVUJE**

### 5.3 Sloup

$$L_{sys} = h = 7,5 \text{ m}$$

kvalita oceli: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

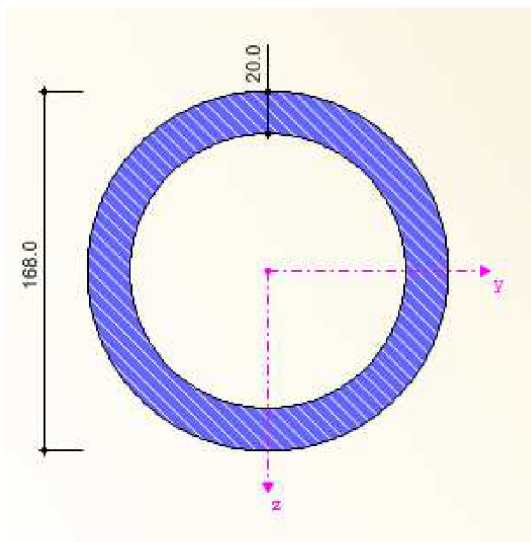
$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

### Vnitřní síly

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Kombinace
				N	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	
188	83	0,000	max N	<b>58,43</b>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	LK 43
			min N	<b>-303,53</b>	0,00	-0,01	0,01	0,00	0,00	LK 50
			max V <sub>y</sub>	-84,82	<b>0,01</b>	0,01	-1,69	0,01	0,00	LK 48
			min V <sub>y</sub>	32,59	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	LK 42
			max V <sub>z</sub>	-135,15	0,00	<b>0,02</b>	0,01	0,00	0,00	LK 51
			min V <sub>z</sub>	-137,49	0,00	<b>-0,01</b>	0,00	0,00	0,00	LK 44
			max M <sub>T</sub>	-280,76	0,00	0,01	<b>0,02</b>	0,00	0,00	LK 49
			min M <sub>T</sub>	-164,55	0,01	0,01	<b>-2,46</b>	0,01	0,01	LK 6
			max M <sub>y</sub>	-164,55	0,01	0,01	-2,46	<b>0,01</b>	0,01	LK 6
			min M <sub>y</sub>	-107,24	0,00	0,01	0,00	<b>0,00</b>	0,00	LK 1
			max M <sub>z</sub>	-164,55	0,01	0,01	-2,46	0,01	<b>0,01</b>	LK 6
			min M <sub>z</sub>	-188,71	0,00	0,02	0,01	0,00	<b>0,00</b>	LK 9

Průřez:



Obr. 23 - RO 168x20



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	168,000	mm
Tloušťka stěny	t	20,000	mm
Plocha průřezu	A	92,990	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	2592,590	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	52,800	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i <sub>p</sub>	74,700	mm
Hmotnost průřezu	G	73,000	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	5092,190	cm <sup>4</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	440,750	cm <sup>3</sup>

Výpočet vzpěrné délky:

$$\beta = 1,0$$

$$L_{cr,y} = \beta * L_{sys} = 1,0 * 7,5 = \underline{7,5 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,0 = 93,9$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{7500}{52,8} * \frac{1}{93,9} = 1,51 \quad \rightarrow \chi_y = 0,368 \text{ (dle křivky vzpěrnosti „a“)}$$

Posouzení na vzpěr:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,368 * 9299 * 235}{1,0} = \underline{\underline{3\ 657,0 \text{ kN}}} > N_{Ed,max} = 303,53 \text{ kN}$$

**VYHOVUJE**

## 6 Štítová stěna

### 6.1 Rám štítové stěny

kvalita oceli: S355

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

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

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

*Sloup*

(kloub sloupu)

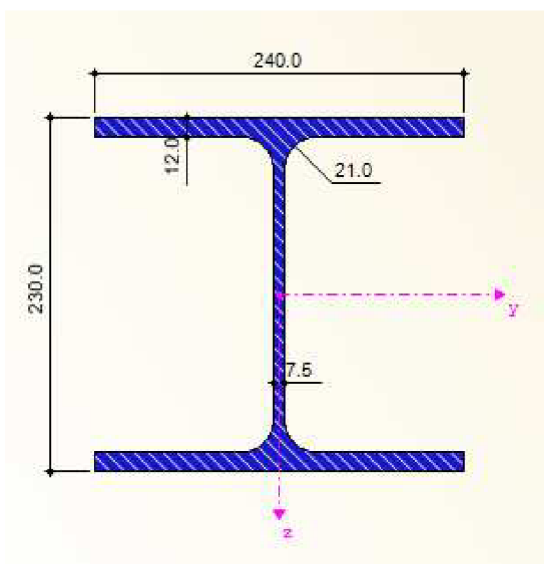
$$L_{\text{sys}} = 4 \text{ m}$$

Vnitřní síly:

$$N_{\text{max}} = 91,54 \text{ kN}$$

$$V_z = 12,16 \text{ kN}$$

Průřez:



Obr. 24 - HEA 240

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	230,000	mm
Šířka profilu	b	240,000	mm
Tloušťka stojiny	t <sub>w</sub>	7,500	mm
Tloušťka pásnice	t <sub>f</sub>	12,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	21,000	mm
Plocha průřezu	A	76,800	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	7760,000	cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>z</sub>	2770,000	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	101,000	mm
Poloměr setrvačnosti	i <sub>z</sub>	60,000	mm
Hmotnost průřezu	G	60,300	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	41,700	cm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti	I <sub>ω</sub>	328500,000	cm <sup>6</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	744,000	cm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,z</sub>	351,690	cm <sup>3</sup>

Vzpěrná délka:

$$\kappa = \frac{I * L}{I_b * h} = \frac{7760 * 34}{29159,5 * 4} = 3,61$$

$$\beta_1 = 0,7 * \sqrt{1 + \frac{P_1}{P}} = 0,7 * \sqrt{1 + \frac{2,11}{3,28}} = 0,9$$

$$\beta = 2 * \beta_1 * \sqrt{1 + 0,4 * \kappa} = 2 * 0,9 * \sqrt{1 + 0,4 * 3,61} = 2,81$$

$$L_{cr,y} = \beta * L_{sys} = 2,81 * 4,0 = \underline{11,258 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{11258}{101} * \frac{1}{76,4} = 1,46 \quad \rightarrow \chi_y = 0,357 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „b“})$$

Posouzení na vzpěr:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,357 * 7680 * 355}{1,0} = \underline{973,32 \text{ kN}} > N_{Ed,max} = \underline{91,54 \text{ kN}}$$

**VYHOVUJE**

Posouzení na smyk:

$$A_v = A - 2 * b * t_f = 7\,680 - 2 * 240 * 12 = 1\,920 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{m1} * \sqrt{3}} = \frac{1920 * 355}{1,0 * \sqrt{3}} = \underline{\underline{393,52 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 12,16 \text{ kN}}}$$

**VYHOVUJE**

*Příčel*

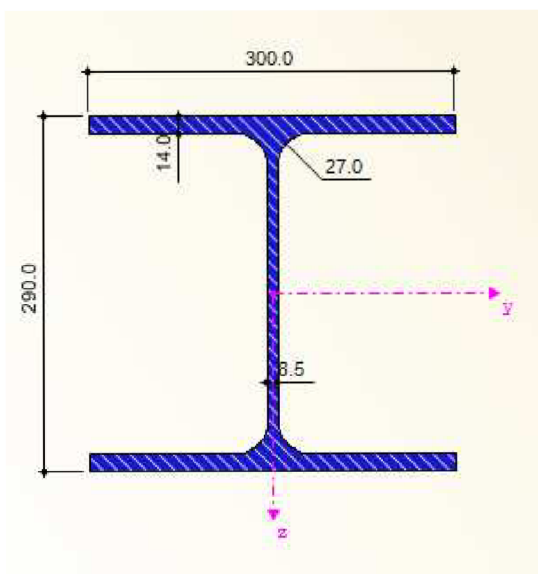
(rámový roh)

$$L_{sys} = 18,385 \text{ m}$$

Vnitřní síly:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Kombinace
				N	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	
374	227	1,622	max N	<b>71,57</b>	0,04	15,90	0,00	42,54	-0,01	LK 43
			min N	<b>-121,83</b>	0,44	-27,56	0,01	-66,82	-0,70	LK 54
			max V <sub>y</sub>	-5,84	<b>1,39</b>	-2,11	-0,08	-1,05	-0,45	LK 47
			min V <sub>y</sub>	-55,97	<b>-0,72</b>	-13,29	0,14	-31,64	-0,50	LK 36
			max V <sub>z</sub>	71,57	0,04	<b>15,90</b>	0,00	42,54	-0,01	LK 43
			min V <sub>z</sub>	-121,83	0,44	<b>-27,56</b>	0,01	-66,82	-0,70	LK 54
			max M <sub>T</sub>	-59,16	-0,61	-13,68	<b>0,14</b>	-32,26	-0,67	LK 46
			min M <sub>T</sub>	-5,84	1,39	-2,11	<b>-0,08</b>	-1,05	-0,45	LK 47
			max M <sub>y</sub>	71,57	0,04	15,90	0,00	<b>42,54</b>	-0,01	LK 43
			min M <sub>y</sub>	-121,83	0,44	-27,56	0,01	<b>-66,82</b>	-0,70	LK 54
			max M <sub>z</sub>	71,57	0,04	15,90	0,00	42,54	<b>-0,01</b>	LK 43
			min M <sub>z</sub>	-71,80	0,64	-16,56	-0,03	-37,09	<b>-0,99</b>	LK 8

