

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**

## **Hala s mostovým jeřábem**

### **Single-story building with an overhead crane**

Diplomová práce

**A. Hlavní část – statický výpočet**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

Vypracovala: Bc. Andrea Padyšáková

---

**Praha 2019**



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Padyšáková Jméno: Andrea Osobní číslo: 423765  
Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, K134  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Hala s mostovým jeřábem

Název diplomové práce anglicky: Single-story building with an overhead crane

Pokyny pro vypracování:

Návrh ocelové konstrukce haly včetně nosníku JD, vybraných detailů. Výkresová dokumentace (dizpoziční výkresy, detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Návrh konstrukce bude proveden podle platných evropských norem, zejména EN 1991, EN 1993.

Jméno vedoucího diplomové práce: Michal Jandera

Datum zadání diplomové práce: 21.2.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 19.5.2019

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

21.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám námitek proti použití této diplomové práce ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 19. 5. 2019

Andrea Padyšáková

### **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za trpělivost, osobní rady a zkušenosti, výuku v předmětech povinně volitelných, odborné konzultace a vedení této diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat rodině, přátelům a příteli za podporu během celé doby studia.

## **Anotace**

Tématem této diplomové práce je návrh a posouzení ocelové konstrukce jednodílné skladištní haly s nosníkem jeřábové dráhy. V hale je mostový jeřáb o nosnosti 8 tun. Součástí budovy je také administrativní část, kde se nachází kancelářské prostory. Půdorysné rozměry haly jsou 29,44 m x 66 m, výška konstrukce je 12,81 m. Hlavním konstrukčním materiálem je ocel S355. Ve statickém výpočtu je proveden návrh a posouzení nosníku jeřábové dráhy a také návrh a posouzení nosných prvků, ztužidel a daných detailů. Vypracována je technická zpráva a výkresová dokumentace. Výkresová dokumentace obsahuje půdorys, pohledy a řezy objektem a detaily přípojů.

## **Klíčová slova**

Ocelová konstrukce, jednodílná hala, nosník jeřábové dráhy, rámový roh, přípoj

## **Annotation**

The diploma project contains the design of supporting construction of single-nave hall with crane runway beam. There is one overhead crane with load capacity of 8 tons. Building is 29,44 m wide, 66 m long and its height is 12,81 m. Main structural material is steel S355. Structural design contains design of crane runway beam, main load-bearing beams and columns, bracing and steel connections. A technical report and drawing documentation is also created. The drawing documentation contains roof plan, elevations and sections of hall detailing.

## **Keywords**

Steel structure, single-nave hall, crane runway beam, moment-resisting joint, connection

## Obsah

1	Úvod .....	9
2	Vodorovné zatížení .....	9
2.1	Zatížení větrem .....	9
2.1.1	Rychlost větru a dynamický tlak .....	9
2.1.2	Tlak větru na vnější povrchy .....	10
2.1.3	Tlak větru na vnitřní povrchy.....	12
2.1.4	Tření větru .....	12
3	Svislé zatížení.....	13
3.1	Zatížení sněhem.....	13
3.2	Střešní plášť .....	14
3.3	Obvodový plášť .....	15
4	Nosník jeřábové dráhy .....	18
4.1	Zatížení jeřábové dráhy.....	19
4.1.1	Stálé zatížení .....	19
4.1.2	Proměnná zatížení .....	19
4.1.3	Únavové zatížení.....	23
4.2	Výpočet vnitřních sil.....	24
4.2.1	Vnitřní síly od svislého zatížení .....	24
4.2.2	Vnitřní síly od vodorovného zatížení.....	26
4.2.3	Přehled vypočtených návrhových hodnot zatížení .....	29
4.3	Návrh hlavního nosníku jeřábové dráhy.....	30
4.4	Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy .....	31
4.4.1	Mezní stav použitelnosti MSP .....	31
4.4.2	Mezní stav únosnosti MSÚ .....	33
4.4.3	Mezní stav únosnosti FAT (Únava).....	40
5	Konstrukční systém.....	43
6	Zatěžovací stavy a kombinace .....	46
7	Příčná vazba.....	47
7.1	Rám hlavní části haly .....	47
7.1.1	Model konstrukce .....	47
7.1.2	Ocelové táhlo .....	47
7.1.3	Sloup.....	49
7.1.4	Příčel.....	55
7.2	Rám s administrativní částí haly .....	61
7.2.1	Model konstrukce .....	61

7.2.2	Ocelové táhlo .....	61
7.2.3	Stropní konstrukce administrativní části.....	63
7.2.4	Běžný sloup vazby – vnější .....	73
7.2.5	Běžný sloup vazby – vnitřní .....	79
7.2.6	Sloup administrativní části – vnější.....	85
7.2.7	Příčel hlavní části rámu .....	90
7.2.8	Příčel administrativní části .....	94
7.3	Sloupek štítové stěny .....	99
7.3.1	Sloupek štítové stěny hlavní části haly .....	99
8	Ztužidla .....	113
8.1	Příčné střešní ztužidlo .....	113
8.1.1	Zatížení .....	113
8.1.2	System ztužidel .....	114
8.2	Stěnové ztužidlo .....	120
8.2.1	Zatížení .....	120
8.2.2	System ztužidel .....	121
9	Detaily.....	128
9.1	Rámový roh hlavní části haly.....	128
9.1.1	Návrh a posouzení koutových svarů.....	128
9.1.2	Dílčí komponenty.....	128
9.1.3	Únosnost řad šroubů .....	128
9.1.4	Únosnost pásnice příčle v tlaku .....	132
9.1.5	Únosnost stěny sloupu ve smyku .....	132
9.1.6	Přípoj krajní svislice na sloup .....	133
9.1.7	Přípoj krátké trubky a svislice .....	134
9.1.8	Přípoj diagonály ke krajní svislici .....	135
9.1.9	Přípoj táhla k příčli.....	136
9.2	Momentový přípoj příčle .....	137
9.2.1	Návrh a posouzení koutových svarů.....	137
9.2.2	Dílčí komponenty.....	138
9.2.3	Únosnost řad šroubů .....	138
9.2.4	Přípoj diagonály a mezilehlé svislice střešního ztužidla k příčli.....	141
9.2.5	Přípoj diagonály ke svislici.....	142
9.3	Uložení jeřábové dráhy na sloup .....	144
9.3.1	Konzola .....	144
9.3.2	Přípoj konzoly jeřábové dráhy na sloup .....	145
9.3.3	Přenos vodorovné reakce.....	146

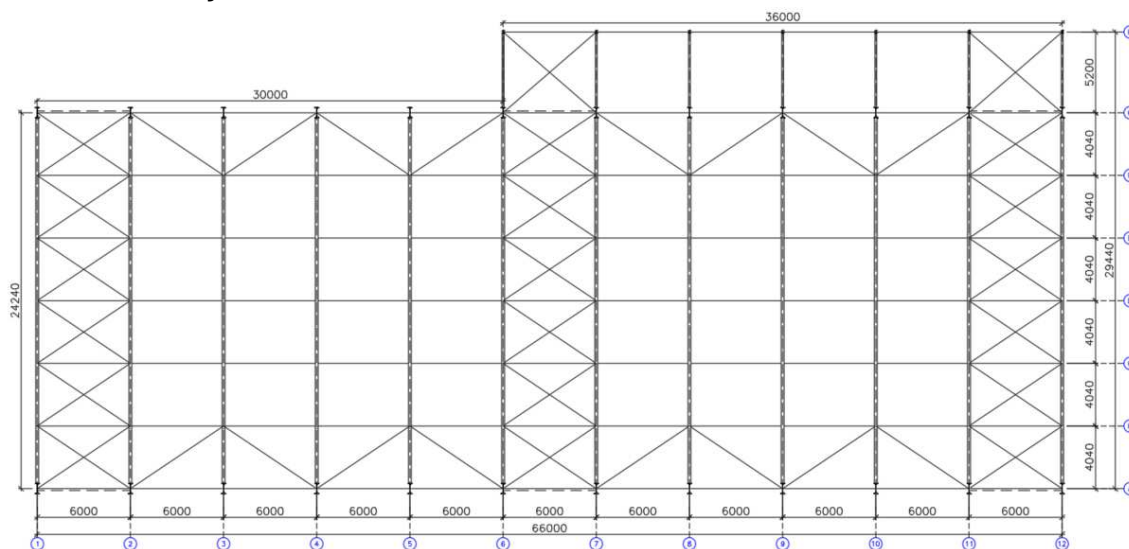
9.4	Patka sloupu .....	149
9.4.1	Patka běžného sloupu .....	149
9.4.2	Patka sloupu ztužidla.....	157
9.5	Patka administrativní části.....	159
9.5.1	Únosnost v tlaku.....	159
9.5.2	Přípoj sloupu k patnímu plechu .....	160
9.5.3	Únosnost ve smyku .....	161
9.6	Kluzné uložení sloupu štítové stěny.....	161
9.7	Patka štítového sloupu .....	163
9.8	Kloubový přípoj příčle adm. části na běžný sloup .....	165



# 1 Úvod

Tématem této diplomové práce je návrh a posouzení haly s mostovým jeřábem. Jedná se zde o jeřáb s nosností 8 tun. V budově se nachází také administrační část s kanceláři. V první části práce je stanoveno zatížení, v následující části jsou navrženy a posouzeny prvky samotné konstrukce haly a třetí část diplomové práce se zabývá posouzením daných detailů. Součástí práce jsou přílohy, kde jsou mimo jiné uvedeny kombinace a zatěžovací stavy z programu Scia Engineer, kritické momenty stanovené v programu LTBeam a posudky kotev provedené v softwaru Hilti PROFIS Anchor.

## Schéma budovy



## 2 Vodorovné zatížení

### 2.1 Zatížení větrem

Předpokládaná lokalita objektu je Praha. Pro výpočet zatížení větrem je uvažována větrná oblast II., pro výpočet zatížení sněhem se v tomto případě jedná o sněhovou oblast I. Výška objektu je 12,81 m. Budova se nachází na předměstí, v okolí se vyskytují nižší stavby, případně vegetace (tj. kategorie terénu III).

#### 2.1.1 Rychlost větru a dynamický tlak

##### Základní rychlost větru

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

Výchozí základní rychlost větru - Větrná oblast II.

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel směru větru pro ČR

$$C_{dir} = 1,0$$

Součinitel ročního období pro ČR

$$C_{season} = 1,0$$

Parametr drsnosti terénu – Kategorie terénu III

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

Minimální výška dle kategorie terénu – Kategorie terénu III

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

## **Střední rychlost větru**

Změna závislosti na výšce

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,774 \cdot 1,0 \cdot 25 = \mathbf{19,4 \text{ m/s}}$$

Součinitel orografie – Plochý terén

$$c_0 = 1,0$$

Součinitel drsnosti terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{12,81}{0,3}\right) = 0,807 \quad \text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Součinitel terénu

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

$$z_{0,II} = 0,05$$

## **Maximální dynamický tlak**

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 1,87 \cdot 0,391 = \mathbf{0,731 \text{ kN/m}^2}$$

Součinitel expozice

$$c_e(z) = 1,87$$

$z = 12,81 \text{ m}$ , kategorie terénu III

## **Základní dynamický tlak větru**

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = \mathbf{0,391 \text{ N/m}^2}$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{doporučená hodnota}$$

### **2.1.2 Tlak větru na vnější povrchy**

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = \mathbf{0,731} \cdot c_{pe}$$

Protože jsou v tomto případě plochy haly větší než  $10 \text{ m}^2$ , budou uvažovány hodnoty součinitele  $c_{pe,10}$ . Dále  $h \leq b$  závislost dynamického tlaku na výšce je konstantní.

### **Výpočet působení větru na svislé stěny**

Příčný vítr

$$h = 12,81 \text{ m}$$

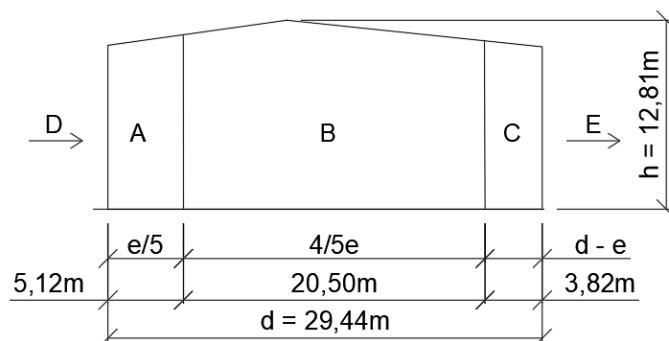
$$b = 66,0 \text{ m}$$

$$d = 29,44 \text{ m}$$

$$e = \min(b, 2h) = \min(66, 2 \cdot 12,81) = \min(66 \text{ m}, 25,62 \text{ m}) = 25,62 \text{ m}$$

$$h/d = 12,81/29,44 = 0,44$$

Pohled pro  $e < d$



Podélný vítr

$$h = 12,81 \text{ m}$$

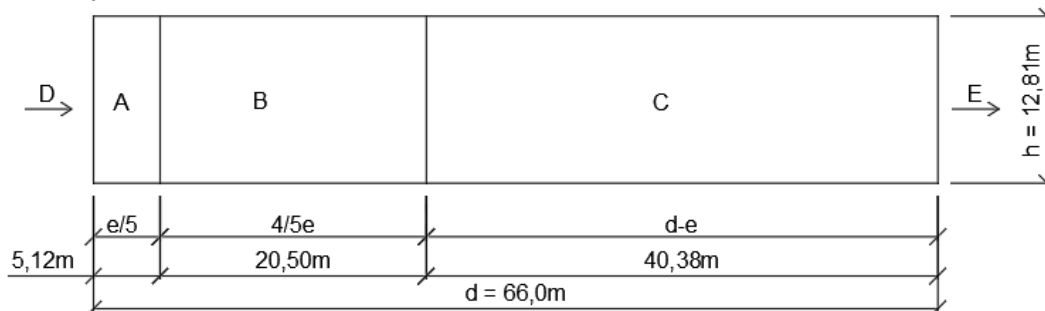
$$b = 29,44 \text{ m}$$

$$d = 66,0 \text{ m}$$

$$e = \min(b, 2h) = \min(29,44, 2 \cdot 12,81) = \min(29,44 \text{ m}, 25,62 \text{ m}) = 25,62 \text{ m}$$

$$h/d = 12,81/66,0 = 0,194$$

Pohled pro  $e < d$



### Výsledný tlak větru na svislé stěny

Oblast	Větr příčný		Větr podélný	
	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
A	-1,20	-0,877	-1,20	-0,877
B	-1,25	-0,912	-1,44	-1,054
C	-0,50	-0,366	-0,50	-0,366
D	0,73	0,530	0,69	0,507
E	-0,35	-0,256	-0,29	-0,209

### Výpočet působení větru na střechu

Střecha je šikmá se sklonem  $\alpha = 8^\circ$ .

Příčný vítr

$$h = 12,81 \text{ m},$$

$$b = 66,0 \text{ m},$$

$$d = 29,44 \text{ m}$$

$$e = \min(b, 2h) = \min(66, 2 \cdot 12,81) = \min(66 \text{ m}, 25,62 \text{ m}) = 25,62 \text{ m}$$

Podélný vítr

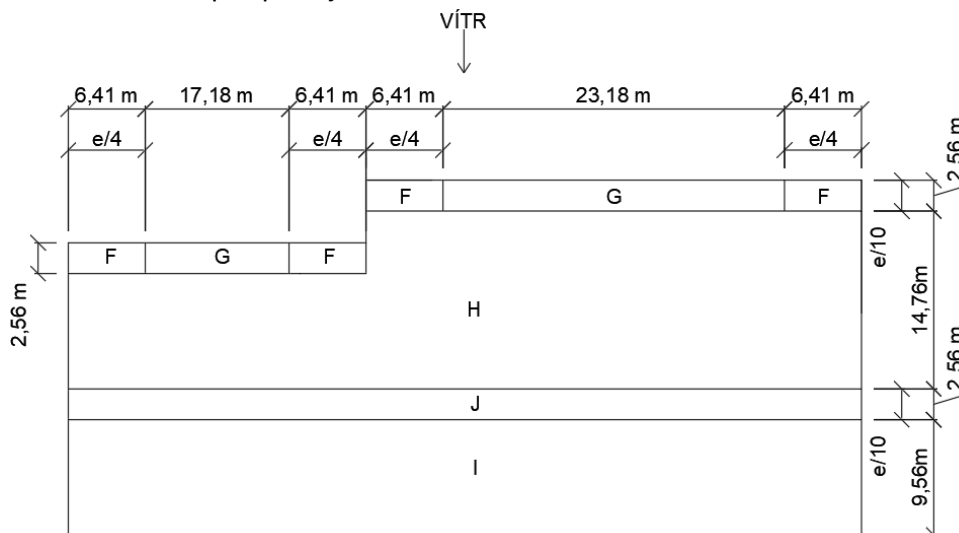
$$h = 12,81 \text{ m},$$

$$b = 29,44 \text{ m},$$

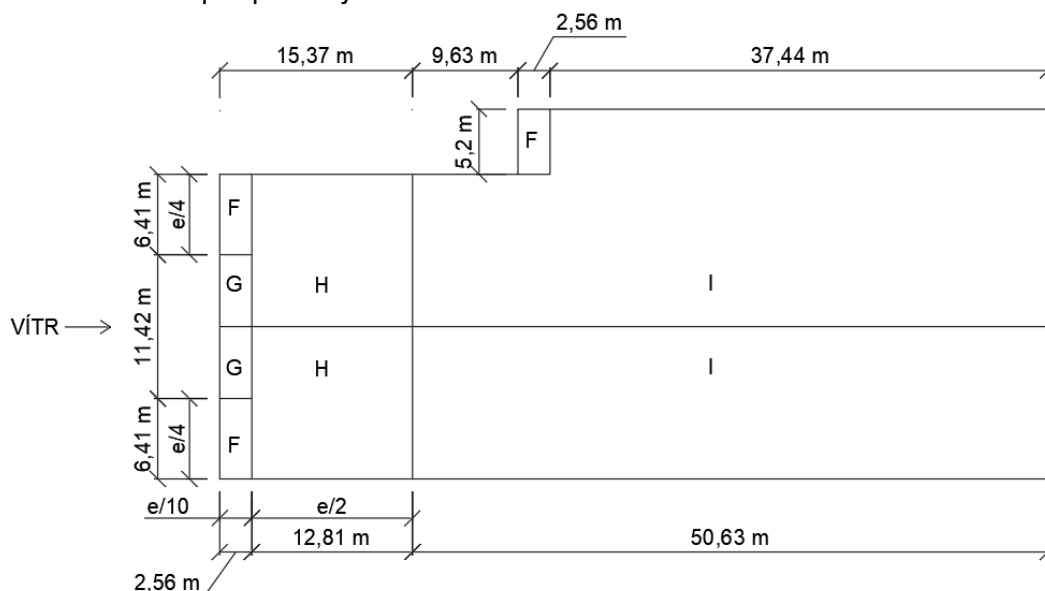
$$d = 66,0 \text{ m}$$

$$e = \min(b, 2h) = \min(29,44, 2 \cdot 12,81) = \min(29,44 \text{ m}, 25,62 \text{ m}) = 25,62 \text{ m}$$

Schéma oblastí pro příčný vítr na střechu



## Schéma oblastí pro podélný vítr na střechu



## Výsledný tlak větru na střechu

Oblast	Vítr příčný		Vítr podélný	
	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	-1,46	-1,067	-1,51	-1,104
	0,14	0,102		
G	-1,08	-0,789	-1,30	-0,950
	0,14	0,102		
H	-0,51	-0,373	-0,67	-0,490
	0,14	0,102		
I	-0,42	-0,307	-0,42	-0,307
	-0,54	-0,395		
J	-0,88	-0,643	-	-
	0,14	0,102		

### 2.1.3 Tlak větru na vnitřní povrchy

V souladu s ČSN EN 1991-1-4, kde součinitel  $\mu$  pro konkrétní případ není možný nebo není považován za zdůvodněný, se má brát součinitel  $c_{pi}$  následovně

$$c_{pi} = -0,3 \quad \text{pro záporný vnitřní tlak}$$

$$c_{pi} = +0,2 \quad \text{pro kladný vnitřní tlak}$$

$$w_{i,ek} = 0,731 \cdot c_{pi}$$

Záporný vnitřní tlak větru

$$w_{i,ek}^- = 0,731 \cdot (-0,3) = -0,219 \text{ kN/m}^2$$

Kladný vnitřní tlak větru

$$w_{i,ek}^+ = 0,731 \cdot 0,2 = 0,146 \text{ kN/m}^2$$

### 2.1.4 Tření větru

Třecí síla

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = 0,04 \cdot 0,731 \cdot 756 = 22,11 \text{ kN}$$

$$q_{fr} = \frac{20,11}{2 \cdot 307,32} = 0,033 \text{ kN/m}^2$$

Plošné zatížení – síla rozložena na tři příčné vazby (v rámci  $A_{ref}$ ).

Součinitel tření

$$c_{fr} = 0,04$$

**Tabulka 7.10 – Součinitel tření  $c_{fr}$  pro stěny, zábradlí a povrchy střech**

Povrch	Součinitel tření $c_{fr}$
Hladký (tj. ocel, hladký beton)	0,01
Hrubý (tj. drsný beton, asfaltový šindel)	0,02
Velmi hrubý (tj. vlnovky, žebra, drážky)	0,04

$$A_{ref} = d_{ref} \cdot (10,38 + 11,11 + 17,49 + 12,24) = 14,76 \cdot 51,22 = 756 \text{ m}^2$$

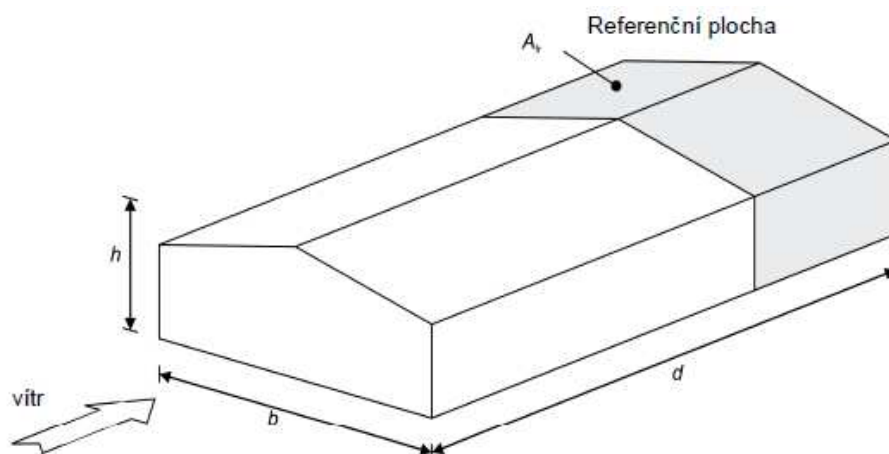
$$d = 66 \text{ m}$$

$$b = 29,44 \text{ m}$$

$$h = 12,81 \text{ m}$$

$$d_{ref} = d - d_0 = 66 - 51,24 = 14,76 \text{ m}$$

$$d_0 = \min(2 \cdot b; 4 \cdot h) = \min(2 \cdot 29,44; 4 \cdot 12,81) = \min(58,88 \text{ m}; 51,24 \text{ m}) = 51,24 \text{ m}$$



**Obrázek 7.22 – Referenční plocha pro tření**

## 3 Svislé zatížení

### 3.1 Zatížení sněhem

Hala se nachází v Praze, tj. sněhová oblast I., kde charakteristická hodnota zatížení sněhem je  $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ . Střecha má sklon  $\alpha = 8^\circ$  ( $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ ).

Pro další výpočet budou použity tvarové součinitele pro případ bez navátí sněhu  $\mu_1$ .

Součinitel expozice

$$C_e = 1,0 \text{ normální typ krajiny}$$

Tepelný součinitel

$$C_t = 1,0 \text{ pro ostatní případy}$$

Zatížení sněhem na střeše

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = \mathbf{0,56 \text{ kN/m}^2}$$

## 3.2 Střešní plášť

Navrhuji trapézový plech TR135/310/1,0 v pozitivní poloze. Statické schéma je prostý nosník o jednom poli a rozponu 6 m.

Skladba střešního pláště

Vrstva	Tloušťka	Hmotnost	Vlastní tíha
	[m]	[kg/m <sup>3</sup> ]	kN/m <sup>2</sup>
Hydroizolační fólie	0,0018	-	0,002
Tepelná izolace ISOVER S	0,060	160	0,096
Tepelná izolace ISOVER T	0,180	160	0,288
Parozábrana	0,00015	-	0,002
Trapézový plech TR135/310/1,0	-	-	0,129
	<b>celkem</b>	<b><math>q_{k,\text{střecha}}</math></b>	<b>0,517</b>

**Posouzení trapézového plechu TR135/310 tloušťky 1,0 mm**

**Parametry**

$$f_{y,k} = 320 \text{ MPa}$$

$$\text{Hmotnost } m = 9,43 \text{ kg/m}^2$$

$$L = 6\,000 \text{ mm}$$

**Stálé zatížení**

$$q_{k,\text{střecha}} = 0,517 \text{ kN/m}^2$$

**Klimatické zatížení**

Sníh

$$q_{k,\text{snih}} = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

Vítr – tlak větru na vnější povrchy

$$w_{ek,F} = 1,51 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{ek,J} = 0,14 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)}$$

Vítr – tlak větru na vnitřní povrchy

$$w_{i,ek}^+ = 0,146 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{i,ek}^- = 0,219 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)}$$

Kombinace MSÚ (STR/GEO)

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} = 1,35 \cdot 0,517 + 1,5 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (0,14 + 0,219) = 1,861 \text{ kN/m}^2$$

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} = 0,9 \cdot 0,517 - 1,5 \cdot (1,51 + 0,146) = -2,019 \text{ kN/m}^2$$

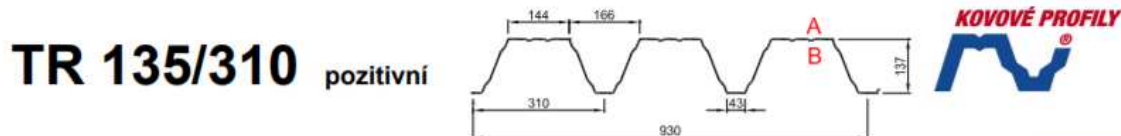
Kombinace MSP (charakteristická)

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} = 0,517 + 0,56 + 0,6 \cdot (0,14 + 0,219) = 1,292 \text{ kN/m}^2$$

Únosnost

$$q_{Rd} = 2,99 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk} = 1,40 \text{ kN/m}^2$$



dle ČSN EN 1993-1-3: 2010

$\gamma_{M0} = 1,00$

Deformace = L/200

$t_N$ [mm]	g [kg/m <sup>2</sup> ]	Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]																					
		Rozpětí [m]																					
		3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	
0,75	9,68	$q_{R1}$	8,17	6,96	6,00	5,23	4,59	4,07	3,63	3,26	2,94	2,67	2,43	2,22	2,04	1,88	1,74	1,61	1,50	1,40	1,31	1,22	1,15
		$q_{R2}$	3,72	3,43	3,19	2,97	2,79	2,62	2,48	2,35	2,23	2,12	2,03	1,94	1,86	1,78	1,72	1,61	1,50	1,40	1,31	1,22	1,15
		$q_k$	8,44	6,64	5,32	4,32	3,56	2,97	2,50	2,13	1,82	1,58	1,37	1,20	1,06	0,93	0,83	0,74	0,66	0,60	0,54	0,49	0,45
0,88	11,35	$q_{R1}$	10,25	8,73	7,53	6,56	5,76	5,11	4,55	4,09	3,69	3,35	3,05	2,79	2,56	2,36	2,18	2,02	1,88	1,75	1,64	1,54	1,44
		$q_{R2}$	5,26	4,85	4,51	4,21	3,94	3,71	3,50	3,32	3,15	3,00	2,87	2,74	2,56	2,36	2,18	2,02	1,88	1,75	1,64	1,54	1,44
		$q_k$	9,99	7,86	6,29	5,11	4,21	3,51	2,96	2,52	2,16	1,86	1,62	1,42	1,25	1,10	0,98	0,88	0,79	0,71	0,64	0,58	0,53
1,00	12,90	$q_{R1}$	11,97	10,20	8,80	7,66	6,74	5,97	5,32	4,78	4,31	3,91	3,56	3,26	2,99	2,76	2,55	2,37	2,20	2,05	1,92	1,79	1,68
		$q_{R2}$	6,89	6,36	5,91	5,52	5,17	4,87	4,60	4,35	4,14	3,91	3,56	3,26	2,99	2,76	2,55	2,37	2,20	2,05	1,92	1,79	1,68
		$q_k$	11,17	8,79	7,03	5,72	4,71	3,93	3,31	2,81	2,41	2,08	1,81	1,59	1,40	1,24	1,10	0,98	0,88	0,79	0,71	0,65	0,59
1,13	14,58	$q_{R1}$	13,87	11,82	10,19	8,88	7,80	6,91	6,16	5,53	4,99	4,53	4,13	3,78	3,47	3,20	2,95	2,74	2,55	2,37	2,22	2,08	1,95
		$q_{R2}$	8,90	8,21	7,63	7,12	6,67	6,28	5,93	5,53	4,99	4,53	4,13	3,78	3,47	3,20	2,95	2,74	2,55	2,37	2,22	2,08	1,95
		$q_k$	12,83	10,09	8,08	6,57	5,41	4,51	3,80	3,23	2,77	2,39	2,08	1,82	1,60	1,42	1,26	1,13	1,01	0,91	0,82	0,74	0,68
1,25	16,13	$q_{R1}$	15,55	13,25	11,43	9,95	8,75	7,75	6,91	6,20	5,60	5,08	4,63	4,23	3,89	3,58	3,31	3,07	2,86	2,66	2,49	2,33	2,19
		$q_{R2}$	10,96	10,12	9,40	8,77	8,22	7,74	6,91	6,20	5,60	5,08	4,63	4,23	3,89	3,58	3,31	3,07	2,86	2,66	2,49	2,33	2,19
		$q_k$	14,20	11,17	8,94	7,27	5,99	5,00	4,21	3,58	3,07	2,65	2,30	2,02	1,78	1,57	1,40	1,25	1,12	1,01	0,91	0,82	0,75
1,50	19,35	$q_{R1}$	18,68	15,92	13,73	11,96	10,51	9,31	8,30	7,45	6,73	6,10	5,56	5,09	4,67	4,30	3,98	3,69	3,43	3,20	2,99	2,80	2,63
		$q_{R2}$	11,73	10,83	10,06	9,38	8,80	8,28	7,82	7,41	6,73	6,10	5,56	5,09	4,67	4,30	3,98	3,69	3,43	3,20	2,99	2,80	2,63
		$q_k$	15,28	12,02	9,62	7,82	6,45	5,37	4,53	3,85	3,30	2,85	2,48	2,17	1,91	1,69	1,50	1,34	1,20	1,08	0,98	0,89	0,81

Posouzení

Únosnost plechu:

$$q_{Ed} = 2,019 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 2,990 \text{ kN/m}^2$$

Podmínka pro mezní průhyby:

$$\delta_2 \leq \frac{L}{200}$$

$$q_k = 1,292 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 1,400 \text{ kN/m}^2$$

Trapézový plech TR135/310 tl. 1,0 mm vyhovuje.

### 3.3 Obvodový plášť

Obvodový plášť tvoří tenkostěnné kazety LT200-600S o výšce kazety 200 mm a tloušťce plechu 0,88 mm. Statické schéma je prostý nosník. Vzdálenost mezi příčnými vazbami je 6 m.

Parametry

Hmotnost  $m = 12,84 \text{ kg/m}^2$

$L = 6\,000 \text{ mm}$

Klimatické zatížení

Vítr – tlak větru na vnější povrchy

$$w_{ek,B} = 1,054 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{ed,B} = \gamma_Q \cdot w_{ek,A} = 1,5 \cdot 1,054 = 1,581 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{ek,D} = 0,530 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)}$$

$$w_{ed,D} = \gamma_Q \cdot w_{ek,A} = 1,5 \cdot 0,530 = 0,795 \text{ kN/m}^2$$

Vítr – tlak větru na vnitřní povrchy

$$w^+_{i,ek} = 0,146 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w^+_{i,ed} = \gamma_Q \cdot w^+_{i,ek} = 1,5 \cdot 0,146 = 0,219 \text{ kN/m}^2$$

$$w^-_{i,ek} = 0,219 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)}$$

$$w^-_{i,ed} = \gamma_Q \cdot w^-_{i,ek} = 1,5 \cdot 0,219 = 0,329 \text{ kN/m}^2$$

### Únosnost při sání větru

$$q_{MSÚ} = 1,63 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{MSP} = 0,82 \text{ kN/m}^2$$

LT200-600S, prostý nosník, sání větru (široká pásnice v tlaku)

Nominální tloušťka $t_{nom}$	Mezní stav	Rozpon [m]										
		6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	10.50	11.00
0.75	MSÚ	1.79	1.52	1.32	1.15	1.00	0.89	0.80	0.72	0.65	0.59	0.53
	L/150	1.68	1.32	1.06	0.86	0.71	0.59	0.50	0.43	0.36	0.31	0.28
	L/200	1.26	1.00	0.80	0.65	0.53	0.44	0.37	0.31	0.27	0.24	0.21
0.88	MSÚ	2.33	1.98	1.71	1.49	1.31	1.16	1.04	0.93	0.84	0.76	0.69
	L/150	2.12	1.67	1.33	1.09	0.89	0.74	0.63	0.53	0.45	0.40	0.35
	L/200	1.59	1.25	1.00	0.81	0.67	0.56	0.47	0.40	0.34	0.30	0.26
1	MSÚ	2.86	2.43	2.11	1.83	1.61	1.43	1.27	1.14	1.03	0.93	0.85
	L/150	2.53	1.99	1.59	1.29	1.07	0.89	0.75	0.64	0.55	0.47	0.41
	L/200	1.90	1.49	1.19	0.97	0.80	0.67	0.56	0.48	0.41	0.36	0.31
1.25	MSÚ	3.84	3.27	2.83	2.46	2.16	1.92	1.71	1.54	1.39	1.26	1.15
	L/150	3.59	2.82	2.26	1.84	1.51	1.26	1.06	0.91	0.78	0.67	0.57
	L/200	2.69	2.12	1.69	1.38	1.13	0.95	0.80	0.68	0.58	0.50	0.44
1.5	MSÚ	4.80	4.09	3.53	3.08	2.70	2.39	2.13	1.92	1.73	1.57	1.43
	L/150	4.77	3.75	3.00	2.44	2.01	1.68	1.41	1.20	1.03	0.89	0.77
	L/200	3.57	2.81	2.25	1.83	1.50	1.25	1.06	0.90	0.77	0.67	0.58

### Posouzení při sání větru

MSÚ

$$w_{ed} = w_{ed,B} + w^+_{i,ed} = 1,581 + 0,219 = 1,80 \text{ kN/m}^2 < q_{MSÚ} = 2,33 \text{ kN/m}^2$$

MSP – L/200

$$w_{ek} = w_{ek,B} + w^+_{i,ek} = 1,054 + 0,146 = 1,20 \text{ kN/m}^2 < q_{MSP} = 1,59 \text{ kN/m}^2$$

### Únosnost na účinek tlaku větru

$$q_{MSÚ} = 1,54 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{MSP} = 1,07 \text{ kN/m}^2$$

LT200-600S, prostý nosník, tlak větru (úzká pásnice v tlaku)

Nominální tloušťka $t_{nom}$	Mezní stav	Rozpon [m]										
		6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	10.50	11.00
0.75	MSÚ	1.08	0.91	0.78	0.68	0.59	0.52	0.47	0.42	0.38	0.35	0.32
	L/150	1.85	1.46	1.17	0.95	0.78	0.65	0.55	0.46	0.40	0.35	0.30
	L/200	1.39	1.10	0.87	0.71	0.59	0.50	0.41	0.35	0.30	0.26	0.23
0.88	MSÚ	1.54	1.30	1.11	0.96	0.84	0.73	0.65	0.58	0.52	0.47	0.43
	L/150	2.45	1.93	1.54	1.25	1.03	0.86	0.72	0.62	0.53	0.45	0.40
	L/200	1.84	1.45	1.16	0.94	0.78	0.65	0.54	0.46	0.40	0.34	0.30
1	MSÚ	2.03	1.70	1.46	1.25	1.09	0.96	0.85	0.75	0.67	0.61	0.56
	L/150	3.04	2.39	1.92	1.55	1.28	1.07	0.90	0.77	0.66	0.57	0.50
	L/200	2.28	1.80	1.44	1.17	0.96	0.81	0.68	0.58	0.50	0.42	0.37
1.25	MSÚ	3.14	2.66	2.28	1.96	1.71	1.50	1.32	1.18	1.05	0.94	0.85
	L/150	4.31	3.40	2.72	2.21	1.82	1.51	1.28	1.08	0.93	0.81	0.70
	L/200	3.24	2.55	2.04	1.66	1.37	1.14	0.96	0.82	0.70	0.61	0.53
1.5	MSÚ	4.23	3.61	3.12	2.71	2.39	2.11	1.87	1.68	1.51	1.36	1.24
	L/150	5.64	4.44	3.55	2.89	2.38	1.98	1.67	1.42	1.22	1.05	0.92
	L/200	4.23	3.33	2.66	2.17	1.79	1.49	1.26	1.07	0.92	0.79	0.69



### Posouzení na účinek tlaku větru

MSÚ

$$w_{ed,D} = 0,795 + 0,329 = 1,124 \text{ kN/m}^2 < q_{MSÚ} = 1,540 \text{ kN/m}^2$$

MSP – L/200

$$w_{ek,D} = 0,530 + 0,219 = 0,749 \text{ kN/m}^2 < q_{MSP} = 1,840 \text{ kN/m}^2$$

Tenkostěnné kazety LT200-600S tl.0,88 mm vyhovují.

## 4 Nosník jeřábové dráhy

### Parametry

Symbol	Popis	Hodnota	Jednotky
$Q$	Nosnost jeřábu	8	t
$l$	Rozpětí jeřábu	22,5	m
$a$	Rozvor kol příčnicku	4	m
$p$	Vzdálenost osy kola od konce příčnicku	280	mm
$O$	Vzdálenost osy kola od vnějšího líce jeřábu	240	mm
$B$	Stavební výška jeřábu	1600	mm
$C$	Konstrukční výška háku	1043	mm
$D$	Konstrukční výška jeřábu	1880	mm
$e$	Dojezd kladkostroje	850	mm
$P$	Instalovaný výkon motoru	13	kW
$V_{max}$	Maximální kolový tlak	71,3	kN
$V_{min}$	Minimální kolový tlak	27,2	kN
$Q_h$	Tíha břemene	80	kN
$Q_t$	Tíha kočky	12	kN
$Q_c$	Celková hmotnost jeřábu s kladkostrojem	120	kN

Symbol	Popis	Hodnota	Jednotky
$v_h$	Rychlost zdvihu	0,15	m/s
$v_k$	Rychlost pojezdu kladkostroje	0,45	m/s
$v_m$	Rychlost pojezdu mostu	0,9	m/s
$HC2$	Kategorie zvedacího zařízení		
$S_3$	Kategorie S		
$JKL 55$	Typ kolejnice (bezstyková, přípoj příchýtkami)		
$IFF$	Vedení pomocí nákoků (pohon jednotlivých kol)		
$n$	Počet dvojic kol	2	
$m_w$	Počet pohonů jednotlivých kol	2	

Symbol	Popis	Hodnota	Jednotky
	Šířka hlavy	55	mm
	Hmotnost	29,6	kg/m
	Plocha průřezu	37,7	cm <sup>2</sup>
$I_x$	Moment setrvačnosti k ose ohybu x	309,5	cm <sup>4</sup>
$W_x$	Průřezový modul k ose ohybu x	66,43	cm <sup>3</sup>
$I_y$	Moment setrvačnosti k ose ohybu y	130,5	cm <sup>4</sup>

$W_y$	Průřezový modul k ose ohybu y	26,1	$cm^3$
$c_x$	Statická hodnota	4,66	cm
$c_y$	Statická hodnota	3,84	cm
	Stupeň přímosti	Rovnaná	
	Povrch	Okujený	

## 4.1 Zatížení jeřábové dráhy

### 4.1.1 Stálé zatížení

Zatížení jeřábové dráhy tvoří vlastní tíha kolejnice a vlastní tíha nosníku jeřábové dráhy.

Stálé zatížení	$g_k[kN/m]$	$\gamma_G$	$g_k$ [kN/m]
Vlastní tíha kolejnice	0,30	1,35	0,41
Vlastní tíha jeřábové dráhy - HEA360	1,12	1,35	1,51
Stálé zatížení celkem	<b>1,42</b>		<b>1,92</b>

### 4.1.2 Proměnná zatížení

Proměnná zatížení jeřábu při běžných provozních podmínkách jsou výsledkem změn v čase a změn polohy. Sestávají ze zatížení vlastní tíhou včetně zatížení kladkostrojů, setrvačné síly způsobené zrychlením, zpomalením a přičením, a jiné dynamické účinky. Proměnnými zatíženími jsou zatížení jeřáby.

### Svislá zatížení

Tíha jeřábu se sestává z tíhy pohyblivých a pevných částí včetně strojního a elektrického zařízení konstrukce jeřábu bez prvků, které jsou uváděny do pohybu konstrukcí jeřábu (prostředky pro uchopení břemene,...).

### Tíha jeřábu

Jako tíhu jeřábu uvažujeme tíhu pevných a pohyblivých částí včetně strojního a elektrického zařízení konstrukce jeřábu bez prvků, které jsou uváděny do pohybu konstrukcí jeřábu.

Svislé síly od kol zatíženého jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou

$$Q_{C,r,max} = \frac{1}{n} \cdot \left[ \frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t \cdot (l - e)}{l} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{120 - 12}{2} + \frac{12 \cdot (22,5 - 0,85)}{22,5} \right] = 32,77 \text{ kN}$$

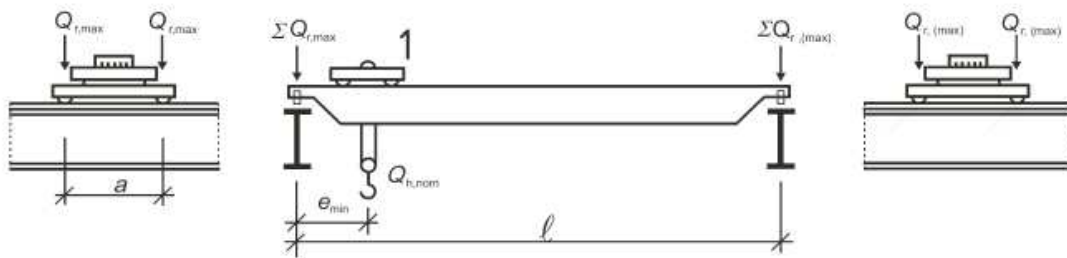
$$Q_{C,r,(max)} = \frac{1}{n} \cdot \left[ \frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t \cdot e}{l} \right] = \frac{1}{n} \cdot \left[ \frac{120 - 12}{2} + \frac{12 \cdot 0,85}{22,5} \right] = 27,23 \text{ kN}$$

Svislé síly kol nezatíženého jeřábu

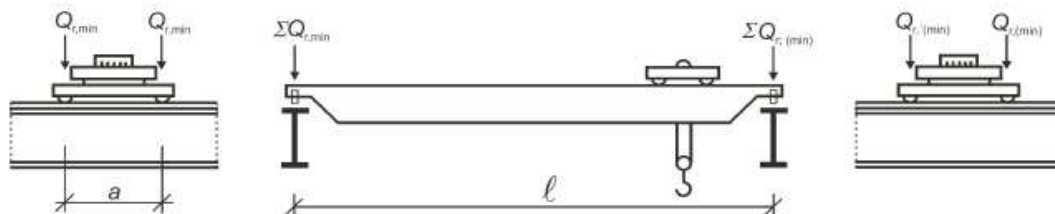
$$Q_{C,r,min} = Q_{C,r,(max)} = 27,23 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(min)} = Q_{C,r,max} = 32,77 \text{ kN}$$

Schéma uspořádání svislých sil je vyobrazeno na obrázku níže.



a) Uspořádání zatíženého jeřábu při maximálním zatížení nosníku jeřábové dráhy



b) Uspořádání zatíženého jeřábu při minimálním zatížení nosníku jeřábové dráhy

### Zatížení kladkostroje

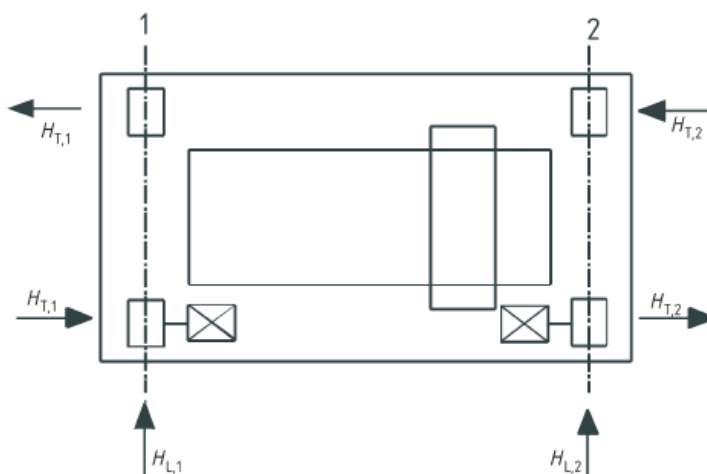
$$Q_{H,r,max} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h \cdot (l - e)}{l} = \frac{1}{2} \cdot \frac{80 \cdot (22,5 - 0,85)}{22,5} = 38,49 \text{ kN}$$

$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h \cdot e}{l} = \frac{1}{2} \cdot \frac{80 \cdot 0,85}{22,5} = 1,51 \text{ kN}$$

#### 4.1.2.1 Vodorovná zatížení

##### Zrychlení mostu jeřábu

Schéma příčných a podélných vodorovných sil od kol, způsobených zrychlením a zpomalením je vyobrazeno na obrázku níže.



Hnací síla při pohonu jednotlivých kol

$$K = \mu \cdot m_w \cdot Q_{C,r,min} = 0,2 \cdot 2 \cdot 27,23 = 10,90 \text{ kN}$$

$\mu = 0,2$  Součinitel tření pro kombinaci ocel-ocel

$m_w = 2$  Počet pohonů jednotlivých kol

Síly vzniklé v podélném směru způsobené rozjezdem/brzděním jeřábu

$$H_{L,i} = H_{L,1} = H_{L,2} = \frac{K}{n_r} = \frac{10,90}{2} = 5,45 \text{ kN}$$

$n_r = 2$  počet větví jeřábové dráhy

Síly vzniklé v příčném směru

$$H_{T,1} = \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 0,713 \cdot \frac{52,24}{4} = 9,31 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = \xi_2 \cdot \frac{M}{a} = 0,287 \cdot \frac{52,24}{4} = 3,75 \text{ kN}$$

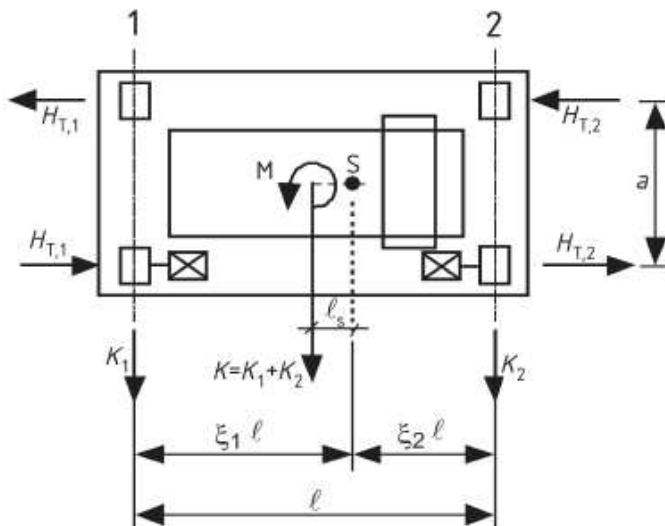
Podíly vzdáleností těžiště jeřábu od osy jeřábové kolejnice a rozpětí jeřábu

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{n \cdot (Q_{C,r,max} + Q_{H,r,max})}{Q_c + Q_h} = \frac{2 \cdot (32,77 + 38,49)}{120 + 80} = 0,713$$

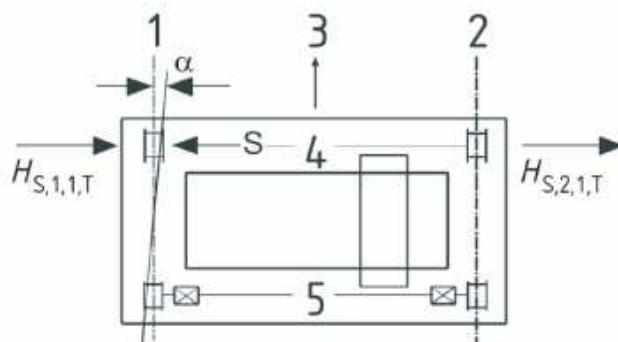
$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,713 = 0,287$$

Moment hnací síly k těžišti jeřábu

$$M = K \cdot l_s = K \cdot (\xi_1 - 0,5) \cdot l = 10,90 \cdot (0,713 - 0,5) \cdot 22,5 = 52,24 \text{ kNm}$$



**Příčení mostu jeřábu**



Součinitel síly od kola

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{\xi_2}{n} = \frac{0,287}{2} = 0,144$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{\xi_1}{n} = \frac{0,713}{2} = 0,357$$

kde  $e_1 = 0$ ,  $e_1 = a = 4$ ,  $h = a = 4$

Vodorovné síly od přičení

$$H_{S,i,j,k} = f \cdot \lambda_{S,i,j,k} \cdot \sum Q_r$$

$$H_{S,1,1,T} = f \cdot \lambda_{S,1,1,T} \cdot \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,144 \cdot \sum(120 + 80) = 8,64 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,1,T} = f \cdot \lambda_{S,2,1,T} \cdot \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,357 \cdot \sum(120 + 80) = 21,42 \text{ kN}$$

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

Při výpočtu velikosti hnací síly se předpokládá, že je zabráněno protáčení hnacích kol.

**Zrychlení kočky**

$$H_{T3,1} = \frac{0,1}{2} \cdot (Q_h + Q_t) \cdot \left(\frac{l-e}{l}\right) = \frac{0,1}{2} \cdot (80 + 12) \cdot \left(\frac{22,5 - 0,85}{22,5}\right) = 4,43 \text{ kN}$$

$$H_{T3,2} = \frac{0,1}{2} \cdot (Q_h + Q_t) \cdot \left(\frac{e}{l}\right) = \frac{0,1}{2} \cdot (80 + 12) \cdot \left(\frac{0,85}{22,5}\right) = 0,174 \text{ kN}$$

#### 4.1.2.2 Charakteristické hodnoty zatížení jeřábem

Tabulka 2.1 – Různé druhy dynamických součinitelů  $\varphi_i$

Dynamický součinitel	Uvažované účinky	Použije se pro
$\varphi_1$	– buzení vibrací konstrukce jeřábu při zvednutí zatížení kladkostroje ze země	vlastní tíhu jeřábu
$\varphi_2$ nebo $\varphi_3$	– dynamické účinky zatížení kladkostroje při zvedání ze země k jeřábu – dynamický účinek náhlého uvolnění užitečného zatížení, jestliže jsou použity např. drapáky nebo magnety	zatížení kladkostroje
$\varphi_4$	– dynamické účinky, vznikající při pojezdu na kolejích nebo jeřábových drahách	vlastní tíhu jeřábu a zatížení kladkostroje
$\varphi_5$	– dynamické účinky vyvolané hnacími silami	hnací síly
$\varphi_6$	– dynamické účinky zkušebního zatížení, které se pohybuje po dráze jeřábu pomocí pohonů	zkušební zatížení
$\varphi_7$	– dynamický pružný účinek nárazu na nárazníky	síly na nárazníky

$\varphi_1 = 1,1$  za předpokladu dosažení horní hladiny rázového zatížení

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h = 1,15 + 0,51 \cdot 0,15 = 1,23$$

Tabulka 2.5 – Hodnoty  $\beta_2$  a  $\varphi_{2,min}$

Třída zvedacích zařízení	$\beta_2$	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

POZNÁMKA Aby byly uváženy dynamické účinky při přemístění břemene ze země na jeřáb, jsou jeřáby zařazeny do tříd zdvihadel HC1 až HC4. Výběr závisí na konkrétním typu jeřábu, viz doporučení v příloze B.

$\varphi_4 = 1,0$  za předpokladu dodržení tolerancí kolejnicové dráhy

$\varphi_5 = 1,5$  za předpokladu pozvolna měnící se hnací síly

$\varphi_6 = 0,5 \cdot (1 + \varphi_2) = 0,5 \cdot (1 + 1,23) = 1,12$  pro dynamické zkušební zatížení

$\varphi_6 = 1,0$  pro statické zkušební zatížení

## Přehled zatížení a dynamických součinitelů

Zatížení	Značka	Skupina zatížení					
		Mezní stav únosnosti					Zkušební zat.
		1	3	4	5	6	8
Vlastní tíha jeřábu	$Q_c$	$\varphi_1$	1	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_1$
Zatížení kladkostroje	$Q_H$	$\varphi_2$	-	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	-
Zrychlení mostu jeřábu	$H_L, H_T$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	-	-	$\varphi_5$
Příčení mostu jeřábu	$H_S, S$	-	-	-	1	-	-
Zrychlení kočky	$H_{T3}$	-	-	-	-	1	-
Zkušební zatížení	$Q_T$	-	-	-	-	-	$\varphi_6$

Pozn.: Skupiny č. 2, 7, 9, 10 dle ČSN EN 1993-3 nejsou uvažovány.

### 4.1.3 Únavové zatížení

Dynamický součinitel pro ekvivalentní poškození rázem pro obvyklé podmínky

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

$$\varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = \frac{1 + 1,23}{2} = 1,12$$

Součinitel ekvivalentního zatížení pro kategorii únavových účinků  $S_3$

$\lambda_\sigma = 0,397$  způsobeno rozkmitem normálového napětí

$\lambda_\tau = 0,575$  způsobeno rozkmitem smykového napětí

Ekvivalentní únavové zatížení

$$Q_{e,\sigma} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{H,r,max}$$

$$Q_{e,\sigma} = 1,05 \cdot 0,397 \cdot 32,77 + 1,12 \cdot 0,397 \cdot 38,49 = 30,77 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_\tau \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_\tau \cdot Q_{H,r,max}$$

$$Q_{e,\tau} = 1,05 \cdot 0,575 \cdot 32,77 + 1,12 \cdot 0,575 \cdot 38,49 = 44,57 \text{ kN}$$

Součinitel ekvivalentního poškození pro kategorii únavových účinků  $S_4$

$$\lambda_{\sigma,loc} = 0,500$$

$$\lambda_{\tau,loc} = 0,660$$

Ekvivalentní zatížení poškození únavou

$$Q_{e,\sigma,loc} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_{\sigma,loc} \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_{\sigma,loc} \cdot Q_{H,r,max}$$

$$Q_{e,\sigma,loc} = 1,05 \cdot 0,500 \cdot 32,77 + 1,12 \cdot 0,500 \cdot 38,49 = 38,76 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau,loc} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_{\tau,loc} \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_{\tau,loc} \cdot Q_{H,r,max}$$

$$Q_{e,\tau,loc} = 1,05 \cdot 0,660 \cdot 32,77 + 1,12 \cdot 0,660 \cdot 38,49 = 51,16 \text{ kN}$$

## 4.2 Výpočet vnitřních sil

Statický model nosníku jeřábové dráhy je prostý nosník o rozpětí 6 m. Nosník jeřábové dráhy je navržen z plnostěnného válcovaného profilu HEA 360.