Průřez:



Obr. 25 - HEA 300

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	$h$	290,000	mm
Šířka profilu	$b$	300,000	mm
Tloušťka stojiny	$t_w$	8,500	mm
Tloušťka pásnice	$t_f$	14,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	$r$	27,000	mm
Plocha průřezu	$A$	113,000	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	$I_y$	18260,000	cm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	$I_z$	6310,000	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	127,000	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	74,900	mm
Hmotnost průřezu	$G$	88,700	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	85,600	cm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega$	1200000,000	cm <sup>6</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	1384,000	cm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	641,170	cm <sup>3</sup>

Výpočet vzpěrné délky:

$$\kappa = \frac{I * L}{I_b * h} = \frac{9109 * 34}{18260 * 4} = 4,24$$

$$\beta_1 = 0,7 * \sqrt{1 + \frac{P_1}{P}} = 0,7 * \sqrt{1 + 0} = 0,7$$

$$\beta = 2 * \beta_1 * \sqrt{1 + 0,4 * \kappa} = 2 * 0,7 * \sqrt{1 + 0,4 * 4,24} = 2,29$$

$$L_{cr,y} = \beta * L_{sys} = 2,29 * 18,385 = \underline{42,267 \text{ m}}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,4$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{42267}{127} * \frac{1}{76,4} = 4,36$$

(dle křivky vzpěrnosti „b“)

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2) = 0,5 * (1 + 0,34 * (4,36 - 0,2) + 4,36^2) = 10,71$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{10,71 + \sqrt{10,71^2 - 4,36^2}} = 0,049$$

Posouzení na kombinaci vzpěru a ohybu:

$$N_{Rk} = A * f_y = 11\,300 * 355 = 4\,011,5 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{y,pl} * f_y = 1\,384 * 10^3 * 355 = 491,32 \text{ kNm}$$

$$k_z = k_\omega = 1,0$$

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$z_g = h/2 = 300/2 = 150 \text{ mm}$$

$$\kappa_{\omega,t} = \frac{\pi}{k_\omega * L_\omega} * \sqrt{\frac{E * I_\omega}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 18385} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 1200 * 10^9}{81 * 10^9 * 856 * 10^3}} = 1,497$$

$$\xi_g = \frac{\pi * z_g}{k_z * L_z} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 150}{1,0 * 18385} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * 63,10 * 10^6}{81 * 10^9 * 856 * 10^3}} = 1,574$$

$$\begin{aligned} \mu_{CR} &= \frac{C_1}{k_z} * (\sqrt{1 + \kappa_{\omega,t}^2 + (C_2 * \xi_g)^2} - (C_2 * \xi_g)) = \\ &= \frac{1,13}{1,0} * (\sqrt{1 + 1,497^2 + (0,46 * 1,574)^2} - (0,46 * 1,574)) = 1,547 \end{aligned}$$

$$M_{CR} = \mu_{CR} * \frac{\pi * \sqrt{E * G * I_z * I_t}}{L_z} = 1,547 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^9 * 81 * 10^9 * 63,10 * 10^{-6} * 856 * 10^{-9}}}{18,385} =$$

$$= 253,4 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1384 * 10^3 * 355}{253,4 * 10^6}} = 1,39 \quad \rightarrow \chi_{LT} = 0,353 \quad (\text{dle křivky vzpěrnosti „c“})$$

$$C_{my} = 0,4$$

$$C_{my} * (1 + (\lambda_y - 0,2) * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}}) \leq C_{my} * (1 + 0,8 * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}})$$

$$0,4 * (1 + (4,36 - 0,2) * \frac{121,83}{0,049 * \frac{4011,5}{1,0}}) \leq 0,4 * (1 + 0,8 * \frac{121,83}{0,049 * \frac{4011,5}{1,0}})$$

$$1,43 \geq 0,6$$

$$\rightarrow k_{yy} = 0,6$$

$$\rightarrow k_{zy} = 0,6 * 0,6 = 0,36$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{yy} * \frac{M_{yd} + \Delta M}{\chi_{LT} * \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{121,83}{0,049 * \frac{4011,5}{1,0}} + 0,6 * \frac{66,82 + 0}{0,353 * \frac{491,32}{1,0}} = \underline{\underline{0,85 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * \frac{N_{rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} * \frac{M_{yd} + \Delta M}{\chi_{LT} * \frac{M_{rk}}{\gamma_{m1}}} = \frac{121,83}{0,084 * \frac{4011,5}{1,0}} + 0,36 * \frac{66,82 + 0}{0,353 * \frac{491,32}{1,0}} = \underline{\underline{0,50 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

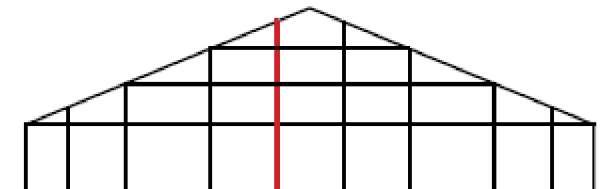
Posouzení na smyk:

$$A_v = A - 2 * b * t_f = 11\,300 - 2 * 300 * 14 = 2\,900 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{m1} * \sqrt{3}} = \frac{2900 * 355}{1,0 * \sqrt{3}} = \underline{\underline{594,4 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 15,90 \text{ kN}}}$$

**VYHOVUJE**

## 6.2 Sloupek 1



Obr. 26 - Posuzovaný sloupek 1

(posouzeno v místě  $z = 4 \text{ m}$ )

$L_{\text{sys}} = 10,176 \text{ m}$

kvalita oceli: S235

$f_y = 235 \text{ MPa}$

$f_u = 360 \text{ MPa}$

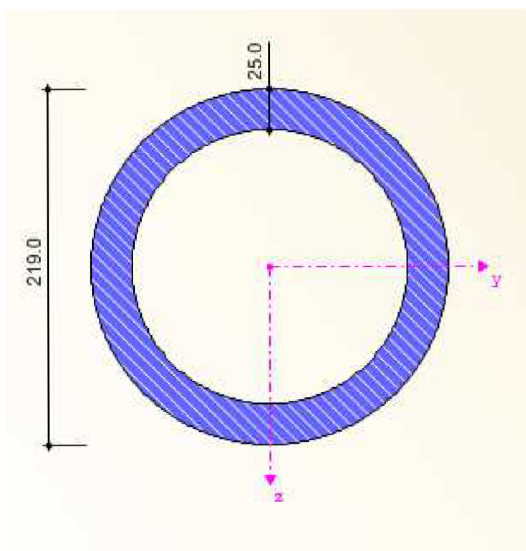
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Vnitřní síly:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Kombinace
				N	$V_y$	$V_z$	$M_T$	$M_y$	$M_z$	
252	223	4,000	max N	<b>-16,96</b>	-0,02	1,42	0,60	5,74	0,06	LK 42
			min N	<b>-67,22</b>	-0,23	0,87	10,77	3,61	0,96	LK 7
			max $V_y$	-30,75	<b>11,02</b>	3,98	-3,64	16,21	-70,04	LK 36
			min $V_y$	-36,97	<b>-10,48</b>	0,04	12,65	0,40	66,17	LK 47
			max $V_z$	-47,12	-0,04	<b>8,22</b>	2,14	33,58	0,18	LK 54
			min $V_z$	-27,09	-0,06	<b>-5,42</b>	2,17	-21,94	0,23	LK 53
			max $M_T$	-36,97	-10,48	0,04	<b>12,65</b>	0,40	66,17	LK 47
			min $M_T$	-30,75	11,02	3,98	<b>-3,64</b>	16,21	-70,04	LK 36
			max $M_y$	-47,12	-0,04	8,22	2,14	<b>33,58</b>	0,18	LK 54
			min $M_y$	-27,09	-0,06	-5,42	2,17	<b>-21,94</b>	0,23	LK 53
			max $M_z$	-36,97	-10,48	0,04	12,65	0,40	<b>66,17</b>	LK 47
			min $M_z$	-39,34	11,02	3,99	-2,71	16,28	<b>-70,28</b>	LK 46



Průřez:



Obr. 27 - RO 219x25

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	219,000	mm
Tloušťka stěny	t	25,000	mm
Plocha průřezu	A	152,370	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	7287,150	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	69,200	mm
Hmotnost průřezu	G	119,600	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	14336,200	cm <sup>4</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	946,110	cm <sup>3</sup>

Vzpěrná délka:

$$\beta = 1,0$$

$$L_{cr} = \beta * L_{sys} = 1,0 * 10,176 = 10,176 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,0 = 93,9$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{10176}{69,2} * \frac{1}{93,9} = 1,57$$

$$\rightarrow \chi_y = 0,344 \text{ (dle křivky vzpěrnosti „a“)}$$

Posouzení na kombinaci tlaku a prostorového ohybu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,344 * 15237 * 235}{1,0} = 1\,231,76 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y = 946\,110 * 235 = 222,34 \text{ kNm}$$

pro kruhový průřez:

$$\alpha = 2$$

$$\beta = 2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd}} \right]^\beta = \frac{31,89}{1231,76} + \left[ \frac{16,09}{222,34} \right]^2 + \left[ \frac{70,28}{222,34} \right]^2 = \underline{\underline{0,13 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

Průhyb sloupku:

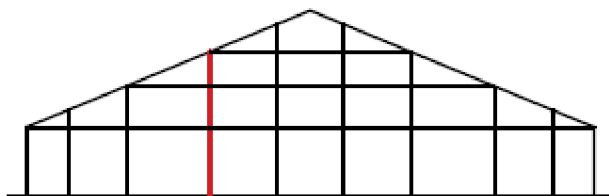
(zjištěno z Dlubal Software)

$$\delta = 39,4 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{10176}{250} = \underline{\underline{40,7 \text{ mm} > \delta}}$$

**VYHOVUJE**

### 6.3 Sloupek 2



Obr. 28 - Posuzovaný sloupek 2

(posouzeno v místě  $z = 4 \text{ m}$ )

$L_{\text{sys}} = 8,529 \text{ m}$

kvalita oceli: S235

$f_y = 235 \text{ MPa}$

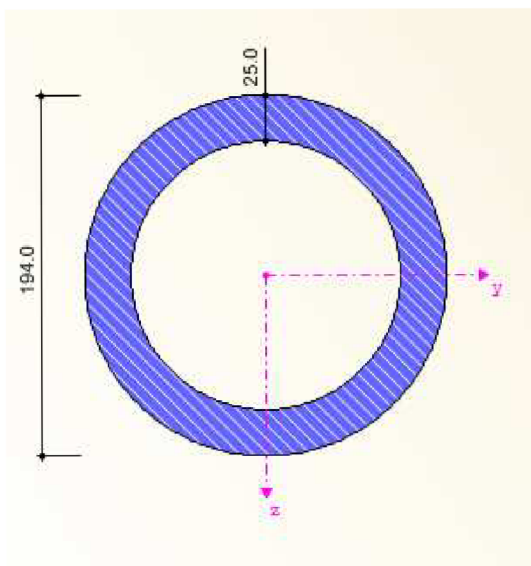
$f_u = 360 \text{ MPa}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Vnitřní síly:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Kombinace
				N	$V_y$	$V_z$	$M_T$	$M_y$	$M_z$	
274	250	0,000	max N	<b>-12,60</b>	0,02	0,96	-0,13	-3,88	0,06	LK 42
			min N	<b>-84,26</b>	0,23	0,57	-1,95	-2,42	0,97	LK 7
			max $V_y$	-39,09	<b>6,69</b>	-0,02	-5,54	0,19	52,21	LK 47
			min $V_y$	-23,28	<b>-6,98</b>	2,66	3,89	-10,75	-54,81	LK 36
			max $V_z$	-13,60	0,03	<b>5,58</b>	-0,26	-22,57	0,12	LK 44
			min $V_z$	-43,61	0,02	<b>-3,57</b>	-0,25	14,71	0,10	LK 43
			max $M_T$	-23,28	-6,98	2,66	<b>3,89</b>	-10,75	-54,81	LK 36
			min $M_T$	-39,09	6,69	-0,02	<b>-5,54</b>	0,19	52,21	LK 47
			max $M_y$	-56,04	0,04	-3,56	-0,44	<b>14,77</b>	0,17	LK 53
			min $M_y$	-26,05	0,05	5,57	-0,45	<b>-22,69</b>	0,20	LK 54
			max $M_z$	-39,09	6,69	-0,02	-5,54	0,19	<b>52,21</b>	LK 47
			min $M_z$	-35,73	-6,96	2,66	3,72	-10,81	<b>-55,19</b>	LK 46

Průřez:



Obr. 29 - RO 194x25

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	194,000	mm
Tloušťka stěny	t	25,000	mm
Plocha průřezu	A	132,730	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	4842,410	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	60,400	mm
Hmotnost průřezu	G	104,200	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	9477,420	cm <sup>4</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	719,230	cm <sup>3</sup>

Vzpěrná délka:

$$\beta = 1,0$$

$$L_{cr} = \beta * L_{sys} = 1,0 * 8,529 = 8,529 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,0 = 93,9$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{8529}{60,4} * \frac{1}{93,9} = 1,50$$

$$\rightarrow \chi_y = 0,562 \text{ (dle křivky vzpěrnosti „a“)}$$

Posouzení na kombinaci tlaku a prostorového ohybu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,562 * 13273 * 235}{1,0} = 1752,97 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y = 719230 * 235 = 169,02 \text{ kNm}$$

pro kruhový průřez:

$$\alpha = 2$$

$$\beta = 2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd}} \right]^\beta = \frac{35,73}{1752,97} + \left[ \frac{10,81}{169,02} \right]^2 + \left[ \frac{55,49}{169,02} \right]^2 = \underline{\underline{0,13 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

Průhyb sloupku:

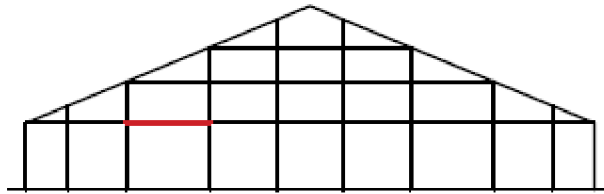
(zjištěno z Dlubal Software)

$$\delta = 31 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{8529}{250} = \underline{\underline{34,1 \text{ mm} > \delta}}$$

**VYHOVUJE**

## 6.4 Paždík



Obr. 30 - Posuzovaný paždík

(posouzeno v místě  $x_{lok} = 2,5$  m)

$L_{sys} = 5$  m

kvalita oceli: S235

$f_y = 235$  MPa

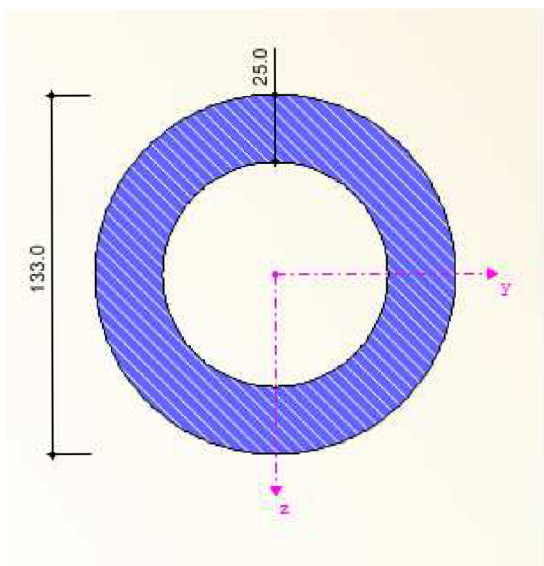
$f_u = 360$  MPa

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

Vnitřní síly:

Prut č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Kombinace
			N	$V_y$	$V_z$	$M_T$	$M_y$	$M_z$	
283	2,500	max N	<b>54,92</b>	0,00	0,00	0,02	2,66	0,00	LK 54
		min N	<b>-15,70</b>	0,00	0,00	0,01	2,86	0,00	LK 43
		max $V_y$	35,10	<b>0,00</b>	-0,01	-1,35	2,70	-11,26	LK 36
		min $V_y$	4,85	<b>0,00</b>	-0,01	1,53	2,79	10,73	LK 47
		max $V_z$	43,88	0,00	<b>0,00</b>	0,08	2,69	0,00	LK 8
		min $V_z$	4,85	0,00	<b>-0,01</b>	1,53	2,79	10,73	LK 47
		max $M_T$	4,85	0,00	-0,01	<b>1,53</b>	2,79	10,73	LK 47
		min $M_T$	35,10	0,00	-0,01	<b>-1,35</b>	2,70	-11,26	LK 36
		max $M_y$	-15,70	0,00	0,00	0,01	<b>2,86</b>	0,00	LK 43
		min $M_y$	54,92	0,00	0,00	0,02	<b>2,66</b>	0,00	LK 54
		max $M_z$	-0,30	0,00	-0,01	1,49	2,80	<b>10,78</b>	LK 37
		min $M_z$	35,10	0,00	-0,01	-1,35	2,70	<b>-11,26</b>	LK 36

Průřez:



Obr. 31 - RO 133x25

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	133,000	mm
Tloušťka stěny	t	25,000	mm
Plocha průřezu	A	84,820	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	1302,990	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	39,200	mm
Hmotnost průřezu	G	66,600	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	2473,440	cm <sup>4</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	296,810	cm <sup>3</sup>

Vzpěrná délka:

$$\beta = 1,0$$

$$L_{cr} = \beta * L_{sys} = 1,0 * 5 = 5 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 1,0 = 93,9$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5000}{39,2} * \frac{1}{93,9} = 1,36$$

$$\rightarrow \chi_y = 0,438 \text{ (dle křivky vzpěrnosti „a“)}$$

Posouzení na kombinaci tlaku a prostorového ohybu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,438 * 8482 * 235}{1,0} = 873,05 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y = 296\,810 * 235 = 69,75 \text{ kNm}$$

pro kruhový průřez:

$$\alpha = 2$$

$$\beta = 2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd}} \right]^\beta = \frac{35,10}{873,05} + \left[ \frac{11,26}{69,75} \right]^2 + \left[ \frac{2,70}{69,75} \right]^2 = \underline{\underline{0,1 < 1}}$$

**VYHOVUJE**

Průhyb sloupku:

(zjištěno z Dlubal Software)

$$L = 22 \text{ m}$$

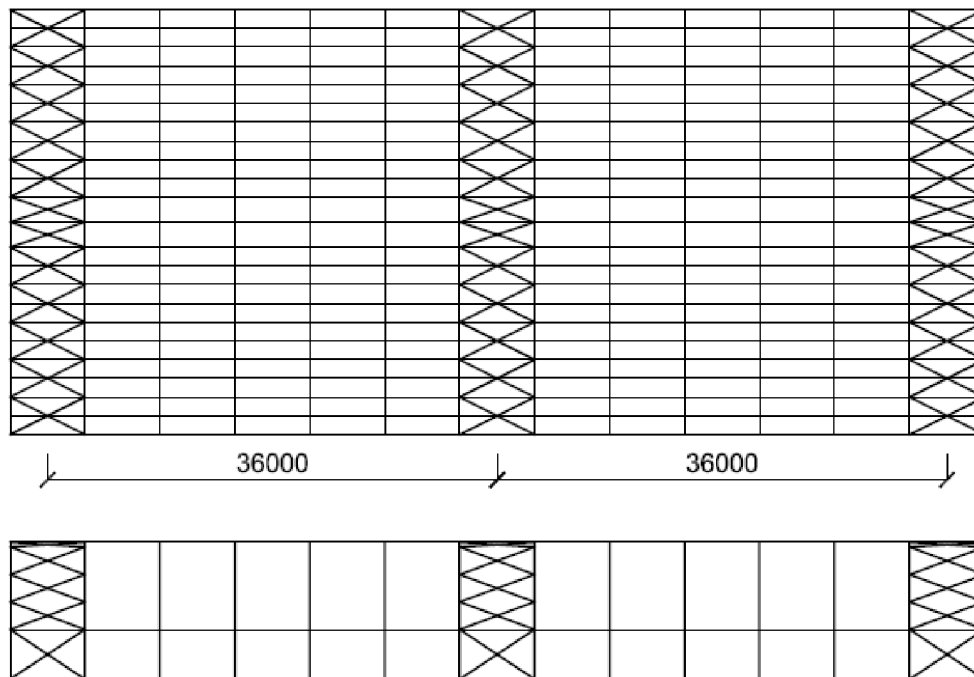
$$\delta = 40,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{300} = \frac{22000}{300} = \underline{\underline{73,3 \text{ mm} > \delta}}$$

**VYHOVUJE**



## 7 Ztužidla



Obr. 32 - Schéma rozmístění ztužidel - půdorys a pohled

Kvalita oceli: S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

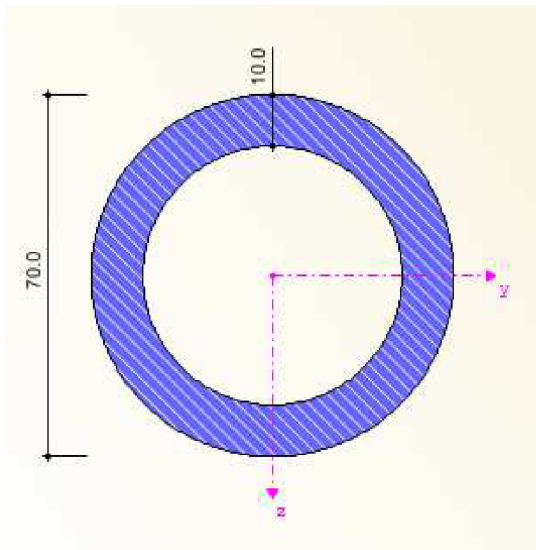
$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

> dimenzování na maximální tahovou sílu

$$N_{Ed,max} = 53,19 \text{ kN}$$

Průřez:



Obr. 33 - RO 70x10

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	70,000	mm
Tloušťka stěny	t	10,000	mm
Plocha průřezu	A	18,850	cm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I <sub>y</sub>	87,180	cm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	21,500	mm
Hmotnost průřezu	G	14,800	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	169,650	cm <sup>4</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	36,330	cm <sup>3</sup>

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{1885 \cdot 235}{1,0} = \underline{\underline{442,98 \text{ kN}}} > N_{Ed,max} = 53,19 \text{ kN}$$

**VYHOVUJE**

## 8 Posouzení modelu na MSP

(deformace zjištěny z Dlubal Software)

### *Svislý průhyb příčné vazby*

$$L = 34 \text{ m}$$

$$\delta_z = 41,8 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{34000}{250} = \underline{\underline{136 \text{ mm} > \delta}}$$

**VYHOVUJE**

### *Vodorovný posun příčné vazby*

$$L = h = 11 \text{ m}$$

$$\delta_x = 21,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{300} = \frac{11000}{300} = \underline{\underline{36,7 \text{ mm} > \delta}}$$

**VYHOVUJE**

### *Vodorovný posun celé haly*

$$L = h = 11 \text{ m}$$

$$\delta_y = 20,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{300} = \frac{11000}{300} = \underline{\underline{36,7 \text{ mm} > \delta}}$$

**VYHOVUJE**

## 9 Vybrané detaily

### 9.1 Rámový roh

Kvalita oceli: S355

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

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

*Vnitřní síly:*

$$M_{y,p} = 310,12 \text{ kNm}$$

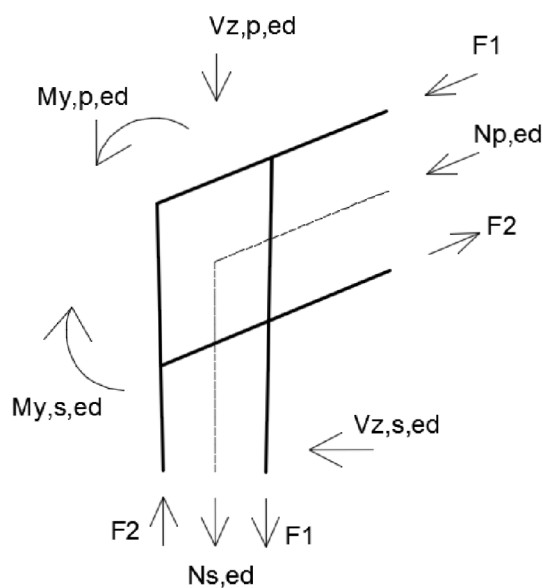
$$M_{y,s} = 308,57 \text{ kNm}$$

$$V_{z,p} = 51,47 \text{ kN}$$

$$V_{z,s} = 74,96 \text{ kN}$$

$$N_p = 98,27 \text{ kN}$$

$$N_s = 93,61 \text{ kN}$$



Obr. 34 - Schéma působících sil

> Posouzení rámové stěny na smyk:

$$\tau_{Ed} \approx \max \left( \frac{F_1}{b \cdot t_w} ; \frac{F_2}{b \cdot t_w} \right)$$

$$b_p = h_s = 390 \text{ mm}$$

$$b_s = h_p = 540 \text{ mm}$$

$$t_w = 12,5 \text{ mm}$$

rozložení sil do pásnic na příčli

$$F_1 = \frac{M_{y,p}}{h_p} - \frac{N_p}{2} = \frac{310,12}{0,54} - \frac{98,27}{2} = 525,16 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{M_{y,p}}{h_p} + \frac{N_p}{2} = \frac{310,12}{0,54} + \frac{98,27}{2} = 623,43 \text{ kN}$$

$$\tau_{Ed} = \max \left( \frac{525160}{390 \cdot 12,5} ; \frac{623430}{390 \cdot 12,5} \right) = \underline{127,9 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}}$$

rozložení sil do pásnic na stojce

$$F_1 = \frac{M_{y,s}}{h_s} - \frac{N_s}{2} = \frac{308,57}{0,39} - \frac{93,61}{2} = 744,40 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{M_{y,s}}{h_s} + \frac{N_s}{2} = \frac{308,57}{0,39} + \frac{93,61}{2} = 838,01 \text{ kN}$$

$$\tau_{Ed} = \max \left( \frac{774400}{540 \cdot 12,5} ; \frac{838010}{540 \cdot 12,5} \right) = \underline{124,15 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}}$$