### 4.2.1 Vnitřní síly od svislého zatížení

#### Účinky svislých tlaků od kol

Návrhové hodnoty maximálních svislých sil namáhající hlavní jeřábový nosník

$$F_1 = \gamma_{Q,sup} \cdot (\varphi_1 \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_2 \cdot Q_{H,r,max}) = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 32,77 + 1,23 \cdot 38,49) = 112,58 \text{ kN}$$

$$F_5 = \gamma_{Q,sup} \cdot (\varphi_4 \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_4 \cdot Q_{H,r,max}) = 1,35 \cdot (1,0 \cdot 32,77 + 1,0 \cdot 38,49) = 96,20 \text{ kN}$$

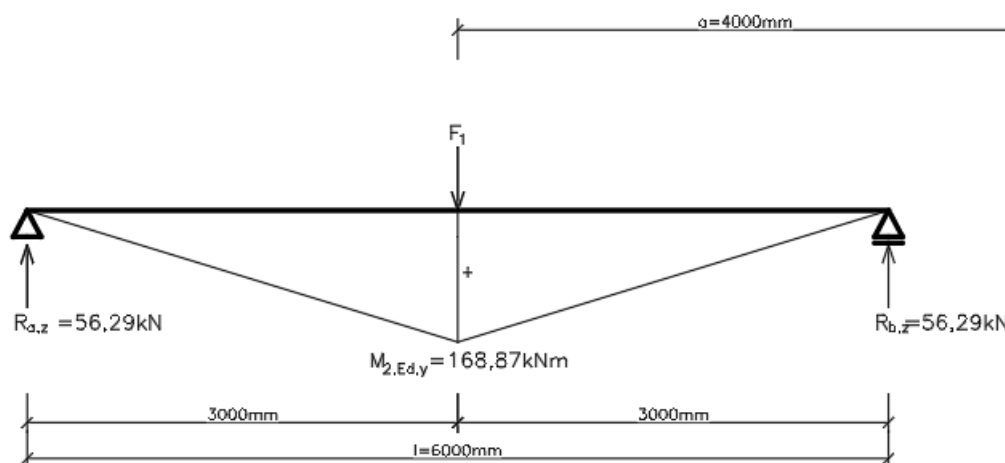
$$F_6 = \gamma_{Q,sup} \cdot (\varphi_4 \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_4 \cdot Q_{H,r,max}) = 1,35 \cdot (1,0 \cdot 32,77 + 1,0 \cdot 38,49) = 96,20 \text{ kN}$$

$$F_8 = \gamma_{Q,sup} \cdot \varphi_1 \cdot Q_{C,r,max} = 1,35 \cdot 1,1 \cdot 32,77 = 48,66 \text{ kN}$$

$$\gamma_{G,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{Q,sup} = 1,35$$

**Zatěžovací stav č.1**, tj. pozice zatížení, která vyvolá největší ohybový moment, tj. příčnick bude v poloze, kdy jedna síla je uprostřed rozpětí nosníku a druhá síla již na nosníku sousedním.



Skupina zatížení č.1

$$R_{a,z} = \frac{F_1}{2} = \frac{112,58}{2} = 56,29 \text{ kN}$$

$$R_{b,z} = R_{a,z} = 56,29 \text{ kN}$$

$$V_{1,Ed,z} = R_{a,z} = 56,29 \text{ kN}$$

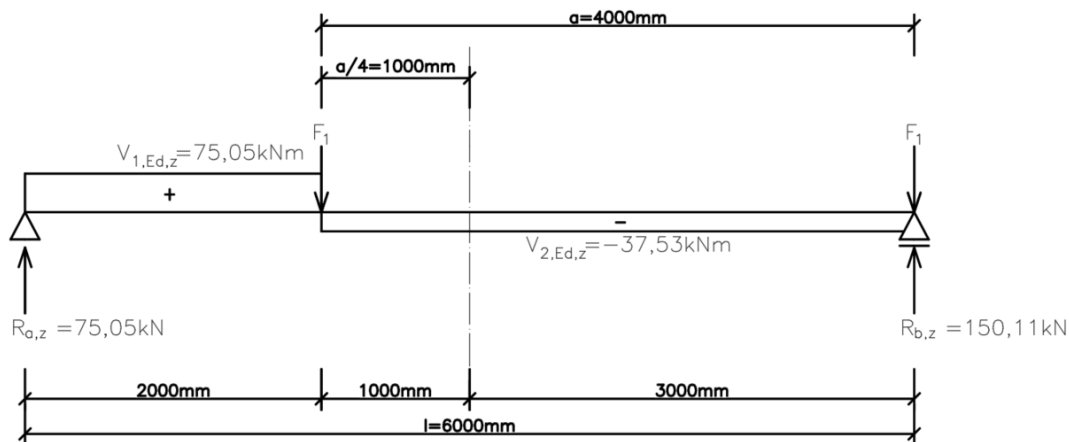
$$M_{1,Ed,y} = \frac{F_1 \cdot l}{4} = \frac{112,58 \cdot 6}{4} = 168,87 \text{ kNm}$$

Vnitřní síly pro skupinu zatížení č. 5, 6 a 8 jsou vypočteny stejným postupem jako vnitřní síly pro skupinu č. 1 a uvedeny v tabulce níže.

Vnitřní síla	Skupina zatížení			
	1	5	6	8
$R_{a,z} \text{ [kN]}$	56,29	48,10	48,10	24,33
$R_{b,z} \text{ [kN]}$	56,29	48,10	48,10	24,33
$V_{i,Ed,z,max} \text{ [kN]}$	56,29	48,10	48,10	24,33
$M_{i,Ed,y} \text{ [kNm]}$	<b>168,87</b>	<b>144,30</b>	<b>144,30</b>	<b>72,99</b>



**Zatěžovací stav č.2**, tj. pozice zatížení, které vyvolá největší posouvající sílu,tj. příčnick bude v poloze, kdy jedna síla je nad podporou a druhá síla ve třetině nosníku viz obrázek níže



Skupina zatížení č.1

$$R_{a,z} = \frac{2 \cdot F_1}{3} = \frac{2 \cdot 112,58}{3} = 75,05 \text{ kN}$$

$$R_{b,z} = \frac{4 \cdot F_1}{3} = 150,11 \text{ kN}$$

$$V_{1,Ed,z} = R_{b,z} = 150,11 \text{ kN}$$

$$M_{1,Ed,y} = R_{a,z} \cdot 2 = 150,11 \text{ kNm}$$

Vnitřní síly pro skupinu zatížení č. 5, 6 a 8 jsou vypočteny stejným postupem jako vnitřní síly pro skupinu č. 1 a uvedeny v tabulce níže.

Vnitřní síla	Skupina zatížení			
	1	5	6	8
$R_{a,z} [kN]$	75,05	64,13	64,13	32,44
$R_{b,z} [kN]$	150,11	128,27	128,27	64,88
$V_{i,Ed,z} [kN]$	<b>150,11</b>	<b>128,27</b>	<b>128,27</b>	<b>64,88</b>
$M_{i,Ed,y} [kNm]$	150,11	128,27	128,27	64,88

**Účinky stálého zatížení (vlastní tíha JD)**

$$g_k = 1,42 \text{ kN/m}$$

$$g_d = 1,92 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,Ed,z} = \frac{1}{2} \cdot g_d \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,92 \cdot 6 = 5,76 \text{ kN}$$

$$M_{g,Ed,y} = \frac{1}{8} \cdot g_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,92 \cdot 6^2 = 8,64 \text{ kNm}$$

**Výsledné vnitřní síly od svislého zatížení**

Pro výpočet vnitřních sil od svislého zatížení bude vybrána vždy maximální hodnota vnitřní síly ze zatěžovacích stavů 1 a 2.

#### Skupina zatížení č.1

$$V_{1,c,Ed,z} = V_{1,Ed,z,max} + V_{g,Ed,z} = 150,11 + 5,76 = 155,87 \text{ kN}$$

$$M_{1,c,Ed,y} = M_{1,Ed,y} + M_{g,Ed,y} = 168,87 + 8,64 = 177,51 \text{ kNm}$$

Vnitřní síly pro skupinu zatížení č. 5, 6 a 8 jsou vypočteny stejným postupem jako vnitřní síly pro skupinu č. 1 a uvedeny v tabulce níže.

Vnitřní síla	Skupina zatížení			
	1	5	6	8
$V_{i,c,Ed,z} \text{ [kN]}$	155,87	134,03	134,03	70,64
$M_{i,c,Ed,y} \text{ [kNm]}$	177,51	152,94	152,94	81,63

#### 4.2.2 Vnitřní síly od vodorovného zatížení

##### Zrychlení mostu jeřábu

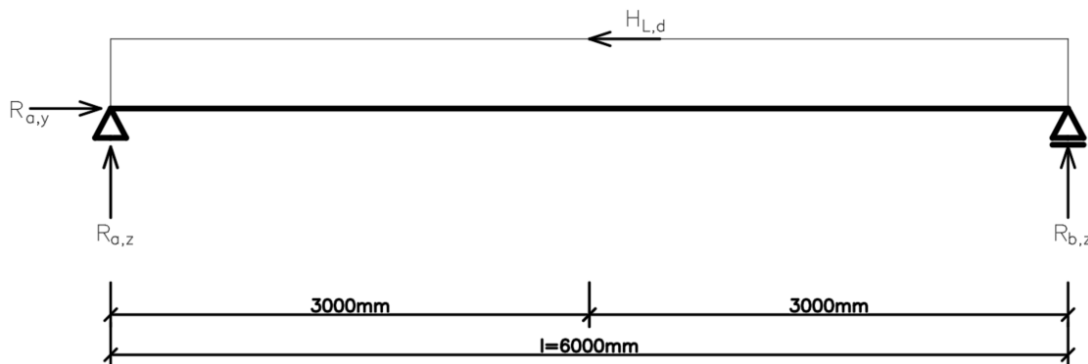
Síly v podélném směru

$$H_{L,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot \varphi_5 \cdot H_{L,i} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 5,45 = 11,04 \text{ kN}$$

$$h_r = 85 \text{ mm} \quad \text{výška kolejnice}$$

$$h = 350 \text{ mm} \quad \text{výška nosníku JD}$$

$$z = h_r + h = 85 + 350 = 435 \text{ mm} = 0,435 \text{ m}$$



$$R_{a,y} = H_{L,d} = 11,04 \text{ kN}$$

$$R_{a,z} = \frac{H_{L,d} \cdot z}{l} = \frac{11,04 \cdot 0,435}{6} = 0,80 \text{ kN}$$

$$R_{b,z} = -R_{a,z} = -0,80 \text{ kN}$$

$$N_{L,Ed,z} = R_{a,y} = 11,04 \text{ kN}$$

$$V_{L,Ed,z} = R_{a,z} = 0,80 \text{ kN}$$

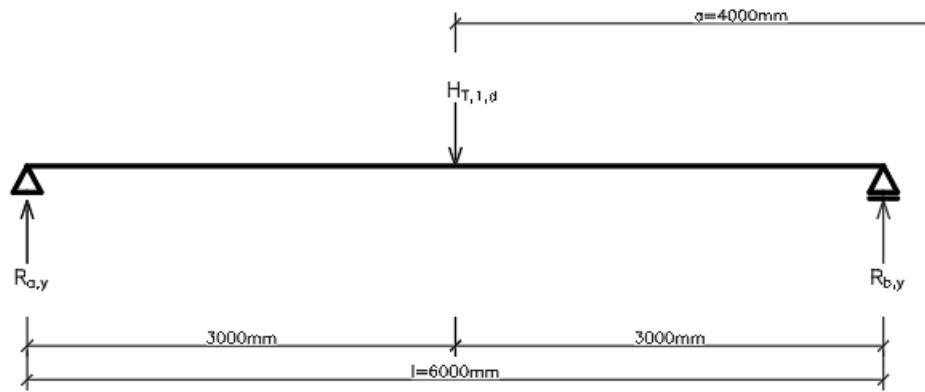
$$M_{L,Ed,y} = R_{a,z} \cdot e_x = 0,80 \cdot 0,5 \cdot 6 = 2,40 \text{ kNm}$$

Síly v příčném směru

$$H_{T,1,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot \varphi_5 \cdot H_{T,1} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 9,31 = 18,85 \text{ kN} \text{ (rozhoduje)}$$

$$H_{T,2,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot \varphi_5 \cdot H_{T,2} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 3,75 = 7,60 \text{ kN}$$

**Zatěžovací stav č.1-** pozice zatížení, která vyvolá největší ohybový moment, tj. příčník bude v poloze, kdy jedna síla je uprostřed rozpětí nosníku a druhá síla (působící proti) již na nosníku sousedním.



$$R_{a,y} = R_{b,y} = \frac{1}{2} \cdot H_{T,1,d} = \frac{1}{2} \cdot 18,85 = 9,43 \text{ kN}$$

$$V_{H,T,Ed,y} = R_{a,y} = 9,43 \text{ kN}$$

$$M_{H,T,Ed,z} = R_{b,y} \cdot \frac{l}{2} = 9,43 \cdot \frac{6}{2} = 28,29 \text{ kNm}$$

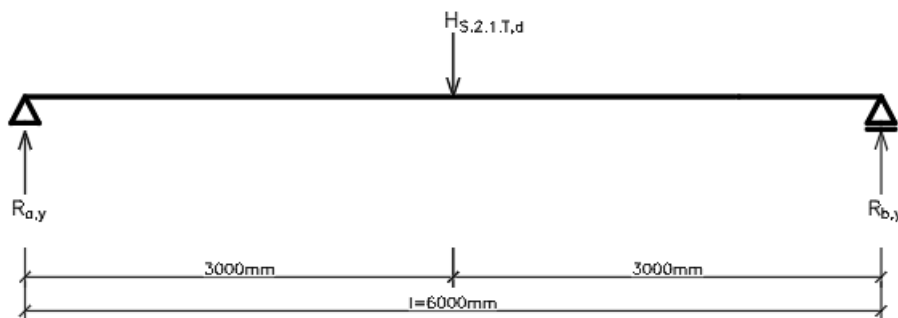
### Příčení mostu jeřábu

Návrhové zatěžovací síly

$$H_{S,1,1,T,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot H_{S,1,1,T} = 1,35 \cdot 8,64 = 11,66 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,1,T,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot H_{S,2,1,T} = 1,35 \cdot 21,42 = 28,92 \text{ kN (rozhodující)}$$

**Zatěžovací stav č.1**– síla působí pouze na jednom z dvojice kol, extrémní účinky tedy vyvolá pozice kola příčnicku uprostřed.



$$V_{S,Ed,y} = \frac{1}{2} \cdot H_{S,2,1,T,d} = \frac{1}{2} \cdot 28,92 = 14,46 \text{ kN}$$

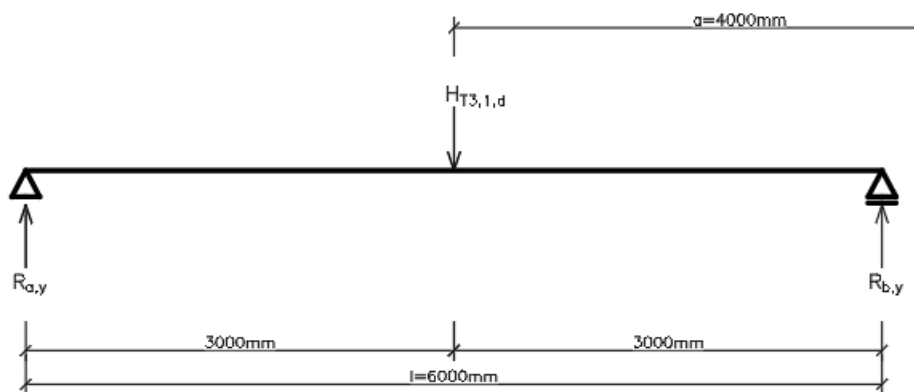
$$M_{S,Ed,z} = \frac{1}{4} \cdot H_{S,2,1,T,d} \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 28,92 \cdot 6 = 43,38 \text{ kNm}$$

$$R_{a,y} = V_{S,Ed,y} = 14,46 \text{ kN}$$

### Zrychlení kočky

$$H_{T3,1,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot H_{T3,1} = 1,35 \cdot 4,43 = 5,98 \text{ kN}$$

### Zatěžovací stav č.1



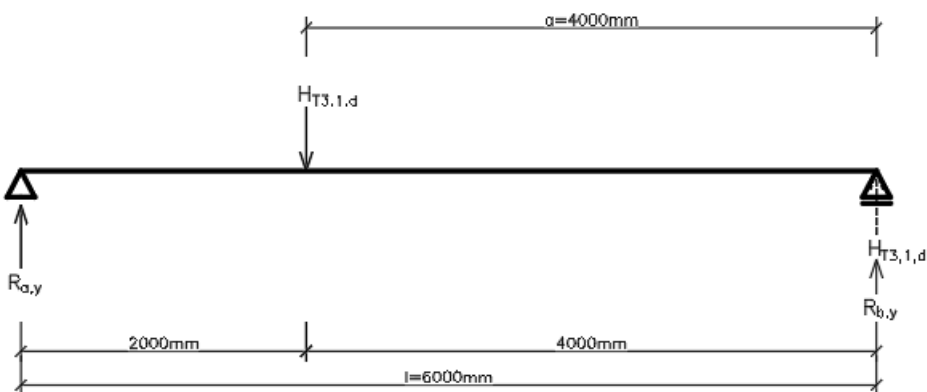
$$R_{a,y} = \frac{H_{T3,1,d}}{2} = \frac{5,98}{2} = 2,99 \text{ kN}$$

$$R_{b,y} = R_{a,y} = 2,99 \text{ kN}$$

$$V_{T3,Ed,y,1} = R_{a,y} = 2,99 \text{ kN}$$

$$M_{T3,Ed,z,1} = \frac{H_{T3,1,d} \cdot l}{4} = \frac{5,98 \cdot 6}{4} = 8,97 \text{ kNm}$$

### Zatěžovací stav č.2



$$R_{a,z} = \frac{2 \cdot H_{T3,1,d}}{3} = \frac{2 \cdot 5,98}{3} = 3,99 \text{ kN}$$

$$R_{b,z} = \frac{H_{T3,1,d}}{3} = \frac{5,98}{3} = 1,99 \text{ kN}$$

$$V_{T3,Ed,y,2} = R_{a,z} = 3,99 \text{ kN}$$

$$M_{T3,Ed,z,2} = \frac{4 \cdot H_{T3,1,d}}{3} = \frac{4 \cdot 5,98}{3} = 7,97 \text{ kNm}$$

#### 4.2.3 Přehled vypočtených návrhových hodnot zatížení

Výsledné ohybové momenty v ose „y“ $M_{i,y}$ [kN]					
Zatížení	Značka	Skupina zatížení			
		Mezní stav únosnosti			
		1	5	6	8
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	177,51	152,94	152,94	81,63
Zrychlení mostu jeřábu	$H_L, H_T$	2,40	-	-	-
Příčení mostu jeřábu	$H_S, S$	-	0	-	-
Zrychlení kočky	$H_{T3}$	-	-	0	-
Síly na nárazník	$H_B$	-	-	-	-
<b>Celkem</b>		<b>179,91</b>	<b>152,94</b>	<b>152,94</b>	<b>81,63</b>

Výsledné posouvající síly ve svislém směru $V_{i,z}$ [kN]					
Zatížení	Značka	Skupina zatížení			
		Mezní stav únosnosti			
		1	5	6	8
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	155,87	134,03	134,03	70,64
Zrychlení mostu jeřábu	$H_L, H_T$	0,80	-	-	-
Příčení mostu jeřábu	$H_S, S$	-	0	-	-
Zrychlení kočky	$H_{T3}$	-	-	0	-
Síly na nárazník	$H_B$	-	-	-	-
<b>Celkem</b>		<b>156,67</b>	<b>134,03</b>	<b>134,03</b>	<b>70,64</b>

Výsledné ohybové momenty v ose „z“ $M_{i,z}$ [kN]					
Zatížení	Značka	Skupina zatížení			
		Mezní stav únosnosti			
		1	5	6	8
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	0	0	0	0
Zrychlení mostu jeřábu	$H_L, H_T$	28,29	-	-	-
Příčení mostu jeřábu	$H_S, S$	-	43,38	-	-
Zrychlení kočky	$H_{T3}$	-	-	8,97	-
Síly na nárazník	$H_B$	-	-	-	-
<b>Celkem</b>		<b>28,29</b>	<b>43,38</b>	<b>8,97</b>	<b>0</b>

Výsledné posouvající síly ve vodorovném směru $V_{i,y}$ [kN]					
Zatížení	Značka	Skupina zatížení			
		Mezní stav únosnosti			
		1	5	6	8
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	0	0	0	0
Zrychlení mostu jeřábu	$H_L, H_T$	9,43	-	-	-
Příčení mostu jeřábu	$H_S, S$	-	14,46	-	-
Zrychlení kočky	$H_{T3}$	-	-	3,99	-
Síly na nárazník	$H_B$	-	-	-	-
<b>Celkem</b>		<b>9,43</b>	<b>14,46</b>	<b>3,99</b>	<b>0</b>

Výsledné návrhové hodnoty zatížení

Vnitřní síla	Skupina zatížení			
	1	5	6	8
$N_{i,Ed}$ [kN]	11,04	-	-	-
$V_{i,z,Ed}$ [kN]	156,67	134,03	134,03	70,64
$M_{i,y,Ed}$ [kNm]	179,91	152,94	152,94	81,63
$V_{i,y,Ed}$ [kN]	9,43	14,46	3,99	0
$M_{i,z,Ed}$ [kNm]	28,29	43,38	8,97	0

### 4.3 Návrh hlavního nosníku jeřábové dráhy

Materiál

Ocel S355

$E = 210\,000\text{ MPa}$  modul pružnosti

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

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

Dílčí součinitele spolehlivosti

$\gamma_{M0} = 1,0$

$\gamma_{M1} = 1,0$

$\gamma_{M2} = 1,35$

**Navrhují hlavní nosník jeřábové dráhy profilu HEA 360**

$b = 300\text{ mm}$

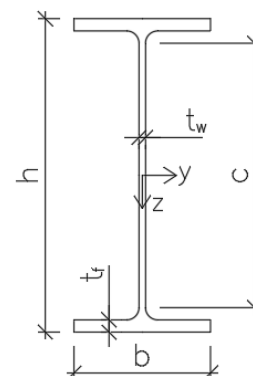
$h = 350\text{ mm}$

$t_w = 10\text{ mm}$

$t_f = 17,5\text{ mm}$

$h_w = d = 261\text{ mm}$

$e_z = 175\text{ mm}$



$$\begin{aligned}
e_y &= 150 \text{ mm} \\
m &= 112,1 \text{ kg/m} \\
A &= 14\,280 \text{ mm}^2 \\
A_{v,z} &= 4\,896 \text{ mm}^2 \\
W_{el,y} &= 1\,891 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\
W_{el,z} &= 525,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\
W_{pl,y} &= 2\,088 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\
W_{pl,z} &= 802,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\
i_y &= 152 \text{ mm} \\
i_z &= 74,3 \text{ mm} \\
I_y &= 330,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\
I_z &= 78,87 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\
I_t &= 1\,488 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 \\
I_w &= 2\,177 \cdot 10^9 \text{ mm}^6
\end{aligned}$$

## 4.4 Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy

### 4.4.1 Mezní stav použitelnosti MSP

Nosník jeřábové dráhy je profilu HEA360 o rozpětí 6 m. Statické schéma je uvažováno jako prostý nosník.

#### Svislá deformace

$$w_{z,CD,1} = \frac{L}{600} = \frac{6000}{600} = 10,0 \text{ mm}$$

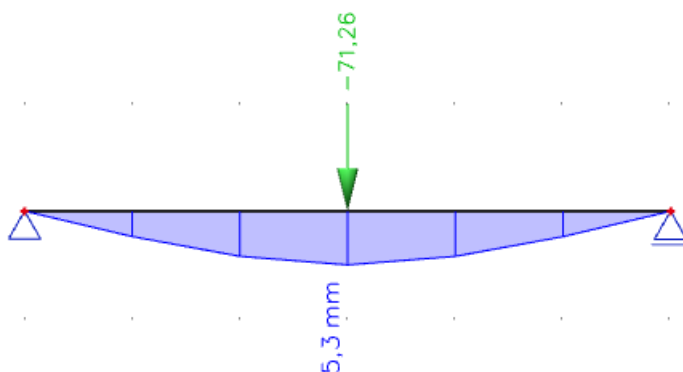
$$w_{z,CD,max} = 25,0 \text{ mm}$$

$$w_{z,CD} = \min(\delta_{z,CD,1}, \delta_{z,CD,max}) = \min(10,0; 25,0) = 10,0 \text{ mm}$$

$$F_k = Q_{C,r,max} + Q_{H,r,max} = 32,77 + 38,49 = 71,26 \text{ kN}$$

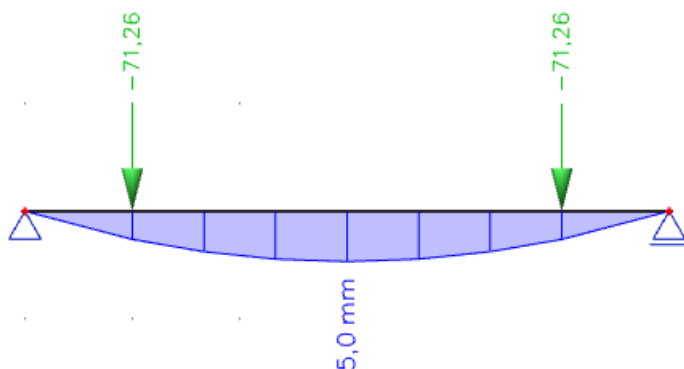
Průhyby budou spočteny pro dva zatěžovací stavy, tj. pro případ, kdy síla vyvozuje největší ohybový moment v poli a případ, kdy jsou obě síly umístěny symetricky na nosníku jeřábové dráhy a osa rozvoru pojezdu se shoduje s osou nosníku jeřábové dráhy. Z těchto dvou zatěžovacích stavů bude vybrán ten, při kterém vzniká na nosníku největší průhyb. Výpočet je proveden pomocí softwaru Scia Engineer. Vlastní tíhu nosníku započítá software.

#### Zatěžovací stav 1



$$w_{1,z} = 5,3 \text{ mm}$$

## Zatěžovací stav 2



$$w_{2,z} = 5,0 \text{ mm}$$

$$w_z = \max(w_{1,z}, w_{2,z}) = \max(5,3; 5,0) = 5,0 \text{ mm}$$

$$w_z = 5,0 \text{ mm} \leq w_{z,CD} = 10,0 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

## Vodorovná deformace

Maximální dovolený vodorovný průhyb ve směru osy „y“

$$w_{y,CD} = \frac{L}{600} = \frac{6000}{600} = 10,0 \text{ mm}$$

## Mezní stav použitelnosti pro skupinu zatížení č. 1

$$H_{T,1,char} = \varphi_5 \cdot H_{T,1} = 1,5 \cdot 9,31 = 13,97 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,char} = \varphi_5 \cdot H_{T,2} = 1,5 \cdot 3,75 = 5,63 \text{ kN}$$

## Mezní stav použitelnosti pro skupinu zatížení č. 5

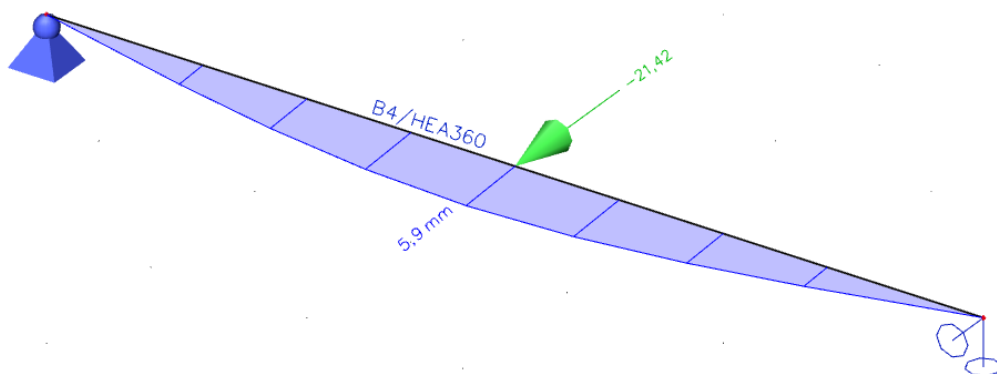
$$H_{S,2,1,T,char} = 1,0 \cdot H_{S,2,1,T} = 1,0 \cdot 21,42 = 21,42 \text{ kN (rozhoduje)}$$

$$H_{S,1,1,T,char} = 1,0 \cdot H_{S,1,1,T} = 1,0 \cdot 8,64 = 8,64 \text{ kN}$$

## Mezní stav použitelnosti pro skupinu zatížení č. 6

$$H_{T,3,1,char} = 1,0 \cdot H_{T,3,1} = 1,0 \cdot 4,43 = 4,43 \text{ kN}$$

Je zřejmé, že největší vodorovný průhyb nosníku jeřábové dráhy způsobí síla z 5. skupiny zatížení a to  $H_{S,2,1,T,char} = 21,42 \text{ kN}$  od příčeni mostu jeřábu. Vodorovný průhyb od této síly byl zjištěn pomocí softwaru Scia Engineer. Vlastní tíhu nosníku započítá software.



$$w_z = 5,9 \text{ mm} \leq w_{y,CD} = 10,0 \text{ mm}$$

Vyhovuje.



#### 4.4.2 Mezní stav únosnosti MSÚ

Napětí ve spodních vláknech

$$\sigma_{1,s,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z = \frac{179,91 \cdot 10^6}{330,9 \cdot 10^6} \cdot 175 = 95,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5,s,Ed} = \frac{M_{5,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z = \frac{152,94 \cdot 10^6}{330,9 \cdot 10^6} \cdot 175 = 80,88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6,s,Ed} = \frac{M_{6,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z = \frac{152,94 \cdot 10^6}{330,9 \cdot 10^6} \cdot 175 = 80,88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{8,s,Ed} = \frac{M_{8,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z = \frac{81,63 \cdot 10^6}{330,9 \cdot 10^6} \cdot 175 = 43,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max,s,Ed} = \max(\sigma_{1,s,Ed}; \sigma_{5,s,Ed}; \sigma_{6,s,Ed}; \sigma_{8,s,Ed}) \\ = \max(95,15 \text{ MPa}; 80,88 \text{ MPa}; 80,88 \text{ MPa}; 43,17 \text{ MPa}) = 95,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max,s,Ed} = 95,15 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

Napětí v horních vláknech

$$\sigma_{1,h,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z + \frac{M_{1,z,Ed}}{I_z} \cdot e_y + \frac{N_{1,Ed}}{A} \\ = \frac{179,91 \cdot 10^6}{330,9 \cdot 10^6} \cdot 175 + \frac{28,29 \cdot 10^6}{78,87 \cdot 10^6} \cdot 150 + \frac{11,04 \cdot 10^3}{14\,280} = 149,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5,h,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z + \frac{M_{1,z,Ed}}{I_z} \cdot e_y = \frac{152,94 \cdot 10^6}{330,9 \cdot 10^6} \cdot 175 + \frac{43,38 \cdot 10^6}{78,87 \cdot 10^6} \cdot 150 \\ = 163,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6,h,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z + \frac{M_{1,z,Ed}}{I_z} \cdot e_y = \frac{152,94 \cdot 10^6}{330,9 \cdot 10^6} \cdot 175 + \frac{8,97 \cdot 10^6}{78,87 \cdot 10^6} \cdot 150 = 97,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{8,h,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z = \frac{81,63 \cdot 10^6}{330,9 \cdot 10^6} \cdot 175 = 43,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max,h,Ed} = \max(\sigma_{1,h,Ed}; \sigma_{5,h,Ed}; \sigma_{6,h,Ed}; \sigma_{8,h,Ed}) \\ = \max(149,73 \text{ MPa}; 163,38 \text{ MPa}; 97,94 \text{ MPa}; 43,17 \text{ MPa}) = 163,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max,s,Ed} = 163,38 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

#### Interakce klopení a kroucení

Kritický moment vypočtený v softwaru LTBeam viz příloha č. 3.1

$$M_{y,cr} = 791,07 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{y,cr}}} = \sqrt{\frac{1\,891 \cdot 10^3 \cdot 355}{791,07 \cdot 10^6}} = 0,921$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,907 + \sqrt{0,907^2 - 0,75 \cdot 0,921^2}} = 0,797$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2] \\ = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,921 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,921^2] = 0,907$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \quad \text{Křivka vzpěrnosti „b“}$$

$$\beta = 0,75$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

Opravný součinitel pro křivky klopení válcovaných průřezů  
Délka vodorovné části křivky klopení válcovaných průřezů

Kroucení

$$e_z = \frac{h}{2} + h_R = \frac{350}{2} + 85 = 260 \text{ mm}$$

$$e_y = 0,25 \cdot b_R = 0,25 \cdot 55 = 13,8 \text{ mm}$$

Parametr tuhosti prutu při kroucení

$$K_t = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}} = 6\,000 \cdot \sqrt{\frac{81\,000 \cdot 1\,488 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 2\,177 \cdot 10^9}} = 3,08$$

Rozdělovací parametr

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = \frac{1}{1,08 + \left(\frac{3,7}{3,08}\right)^2} = 0,396$$

$$\alpha = 3,7$$

$$\beta = 1,08$$

Skupina zatížení č. 1

$$B_{1,Ed} = M_{1,z,Ed} \cdot e_y \cdot (1 - \kappa) + M_{1,y,Ed} \cdot e_z \cdot (1 - \kappa) = 28,489 \text{ kNm}^2$$

Bimoment pro skupinu zatížení č. 5, 6 a 8 je vypočten stejným postupem jako bimoment pro skupinu č. 1 a uveden v tabulce níže.

Bimoment	Skupina zatížení			
	1	5	6	8
$B_{i,Ed} [\text{kNm}^2]$	28,489	24,379	24,092	12,819

Modifikovaný součinitel klopení

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,797}{0,930} = 0,908$$

$$\chi_{LT,mod} \leq 1$$

$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[1 - 2,0 \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,8)^2\right] = 0,932$$

$$f \leq 1,0$$

$$k_c = 0,86$$

Posouzení interakce klopení a kroucení

$$\frac{M_{i,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{i,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{i,w} \cdot k_{i,zw} \cdot k_{i,a} \cdot B_{i,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$B_{Rk} = \frac{I_w}{\omega_{max}} \cdot f_y = \frac{2\,177 \cdot 10^9}{26\,250} \cdot 355 = 29,441 \text{ kNm}^2$$

$$\omega_{max} = \frac{b \cdot h}{4} = \frac{300 \cdot 350}{4} = 26\,250 \text{ mm}^2$$

$$k_{1,w} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,506$$

$$k_{1,zw} = 1 - \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 0,848$$

$$k_{1,a} = \frac{1}{1 - \frac{M_{1,y,Ed}}{M_{y,cr}}} = 1,294$$

Hodnoty pro skupinu zatížení č. 5, 6 a 8 jsou vypočteny stejným postupem jako hodnoty pro skupinu č. 1 a uvedeny v tabulce níže.

Hodnota	Skupina zatížení			
	1	5	6	8
$k_{i,w}$	0,506	0,534	0,536	0,6
$k_{i,zw}$	0,848	0,768	0,952	1,0
$k_{i,a}$	1,294	1,240	1,240	1,115

Skupina zatížení č.1

$$\frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{179,91 \cdot 10^6}{0,908 \cdot 1 \, 891 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{28,29 \cdot 10^6}{525,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,506 \cdot 0,848 \cdot 1,294 \cdot 28,489 \cdot 10^9}{\frac{29,441 \cdot 10^9}{1,0}}$$

$$= 0,295 + 0,152 + 0,537 = \mathbf{0,984} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

Skupina zatížení č.5

$$\frac{M_{5,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{5,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{5,w} \cdot k_{5,zw} \cdot k_{5,a} \cdot B_{5,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{152,94 \cdot 10^6}{0,908 \cdot 1 \, 891 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{43,38 \cdot 10^6}{525,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,534 \cdot 0,768 \cdot 1,240 \cdot 24,379 \cdot 10^9}{\frac{29,441 \cdot 10^9}{1,0}}$$

$$= 0,251 + 0,232 + 0,421 = \mathbf{0,904} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

Skupina zatížení č.6

$$\frac{M_{6,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{6,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{6,w} \cdot k_{6,zw} \cdot k_{6,a} \cdot B_{6,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{152,94 \cdot 10^6}{0,908 \cdot 1 \, 891 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{8,97 \cdot 10^6}{525,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,536 \cdot 0,952 \cdot 1,240 \cdot 24,092 \cdot 10^9}{\frac{29,441 \cdot 10^9}{1,0}}$$

$$= 0,251 + 0,048 + 0,518 = \mathbf{0,817} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

Skupina zatížení č.8

$$\frac{M_{8,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{8,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{8,w} \cdot k_{8,zw} \cdot k_{8,a} \cdot B_{8,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{81,63 \cdot 10^6}{0,908 \cdot 1 \, 891 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,115 \cdot 12,819 \cdot 10^9}{\frac{29,441 \cdot 10^9}{1,0}} = 0,134 + 0,291 = \mathbf{0,425} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

**Interakce klopení, kroucení a vzpěru**

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,876 \cdot 14 \, 280 \cdot 355}{1,0} = 4 \, 440,79 \, kN$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,561 \cdot 14\,280 \cdot 355}{1,0} = 2\,843,93 \text{ kN}$$

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 1,0 \cdot L = 6\,000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1,0 \cdot L = 6\,000 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6\,000}{152} = 39,474$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,000}{74,3} = 80,754$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{39,474}{76,4} = 0,517$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{80,754}{76,4} = 1,057$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitel

Křivka „b“  $\chi_y = 0,876$

$$\chi_z = 0,561$$

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

$$c_{my} = 1,0$$

$$c_{mz} = 1,0$$

$$c_{mLT} = 1,0$$

Interakční součinitele

$$k_{yy} = \min \left\{ c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{1,Ed}}{N_{b,Rd,y}} \right); c_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{1,Ed}}{N_{b,Rd,y}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \cdot \left( 1 + (0,517 - 0,2) \cdot \frac{11,04 \cdot 10^3}{4\,440,79 \cdot 10^3} \right); \\ 1,0 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{11,04 \cdot 10^3}{4\,440,79 \cdot 10^3} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{1,001; 1,002\} \cong \mathbf{1,0}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{1,Ed}}{N_{b,Rd,z}}; 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{1,Ed}}{N_{b,Rd,z}} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 \cdot 80,754}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{11,04 \cdot 10^3}{2\,843,93 \cdot 10^3}; 1 - \frac{0,1}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{11,04 \cdot 10^3}{2\,843,93 \cdot 10^3} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \{0,958; 1,0\} = \mathbf{1,0}$$

Posouzení

Musí být splněna podmínka

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{i,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{c_{mz} \cdot M_{i,z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{i,w} \cdot k_{i,zw} \cdot k_{i,a} \cdot B_{i,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{i,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{c_{mz} \cdot M_{i,z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{i,w} \cdot k_{i,zw} \cdot k_{i,a} \cdot B_{i,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Normálová síla se projeví pouze v posudku pro skupinu zatížení č. 1. Je zřejmé, že bude rozhodovat vzpěrná únosnost ve směru osy „z“, vzhledem k velikosti návrhové normálové síly bude rozdíl obou poměrů zanedbatelný, respektive bude poměr s návrhovou normálovou sílu ve směru osy „z“ o několik málo procent větší. Jelikož součinitele  $k_{zy}$  a  $k_{yy}$  jsou rovny téže hodnotě (tj. 1,0), bude pro posudek dalších skupin zatížení vybrán první z výše uvedených vzorců.

### Skupina zatížení č. 1

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{c_{mz} \cdot M_{1,z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{11,04 \cdot 10^3}{2\,843,93 \cdot 10^3} + 1,0 \cdot \frac{179,91 \cdot 10^6}{0,908 \cdot 2\,088 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{1,0 \cdot 28,29 \cdot 10^6}{802,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,506 \cdot 0,848 \cdot 1,294 \cdot 28,489 \cdot 10^9}{\frac{29,441 \cdot 10^9}{1,0}} = 0,004 + 0,267 + 0,099 + 0,537$$

$$= 0,907 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{c_{mz} \cdot M_{1,z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{11,04 \cdot 10^3}{4\,440,79 \cdot 10^3} + 1,0 \cdot \frac{179,91 \cdot 10^6}{0,908 \cdot 2\,088 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{1,0 \cdot 28,29 \cdot 10^6}{802,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,506 \cdot 0,848 \cdot 1,294 \cdot 28,489 \cdot 10^9}{\frac{29,441 \cdot 10^9}{1,0}} = 0,003 + 0,267 + 0,099 + 0,537$$

$$= 0,906 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### Skupina zatížení č. 5

$$k_{zy} \cdot \frac{M_{5,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{c_{mz} \cdot M_{5,z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{5,w} \cdot k_{5,zw} \cdot k_{5,a} \cdot B_{5,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$1,0 \cdot \frac{152,94 \cdot 10^6}{0,908 \cdot 2\,088 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{1,0 \cdot 43,38 \cdot 10^6}{802,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,534 \cdot 0,768 \cdot 1,240 \cdot 24,379 \cdot 10^9}{\frac{29,441 \cdot 10^9}{1,0}} = 0,227 + 0,152 + 0,421 = 0,800 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### Skupina zatížení č. 6

$$k_{zy} \cdot \frac{M_{6,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{c_{mz} \cdot M_{6,z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{6,w} \cdot k_{6,zw} \cdot k_{6,a} \cdot B_{6,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$1,0 \cdot \frac{152,94 \cdot 10^6}{0,908 \cdot 2\,088 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{1,0 \cdot 8,97 \cdot 10^6}{802,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,536 \cdot 0,952 \cdot 1,240 \cdot 24,092 \cdot 10^9}{\frac{29,441 \cdot 10^9}{1,0}} = 0,227 + 0,032 + 0,518 = 0,777$$

Vyhovuje.

### Skupina zatížení č. 8

$$k_{zy} \cdot \frac{M_{8,y,Ed}}{\chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{c_{mz} \cdot M_{8,z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{8,w} \cdot k_{8,zw} \cdot k_{8,a} \cdot B_{8,Ed}}{\frac{B_{RK}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$1,0 \cdot \frac{81,63 \cdot 10^6}{0,908 \cdot 2\,088 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,115 \cdot 12,819 \cdot 10^9}{\frac{29,441 \cdot 10^9}{1,0}} = 0,121 + 0,291 = 0,412$$

Vyhovuje.

### Lokální tlakové a smykové napětí

Lokálním namáháním je myšleno namáhání pod kolem pojezdu, které přenáší zatížení na hlavní nosník jeřábové dráhy.

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_R + I_{f,eff}}{t_w}} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,79 \cdot 10^6 + 80,97 \cdot 10^3}{10}} = 214,4 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti kolejnice

$$I_x = 3,095 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti zahrnující vliv opotřebení 25%

$$I_R = 2,79 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Efektivní šířka pásnice

$$b_{eff} = b_R + 0,75 \cdot h_R + t_f = 100 + 0,75 \cdot 85 + 17,5 = 181,3 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti pásnice

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_f^3 = \frac{1}{12} \cdot 181,3 \cdot 17,5^3 = 80,97 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

Pro výpočet napětí bude uvážena jako zatěžovací síla  $F_{Ed}$  síla vyvozená skupinou zatížení č.1, tj. síla největší ze všech skupin zatížení.

Lokální svislé tlakové napětí

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{F_1}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{112,58 \cdot 10^3}{214,4 \cdot 10} = 52,51 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oz,Ed} = 52,51 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

Lokální smykové napětí

$$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{oz,Ed} = 0,2 \cdot 52,51 = 10,50 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oxz,Ed} = 10,50 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 205 \text{ MPa}$$

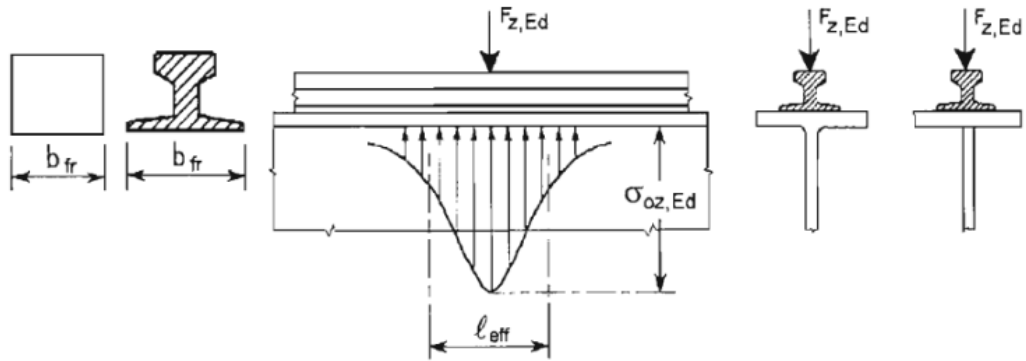
Vyhovuje.

Posouzení interakce normálového a smykového napětí

$$\sqrt{\sigma_{oz,Ed}^2 + \tau_{oxz,Ed}^2} = \sqrt{52,51^2 + 10,50^2} = 53,55 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

Obrázek znázorňující průběh svislého tlakového napětí



## Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

### Lokální boulení

Jedná se o štíhlou stojinu, proto je potřeba posoudit, zda při lokálním zatížení nedojde ke ztrátě stability vlivem boulení. Návrhová zatěžovací síla  $F_{Ed}$  bude síla vyvozená skupinou zatížení č. 1, jelikož se jedná o sílu největší ze všech skupin zatížení.

$$F_{Rd} = \frac{f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{355 \cdot 352,5 \cdot 10}{1,0} = 1\,251,38 \text{ kN}$$

Účinná délka

$$L_{eff} = \chi_F \cdot l_y = 0,868 \cdot 406,1 = 352,5 \text{ mm}$$

Účinná zatížená délka

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 179,4 + 2 \cdot 17,5 \cdot (1 + \sqrt{30}) = 406,1 \text{ mm}$$

Roznášecí délka na pásnici

$$s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 214,4 - 2 \cdot 17,5 = 179,4 \text{ mm}$$

$$m_1 = \frac{b}{t_w} = \frac{300}{10} = 30$$

$$m_2 = 0$$

Součinitel lokálního boulení

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,576} = 0,868 \leq 1,0$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{406,1 \cdot 10 \cdot 355}{4\,344,83 \cdot 10^3}} = 0,576$$

Kritická síla při lokálním boulení

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 \cdot 6,004 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot \frac{10,0^3}{261} = 4\,344,83 \text{ kN}$$

Součinitel boulení

$$k_F = 6 + 2 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 = 6 + 2 \cdot \left(\frac{261}{6\,000}\right)^2 = 6,004$$

$a = 6\,000 \text{ mm}$  vzdálenost výztuh; výztuhy jsou v místě podpěr

Posouzení spolehlivosti pro lokální boulení stojiny

$$F_{Ed} = F_1 = 112,58 \text{ kN} \leq F_{Rd} = 1\,251,38 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

### Globální smykové napětí

Pro výpočet globálního smykového napětí je uvažována extrémní návrhová posouvající síla  $V_{1,z,Ed}$ , vyvozená skupinou zatížení č. 1. Smykové napětí od kroucení je zanedbáno.

Statický moment horní pásnice

$$S_{f,y} = b \cdot t_f \cdot \left( e_z - \frac{t_f}{2} \right) = 300 \cdot 17,5 \cdot \left( 175 - \frac{17,5}{2} \right) = 872,81 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{1,z,Ed} \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{156,67 \cdot 10^3 \cdot 872,81 \cdot 10^3}{330,9 \cdot 10^6 \cdot 10} = 41,325 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} = 41,325 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 205 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

### 4.4.3 Mezní stav únosnosti FAT (Únava)

Kategorie detailů pro posouzení na únavu

Popis detailu	Odkaz na ČSN EN 1993-1-9	Kategorie detailu
Základní materiál horní pásnice v místě přivařených vodících plechů kolejnice	Tab. 8.3, č. 9	80
Základní materiál stojiny s přivařenou výztuhou v místě podpor	Tab. 8.4, č. 7	80

Doporučené hodnoty dílčích součinitelů únavové pevnosti

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

### Posouzení pásnic pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu

Referenční únavová pevnost

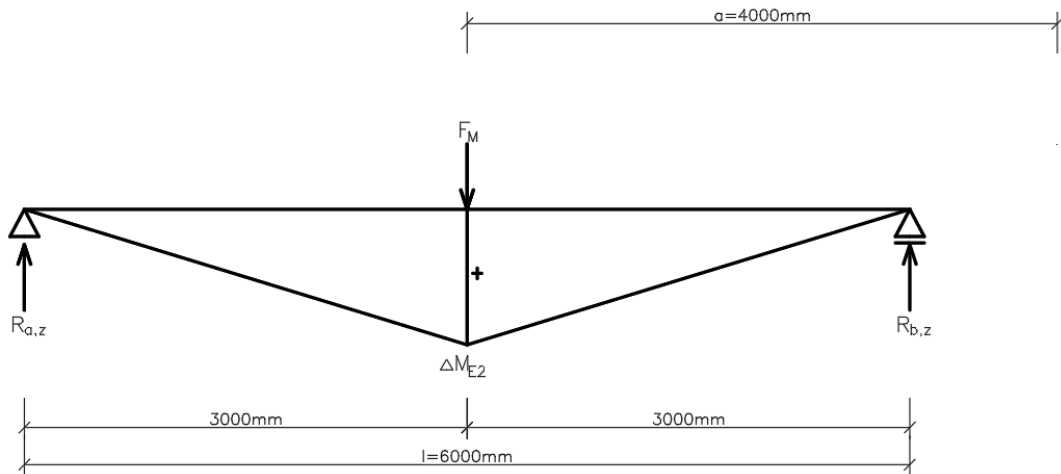
$$\Delta\sigma_C = 80 \text{ MPa}$$

Břemeno představující konstantní rozkmit proměnlivého zatížení v ekvivalentním návrhovém spektru

$$F_M = Q_{e,\sigma} = 30,77 \text{ kN}$$

Pro výpočet rozkmitu ekvivalentního ohybového momentu bude uvážen zatěžovací stav vyvolující největší ohybový moment, tj. ZS1





$$R_{a,z} = \frac{F_M}{2} = \frac{30,77}{2} = 15,39 \text{ kN}$$

$$R_{b,z} = R_{a,z} = 15,39 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{E2} = R_{a,z} = 15,39 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{E2} = \frac{R_{a,z} \cdot l}{2} = 15,39 \cdot 3 = 46,17 \text{ kNm}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého napětí

$$\Delta \sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{W_{el,y}} = \frac{46,17 \cdot 10^6}{1891 \cdot 10^3} = 24,42 \text{ MPa}$$

Únavové poškození

$$D_\sigma = \gamma_{Ff}^3 \cdot \Delta \sigma_{E2}^3 \cdot \left( \frac{\gamma_{Mf}}{\Delta \sigma_C} \right)^3 = 1,0^3 \cdot 24,42^3 \cdot \left( \frac{1,15}{80} \right)^3 = 0,043 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

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

Referenční únavová pevnost

$$\Delta \sigma_C = 80 \text{ MPa}$$

Pro výpočet ekvivalentního konstantního rozkmitu jsou uváženy tytéž hodnoty  $\Delta V_{E2}$  a  $\Delta M_{E2}$  jako v případě posouzení pásnice, jelikož je uváženo stejné zatěžovací břemeno a to při stejném zatěžovacím stavu.

$$\Delta \sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{I_y} \cdot z = \frac{46,17 \cdot 10^6}{330,9 \cdot 10^6} \cdot 130,5 = 18,21 \text{ MPa}$$

$$z = \frac{h_w}{2} = \frac{261}{2} = 130,5 \text{ mm}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého smykového napětí

$$\tau_{E2} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{15,39 \cdot 10^3 \cdot 872,81 \cdot 10^3}{330,9 \cdot 10^6 \cdot 10} = 4,06 \text{ MPa}$$

$$S_y = \frac{h - t_f}{2} \cdot t_f \cdot b = \frac{350 - 17,5}{2} \cdot 17,5 \cdot 300 = 872,81 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Rozkmit hlavního napětí

$$\Delta\sigma_{eq,E2} = \frac{1}{2} \cdot \left( \Delta\sigma_{E2} + \sqrt{\Delta\sigma_{E2}^2 + 4 \cdot \tau_{E2}^2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( 18,21 + \sqrt{18,21^2 + 4 \cdot 4,06^2} \right) = 19,07 \text{ MPa}$$

Únavové poškození

$$D_\sigma = \gamma_{Ff}^3 \cdot \Delta\sigma_{eq,E2}^3 \cdot \left( \frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_C} \right)^3 = 1,0^3 \cdot 19,07^3 \cdot \left( \frac{1,15}{80} \right)^3 = \mathbf{0,021} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

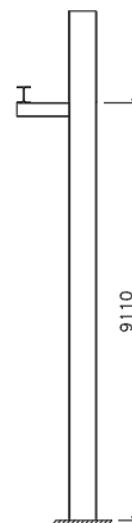
## 5 Konstrukční systém

### Základová patka

U kloubově uloženého rámu by docházelo k velikým vodorovným průhybům sloupů rámu. Jelikož je zde omezení pro vodorovný průhyb jeřábových drah, kdy tento průhyb nesmí přesáhnout  $L/450$ , bude zvolena patka vetknutá. Provedení vetknuté patky je sice pracnější, ale průřezy sloupů budou menší, než by byly u patky kloubové.

$$L/450 = 9\,110/450 = 20,2\text{ mm}$$

→ tato hodnota je pro vodorovný průhyb sloupu v místě podepření JD omezující.

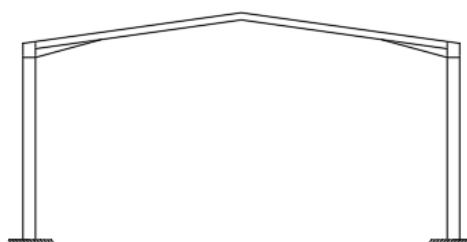


### Rám hlavní části haly

#### Varianta A - Rám z válcovaných průřezů s náběhem příčle

Svislý průhyb příčlí u této varianty je menší, než u varianty rámu s příčlí IPE500 bez náběhu. Kvůli hmotnosti se tato varianta jeví spolu s variantou B jako nejméně ekonomická.

Příčle IPE450 + úpalek IPE450 ( $a=400\text{mm}$ )  
Sloup HEB700



Vodorovný průhyb sloupu  $w_{\max,sl} = 19,9\text{ mm} < L/450 = 9\,110/450 = 20,2\text{ mm}$

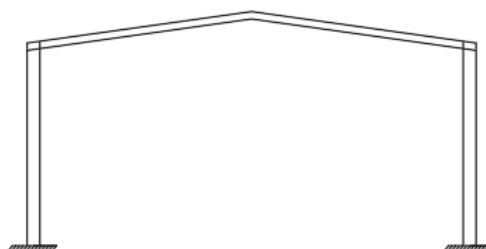
Svislý průhyb příčle  $w_{\max,p} = 66,2\text{ mm} < L/250 = 24\,240/250 = 97\text{ mm}$

Hmotnost konstrukce  $m = 7\,664\text{ kg}$

#### Varianta B - Rám z válcovaných průřezů

Tento rám je podobně masivní jako rám varianty A, zároveň kvůli absenci náběhu příčle dochází k většímu průhybu příčlí i přes poměrně masivní průřez IPE500. Sloup je zvolen HEB700, stejně jako tomu je u varianty A, jehož moment setrvačnosti je dostatečně velký na to, aby byl dodržen maximální vodorovný průhyb sloupů. Tato varianta je nejméně pracná.