Rámová stěna vyhoví na smykové namáhání → není třeba smykových výztuh samotné  
rámové stěny

> Posouzení výztuh stojky a příčle:

$$l_s = 372 \text{ mm}$$

$$l_p = 538 \text{ mm}$$

na výztuhy stojky působí síly:

$$F_s = N_p + V_{z,s} = 98,27 + 74,96 = 173,23 \text{ kN}$$

$$F_M = \frac{M_{y,p}}{l_p} = \frac{310120}{538} = 576,43 \text{ kNm}$$

Třída průřezu

$$t = 18 \text{ mm}$$

$$c = l_s = 372 \text{ mm}$$

$$l_{s,f} = 144,5 \text{ mm}$$

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

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\frac{c}{t} = \frac{372}{18} = 20,67 < 33 * \varepsilon = 26,73 \quad \Rightarrow \text{tř. 1 (průřez nebude boulit)}$$

Posouzení na smyk:

$$\tau_{Ed} = \frac{F_s + F_M}{t * l_s} = \frac{173230 + 576430}{18 * 372} = \underline{\underline{111,96 \text{ MPa} < f_v = 355 \text{ MPa}}}$$

**VYHOVUJE**

Posouzení svarů:

(dle průměrného napětí)

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{Mw}} = \frac{490}{\sqrt{3} * 0,9 * 1,5} = 209,56 \text{ MPa}$$

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

$$F_{Ed} = F_s + F_M = 173,23 + 576,43 = 749,66 \text{ kN}$$

$$F_{vw,d,w} = f_{vw,d} * a * n * l_s = 209,56 * 4 * 4 * 372 = \underline{\underline{1\,247,3 \text{ kN} > F_{Ed}}}$$

$$F_{vw,d,f} = f_{vw,d} * a * n * l_{s,f} = 209,56 * 4 * 8 * 144,5 = \underline{\underline{969,01 \text{ kN} > F_{Ed}}}$$

**VYHOVUJE**

na výztuhy příčle působí síly:

$$F_p = N_s + V_{z,p} = 93,61 + 51,47 = 145,08 \text{ kN}$$

$$F_M = \frac{M_{y,s}}{l_s} = \frac{308570}{372} = 829,49 \text{ kNm}$$

Třída průřezu

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$c = l_p = 538 \text{ mm}$$

$$l_{p,f} = 143 \text{ mm}$$

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

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\frac{c}{t} = \frac{538}{20} = 26,9 < 38 * \varepsilon = 30,78 \quad \Rightarrow \text{tř. 2 (průřez nebude boulit)}$$

Posouzení na smyk:

$$\tau_{Ed} = \frac{F_p + F_M}{t * l_p} = \frac{145080 + 829490}{20 * 538} = \underline{\underline{90,57 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}}}$$

**VYHOVUJE**

Posouzení svarů:

(dle průměrného napětí)

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{Mw}} = \frac{490}{\sqrt{3} * 0,9 * 1,5} = 209,56 \text{ MPa}$$

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

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

$$F_{Ed} = F_p + F_M = 145,08 + 829,49 = 974,57 \text{ kN}$$

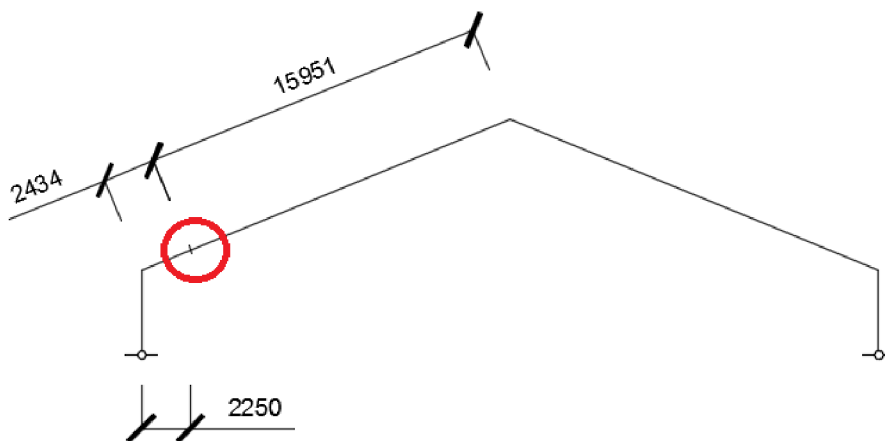
$$F_{vw,d,w} = f_{vw,d} * a * n * l_s = 209,56 * 4 * 4 * 538 = \underline{\underline{1\ 803,9 \text{ kN} > F_{Ed}}}$$

$$F_{vw,d,f} = f_{vw,d} * a * n * l_{s,f} = 209,56 * 5 * 8 * 143 = \underline{\underline{1\ 198,7 \text{ kN} > F_{Ed}}}$$

**VYHOVUJE**

## 9.2 Montážní styk

*Schéma*



**Obr. 35 - Umístění montážního styku**

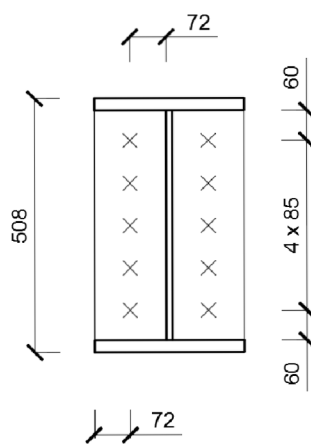
Vnitřní síly:

KZ 44:  $M_{y,Ed} = 137,99 \text{ kN}$   $N_{Ed} = +28,92 \text{ kN}$

KZ 54:  $M_{y,Ed,max} = 190,21 \text{ kNm}$   $V_{z,Ed} = 10,28 \text{ kN}$

> Šroubový spoj

Návrh:



Obr. 36 - Schéma šroubového spoje

šrouby M30 (10.9)  $f_{yb} = 900 \text{ MPa}$   
 $f_{ub} = 1\ 000 \text{ MPa}$

10 šroubů

spoj kategorie A

$d = 30 \text{ mm}$

$d_o = 33 \text{ mm}$

$A = 707 \text{ mm}^2$

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

rozteče šroubů:

$e_1 = 60 \text{ mm} > e_{1,min} = 1,2d_o = 1,2 * 33 = 40 \text{ mm}$

$p_1 = 85 \text{ mm} > p_{1,min} = 2,2d_o = 2,2 * 33 = 73 \text{ mm}$

$e_2 = 71,5 \text{ mm} > e_{2,min} = 1,2d_o = 1,2 * 33 = 40 \text{ mm}$



Posouzení spoje v KZ 44:

$$F_{1,M,Ed} = M * \frac{r_{max}}{\sum ri^2}$$

$$r_1 = 77,8 \text{ mm}$$

$$r_2 = 115,2 \text{ mm}$$

$$r_3 = 186,9 \text{ mm}$$

$$F_{1,M,Ed} = 137,99 * \frac{0,1869}{2 * 0,0778^2 + 4 * 0,1152^2 + 4 * 0,1869^2} = 126,01 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = N_{Ed} = 28,92 \text{ kN}$$

únosnost třecího spoje:

$$k_s = 1,0$$

$$n = 1$$

$$\mu = 0,5$$

$$F_{p,Cd} = 0,7 * f_{ub} * A = 0,7 * 1000 * 707 = 494,9 \text{ kN}$$

$$\gamma_{Ms,ult} = 1,3$$

$$F_{s,Rd,ult} = \frac{k_s * n * \mu * (F_{p,Cd} - 0,8 * F_{t,Ed})}{\gamma_{Ms,ult}} = \frac{1,0 * 1 * 0,5 * (494,9 - 0,8 * 28,92)}{1,3} =$$

$$= \underline{\underline{181,45 \text{ kN} > F_{1,M,Ed} = 126,01 \text{ kN}}}$$

**VYHOVUJE**

Posouzení spoje v KZ 54:

$$F_{1,M,Ed} = M * \frac{r_{max}}{\sum ri^2} = 190,21 * \frac{0,1869}{2 * 0,0778^2 + 4 * 0,1152^2 + 4 * 0,1869^2} = 174,82 \text{ kN}$$

únosnost třecího spoje:

$$k_s = 1,0$$

$$n = 1$$

$$\mu = 0,5$$

$$F_{p,Cd} = 0,7 * f_{ub} * A = 0,7 * 1000 * 707 = 494,9 \text{ kN}$$

$$\gamma_{Ms,ult} = 1,3$$

$$F_{s,Rd,ult} = \frac{k_s * n * \mu * F_{p,Cd}}{\gamma_{Ms,ult}} = \frac{1,0 * 1 * 0,5 * 494,9}{1,3} = 190,35 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed} = F_{1,M,Ed} + V_{Ed} = 174,82 + 10,28 = \underline{\underline{185,10 \text{ kN} < F_{s,Rd,ult} = 190,35 \text{ kN}}}$$

**VYHOVUJE**

> Svary příložek

$$t = 18 \text{ mm}$$

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

Průřezové charakteristiky svarového obrazce

$$I_{y,w} = 2 * (1/12) * 4 * 452^3 + 4 * ((1/12) * 4 * 32^3 + 4 * 32 * 238^2) + 2 * ((1/12) * 300 * 4^3 + 4 * 300 * 256^2) + 4 * ((1/12) * 143 * 4^3 + 143 * 4 * 240^2) = \underline{\underline{379,7 * 10^6 \text{ mm}^4}}$$

$$W_{y,f,w} = \frac{I_{y,w}}{z} = \frac{379,7 * 10^6}{258} = \underline{\underline{1,472 * 10^6 \text{ mm}^3}}$$

$$W_{y,w,w} = \frac{I_{y,w}}{z} = \frac{379,7 * 10^6}{228} = \underline{\underline{1,651 * 10^6 \text{ mm}^3}}$$

$$A_{w,w} = 4 * 4 * 452 = \underline{\underline{7 232 \text{ mm}^2}}$$

Stojina:

$$\tau_{rovn.} = \frac{V_{Ed}}{A_{w,w}} = \frac{10280}{7232} = 1,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{M,w} = \frac{M_{Ed}}{W_{y,w,w}} = \frac{190,21 * 10^6}{1,651 * 10^6} = 115,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kol.} = \tau_{kol.} = \frac{\sigma_{M,w}}{\sqrt{2}} = \frac{115,2}{\sqrt{2}} = 81,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{81,5^2 + 3 * (81,5^2 + 1,42^2)} = \underline{\underline{162,96 \text{ MPa}}}$$

$$< \frac{fu}{\beta_w * \gamma_{m2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 436 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} = \underline{\underline{81,5 \text{ MPa}}} < \frac{fu}{\gamma_{m2}} = \frac{490}{1,25} = \underline{\underline{392 \text{ MPa}}}$$

**VYHOVUJE**

Pásnice:

$$\sigma_{M,f} = \frac{M_{Ed}}{W_{y,f,w}} = \frac{190,21 \cdot 10^6}{1,472 \cdot 10^6} = 129,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kol.} = \tau_{kol.} = \frac{\sigma_{M,w}}{\sqrt{2}} = \frac{129,2}{\sqrt{2}} = 91,37 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \tau_{\perp}^2} = \sqrt{91,37^2 + 3 * 91,37^2} = \underline{\underline{182,7 \text{ MPa}}}$$

$$< \frac{fu}{\beta_w * \gamma_{m2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 436 \text{ MPa}$$

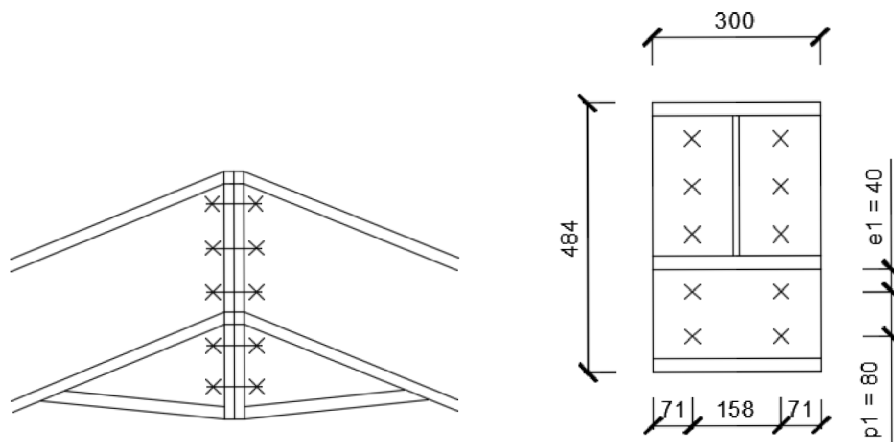
**VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} = \underline{\underline{91,37 \text{ MPa}}} < \frac{fu}{\gamma_{m2}} = \frac{490}{1,25} = \underline{\underline{392 \text{ MPa}}}$$

**VYHOVUJE**

### 9.3 Vrchol rámu

Schéma



Obr. 37 - Schéma šroubového spoje s úpalkem - pohled a řez

Vnitřní síly

KZ 6:  $M_{y,Ed,max} = 227,11 \text{ kNm}$   
 $V_{z,Ed} = 5,80 \text{ kN}$   
 $N_{Ed} = +44,11 \text{ kN}$

> Šroubový spoj

Návrh:

šrouby M30 (10.9)  $f_{yb} = 900 \text{ MPa}$   
 $f_{ub} = 1\,000 \text{ MPa}$

10 šroubů

spoj kategorie A

$d = 30 \text{ mm}$

$d_o = 33 \text{ mm}$

$A = 707 \text{ mm}^2$

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

rozteče šroubů:  $e_1 = 40 \text{ mm} = e_{1,\min} = 1,2d_o = 1,2 * 33 = 40 \text{ mm}$   
 $p_1 = 86 \text{ mm} > p_{1,\min} = 2,2d_o = 2,2 * 33 = 73 \text{ mm}$   
 $e_2 = 71,5 \text{ mm} > e_{2,\min} = 1,2d_o = 1,2 * 33 = 40 \text{ mm}$

Posouzení spoje v KZ 44:

$$F_{1,M,Ed} = M * \frac{r_{max}}{\sum ri^2}$$

$$r_1 = 79 \text{ mm}$$

$$r_2 = 117 \text{ mm}$$

$$r_3 = 131 \text{ mm}$$

$$r_4 = 189 \text{ mm}$$

$$r_5 = 200 \text{ mm}$$

$$F_{1,M,Ed} = 227,11 * \frac{0,2}{2 * 0,079^2 + 2 * 0,131^2 + 2 * 0,189^2 + 2 * 0,117^2 + 2 * 0,2^2} = 201,3 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = N_{Ed} = 44,11 \text{ kN}$$

únosnost třecího spoje

$$k_s = 1,0$$

$$n = 1$$

$$\mu = 0,5$$

$$F_{p,Cd} = 0,7 * f_{ub} * A = 0,7 * 1000 * 707 = 494,9 \text{ kN}$$

$$\gamma_{Ms,ult} = 1,3$$

$$F_{s,Rd,ult} = \frac{k_s * n * \mu * (F_{p,Cd} - 0,8 * F_{t,Ed})}{\gamma_{Ms,ult}} = \frac{1,0 * 1 * 0,5 * (494,9 - 0,8 * 44,11)}{1,3} = 208,92 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = F_{1,M,Ed} + V_{Ed} = 201,3 + 5,80 = \underline{\underline{207,1 \text{ kN} < F_{s,Rd,ult}}}$$

**VYHOVUJE**

> Svary příložek

$$t = 20 \text{ mm}$$

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

Průřezové charakteristiky svarového obrazce:

$$I_{y,w} = 2 * (1/12) * 5 * 242^3 + 4 * ((1/12) * 4 * 34^3 + 5 * 34 * 138^2) + 2 * ((1/12) * 300 * 5^3 + 5 * 300 * 152^2) + 4 * ((1/12) * 143 * 5^3 + 143 * 5 * 123,5^2) = \underline{137,8 * 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$W_{y,f,w} = \frac{I_{y,w}}{z} = \frac{137,8 * 10^6}{152,5} = \underline{0,903 * 10^6 \text{ mm}^3}$$

$$W_{y,w,w} = \frac{I_{y,w}}{z} = \frac{137,8 * 10^6}{123,5} = \underline{1,116 * 10^6 \text{ mm}^3}$$

$$A_{w,w} = 4 * 5 * 242 = \underline{4 840 \text{ mm}^2}$$

Stojina:

$$\tau_{rovn.} = \frac{V_{Ed}}{A_{w,w}} = \frac{5800}{4840} = 1,20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{M,w} = \frac{M_{Ed}}{W_{y,w,w}} = \frac{227,11 * 10^6}{1,116 * 10^6} = 203,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kol.} = \tau_{kol.} = \frac{\sigma_{M,w}}{\sqrt{2}} = \frac{203,5}{\sqrt{2}} = 143,9 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{143,9^2 + 3 * (143,9^2 + 1,20^2)} = \underline{287,8 \text{ MPa}}$$

$$< \frac{fu}{\beta_w * \gamma_{m2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 436 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = \underline{143,9 \text{ MPa}} < \frac{fu}{\gamma_{m2}} = \frac{490}{1,25} = \underline{392 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Pásnice:

$$\sigma_{M,f} = \frac{M_{Ed}}{W_{y,f,w}} = \frac{227,11 * 10^6}{0,903 * 10^6} = 251,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kol.} = \tau_{kol.} = \frac{\sigma_{M,w}}{\sqrt{2}} = \frac{251,4}{\sqrt{2}} = 177,8 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \tau_{\perp}^2} = \sqrt{177,8^2 + 3 * 177,8^2} = \underline{355,5 \text{ MPa}}$$

$$< \frac{fu}{\beta_w * \gamma_{m2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 436 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = \underline{177,8 \text{ MPa}} < \frac{fu}{\gamma_{m2}} = \frac{490}{1,25} = \underline{392 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 9.4 Kotvení