Příčle IPE500  
Sloup HEB700



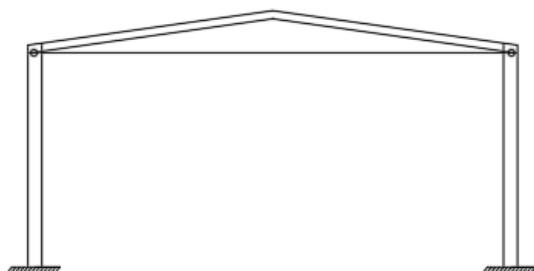
Vodorovný průhyb sloupu	$w_{\max,sl} = 20,1 \text{ mm} < L/450 = 9\ 110/450 = 20,2 \text{ mm}$
Svislý průhyb příčle	$w_{\max,p} = 80,9 \text{ mm} < L/250 = 24\ 240/250 = 97 \text{ mm}$
Hmotnost konstrukce	$m = 7\ 680 \text{ kg}$

### Varianta C - Rám s ocelovým předepnutým táhlem

Tento konstrukční systém je nejvhodnější, jelikož je tato konstrukce lehčí, než předešlé dvě varianty rámu. Je tedy splněn požadavek přípustného vodorovného průhybu sloupů při menší hmotnosti rámu. Zároveň táhlo zajišťuje menší průhyb příčlí, než k jakému dochází variant A a B. U této varianty lze použít sloup profilu HEA, čili profil s menším momentem setrvačnosti oproti profilům HEB, protože táhlo zajistí nepřekročení požadované limitní hodnoty průhybu sloupu.

Příčle IPE450

Sloup HEA700



Vodorovný průhyb sloupu	$w_{\max,sl} = 18,1 \text{ mm} < L/450 = 9\ 110/450 = 20,2 \text{ mm}$
Svislý průhyb příčle	$w_{\max,p} = 59,3 \text{ mm} < L/250 = 24\ 240/250 = 97 \text{ mm}$
Hmotnost konstrukce	$m = 6\ 731 \text{ kg}$

### Materiál

Rozhodující je pro návrh konstrukce jak průhyb, tak napětí. Vzhledem k minimálnímu rozdílu ceny oproti S235 bude proto použita ocel S355.

### Optimalizace konstrukční varianty C

V tabulce na následující straně je uveden souhrn optimalizace této konstrukční varianty. Nejprve byl navržen profil sloupu HEA700, kde průhyb sloupu byl omezen maximálním dovoleným vodorovným průhybem v místě uložení jeřábové dráhy (tj.  $L/450$ ), mezní stav únosnosti sloupu byl předběžně ověřen v softwaru Scia Engineer v modul Ocel. Poté byl zvolen vhodný průřez příčle. Svislý průhyb příčle nesměl přesáhnout  $L/250$  a mezní stav únosnosti byl předběžně ověřen stejným způsobem jako u sloupu. U ocelového táhla byla ověřována jeho únosnost dle tabulky únosností deklarovaných výrobcem. V případě, že nevyhověl sloup či příčel na jeden z mezních stavů, únosnost táhla již nebyla ověřována. Tato optimalizace je velice zjednodušená a mezní stavy jsou posouzeny předběžně. Jsou zde dvě vyhovující varianty příčné vazby, z nichž vybírám tu, která má nejnižší hmotnost.

Průřez			Předp. Fk [kN]	Sloup u [mm]	Příčel u [mm]	Hmotnost rámu m [kg]	Posudek sloup MSÚ	Posudek sloup MSP	Posudek příčel MSÚ	Posudek příčel MSP	Posudek táhlo
Sloup	Příčel	Táhlo									
HEA700	IPE300	RD42	50	19,7	88,3	5 941	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví	Vyhoví	x
HEA700	IPE300	RD42	80	16,9	71,3	5 941	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví	Vyhoví	x
HEA700	IPE330	RD42	80	18,6	71	6 108	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví	Vyhoví	x
HEA700	IPE360	RD42	85	18	60,7	6 300	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví	Vyhoví	x
HEA700	IPE400	RD19	85	20,6	91,4	6 347	Vyhoví	Nevyhoví	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví
HEA700	IPE400	RD42	80	15,7	57,8	6 525	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví	Vyhoví	x
HEA700	IPE400	RD60	105	15,7	50,9	6 821	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví	Vyhoví	Nevyhoví
HEA700	IPE450	RD19	75	19,5	76	6 620	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví
HEA700	IPE450	RD28	80	18,8	65,7	6 676	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví
<b>HEA700</b>	<b>IPE450</b>	<b>RD34</b>	<b>80</b>	<b>18,1</b>	<b>59,3</b>	<b>6 731</b>	<b>Vyhoví</b>	<b>Vyhoví</b>	<b>Vyhoví</b>	<b>Vyhoví</b>	<b>Vyhoví</b>
HEA700	IPE450	RD42	80	18,1	56,5	6 797	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví	Nevyhoví
HEA700	IPE500	RD28	80	17,4	55,3	<b>7 004</b>	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví	Vyhoví	<b>Vyhoví</b>

## 6 Zatěžovací stavy a kombinace

Kombinace zatížení pro Mezní stav únosnosti (STR/GEO) jsou vypočteny podle vzorce ČSN EN 1990, 6.10

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

Charakteristická kombinace zatížení je použita pro Mezní stav použitelnosti

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kombinační součinitelé jsou uvažovány tyto

Dílní součinitelé zatížení

$$\begin{aligned} \gamma_G &= 1,35 && \text{stálá zatížení} \\ \gamma_Q &= 1,5 && \text{proměnná zatížení} \end{aligned}$$

Redukční součinitele

$$\begin{aligned} \psi_{0,s} &= 0,5 && \text{sníh } H < 1000 \text{ m n.m.} \\ \psi_{0,w} &= 0,6 && \text{vítr} \\ \psi_{0,k} &= 0,7 && \text{užitná zatížení} \\ \psi_{0,t} &= 0,6 && \text{teplota} \end{aligned}$$

**Pozn.: Zatěžovací stavy a kombinace zatížení jsou uvedeny v příloze č. 1 a č. 2.**

### Analýza konstrukce

Ekvivalentní imperfekce ve tvaru počátečního náklonu byla vypočtena a uvážena v modelu v software Scia Engineer. Vstupní parametry jsou následující

$\Phi_0 = 1/200$  počáteční hodnota náklonu konstrukce

$m = 2$  počet sloupů v řadě

$h = 11,11 \text{ m}$  výška sloupu

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{11,11}} = 0,60$$

$$\frac{2}{3} < \alpha_h = 0,60 < 1,0 \rightarrow \text{splňuje}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,87$$

Úhel natočení sloupů

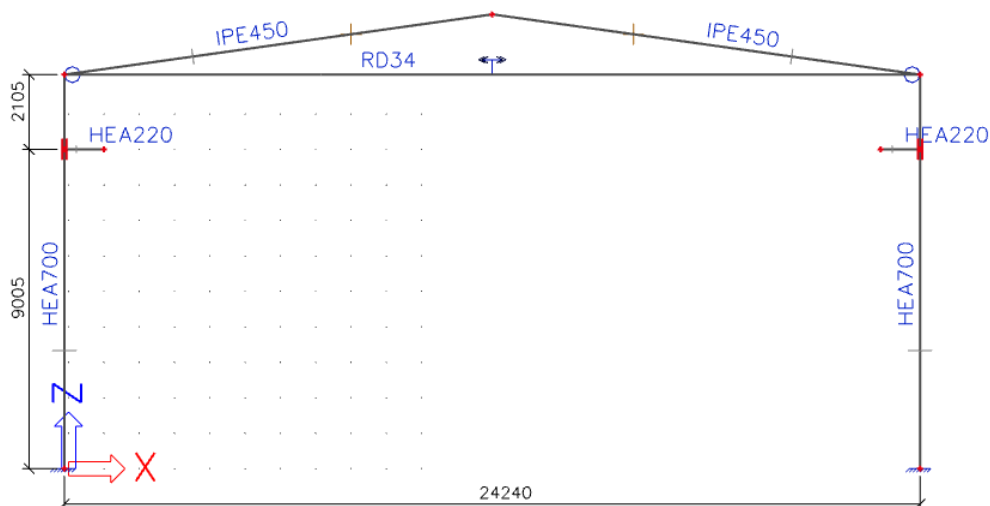
$$\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,60 \cdot 0,87 = 2,61 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}$$

## 7 Příčná vazba

### 7.1 Rám hlavní části haly

#### 7.1.1 Model konstrukce

Táhlo je připojeno k příčlím styčným plechem a čepem dle detailu předepsaného výrobcem a jedná se o prvek přenášející pouze osové síly. Běžné sloupy průřezu HEA700 mají vetknutou patku a příčle jsou ke sloupům připojeny momentovým přípojem. Příčle IPE450 jsou ve vrcholu spojeny také momentovým přípojem. Konzola jeřábové dráhy profilu HEA240 je připojena tuze ke sloupům.

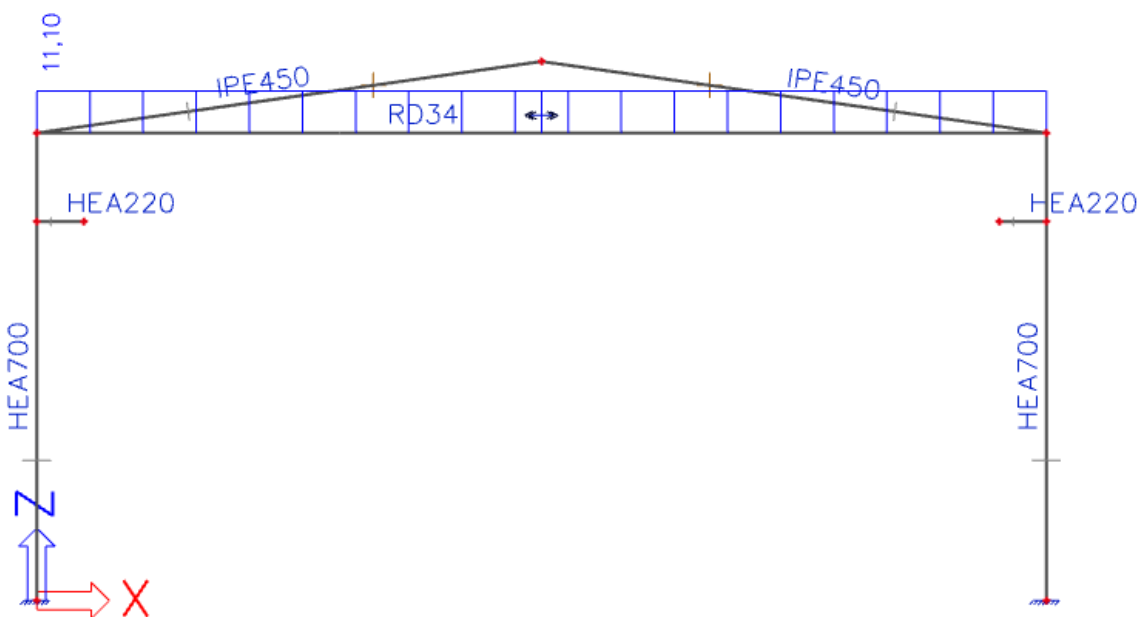


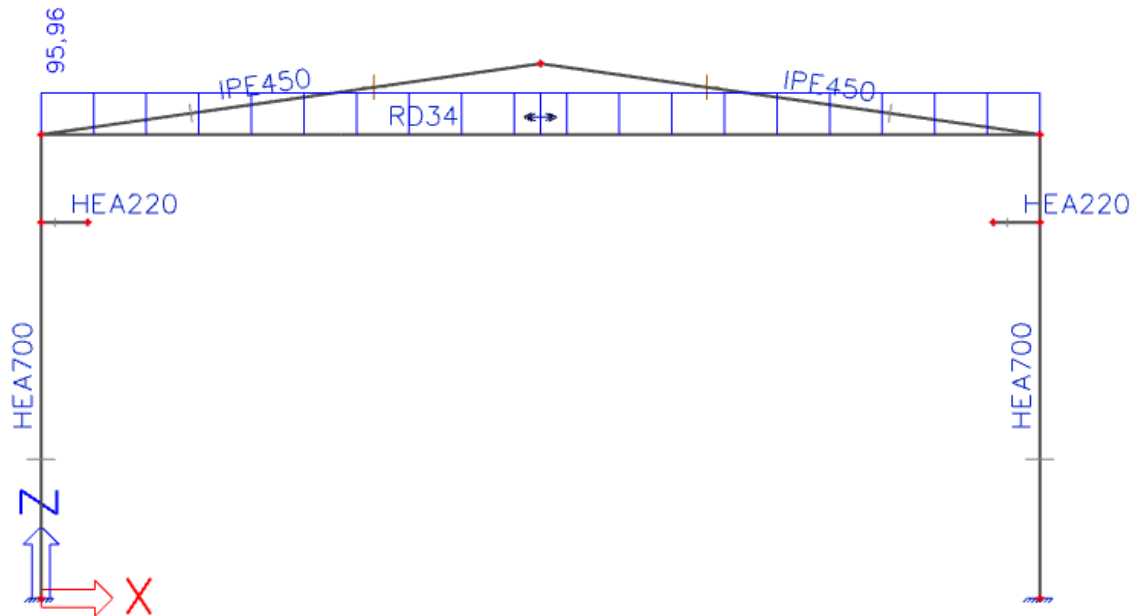
#### 7.1.2 Ocelové táhlo

Táhlo je navrženo tak, aby co nejvíce zamezilo svislým průhybům příčlím a vodorovným průhybům sloupů. Zároveň je předepnuto tak, aby v žádné z kombinací nevznikala v táhle normálová tlaková síla. Táhlo je navrženo s ohledem na jeho únosnost, tj. výrobcem deklarovaná  $N_{u,Rd} = 372 \text{ kN}$ .

Návrhová předpínací síla v táhle

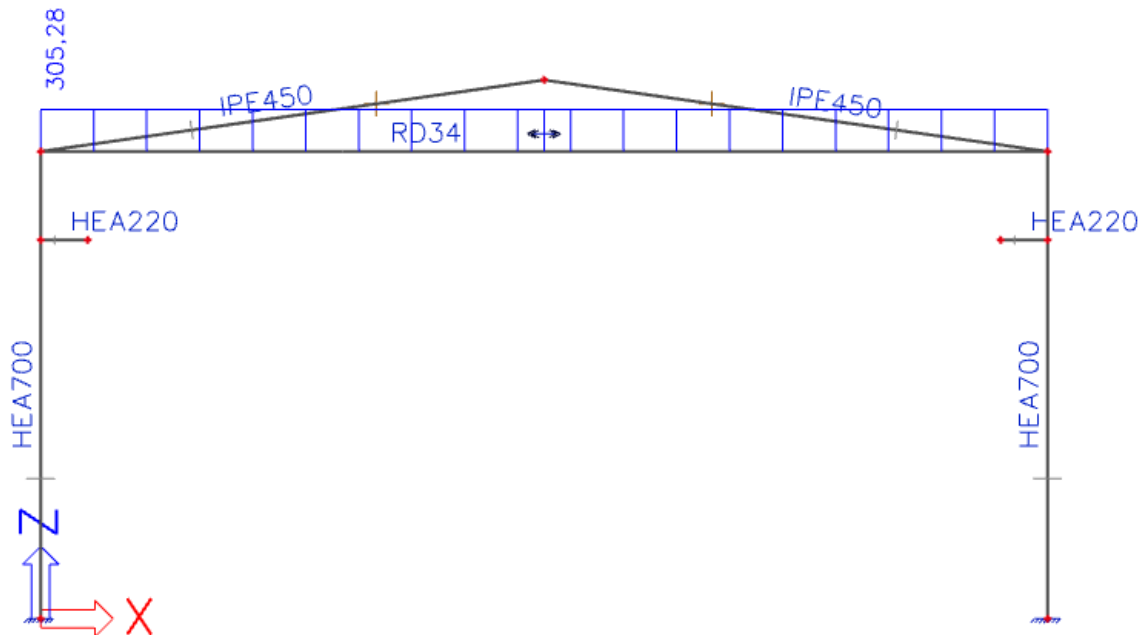
$$F_k = 95,96 - 11,10 = 85 \text{ kN}$$





Maximální návrhová normálová síla v táhle (kombinace ULS NC54)

$$N_{Ed} = 305,28 \text{ kN}$$



Navrhuji táhlo Macalloy M36, tj. RD34.

**Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení**

Závít	jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90*	M100*
Průměr táhla	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Minimální mez kluzu	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Minimální mez pevnosti	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Hmotnost táhla	Kg/m	0,50	0,75	1,40	2,20	3,00	4,80	7,10	9,40	12,50	16,70	22,20	32,00	41,50	46,70	58,00

Návrhová únosnost táhla

$$N_{u,Rd} = 372 \text{ kN}$$



Závit	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
d (mm)	9	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
$A_{net}$ (mm <sup>2</sup> )	54	79	150	234	339	541	793	1090	1434	1982	2616	3818	4867	5505	6895
$N_{u,Rd}$ (kN)	25,4	36,9	70,0	110,0	159	254	372	512	673	930	1228	1791	2283	2583	3235
$N_{el,Rd}$ (kN)	22,7	32,7	62,7	98,2	142	226	331	455	600	829	1095	1596	2035	2303	2884

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{305,28}{372} = \mathbf{0,821} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

### 7.1.3 Sloup

Návrh: HEA700

$$h = 690 \text{ mm}$$

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

$$c = 582 \text{ mm}$$

$$h_i = 636 \text{ mm}$$

$$t_f = 27 \text{ mm}$$

$$t_w = 14,5 \text{ mm}$$

$$A = 26\,050 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 11\,700 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 288 \text{ mm}$$

$$i_z = 68,4 \text{ mm}$$

$$I_y = 215\,300 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

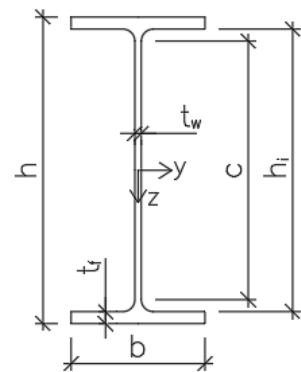
$$I_z = 12\,180 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 6\,241 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 7\,032 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

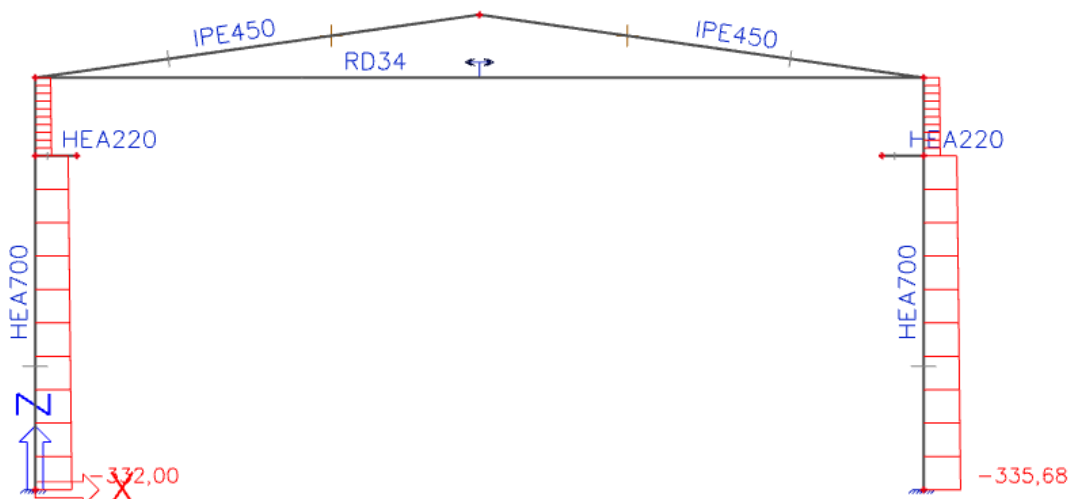
$$I_t = 513,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 13,35 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$$

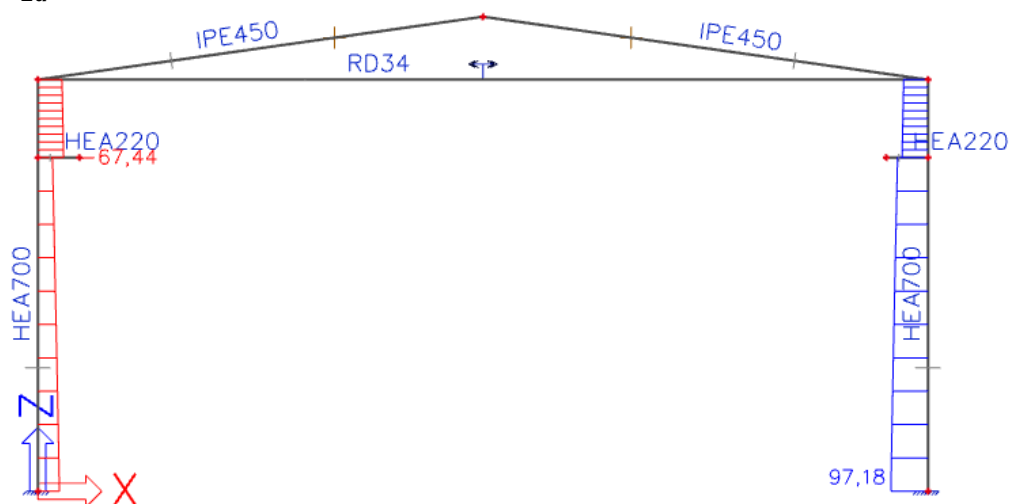


### Návrhové vnitřní síly (kombinace ULS NC17)

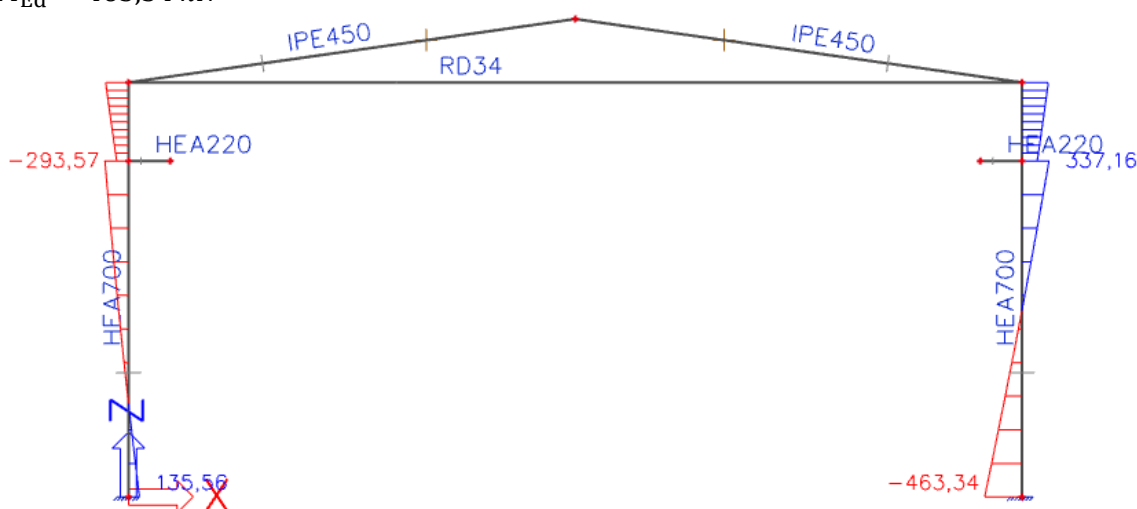
$$N_{Ed} = 335,68 \text{ kN}$$



$$V_{Ed} = 97,18 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = 463,34 \text{ kN}$$



### Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Pásnice

$$c/t_f = 115,8/27 = 4,289 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,329 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Stojina

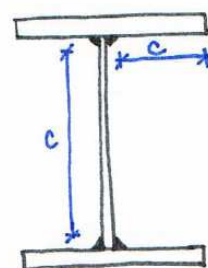
$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{335,68 \cdot 10^3}{14,5 \cdot 355} = 65,21 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{582 + 65,21}{2} = 323,61 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{323,61}{582} = 0,556 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 582/14,5 = 40,14 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,556 - 1} = 51,76 \rightarrow \text{Třída 1}$$



## Mezní stav únosnosti

### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$
$$\frac{335,68 \cdot 10^3}{26\,050 \cdot 355 / 1,0} + \frac{463,34 \cdot 10^6}{7\,032 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} = 0,036 + 0,186 = \mathbf{0,222} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{11\,700 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 2\,398,0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 97,18 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 2\,398,0 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = \mathbf{97,18 \text{ kN}} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 2\,398,0 \text{ kN} = \mathbf{1\,199 \text{ kN}}$$

→ Nejedná se o velký smyk.

### Stabilita

#### Vzpěrná únosnost

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 11\,110 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 9\,110 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{11\,110}{288} = 38,58$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{9\,110}{68,4} = 133,19$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{38,58}{76,4} = 0,505$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{133,19}{76,4} = 1,782$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

$$\text{Křivka „a“} \quad \chi_y = 0,920$$

$$\text{Křivka „b“} \quad \chi_z = 0,257$$

V rovině rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{335,68 \cdot 10^3}{0,920 \cdot 26\,050 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,039} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

Z roviny rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{335,68 \cdot 10^3}{0,257 \cdot 26\,050 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,141} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

## Klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,952 \cdot 7\,032 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = 2\,376,53 \text{ kNm}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,609 + \sqrt{0,609^2 - 0,75 \cdot 0,485^2}} = 0,952$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,485 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,485^2] = 0,609$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7\,032 \cdot 10^3 \cdot 355}{5\,150,3 \cdot 10^6}} = 0,485$$

Součinitele

$$h/b = 690/300 = 2,3 \rightarrow \text{křivka klopení „c“}$$

$$\alpha_{LT} = 0,49$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

Kritický moment je vypočten softwarem LTBeam viz příloha

$$M_{cr} = 5\,150,3 \text{ kNm}$$

## Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{463,34}{2\,376,53} = 0,153 \leq 1$$

## Interakce tlaku s ohybem

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 26\,050 \cdot 355 = 9\,247,75 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{ply} \cdot f_{yk} = 7\,032 \cdot 10^3 \cdot 355 = 2\,496,36 \text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$  a  $k_{zy}$

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{m,LT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,728) = 0,309 < 0,4 \rightarrow C_{m,LT} = 0,4$$

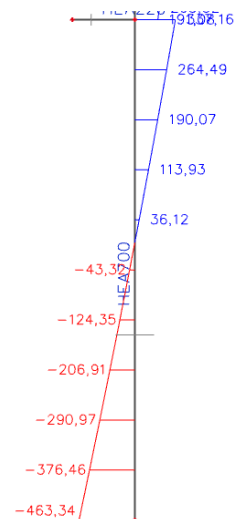
$$\psi = \frac{337,16}{-463,34} = -0,728$$

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot \left( 1 + (0,505 - 0,2) \cdot \frac{335,68 \cdot 10^3}{0,920 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ 0,9 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{335,68 \cdot 10^3}{0,920 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,911; 0,928\} = 0,911$$

Vyhovuje.



$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 1,782}{0,4 - 0,25} \cdot \frac{335,68 \cdot 10^3}{0,257 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{0,4 - 0,25} \cdot \frac{335,68 \cdot 10^3}{0,257 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = \min \{0,832; 0,906\} = \mathbf{0,832}$$

### Podmínky únosnosti

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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

$$\frac{335,68 \cdot 10^3}{0,920 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1}} + 0,911 \cdot \frac{463,34 \cdot 10^6}{0,952 \cdot \frac{2\,496,36 \cdot 10^6}{1}} = 0,039 + 0,178 = \mathbf{0,217} \leq 1$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

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

$$\frac{335,68 \cdot 10^3}{0,257 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1}} + 0,832 \cdot \frac{463,34 \cdot 10^6}{0,952 \cdot \frac{2\,496,36 \cdot 10^6}{1}} = 0,141 + 0,162 = \mathbf{0,303} \leq 1$$

Vyhovuje.

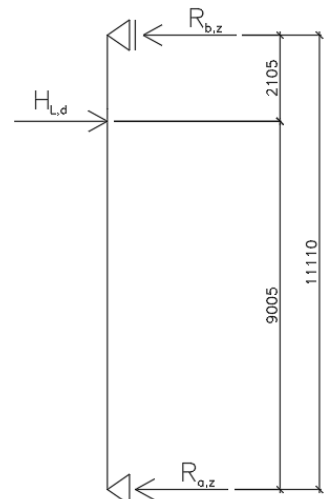
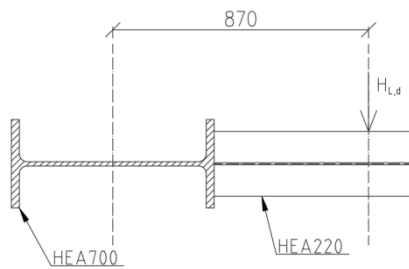
### Kroucení

Posouzení namáhání na účinek kroucení způsobený vodorovnou silou  $H_{Ld}$ .

$$R_{b,z} = \frac{H_{Ld} \cdot 9,31}{l} = \frac{11,04 \cdot 9,005}{11,11} = 8,948 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = R_{b,z} \cdot 2,105 = 8,948 \cdot 2,105 = 18,836 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{h}{2} + l_{\text{konzola}} = \frac{690}{2} + 525 = 870 \text{ mm}$$



$$K_t = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}} = 11\,110 \cdot \sqrt{\frac{81\,000 \cdot 513,9 \cdot 10^4}{210\,000 \cdot 13,35 \cdot 10^{12}}} = 4,281$$

Kroutící zatížení obecné, vetknutí  $\rightarrow \alpha = 6,9$  a  $\beta = 1,14$

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = \frac{1}{1,14 + \left(\frac{6,9}{4,281}\right)^2} = 0,268$$

$$B_{Ed} = M_{z,Ed} \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 18,836 \cdot 0,870 \cdot (1 - 0,268) = 11,996 \text{ kNm}^2$$

$$B_{Rk} = \frac{I_w \cdot f_y}{\omega_{\max}} = \frac{13,35 \cdot 10^{12} \cdot 355}{54\,750} = 86,562 \text{ kNm}^2$$

$$\omega_{\max} = \frac{b \cdot h}{4} = \frac{300 \cdot 690}{4} = 51\,750 \text{ mm}^2$$

$$k_w = 0,7 - \frac{0,2 \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 11,996}{\frac{86,562}{1,0}} = 0,682$$

$$k_{zw} = 1 - \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{18,836 \cdot 10^6}{1\,257 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,958$$

$$k_a = \frac{1}{1 - \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{463,34 \cdot 10^6}{5\,150,3 \cdot 10^6}} = 1,099$$

Posouzení

$$\frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{0,682 \cdot 0,958 \cdot 1,099 \cdot 11,996}{\frac{86,562}{1,0}} = \mathbf{0,010} \leq \mathbf{1,0}$$

Príspevek od kroucení je 10 % → průřez sloupu má jak při vzpěru a klopení, tak při únosnosti dostatečnou rezervu a vyhoví. Rezerva ve sloupu je poměrně velká, protože rozhodujícím kritériem při dimenzování sloupu byl vodorovný průhyb v místě podepření jeřábové dráhy a zde bylo potřeba použít profil s dostatečně velkým momentem setrvačnosti k ose „y“.

### Smykové napětí

Jelikož je v patě sloupu deplanaci průřezu zabráněno, je sloup posouzen pouze na účinky vázaného kroucení. Účinky volného kroucení lze zanedbat.

$$T_{w,Ed} = H_{Ld} \cdot e = 11,040 \cdot 0,87 = 9,605 \text{ kNm}$$

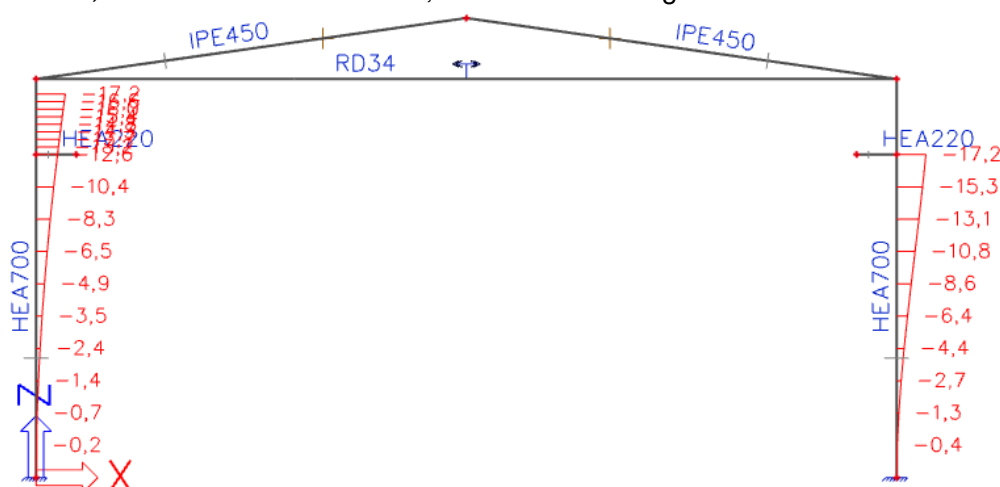
$$S_w = \frac{(h - t_f) \cdot b^2 \cdot t}{16} = \frac{(690 - 27) \cdot 300^2 \cdot 27}{16} = 100,693 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_w = \frac{T_{w,Ed} \cdot S_w}{t \cdot I_w} = \frac{9,605 \cdot 10^6 \cdot 100,693 \cdot 10^6}{31 \cdot 13,35 \cdot 10^{12}} = 2,337 \text{ MPa} \rightarrow \text{Malý smyk.}$$

### Mezní stav použitelnosti

Vodorovný průhyb sloupu v místě uložení jeřábové dráhy

$w = 17,2 \text{ mm}$  kombinace SLS24, software Scia Engineer

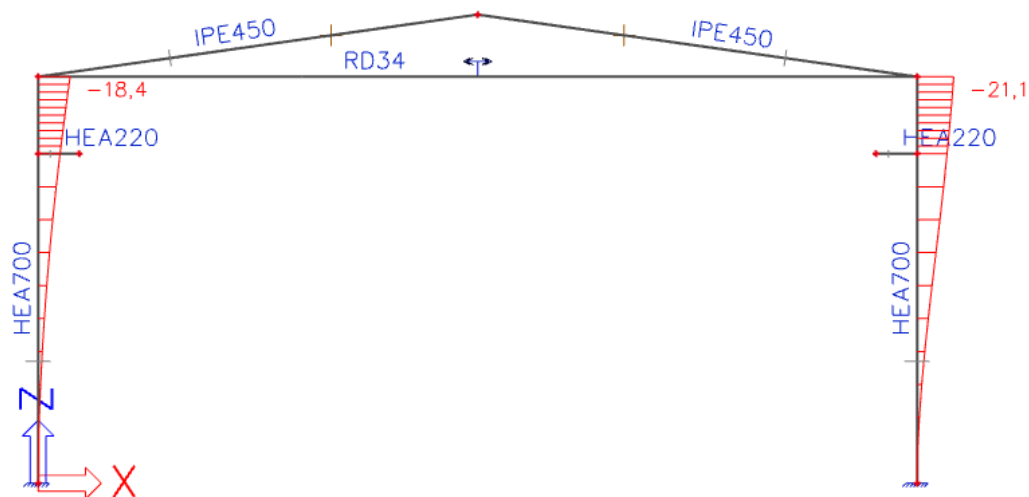


$$w = 17,2 \text{ mm} \leq \frac{L}{450} = \frac{9\,110}{450} = 20,24 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

Vodorovný průhyb v hlavě sloupu

$w = 21,1 \text{ mm}$  kombinace SLS24, software Scia Engineer



$$w = 21,1 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{11110}{250} = 44,44 \text{ mm}$$

#### 7.1.4 Příčel

Návrh: IPE450

$$A = 9882 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 5085 \text{ mm}^2$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

$$b = 190 \text{ mm}$$

$$c = 378,8 \text{ mm}$$

$$t_f = 14,6 \text{ mm}$$

$$t_w = 9,4 \text{ mm}$$

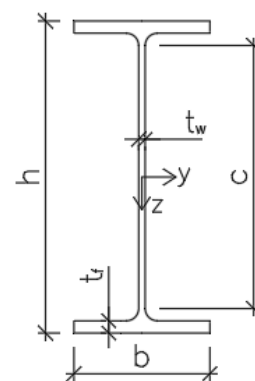
$$i_y = 185 \text{ mm}$$

$$i_z = 41,2 \text{ mm}$$

$$I_y = 33740 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

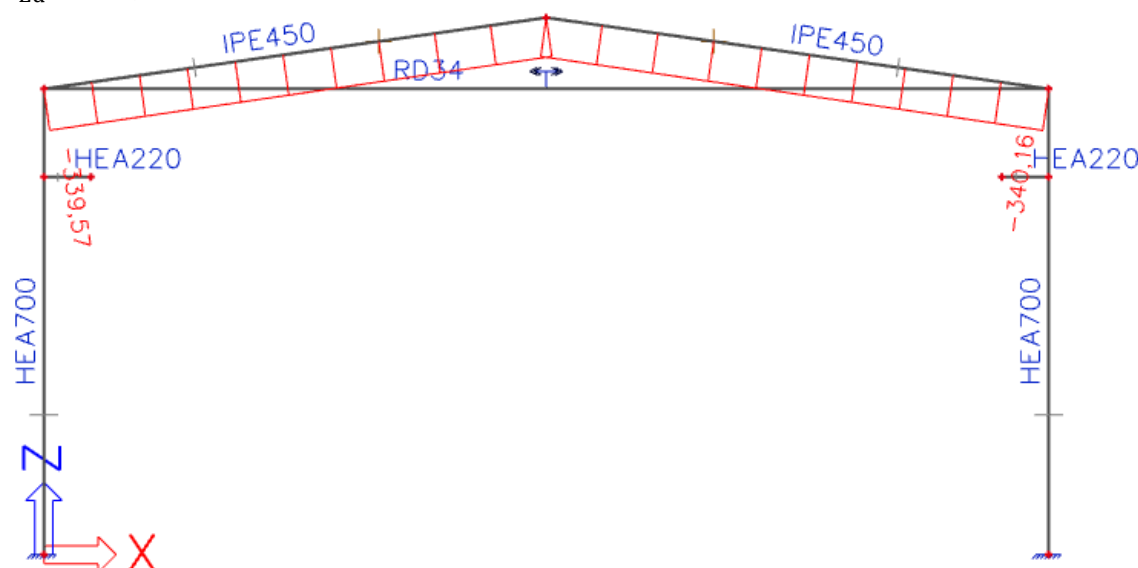
$$W_{pl,y} = 1702 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Vyhovuje.

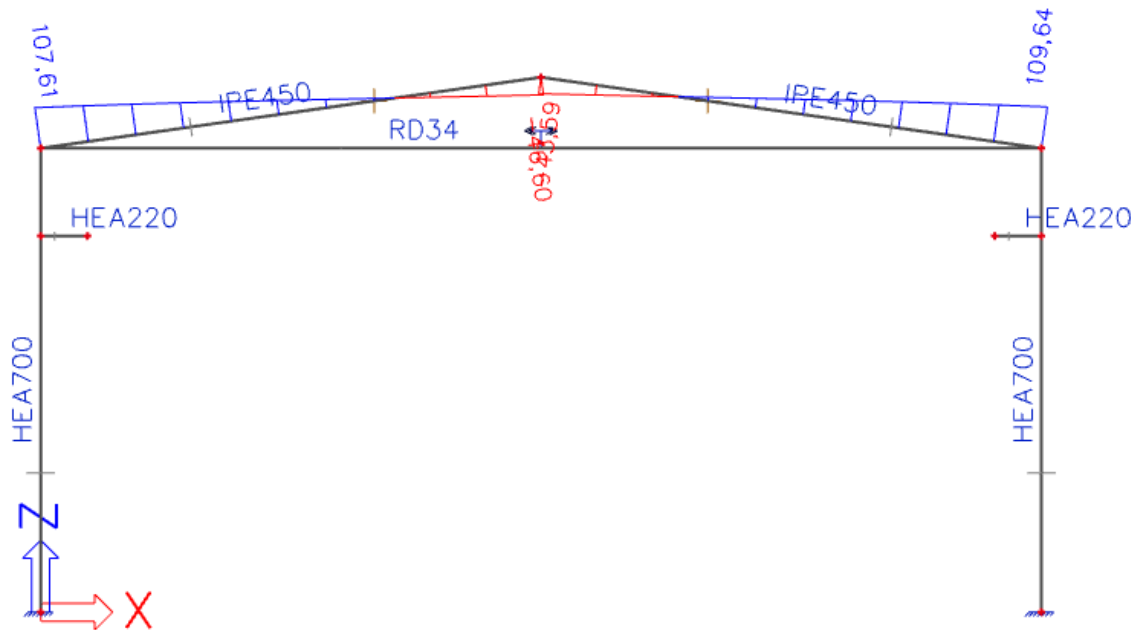


#### Návrhové vnitřní síly (kombinace ULS NC53)

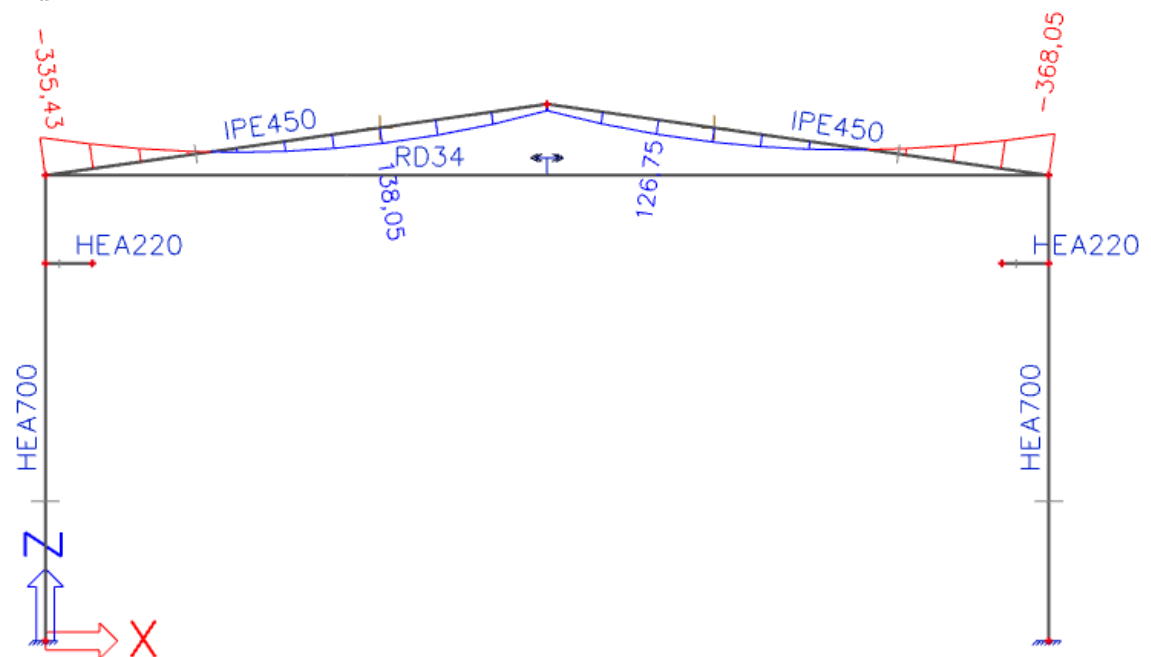
$$N_{Ed} = 340,16 \text{ kN}$$



$$V_{Ed} = 109,64 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = 368,05 \text{ kNm}$$



### Zatřídění průřezu

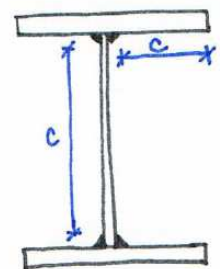
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Pásnice

$$c/t_f = 69,3/14,6 = 4,75 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,329 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Stojina

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{340,16 \cdot 10^3}{9,4 \cdot 355} = 101,94 \text{ mm}$$





$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{378,8 + 101,94}{2} = 240,37 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{240,37}{378,8} = 0,635 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 378,8 / 9,4 = 40,3 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,635 - 1} = 44,4 \rightarrow \text{Třída 1}$$

### Mezní stav únosnosti

#### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{340,16 \cdot 10^3}{9\,882 \cdot 355 / 1,0} + \frac{368,05 \cdot 10^6}{1\,702 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} = 0,097 + 0,609 = \mathbf{0,706} \leq 1,0$$

Vyhovuje.

#### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{5\,085 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1\,042,22 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 109,64 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 1\,042,22 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = \mathbf{109,64 \text{ kN}} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 1\,042,22 \text{ kN} = \mathbf{521,11 \text{ kN}}$$

→ Nejedná se o velký smyk.

### Stabilita

#### Vzpěrná únosnost

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 24\,240 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 4\,040 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{24\,240}{185} = 131,03$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4\,040}{41,2} = 98,058$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{131,03}{76,4} = 1,715$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{98,058}{76,4} = 1,284$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

Křivka „a“  $\chi_y = 0,295$

Křivka „b“  $\chi_z = 0,434$

V rovině rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{340,16 \cdot 10^3}{0,295 \cdot 9\,882 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,329} \leq 1,0$$

Vyhovuje.

Z roviny rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{340,16 \cdot 10^3}{0,434 \cdot 9\,882 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,223} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

**Klopení**

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,884 \cdot 1\,702 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1} = \mathbf{534,12 \text{ kNm}}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,686 + \sqrt{0,686^2 - 0,75 \cdot 0,603^2}} = 0,884$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,603 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,603^2] = 0,686$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1\,702 \cdot 10^3 \cdot 355}{1663,3 \cdot 10^6}} = 0,603$$

Součinitele

$$h/b = 450/190 = 2,37 \rightarrow \text{křivka klopení „c“}$$

$$\alpha_{LT} = 0,49$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

Kritický moment je vypočten softwarem LTBeamviz příloha č. 3.3.

$$M_{cr} = \mathbf{1663,3 \text{ kNm}}$$

**Posouzení**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{368,05}{534,12} = \mathbf{0,689} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

**Interakce tlaku s ohybem**

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 9\,882 \cdot 355 = 3\,508,11 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 1\,702 \cdot 10^3 \cdot 355 = 604,21 \text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$  a  $k_{zy}$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,154) = 0,223 < 0,4 \rightarrow C_{m,LT} = 0,4$$

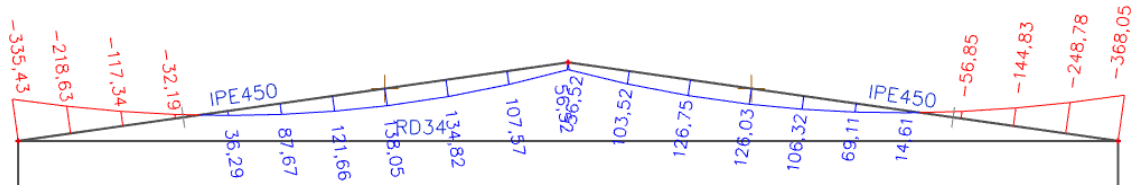
$$M_h = -368,05 \text{ kNm}$$

$$M_s = 56,52 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{56,52}{-368,05} = -0,154$$

$$\psi \cdot M_h = -335,47 \text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{-335,43}{-368,05} = 0,911$$

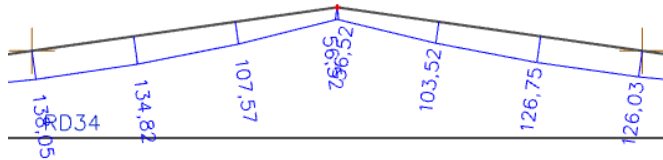


$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,409 = 0,764$$

$$M = 56,52 \text{ kNm}$$

$$\psi M = 138,05 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0,409$$



$C_{my}$  a  $C_{m,LT}$  jsou vypočteny postupem vyznačeným v Tabulce B.3 uvedené v Eurokódu CSN EN 1993-1-1, viz níže

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot \left( 1 + (1,715 - 0,2) \cdot \frac{340,16 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ 0,4 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{340,16 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,599; 0,505\} = \mathbf{0,505}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 1,284}{0,764 - 0,25} \cdot \frac{340,16 \cdot 10^3}{0,434 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ \left( 1 - \frac{0,1}{0,764 - 0,25} \cdot \frac{340,16 \cdot 10^3}{0,434 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \min \{0,944; 0,957\} = \mathbf{0,944}$$

### Podmínky únosnosti

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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

$$\frac{340,16 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,505 \cdot \frac{368,05 \cdot 10^6}{0,884 \cdot \frac{604,21 \cdot 10^6}{1,0}} = 0,329 + 0,348 = \mathbf{0,677} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

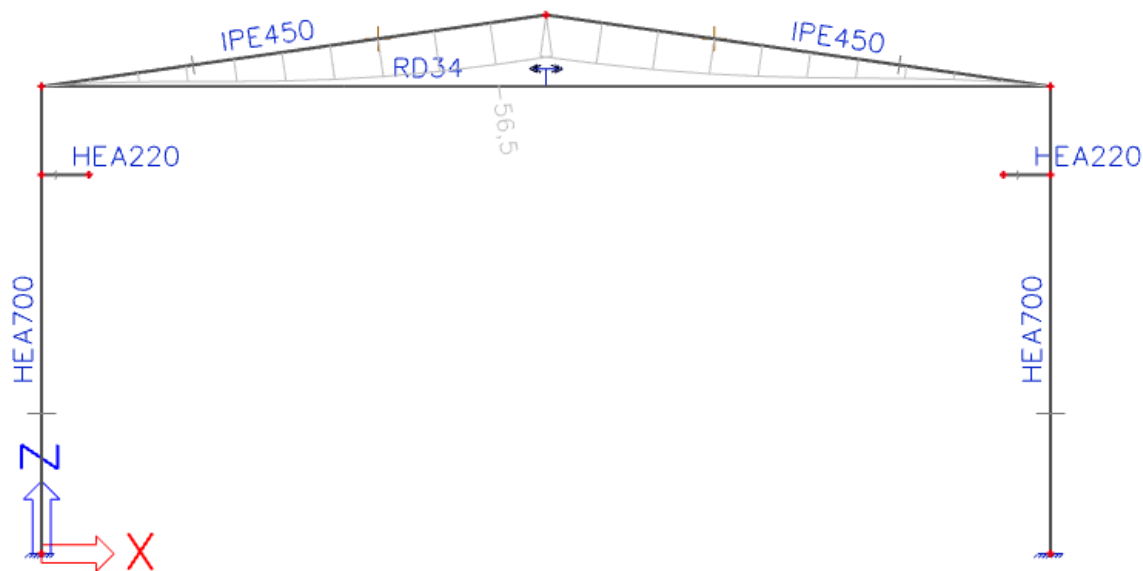
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{340,16 \cdot 10^3}{0,434 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,944 \cdot \frac{368,05 \cdot 10^6}{0,884 \cdot \frac{604,21 \cdot 10^6}{1,0}} = 0,223 + 0,650 = \mathbf{0,874} \leq 1$$

Vyhovuje.

**Mezní stav použitelnosti – průhyb**

$w = 56,5 \text{ mm}$  kominace SLS25, software SciaEngineer 18



$$w = 56,5 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{24\,240}{250} = 97 \text{ mm}$$

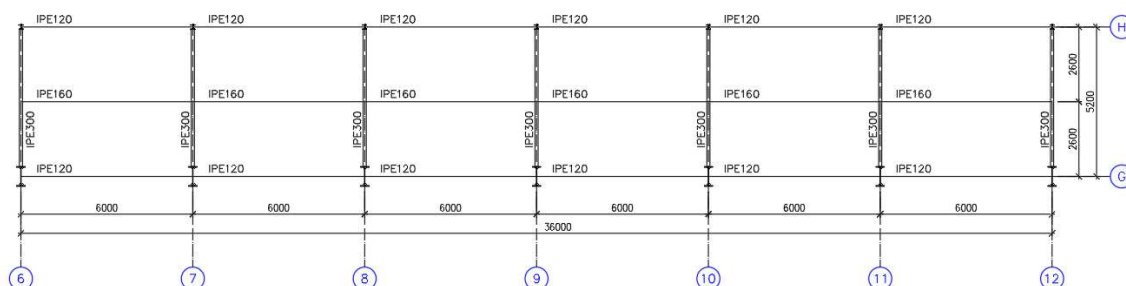
Vyhovuje.

## 7.2 Rám s administrativní částí haly

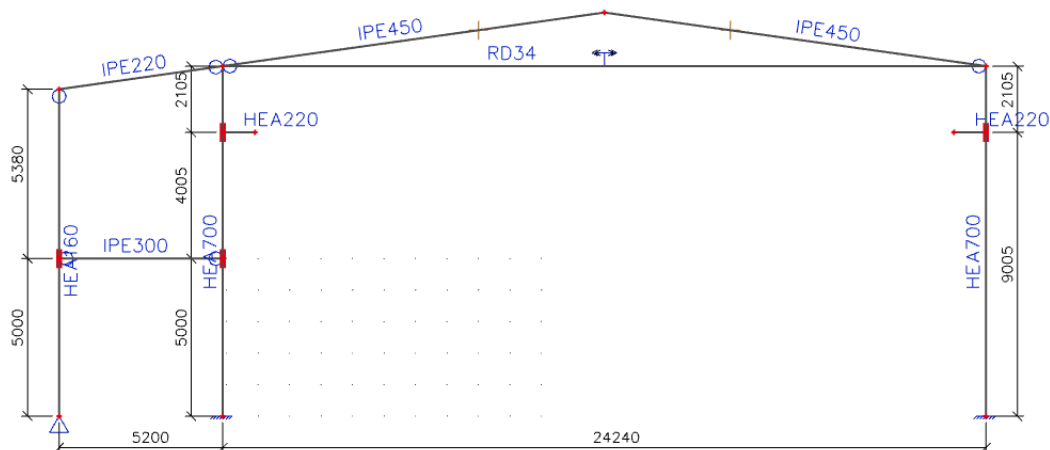
### 7.2.1 Model konstrukce

Táhlo je připojeno k příčlím styčným plechem a čepem dle detailu předepsaného výrobcem a jedná se o prvek přenášející pouze osové síly. Běžné sloupy průřezu HEA700 mají vetknutou patku a k příčlím jsou připojeny momentovým přípojem. Konzola jeřábové dráhy profilu HEA240 je připojena tuze ke sloupům. Příčle IPE450 jsou ve vrcholu spojeny také momentovým přípojem. Vnější sloup administrativní části profilu HEA160 je uložen kloubově na patce. Střešní příčle IPE220 je uložena kloubově na sloupy. Stropní konstrukci administrativní části tvoří nosníky IPE300, které jsou součástí rámu a jsou připojeny kloubově na sloupy. Dále jsou součástí stropu středové stropnice IPE160 a na kraji jsou navrženy stropnice profilu IPE120. Trapézový plech je pak umístěn na stropnice a nosníky administrativních prostor.

Schéma stropní konstrukce administrativní části



Pro tento rám jsou vytvořeny modely dva. Tyto modely se liší pouze zatěžovacími stavy větru. Myšlenka je lépe patrná v příloze č. 2, kde jsou vyobrazeny všechny zatěžovací stavy. Rozlišují dva směry větru a to: jeden vanoucí zleva doprava, který budu označovat písmenem „L“, druhý pak budu označovat písmenem „P“, kdy vítr bude působit zprava doleva. Tato písmena vždy uvedu u rozhodující kombinace, aby bylo patrné, na kterém modelu jsou dané vnitřní síly rozhodující.

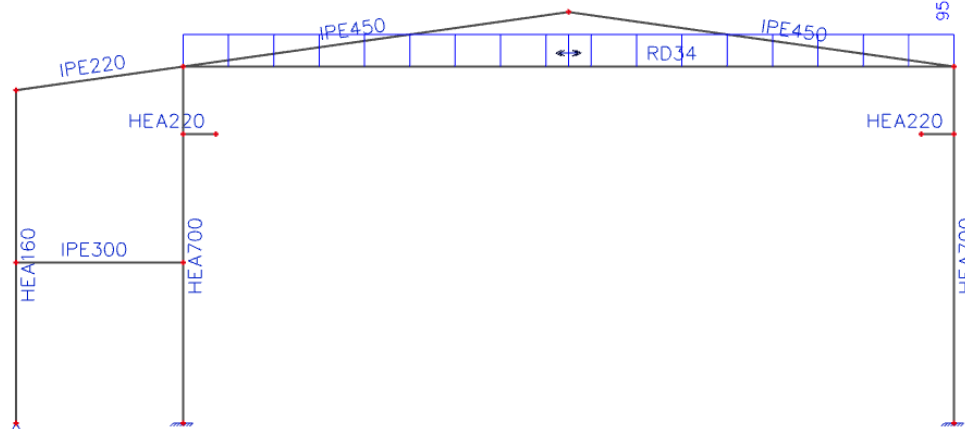
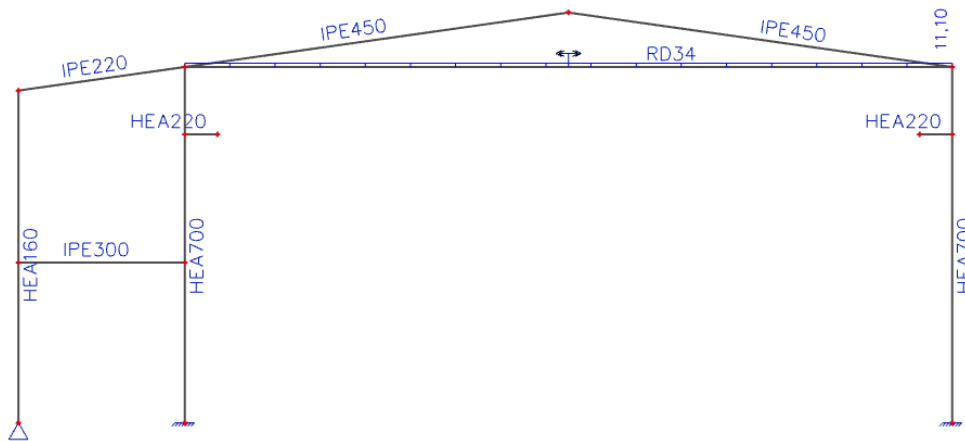


### 7.2.2 Ocelové táhlo

Táhlo i předpínací síla jsou stejné, jako pro rám hlavní části haly. Zde je znovu ověřena únosnost táhla.

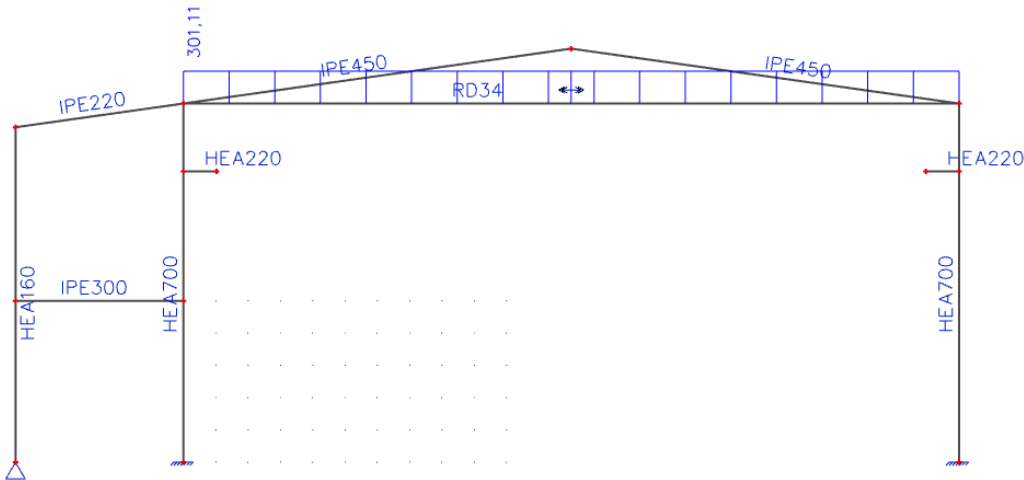
Návrhová předpínací síla v táhle

$$F_k = 95,96 - 11,10 = 85 \text{ kN}$$



Maximální návrhová normálová síla v táhle

$$N_{Ed} = 301,11 \text{ kN}$$



Navrhuji táhlo Macalloy M36, tj. RD34.

Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení

Závět	jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90*	M100*
Průměr táhla	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Minimální mez kluzu	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Minimální mez pevnosti	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Hmotnost táhla	Kg/m	0,50	0,75	1,40	2,20	3,00	4,80	7,10	9,40	12,50	16,70	22,20	32,00	41,50	46,70	58,00



## Návrhová únosnost táhla

$$N_{u,Rd} = 372 \text{ kN}$$

Závít	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
d (mm)	9	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
$A_{net}$ (mm <sup>2</sup> )	54	79	150	234	339	541	793	1090	1434	1982	2616	3818	4867	5505	6895
$N_{u,Rd}$ (kN)	25,4	36,9	70,0	110,0	159	254	372	512	673	930	1228	1791	2283	2583	3235
$N_{el,Rd}$ (kN)	22,7	32,7	62,7	98,2	142	226	331	455	600	829	1095	1596	2035	2303	2884

## Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{301,11}{372} = 0,809 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

## 7.2.3 Stropní konstrukce administrativní části

Stropní konstrukci tvoří nosník z válcovaného profilu IPE300 a stropnice krajové o průřezu IPE120, které jsou připojeny kloubově ke sloupům v podélném směru, spolu se stropnicemi středovými profilu IPE160, které jsou kloubově připojeny k nosníku IPE300. Na nosníky a stropnice je uložen trapézový plech TR50/250/0,75, na který jsou přivařeny spřahovací trny. Na trapézovém plechu je železobetonová deska, která je spřáhnutá s trapézovým plechem.

### 7.2.3.1 Středová stropnice

Návrh: IPE160

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

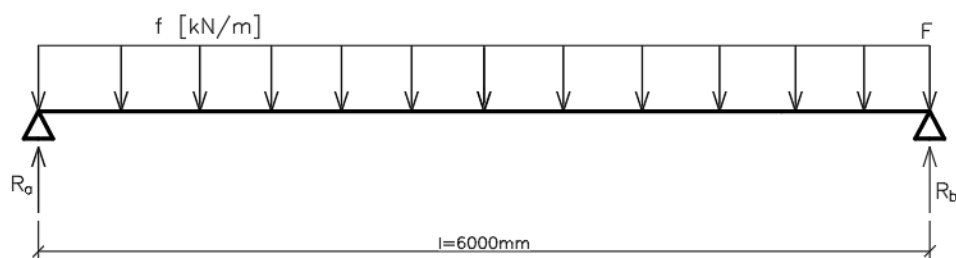
$$b = 82 \text{ mm}$$

$$A = 2\,009 \text{ mm}^2$$

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

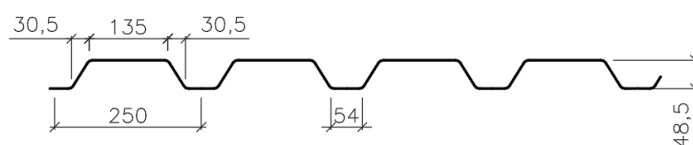
$$W_{pl,y} = 123,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 869,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$



### Srovnaná výška betonové desky

TR 50/250



$$t = 75 + 50 \cdot \frac{45 + 30,5}{250} = 90,1 \text{ mm}$$

$$\text{Zatěžovací šířka } b_{zat} = \frac{5,2}{2} = 2,6 \text{ m}$$

$$\text{Efektivní šířka } b_{\text{eff}} = 2 \cdot \frac{L_e}{8} = 2 \cdot \frac{5,2}{8} = 1,3 \text{ m}$$

Zatížení (podlaha v kanceláři)

Vrstva	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_F$ [-]	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
PVC	0,025	1,35	0,034
Kročejová izolace tl. 20 mm	0,036	1,35	0,049
Železobeton tl. 100 mm	2,500	1,35	3,375
Trapézový plech TR50/250/0,75	0,075	1,35	0,101
<b>Celkem</b>	<b>2,636</b>		<b>3,559</b>

Vlastní tíha nosníku  $g_{\text{IPE}} = 0,158 \text{ kN/m}$

Stropní konstrukce  $g_{\text{strop}} = 2,64 \text{ kN/m}^2$

Celkem stálé:  $g_k = g_{\text{IPE}} + g_{\text{strop}} \cdot b_{\text{zat}} = 0,158 + 2,64 \cdot 2,6 = 7,02 \text{ kN/m}$

Proměnné zatížení

Užitné kategorie B  $q_{\text{katB}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Celkem proměnné:  $q_k = q_{\text{katB}} \cdot b_{\text{zat}} = 2,5 \cdot 2,6 = 6,50 \text{ kN/m}$

Kombinace

$f_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 1,35 \cdot 7,02 + 1,5 \cdot 6,50 = 19,23 \text{ kN/m}$

Vnitřní síly

$$V_{\text{Ed}} = \frac{1}{2} \cdot f \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 19,23 \cdot 6 = 57,69 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed}} = \frac{1}{8} \cdot f \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 19,23 \cdot 6^2 = 86,54 \text{ kNm}$$

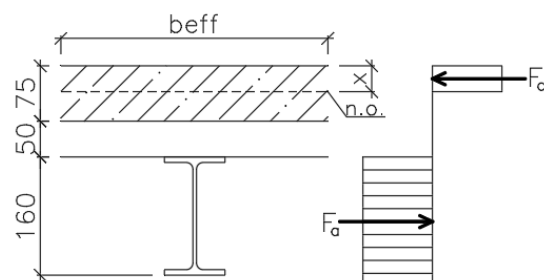
Beton C25/30

$$f_{\text{cd}} = 0,85 \cdot \frac{f_{\text{ck}}}{\gamma_M} = 0,85 \cdot \frac{25}{1,5} = 14,2 \text{ MPa}$$

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

$$x = \frac{2\,009 \cdot 355}{1\,300 \cdot 14,2} = 38,63 \text{ mm}$$

→ Neutrální osa leží v betonové desce.



**Výpočet momentové únosnosti**

$$z = \frac{160}{2} + 75 + 50 - \frac{38,63}{2} = 185,69 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,Rd}} = N_a \cdot z = 2\,009 \cdot 355 \cdot 185,69 = 132,43 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 86,54 \text{ kNm} \leq 132,43 \text{ kNm}$$

Vyhovuje.

**Smyková únosnost**

$$V_{\text{Ed}} = 57,69 \text{ kN} \leq V_{\text{pl,Rd}} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} = \frac{966 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 197,99 \text{ kN}$$

Vyhovuje.



## Návrh spřažení

Únosnost jednoho trnu

$d = 19 \text{ mm}$  průměr trnu

$h_{sc} = 100 \text{ mm}$  délka trnu

$f_u = 360 \text{ MPa}$  S235

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,8 \cdot 360 \cdot \frac{\pi \cdot 19^2}{4} = 81,656 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} = 0,29 \cdot 1,0 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 31\,000} = 92,163 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(81,656 \text{ kN}; 92,163 \text{ kN}) = 81,656 \text{ kN}$$

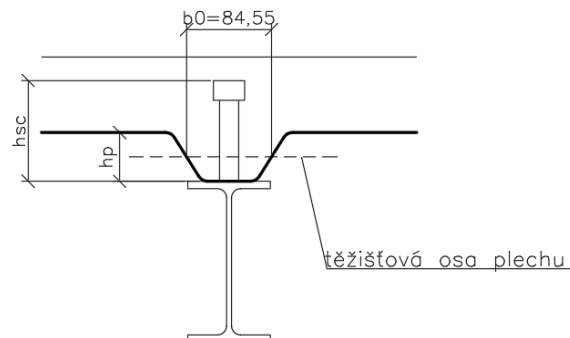
$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{81,656}{1,25} = 65,325 \text{ kN}$$

$$\alpha = 1,0 \rightarrow \frac{h_{sc}}{d} = \frac{100}{19} = 5,3 > 4$$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left( \frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right)$$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{85,44}{50} \cdot \left( \frac{100}{50} - 1 \right) = 1,196$$

$$n_r = 1 \quad \text{počet trnů v žebře}$$



Podmínka pro plechy s tloušťkou menší než 1 mm:  $k_t \leq 0,85$

Únosnost trnu v žebře

$$P_{Rd}' = P_{Rd} \cdot k_t = 65,325 \cdot 0,85 = 55,53 \text{ kN}$$

Síla při plném smykovém spojení

$$n = \frac{N_a}{P_{Rd}'} = \frac{2\,009 \cdot 355}{55\,530} = 12,8 \rightarrow 13 \text{ trnů}$$

Na plech TR50/250 je možno umístit na jednu polovinu stropnice o délce 6 000 mm  
 $3\,000/250 = 12$  trnů

## Neúplné spřažení

$$F_c = \frac{M_{Ed} - M_{a,pl,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{a,pl,Rd}} \cdot F_{ct} = \frac{86,54 - 43,99}{132,46 - 43,99} \cdot 2\,009 \cdot 355 = 343,01 \text{ kN}$$

$$M_{a,pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y = 123,9 \cdot 10^3 \cdot 355 = 43,99 \text{ kNm}$$

$$n_r = \frac{F_{ct}}{P_{Rd}'} = \frac{343,01}{55,53} = 6,2 \rightarrow 8 \text{ trnů}$$

## Posouzení napětí MSP

Vnitřní síly

$$M_{Ek} = \frac{1}{8} \cdot (g + q)_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot (7,02 + 6,50) \cdot 6^2 = 60,84 \text{ kNm}$$

$$\bar{E}_c = 0,5 \cdot E_{cm} = 0,5 \cdot 31\,000 = 15\,500 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{\bar{E}_c} = \frac{210\,000}{15\,500} = 13,55$$

Plocha ideálního průřezu

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 2\,009 + \frac{1\,300 \cdot 75}{13,55} = 9\,205 \text{ mm}^2$$

Těžiště ideálního průřezu

$$z_i = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{A_c \cdot z_c}{n}}{A_i} = \frac{2\,009 \cdot \frac{160}{2} + \frac{1\,300 \cdot 75 \cdot (160 + 50 + \frac{75}{2})}{13,55}}{9\,205} = 210,93 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$I_i = (I_a + A_a \cdot r_a^2) + \left( \frac{I_c + A_c \cdot r_c^2}{n} \right) \\ = \left( 869,3 \cdot 10^4 + 2\,009 \cdot \left( 210,93 - \frac{160}{2} \right)^2 \right) \\ + \left( \frac{\frac{1}{12} \cdot 1\,300 \cdot 75^3 + 1\,300 \cdot 75 \cdot (247,5 - 210,93)^2}{13,55} \right) = 56,13 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Maximální napětí v oceli

$$\sigma_{a,\max} = \frac{M_{EK}}{I_i} \cdot z_d = \frac{60,84 \cdot 10^6}{56,13 \cdot 10^6} \cdot 210,93 = 228,63 \text{ MPa} \leq f_y = 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

Maximální napětí v betonu

$$\sigma_{c,\max} = \frac{M_{EK}}{n \cdot I_i} \cdot z_d = \frac{60,84 \cdot 10^6}{13,55 \cdot 56,13 \cdot 10^6} \cdot (285 - 210,93) = 5,93 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,\max} = 5,93 \text{ MPa} \leq 0,85 \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 25 = 21,25 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

Posouzení průhybu MSP

$$w_k = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_k \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{13,52 \cdot 6\,000^4}{210\,000 \cdot 56,13 \cdot 10^6} = 19,36 \text{ mm} \\ w_k = 19,36 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{6\,000}{250} = 24,0 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

### 7.2.3.2 Krajová stropnice

Návrh: IPE120

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

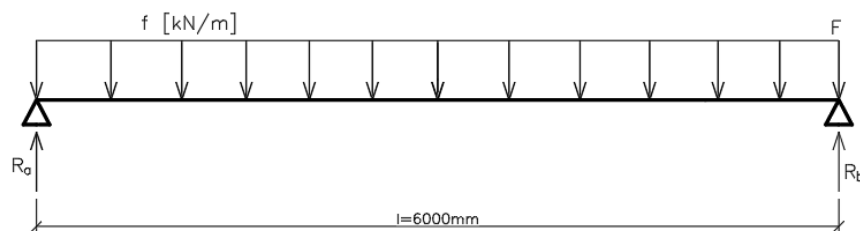
$$b = 64 \text{ mm}$$

$$A = 1\,321 \text{ mm}^2$$

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

$$W_{pl,y} = 60,73 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 317,8 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

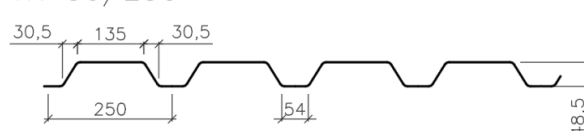


Srovnaná výška betonové desky

$$t = 75 + 50 \cdot \frac{45 + 30,5}{250} = 90,1 \text{ mm}$$

$$\text{Zatěžovací šířka } b_{zat} = \frac{5,2}{4} = 1,3 \text{ m}$$

TR 50/250



$$\text{Efektivní šířka } b_{\text{eff}} = \frac{L_e}{8} = \frac{5,2}{8} = 0,65 \text{ m}$$

### Zatížení

Vrstva	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_F$ [-]	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
PVC	0,025	1,35	0,034
Kročejová izolace tl. 20 mm	0,036	1,35	0,049
Železobeton tl. 100 mm	2,500	1,35	3,375
Trapézový plech TR50/250/0,75	0,075	1,35	0,101
<b>Celkem</b>	<b>2,636</b>		<b>3,559</b>

### Stálé zatížení

$$\text{Vlastní tíha nosníku } g_{\text{IPE}} = 0,104 \text{ kN/m}$$

$$\text{Stropní konstrukce } g_{\text{strop}} = 2,64 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Celkem stálé: } g_k = g_{\text{IPE}} + g_{\text{strop}} \cdot b_{\text{zat}} = 0,104 + 2,64 \cdot 1,3 = 3,54 \text{ kN/m}$$

### Proměnné zatížení

$$\text{Užitné kategorie B } q_{\text{katB}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Celkem proměnné: } q_k = q_{\text{katB}} \cdot b_{\text{zat}} = 2,5 \cdot 1,3 = 3,25 \text{ kN/m}$$

### Kombinace

$$f_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 1,35 \cdot 3,54 + 1,5 \cdot 3,25 = 9,65 \text{ kN/m}$$

### Vnitřní síly

$$V_{\text{Ed}} = \frac{1}{2} \cdot f \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 9,65 \cdot 6 = 28,95 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed}} = \frac{1}{8} \cdot f \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 9,65 \cdot 6^2 = 43,43 \text{ kNm}$$

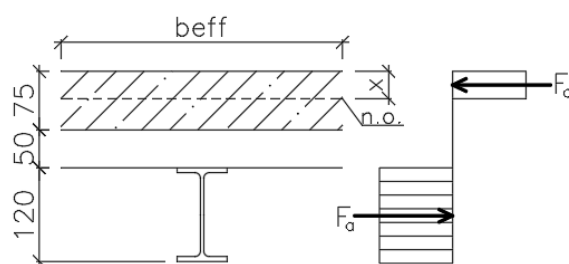
### Beton C25/30

$$f_{\text{cd}} = 0,85 \cdot \frac{f_{\text{ck}}}{\gamma_M} = 0,85 \cdot \frac{25}{1,5} = 14,2 \text{ MPa}$$

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

$$x = \frac{1 \ 321 \cdot 355}{650 \cdot 14,2} = 50,81 \text{ mm}$$

→ Neutrální osa leží v betonové desce.



### Výpočet momentové únosnosti

$$z = \frac{120}{2} + 75 + 50 - \frac{50,81}{2} = 159,60 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,Rd}} = N_a \cdot z = 1 \ 321 \cdot 355 \cdot 159,60 = 74,85 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Ed}} = 43,43 \text{ kNm} \leq 74,85 \text{ kNm}$$

Vyhovuje.

### Smyková únosnost

$$V_{\text{Ed}} = 28,95 \text{ kN} \leq V_{\text{pl,Rd}} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_M \cdot \sqrt{3}} = \frac{631 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 129,33 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

## Návrh spřažení

Únosnost jednoho trnu

$d = 19 \text{ mm}$  průměr trnu

$h_{sc} = 100 \text{ mm}$  délka trnu

$f_u = 360 \text{ MPa}$  S235

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,8 \cdot 360 \cdot \frac{\pi \cdot 19^2}{4} = 81,656 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} = 0,29 \cdot 1 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 31\,000} = 92,163 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(81,656 \text{ kN}; 92,163 \text{ kN}) = 81,656 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{81,656}{1,25} = 65,325 \text{ kN}$$

$$\alpha = 1,0 \rightarrow \frac{h_{sc}}{d} = \frac{100}{19} = 5,3 > 4$$

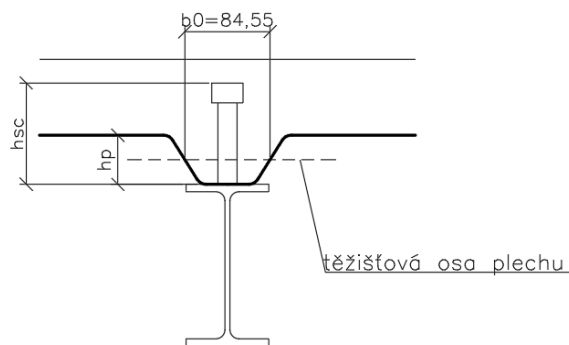
$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left( \frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right)$$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{85,44}{50} \cdot \left( \frac{100}{50} - 1 \right) = 1,196$$

$n_r = 1$  počet trnů v žebře

Podmínka pro plechy s tloušťkou menší než 1

mm:  $k_t \leq 0,85$



Únosnost trnu v žebře

$$P_{Rd}' = P_{Rd} \cdot k_t = 65,325 \cdot 0,85 = 55,53 \text{ kN}$$

Síla při plném smykovém spojení

$$n = \frac{N_a}{P_{Rd}'} = \frac{1\,321 \cdot 355}{55\,530} = 8,5 \rightarrow 10$$

Na plech TR50/250 je možno umístit na jednu polovinu stropnice o délce 6 000 mm

$3\,000/250 = 12$  trnů

Úplné smykové spřažení vyhovuje.

## Posouzení napětí MSP

Vnitřní síly

$$M_{Ek} = \frac{1}{8} \cdot (g + q)_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot (3,54 + 3,25) \cdot 6^2 = 30,56 \text{ kNm}$$

$$\bar{E}_c = 0,5 \cdot E_{cm} = 0,5 \cdot 31\,000 = 15\,500 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{\bar{E}_c} = \frac{210\,000}{15\,500} = 13,55$$

Plocha ideálního průřezu

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 1\,321 + \frac{650 \cdot 75}{13,55} = 4\,919 \text{ mm}^2$$

Těžiště ideálního průřezu

$$z_i = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{A_c \cdot z_c}{n}}{A_i} = \frac{1\,321 \cdot \frac{120}{2} + \frac{650 \cdot 75 \cdot (120 + 50 + \frac{75}{2})}{13,55}}{4\,919} = 167,88 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$I_i = (I_a + A_a \cdot r_a^2) + \left( \frac{I_c + A_c \cdot r_c^2}{n} \right)$$

$$= \left( 317,8 \cdot 10^4 + 1 \cdot 321 \cdot \left( 167,88 - \frac{120}{2} \right)^2 \right)$$

$$+ \left( \frac{\frac{1}{12} \cdot 650 \cdot 75^3 + 650 \cdot 75 \cdot (207,5 - 167,88)^2}{13,55} \right) = 25,89 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Maximální napětí v oceli

$$\sigma_{a,\max} = \frac{M_{EK}}{I_i} \cdot z_d = \frac{30,56 \cdot 10^6}{25,89 \cdot 10^6} \cdot 167,88 = 198,16 \text{ MPa} \leq f_y = 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

Maximální napětí v betonu

$$\sigma_{c,\max} = \frac{M_{EK}}{n \cdot I_i} \cdot z_d = \frac{30,56 \cdot 10^6}{13,55 \cdot 25,89 \cdot 10^6} \cdot (245 - 167,88) = 6,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,\max} = 6,72 \text{ MPa} \leq 0,85 \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 25 = 21,25 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

**Posouzení průhybu MSP**

$$w_k = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_k \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,79 \cdot 6 \cdot 1000^4}{210 \cdot 000 \cdot 25,89 \cdot 10^6} = 21,08 \text{ mm}$$

$$w_k = 21,08 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{6 \cdot 000}{250} = 24,0 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

### 7.2.3.3 Stropní nosník

Návrh: IPE300

$h = 300 \text{ mm}$

$b = 150 \text{ mm}$

$c = 248,6 \text{ mm}$

$t_f = 10,7 \text{ mm}$

$t_w = 7,1 \text{ mm}$

$A = 5 \cdot 381 \text{ mm}^2$

$A_{v,z} = 2 \cdot 568 \text{ mm}^2$

$i_y = 124,6 \text{ mm}$

$i_z = 33,5 \text{ mm}$

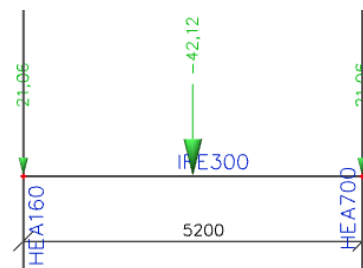
$I_y = 8 \cdot 356 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$W_{pl,y} = 628,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

#### Zatížení

Zatížením jsou mimo jiné reakce ze stropnic a vlastní tíha nosníku.

Pozn.: obrázky vpravo mohou být zavádějící, neboť se zde jedná o výřez z modelu rámu. Je uváženo také zatížení z dalších zatěžovacích stavů a od ostatních prvků rámu, tedy je uváženo spolupůsobení nosníku v rámci rámu s ostatními prvky konstrukce.



Reakce od stálého zatížení

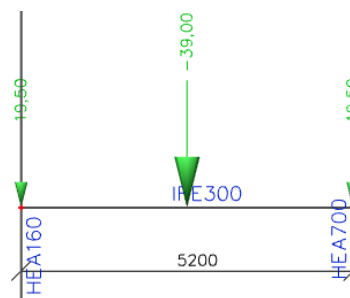
$$R_{S,1} = 2 \cdot (0,5 \cdot 7,02 \cdot 6) = 2 \cdot 21,06 = 42,12 \text{ kN}$$

$$R_{S,2} = \frac{R_{S,1}}{2} = 21,06 \text{ kN}$$

Reakce od užitého zatížení

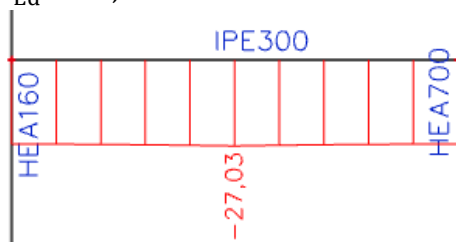
$$R_{U,1} = 2 \cdot (0,5 \cdot 6,5 \cdot 6) = 2 \cdot 19,5 = 39,0 \text{ kN}$$

$$R_{U,2} = \frac{R_{U,1}}{2} = 19,5 \text{ kN}$$

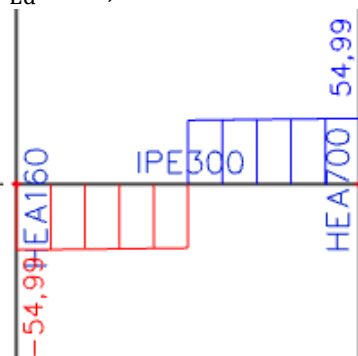


### Vnitřní síly (kombinace ULS36)

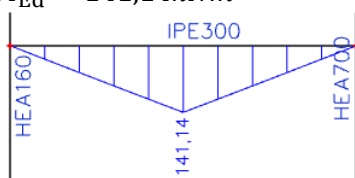
$$N_{Ed} = 27,03 \text{ kN}$$



$$V_{Ed} = 54,99 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = 141,14 \text{ kNm}$$



### Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

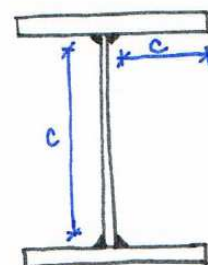
Pásnice tlak

$$c/t_f = 63/12,7 = 4,96 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,329 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Stojina tlak + ohyb

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{27,03 \cdot 10^3}{7,1 \cdot 355} = 10,72 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{248,6 + 10,72}{2} = 129,66 \text{ mm}$$



$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{129,66}{248,6} = 0,522 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 248,6 / 7,1 = 35,01 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,522 - 1} = 55,71 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Průřez třídy 1.

### Mezní stav únosnosti

#### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{27,03 \cdot 10^3}{5 \, 381 \cdot 355 / 1,0} + \frac{141,14 \cdot 10^6}{628,4 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} = 0,014 + 0,633 = \mathbf{0,647} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

#### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{2 \, 568 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 526,34 \, kN$$

$$V_{Ed} = 54,99 \, kN \leq V_{pl,Rd,z} = 526,34 \, kN$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = 54,99 \, kN < 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 526,34 \, kN = 263,17 \, kN$$

→ Nejedná se o velký smyk.

### Stabilita

#### Vzpěrná únosnost

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 5 \, 200 \, mm$$

$$L_{cr,z} = 2 \, 600 \, mm$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5 \, 200}{124,6} = 41,73$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2 \, 600}{33,5} = 77,61$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{41,73}{76,4} = 0,546$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{77,61}{76,4} = 1,016$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

Křivka „a“  $\chi_y = 0,909$

Křivka „b“  $\chi_z = 0,585$

V rovině rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{27,03 \cdot 10^3}{0,909 \cdot 5 \, 381 \cdot 355 / 1,0} = 0,016 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

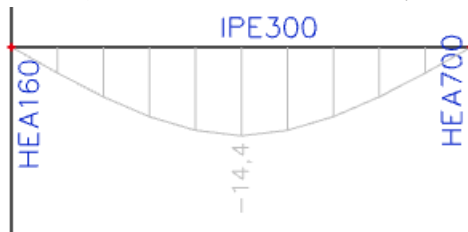
Z roviny rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{27,03 \cdot 10^3}{0,585 \cdot 5381 \cdot 355 / 1,0} = 0,024 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### Mezní stav použitelnosti – průhyb

$w = 14,4 \text{ mm}$  kombinace SLS33, software Scia Engineer 16



$$w = 14,4 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{5200}{250} = 20,8 \text{ mm}$$

Vyhovuje.



## 7.2.4 Běžný sloup vazby – vnější

Návrh: HEA700

$h = 690 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$c = 582 \text{ mm}$

$h_i = 636 \text{ mm}$

$t_f = 27 \text{ mm}$

$t_w = 14,5 \text{ mm}$

$A = 26\,050 \text{ mm}^2$

$A_{v,z} = 11\,700 \text{ mm}^2$

$i_y = 288 \text{ mm}$

$i_z = 68,4 \text{ mm}$

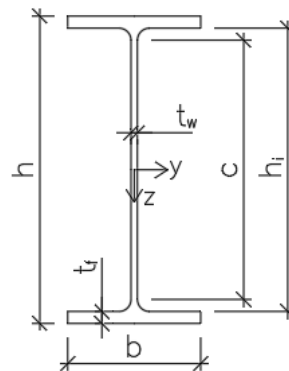
$I_y = 215\,300 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$W_{pl,y} = 7\,032 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$W_{pl,z} = 1\,257 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

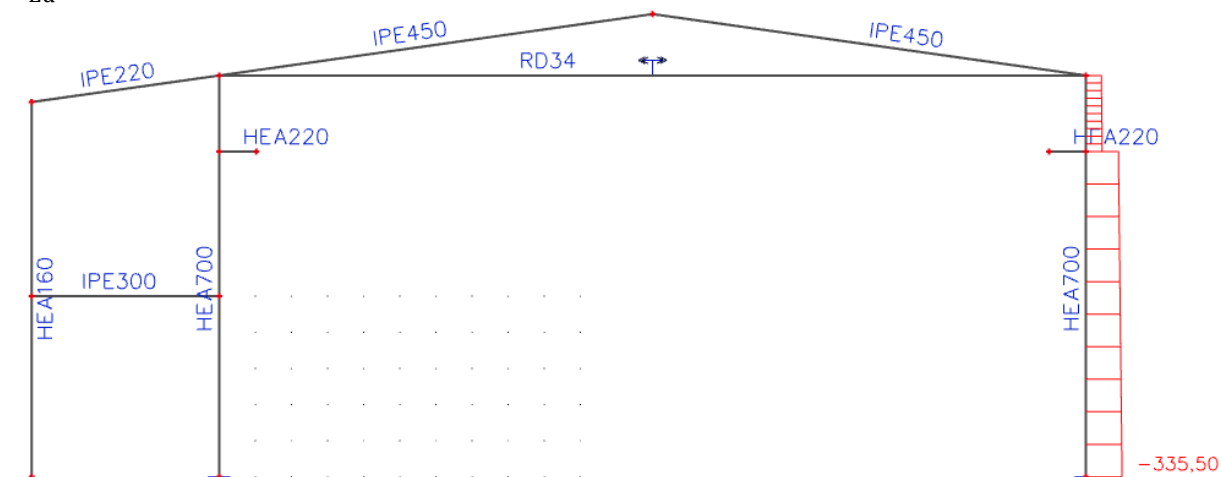
$I_w = 13,35 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$

$I_t = 513,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

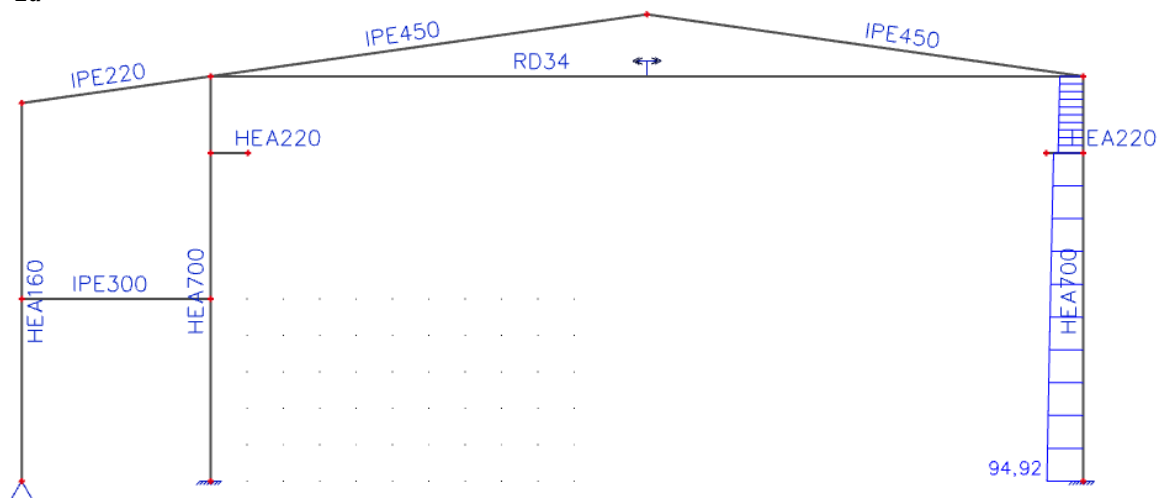


### Návrhové vnitřní síly (kombinace ULS12; L)

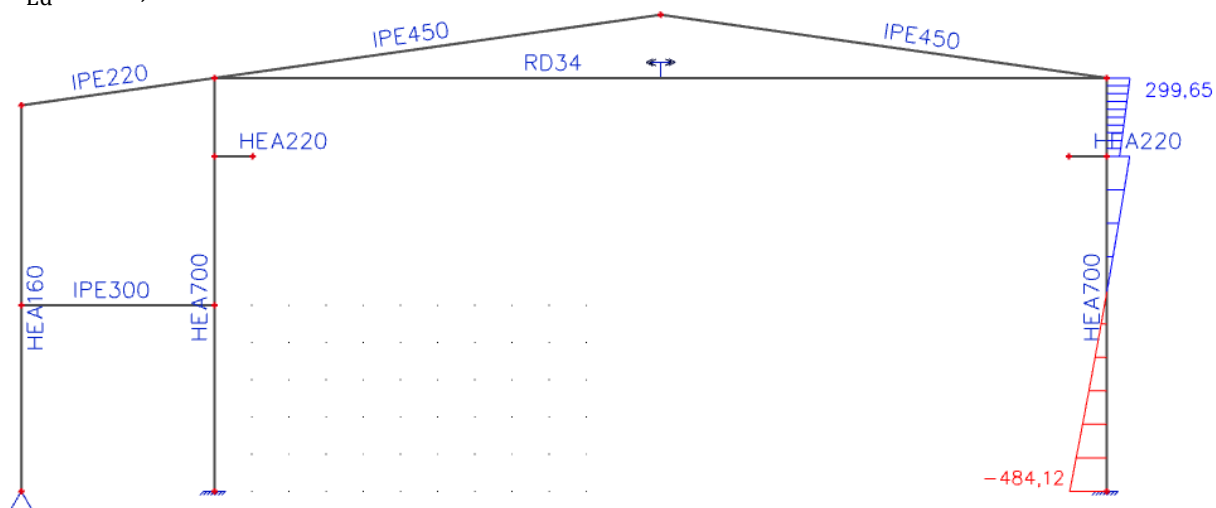
$N_{Ed} = 335,50 \text{ kN}$



$V_{Ed} = 94,92 \text{ kN}$



$$M_{Ed} = 484,12 \text{ kN}$$



### Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Pásnice tlak

$$c/t_f = 115,8/27 = 4,289 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,329 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Stojina tlak + ohyb

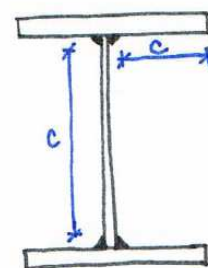
$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{335,50 \cdot 10^3}{14,5 \cdot 355} = 65,18 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{582 + 65,18}{2} = 323,59 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{323,59}{582} = 0,556 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 582/14,5 = 40,14 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,556 - 1} = 51,76 \rightarrow \text{Třída 1}$$



Třída průřezu 1.

### Mezní stav únosnosti

#### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{335,50 \cdot 10^3}{26\,050 \cdot 355 / 1,0} + \frac{484,12 \cdot 10^6}{7\,032 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} = 0,036 + 0,194 = \mathbf{0,230} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

#### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{11\,700 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 2\,398,0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 94,92 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 2\,398,0 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = \mathbf{94,92 \text{ kN}} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 2\,398,0 \text{ kN} = \mathbf{1\,199 \text{ kN}}$$

→ Nejedná se o velký smyk.

## Stabilita

### Vzpěrná únosnost

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 11\,110 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 9\,110 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{11\,110}{288} = 38,58$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{9\,110}{68,4} = 133,19$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{38,58}{76,4} = 0,505$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{133,19}{76,4} = 1,743$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

Křivka „a“  $\chi_y = 0,920$

Křivka „b“  $\chi_z = 0,266$

V rovině rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{335,50 \cdot 10^3}{0,920 \cdot 26\,050 \cdot 355 / 1,0} = 0,039 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

Z roviny rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{335,50 \cdot 10^3}{0,266 \cdot 26\,050 \cdot 355 / 1,0} = 0,136 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### Klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,829 \cdot 7\,032 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = 2\,069,48 \text{ kNm}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,753 + \sqrt{0,753^2 - 0,75 \cdot 0,694^2}} = 0,829$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

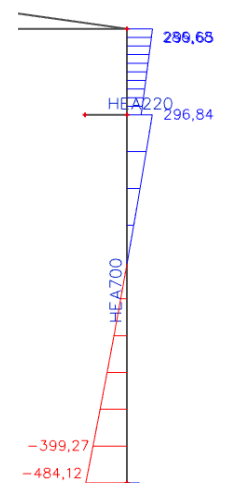
$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,694 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,694^2] = 0,753$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7\,032 \cdot 10^3 \cdot 355}{5\,190,2 \cdot 10^6}} = 0,694$$

Součinitele

$$h/b = 690/300 = 2,3 \rightarrow \text{křivka klopení „c“}$$

$$\alpha_{LT} = 0,49$$



$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

Kritický moment je vypočten softwarem LTBeam viz příloha č. 3.4.

$$M_{cr} = 5\,190,2\text{ kNm}$$

### Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{484,12}{2\,069,48} = 0,234 \leq 1$$

Vyhovuje.

### Interakce tlaku s ohybem

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 26\,050 \cdot 355 = 9\,247,75\text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 7\,032 \cdot 10^3 \cdot 355 = 2\,496,36\text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$  a  $k_{zy}$

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{m,LT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,613) = 0,355 < 0,4 \rightarrow C_{m,LT} = 0,4$$

$$\psi = \frac{296,84}{-484,12} = -0,613$$

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot \left( 1 + (0,505 - 0,2) \cdot \frac{335,50 \cdot 10^3}{0,920 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ 0,9 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{335,50 \cdot 10^3}{0,920 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,911; 0,928\} = 0,911$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$

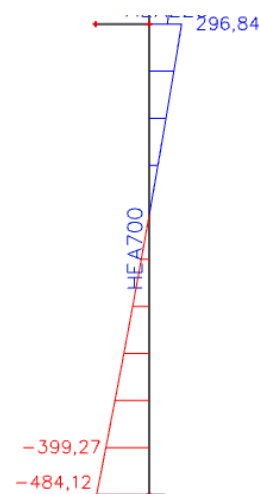
$$k_{zy} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 1,743}{0,4 - 0,25} \cdot \frac{335,50 \cdot 10^3}{0,266 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ \left( 1 - \frac{0,1}{0,4 - 0,25} \cdot \frac{335,50 \cdot 10^3}{0,266 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \min \{0,842; 0,909\} = 0,842$$

### Podmínky únosnosti

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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



$$\frac{335,50 \cdot 10^3}{0,920 \cdot \frac{9 \cdot 247,75 \cdot 10^3}{1}} + 0,911 \cdot \frac{484,12 \cdot 10^6}{0,829 \cdot \frac{2 \cdot 496,36 \cdot 10^6}{1}} = 0,039 + 0,213 = \mathbf{0,252} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

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

$$\frac{335,50 \cdot 10^3}{0,266 \cdot \frac{9 \cdot 247,75 \cdot 10^3}{1}} + 0,842 \cdot \frac{484,12 \cdot 10^6}{0,829 \cdot \frac{2 \cdot 496,36 \cdot 10^6}{1}} = 0,136 + 0,197 = \mathbf{0,333} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

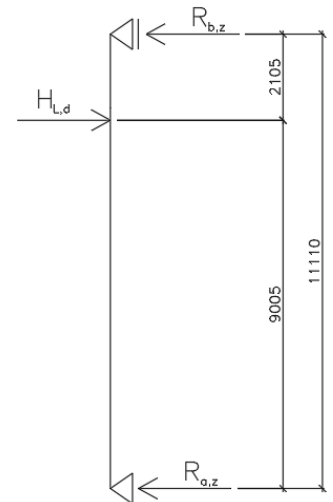
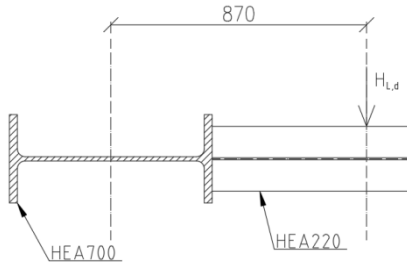
### Kroucení

Posouzení namáhání na účinek kroucení způsobený vodorovnou silou  $H_{L,d}$ .

$$R_{b,z} = \frac{H_{L,d} \cdot 9,005}{l} = \frac{11,04 \cdot 9,005}{11,11} = 8,948 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = R_{b,z} \cdot 2,105 = 8,948 \cdot 2,105 = 18,836 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{h}{2} + l_{\text{konzola}} = \frac{690}{2} + 525 = 870 \text{ mm}$$



$$K_t = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}} = 11 \, 110 \cdot \sqrt{\frac{81 \, 000 \cdot 513,9 \cdot 10^4}{210 \, 000 \cdot 13,35 \cdot 10^{12}}} = 4,281$$

Kroutící zatížení obecné, vetknutí  $\rightarrow \alpha = 6,9$  a  $\beta = 1,14$

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = \frac{1}{1,14 + \left(\frac{6,9}{4,281}\right)^2} = 0,268$$

$$B_{Ed} = M_{z,Ed} \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 18,836 \cdot 0,870 \cdot (1 - 0,268) = 11,996 \text{ kNm}^2$$

$$B_{Rk} = \frac{I_w \cdot f_y}{\omega_{\max}} = \frac{13,35 \cdot 10^{12} \cdot 355}{54 \, 750} = 86,562 \text{ kNm}^2$$

$$\omega_{\max} = \frac{b \cdot h}{4} = \frac{300 \cdot 690}{4} = 51 \, 750 \text{ mm}^2$$

$$k_w = 0,7 - \frac{0,2 \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 11,996}{\frac{86,562}{1,0}} = 0,672$$

$$k_{zw} = 1 - \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{18,836 \cdot 10^6}{1 \, 257 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,958$$

$$k_a = \frac{1}{1 - \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{484,35 \cdot 10^6}{5 \, 161,3 \cdot 10^6}} = 1,104$$

Posouzení

$$\frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{0,672 \cdot 0,958 \cdot 1,104 \cdot 11,996}{\frac{86,562}{1,0}} = \mathbf{0,099} \leq \mathbf{1,0}$$

Příspěvek od kroucení je 9,9 % → průřez sloupu má jak při vzpěru a klopení, tak při únosnosti dostatečnou rezervu a vyhoví.

### Smykové napětí

Jelikož je v patě sloupu deplanaci průřezu zabráněno, je sloup posouzen pouze na účinky vázaného kroucení. Účinky volného kroucení lze zanedbat.

$$T_{w,Ed} = H_{Ld} \cdot e = 11,040 \cdot 0,87 = 9,605 \text{ kNm}$$

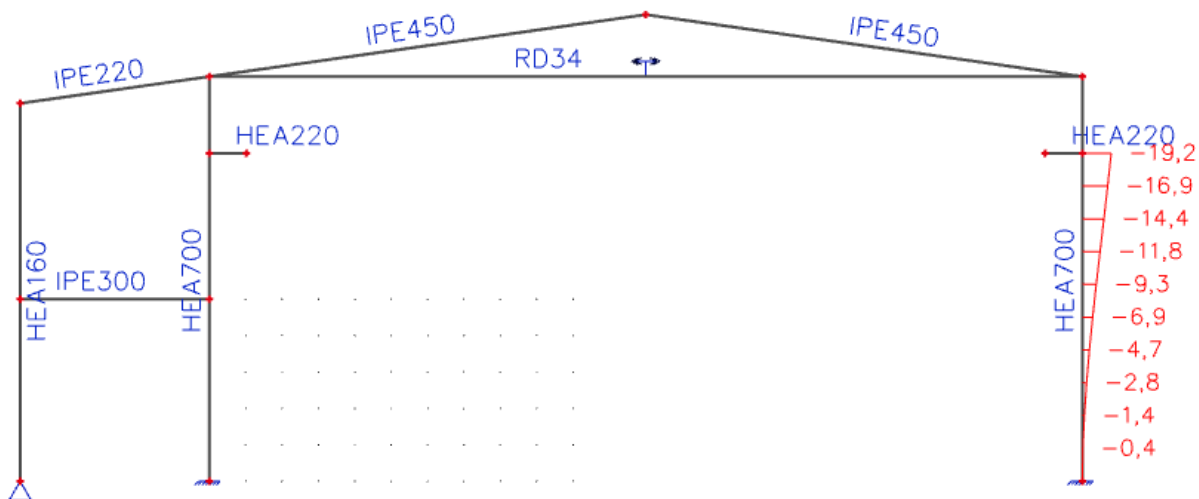
$$S_w = \frac{(h - t_f) \cdot b^2 \cdot t}{16} = \frac{(690 - 27) \cdot 300^2 \cdot 27}{16} = 100,693 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_w = \frac{T_{w,Ed} \cdot S_w}{t \cdot I_w} = \frac{9,605 \cdot 10^6 \cdot 100,693 \cdot 10^6}{31 \cdot 13,35 \cdot 10^{12}} = 2,337 \text{ MPa} \rightarrow \text{Malý smyk.}$$

### Mezní stav použitelnosti

Vodorovný průhyb sloupu v místě uložení jeřábové dráhy

$w = 19,2 \text{ mm}$  kombinace SLS19; L, software Scia Engineer 18

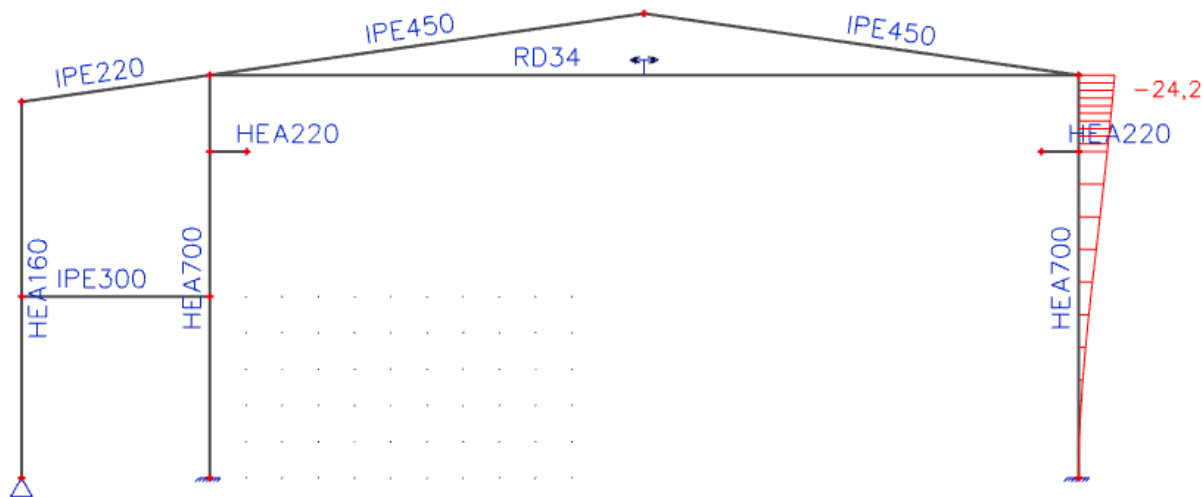


$$w = 19,2 \text{ mm} \leq \frac{L}{450} = \frac{9110}{450} = 20,24 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

Vodorovný průhyb v hlavě sloupu

$w = 24,2 \text{ mm}$  kombinace SLS19; L, software SciaEngineer 18



$$w = 24,4 \text{ mm} \leq \frac{L}{150} = \frac{11\,110}{150} = 76,07 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

### 7.2.5 Běžný sloup vazby – vnitřní

Návrh: HEA700

$h = 690 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$c = 582 \text{ mm}$

$h_i = 636 \text{ mm}$

$t_f = 27 \text{ mm}$

$t_w = 14,5 \text{ mm}$

$A = 26\,050 \text{ mm}^2$

$A_{v,z} = 11\,700 \text{ mm}^2$

$i_y = 288 \text{ mm}$

$i_z = 68,4 \text{ mm}$

$I_y = 215\,300 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

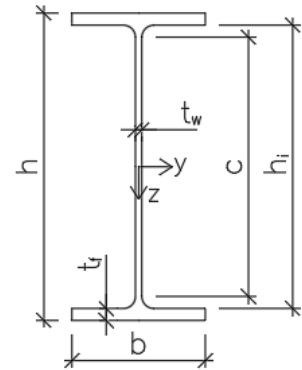
$I_z = 12\,180 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$W_{pl,y} = 7\,032 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$W_{pl,z} = 1\,257 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

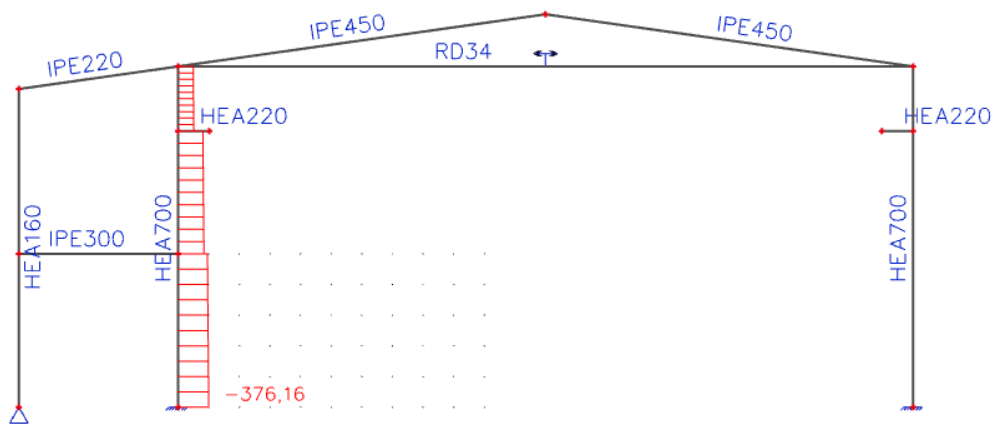
$I_w = 13,35 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$

$I_t = 513,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

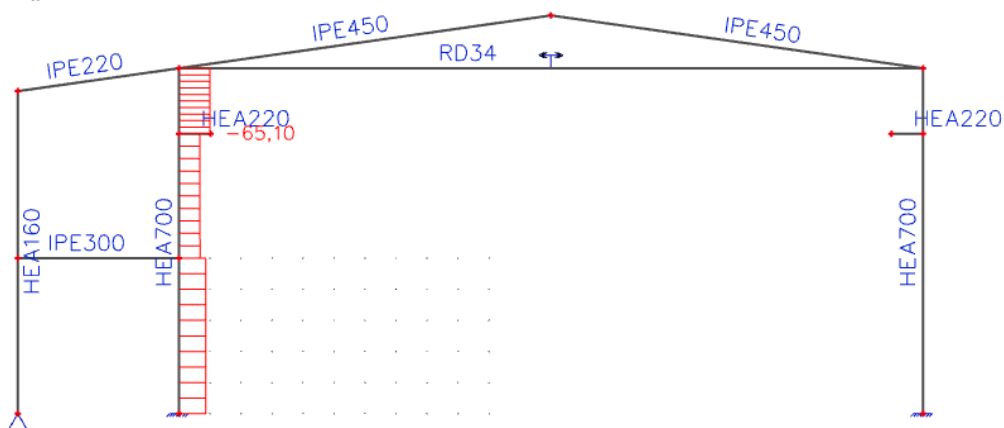


### Návrhové vnitřní síly (kombinace ULS13; L)

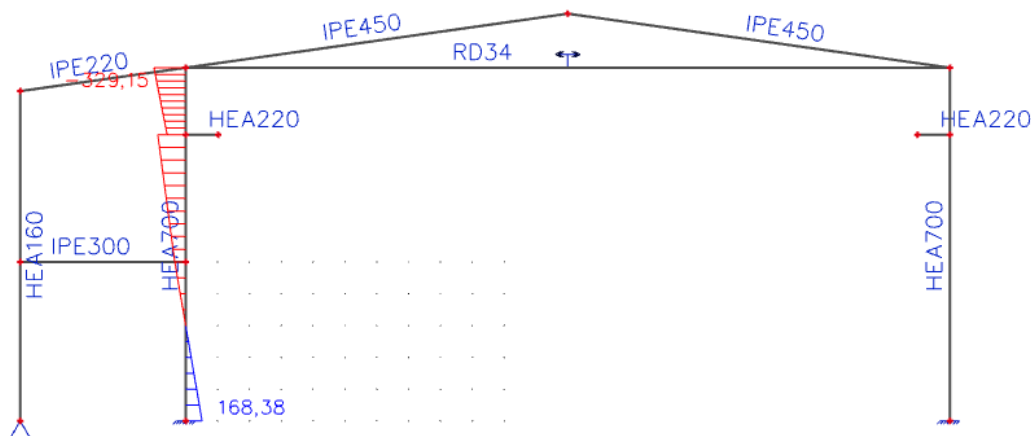
$N_{Ed} = 376,16 \text{ kN}$



$V_{Ed} = 65,10 \text{ kN}$



$$M_{Ed} = 329,15 \text{ kNm}$$



### Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Pásnice tlak

$$c/t_f = 115,8/27 = 4,289 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,329 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Stojina tlak + ohyb

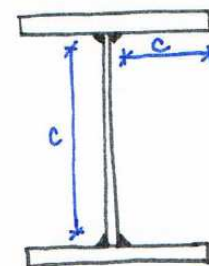
$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{376,16 \cdot 10^3}{14,5 \cdot 355} = 73,08 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{582 + 73,08}{2} = 327,54 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{327,54}{582} = 0,563 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 582/14,5 = 40,14 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,563 - 1} = 51,01 \rightarrow \text{Třída 1}$$



Průřez třídy 1.