(kloubové patky)

### *Kotvení stojek rámu*

Vnitřní síly:

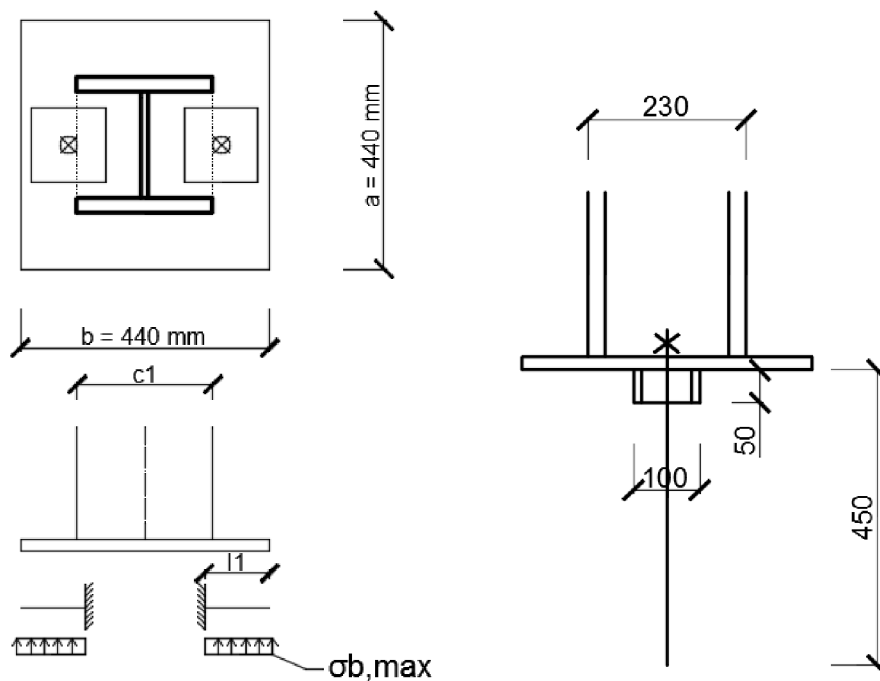
KZ 42:	$N_{Ed} = +20,79 \text{ kN}$	$V_{Ed} = 18,0 \text{ kN}$
KZ 49:	$N_{Ed} = -97,50 \text{ kN}$	$V_{Ed} = 80,93 \text{ kN}$
KZ 50:	$N_{Ed} = -107,11 \text{ kN}$	$V_{Ed} = 51,27 \text{ kN}$

Profil sloupu: HEA 240

Třída betonu: C 20/25

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1,5 = 13,3 \text{ MPa}$$



Obr. 38 - Schéma kotvení

> Návrh patního plechu:

$$e = 100 \text{ mm}$$

$$a = h_{\text{HEA}} + 2 * e = 230 + 2 * 100 = 430 \text{ mm} \cong 440 \text{ mm}$$

$$b = b_{\text{HEA}} + 2 * e = 240 + 2 * 100 = 440 \text{ mm}$$

$$c_1 = b_{\text{HEA}} = 240 \text{ mm}$$

$$l_1 = e + 0,15 * c_1 = 100 + 0,15 * 240 = 136 \text{ mm}$$

$$\sigma_{b,\max} = \frac{Ned}{a * l_1} = \frac{107110}{440 * 136} = \mathbf{1,79 \text{ MPa} < f_{cd} = 13,3 \text{ MPa}}$$

$$d_{p,\min} = e * \sqrt{\frac{3 * \gamma_{mo} * \sigma_{b,\max}}{f_y}} = 100 * \sqrt{\frac{3 * 1,0 * 1,79}{355}} = 12,3 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{t_p = 15 \text{ mm}}}$$

> Návrh a posouzení šroubů:

Navrženy kotevní šrouby HAS-E M16x125/348 5.8

$$dl. \text{ kotvy} = 500 \text{ mm}$$

$$A_s = 201 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 500 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_o = 18 \text{ mm}$$

$$h_{\text{kotvení,min}} = 450 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,2$$

$$N_c^+ = \frac{(\% \text{ utažení}) * A_s * f_y}{\gamma_{mo}} = \frac{0,7 * 201 * 400}{1,0} = 56,28 \text{ kN}$$

pro KZ 50:

$$N_c = 107,11 \text{ kN}$$

$$\mu * (N_c^+ + N_c) = 0,2 * (56,28 + 107,11) = \mathbf{32,67 \text{ kN} < V_{Ed} = 51,27 \text{ kN}}$$



pro KZ 49:

$$N_c = 97,50 \text{ kN}$$

$$\mu * (N_c^+ + N_c) = 0,2 * (56,28 + 97,50) = \mathbf{30,76 \text{ kN}} < V_{Ed} = \mathbf{80,93 \text{ kN}}$$

→ návrh patní zarážky (kotvy nepřenesou celou smykovou sílu)

→ IPN 100

$$V_{Ed} = V_{max} - \mu * (N_c^+ + N_c) = 80,93 - 30,76 = 50,17 \text{ kN}$$

$$h_{min} = \frac{V_{ed}}{l * f_{cd}} = \frac{50170}{100 * 13,3} = 37,7 \text{ mm} \rightarrow \underline{50 \text{ mm}}$$

> Posouzení svaru zarážky:

(stojina přenesou celou smykovou sílu)

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$A_{w,w} = 2 * 3 * 80,4 = 482,4 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{rovn.} = \frac{V_{ed}}{A_{w,w}} = \frac{809300}{482,4} = \mathbf{167,8 \text{ MPa}}$$

$$\sqrt{3 * \tau_{rovn.}^2} = \sqrt{3 * 167,8^2} = \mathbf{290,0 \text{ MPa}} < \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = \mathbf{436 \text{ MPa}}$$

**VYHOVUJE**

> Posouzení šroubů na přetržení:

$$F_{t,Ed} = N_{t,Ed} / 2 = 20,79 / 2 = \mathbf{10,4 \text{ kN}}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,8 * f_y * A_s}{\gamma_{mo}} = \frac{0,8 * 400 * 201}{1,0} = \mathbf{64,32 \text{ kN}} > F_{t,Ed}$$

**VYHOVUJE**

> Posouzení šroubů na vytržení z malty:

Navržena vysokopevnostní malta GROUTEX 603

pevnost v tlaku 90 ~ 105 MPa

soudržnost oceli a malty 2 ~ 2,5 MPa (=R<sub>bz</sub>)

$$F_{s,Ed} = F_{t,Ed} = 10,4 \text{ kN}$$

$$F_{s,Rd} = \pi * d * h * R_{bz} = \pi * 16 * 450 * 2 = \underline{45,2 \text{ kN}} > F_{s,Ed}$$

**VYHOVUJE**

***Kotvení sloupů pod příčlemi***

Vnitřní síly

KZ 44:  $N_{Ed} = +77,01 \text{ kN}$

KZ 50:  $N_{Ed} = -303,53 \text{ kN}$

(smykové síly zanedbatelně malé – bez smykové zarážky)

Profil sloupu: RO 168x20

Třída betonu: C 20/25

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1,5 = 13,3 \text{ MPa}$$

šrouby HAS-E M16x125/348 5.8

rozměry patního plechu: 440 x 440 mm

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{N_{ed}}{a*b} = \frac{303530}{440*440} = \mathbf{1,57 \text{ MPa}} < f_{cd} = \mathbf{13,3 \text{ MPa}}$$

> Posouzení šroubů na přetržení:

$$F_{t,Ed} = N_{t,Ed} / 2 = 77,01 / 2 = \underline{38,5 \text{ kN}}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,8*f_y*As}{\gamma_{mo}} = \frac{0,8*400*201}{1,0} = \underline{64,32 \text{ kN}} > F_{t,Ed}$$

**VYHOVUJE**

> Posouzení šroubů na vytržení z malty:

vysokopevnostní malta GROUTEX 603

$$F_{s,Ed} = F_{t,Ed} = 38,5 \text{ kN}$$

$$F_{s,Rd} = \pi * d * h * R_{bz} = \pi * 16 * 450 * 2 = \underline{45,2 \text{ kN}} > F_{s,Ed}$$

**VYHOVUJE**

### *Kotvení sloupků štítové stěny*

Vnitřní síly:

KZ 7:  $N_{Ed} = -89,89 \text{ kN}$   $V_{Ed}$  zanedbatelné

KZ 46:  $N_{Ed} = +40,19 \text{ kN}$   $V_{Ed} = 27,64 \text{ kN}$

Profil sloupu: RO 219x20

Třída betonu: C 20/25

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1,5 = 13,3 \text{ MPa}$$

šrouby HAS-E M16x125/348 5.8

rozměry patního plechu: 440 x 440 mm

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{N_{ed}}{a*b} = \frac{89890}{440*440} = \mathbf{0,5 \text{ MPa}} < f_{cd} = \mathbf{13,3 \text{ MPa}}$$

$$N_c = 89,89 \text{ kN}$$

$$\mu * (N_c^+ + N_c) = 0,2 * (56,28 + 89,89) = \mathbf{29,23 \text{ kN}} > V_{Ed} = \mathbf{27,64 \text{ kN}}$$

→ není třeba navrhovat smykové zarážky, smyková síla přenesena třením

> Posouzení šroubů na přetržení:

$$F_{t,Ed} = N_{t,Ed} / 2 = 40,19 / 2 = \underline{20,10 \text{ kN}}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,8*f_y*As}{\gamma_{mo}} = \frac{0,8*400*201}{1,0} = \underline{64,32 \text{ kN}} > F_{t,Ed}$$

**VYHOVUJE**

> Posouzení šroubů na vytržení z malty:

vysokopevnostní malta GROUTEX 603

$$F_{s,Ed} = F_{t,Ed} = 20,10 \text{ kN}$$

$$F_{s,Rd} = \pi * d * h * R_{bz} = \pi * 16 * 450 * 2 = \underline{45,2 \text{ kN} > F_{s,Ed}}$$

**VYHOVUJE**

### 9.5 Napojení střešního ztužidla na příčel

Max. tahová síla:  $N_{t,Ed,max} = 53,19 \text{ kN}$

Průřez ztužidla: RO 70x10

Kvalita oceli: S235

navrženy šrouby M16 (5.6)

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_o = 18 \text{ mm}$$

$$f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

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

$$A = 201 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

rozteče:  $e_1 = 40 \text{ mm} > e_{1,min} = 1,2d_o = 22 \text{ mm}$

$$p_1 = 55 \text{ mm} > p_{1,min} = 2,2d_o = 40 \text{ mm}$$

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

> Únosnost ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ub} * A}{\gamma_{m2}} = \frac{0,6 * 500 * 157}{1,25} = \underline{37,68 \text{ kN}}$$

> Únosnost v otláčení:

$$\alpha_t = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0} ; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1,0 \right\} = \min \{0,741 ; 0,769 ; 1,02 ; 1,0\} = 0,741$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_t \cdot f_u \cdot d \cdot t_{min}}{\gamma_{m2}} = \frac{2,5 \cdot 0,741 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 10}{1,25} = \underline{85,36 \text{ kN}}$$

Požadovaný počet šroubů:

$$n = \frac{N_{Ed}}{F_{Rd,min}} = \frac{53,19}{37,68} = 1,4 \quad \Rightarrow \text{navrženy 2 šrouby M16 (5.6)}$$

## 9.6 Připojení sloupu k rámu

Max. tahová síla:  $N_{Ed,max} = 84,40 \text{ kN}$

Průřez sloupu: RO 168x20

Návrh čepového spoje:

$$t = 30 \text{ mm}$$

$$d = 45 \text{ mm}$$

$$d_o = 48 \text{ mm}$$

$$A = 1590 \text{ mm}^2$$

materiál: S355

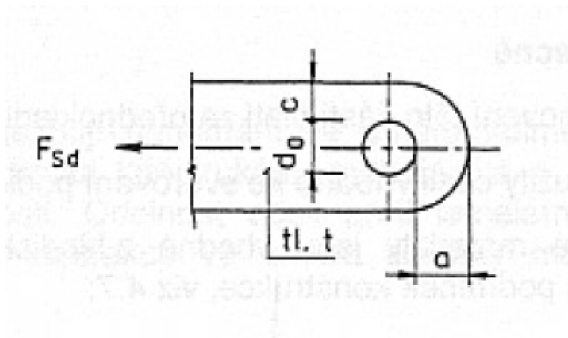
$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

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

$$\gamma_{mp} = 1,45$$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{mp}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_o}{3} = \frac{84400 \cdot 1,45}{2 \cdot 30 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 48}{3} = 37,7 \text{ mm} \rightarrow \underline{a = 40 \text{ mm}}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{mp}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_o}{3} = \frac{84400 \cdot 1,45}{2 \cdot 30 \cdot 355} + \frac{48}{3} = 21,7 \text{ mm} \rightarrow \underline{c = 25 \text{ mm}}$$



Obr. 39 - Navržené rozměry čepového spoje

Přípojové plechy

$$t_1 = 15 \text{ mm}$$

$$t = 30 \text{ mm} \geq 2 * t_1 = 30 \text{ mm}$$

> Únosnost ve smyku:

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{0,6 * f_{ub} * A}{\gamma_{m2}} = \frac{0,6 * 390 * 1590}{1,25} = \underline{256,6 \text{ kN}} > N_{Ed} = 84,4 \text{ kN}$$

**VYHOVUJE**

> Únosnost v ohybu:

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} * (t + 4 * c + 2 * t_1) = \frac{84400}{8} * (30 + 4 * 25 + 2 * 15) = 1,69 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \frac{\pi * d^3}{32} = \frac{\pi * 45^3}{32} = 8946,2 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{0,8 * f_{yp} * W_{el}}{\gamma_{mp}} = \frac{0,8 * 355 * 8946,2}{1,45} = \underline{1,75 \text{ kNm}} > M_{Ed}$$

**VYHOVUJE**

> Kombinace smyku a ohybu:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{N_{Ed} * 0,5}{F_{v,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{1,69}{1,75}\right)^2 + \left(\frac{42,2}{256,6}\right)^2 = \underline{0,96} < 1$$

**VYHOVUJE**

> Únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 * f_y * d * t}{\gamma_{mp}} = \frac{1,5 * 355 * 45 * 30}{1,0} = \underline{495,8 \text{ kN}} > N_{Ed} = 84,4 \text{ kN}$$

**VYHOVUJE**

## **Závěr**

Prvky nosné ocelové konstrukce a vybrané detaily byly navrženy a posouzeny dle norem:

- ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí,
- ČSN EN 1993 – Navrhování ocelových konstrukcí,
- ČSN 73 1401 – Navrhování ocelových konstrukcí.

Všechny části vyhověly na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

## Použité zdroje

Česká republika. Vyhláška č. 208/2004 o minimálních standardech pro ochranu hospodářských zvířat. In: *Sbírka zákonů*. 14. 4. 2004. Dostupná také z: [http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe\\_uplna-zneni\\_Vyhlaska-2004-208-ochranazvirat.html](http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_Vyhlaska-2004-208-ochranazvirat.html)

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí; účinnost od 04/2004

ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha, užitná zatížení pozemních staveb; účinnost od 04/2004

ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem; účinnost od 07/2005

ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem; účinnost od 07/2005

ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby; účinnost od 01/2007

ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků; účinnost od 01/2007

ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí

ČSN 01 3483 Výkresy stavebních konstrukcí – Výkresy kovových konstrukcí

DOLEŽAL, Oldřich a kol. *Zásady welfare a nové standardy EU v chovu skotu*. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby, 2004, 71 s.

DOLEŽAL, Oldřich a kol. *Zemědělský poradce ve stáji – I. Dojnice*. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby, 2007, 63 s.



FERJENČÍK, Pavel et al. *Navrhovanie ocelových konštrukcií – 1. časť*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1986, 603 s.

FERJENČÍK, Pavel et al. *Navrhovanie ocelových konštrukcií – 2. časť*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1986, 465 s.

[http://www.aacolor.cz/soubory/TL\\_PROTHERM\\_STEEL\\_CZ\\_04\\_2013.pdf](http://www.aacolor.cz/soubory/TL_PROTHERM_STEEL_CZ_04_2013.pdf)

[http://www.haze.cz/download/1/haze\\_katalog\\_2013.pdf](http://www.haze.cz/download/1/haze_katalog_2013.pdf)

<http://www.pamaas.cz/upload/120/6/pama-zastreseni-staji.pdf>

<http://homel.vsb.cz/~ros11/Kovove%20a%20drevene%20kce/07%20Sloupy%20a%20pridle.pdf>

<http://www.proformat.cz/nase-sluzby/95/29/22/groutex-603>

<http://www.sika-shop.cz/files/cz-con-bro-ochrana-oceli7.pdf>

LEDERER, Ferdinand. *Ocelové konstrukce pozemních staveb*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971, 462 s.

SÝKORA, Jaroslav. *Zemědělské stavby – základy navrhování*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2014.

## **Seznam příloh**

Technická zpráva

Výkresová dokumentace:

- A. Dispozice stáje a pohledy
- B. Dispozice nosné konstrukce
- C. Výrobní výkres
- D. Kotevní výkres