### Mezní stav únosnosti

#### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{376,16 \cdot 10^3}{26\,050 \cdot 355 / 1,0} + \frac{329,15 \cdot 10^6}{7\,032 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} = 0,041 + 0,132 = \mathbf{0,173} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

#### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{11\,700 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 2\,398,0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 65,10 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 2\,398,0 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = \mathbf{65,10 \text{ kN}} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 2\,398,0 \text{ kN} = \mathbf{1\,199 \text{ kN}}$$

→ Nejedná se o velký smyk.



## Stabilita

### Vzpěrná únosnost

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 11\,110 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 4\,005 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{11\,110}{288} = 38,58$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4\,005}{68,4} = 58,55$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{38,58}{76,4} = 0,505$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{58,55}{76,4} = 0,766$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

Křivka „a“  $\chi_y = 0,921$

Křivka „b“  $\chi_z = 0,745$

V rovině rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{376,16 \cdot 10^3}{0,921 \cdot 26\,050 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,044 \leq 1,0}$$

Vyhovuje.

Z roviny rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{376,16 \cdot 10^3}{0,745 \cdot 26\,050 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,055 \leq 1,0}$$

Vyhovuje.

### Klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,923 \cdot 7\,032 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = \mathbf{2\,304,14 \text{ kNm}}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,619 + \sqrt{0,619^2 - 0,75 \cdot 0,501^2}} = 0,923$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,501 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,501^2] = 0,619$$

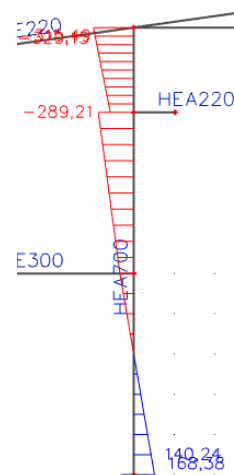
$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7\,032 \cdot 10^3 \cdot 355}{9\,943,2 \cdot 10^6}} = 0,501$$

Součinitele

$$h/b = 690/300 = 2,3 \rightarrow \text{křivka klopení „c“}$$

$$\alpha_{LT} = 0,49$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$



$$\beta = 0,75$$

Kritický moment je vypočten softwarem LTBeam viz příloha č. 3.5.

$$M_{cr} = 9\,943,2 \text{ kNm}$$

### Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{329,15}{2\,304,14} = 0,143 \leq 1$$

Vyhovuje.

### Interakce tlaku s ohybem

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 26\,050 \cdot 355 = 9\,247,75 \text{ kN}$$

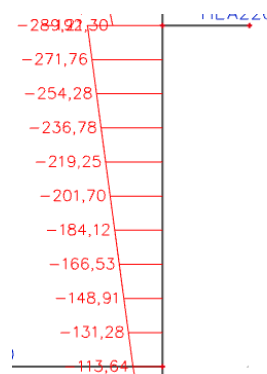
$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 7\,032 \cdot 10^3 \cdot 355 = 2\,496,36 \text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$  a  $k_{zy}$

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{m,LT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,393 = 0,757 > 0,4$$

$$\psi = \frac{-113,64}{-289,21} = 0,393$$



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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot \left( 1 + (0,505 - 0,2) \cdot \frac{376,16 \cdot 10^3}{0,921 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ 0,9 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{376,16 \cdot 10^3}{0,921 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,912; 0,932\} = 0,912$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 0,766}{0,757 - 0,25} \cdot \frac{376,16 \cdot 10^3}{0,745 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ \left( 1 - \frac{0,1}{0,757 - 0,25} \cdot \frac{376,16 \cdot 10^3}{0,745 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \min \{0,992; 0,989\} = 0,989$$

### Podmínky únosnosti

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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

$$\frac{376,16 \cdot 10^3}{0,921 \cdot \frac{9 \cdot 247,75 \cdot 10^3}{1}} + 0,912 \cdot \frac{329,15 \cdot 10^6}{0,923 \cdot \frac{2 \cdot 496,36 \cdot 10^6}{1}} = 0,044 + 0,130 = \mathbf{0,174} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

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

$$\frac{376,16 \cdot 10^3}{0,745 \cdot \frac{9 \cdot 247,75 \cdot 10^3}{1}} + 0,989 \cdot \frac{329,15 \cdot 10^6}{0,923 \cdot \frac{2 \cdot 496,36 \cdot 10^6}{1}} = 0,055 + 0,141 = \mathbf{0,196} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

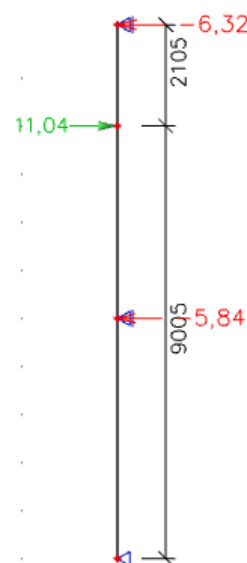
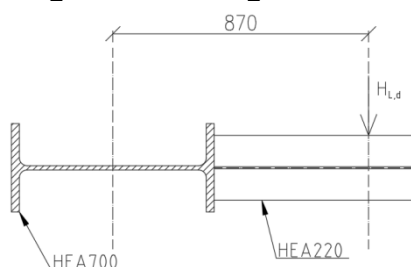
### Kroucení

Posouzení namáhání na účinek kroucení způsobený vodorovnou silou  $H_{L,d}$ .

$$R_{b,z} = 6,32 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = R_{b,z} \cdot 2,105 = 6,32 \cdot 2,105 = 13,304 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{h}{2} + l_{konzola} = \frac{690}{2} + 525 = 870 \text{ mm}$$



$$K_t = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}} = 6 \cdot 608 \cdot \sqrt{\frac{81 \cdot 000 \cdot 513,9 \cdot 10^4}{210 \cdot 000 \cdot 13,35 \cdot 10^{12}}} = 2,546$$

Kroutící zatížení obecné, prosté podepření  $\rightarrow \alpha = 3,7$  a  $\beta = 1,08$

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = \frac{1}{1,08 + \left(\frac{3,7}{2,546}\right)^2} = 0,313$$

$$B_{Ed} = M_{z,Ed} \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 13,304 \cdot 0,870 \cdot (1 - 0,313) = 7,952 \text{ kNm}^2$$

$$B_{Rk} = \frac{I_w \cdot f_y}{\omega_{\max}} = \frac{13,35 \cdot 10^{12} \cdot 355}{54 \cdot 750} = 86,562 \text{ kNm}^2$$

$$\omega_{\max} = \frac{b \cdot h}{4} = \frac{300 \cdot 690}{4} = 51 \cdot 750 \text{ mm}^2$$

$$k_w = 0,7 - \frac{0,2 \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 7,952}{\frac{86,562}{1,0}} = 0,682$$

$$k_{zw} = 1 - \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{13,304 \cdot 10^6}{1 \cdot 257 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,970$$

$$k_a = \frac{1}{1 - \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{329,15 \cdot 10^6}{9 \cdot 943,2 \cdot 10^6}} = 1,034$$

Posouzení

$$\frac{k_w \cdot k_{zw} \cdot k_a \cdot B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{0,682 \cdot 0,970 \cdot 1,034 \cdot 7,952}{\frac{86,562}{1,0}} = \mathbf{0,063} \leq \mathbf{1,0}$$

Příspěvek od kroucení je 6,3 %  $\rightarrow$  průřez sloupu má jak při vzpěru a klopení, tak při únosnosti dostatečnou rezervu a vyhoví.

### Smykové napětí

Jelikož je v patě sloupu deplanaci průřezu zabráněno, je sloup posouzen pouze na účinky vázaného kroucení. Účinky volného kroucení lze zanedbat.

$$T_{w,Ed} = H_{Ld} \cdot e = 11,040 \cdot 0,87 = 9,605 \text{ kNm}$$

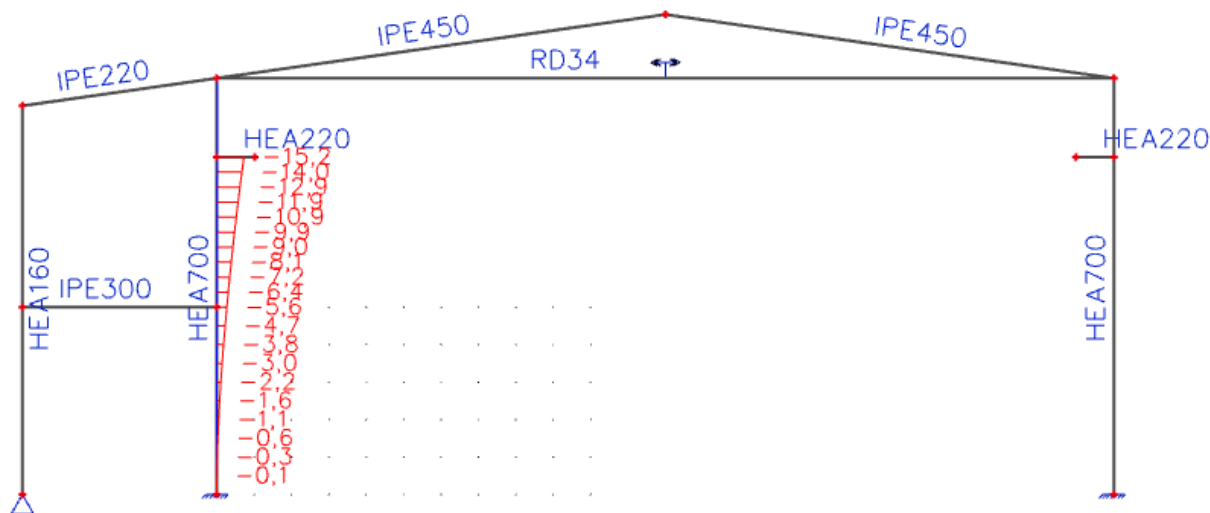
$$S_w = \frac{(h - t_f) \cdot b^2 \cdot t}{16} = \frac{(690 - 27) \cdot 300^2 \cdot 27}{16} = 100,693 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_w = \frac{T_{w,Ed} \cdot S_w}{t \cdot I_w} = \frac{9,605 \cdot 10^6 \cdot 100,693 \cdot 10^6}{31 \cdot 13,35 \cdot 10^{12}} = 2,337 \text{ MPa} \rightarrow \text{Malý smyk.}$$

### Mezní stav použitelnosti

Vodorovný průhyb sloupu rozhodující pro nosník jeřábové dráhy

$w = 15,2 \text{ mm}$  kombinace SLS13; L, software Scia Engineer 18

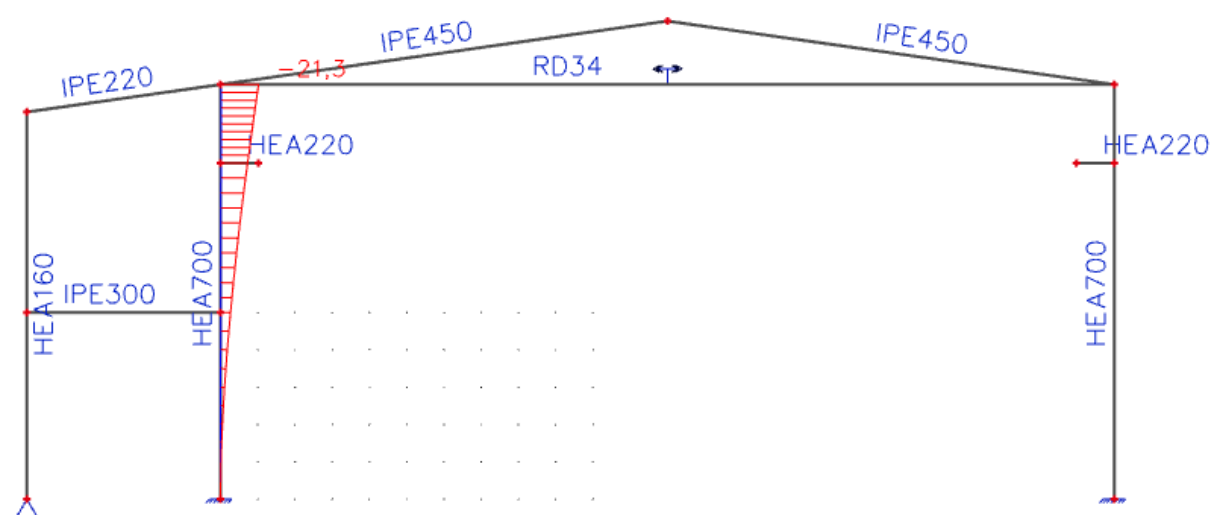


$$w = 15,2 \text{ mm} \leq \frac{L}{450} = \frac{9110}{450} = 20,24 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

Vodorovný průhyb sloupu rámu

$w = 21,3 \text{ mm}$  kombinace SLS13; L, software Scia Engineer 18



$$w = 21,3 \text{ mm} \leq \frac{L}{150} = \frac{11110}{150} = 74,07 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

### 7.2.6 Sloup administrativní části – vnější

Návrh: HEA160

$h = 152 \text{ mm}$

$b = 160 \text{ mm}$

$c = 104 \text{ mm}$

$h_i = 134 \text{ mm}$

$t_f = 9,0 \text{ mm}$

$t_w = 6,0 \text{ mm}$

$A = 3\,877 \text{ mm}^2$

$A_{v,z} = 1\,320 \text{ mm}^2$

$i_y = 65,7 \text{ mm}$

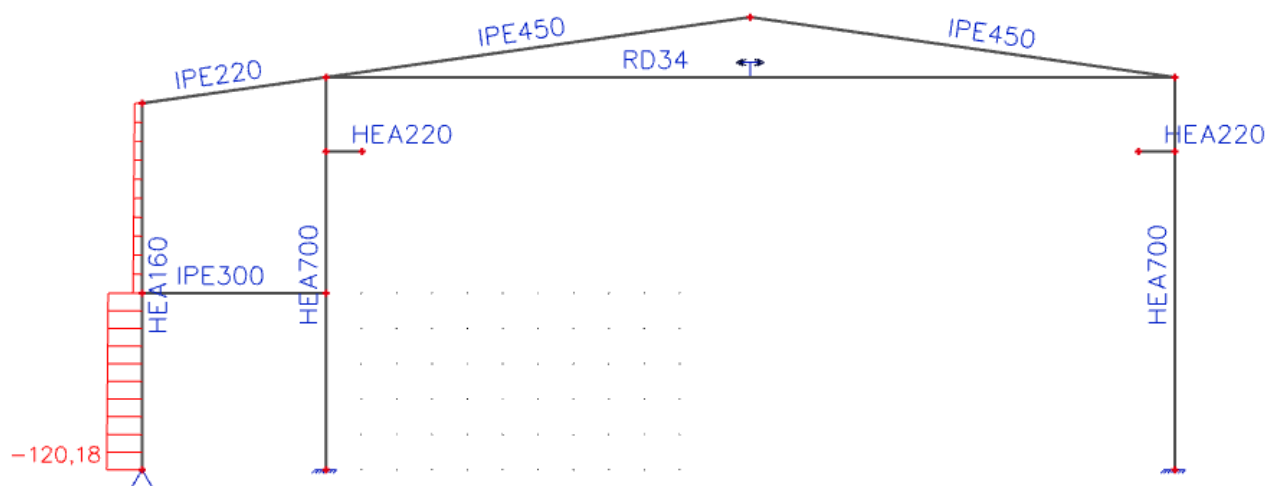
$i_z = 39,8 \text{ mm}$

$I_y = 1\,673 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

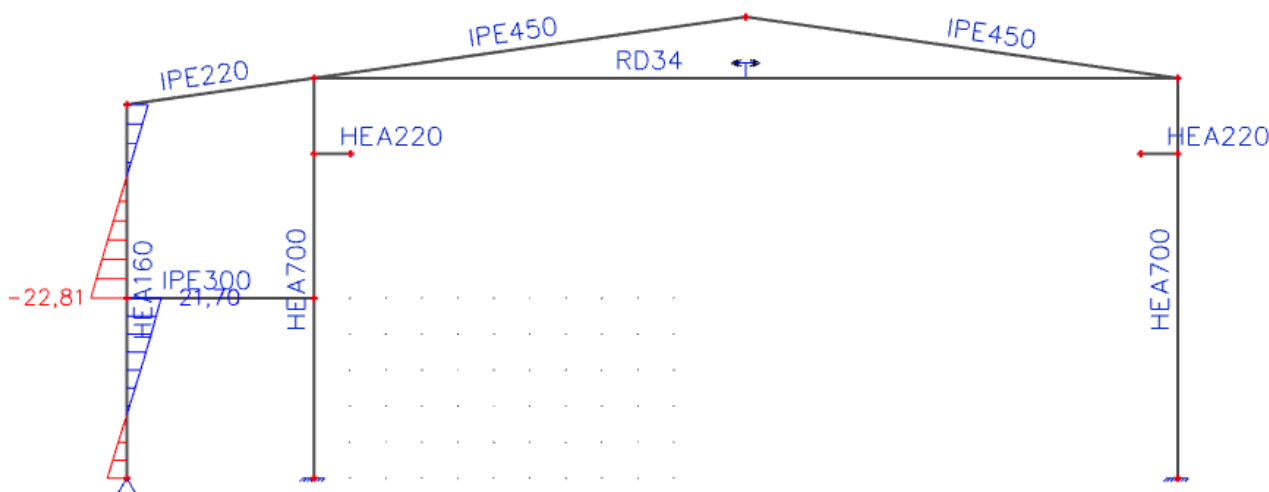
$W_{pl,y} = 245,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

#### Návrhové vnitřní síly (kombinace ULS30; L)

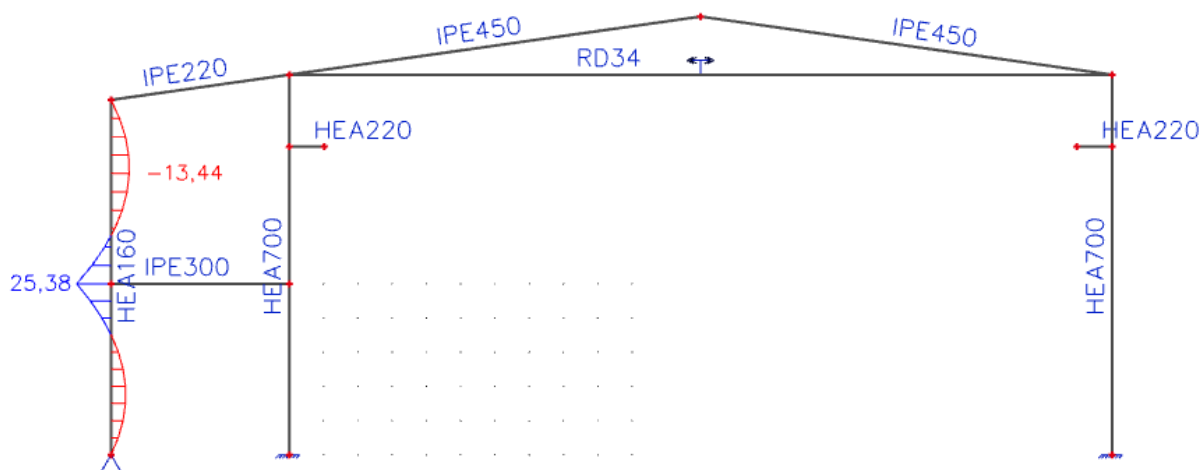
$N_{Ed} = 120,18 \text{ kN}$



$V_{Ed} = 22,81 \text{ kN}$



$$M_{Ed} = 25,38 \text{ kNm}$$



### Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Pásnice tlak

$$c/t_f = 62/9,0 = 6,89 < 10 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,33 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Stojina tlak + ohyb

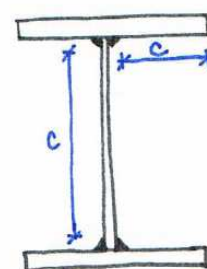
$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{120,18 \cdot 10^3}{6,0 \cdot 355} = 56,42 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{104 + 56,42}{2} = 80,21 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{80,21}{104} = 0,771 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 104/6,0 = 17,33 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,771 - 1} = 35,72 \rightarrow \text{Třída 1}$$



Průřez třídy 1.

### Mezní stav únosnosti

#### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{120,18 \cdot 10^3}{3877 \cdot 355 / 1,0} + \frac{25,38 \cdot 10^6}{245,1 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} = 0,087 + 0,292 = 0,379 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

#### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1320 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 270,75 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 22,81 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 270,75 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = 22,81 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 270,75 \text{ kN} = 135,37 \text{ kN}$$

→ Nejedná se o velký smyk.

## Stabilita

### Vzpěrná únosnost

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 10\,380 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 5\,000 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10\,380}{65,7} = 157,99$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5\,000}{39,8} = 125,63$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{157,99}{76,4} = 2,068$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{125,63}{76,4} = 1,644$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

Křivka „b“  $\chi_y = 0,197$

Křivka „c“  $\chi_z = 0,295$

V rovině rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{120,18 \cdot 10^3}{0,197 \cdot 3\,877 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,443 \leq 1,0}$$

Vyhovuje.

Z roviny rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{120,18 \cdot 10^3}{0,295 \cdot 3\,877 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,296 \leq 1,0}$$

Vyhovuje.

### Klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,941 \cdot 245,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = \mathbf{81,877 \text{ kNm}}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,666 + \sqrt{0,666^2 - 0,75 \cdot 0,618^2}} = 0,941$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,618 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,618^2] = 0,666$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{245,1 \cdot 10^3 \cdot 355}{227,52 \cdot 10^6}} = 0,618$$

Součinitele

$$h/b = 160/152 = 1,1 \rightarrow \text{křivka klopení „a“}$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

Kritický moment je vypočten softwarem LTBeam viz příloha č. 3.6.

$$M_{cr} = 227,52 \text{ kNm}$$

### Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{25,38}{81,877} = 0,310 \leq 1$$

Vyhovuje.

### Interakce tlaku s ohybem

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 3877 \cdot 355 = 1376,34 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 245,1 \cdot 10^3 \cdot 355 = 87,01 \text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$  a  $k_{zy}$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

$$M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$M_S = -10,70 \text{ kNm}$$

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_S} = 0$$

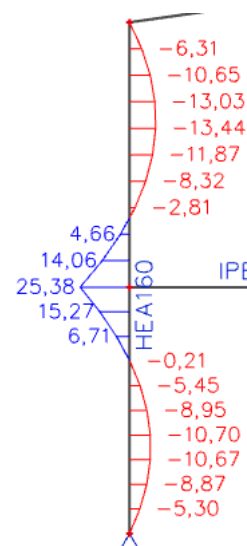
$$C_{m,LT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,422) = 0,438 > 0,4$$

$$M_h = 25,38 \text{ kNm}$$

$$\Psi \cdot M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$M_S = -10,72 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{M_h}{M_S} = \frac{-10,70}{25,38} = -0,422$$



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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left( 1 + (2,068 - 0,2) \cdot \frac{120,18 \cdot 10^3}{0,197 \cdot \frac{1376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{120,18 \cdot 10^3}{0,197 \cdot \frac{1376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{1,737; 1,287\} = 1,287$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$



$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 1,644}{0,438 - 0,25} \cdot \frac{120,18 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{1 \cdot 376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{0,438 - 0,25} \cdot \frac{120,18 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{1 \cdot 376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = \min \{0,741; 0,842\} = \mathbf{0,741}$$

### Podmínky únosnosti

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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

$$\frac{120,18 \cdot 10^3}{0,197 \cdot \frac{1 \cdot 376,34 \cdot 10^3}{1}} + 1,287 \cdot \frac{25,38 \cdot 10^6}{0,941 \cdot \frac{87,01 \cdot 10^6}{1}} = 0,443 + 0,399 = \mathbf{0,842} \leq 1$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

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

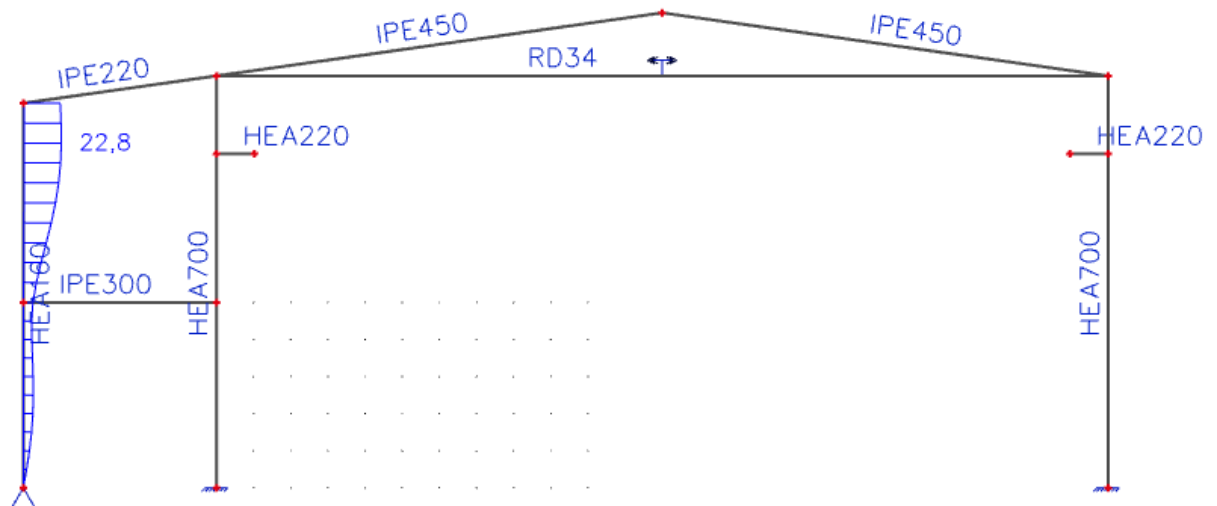
$$\frac{120,18 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{1 \cdot 376,34 \cdot 10^3}{1}} + 0,741 \cdot \frac{25,38 \cdot 10^6}{0,941 \cdot \frac{87,01 \cdot 10^6}{1}} = 0,296 + 0,230 = \mathbf{0,526} \leq 1$$

Vyhovuje.

### Mezní stav použitelnosti

Vodorovný průhyb sloupu rámu

$w = 22,8 \text{ mm}$  kombinace SLS13; L, software Scia Engineer 18



$$w = \mathbf{22,8 \text{ mm}} \leq \frac{L}{300} = \frac{10 \ 380}{300} = \mathbf{34,6 \text{ mm}}$$

Vyhovuje.

### 7.2.7 Příčel hlavní části rámu

Návrh: IPE450

$h = 450 \text{ mm}$

$b = 190 \text{ mm}$

$A = 9\,882 \text{ mm}^2$

$A_{v,z} = 5\,085 \text{ mm}^2$

$c = 378,8 \text{ mm}$

$t_f = 14,6 \text{ mm}$

$t_w = 9,4 \text{ mm}$

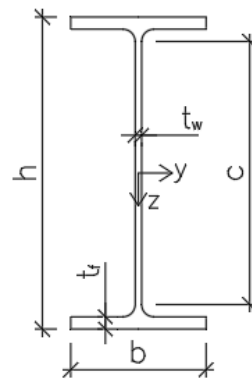
$i_y = 185 \text{ mm}$

$i_z = 41,2 \text{ mm}$

$I_y = 33\,740 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

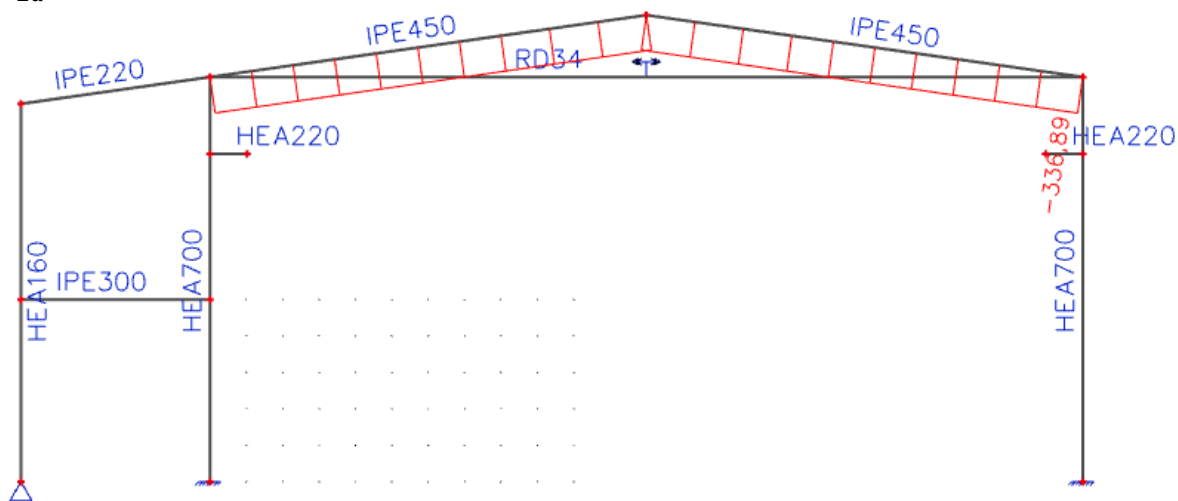
$I_z = 1\,676 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$W_{pl,y} = 1\,702 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

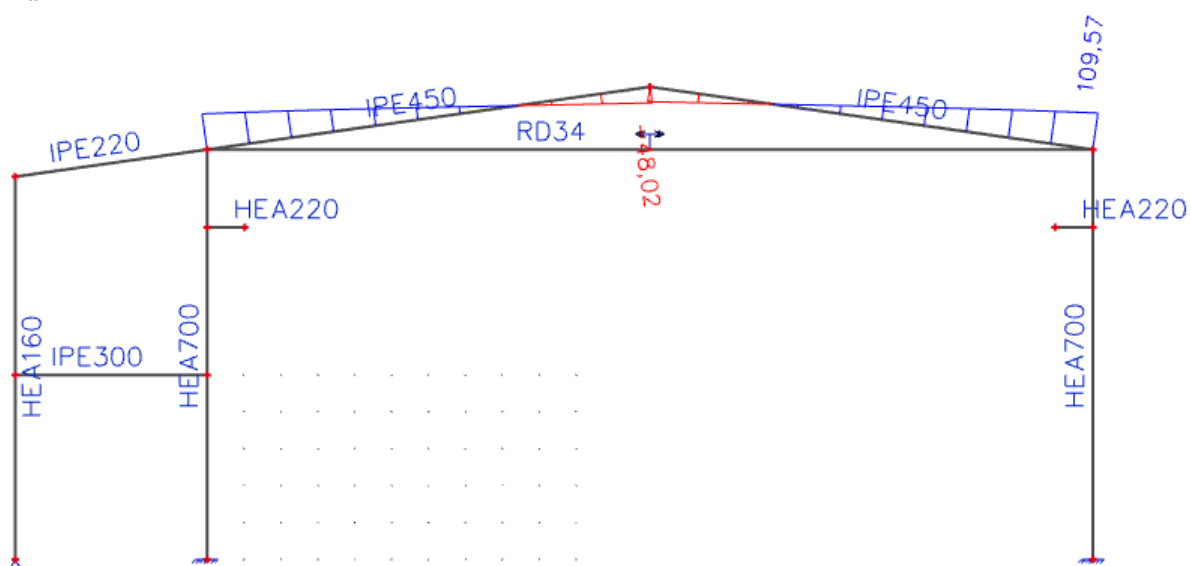


### Návrhové vnitřní síly (kombinace ULS31; L)

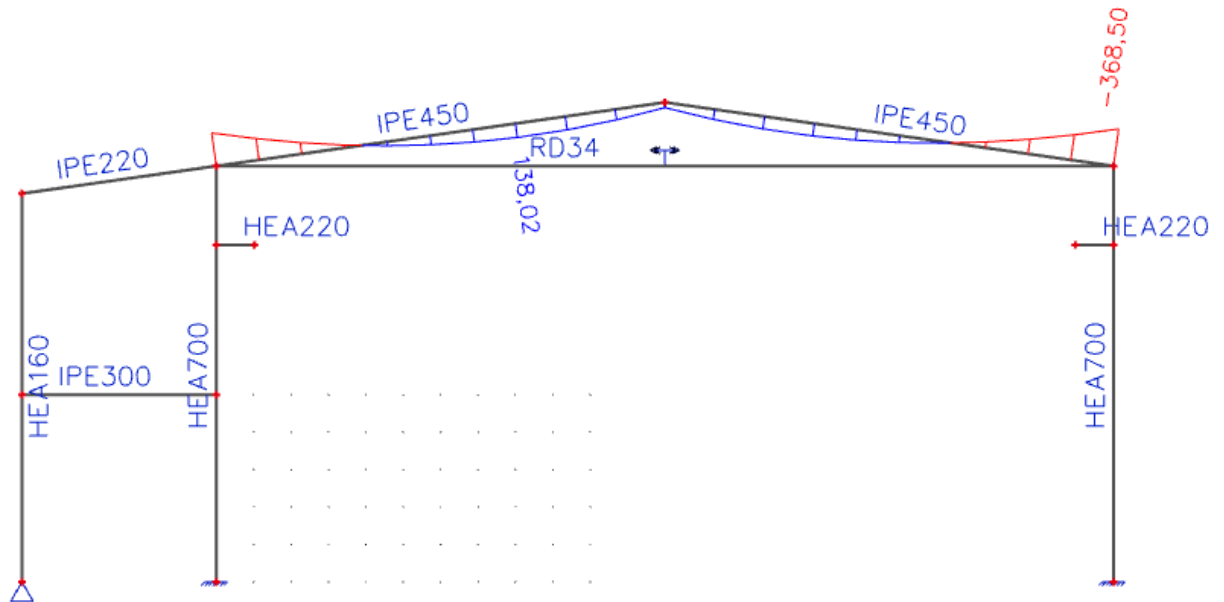
$N_{Ed} = 336,89 \text{ kN}$



$V_{Ed} = 109,57 \text{ kN}$



$M_{Ed} = 368,50 \text{ kNm}$



### Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Pásnice tlak

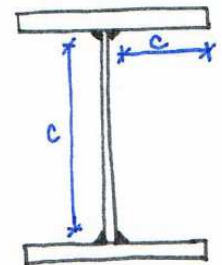
$$c/t_f = 69,3/14,6 = 4,75 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,329 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Stojina tlak + ohyb

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{336,89 \cdot 10^3}{9,4 \cdot 355} = 100,96 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{378,8 + 100,96}{2} = 239,88 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{239,88}{378,8} = 0,633 \rightarrow \alpha > 0,5$$



Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 378,8 / 9,4 = 40,3 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,633 - 1} = 44,57 \rightarrow \text{Třída 1}$$

### Mezní stav únosnosti

#### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{336,89 \cdot 10^3}{9882 \cdot 355 / 1,0} + \frac{368,50 \cdot 10^6}{1702 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} = 0,096 + 0,610 = \mathbf{0,706} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

#### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{5085 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1042,22 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 109,57 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 1042,22 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = \mathbf{109,57 \text{ kN}} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 1042,22 \text{ kN} = \mathbf{521,11 \text{ kN}}$$

→ Nejedná se o velký smyk.

## Stabilita

### Vzpěrná únosnost

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 24\,240 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 4\,040 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{24\,240}{185} = 131,027$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4\,040}{41,2} = 98,058$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{131,03}{76,4} = 1,715$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{98,058}{76,4} = 1,284$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

Křivka „a“  $\chi_y = 0,295$

Křivka „b“  $\chi_z = 0,434$

V rovině rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{336,89 \cdot 10^3}{0,295 \cdot 9\,882 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,326 \leq 1,0}$$

Vyhovuje.

Z roviny rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{336,89 \cdot 10^3}{0,434 \cdot 9\,882 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,221 \leq 1,0}$$

Vyhovuje.

### Klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,884 \cdot 1\,702 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1} = \mathbf{534,12 \text{ kNm}}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,686 + \sqrt{0,686^2 - 0,75 \cdot 0,603^2}} = 0,884$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,603 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,603^2] = 0,686$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1\,702 \cdot 10^3 \cdot 355}{1\,661,2 \cdot 10^6}} = 0,603$$

Součinitele

$$h/b = 450/190 = 2,37 \rightarrow \text{křivka klopení „c“}$$

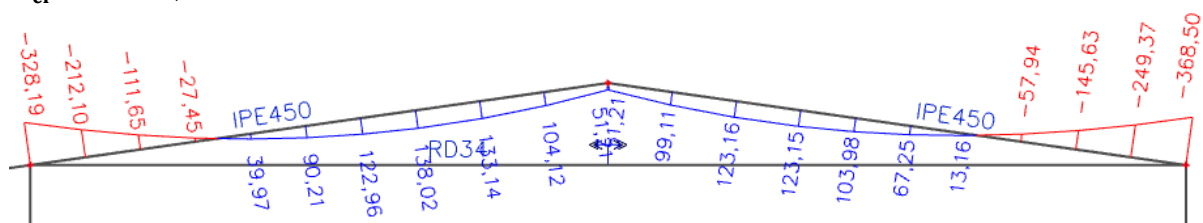
$$\alpha_{LT} = 0,49$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

Kritický moment je vypočten softwarem LTBeam viz příloha č. 3.7.

$$M_{cr} = 1\,661,2\text{ kNm}$$



### Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{368,50}{534,12} = 0,690 \leq 1$$

Vyhovuje.

### Interakce tlaku s ohybem

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 9\,882 \cdot 355 = 3\,508,11\text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 1\,702 \cdot 10^3 \cdot 355 = 604,21\text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$  a  $k_{zy}$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,139) = 0,211 < 0,4 \rightarrow C_{m,LT} = 0,4$$

$$M_h = -368,50\text{ kNm}$$

$$M_s = 51,21\text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{51,21}{-368,50} = -0,139$$

$$\psi \cdot M_h = -328,19\text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{-328,191}{-368,50} = 0,891$$

$$C_{m,LT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,416 = 0,766$$

$$M = 51,21\text{ kNm}$$

$$\psi M = 123,16\text{ kNm}$$

$$\psi = 0,416$$

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

$$k_{yy} = \min \left\{ 0,4 \cdot \left( 1 + (1,715 - 0,2) \cdot \frac{336,89 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} \right); 0,4 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{336,89 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,597; 0,504\} = 0,504$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 1,284}{0,766 - 0,25} \cdot \frac{336,89 \cdot 10^3}{0,434 \cdot \frac{3 \cdot 508,11 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{0,766 - 0,25} \cdot \frac{336,89 \cdot 10^3}{0,434 \cdot \frac{3 \cdot 508,11 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = \min \{0,945; 0,957\} = \mathbf{0,945}$$

### Podmínky únosnosti

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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

$$\frac{336,89 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{3 \cdot 508,11 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,504 \cdot \frac{368,50 \cdot 10^3}{0,884 \cdot \frac{604,21 \cdot 10^3}{1,0}} = 0,326 + 0,348 = \mathbf{0,673} \leq 1$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

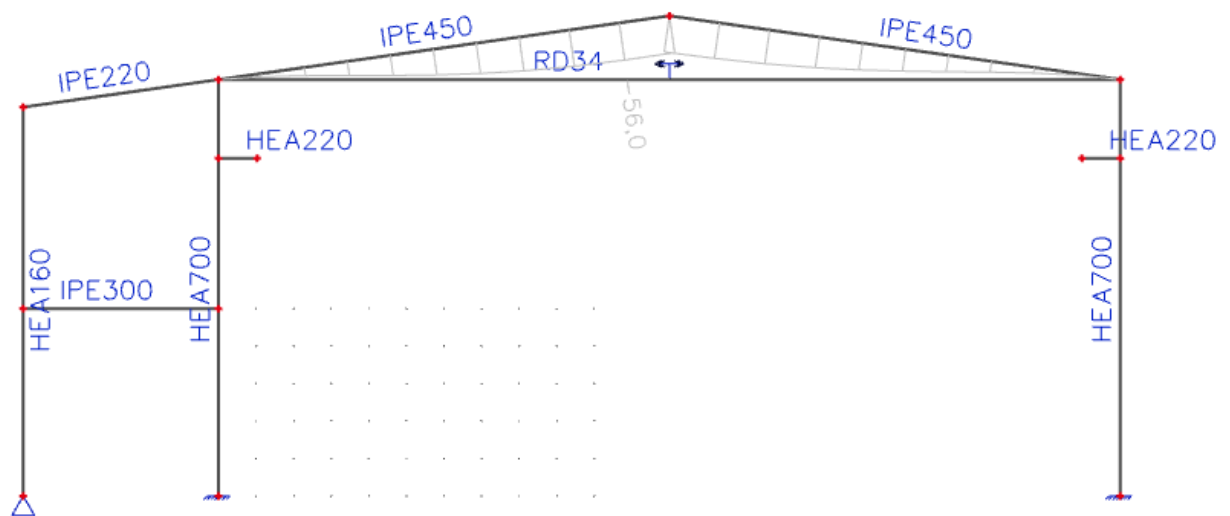
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{336,89 \cdot 10^3}{0,434 \cdot \frac{3 \cdot 508,11 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,945 \cdot \frac{368,50 \cdot 10^3}{0,884 \cdot \frac{604,21 \cdot 10^3}{1,0}} = 0,221 + 0,652 = \mathbf{0,873} \leq 1$$

Vyhovuje.

### Mezní stav použitelnosti – průhyb

$w = 56,0 \text{ mm}$  kombinace SLS8; L, software Scia Engineer



$$w = \mathbf{56,0 \text{ mm}} \leq \frac{L}{250} = \frac{24 \cdot 240}{250} = \mathbf{97 \text{ mm}}$$

Vyhovuje.

### 7.2.8 Příčel administrativní části

Návrh: IPE220

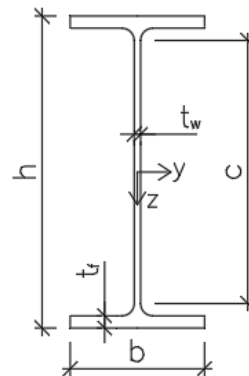
$h = 220 \text{ mm}$

$b = 110 \text{ mm}$

$A = 3 \cdot 337 \text{ mm}^2$

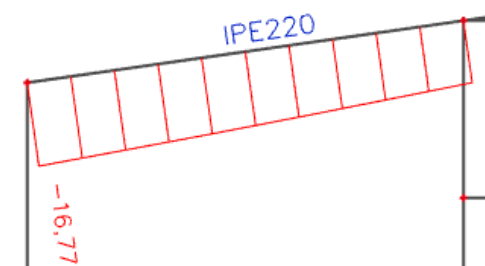
$A_{v,z} = 1 \cdot 588 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 c &= 177,6 \text{ mm} \\
 t_f &= 9,2 \text{ mm} \\
 t_w &= 5,9 \text{ mm} \\
 i_y &= 91,1 \text{ mm} \\
 i_z &= 24,8 \text{ mm} \\
 I_y &= 2\,772 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\
 I_z &= 204,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\
 W_{pl,y} &= 285,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\
 I_w &= 22\,670 \cdot 10^6 \text{ mm}^6 \\
 I_t &= 9,066 \cdot 10^4 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

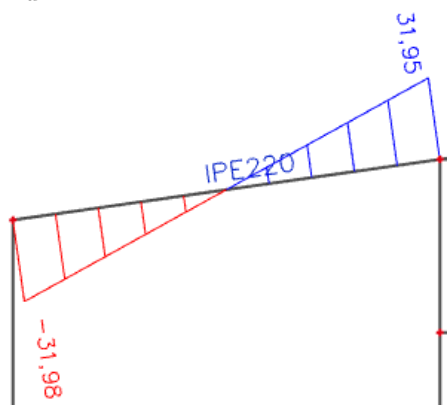


**Návrhové vnitřní síly (kombinace ULS24; L)**

$$N_{Ed} = 16,77 \text{ kN}$$

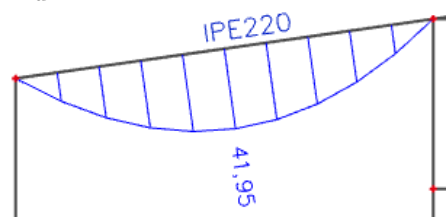


$$V_{Ed} = 31,98 \text{ kN}$$



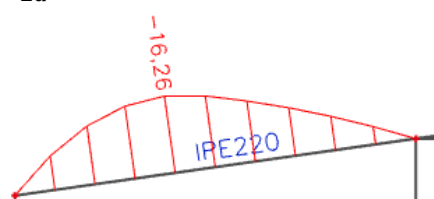
**Návrhový ohybový moment při zatížení tlakem**

$$M_{Ed} = 41,95 \text{ kNm}$$



**Návrhový ohybový moment při zatížení sáním (kombinace ULS25; L)**

$$M_{Ed} = -16,26 \text{ kNm}$$

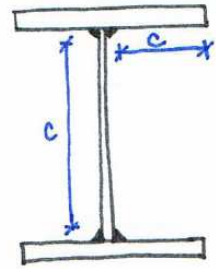


## Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Pásnice tlak

$$c/t_f = 40,05/9,2 = 4,35 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,326 \rightarrow \text{Třída 1}$$



Stojina tlak + ohyb

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{16,77 \cdot 10^3}{5,9 \cdot 355} = 8,01 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{177,6 + 8,01}{2} = 92,80 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{92,80}{177,6} = 0,523 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 177,6/5,9 = 30,10 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,523 - 1} = 55,64 \rightarrow \text{Třída 1}$$

## Mezní stav únosnosti

### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$
$$\frac{16,77 \cdot 10^3}{3 \cdot 337 \cdot 355 / 1,0} + \frac{41,95 \cdot 10^6}{285,4 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} = 0,014 + 0,416 = \mathbf{0,428} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 588 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 325,48 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 31,98 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 325,48 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = 31,98 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 325,48 \text{ kN} = 162,74 \text{ kN}$$

→ Nejedná se o velký smyk.

## Stabilita

### Vzpěrná únosnost

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 5 \cdot 252 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 5 \cdot 252 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5 \cdot 252}{91,1} = 57,651$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5 \cdot 252}{24,8} = 211,774$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{57,651}{76,4} = 0,755$$



$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{211,774}{76,4} = 2,772$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

Křivka „a“  $\chi_y = 0,820$

Křivka „b“  $\chi_z = 0,115$

V rovině rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{16,77 \cdot 10^3}{0,820 \cdot 9\,882 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,017 \leq 1,0}$$

Vyhovuje.

Z roviny rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{16,77 \cdot 10^3}{0,115 \cdot 9\,882 \cdot 355 / 1,0} = \mathbf{0,123 \leq 1,0}$$

Vyhovuje.

**Únosnost při namáhání tlakem (uvažováno, že nedochází ke klopení)**

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot 285,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1} = \mathbf{101,32 \text{ kNm}}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{41,95}{101,32} = \mathbf{0,414 \leq 1}$$

Vyhovuje.

**Únosnost při namáhání sáním (uvažováno, že dochází ke klopení)**

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,447 \cdot 285,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1} = \mathbf{45,289 \text{ kNm}}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,522 + \sqrt{1,522^2 - 0,75 \cdot 1,550^2}} = 0,447$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,550 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,550^2] = 1,522$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{285,4 \cdot 10^3 \cdot 355}{42,165 \cdot 10^6}} = 1,550$$

Součinitele

$$h/b = 220/110 = 2,0 \rightarrow \text{křivka klopení „a“}$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,254 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210\,000 \cdot 204,9 \cdot 10^4 \cdot 81\,000 \cdot 9,066 \cdot 10^4}}{5\,252}$$

$$M_{cr} = \mathbf{42,165 \text{ kNm}}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,13}{1} \cdot \sqrt{1 + 0,482^2} = 1,254$$

$$C_{1,0} = 1,13$$

$$C_{1,1} = 1,13$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{wt} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,594 = 1,13$$

$$k_z = 1,0$$

Parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1.5252} \cdot \sqrt{\frac{210\,000 \cdot 22\,670 \cdot 10^6}{81\,000 \cdot 9,066 \cdot 10^4}} = 0,482$$

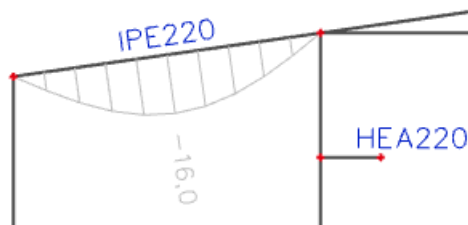
Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{16,26 \cdot 10^6}{45,289 \cdot 10^6} = \mathbf{0,359} \leq 1$$

Vyhovuje.

**Mezní stav použitelnosti – průhyb**

$w = 16,0 \text{ mm}$  kombinace SLS9; L, software Scia Engineer

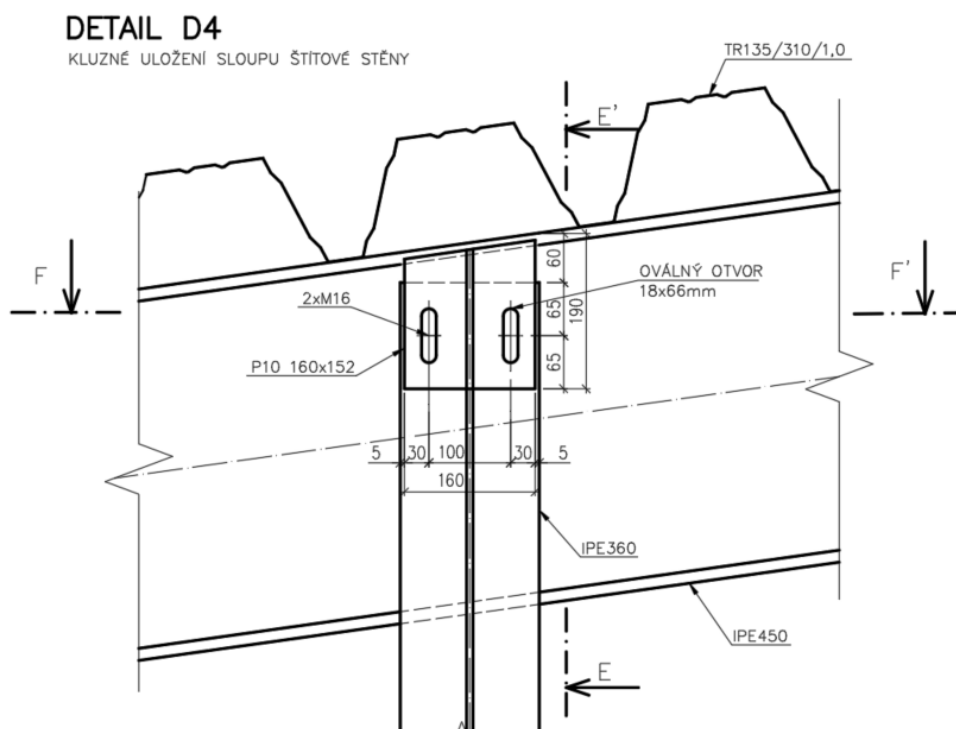


$$w = \mathbf{16,0 \text{ mm}} \leq \frac{L}{250} = \frac{5\,252}{250} = \mathbf{21 \text{ mm}}$$

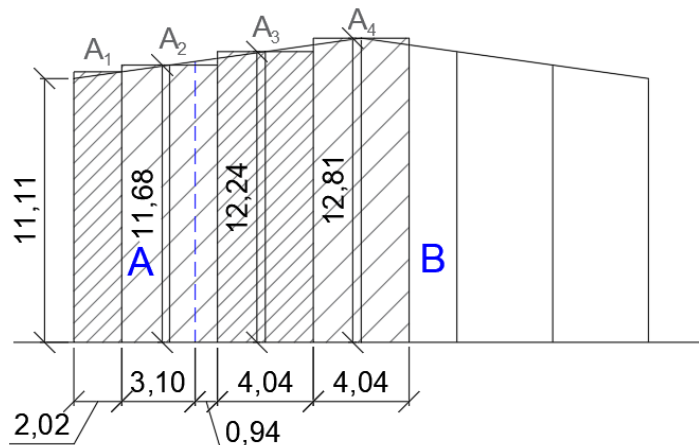
## 7.3 Sloupek štítové stěny

Sloupky štítové stěny mají kloubovou patku a jsou uloženy kluzně k příčli rámu. Štítová vazba rámu je stejná jako běžná vazba, jelikož je uvažováno s možným rozšířením haly v budoucnu.

Obrázek kluzného uložení sloupku na příčel



### 7.3.1 Sloupek štítové stěny hlavní části haly



#### 7.3.1.1 Nejdelší sloupek prostřední A<sub>4</sub>

$$L = 12,81 \text{ m}$$

$$b_{\text{zat}} = 4,04 \text{ m}$$

Zatížení

$$\text{Vlastní tíha sloupu } g_{\text{IPE}} = 0,571 \text{ kN/m}$$

$$\text{Obvodový plášť } g_{\text{plášť}} = 0,1 \text{ kN/m}$$

Vítr příčný

$$w_{\text{k,příčný}} = w_{\text{e,B}} \cdot b_{\text{zat}} = 0,912 \cdot 4,04 = 3,68 \text{ kN/m (rozhoduje)}$$

Vítr podélný

$$w_{k,\text{podélný}} = w_{e,D} \cdot b_{\text{zat}} = 0,53 \cdot 4,04 = 2,14 \text{ kN/m}$$

Návrhové zatížení větrem

$$w_{d,\text{příčný}} = \gamma_Q \cdot w_{k,\text{příčný}} = 1,5 \cdot 3,68 = 5,52 \text{ kN/m}$$

$$w_{d,\text{podélný}} = \gamma_Q \cdot w_{k,\text{podélný}} = 1,5 \cdot 2,14 = 3,21 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly od sání větru

$$N_{Ed} = \gamma_G \cdot (g_{IPE} \cdot L + b_{\text{zat}} \cdot g_{\text{plášť}} \cdot L) = 1,35 \cdot (0,571 \cdot 12,81 + 4,04 \cdot 0,1 \cdot 12,81) = 16,86 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot w_{d,\text{příčný}} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 5,52 \cdot 12,81 = 35,36 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot w_{d,\text{příčný}} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 5,52 \cdot 12,81^2 = 113,23 \text{ kNm (rozhoduje)}$$

Vnitřní síly od tlaku větru

$$M_{Ed,\text{tlak}} = \frac{1}{8} \cdot w_{d,\text{podélný}} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 3,21 \cdot 12,81^2 = 65,84 \text{ kNm}$$

Potřebný moment setrvačnosti z podmínky vodorovného průhybu fasádního sloupku

$$I_y = \frac{5 \cdot w_{k,\text{příčný}} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot \frac{L}{250}} = \frac{5 \cdot 3,68 \cdot 12\,810^4}{384 \cdot 210\,000 \cdot \frac{12\,810}{250}} = 11,99 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

**Navrhují: IPE360**

$$h = 360 \text{ mm}$$

$$b = 170 \text{ mm}$$

$$A = 7\,273 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 3\,514 \text{ mm}^2$$

$$c = 298,6 \text{ mm}$$

$$t_f = 12,7 \text{ mm}$$

$$t_w = 8,0 \text{ mm}$$

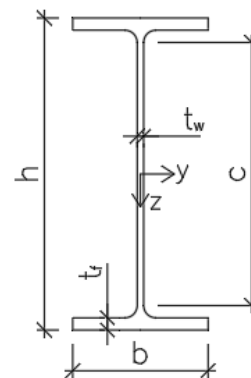
$$i_y = 150 \text{ mm}$$

$$i_z = 37,9 \text{ mm}$$

$$I_y = 16,27 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 10,43 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 1\,019 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

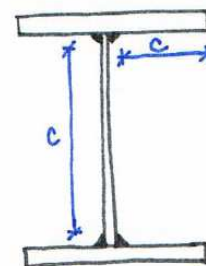


**Zatřídění průřezu**

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Tlačená pásnice

$$c/t_f = 63/12,7 = 4,96 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,33 \rightarrow \text{Třída 1}$$



Stojina tlak+ohyb

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{16,86 \cdot 10^3}{8,0 \cdot 355} = 5,94 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{298,6 + 5,94}{2} = 152,27 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{152,27}{298,6} = 0,510 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 298,6/8,0 = 37,33 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,510 - 1} = 57,25 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Průřez třídy 1.

### Mezní stav únosnosti

#### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$
$$\frac{16,86 \cdot 10^3}{7\,273 \cdot 355 / 1,0} + \frac{113,23 \cdot 10^6}{1\,019 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} = 0,007 + 0,313 = \mathbf{0,320} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

#### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{3\,514 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 720,23 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 35,36 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 720,23 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = 35,36 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 720,23 \text{ kN} = 360,12 \text{ kN}$$

→ Nejedná se o velký smyk.

#### Stabilita

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 12\,810 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 7\,810 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{12\,810}{150} = 85,40$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7\,810}{37,9} = 206,07$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{85,40}{76,4} = 1,118$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{206,07}{76,4} = 2,697$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

$$\text{Křivka „a“} \quad \chi_y = 0,582$$

$$\text{Křivka „b“} \quad \chi_z = 0,121$$

**Únosnost na klopení při tlaku větru (uvažováno, že průřez neklopí)**

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot 1\,019 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1} = 361,75 \text{ kNm}$$

Maximální návrhový ohybový moment

$$M_{Ed,tlak} = 65,84 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{65,84}{361,75} = \mathbf{0,182} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

**Únosnost na klopení při sání větru (průřez klopí, pásnice v tlaku není držena)**

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,577 \cdot 1\,019 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = \mathbf{208,73 \text{ kNm}}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,130 + \sqrt{1,130^2 - 0,75 \cdot 1,104^2}} = 0,577$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,34 \cdot (1,104 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,104^2 \right] = 1,130$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1\,019 \cdot 10^3 \cdot 355}{297,0 \cdot 10^6}} = 1,104$$

Součinitele

$$h/b = 360/170 = 2,11 \rightarrow \text{křivka klopení „b“}$$

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

Kritický moment je vypočten v programu LTBeam viz příloha č. 3.8.

$$M_{cr} = \mathbf{297,0 \text{ kNm}}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{113,23}{208,73} = \mathbf{0,542} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

**Interakce tlaku s ohybem**

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 7\,273 \cdot 355 = 2\,581,92 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 1\,019 \cdot 10^3 \cdot 355 = 361,75 \text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$  a  $k_{zy}$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$C_{m,LT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$\alpha_h = \frac{0}{94,13} = 0$$

$$\psi = 0$$

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left( 1 + (1,118 - 0,2) \cdot \frac{16,86 \cdot 10^3}{0,582 \cdot \frac{2 \cdot 581,92 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{16,86 \cdot 10^3}{0,582 \cdot \frac{2 \cdot 581,92 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,959; 0,959\} = \mathbf{0,959}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 2,697}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{16,86 \cdot 10^3}{0,121 \cdot \frac{2 \cdot 581,92 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ \left( 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{16,86 \cdot 10^3}{0,121 \cdot \frac{2 \cdot 581,92 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \min \{0,979; 0,992\} = \mathbf{0,979}$$

### Podmínky únosnosti

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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

$$\frac{16,86 \cdot 10^3}{0,582 \cdot \frac{2 \cdot 581,92 \cdot 10^3}{1}} + 0,959 \cdot \frac{113,23 \cdot 10^6}{0,577 \cdot \frac{361,75 \cdot 10^6}{1}} = 0,011 + 0,520 = \mathbf{0,531} \leq 1$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

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

$$\frac{16,86 \cdot 10^3}{0,121 \cdot \frac{2 \cdot 581,92 \cdot 10^3}{1}} + 0,979 \cdot \frac{113,23 \cdot 10^6}{0,577 \cdot \frac{361,75 \cdot 10^6}{1}} = 0,054 + 0,531 = \mathbf{0,585} \leq 1$$

Vyhovuje.

### Mezní stav použitelnosti

Vodorovný průhyb sloupku

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{w_{k,příčný} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,68 \cdot 12 \cdot 810^4}{210 \cdot 000 \cdot 16,27 \cdot 10^6} = 37,76 \text{ mm}^4$$

$$w = \mathbf{37,76 \text{ mm}} \leq \frac{L}{250} = \frac{12 \cdot 810}{250} = \mathbf{51,24 \text{ mm}}$$

Vyhovuje.

#### 7.3.1.2 Sloupek A<sub>2</sub>

$$L = 11,68 \text{ m}$$

$$b_{zat} = 4,04 \text{ m}$$

Zatížení

$$\text{Vlastní tíha sloupu } g_{IPE} = 0,571 \text{ kN/m}$$

$$\text{Obvodový plášť } g_{plášť} = 0,1 \text{ kN/m}$$

Vítr příčný

$$w_{k,příčný} = w_{e,A} \cdot 3,10 + w_{e,B} \cdot 0,94 = 0,877 \cdot 3,10 + 0,912 \cdot 0,94 = 3,58 \text{ kN/m (rozhoduje)}$$

Vítr podélný

$$w_{k,podélný} = w_{e,D} \cdot b_{zat} = 0,53 \cdot 4,04 = 2,14 \text{ kN/m}$$

Návrhové zatížení větrem

$$w_{d,příčný} = \gamma_Q \cdot w_{k,příčný} = 1,5 \cdot 3,58 = 5,37 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = \gamma_G \cdot (g_{IPE} \cdot L + b_{zat} \cdot g_{plášť} \cdot L) = 1,35 \cdot (0,491 \cdot 11,68 + 4,04 \cdot 0,1 \cdot 11,68) = 14,11 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot w_{d,příčný} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 5,37 \cdot 11,68 = 31,36 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot w_{d,příčný} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 5,37 \cdot 11,68^2 = 91,574 \text{ kNm}$$

Potřebný moment setrvačnosti z podmínky vodorovného průhybu fasádního sloupku

$$I_y = \frac{5 \cdot w_{k,příčný} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot \frac{L}{250}} = \frac{5 \cdot 3,58 \cdot 11\,680^4}{384 \cdot 210\,000 \cdot \frac{11\,680}{250}} = 88,424 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Vzhledem k nižším hodnotám vnitřních sil a potřebnému momentu setrvačnosti než u předchozího sloupku se předpokládá, že profil IPE360 vyhoví na mezní stav únosnosti i použitelnosti.

### 7.3.1.3 Krajní pomocný sloupek

Tento sloupek slouží k uchycení obvodového pláště. Spolupůsobení se sloupem příčné vazby konzervativně není uváženo.

**Návrh: U120**

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

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

$$c = 82,1 \text{ mm}$$

$$A = 1\,700 \text{ mm}^2$$

$$t_f = 9,0 \text{ mm}$$

$$t_w = 7,0 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 72,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Zatížení

$$\text{Vlastní tíha sloupu } g_U = 0,133 \text{ kN/m}$$

$$\text{Obvodový plášť } g_{plášť} = 0,1 \text{ kN/m}$$

Vítr příčný

$$w_{k,příčný} = w_{e,A} \cdot 2,02 = 0,877 \cdot 2,02 = 1,77 \text{ kN/m (rozhoduje)}$$

Vítr podélný

$$w_{k,podélný} = w_{e,D} \cdot b_{zat} = 0,53 \cdot 2,02 = 1,07 \text{ kN/m}$$

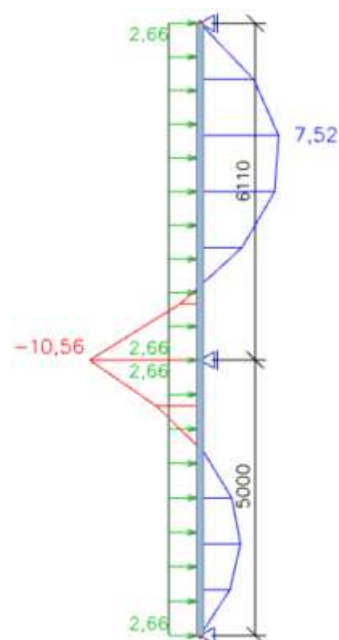
Návrhové zatížení větrem

$$w_{d,příčný} = \gamma_Q \cdot w_{k,příčný} = 1,5 \cdot 1,77 = 2,66 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= \gamma_G \cdot (g_U \cdot L + b_{zat} \cdot g_{plášť} \cdot L) \\ &= 1,35 \cdot (0,133 \cdot 11,11 + 2,02 \cdot 0,1 \cdot 11,11) \\ &= 5,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = 10,56 \text{ kNm Vypočet ve Scia Engineer}$$





Zatřídění průřezu

Stojina ohyb

$$\frac{c}{t_w} = \frac{82,1}{7} = 11,73 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,814 = 58,61 \rightarrow \text{Třída 1}$$

**Mezní stav únosnosti**

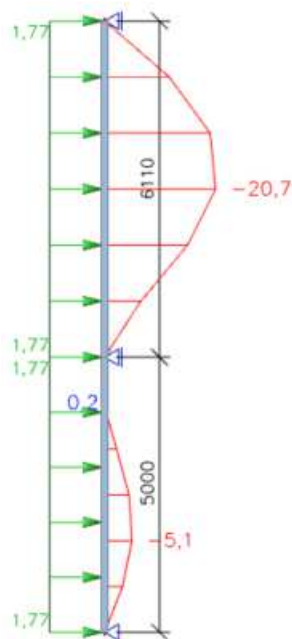
**Pevnost**

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{5,03 \cdot 10^3}{1700 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{10,56 \cdot 10^6}{72,6 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} =$$
$$= 0,008 + 0,410 = 0,418 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

**Mezní stav použitelnosti – vodorovný průhyb**

$w = 20,7 \text{ mm}$  software Scia Engineer 18



$$w = 20,7 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{6110}{250} = 24,44 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

### 7.3.1.4 Rohový sloupek administrativní části budovy

Průřez sloupku je zachován z příčné vazby, jedná se o sloup rámu administrativní části budovy. Zde je sloup znovu posouzen, tentokrát i na účinky větru působícího na štítovou stěnu. Budou zde tedy uváženy dvě na sebe kolmé větry.

Návrh: HEA160

$$h = 152 \text{ mm}$$

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

$$c = 104 \text{ mm}$$

$$h_i = 134 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,0 \text{ mm}$$

$$t_w = 6,0 \text{ mm}$$

$$A = 3\,877 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 1\,320 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 65,7 \text{ mm}$$

$$i_z = 39,8 \text{ mm}$$

$$I_y = 1\,673 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

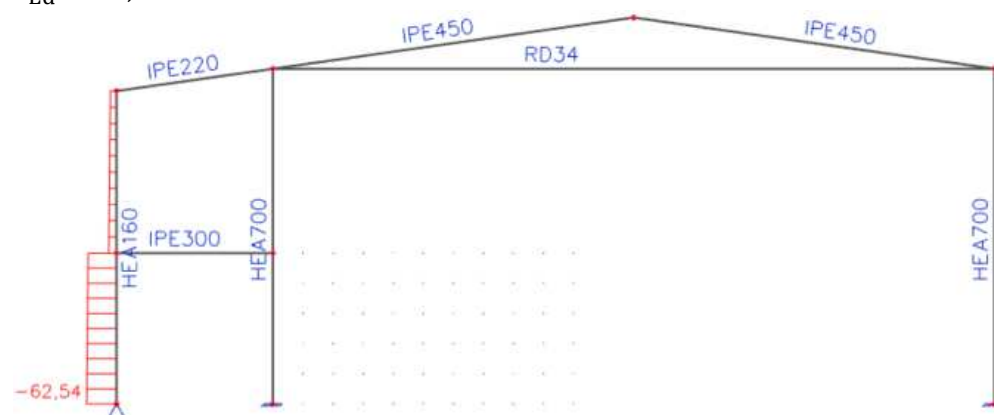
$$W_{pl,y} = 245,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 117,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

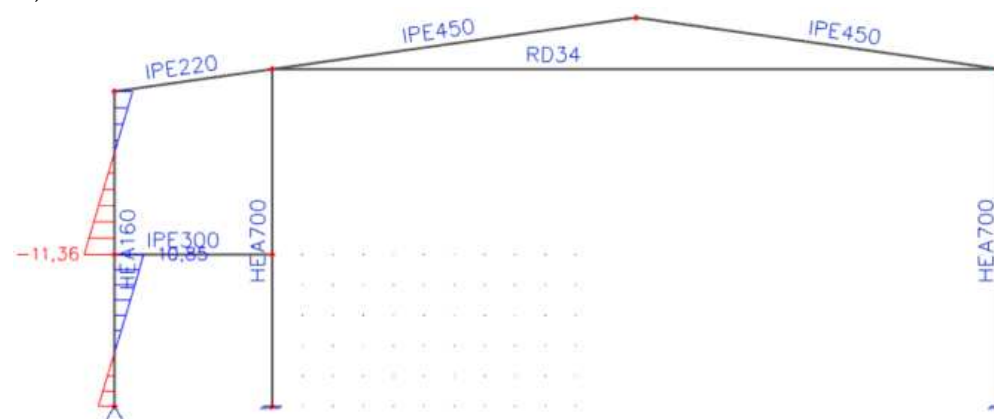
#### Návrhové vnitřní síly (kombinace ULS30; L)

Model pro získání vnitřních sil vychází z modelu použitého pro běžnou příčnou vazbu administrativní části. Nyní je však zatížení poloviční, jelikož zatěžovací šířka krajního rámu je poloviční  $b = 3 \text{ m}$ .

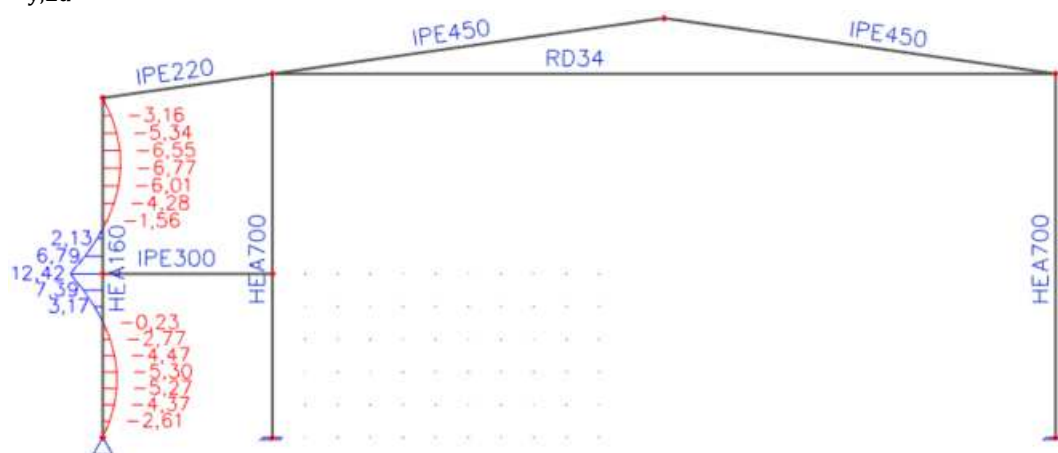
$$N_{Ed} = 62,54 \text{ kN}$$



$$V_{z,Ed} = 11,36 \text{ kN}$$

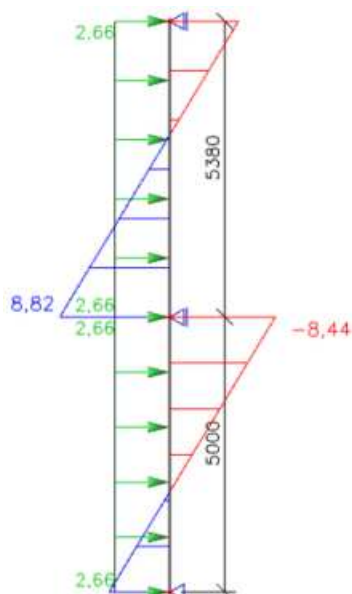


$$M_{y,Ed} = 12,42 \text{ kNm}$$

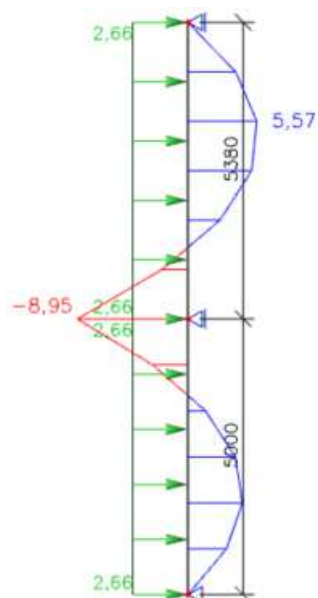


Moment a posouvací síla v kolmém směru jsou dopočteny níže (jedná se o vítr příčný viz kapitola 7.3.1.3).

$$V_{y,Ed} = 8,82 \text{ kN}$$



$$M_{z,Ed} = 8,95 \text{ kNm}$$



### Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

### Pásnice tlak

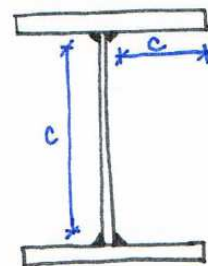
$$c/t_f = 62/9,0 = 6,89 < 10 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,33 \rightarrow \text{Třída 1}$$

### Stojina tlak + ohyb

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{62,54 \cdot 10^3}{6,0 \cdot 355} = 29,36 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c + z}{2} = \frac{104 + 29,36}{2} = 66,68 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{66,68}{104} = 0,641 \rightarrow \alpha > 0,5$$



Pro stojinu třídy 1 musí být splněna podmínka

$$c/t_w = 104/6,0 = 17,33 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,641 - 1} = 43,96 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Průřez třídy 1.

### Mezní stav únosnosti

#### Pevnost

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{62,54 \cdot 10^3}{3\,877 \cdot 355 / 1,0} + \frac{12,42 \cdot 10^6}{245,1 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} + \frac{8,95 \cdot 10^6}{117,6 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 355 / 1,0} \\ = 0,045 + 0,143 + 0,214 = \mathbf{0,403} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

#### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1\,320 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 270,75 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 11,36 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 270,75 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{Ed} = \mathbf{11,36 \text{ kN}} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 270,75 \text{ kN} = \mathbf{135,37 \text{ kN}}$$

→ Nejedná se o velký smyk.

### Stabilita - vzpěrná únosnost

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 10\,380 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 5\,380 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10\,380}{65,7} = 157,99$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5\,380}{39,8} = 135,18$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{157,99}{76,4} = 2,068$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{125,63}{76,4} = 1,769$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrnostní součinitelé

$$\text{Křivka „b“} \quad \chi_y = 0,198$$

$$\text{Křivka „c“} \quad \chi_z = 0,260$$

V rovině rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{62,54 \cdot 10^3}{0,198 \cdot 3\,877 \cdot 355 / 1,0} = 0,229 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

Z roviny rámu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{62,54 \cdot 10^3}{0,260 \cdot 3\,877 \cdot 355 / 1,0} = 0,175 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

## Klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,949 \cdot 245,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = \mathbf{82,573 \text{ kNm}}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,652 + \sqrt{0,652^2 - 0,75 \cdot 0,593^2}} = 0,949$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,593 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,593^2] = 0,652$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{245,1 \cdot 10^3 \cdot 355}{247,32 \cdot 10^6}} = 0,593$$

Součinitele

$$h/b = 160/152 = 1,1 \rightarrow \text{křivka klopení „a“}$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

Kritický moment je vypočten softwarem LTBeam viz příloha č. 3.9.

$$M_{cr} = \mathbf{247,32 \text{ kNm}}$$

## Posouzení

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{12,42}{82,573} = \mathbf{0,150 \leq 1}$$

Vyhovuje.

## Interakce tlaku s ohybem

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 3877 \cdot 355 = 1376,34 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 245,1 \cdot 10^3 \cdot 355 = 87,01 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_{yk} = 117,6 \cdot 10^3 \cdot 355 = 41,75 \text{ kNm}$$

Součinitelé  $k_{yy}$ ,  $k_{zy}$  a  $k_{zz}$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

$$M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$M_S = 12,42 \text{ kNm}$$

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_S} = 0$$

$$C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95$$

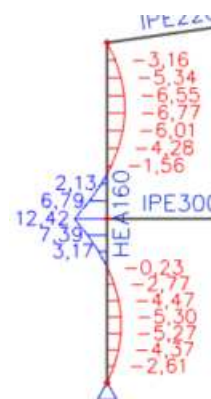
$$M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$M_S = -8,95 \text{ kNm}$$

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_S} = 0$$

$$C_{m,LT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,545) = 0,536 > 0,4$$



$$M_h = 12,42 \text{ kNm}$$

$$\Psi \cdot M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$M_S = -6,77 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{M_S}{M_h} = \frac{-6,77}{12,42} = -0,545$$

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left( 1 + (2,068 - 0,2) \cdot \frac{62,54 \cdot 10^3}{0,198 \cdot \frac{1\,376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{62,54 \cdot 10^3}{0,198 \cdot \frac{1\,376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{1,357; 1,124\} = \mathbf{1,124}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \left( 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); \left( 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$

$$k_{zy} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 1,769}{0,536 - 0,25} \cdot \frac{62,54 \cdot 10^3}{0,260 \cdot \frac{1\,376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ \left( 1 - \frac{0,1}{0,536 - 0,25} \cdot \frac{62,54 \cdot 10^3}{0,260 \cdot \frac{1\,376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \min \{0,892; 0,939\} = \mathbf{0,892}$$

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

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left( 1 + (1,769 - 0,2) \cdot \frac{62,54 \cdot 10^3}{0,260 \cdot \frac{1\,376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{62,54 \cdot 10^3}{0,260 \cdot \frac{1\,376,34 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zz} = \min \{1,211; 1,083\} = \mathbf{1,083}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,083 = \mathbf{0,650}$$

### Podmínky únosnosti

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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

$$\frac{62,54 \cdot 10^3}{0,198 \cdot \frac{1\,376,34 \cdot 10^3}{1}} + 1,124 \cdot \frac{12,42 \cdot 10^6}{0,949 \cdot \frac{87,01 \cdot 10^6}{1}} + 0,650 \cdot \frac{8,95 \cdot 10^6}{\frac{41,75 \cdot 10^6}{1}} = 0,229 + 0,169 + 0,139$$

$$= \mathbf{0,538} \leq 1$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

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

$$\frac{62,54 \cdot 10^3}{0,260 \cdot \frac{1\,376,34 \cdot 10^3}{1}} + 0,892 \cdot \frac{12,42 \cdot 10^3}{0,949 \cdot \frac{87,01 \cdot 10^3}{1}} + 1,083 \cdot \frac{8,95 \cdot 10^6}{\frac{41,75 \cdot 10^6}{1}} = 0,175 + 0,134 + 0,232$$

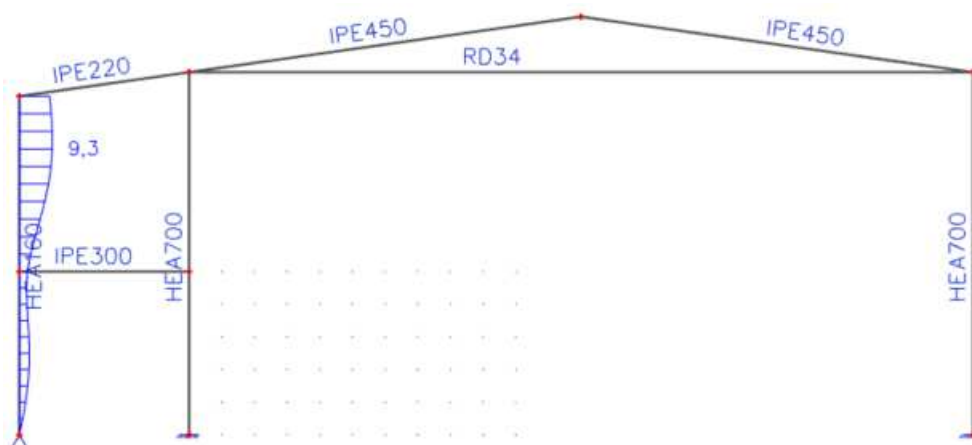
$$= \mathbf{0,541} \leq 1$$

Vyhovuje.

### Mezní stav použitelnosti

Vodorovný průhyb sloupu v rovině rámu

$w = 22,8 \text{ mm}$  kombinace SLS13; L, software Scia Engineer 18

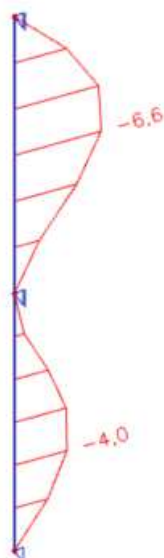


$$w = \mathbf{9,3 \text{ mm}} \leq \frac{L}{300} = \frac{10\,380}{300} = \mathbf{34,6 \text{ mm}}$$

Vyhovuje.

Vodorovný průhyb sloupu z roviny rámu

$w = 6,6 \text{ mm}$  zatížení viz kapitola 7.3.1.3., software Scia Engineer



$$w = \mathbf{6,6 \text{ mm}} \leq \frac{L}{300} = \frac{5\,380}{300} = \mathbf{17,93 \text{ mm}}$$

Vyhovuje.

### 7.3.1.5 Krajiní pomocný sloupek

Tento sloupek slouží k uchycení obvodového pláště. Spolupůsobení s rohovým sloupem příčné vazby administrativní části konzervativně není uváženo. Moment v kolmém směru přenesl rohový sloup vazby, ke kterému je tento sloupek připojen.

#### Profil U120

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

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

$$c = 82,1 \text{ mm}$$

$$A = 1\,700 \text{ mm}^2$$

$$t_f = 9,0 \text{ mm}$$

$$t_w = 7,0 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 72,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

#### Zatížení

$$\text{Vlastní tíha sloupu } g_U = 0,133 \text{ kN/m}$$

$$\text{Obvodový plášť } g_{plášť} = 0,1 \text{ kN/m}$$

#### Vítr příčný

$$w_{k,příčný} = w_{e,A} \cdot 2,02 = 0,877 \cdot 2,02 = 1,77 \text{ kN/m (rozhoduje)}$$

#### Vítr podélný

$$w_{k,podélný} = w_{e,D} \cdot b_{zat} = 0,53 \cdot 2,02 = 1,07 \text{ kN/m}$$

#### Návrhové zatížení větrem

$$w_{d,příčný} = \gamma_Q \cdot w_{k,příčný} = 1,5 \cdot 1,77 = 2,66 \text{ kN/m}$$

#### Vnitřní síly

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= \gamma_G \cdot (g_U \cdot L + b_{zat} \cdot g_{plášť} \cdot L) \\ &= 1,35 \cdot (0,133 \cdot 10,38 + 2,02 \cdot 0,1 \cdot 10,38) = 4,69 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = 8,95 \text{ kNm} \text{ Vypočet ve Scia Engineer viz obrázek}$$

#### Zatřídění průřezu

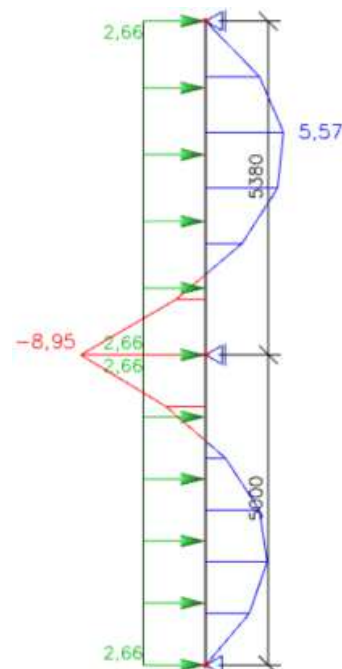
##### Stojina ohyb

$$\frac{c}{t_w} = \frac{82,1}{7} = 11,73 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,814 = 58,61 \rightarrow \text{Třída 1}$$

#### Mezní stav únosnosti

##### Pevnost

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} &= \frac{4,69 \cdot 10^3}{1\,700 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{8,95 \cdot 10^6}{72,6 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} = \\ &= 0,008 + 0,347 = 0,355 \leq 1,0 \end{aligned}$$



Vyhovuje.



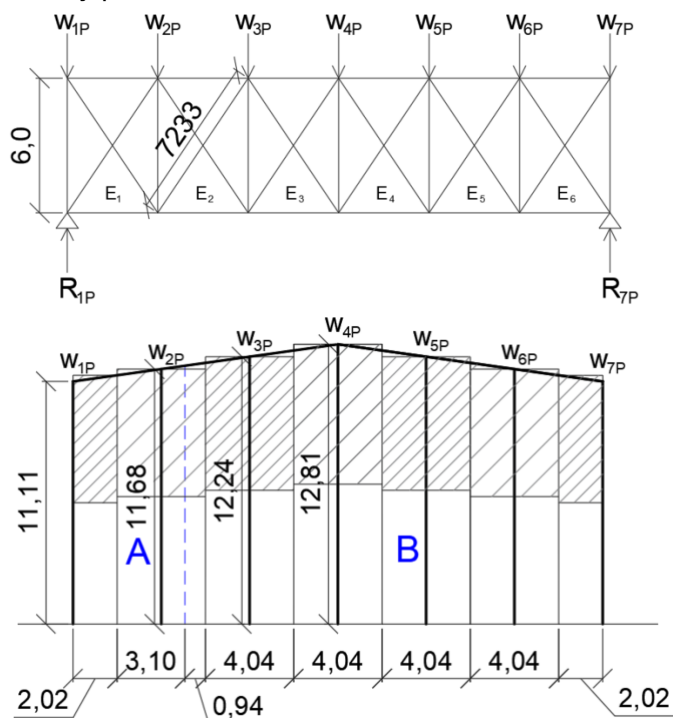
## 8 Ztužidla

### 8.1 Příčné střešní ztužidlo

V objektu jsou navržena tři příčná střešní ztužidla. Konzervativně jsou účinky větru vždy přiřazeny jednomu ztužidlu, na první krajní ztužidlo tak připadá tlak větru a na druhé krajní ztužidlo sání větru. Na středové ztužidlo jsou uváženy účinky tření větru. Jelikož jsou účinky od tlaku větru vždy větší, než účinky sání a tření na dané ztužidlo, je zde proveden návrh a posouzení krajního ztužidla přenášející účinky tlaku větru a u zbývajících dvou ztužidel budou použity tytéž profily.

#### 8.1.1 Zatížení

Účinky příčného větru



$$w_{1P,d} = \gamma_Q \cdot w_{e,A} \cdot 2,02 \cdot \frac{h_1}{2} = 1,5 \cdot 0,877 \cdot 2,02 \cdot \frac{11,11}{2} = 14,76 \text{ kN}$$

$$w_{2P,d} = \gamma_Q \cdot (w_{e,A} \cdot 3,1 + w_{e,B} \cdot 0,94) \cdot \frac{h_2}{2} = 1,5 \cdot (0,877 \cdot 3,1 + 0,912 \cdot 0,94) \cdot \frac{11,68}{2} = 31,33 \text{ kN}$$

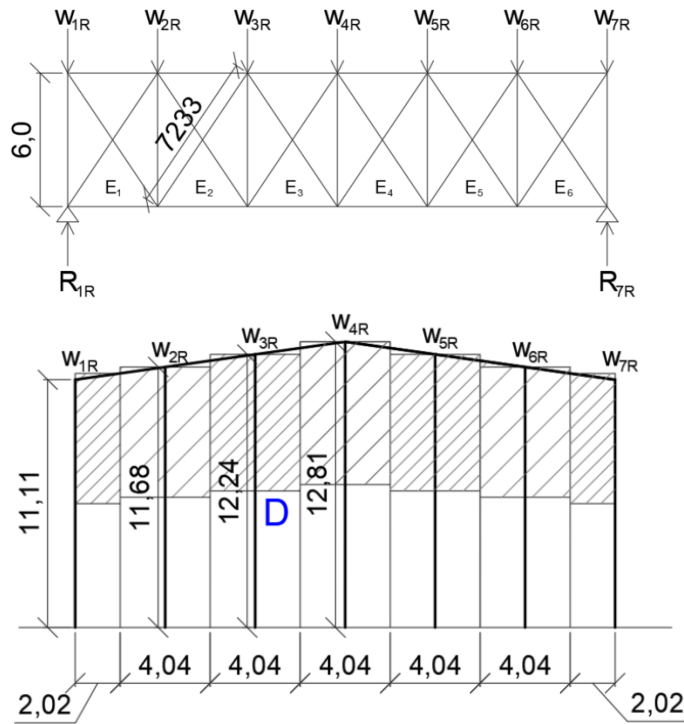
$$w_{3P,d} = w_{5P,d} = \gamma_Q \cdot w_{e,B} \cdot 4,04 \cdot \frac{h_3}{2} = 1,5 \cdot 0,912 \cdot 4,04 \cdot \frac{12,24}{2} = 33,82 \text{ kN}$$

$$w_{4P,d} = \gamma_Q \cdot w_{e,B} \cdot 4,04 \cdot \frac{h_4}{2} = 1,5 \cdot 0,912 \cdot 4,04 \cdot \frac{12,81}{2} = 35,40 \text{ kN}$$

$$w_{6P,d} = \gamma_Q \cdot w_{e,B} \cdot 4,04 \cdot \frac{h_2}{2} = 1,5 \cdot 0,912 \cdot 4,04 \cdot \frac{11,68}{2} = 32,28 \text{ kN}$$

$$w_{7P,d} = \gamma_Q \cdot w_{e,B} \cdot 2,02 \cdot \frac{h_1}{2} = 1,5 \cdot 0,912 \cdot 2,02 \cdot \frac{11,11}{2} = 15,35 \text{ kN}$$

## Účinky podélného větru



$$w_{1R,d} = w_{7R,d} = \gamma_Q \cdot w_{e,D} \cdot 2,02 \cdot \frac{h_1}{2} = 1,5 \cdot 0,507 \cdot 2,02 \cdot \frac{11,11}{2} = 8,53 \text{ kN}$$

$$w_{2R,d} = w_{6R,d} = \gamma_Q \cdot w_{e,D} \cdot 4,04 \cdot \frac{h_2}{2} = 1,5 \cdot 0,507 \cdot 4,04 \cdot \frac{11,68}{2} = 17,94 \text{ kN}$$

$$w_{4R,d} = \gamma_Q \cdot w_{e,D} \cdot 4,04 \cdot \frac{h_4}{2} = 1,5 \cdot 0,507 \cdot 4,04 \cdot \frac{12,81}{2} = 19,68 \text{ kN}$$

$$w_{3R,d} = w_{5R,d} = \gamma_Q \cdot w_{e,D} \cdot 4,04 \cdot \frac{h_3}{2} = 1,5 \cdot 0,507 \cdot 4,04 \cdot \frac{12,24}{2} = 18,80 \text{ kN}$$

### 8.1.2 Systém ztužidel

#### 8.1.2.1 Příčel

Počáteční prohnutí

$$e_0 = \alpha_m \cdot \frac{L}{500} = 0,74 \cdot \frac{24\,240}{500} = 35,88 \text{ mm}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{12}\right)} = 0,74$$

$m = 12$  počet vyztužovaných prutů

Ekvivalentní stabilizující zatížení

$$q_d = \sum N_{Ed} \cdot 8 \cdot \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} = \sum 12 \cdot 340,16 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot \frac{35,88 + 3,8}{24\,240^2} = 2,205 \text{ kN/m}$$

$$F_d = q_d \cdot b = 2,205 \cdot 4,04 = 8,908 \text{ kN}$$

#### 8.1.2.2 Diagonála

Návrh: TR102x4,0

$A = 1\,232 \text{ mm}^2$

$i = 34,7 \text{ mm}$

Ocel S355

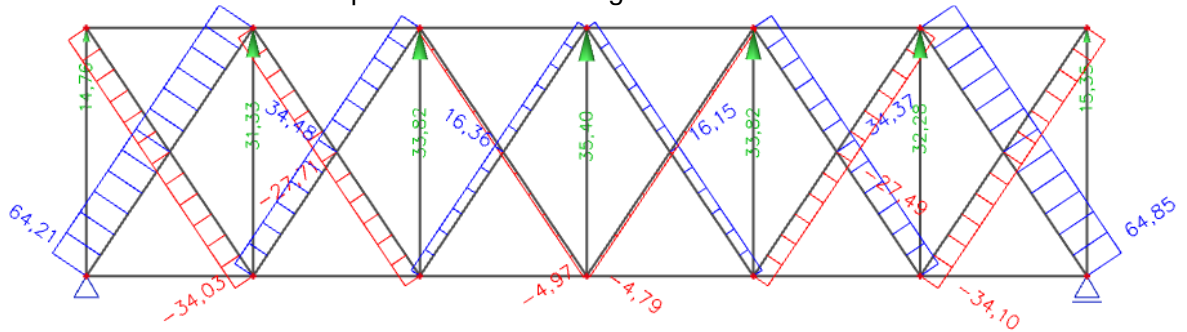
Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{102}{4,0} = 25,5 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,1 \rightarrow \text{Třída 1}$$

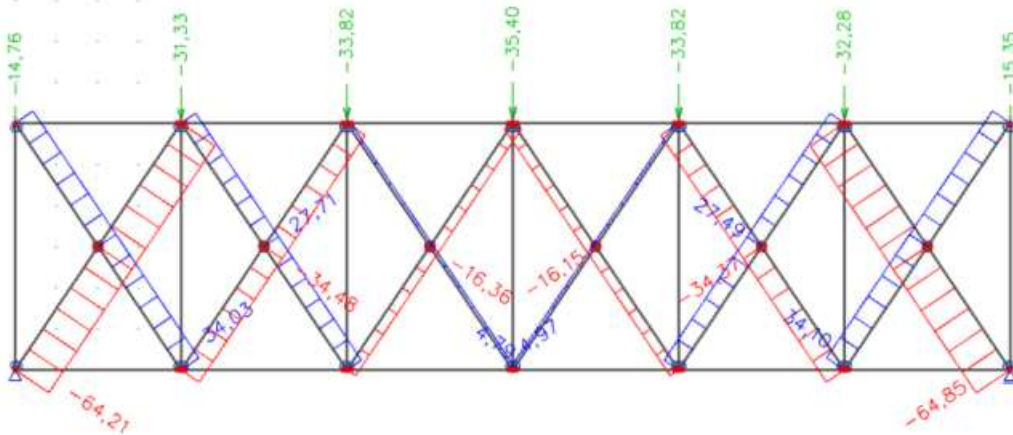
### Vnitřní síly v diagonále ztužidla

Výpočet vnitřních sil je proveden v softwaru Scia Engineer. Zatížení je uvažováno dvěma způsoby – směr +Z a -Z. Pro dimenzování prutů jsou pak vybrány největší hodnoty tahových a tlakových normálových sil (absolutní hodnoty).

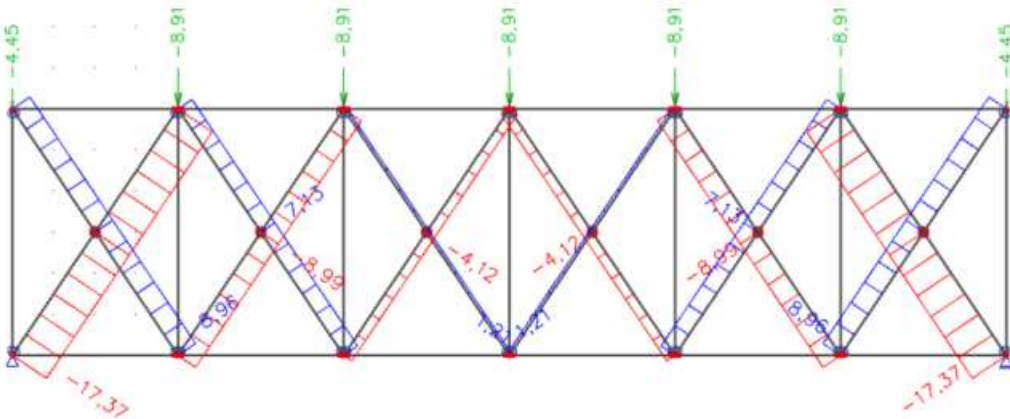
Návrhová normálová síla od příčného větru v diagonále – směr +Z



Návrhová normálová síla od příčného větru v diagonále – směr -Z



Stabilizující normálová síla v diagonále



Tlačená diagonála je stabilizována taženou diagonálou

$L = 7\,233\text{ mm}$  délka diagonály

Vzpěrná délka prutu k ose „y“ a „z“

$$L_{cr} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}}$$

V tabulce níže jsou určeny vzpěrné délky pro diagonály ve všech polích příčného ztužidla. Největší vzpěrnou délku má diagonála v poli E3, ale zároveň je zde nejnižší tlaková normálová síla. Největší tlaková síla se vyskytuje v diagonále v poli E6. Posouzeny budou diagonály v těchto dvou polích.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
$L_{cr}[mm]$	5 615	4 560	6 391	6 345	4 577	5 630
$N_{i,Ed,c}$	64,21	34,48	16,36	16,15	34,37	64,85
$N_{i,Ed,t}$	34,04	27,71	4,79	4,97	27,49	34,10

#### Diagonála v poli E3

$$N_{E3,Ed,t} = 4,79 \text{ kN}$$

$$N_{E3,Ed,c} = 16,36 \text{ kN}$$

$$N_{E3,Ed,t,st} = 1,21 \text{ kN}$$

#### Podmínka

$$\frac{L}{2} = \frac{7\,233}{2} = 3\,617 \text{ mm} \leq L_{cr} = 6\,391 \text{ mm}$$

#### Vzpěrná únosnost

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,948 + \sqrt{3,948^2 - 2,411^2}} = 0,141$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,411 - 0,2) + 2,411^2] = 3,948$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{6\,391}{34,7 \cdot 76,4} = 2,411$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6\,391}{34,7} = 184,2 < 250$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$$\alpha = 0,49 \quad \text{křivka „c“}$$

#### Posouzení

$$\frac{N_{E3,Ed,c}}{\chi \cdot \frac{N_{RK}}{\gamma_{M1}}} = \frac{16,36 \cdot 10^3}{0,141 \cdot \frac{1\,232 \cdot 355}{1,0}} = \mathbf{0,265} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

#### Diagonála v poli E6

$$N_{E6,Ed,t} = 34,10 \text{ kN}$$

$$N_{E6,Ed,c} = 64,85 \text{ kN}$$

$$N_{E6,Ed,t,st} = 8,96 \text{ kN}$$

#### Podmínka

$$\frac{L}{2} = \frac{7\,233}{2} = 3\,617 \text{ mm} \leq L_{cr} = 5\,630 \text{ mm}$$

#### Vzpěrná únosnost

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,227 + \sqrt{3,227^2 - 2,124^2}} = 0,177$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,124 - 0,2) + 2,124^2] = 3,227$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{5\,630}{34,7 \cdot 76,4} = 2,124$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5\,630}{34,7} = 162,3 < 250$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$$\alpha = 0,49 \quad \text{křivka „c“}$$

Posouzení

$$\frac{N_{E3,Ed,c}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{64,85 \cdot 10^3}{0,177 \cdot \frac{1\,232 \cdot 355}{1,0}} = \mathbf{0,839} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

### 8.1.2.3 Svislice

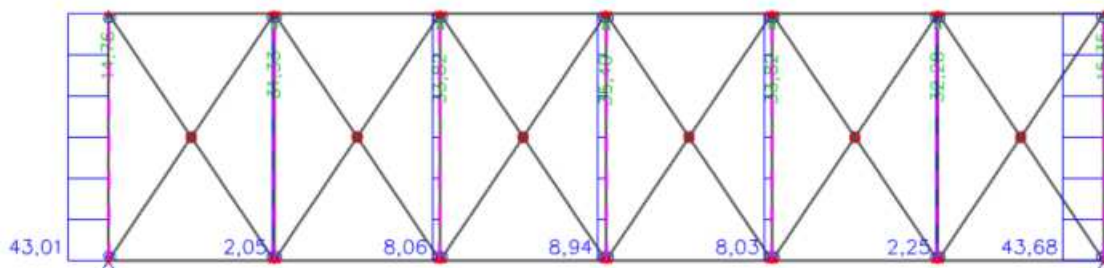
#### Vnitřní síly na svislici ztužidla

Výpočet vnitřních sil je proveden v softwaru Scia Engineer. Maximální využití profilu se týká pouze krajních svislic, proto mezilehlé svislice budou navrženy nižšího profilu.

Návrhová tahová normálová síla od příčného větru ve svislici – směr +Z

$N_{1,Ed,t} = 43,68 \text{ kN}$  krajní svislice

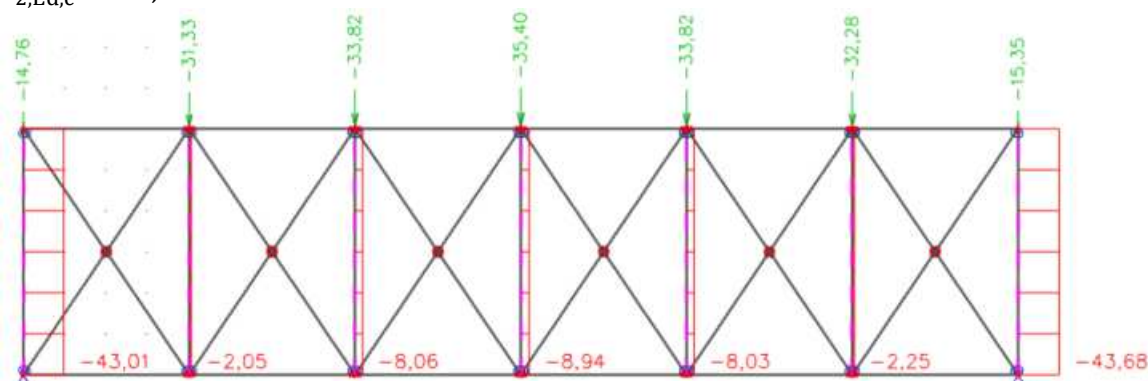
$N_{2,Ed,t} = 8,94 \text{ kN}$  mezilehlá svislice



Návrhová tlaková normálová síla od příčného větru ve svislici – směr -Z

$N_{1,Ed,c} = -43,68 \text{ kN}$  krajní svislice

$N_{2,Ed,c} = -8,94 \text{ kN}$  mezilehlá svislice



#### Svislice krajní TR102x3,6

$A = 1\,113 \text{ mm}^2$

$i = 34,8 \text{ mm}$

Ocel S355

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{102}{3,6} = 28,3 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,1 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Vzpěrná únosnost

$L = 6\,000 \text{ mm}$  délka diagonály

$L_{cr} = 1,0 \cdot \frac{L}{1} = 6\,000 \text{ mm}$  vzpěrná délka prutu k ose „y“ a „z“

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,550 + \sqrt{3,550^2 - 2,257^2}} = 0,159$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,257 - 0,2) + 2,257^2] = 3,550$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{6\,000}{34,8 \cdot 76,4} = 2,257$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6\,000}{34,8} = 172,4$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$$\alpha = 0,49 \quad \text{křivka „c“}$$

Posouzení

$$\frac{N_{1,Ed,c}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{43,68 \cdot 10^3}{0,159 \cdot \frac{1\,113,3\,55}{1,0}} = \mathbf{0,695} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

**Svislice mezilehlá TR76x3,2**

$$A = 732 \text{ mm}^2$$

$$i = 25,8 \text{ mm}$$

Ocel S355

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{76}{3,2} = 23,8 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,1 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Vzpěrná únosnost

$$L = 6\,000 \text{ mm} \quad \text{délka diagonály}$$

$$L_{cr} = 1,0 \cdot L = 6\,000 \text{ mm} \quad \text{vzpěrná délka prutu k ose „y“ a „z“}$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{5,830 + \sqrt{5,830^2 - 3,044^2}} = 0,093$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (3,044 - 0,2) + 3,044^2] = 5,830$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{6\,000}{25,8 \cdot 76,4} = 3,044$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6\,000}{25,8} = 232,6 < 250$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$$\alpha = 0,49 \quad \text{křivka „c“}$$

Posouzení

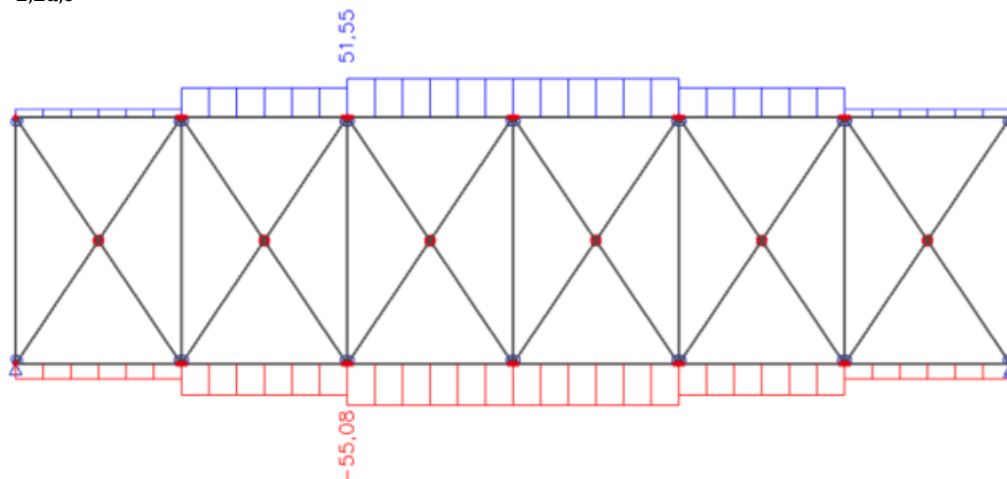
$$\frac{N_{1,Ed,c}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{8,94 \cdot 10^3}{0,093 \cdot \frac{732,3\,55}{1,0}} = \mathbf{0,372} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

### 8.1.2.4 Kontrolní posouzení příčle

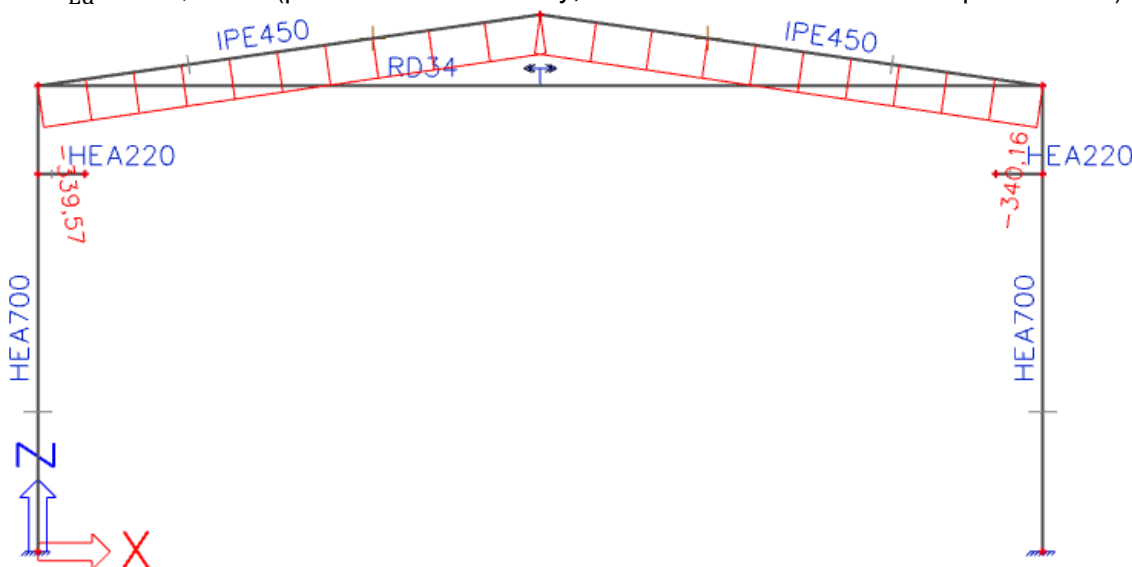
Návrhová normálová síla od podélného větru

$$N_{2,Ed,c} = 55,08 \text{ kN}$$



$$N_{Ed,celk} = N_{Ed} + \psi_0 \cdot N_{2,Ed,c} = 340,16 + 0,6 \cdot 55,08 = 373,21 \text{ kN}$$

kde  $N_{Ed} = 340,16 \text{ kN}$  (příčel hlavní části haly, kombinace ULS NC53 viz kapitola 7.1.4.)



Posouzení

Původní viz kapitola 7.1.4.

$$k_{yy} = \min \{0,599; 0,505\} = 0,505$$

$$k_{zy} = \min \{0,944; 0,957\} = 0,944$$

Nově

$$k_{yy} = \min \{0,619; 0,515\} = 0,515$$

$$k_{zy} = \min \{0,939; 0,952\} = 0,939$$

#### Podmínky únosnosti

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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

$$\frac{373,21 \cdot 10^3}{0,295 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,515 \cdot \frac{368,05 \cdot 10^6}{0,884 \cdot \frac{604,21 \cdot 10^6}{1,0}} = 0,361 + 0,355 = 0,716 \leq 1$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

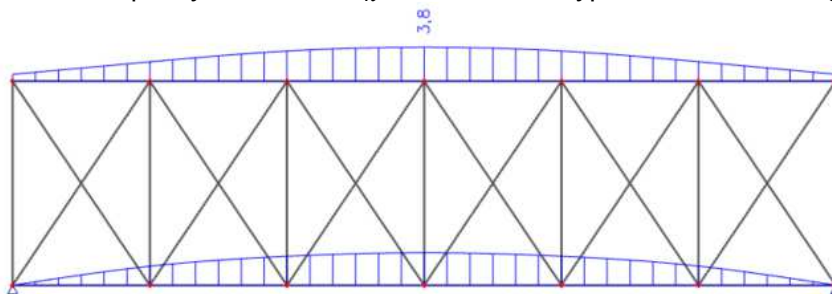
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{373,21 \cdot 10^3}{0,434 \cdot \frac{3\,508,11 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,939 \cdot \frac{368,05 \cdot 10^6}{0,884 \cdot \frac{604,21 \cdot 10^6}{1,0}} = 0,245 + 0,647 = \mathbf{0,892} \leq 1$$

Vyhovuje.

### 8.1.2.5 MSP ztužidlové soustavy – vodorovný posun

Maximální průhyb od větru  $w_k = 3,8 \text{ mm}$  Vypočteno v Scia Engineer



Limitní průhyb

$$\frac{L_{zt.sys.}}{250} = \frac{24\,240}{250} = 96,96 \text{ mm}$$

## 8.2 Stěnové ztužidlo

V objektu jsou navržena tři stěnová ztužidla v každé řadě sloupů. Na jedno ze ztužidel je přisouzena třetina zatížení.

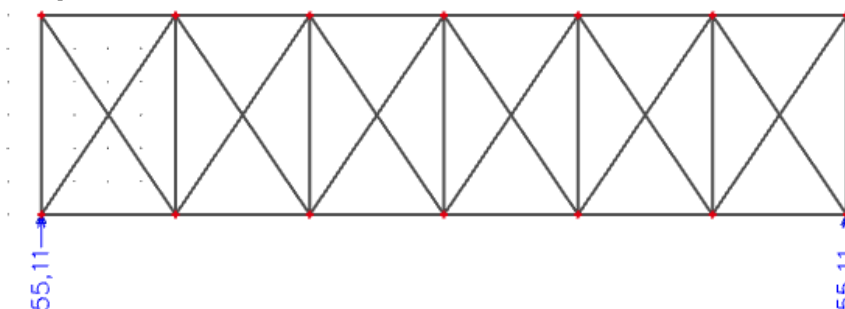
### 8.2.1 Zatížení

Reakce ze střešního ztužidla

Podélný vítr

$$R_{1,R,pod} = 55,11 \text{ kN}$$

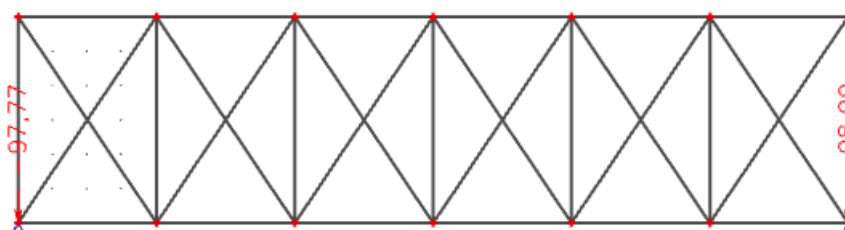
$$R_{7,R,pod} = 55,11 \text{ kN}$$



Příčný vítr (Rozhoduje)

$$R_{1,R,příč} = 97,77 \text{ kN}$$

$$R_{7,R,příč} = 98,89 \text{ kN}$$





Vodorovná síla

$$H = \frac{R_{7,R,příč}}{3} + H_{\phi} = \frac{98,89}{3} + 3,340 = 36,30 \text{ kN}$$

Síla od jeřábové dráhy  $N_{Ed} = 11,04 \text{ kN}$

### 8.2.2 Systém ztužidel

Rámové imperfekce

$\phi_0 = 1/200$  počáteční hodnota náklonu konstrukce

$m = 12$  počet sloupů v řadě

$h = 11,11 \text{ m}$  výška sloupu

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{11,11}} = 0,60$$

$\frac{2}{3} < \alpha_h = 0,60 < 1,0 \rightarrow$  splňuje

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{12}\right)} = 0,74$$

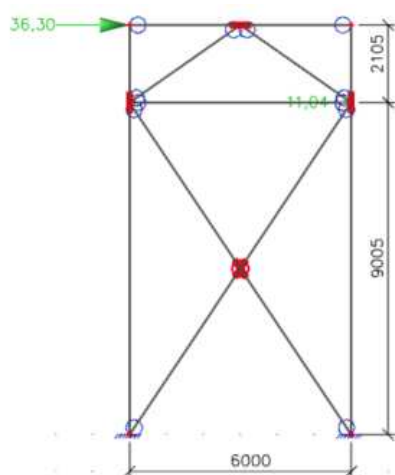
Úhel natočení sloupů

$$\Phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,60 \cdot 0,74 = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}$$

Vodorovná síla na jedno ztužidlo

$$H_{\phi} = \frac{1}{3} \cdot N_{Ed} \cdot \Phi = \frac{1}{3} \cdot (12 \cdot 376,16) \cdot 2,22 \cdot 10^{-3} = 3,340 \text{ kN}$$

Model

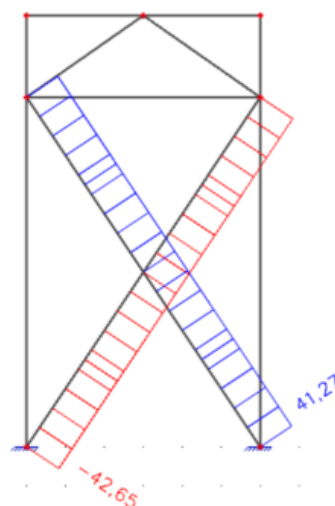


#### 8.2.2.1 Hlavní diagonála D1

$$N_{D1,Ed,t} = 41,27 \text{ kN}$$

$$N_{D1,Ed,c} = -42,65 \text{ kN}$$

$L = 10\,820 \text{ mm}$  délka diagonály



Vzpěrná délka prutu k ose „y“ a „z“

$$L_{cr} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = 10\,820 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{41,27 \cdot 10\,820}{42,65 \cdot 10\,820}} = 5\,667 \text{ mm}$$

Podmínka

$$\frac{L}{2} = \frac{10\,820}{2} = 5\,410 \text{ mm} \leq L_{cr} = 5\,667 \text{ mm}$$

Navrhují TR89x4,0

$$A = 1\,068 \text{ mm}^2$$

$$i = 30,1 \text{ mm}$$

Ocel S355

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{89}{4} = 22,3 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,1 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Posouzení

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{4,091 + \sqrt{4,091^2 - 2,464^2}} = 0,136$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,464 - 0,2) + 2,464^2] = 4,091$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{5\,667}{30,2 \cdot 76,4} = 2,464$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5\,667}{30,2} = 188,3 < 250$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$\alpha = 0,49$  křivka „c“

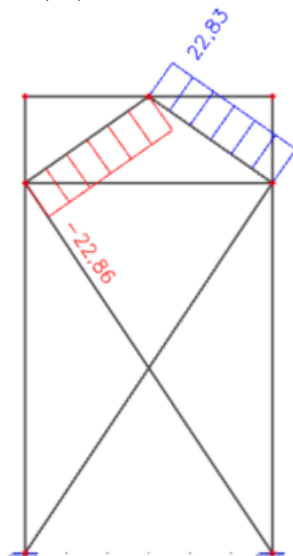
$$\frac{N_{D1,Ed,c}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{42,65 \cdot 10^3}{0,136 \cdot \frac{1\,068 \cdot 355}{1,0}} = 0,828 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### 8.2.2.2 Diagonála D2

$$N_{D2,Ed,t} = 22,83 \text{ kN}$$

$$N_{D2,Ed,c} = -22,86 \text{ kN}$$



$$L = 3\,665 \text{ mm} \quad \text{délka diagonály}$$

Vzpěrná délka prutu k ose „y“ a „z“

$$L_{cr} = 1,0 \cdot L = 3\,665 \text{ mm}$$

Navrhují TR63,5x2,9

$$A = 552 \text{ mm}^2$$

$$i = 21,4 \text{ mm}$$

Ocel S355

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{63,5}{2,9} = 21,9 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,1 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Posouzení

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,513 + \sqrt{3,513^2 - 2,242^2}} = 0,161$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,242 - 0,2) + 2,242^2] = 3,513$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{3\,665}{21,4 \cdot 76,4} = 2,242$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3\,665}{21,4} = 171,3 < 250$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

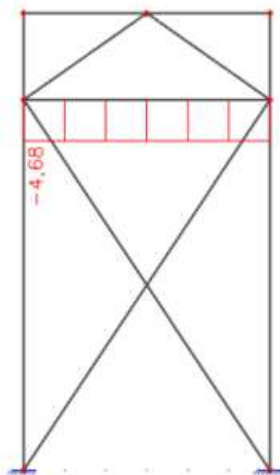
$$\alpha = 0,49 \quad \text{křivka „c“}$$

$$\frac{N_{D2,Ed,c}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{22,86 \cdot 10^3}{0,161 \cdot \frac{552 \cdot 355}{1,0}} = 0,725 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### 8.2.2.3 Horizontální prut H1

$$N_{H1,Ed,c} = -4,68 \text{ kN}$$



$L = 6\,000 \text{ mm}$  délka diagonály

Vzpěrná délka prutu k ose „y“ a „z“

$$L_{cr} = 1,0 \cdot L = 6\,000 \text{ mm}$$

Navrhují TR76x3,2

$$A = 732 \text{ mm}^2$$

$$i = 25,8 \text{ mm}$$

Ocel S355

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{76}{3,2} = 23,8 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,1 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Posouzení

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{5,830 + \sqrt{5,830^2 - 3,044^2}} = 0,093$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (3,044 - 0,2) + 3,044^2] = 5,830$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{6\,000}{25,8 \cdot 76,4} = 3,044$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6\,000}{25,8} = 232,6 < 250$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$\alpha = 0,49$  křivka „c“

$$\frac{N_{H1,Ed,c}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{4,68 \cdot 10^3}{0,093 \cdot \frac{552 \cdot 355}{1,0}} = 0,195 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

#### 8.2.2.4 Horizontální prut H2

Zde je ověřena únosnost profilu TR102x3,6 viz kapitola 8.1.2.3.

Vnitřní síly na prut střešního ztužidla

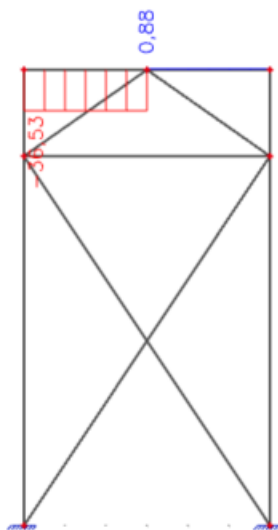
$$N_{1,Ed,t} = 43,68 \text{ kN} \text{ krajní svislice}$$

$$N_{1,Ed,c} = -43,68 \text{ kN} \text{ krajní svislice}$$

Vnitřní síly na prut stěnového ztužidla

$$N_{H2,Ed,t} = 0,88 \text{ kN}$$

$$N_{H2,Ed,c} = -36,53 \text{ kN}$$



Celkové

$$N_{H,Ed,t} = N_{1,Ed,t} + N_{H2,Ed,t} = 43,68 + 0,88 = 44,56 \text{ kN}$$

$$N_{H,Ed,c} = N_{1,Ed,c} + N_{H2,Ed,c} = 43,68 + 36,53 = 80,21 \text{ kN}$$

$L = 6\,000 \text{ mm}$  délka diagonály

Vzpěrná délka prutu k ose „y“ a „z“

$$L_{cr} = 1,0 \cdot L = 6\,000 \text{ mm}$$

$$A = 1\,113 \text{ mm}^2$$

$$i = 34,8 \text{ mm}$$

Ocel S355

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{102}{3,6} = 28,3 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,1 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Posouzení

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{4,494 + \sqrt{4,494^2 - 2,609^2}} = 0,123$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,609 - 0,2) + 2,609^2] = 4,494$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{6\,000}{30,1 \cdot 76,4} = 2,609$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6\,000}{30,1} = 199,3 < 250$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$$\alpha = 0,49 \quad \text{křivka „c“}$$

$$\frac{N_{H2,Ed,c}}{\chi \cdot \frac{N_{RK}}{\gamma_{M1}}} = \frac{80,2 \cdot 10^3}{0,123 \cdot \frac{111\,3 \cdot 355}{1,0}} = 1,277 \leq 1,0$$

Nevyhovuje.

Jelikož tento prvek nevyhoví, bude navržen profil trubky, který dané zatížení přenesa a bude použit jak u střešního ztužidla, tak u stěnového ztužidla.

**Nový návrh: TR114x4,0**

$$A = 1\,382 \text{ mm}^2$$

$$i = 38,9 \text{ mm}$$

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t} = \frac{114}{4,0} = 28,5 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,814^2 = 33,1 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Posouzení

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,984 + \sqrt{2,984^2 - 2,019^2}} = 0,193$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (2,019 - 0,2) + 2,019^2] = 2,984$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{6\,000}{38,9 \cdot 76,4} = 2,019$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6\,000}{38,9} = 154,2 < 250$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$$\alpha = 0,49 \quad \text{křivka „c“}$$

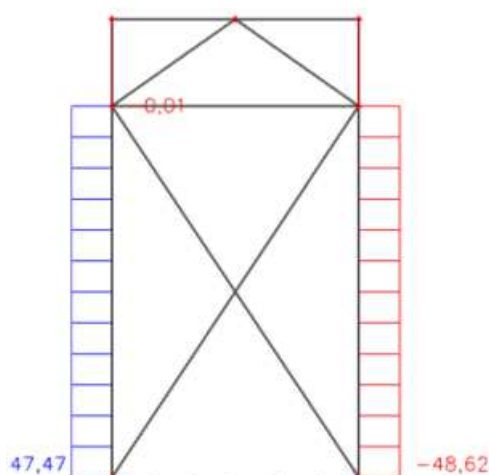
$$\frac{N_{H2,Ed,c}}{\chi \cdot \frac{N_{RK}}{\gamma_{M1}}} = \frac{80,2 \cdot 10^3}{0,193 \cdot \frac{1\,382 \cdot 355}{1,0}} = 0,847 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### 8.2.2.5 Sloup S1 – kontrolní posouzení

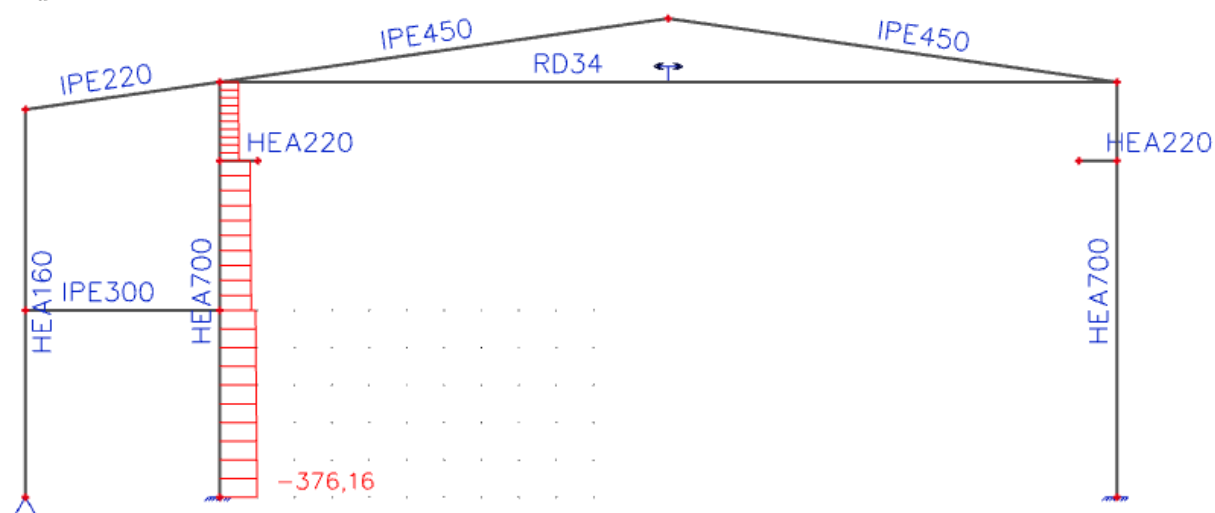
$$N_{S1,Ed,t} = 47,47 \text{ kN}$$

$$N_{S1,Ed,c} = -48,62 \text{ kN}$$



Maximální normálová síla ve sloupu (sloup administrativní části, kombinace ULS13; L, viz kapitola 7.2.5.)

$$N_{Ed} = 376,16 \text{ kN}$$



$$N_{Ed,celk} = N_{Ed} + 0,9 \cdot N_{S1,Ed,c} = 376,16 + 0,9 \cdot 48,62 = 419,92 \text{ kN}$$

Posouzení

Původní

$$k_{yy} = \min \{0,912; 0,932\} = \mathbf{0,912}$$

$$k_{zy} = \min \{0,991; 0,989\} = \mathbf{0,989}$$

Nově

$$k_{yy} = \min \{0,914; 0,936\} = \mathbf{0,914}$$

$$k_{zy} = \min \{0,990; 0,987\} = \mathbf{0,987}$$

**Podmínky únosnosti**

Vzpěr v rovině rámu + klopení

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

$$\frac{419,92 \cdot 10^3}{0,921 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1}} + 0,914 \cdot \frac{329,15 \cdot 10^6}{0,923 \cdot \frac{2\,496,36 \cdot 10^6}{1}} = 0,049 + 0,131 = \mathbf{0,180} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

Vzpěr z roviny rámu + klopení

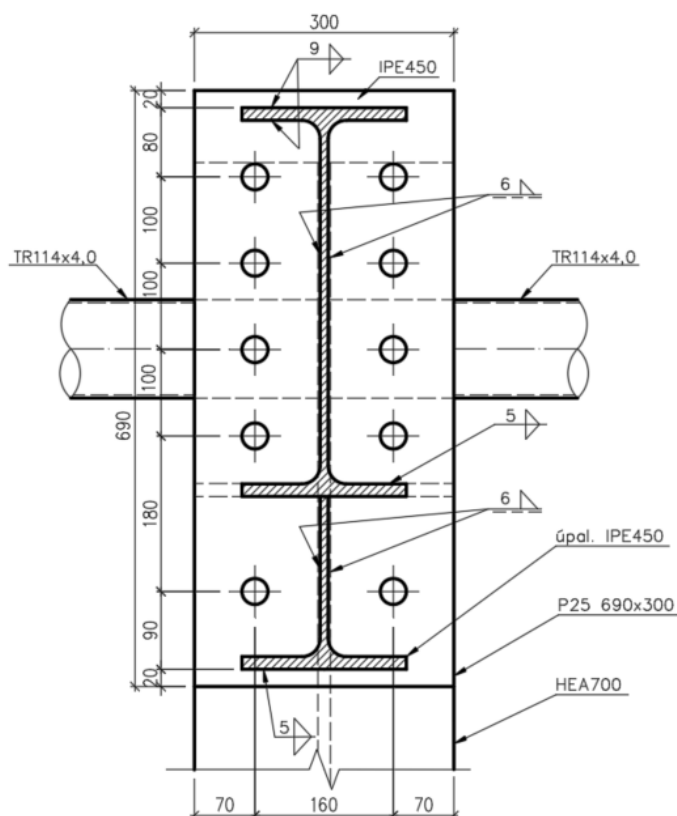
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{419,92 \cdot 10^3}{0,745 \cdot \frac{9\,247,75 \cdot 10^3}{1}} + 0,987 \cdot \frac{329,15 \cdot 10^6}{0,923 \cdot \frac{2\,496,36 \cdot 10^6}{1}} = 0,064 + 0,141 = \mathbf{0,205} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

## 9 Detaily

### 9.1 Rámový roh hlavní části haly



$V_{Ed} = 109,64 \text{ kN}$  (kombinace ULS NC53; viz kapitola 7.1.4.)

$M_{Ed} = 368,05 \text{ kNm}$  (kombinace ULS NC53; viz kapitola 7.1.4.)

#### 9.1.1 Návrh a posouzení koutových svarů

$$\beta_w = 0,9$$

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

Svar čelní desky a pásnic příčle

$$a_{w,1} \geq \frac{t_f}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} = \frac{14,6}{2} \cdot \frac{355}{1,0} \cdot \frac{0,9 \cdot 1,25}{490 / \sqrt{2}} = 8,41 \text{ mm}$$

Navrhují  $a_{w,1} = 9 \text{ mm}$ .

Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_{2,w} \geq \frac{t_w}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} = \frac{9,4}{2} \cdot \frac{355}{1,0} \cdot \frac{0,9 \cdot 1,25}{490 / \sqrt{2}} = 5,42 \text{ mm}$$

Navrhují  $a_{2,w} = 6 \text{ mm}$ .

Svar výztuhy a stojiny sloupu

Navrhují  $a_{3,w} = 5 \text{ mm}$ .

#### 9.1.2 Dílčí komponenty

Výztuha stojiny sloupu

$$t_v = 15,0 \text{ mm} \approx t_f = 14,6 \text{ mm} (\text{tloušťka pásnice příčle})$$

Čelní deska

$$t_d = 25,0 \text{ mm} < t_f = 27,0 \text{ mm} (\text{tloušťka pásnice sloupu})$$

#### 9.1.3 Únosnost řad šroubů

Návrh: 10x M27 8.8



Únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 573 \cdot 800}{1,25} = 330,05 \text{ kN}$$

### Výpočet 1. řady šroubů nad pásnicí

Únosnost pásnice náhradního T-profilu

$$c_1 = c_2 = 0,8 \cdot a_{2,w} \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 6,79 \text{ mm}$$

$$m = 75,3 - c_2 = 75,3 - 6,79 = 68,51 \text{ mm}$$

$$m_2 = 65,4 \text{ mm}$$

$$e = e_{\min} = 70 \text{ mm}$$

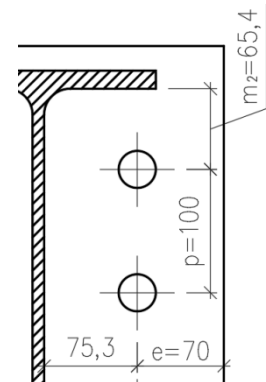
$$p = 100 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{68,51}{68,51 + 70} = 0,495$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{65,4}{68,51 + 70} = 0,472$$

$$\alpha = 5,8$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(70; 1,25 \cdot 68,51) = \min(70; 85,64) = 70 \text{ mm}$$



### Efektivní šířka pro náhradní T-průřez – pod taženou pásnicí

Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 68,51 = 430,46 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = \alpha m = 5,8 \cdot 68,51 = 397,36 \text{ mm}$$

Řada šroubů uvažována jako součást skupiny šroubů

Kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 68,51 + 100 = 315,23 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e) \\ = 0,5 \cdot 100 + 5,8 \cdot 68,51 - (2 \cdot 68,51 + 0,625 \cdot 70) = 266,59 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} = \min(\min l_{\text{eff,cp}}; \min l_{\text{eff,nc}}) = 266,59 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = \min(l_{\text{eff,nc}}) = 266,59 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff,1}} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 266,59 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 14,787 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff,2}} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 266,59 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 14,787 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

1. Způsob porušení

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{\text{pl,1,Rd}}}{m} = \frac{4 \cdot 14,787 \cdot 10^6}{68,51} = 863,35 \text{ kN}$$

2. Způsob porušení

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{\text{pl,2,Rd}} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 14,787 \cdot 10^6 + 70 \cdot 2 \cdot 330,05 \cdot 10^3}{68,51 + 70} = 547,12 \text{ kN}$$

3. Způsob porušení

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 330,05 \cdot 10^3 = 660,1 \text{ kN}$$

## Únosnost 1. řady šroubů

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(863,35 \text{ kN}; 547,12 \text{ kN}; 660,1 \text{ kN}) \\ = 547,12 \text{ kN}$$

## Výpočet 2. řady šroubů

Únosnost pásnice náhradního T-profilu

$$m = 68,51 \text{ mm}$$

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

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(70; 1,25 \cdot 68,51) = \min(70; 85,64) = 70 \text{ mm}$$

## Efektivní šířka pro náhradní T-průřez – vnitřní řada šroubů

Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 68,51 = 430,46 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 68,51 + 1,25 \cdot 70 \\ = 361,54 \text{ mm}$$

Řada šroubů uvažována jako součást skupiny šroubů

Kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \cdot p = 2 \cdot 100 = 200 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

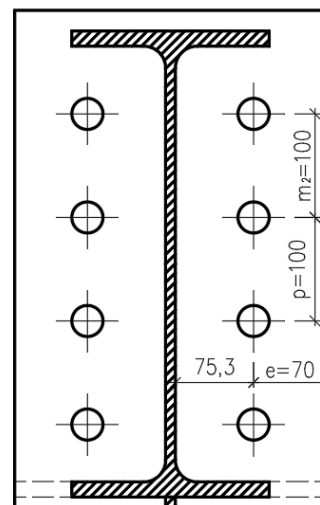
$$l_{\text{eff,nc}} = p = 100 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} = \min(\min l_{\text{eff,cp}}; \min l_{\text{eff,nc}}) = 100 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = \min(l_{\text{eff,nc}}) = 100 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl},1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff,1}} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 100 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} \\ = 5,547 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl},1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff,2}} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 100 \cdot 25^2 \cdot 355}{1,0} = 5,547 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$



1. Způsob porušení

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{\text{pl},1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 5,547 \cdot 10^6}{68,51} = 323,87 \text{ kN}$$

2. Způsob porušení

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{\text{pl},2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 5,547 \cdot 10^6 + 70 \cdot 2 \cdot 330,05 \cdot 10^3}{68,51 + 70} = 413,70 \text{ kN}$$

3. Způsob porušení

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 330,05 \cdot 10^3 = 660,1 \text{ kN}$$

## Únosnost 2. řady šroubů

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(323,87 \text{ kN}; 413,70 \text{ kN}; 660,1 \text{ kN}) \\ = 323,87 \text{ kN}$$

## Výpočet a únosnost 3. a 4. řady šroubů

Tyto řady mají stejnou únosnost jako 2. řada.

$$F_{t,3,Rd} = 323,87 \text{ kN}$$

### Smyková únosnost - výpočet 5. řady šroubů

Konzervativně je přenos smykové síly přisouzen pouze této řadě šroubů, která nebude uvážena při výpočtu momentové únosnosti.

Únosnost jednoho šroubu ve stíhu (smyková rovina prochází závitem)

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 459 \cdot 800}{1,25} = 176,26 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,97 \cdot 27 \cdot 14,5 \cdot 490}{1,25} = 372,16 \text{ kN}$$

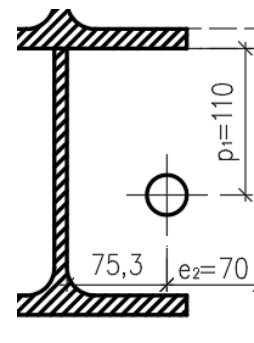
$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{70}{30} - 1,7; 2,5\right) \\ = \min(4,83; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = \min\left(\frac{110}{3 \cdot 30} - \frac{1}{4}; \frac{800}{490}\right) \\ = \min(0,97; 1,63) = 0,97$$

Únosnost ve smyku

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(176,26 \text{ kN}; 372,16 \text{ kN}) \\ = 352,52 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 109,64 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 352,52 \text{ kN}$$



### Rozdělení sil a momentová únosnost

Plastické rozdělení sil lze uvažovat v případě, že jsou splněny následující podmínky

$$F_{t,1,Rd} = 547,12 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 330,05 = 627,10 \text{ kN}$$

$$F_{t,2,Rd} = 323,87 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 330,05 = 627,10 \text{ kN}$$

Redukce sil ve šroubech

Řada	Únosnost řady [N]	Rameno $h_i$ [mm]
1	547,12	560,7
2	323,87	460,7
3	323,87	360,7
4	323,87	260,7
<b>Celkem</b>	<b>1518,73</b>	

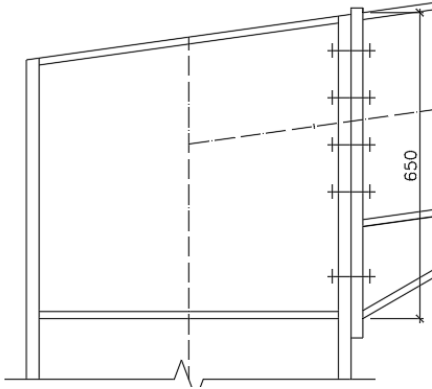
$$M_{j,Rd} = \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} \cdot h_i = 547,12 \cdot 10^3 \cdot 560,7 + 323,87 \cdot 10^3 \cdot (460,7 + 360,7 + 260,7) \\ = 657,23 \text{ kNm}$$

$$z = d_s = 568 \text{ mm}$$

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} = \frac{368,05 \cdot 10^6}{657,23 \cdot 10^6} = \mathbf{0,560} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

### 9.1.4 Únosnost pásnice příčle v tlaku



$$h = 650 \text{ mm}$$

$$t_{fb} = 14,6 \text{ mm}$$

$$I_y = 2\,147,71 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = \frac{I_y}{\frac{h}{2}} = \frac{2\,147,71 \cdot 10^6}{\frac{650}{2}} = 6\,608 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{c,Rd} = f_{yk} \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 6\,608 \cdot 10^3 = 2\,345,84 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Únosnost pásnice v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_{fb}} = \frac{2\,345,84 \cdot 10^6}{650 - 14,6} = 3\,691,91 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 547,12 + 3 \cdot 323,87 = 1\,518,73 \text{ kN} \leq F_{c,fb,Rd} = 3\,691,91 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

### 9.1.5 Únosnost stěny sloupu ve smyku

$$d = 582 \text{ mm}$$

$$t_w = 14,5 \text{ mm}$$

$$d_s = 568 \text{ mm}$$

$$A_{vz} = 11\,700 \text{ mm}^2$$

$$t_f = 27,0 \text{ mm}$$

Výztuha P15

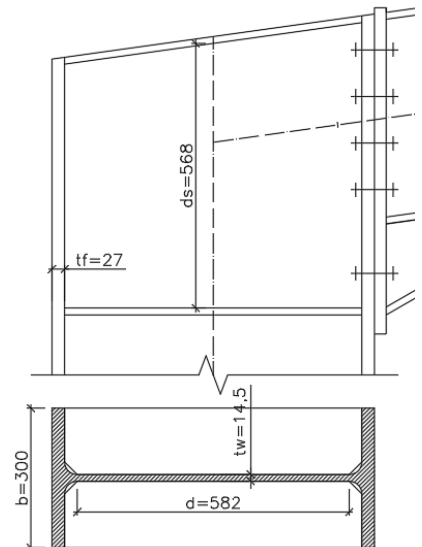
Štíhlost stěny sloupu

$$\frac{d}{t_w} = \frac{582}{14,5} = 40,14 \leq 69,0 \cdot \varepsilon = 69,0 \cdot 0,814 = 56,17$$

Únosnost sloupu vyztužené stěny ve smyku

$$\begin{aligned} V_{wp,Rd} &= \frac{0,9 \cdot f_{yd} \cdot A_{vz}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} \\ &= \frac{0,9 \cdot 355 \cdot 11\,700}{\sqrt{3} \cdot 1,0} + 131,09 \\ &= 2\,158,22 + 89,13 = 2\,247,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

Vyhovuje.



Příspěvek příčných výztuh a pásnic sloupu

$$V_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4 \cdot M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s}\right)$$

$$= \min\left(\frac{4 \cdot 19,409 \cdot 10^6}{568}; \frac{2 \cdot 19,409 \cdot 10^6 + 2 \cdot 5,990 \cdot 10^6}{568}\right)$$

$$= \min(136,68 \text{ kN}; 89,43 \text{ kN}) = 89,43 \text{ kN}$$

Příspěvek příčných výztuh a pásnic sloupu

$$M_{pl,fc,Rd} = 0,25 \cdot b \cdot t_f^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 300 \cdot 27^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 19,409 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

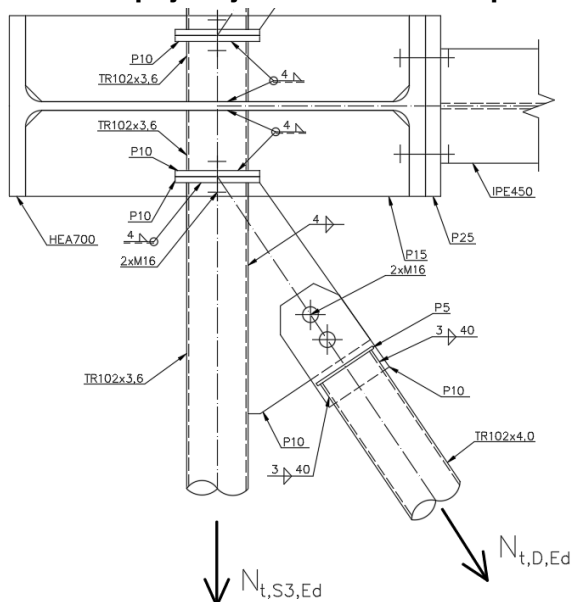
$$M_{pl,st,Rd} = 0,25 \cdot b \cdot t_{st}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 300 \cdot 15^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 5,990 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Podmínka rovnováhy sil mezi tahem ve šroubech a smykovou únosností stěny

$$\sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 547,12 + 3 \cdot 323,87 = \mathbf{1\ 518,73 \text{ kN}} \leq V_{wp,Rd} = \mathbf{2\ 247,35 \text{ kN}}$$

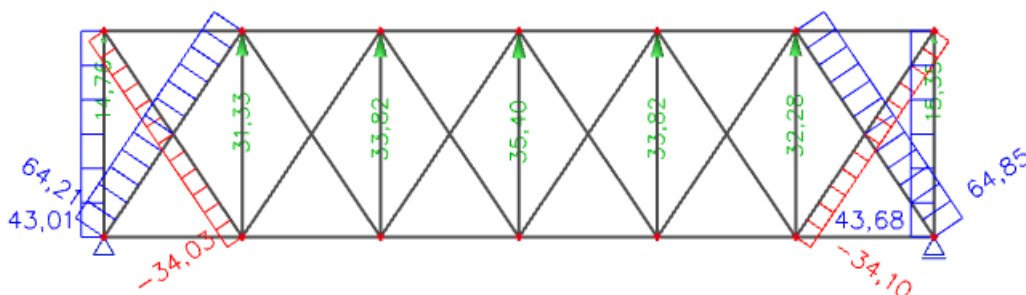
Vyhovuje.

### 9.1.6 Přípoj krajní svislice na sloup



$N_{t,D,Ed} = 64,85 \text{ kN}$  návrhová normálová síla v diagonále (viz kapitola 8.1.2.2.)

$N_{t,S3,Ed} = 43,68 \text{ kN}$  návrhová normálová síla ve svislci (viz kapitola 8.1.2.2.)



Návrhová tahová síla v přípoji

$$F_{t,Ed} = N_{t,D,Ed} \cdot \cos \alpha + N_{t,S3,Ed} = 64,85 \cdot \cos 34^\circ + 43,68 = 97,44 \text{ kN}$$

**Svar svislice k stojině sloupu**

Komponenty

TR114x4,0  $d = 114 \text{ mm}$

$t_w = 14,5 \text{ mm}$

Svar  $a_w = 4 \text{ mm}$

Délka svaru

$$l_w = \pi d = \pi \cdot 114 = 358,1 \text{ mm}$$

Posouzení svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 \cdot a_w \cdot d} = \frac{N_{t,D,Ed}}{2 \cdot a_w \cdot d} = \frac{97,44 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 114} = 106,84 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_{t,Ed}}{a_w \cdot l_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{97,44 \cdot 10^3}{4 \cdot 358,1} = 48,10 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{48,10^2 + 3 \cdot (48,10^2 + 106,84^2)} = 208,56 \text{ MPa}$$

$$208,56 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

$$\sigma_{\perp} = 48,10 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

### 9.1.7 Přípoj krátké trubky a svislice

$$F_{t,Ed} = 97,44 \text{ kN}$$

Smyková síla v přípoji

$$V_{Ed} = N_{t,D,Ed} \cdot \sin \alpha = 64,85 \cdot \sin 34^\circ = 36,26 \text{ kN}$$

Návrh: 2x M16 8.8

Únosnost šroubu na tah

$$F_{t,Rd} = 90,4 \text{ kN}$$

Únosnost T-profilu

$$m = 42,5 \text{ mm}$$

$$e = 40 \text{ mm}$$

Plech P10 ( $d = 10 \text{ mm}$ )

$$n = \min(40; 1,25 \cdot 42,5) = \min(40; 53,13) = 40 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,2} = 140 \text{ mm (šířka desky)}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 140 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} = 1,243 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 140 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} = 1,243 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

1. Způsob porušení

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 1,243 \cdot 10^6}{42,5} = 116,99 \text{ kN}$$

2. Způsob porušení

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1,243 \cdot 10^6 + 40 \cdot 2 \cdot 90,4 \cdot 10^3}{42,5 + 40} = 117,79 \text{ kN}$$

3. Způsob porušení

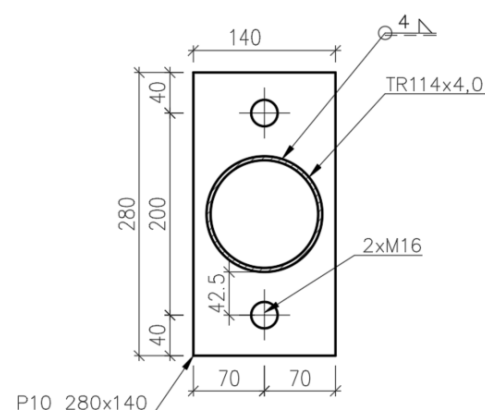
$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 90,4 \cdot 10^3 = 180,8 \text{ kN}$$

Únosnost řady šroubů

$$F_{t,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(116,99 \text{ kN}; 117,79 \text{ kN}; 180,8 \text{ kN}) = 116,99 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 97,44 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 116,99 \text{ kN}$$

Vyhovuje.



Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub} \cdot n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800 \cdot 1}{1,25} = 60,28 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

$t = 10 \text{ mm}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = 116,03 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{42,5}{18} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,91; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = \min(0,74; 1,63; 1,0) = 0,74$$

Únosnost ve smyku

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(60,28 \text{ kN}; 116,03 \text{ kN}) = 120,56 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 36,26 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 120,56 \text{ kN}$$

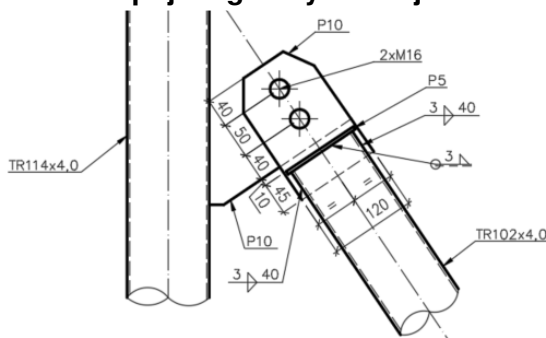
Vyhovuje.

Kombinace tahu a stříhu

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{36,26 \cdot 10^3}{120,56 \cdot 10^3} + \frac{97,44 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 116,99 \cdot 10^3} = 0,301 + 0,595 = 0,896 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### 9.1.8 Přípoj diagonály ke krajní svislici



Šrouby 2x M16 8.8

Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub} \cdot n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800 \cdot 1}{1,25} = 60,288 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

P10  $t = 10 \text{ mm}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,68 \cdot 18 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = 119,95 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{60}{18} - 1,7; 2,5\right) = \min(7,63; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{50}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = \min(0,74; 0,68; 1,63; 1,0) = 0,68$$

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 120,58 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = N_{t,D,Ed} = 64,85 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 120,58 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

Svar trubky diagonály a plechu

Komponenty

TR102x4,0  $d = 102 \text{ mm}$

P10

Svar  $a_{w1} = 3 \text{ mm}$

Délka svaru

$l_{w1} = 40 \text{ mm}$

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

$$F_{w,Rd} = 4 \cdot a_{w1} \cdot l_{w1} \cdot f_{vw,d} = 4 \cdot 3 \cdot 40 \cdot 251,47 = 120,71 \text{ kN}$$

$$N_{t,D3,Ed} = 16,36 \text{ kN} \leq F_{w,Rd} = 120,71 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

### Svar styčnickového plechu diagonály a svislice

Svar  $a_{w2} = 4 \text{ mm}$

Délka svaru

$l_{w2} = 380 \text{ mm}$

$e = 111 \text{ mm}$

$$F_{t,H,Ed} = N_{t,D,Ed} \cdot \cos \alpha = 64,85 \cdot \cos 34^\circ = 53,76 \text{ kN}$$

$$F_{t,V,Ed} = N_{t,D,Ed} \cdot \sin \alpha = 64,85 \cdot \sin 34^\circ = 36,26 \text{ kN}$$

Průřezový modul svarového obrazce

$$W_w = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a_{w2} \cdot l_{w2}^2 = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 380^2 = 192\,533 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 \cdot a_{w2} \cdot l_{w2}} = \frac{F_{t,H,Ed}}{2 \cdot a_{w2} \cdot l_{w2}} = \frac{53,76 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 380} = 17,68 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_{t,V,Ed}}{2 \cdot a_{w2} \cdot l_{w2}} + \frac{F_{t,V,Ed} \cdot e}{W_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{36,26 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 380} + \frac{36,26 \cdot 10^3 \cdot 111}{192\,533} = 29,34 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{29,34^2 + 3 \cdot (29,34^2 + 17,68^2)} = 66,19 \text{ MPa}$$

$$66,19 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,8} = 490 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

$$\sigma_{\perp} = 29,34 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

### 9.1.9 Přípoj táhla k příčli

#### Svar plechu k příčli

Reakce od vlastní tíhy táhla

$$V_{Ed,táhlo} = \frac{m \cdot L}{2} = \frac{0,071 \cdot 20,1}{2} = 0,714 \text{ kN}$$

Normálová síla v táhle

$$N_{Ed,táhlo} = 305,28 \text{ kN}$$

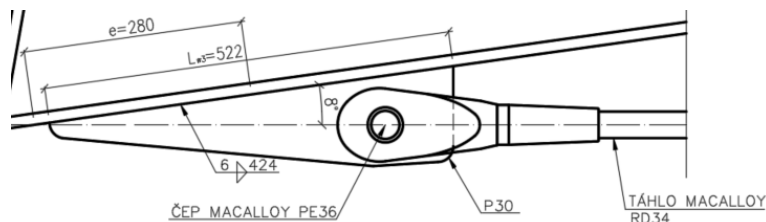
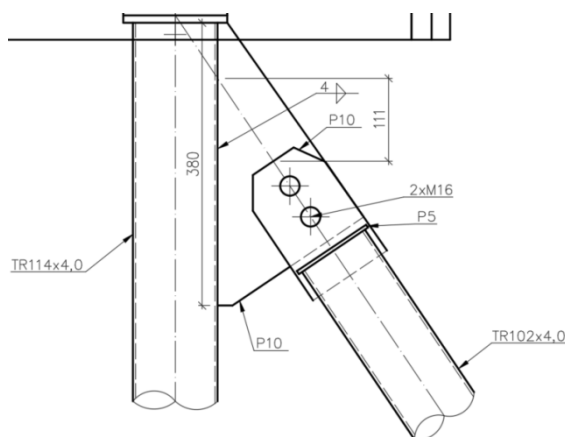
Celkové složky sil v táhle

$$N_{Ed,H,táhlo} = 305,28 \cdot \cos 8^\circ + 0,714 \cdot \sin 8^\circ = 302,408 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,V,táhlo} = 305,28 \cdot \sin 8^\circ + 0,714 \cdot \cos 8^\circ = 43,194 \text{ kN}$$

$a_{w3} = 6 \text{ mm}$

$l_{w3} = 522 \text{ mm}$





$$e = 280 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed,V,táhló}}{2 \cdot a_{w3} \cdot l_{w3}} + \frac{N_{Ed,V,táhló}}{W_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{43,194 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 522} + \frac{302,408 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 6 \cdot 522^2}$$

$$= 160,251 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 \cdot a_{w3} \cdot l_{w3}} = \frac{302,408 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 522} = 48,277 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{160,251^2 + 3 \cdot (160,251^2 + 48,277^2)} = 331,23 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w}$$

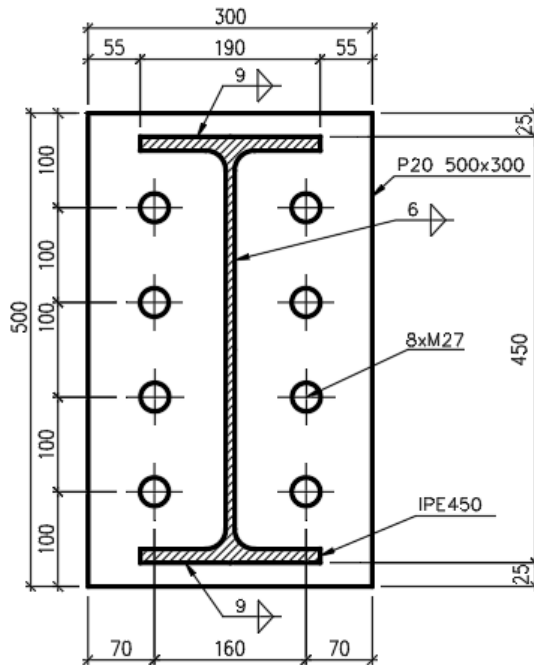
$$= \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

$$\sigma_{\perp} = 160,251 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

## 9.2 Momentový přípoj příčle



$$N_{Ed} = 366,60 \text{ kN} \quad \text{kombinace NK\_ULS24; viz kapitola 7.2.7.}$$

$$V_{Ed} = 49,79 \text{ kN} \quad \text{kombinace NK\_ULS24; viz kapitola 7.2.7.}$$

$$M_{Ed} = 103,82 \text{ kNm} \quad \text{kombinace NK\_ULS34; viz kapitola 7.2.7.}$$

### 9.2.1 Návrh a posouzení koutových svarů

$$\beta_w = 0,9$$

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

Svar čelní desky a pásnic příčle

$$a_{w,1} \geq \frac{t_f}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} = \frac{14,6}{2} \cdot \frac{355}{1,0} \cdot \frac{0,9 \cdot 1,25}{490 / \sqrt{2}} = 8,41 \text{ mm}$$

Navrhují  $a_{w,1} = 9 \text{ mm}$ .

Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_{2,w} \geq \frac{t_w}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} = \frac{9,4}{2} \cdot \frac{355}{1,0} \cdot \frac{0,9 \cdot 1,25}{490 / \sqrt{2}} = 5,42 \text{ mm}$$

Navrhují  $a_{2,w} = 6 \text{ mm}$ .

## 9.2.2 Dílčí komponenty

Čelní deska P20

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

## 9.2.3 Únosnost řad šroubů

Únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 573 \cdot 800}{1,25} = 330,05 \text{ kN}$$

### Výpočet 1. řady šroubů

Únosnost pásnice náhradního T-profilu

$$m_2 = 60,4 \text{ mm}$$

$$c_1 = c_2 = 0,8 \cdot a_{2,w} \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 6,79 \text{ mm}$$

$$m = 75,3 - c_2 = 75,3 - 6,79 = 68,51 \text{ mm}$$

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

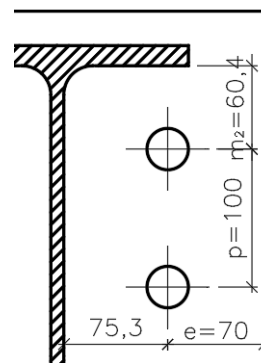
$$e = e_{\min} = 70 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{68,51}{68,51 + 70} = 0,495$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{60,4}{68,51 + 70} = 0,436$$

$$\alpha = 5,9$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(70; 1,25 \cdot 68,51) = \min(70; 85,64) = 70 \text{ mm}$$



### Efektivní šířka pro náhradní T-průřez – řada šroubů pod taženou pásnicí

Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 68,51 = 430,46 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = \alpha \cdot m = 5,9 \cdot 68,51 = 404,21 \text{ mm}$$

Řada šroubů uvažována jako součást skupiny šroubů

Kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 68,51 + 100 = 315,23 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e) \\ = 0,5 \cdot 100 + 5,9 \cdot 68,51 - (2 \cdot 68,51 + 0,625 \cdot 70) = 273,44 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} = \min(\min l_{\text{eff,cp}}; \min l_{\text{eff,nc}}) = 273,44 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = \min(l_{\text{eff,nc}}) = 273,44 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff,1}} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 273,44 \cdot 20^2 \cdot 355}{1,0} = 9,707 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff,2}} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 273,44 \cdot 20^2 \cdot 355}{1,0} = 9,707 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

### 1. Způsob porušení

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 9,707 \cdot 10^6}{68,51} = 566,75 \text{ kN}$$

### 2. Způsob porušení

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 9,707 \cdot 10^6 + 70 \cdot 2 \cdot 330,05 \cdot 10^3}{68,51 + 70} = 473,76 \text{ kN}$$

### 3. Způsob porušení

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 330,05 \cdot 10^3 = 660,1 \text{ kN}$$

## Únosnost 1. řady šroubů

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(566,75 \text{ kN}; 473,76 \text{ kN}; 660,1 \text{ kN}) \\ = 473,76 \text{ kN}$$

## Výpočet 2. řady šroubů

Únosnost pásnice náhradního T-profilu

$$m_2 = 100 \text{ mm}$$

$$c_1 = c_2 = 0,8 \cdot a_{2,w} \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 6,79 \text{ mm}$$

$$m = 75,3 - c_2 = 75,3 - 6,79 = 68,51 \text{ mm}$$

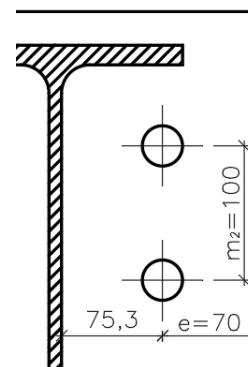
$$e = e_{\min} = 70 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{68,51}{68,51 + 70} = 0,495$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{100}{68,51 + 70} = 0,722$$

$$\alpha = 5,4$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(70; 1,25 \cdot 68,51) = \min(70; 85,64) = 70 \text{ mm}$$



## Efektivní šířka pro náhradní T-průřez – průřez pro vnitřní řadu šroubů

Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 68,51 = 430,46 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 68,51 + 1,25 \cdot 70 = 361,54 \text{ mm}$$

Řada šroubů uvažována jako součást skupiny šroubů

Kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = 2 \cdot p = 2 \cdot 100 = 200 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = p = 100 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},1} = \min(\min l_{\text{eff,cp}}; \min l_{\text{eff,nc}}) = 100 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},2} = \min(l_{\text{eff,nc}}) = 100 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff},1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 100 \cdot 20^2 \cdot 355}{1,0} = 3,550 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff},2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 100 \cdot 20^2 \cdot 355}{1,0} = 3,550 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

### 1. Způsob porušení

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 3,550 \cdot 10^6}{68,51} = 207,27 \text{ kN}$$

## 2. Způsob porušení

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 3,550 \cdot 10^6 + 70 \cdot 2 \cdot 330,05 \cdot 10^3}{68,51 + 70} = 384,86 \text{ kN}$$

## 3. Způsob porušení

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 330,05 \cdot 10^3 = 660,1 \text{ kN}$$

## Únosnost 2. řady šroubů

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(207,27 \text{ kN}; 384,86 \text{ kN}; 660,1 \text{ kN}) \\ = 207,27 \text{ kN}$$

## Výpočet a únosnost 3. řady šroubů

Tato řada má stejnou únosnost jako 2. řada.

$$F_{t,3,Rd} = 207,27 \text{ kN}$$

## Smyková únosnost - výpočet 4. řady šroubů

Konzervativně je přenos smykové síly přisouzen pouze 4. řadě šroubů, která nebude uvažována pro výpočet momentové únosnosti.

Únosnost jednoho šroubu ve stříhu (smyková rovina prochází závitem)

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 459 \cdot 800}{1,25} = 176,26 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,86 \cdot 27 \cdot 20 \cdot 490}{1,25} = 329,96 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{70}{30} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,83; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}\right) = \min\left(\frac{100}{3 \cdot 30} - \frac{1}{4}; \frac{800}{490}\right) = \min(0,86; 1,63) = 0,86$$

Únosnost ve smyku

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(176,26 \text{ kN}; 329,96 \text{ kN}) = 352,52 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 49,79 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 352,52 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

## Únosnost hlavních komponent

Únosnost pásnice příčně v tlaku

$$M_{c,Rd} = f_{yk} \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 1702 \cdot 10^3 = 604,21 \text{ kNm}$$

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_{fb}} = \frac{604,21 \cdot 10^6}{450 - 14,6} = 1387,71 \text{ kN}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 473,76 + 2 \cdot 207,27 = 883,30 \text{ kN} \leq F_{c,fb,Rd} = 1387,71 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

## Rozdělení sil a momentová únosnost

Plastické rozdělení sil lze uvažovat v případě, že jsou splněny následující podmínky

$$F_{t,1,Rd} = 473,76 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 330,05 = 627,10 \text{ kN}$$

$$F_{t,2,Rd} = 207,27 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 330,05 = 627,10 \text{ kN}$$

Podmínky splněny.

$A = 9\,882\text{ mm}^2$  plocha průřezu příčle

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9\,882 \cdot 355}{1,0} = 3\,508,11\text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{366,60}{3\,508,11} = 0,105 \rightarrow 10,5\%$$

Využití 10,5%, osovou silou nelze zanedbat.

Redukce sil ve šroubech

Řada	Únosnost řady [N]	Rameno $h_i$ [mm]
1	473,76	369,1
2	207,27	269,1
3	207,27	169,1
<b>Celkem</b>	<b>883,54</b>	

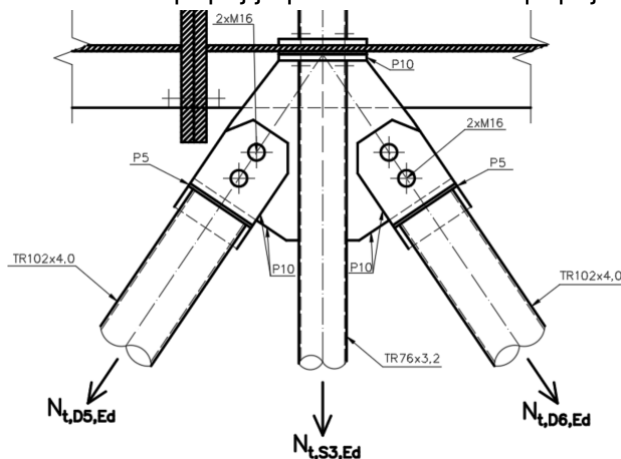
$$M_{j,Rd} = \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} \cdot h_i = 473,76 \cdot 10^3 \cdot 369,1 + 207,27 \cdot 10^3 \cdot (269,1 + 169,1) = 265,69\text{ kNm}$$

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} = \frac{103,82 \cdot 10^6}{265,69 \cdot 10^6} + \frac{366,60 \cdot 10^3}{3\,508,11 \cdot 10^3} = 0,391 + 0,105 = 0,496 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### 9.2.4 Přípoj diagonály a mezilehlé svislíce střešního ztužidla k příčli

Navržen a posouzen je přípoj v místě stýkajících se prutů s největšími normálovými silami. Tento přípoj je použit u ostatních přípojů diagonál a mezilehlých svislíc.

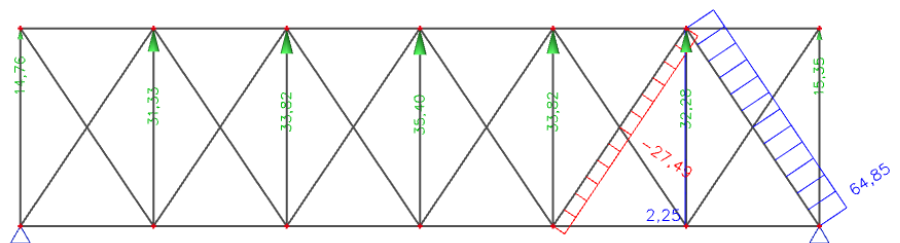


Vnitřní síly viz kapitola 8.1.2.2.

$$N_{c,D5,Ed} = -27,49\text{ kN}$$

$$N_{t,D6,Ed} = 64,85\text{ kN}$$

$$N_{t,S3,Ed} = 2,25\text{ kN}$$



Návrhová tahová síla

v přípoji

$$F_{t,Ed} = N_{t,D5,Ed} \cdot \cos \alpha + N_{t,D6,Ed} \cdot \cos \alpha + N_{t,S6,Ed}$$

$$= -27,49 \cdot \cos 34^\circ + 64,85 \cdot \cos 34^\circ + 2,25 = 33,22\text{ kN}$$

$$\Delta F = N_{t,D5,Ed} \cdot \sin \alpha + N_{t,D6,Ed} \cdot \sin \alpha = -27,49 \cdot \sin 34^\circ + 64,85 \cdot \sin 34^\circ = 20,89\text{ kN}$$

## Svar svislice k čelní desce

Komponenty

TR76x3,2  $d = 76 \text{ mm}$

P10

Svar  $a_w = 4 \text{ mm}$

Délka svaru

$$l_w = \pi d = \pi \cdot 76 = 238,8 \text{ mm}$$

Posouzení svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 \cdot a_w \cdot d} = \frac{\Delta F}{2 \cdot a_w \cdot d} = \frac{20,89 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 76} = 34,359 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_{t,Ed}}{a_w \cdot l_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{33,22 \cdot 10^3}{4 \cdot 238,8} = 24,592 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{24,592^2 + 3 \cdot (24,592^2 + 34,359^2)} = 77,205 \text{ MPa}$$

$$77,205 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

$$\sigma_{\perp} = 24,592 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

## 9.2.5 Připoj diagonály ke svislici

$$F_{t,Rd} = N_{t,D6,Ed} = 64,85 \text{ kN}$$

### Šrouby 2xM16 8.8

Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub} \cdot n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800 \cdot 1}{1,25} = 60,288 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

P10  $t = 10 \text{ mm}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = 116,032 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{60}{18} - 1,7; 2,5\right) = \min(7,63; 2,5) = 2,5$$

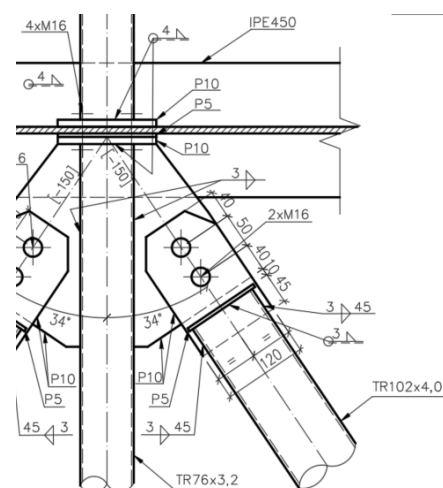
$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = \min(0,74; 1,63; 1,0) = 0,74$$

Únosnost ve smyku

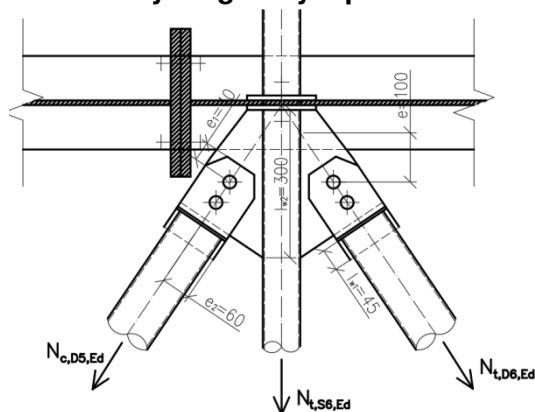
$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 120,58 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 64,85 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 120,58 \text{ kN}$$

Vyhovuje.



### Svar trubky diagonály a plechu



Komponenty

TR102x4,0  $d = 102 \text{ mm}$

P10

Svar  $a_{w1} = 3 \text{ mm}$

Délka svaru

$l_{w1} = 45 \text{ mm}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 1,25 \cdot 0,9} = 251,5 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} = 4 \cdot a_{w1} \cdot l_{w1} \cdot f_{vw,d} = 4 \cdot 3 \cdot 45 \cdot 251,5 = 135,81 \text{ kN}$$

$$N_{t,D3,Ed} = 64,85 \text{ kN} \leq F_{w,Rd} = 135,81 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

### Svar styčnickového plechu diagonály a svislice

Komponenty

TR102x4,0  $d = 102 \text{ mm}$

P10

Svar  $a_{w2} = 3 \text{ mm}$

Délka svaru

$l_{w2} = 300 \text{ mm}$

$e = 100 \text{ mm}$

Návrhové síly

$$F_{t,H,Ed} = N_{t,D6,Ed} \cdot \cos \alpha = 64,85 \cdot \cos 34^\circ = 53,76 \text{ kN}$$

$$F_{t,V,Ed} = N_{t,D6,Ed} \cdot \sin \alpha = 64,85 \cdot \sin 34^\circ = 36,26 \text{ kN}$$

Průřezový modul svarového obrazce

$$W_w = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a_{w2} \cdot l_{w2}^2 = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 300^2 = 90\,000 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 \cdot a_{w2} \cdot l_{w2}} = \frac{F_{t,H,Ed}}{2 \cdot a_{w2} \cdot l_{w2}} = \frac{53,76 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 300} = 29,87 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_{t,V,Ed}}{2 \cdot a_{w2} \cdot l_{w2}} + \frac{F_{t,V,Ed} \cdot e}{W_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{36,26 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 300} + \frac{36,26 \cdot 10^3 \cdot 100}{90\,000} = 61,41 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{61,41^2 + 3 \cdot (61,41^2 + 29,87^2)} = 133,27 \text{ MPa}$$

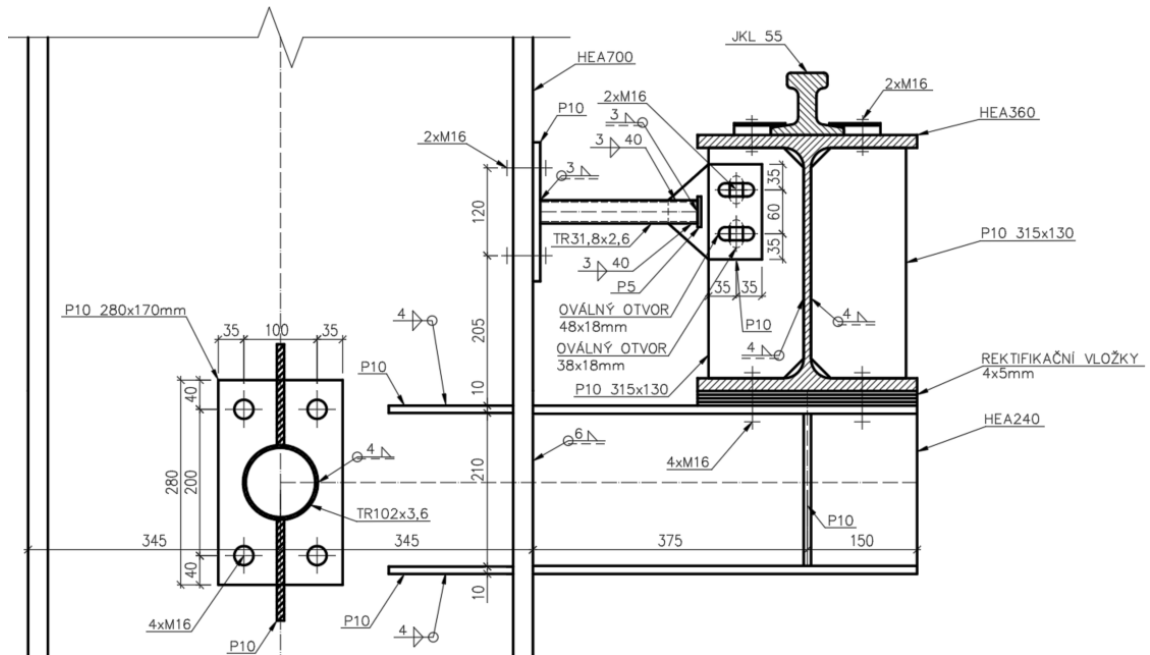
$$133,27 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

$$\sigma_{\perp} = 61,41 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

### 9.3 Uložení jeřábové dráhy na sloup



#### 9.3.1 Konzola

Návrh: HEA220

$h = 210 \text{ mm}$

$b = 220 \text{ mm}$

$A = 6\,434 \text{ mm}^2$

$A_{v,z} = 2\,070 \text{ mm}^2$

$c = 152 \text{ mm}$

$t_f = 11,0 \text{ mm}$

$t_w = 7,0 \text{ mm}$

$W_{pl,y} = 568,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$W_{pl,z} = 270,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

#### Vnitřní síly

$V_{y,Ed} = H_{L,d} = 11,04 \text{ kN}$

$V_{z,Ed} = V_{1,z,Ed} = 156,67 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = V_{z,Ed} \cdot l_{konzola} = 156,67 \cdot 0,870 = 136,30 \text{ kNm}$

$M_{z,Ed} = V_{y,Ed} \cdot l_{konzola} = 11,04 \cdot 0,870 = 9,61 \text{ kNm}$

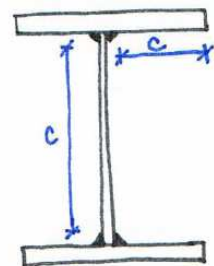
#### Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Pásnice – tlačena část

$c/t_f = 88,5/11 = 8,05 > 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,329 \rightarrow$  Pásnice není třídy 1.

$c/t_f = 8,05 < 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,814 = 8,14 \rightarrow$  Třída 2





Stojina - ohyb

$$c/t_w = 152/7 = 21,71 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,814 = 58,61 \rightarrow \text{Třída 1}$$

Průřez je třídy 2.

### Posouzení

#### Smyk

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{2\,070 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 424,27 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 156,67 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd,z} = 424,27 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{z,Ed} = 156,67 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd,z} = 0,5 \cdot 424,27 \text{ kN} = 212,14 \text{ kN}$$

→ Nejedná se o velký smyk.

#### Klopení

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 568,5 \cdot 10^3 \cdot 355 = 201,82 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_{yk} = 270,6 \cdot 10^3 \cdot 355 = 96,06 \text{ kNm}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,532 + \sqrt{0,532^2 - 0,75 \cdot 0,327^2}} = 1,02 \cong 1,0$$

Pozn.: Průřez neklopí.

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,327 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,327^2] = 0,532$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{568,5 \cdot 10^3 \cdot 355}{1\,885,2 \cdot 10^6}} = 0,327$$

Kritický moment je vypočten softwarem LTBeam viz příloha č. 3.10.

$$M_{cr} = 1\,885,2 \text{ kNm}$$

Součinitele

$$h/b = 190/200 = 0,95 \rightarrow \text{křivka klopení „a“}$$

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1}} + \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} = \frac{136,30 \cdot 10^6}{1,0 \cdot \frac{201,82 \cdot 10^6}{1,0}} + \frac{9,61 \cdot 10^6}{\frac{96,06 \cdot 10^6}{1,0}} = 0,675 + 0,100 = 0,775 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

### 9.3.2 Přípoj konzoly jeřábové dráhy na sloup

#### Svar konzoly k pásnici sloupu

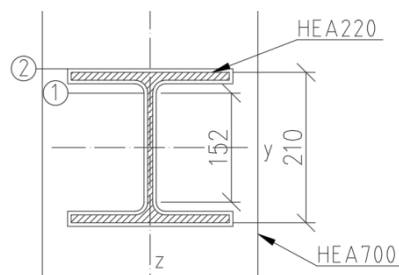
$$a_w = 6 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti svarového obrazce (pomocí software Autocad)

$$I_{y,we} = 61,561 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,we} = 28,441 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

#### Posouzení v bodě 1



$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{y,Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{11,04 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 152} = 6,053 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{M_{y,Ed} \cdot z_y}{I_{y,we}} + \frac{M_{z,Ed} \cdot z_z}{I_{z,we}} = \frac{136,30 \cdot 10^6 \cdot \frac{210}{2}}{61,561 \cdot 10^6} + \frac{9,61 \cdot 10^6 \cdot \frac{220}{2}}{28,441 \cdot 10^6} = 232,48 + 37,17$$

$$= 269,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{269,65}{\sqrt{2}} = \mathbf{190,67 \text{ MPa}} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = \mathbf{352,8 \text{ MPa}}$$

Vyhovuje.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{190,67^2 + 3 \cdot (190,67^2 + 6,053^2)} = 381,48 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{381,48 \text{ MPa}} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = \mathbf{435,56 \text{ MPa}}$$

Vyhovuje.

### Posouzení v bodě 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{4 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{156,67 \cdot 10^3}{4 \cdot 6 \cdot 220} = 29,672 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{M_{y,Ed} \cdot z_y}{I_{y,we}} + \frac{M_{z,Ed} \cdot z_z}{I_{z,we}} = \frac{136,30 \cdot 10^6 \cdot \frac{152}{2}}{61,561 \cdot 10^6} + \frac{9,61 \cdot 10^6 \cdot \frac{7}{2}}{28,441 \cdot 10^6} = 168,27 + 1,18$$

$$= 169,45 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{169,45}{\sqrt{2}} = \mathbf{119,82 \text{ MPa}} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = \mathbf{352,8 \text{ MPa}}$$

Vyhovuje.

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{119,82^2 + 3 \cdot (119,82^2 + 29,672^2)} = 245,09 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{245,09 \text{ MPa}} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = \mathbf{435,56 \text{ MPa}}$$

Vyhovuje.

### 9.3.3 Přenos vodorovné reakce

Vzpěr stabilizační trubky

$$N_{Ed} = V_{5,y,Ed} = 14,46 \text{ kN}$$

#### Navrhují TR31,8x2,6

$$A = 239 \text{ mm}^2$$

$$i = 10,4 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = 365 \text{ mm}$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 239 \cdot 355 = 84,845 \text{ kN}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,669 + \sqrt{0,669^2 - 0,459^2}} = 0,865$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,459 - 0,2) + 0,459^2] = 0,669$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{365}{10,4 \cdot 76,4} = 0,459$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{365}{10,4} = 35,10$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$\alpha = 0,49$  křivka „c“

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{14,46 \cdot 10^3}{0,865 \cdot \frac{84,845 \cdot 10^3}{1,0}} = 0,197 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

**Svar vodorovné výztužné trubky a plechu**

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

$$l_w = 40 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{14,46 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 40} = 30,125 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 \cdot 30,125^2} = 52,18 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

**Svar čelní desky a vodorovné výztužné trubky**

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

$$l_w = \pi d = 99,9 \text{ mm}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{l_w \cdot a_w} = \frac{14,46 \cdot 10^3}{99,9 \cdot 3} = 48,25 \text{ MPa}$$

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

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{48,25}{\sqrt{2}} = 34,12 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{34,12^2 + 3 \cdot 34,12^2} = 68,24 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

**Třecí spoj**

Šrouby spojující vodorovnou výztužnou trubku a výztuhu nosníku jeřábové dráhy →  
Navrhují 2x M16 8.8 předpjaté

Únosnost v otláčení

$$P10 \quad t = 10 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} = 0,6 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = 61,152 \text{ kN}$$

Redukce pro prodloužený otvor 0,6

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{35}{18} - 1,7; 2,5\right) = \min(3,74; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = \min(0,65; 1,63; 1,0) = 0,65$$

$$F_{v,Ed} = 14,46 \text{ kN} \leq 2 \cdot F_{b,Rd} = 2 \cdot 61,152 = 122,304 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

Únosnost v prokluzu

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{p,c}}{\gamma_{M3}} = \frac{0,63 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 87,92}{1,25} = 17,725 \text{ kN}$$

$$k_s = 0,63 \quad \text{dlouhý prodloužený otvor, kde osa je ve směru síly}$$

$$\mu = 0,4 \text{ součinitel tření pro třídu povrchu B}$$

$$F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 800 \cdot 157 = 87,92 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 14,46 \text{ kN} \leq 2 \cdot F_{s,Rd} = 2 \cdot 17,725 = 35,45 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

### Tahový spoj

Šrouby spojující pásnici sloupu a čelní desky vodorovné výztužné trubky →  
Navrhují 2x M16 8.8 předpjaté

Únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 90,432 \text{ kN}$$

### Únosnost T-profilu

$$l_{eff} = 120 \text{ mm}$$

$$c = 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} = 3,39 \text{ mm}$$

$$m = 35 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(35; 1,25 \cdot 35,1) = 35 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 120 \cdot 10^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 1,065 \text{ kNm}$$

1. Způsob porušení

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 1,065 \cdot 10^6}{35} = 121,714 \text{ kN}$$

2. Způsob porušení

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1,065 \cdot 10^6 + 35 \cdot 2 \cdot 90,432 \cdot 10^3}{35 + 35} = 120,861 \text{ kN}$$

3. Způsob porušení

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 90,432 = 180,864 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(121,714 \text{ kN}; 120,861 \text{ kN}; 180,86 \text{ kN}) \\ = 120,861 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 14,46 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 120,861 \text{ kN}$$

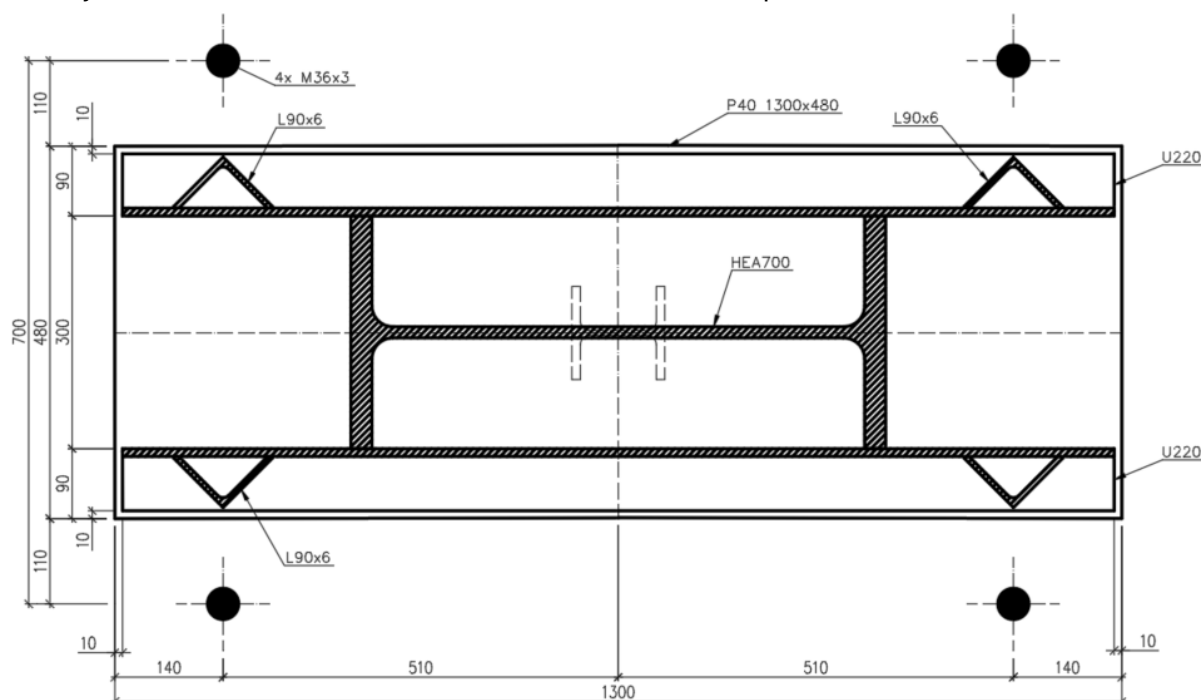
Vyhovuje.

Poznámka: Zde je navržena konzola profilu HEA220. Ve výkresu a v ostatní dokumentaci je navržena konzola z válcovaného průřezu HEA240. Je tomu tak proto, aby výztuhy nosníku JD a rektifikační šrouby, které spojují přes rektifikační podložky nosník jeřábové dráhy a konzolu, nebyly v kolizi. Pokud vyhověl průřez nižšího stupně HEA220 a bude použit průřez vyššího stupně HEA240, předpokládá se, že nově použitý profil HEA240 vyhoví. Zároveň je ve sloupu dostatečná rezerva na to, aby přetížení od nového profilu konzoly sloup přenesl.

## 9.4 Patka sloupu

### 9.4.1 Patka běžného sloupu

Patka je navržena vetknutá, z železobetonu v kombinaci s pilotami.



### Reakce v patce

Rám hlavní části haly

Kombinace	Sloup vlevo			Sloup vpravo		
	$R_y = V_{Ed}$ [kN]	$R_z = N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	$R_y = V_{Ed}$ [kN]	$R_z = N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
ULS NC4	55,93	332,04	140,54	-96,51	335,68	-468,39
ULS NC17	56,6	332,1	135,56	-97,18	335,68	-463,34
ULS NC42	-58,94	113,73	-366	-47,53	138,17	-231,13
ULS NC43	22,78	120,23	-91,36	-52,84	122,99	-147,48
ULS NC44	-60,7	113,73	-352,79	-45,78	138,16	-244,64
ULS NC46	21,05	120,23	-77,94	-51,11	122,98	-161,04
ULS NC53	74,1	296,81	221,65	-104,16	299,53	-464,22
ULS NC54	72,3	296,82	234,87	-102,36	299,53	-477,61
ULS NC61	5,56	194,59	-33,3	-35,62	197,32	-207,3

Rám administrativní části haly

Kombinace	Sloup vlevo			Sloup vpravo		
	$R_y = V_{Ed}$ [kN]	$R_z = N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]	$R_y = V_{Ed}$ [kN]	$R_z = N_{Ed}$ [kN]	$M_{Ed}$ [kNm]
NK_ULS10	47,91	465,93	104,33	-96,72	335,33	-473,05
NK_ULS12	46,31	465,72	120,38	-94,92	335,5	-484,12
NK_ULS17	-49,58	170,06	-343,33	-45,02	138,11	-215,2
NK_ULS18	7,86	164,58	-101,27	-50,91	122,7	-138,13
NK_ULS19	-51,11	169,84	-327,29	-43,3	138,32	-226,63
NK_ULS23	61,52	376,35	175,9	-105,02	299,04	-485,17
NK_ULS24	59,92	376,14	191,98	-103,24	299,22	-496,28
NK_ULS25	-49,63	211	-343,74	-45,04	138,12	-215,34

NK_ULS31	61,55	417,3	176,08	-105,02	299,04	-485,13
NK_ULS32	-30,43	355,35	-251,66	-69,52	223,16	-479,11
NK_ULS33	59,95	417,09	192,18	-103,24	299,22	-496,22

### Geometrie ocelové patky

$$a = 1\,300\text{ mm}$$

$$b = 480\text{ mm}$$

### Geometrie betonové patky

$$a_c = 1\,900\text{ mm}$$

$$b_c = 1\,100\text{ mm}$$

$$h = 1\,000\text{ mm}$$

Materiál: beton C20/25

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

$$\gamma_c = 1,5$$

Výška podlití 50 mm, patní plech P40 (tl. 40 mm)

### Započitatelné rozměry patky

$$a_1 = \min(3 \cdot a; a_c; a + h)$$

$$a_1 = \min(3 \cdot 1\,300; 1\,900; 1\,300 + 1\,000) = \min(3\,900; 1\,900; 2\,300) = 1\,900\text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 \cdot b; b_c; b + h)$$

$$b_1 = \min(3 \cdot 480; 1\,100; 480 + 1\,000) = \min(1\,440; 1\,100; 1\,480) = 1\,100\text{ mm}$$

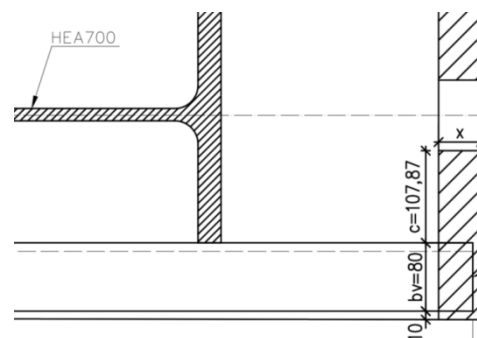
### Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1\,900 \cdot 1\,100}{1\,300 \cdot 480}} = 1,83$$

### Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,83 \cdot 20}{1,5} = 16,27\text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 40 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16,27}} = 107,87\text{ mm}$$



### Účinná šířka patního plechu

$$b_{eff} = 2 \cdot b_v + 2 \cdot 40 + 2 \cdot c = 2 \cdot 80 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 107,87 = 455,74\text{ mm}$$

### Výpočet sil na šroub

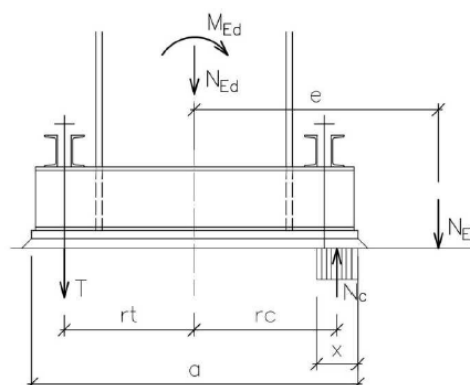
Výpočet pro reakce z kombinací je proveden dle následujícího postupu a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce níže.

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

$$N_{Ed} \cdot (e + r_t) = N_c \cdot (r_t + \frac{a}{2} - \frac{x}{2})$$

$$b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot x^2 - b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot (2 \cdot r_t + a) \cdot x + 2 \cdot N_{Ed} \cdot (e + r_t) = 0$$

$$N_c = b_{eff} \cdot x \cdot f_{jd}$$

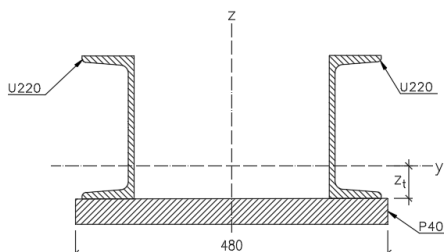


Síla do kotevních šroubů

$$T = N_c - N_{Ed}$$

	$M_{Ed}$ [kNm]	$N_{Ed}$ [kN]	$e$ [mm]	$x_1$ [mm]	$x_2 = x$ [mm]	$N_c$ [kN]	$T$ [kN]
ULS NC4	140,54	332,04	423	2283	37	271,42	-60,62
ULS NC17	135,56	332,1	408	2284	36	267,02	-65,08
ULS NC42	366	113,73	3218	2270	50	373,63	<b>259,90</b>
ULS NC43	91,36	120,23	760	2302	18	132,64	12,41
ULS NC44	352,79	113,73	3102	2271	49	361,74	248,01
ULS NC46	77,94	120,23	648	2304	16	120,90	0,67
ULS NC53	221,65	296,81	747	2276	44	327,82	31,01
ULS NC54	234,87	296,82	791	2274	46	339,68	42,86
ULS NC61	33,3	194,59	171	2304	16	115,03	-79,56
NK_ULS10	104,33	465,93	224	2280	40	300,02	-165,91
NK_ULS12	120,38	465,72	258	2278	42	314,27	-151,45
NK_ULS17	343,33	170,06	2019	2269	51	379,10	209,04
NK_ULS18	101,27	164,58	615	2298	22	161,17	-3,41
NK_ULS19	327,29	169,84	1927	2271	49	364,54	194,70
NK_ULS23	175,9	376,35	467	2276	44	323,17	-53,18
NK_ULS24	191,98	376,14	510	2274	46	337,49	-38,65
NK_ULS25	343,74	211	1629	2266	54	<b>398,32</b>	187,32
NK_ULS31	176,08	417,3	422	2274	46	342,06	-75,24
NK_ULS32	251,66	355,35	708	2269	51	381,65	26,30
NK_ULS33	192,18	417,09	461	2272	48	356,43	-60,66

#### 9.4.1.1 Průřez patky



Patní plech: 40 x 480 mm

Výztuhy 2xU220:  $A = 2 \cdot 3740 = 7480 \text{ mm}^2$

$$I_y = 2 \cdot 2690 \cdot 10^4 = 5380 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_{vz} = 2 \cdot 2062 = 4124 \text{ mm}^2$$

Svařený průřez

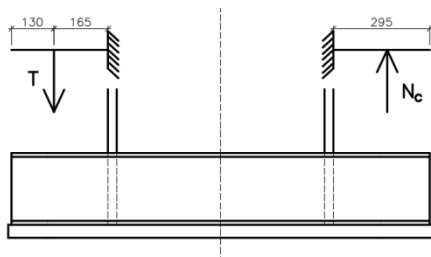
$$A = 40 \cdot 480 + 7480 = 26680 \text{ mm}^2$$

$$z_t = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{A} = \frac{40 \cdot 480 \cdot 20 + 7480 \cdot \left(\frac{220}{2} + 40\right)}{26680} = 56,45 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 480 \cdot 40^3 + 19200 \cdot (56,45 - 20)^2 + 5380 \cdot 10^4 + 7480 \cdot \left(\frac{220}{2} + 40 - 56,45\right)^2$$

$$= 147,331 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Průřez patky působí jako konzola namáhaná silou ve šroubech „T“ nebo silou mezi betonem a ocelí „N<sub>c</sub>“. Posoudí se na kombinaci ohybu a smyku.



Tlačená část patky (NK\_ULS25)

$$M_p = N_c \cdot \left(295 - \frac{x}{2}\right) = 398,32 \cdot \left(0,295 - \frac{0,054}{2}\right) = 106,75 \text{ kNm}$$

$$V_p = N_c = 398,32 \text{ kN}$$

$$M_l = T \cdot 0,165 = 259,90 \cdot 0,165 = 42,88 \text{ kNm}$$

$$V_l = T = 259,90 \text{ kN}$$

$$M_{\max} = \max(M_p; M_l) = 106,75 \text{ kNm}$$

$$V_{\max} = \max(V_p; V_l) = 398,32 \text{ kNm}$$

Průřez je posouzen pružně

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{z_h} = \frac{147,331 \cdot 10^6}{220 + 40 - 56,45} = 723 \ 807 \text{ mm}^3 \rightarrow \text{rozhoduje}$$

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{z_a} = \frac{147,331 \cdot 10^6}{56,45} = 2 \ 609 \ 938 \text{ mm}^3$$

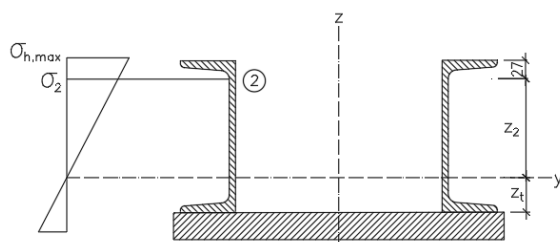
$$\sigma_{h,\max} = \frac{M_{\max}}{W_{y,h}} = \frac{106,75 \cdot 10^6}{723 \ 807} = 147,48 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max}}{A_{vz}} = \frac{398,32 \cdot 10^3}{4 \ 124} = 96,59 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 204,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\max} = 96,59 \text{ MPa} \leq 0,5 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 102,45 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

Normálové napětí v bodě 2



$$z_2 = 220 + 40 - 56,45 - 26,5 = 177,05 \text{ mm}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{\max}}{I_y} \cdot z_2 = \frac{106,75 \cdot 10^6}{147,331 \cdot 10^6} \cdot 177,05 = 133,07 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_{\max}^2} = \sqrt{133,07^2 + 3 \cdot 96,59^2} = 213,77 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.



### 9.4.1.2 Svary podélných výztuh a patního plechu

Vnitřní síly – kombinace NK\_ULS25

$$N_{Ed} = 211 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -49,63 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 23,94 \text{ kN (stěnové ztužidlo)}$$

$$M_{y,Ed} = 343,74 \text{ kNm}$$

$$V_p = T = 154,82 \text{ kN}$$

Svary

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

$$l_w = 1280 \text{ mm}$$

Posouzení

$$A_w = 4 \cdot a_w \cdot l_w = 4 \cdot 5 \cdot 1280 = 25\,600 \text{ mm}^2$$

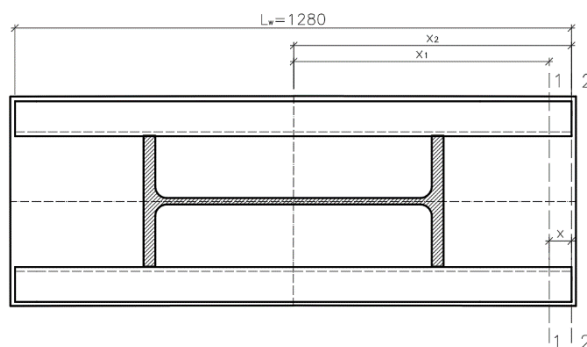
$$I_w = 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot a_w \cdot l_w^3 = 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 1280^3 = 3\,495,25 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Statický moment k rovině svaru

$$S_{f,y} = b \cdot t_p \cdot \left( z_t - \frac{t_p}{2} \right) = 570 \cdot 40 \cdot \left( 70,97 - \frac{40}{2} \right) = 1\,162\,116 \text{ mm}^3$$

$$x_1 = \frac{1280}{2} - 52 = 588 \text{ mm}$$

$$x_2 = \frac{1280}{2} = 640 \text{ mm}$$



**Řez 1-1**

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} + \frac{V_p \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot 4 \cdot a_w} = \frac{49,63 \cdot 10^3}{25\,600} + \frac{154,82 \cdot 10^3 \cdot 1\,162\,116}{282,879 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 5} = 33,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_w} + \frac{M_{y,Ed}}{I_w} \cdot x_1 = \frac{211 \cdot 10^3}{25\,600} + \frac{343,74 \cdot 10^6}{3\,495,25 \cdot 10^6} \cdot 588 = 66,07 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{66,07}{\sqrt{2}} = 46,72 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{46,72^2 + 3 \cdot (46,72^2 + 33,74^2)} = 110,21 \text{ MPa}$$

$$110,21 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,56 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

**Řez 2-2**

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} + 0 = \frac{49,63 \cdot 10^3}{25\,600} = 1,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_w} + \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot x_2 = \frac{211 \cdot 10^3}{25\,600} + \frac{343,74 \cdot 10^6}{3\,495,25 \cdot 10^6} \cdot 640 = 71,18 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{71,18}{\sqrt{2}} = 50,33 \text{ MPa}$$

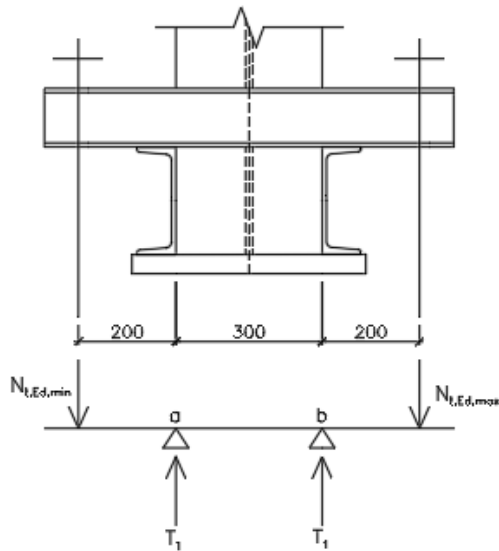
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{50,33^2 + 3 \cdot (50,33^2 + 1,94^2)} = 100,72 \text{ MPa}$$

$$100,72 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,56 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

### 9.4.1.3 Kotevní šrouby

Tolerance uvažována  $\pm 50 \text{ mm}$ . Rozhoduje kombinace s největší silou do kotevního šroubu „T“ (NK\_ULS24).



$$T_1 = \frac{T_{\max}}{2} = \frac{229,47}{2} = 114,74 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,\max} = \frac{T_1 \cdot (200 + 50 + 200 - 50 + 300)}{200 + 200 + 300} = \frac{114,74 \cdot 800}{700} = 131,13 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,\min} = \frac{T_1 \cdot (200 - 50 + 200 - 50 + 300)}{200 + 200 + 300} = \frac{114,74 \cdot 600}{700} = 98,35 \text{ kN}$$

Návrh: Kotevní šrouby s kotevní hlavou M36x3

Šroub	Průměr dříku	Návrhová únosnost	Min. hloubka	Kotevní hlava				
	D [mm]	F <sub>Rd</sub> [kN]	h [mm]	a [mm]	h <sub>1</sub> [mm]	a <sub>1</sub> [mm]	a <sub>2</sub> [mm]	d <sub>1</sub> [mm]
M 30	32	123.60	340	95	10	40	50	6
M 36x3	40	190.58	420	115	12	40	50	8
M 42x3	45	250.95	490	135	15	40	50	
M 48x3	50	333.77	590	155	15	50	60	
M 56x4	60	446.13	650	180	20	60	70	
M 64x4	70	593.24	740	200	20	70	80	
M 72x4	80	761.16	840	230	25	90	110	10
M 80x4	90	950.10	930	255	30	90	110	
M 90x4	100	1215.61	1070	290	30	110	130	
M 100x4	110	1514.00	1210	320	35	120	140	12

Ocel S355  $f_u = 490 \text{ MPa}$

$A_s = 865 \text{ mm}^2$

Posouzení

Minimální hloubka zabetonování 420 mm

Porušení šroubu v místě závitu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 865 \cdot 490}{1,25} = 305,17 \text{ kN} \geq N_{t,Ed,\max} = 131,13 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

Porušení šroubu v místě dříku

$$F_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{\pi d^2}{4} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{\pi \cdot 36^2}{4} \cdot 355}{1,0} = 361,35 \text{ kN} \geq N_{t,Ed,\min} = 98,35 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

#### 9.4.1.4 Kotevní příčník

Vnitřní síly

$$M_{a,d} = N_{t,Ed,min} \cdot (0,200 + 0,050) = 98,35 \cdot 0,250 = 24,59 \text{ kNm}$$

$$V_{a,d} = N_{t,Ed,min} = 123,85 \text{ kN}$$

$$M_{b,d} = N_{t,Ed,max} \cdot (0,200 - 0,050) = 131,13 \cdot 0,150 = 19,67 \text{ kNm}$$

$$V_{b,d} = N_{t,Ed,max} = 131,13 \text{ kN}$$

$$M_{max} = \max(M_{a,d}; M_{b,d}) = 24,59 \text{ kNm}$$

$$V_{max} = \max(V_{a,d}; V_{b,d}) = 131,13 \text{ kNm}$$

Návrh: 2x U120

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

$$t_w = 7,0 \text{ mm}$$

$$A_{vz} = 2 \cdot 880 = 1\,760 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 2 \cdot 72\,600 = 145,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Zatřídění průřezu

Stojina – ohyb

$$\frac{d}{t_w} = \frac{82}{7} = 11,71 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,814 = 58,61 \rightarrow \text{Třída 1}$$

#### MSÚ

Ohyb

$$M_{Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 145,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = 51,546 \text{ kNm}$$

$$M_{max} = 24,59 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 51,546 \text{ kNm}$$

Vyhovuje.

Smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,760 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 360,728 \text{ kN}$$

$$V_{max} = 131,13 \text{ kNm} < V_{pl,Rd} = 360,728 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$$V_{max} = 131,13 \text{ kNm} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 360,728 = 180,364 \text{ kN}$$

Nejedná se o velký smyk.

#### 9.4.1.5 Smyková zarážka

$$V_{z,Ed} = 35,62 \text{ kN} \text{ (kombinace NK\_ULS61)}$$

$$N_c = 115,03 \text{ kN} \text{ (kombinace NK\_ULS61)}$$

Tření mezi betonem a patním plechem

$$\mu = 0,2$$

$$V_{Rd} = 0,2 \cdot N_c = 0,2 \cdot 115,03 = 23,01 \text{ kN} < V_{z,Ed} = 35,62 \text{ kN}$$

Tření není dostačující, je potřeba smyková zarážka.

#### Navrhují HEB120

$$A_{v,z} = 1\,096 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,pl} = 165\,200 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,el} = 144\,100 \text{ mm}^3$$

Zatřídění průřezu

$$\frac{d}{t_w} = \frac{74}{6,5} = 11,39 < 72 \cdot \varepsilon = 58,61$$

Průřez třídy 1.

Délka zarážky

$$h > \frac{V_{z,Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{35,62 \cdot 10^3}{120 \cdot \frac{16,67}{1,5}} = 22,26 \text{ mm}$$

Návrh:  $h = 100 \text{ mm}$

Pozn.: Výšku smykové zarážky navrhuji o mnoho větší (než je potřeba dle vzorce výše), protože 10 mm je tolerance pro montážní podložky, řekněme rozdíl v zalití betonové patky by mohl být klidně 20 mm. Také se domnívám, že délka 150 mm HEB120 se bude lépe řezat, než HEB120 o délce cca 73 mm, respektive případné odchylky vzniklé nepřesností řezání profilu bude možné zanedbat.

### Svarový přípoj zarážky k patnímu plechu

Moment setrvačnosti svarového obrazce

$$I_w = 6,934 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Ve směru osy „z“

Posouzení v bodě 1

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

$$l_w = 74 \text{ mm}$$

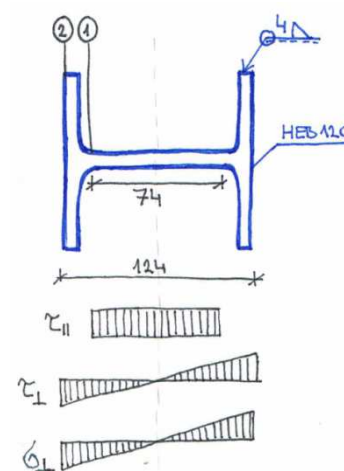
$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{35,62}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,074} = 60,169 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{z,Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{35,62 \cdot 10^3 \cdot (50 + 50/2)}{\frac{6,934 \cdot 10^6}{74/2}} = 10,080 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{10,080^2 + 3 \cdot (10,080^2 + 60,169^2)} = 106,148 \text{ MPa}$$

$$106,148 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 10,080 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$



Posouzení v bodě 2

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

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

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{z,Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{35,62 \cdot 10^3 \cdot (50 + 50/2)}{\frac{6,934 \cdot 10^6}{124/2}} = 23,887 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{11,718^2 + 3 \cdot (11,718^2 + 0^2)} = 23,436 \text{ MPa}$$

$$23,887 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 23,887 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Svar zarážky vyhovuje.

### Posudek smykové únosnosti zarážky

$$V_{z,Ed} = 35,62 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{z,Ed} \cdot e = 35,62 \cdot (50 + \frac{50}{2}) = 2,672 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,096 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 148,702 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 148,702 \text{ kN} > 2 \cdot V_{z,Ed} = 2 \cdot 35,62 = 71,24 \text{ kN}$$

Malý smyk.

#### Posudek ohybové únosnosti zarážky

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 165,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = 58,646 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = V_{z,Ed} \cdot e = 35,62 \cdot 10^3 \cdot \left(50 + \frac{50}{2}\right) = 2,672 \text{ kNm} \leq M_{pl,Rd} = 58,646 \text{ kNm}$$

Vyhovuje.

#### 9.4.1.6 Svarový přípoj profilu sloupu k patce

Posouzení svarů mezi pásnicemi sloupu HEA700 a U220

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

$$l_w = 220 \text{ mm}$$

$$V_S = \frac{M_{Ed}}{(h - t_f)} = \frac{343,74 \cdot 10^6}{690 - 27} = 518,46 \text{ kN}$$

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

$$F_{w,Rd} = 4 \cdot a_w \cdot l_w \cdot f_{vw,d} = 4 \cdot 5 \cdot 220 \cdot 251,47 = 1\,106,47 \text{ kN}$$

$$V_S = 518,46 \text{ kN} \leq F_{w,Rd} = 1\,106,47 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

#### 9.4.2 Patka sloupu ztužidla

Návrh a posouzení komponent patky viz Kapitola 2.4.

Vnitřní síly

$$V_{z,Ed} = 35,62 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed,H} = V_{y,Ed} \cdot \sin 34^\circ = 42,65 \cdot \sin 34^\circ = 23,850 \text{ kN}$$

##### 9.4.2.1 Smyková zarážka

Návrh: HEB 120

Posudek smykové únosnosti zarážky

$$V_{z,Ed} = 35,62 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{z,Ed} \cdot e = 35,62 \cdot \left(50 + \frac{50}{2}\right) = 2,672 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,096 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 148,702 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 148,702 \text{ kN} > 2 \cdot V_{z,Ed} = 2 \cdot 35,62 = 71,24 \text{ kN}$$

Malý smyk.

$$V_{y,Ed,H} = 23,850 \text{ kN}$$

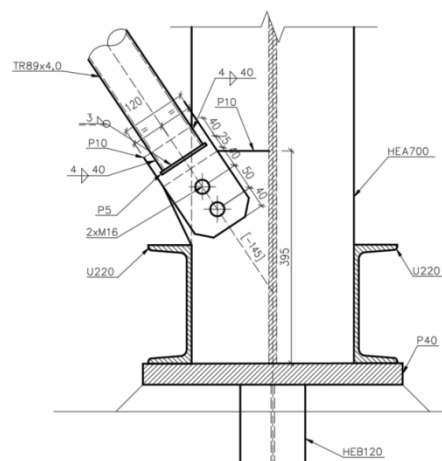
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2\,640 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 541,09 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 541,09 \text{ kN} > 2 \cdot V_{z,Ed} = 2 \cdot 23,850 = 47,70 \text{ kN}$$

Malý smyk.

#### Posudek ohybové únosnosti zarážky

$$M_{pl,Rd,y} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 165,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = 58,646 \text{ kNm}$$



$$M_{y,Ed} = V_{z,Ed} \cdot e = 35,62 \cdot 10^3 \cdot \left(50 + \frac{50}{2}\right) = 2,672 \text{ kNm} \leq M_{pl,Rd,y} = 58,646 \text{ kNm}$$

Vyhovuje.

$$M_{pl,Rd,z} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 80,97 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = 28,744 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = V_{y,Ed} \cdot e = 35,359 \cdot 10^3 \cdot \left(50 + \frac{50}{2}\right) = 2,652 \text{ kNm} \leq M_{pl,Rd,z} = 28,744 \text{ kNm}$$

Vyhovuje.

### Dvouosý ohyb

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}}\right)^2 + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} = \left(\frac{2,672}{58,646}\right)^2 + \frac{2,652}{28,744} = 0,002 + 0,092 = \mathbf{0,094} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

### Svarový přípoj zarážky k patnímu plechu

Ve směru osy „z“

viz předchozí kapitola

Ve směru osy „y“

$$I_{w,z} = 3,493 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Posouzení v bodě 2

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{y,Ed}}{4 \cdot a_w \cdot d} = \frac{35,359 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot 120} = 18,416 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{y,Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{35,359 \cdot 10^3 \cdot (50 + 50/2)}{\frac{3,493 \cdot 10^6}{124/2}} = 33,284 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{33,284^2 + 3 \cdot (33,284^2 + 18,416^2)} = 73,816 \text{ MPa}$$

$$\mathbf{73,816 \text{ MPa}} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = \mathbf{435,6 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{\perp} = \mathbf{33,284 \text{ MPa}} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = \mathbf{352,8 \text{ MPa}}$$

Vyhovuje.

Spolupůsobení ve směru „y“ a „z“

$$\begin{aligned} & \sqrt{(\sigma_{\perp y} + \sigma_{\perp z})^2 + 3 \cdot ((\tau_{\perp y} + \tau_{\perp z})^2 + (\tau_{\parallel y} + \tau_{\parallel z})^2)} \\ & = \sqrt{(33,284 + 23,887)^2 + 3 \cdot ((33,284 + 23,887)^2 + (18,416 + 0)^2)} \\ & = \mathbf{118,71 \text{ MPa}} \leq \mathbf{435,6 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

Vyhovuje.

$$\sigma_{\perp y} + \sigma_{\perp z} = 33,284 + 23,887 = \mathbf{57,17 \text{ MPa}} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = \mathbf{352,8 \text{ MPa}}$$

Vyhovuje.

#### 9.4.2.2 Kontrolní posouzení sloupu

Přídavný ohybový moment od excentricity přípoje diagonály na sloup.

$$e = 133 \text{ mm}$$

$$M_{z,Ed} = e \cdot V_{y,Ed} = 0,133 \cdot 23,94 \cdot 10^3 = 3,184 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1\,257 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = 446,235 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{3,184 \cdot 10^3}{446,235 \cdot 10^3} = \mathbf{0,007} \leq \mathbf{1,0}$$

Sloup má dostatečnou rezervu a dodatečné využití 7% přenese.

### 9.4.2.3 Přípoj diagonály ztužidla k patce sloupu

Vnitřní síla

$$F_{t,Ed} = 42,65 \text{ kN}$$

Šrouby 2x M16 8.8

Únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub} \cdot n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800 \cdot 1}{1,25} = 60,288 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

P10  $t = 10 \text{ mm}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = 116,032 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{60}{18} - 1,7; 2,5\right) = \min(7,63; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = \min(0,74; 1,63; 1,0) = 0,74$$

Únosnost ve smyku

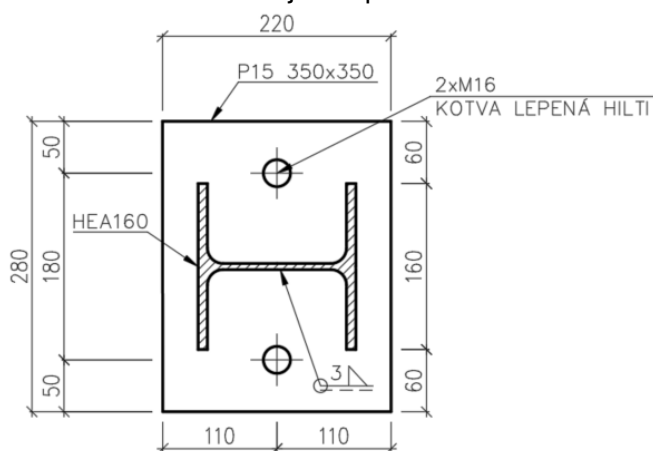
$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 120,58 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 42,65 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 120,58 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

## 9.5 Patka administrativní části

Patka je navržena kloubová. Posouzení je provedeno pro kombinaci s největší normálovou silou a největší posouvací silou. Materiál základu je železobeton.



Vnitřní síly

Kombinace	Sloup vlevo	
	$R_z = N_{Ed}$ [kN]	$R_y = V_{z,Ed}$ [kN]
NK_ULS12	<b>142,3</b>	3,77
NK_ULS18	45,38	<b>12,37</b>

### 9.5.1 Únosnost v tlaku

Geometrie ocelové patky

$$a = 280 \text{ mm}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

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

Geometrie betonové patky

$$A_{\text{eff}} = \frac{N_{\text{Ed}} + G_0}{R_d} = \frac{142,3 \cdot 1,15}{175} = 0,94 \text{ m}^2$$

$$b = \sqrt{A_{\text{eff}}} = \sqrt{0,94} = 0,97 \text{ m}$$

$R_d = 175 \text{ kPa}$  odhaduji přibližnou únosnost zeminy

$$a_c = 970 \text{ mm}$$

$$b_c = 970 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

Materiál: beton C20/25

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

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\text{Výška podlití } 0,1 \cdot 280 = 28 \rightarrow 30 \text{ mm}$$

Započitatelné rozměry patky

$$a_1 = \min(3 \cdot a; a_c; a + h)$$

$$a_1 = \min(3 \cdot 280; 970; 280 + 800) = \min(840; 970; 1080) = 840 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 \cdot b; b_c; b + h)$$

$$b_1 = \min(3 \cdot 220; 970; 220 + 800) = \min(660; 970; 1020) = 660 \text{ mm}$$

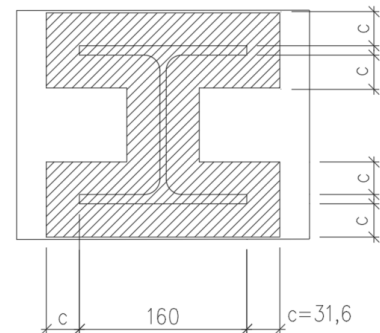
Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{840 \cdot 660}{280 \cdot 220}} = 3$$

Návrhová pevnost betonu

$$f_{\text{jd}} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{\text{ck}}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{3 \cdot 20}{1,5} = 26,67 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{yd}}}{3 \cdot f_{\text{jd}}}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 26,67}} = 31,60 \text{ mm}$$



Účinná šířka patního plechu

$$A_{\text{eff}} = 37\,148 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{Rd}} = A_{\text{eff}} \cdot f_{\text{jd}} = 37\,148 \cdot 26,67 = 990,737 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Ed}} = 142,3 \text{ kN} \leq N_{\text{Rd}} = 990,73 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

### 9.5.2 Přípoj sloupu k patnímu plechu

Tlak se přenesou kontaktem (uváženo pro svar). Tahová síla nevzniká při žádné kombinaci zatížení.

Navrhují  $a_w = 3 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,\text{Ed}}}{4 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{12,37 \cdot 10^3}{4 \cdot 3 \cdot 104} = 19,824 \text{ MPa}$$

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

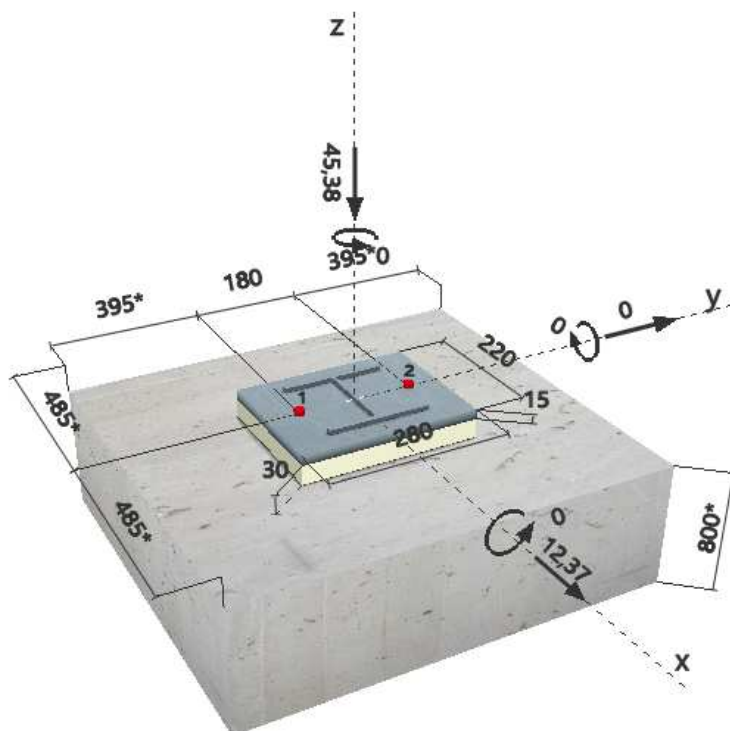
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 \cdot 19,824^2} = 34,336 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

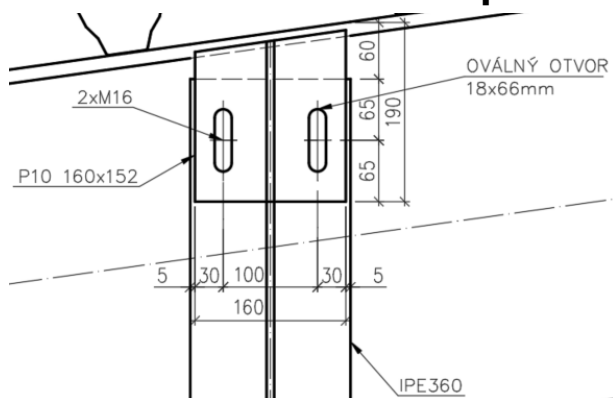


### 9.5.3 Únosnost ve smyku

Kotevní šrouby 2x M16 8.8 Hilti (HIT-RE 500 V3 + HIT-V) – viz příloha č. 4.1.  
Rozhoduje porušení oceli → využití 67%.



### 9.6 Kluzné uložení sloupu štítové stěny



Maximální tahová síla při sání příčného větru viz kapitola 7.3.1.1

$$N_{Ed} = F_{t,Ed} = 16,86 \text{ kN}$$

#### Šrouby 2x M16 8.8

Únosnost šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = 90,40 \text{ kN}$$

Únosnost T-profilu (rozhoduje čelní deska)

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

$$m_2 = 81,7 \text{ mm}$$

$$e_1 = 46 \text{ mm}$$

$$e = e_{\min} = 30 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{46}{46 + 30} = 0,605$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{81,7}{46 + 30} = 1,075$$

$$\alpha = 4,6$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(30; 1,25 \cdot 46) = \min(30; 57,5) = 30 \text{ mm}$$

### Koncová řada sousedící s výztuhou - řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = \min(2 \cdot \pi \cdot m; \pi \cdot m + 2 \cdot e_1) = \min(2 \cdot \pi \cdot 46; \pi \cdot 46 + 2 \cdot 46) = \min(289,03; 236,51) \\ = 236,51 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e) = 46 + 4,6 \cdot 46 - (2 \cdot 46 + 0,625 \cdot 30) = 146,85 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} \leq l_{\text{eff,cp}}$$

$$l_{\text{eff,1}} = l_{\text{eff,nc}} = 146,85 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff,nc}} = 146,85 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff,1}} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 146,85 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} = 1,303 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{0,25 \cdot l_{\text{eff,2}} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 146,85 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} = 1,303 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

1. Způsob porušení

$$F_{\text{t,a,Rd}} = \frac{4 \cdot M_{\text{pl,1,Rd}}}{m} = \frac{4 \cdot 1,303 \cdot 10^6}{46} = 113,304 \text{ kN}$$

2. Způsob porušení

$$F_{\text{t,b,Rd}} = \frac{2 \cdot M_{\text{pl,2,Rd}} + n \cdot \sum F_{\text{t,Rd}}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1,303 \cdot 10^6 + 30 \cdot 2 \cdot 90,40 \cdot 10^3}{46 + 30} = 105,658 \text{ kN}$$

3. Způsob porušení

$$F_{\text{t,c,Rd}} = \sum F_{\text{t,Rd}} = 2 \cdot 90,40 \cdot 10^3 = 180,80 \text{ kN}$$

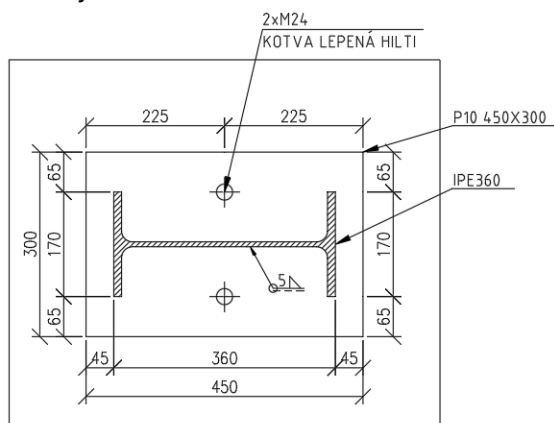
$$F_{\text{t,Rd}} = \min(F_{\text{t,a,Rd}}; F_{\text{t,b,Rd}}; F_{\text{t,c,Rd}}) = \min(113,304 \text{ kN}; 105,658 \text{ kN}; 180,80 \text{ kN}) \\ = 105,658 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,Ed}} = \mathbf{16,86 \text{ kN}} \leq F_{\text{t,Rd}} = \mathbf{105,658 \text{ kN}}$$

Vyhovuje.

## 9.7 Patka štítového sloupu

Patka je navržena kloubová. Materiál základu je železobeton.



### Vnitřní síly

viz kap 7.3.1.1

$$N_{Ed} = 16,86 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 35,36 \text{ kN}$$

### Únosnost v tlaku

Geometrie ocelové patky

$$a = 450 \text{ mm}$$

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

Patní plech P15  $t_p = 15 \text{ mm}$

Geometrie betonové patky

$$A_{eff} = \frac{N_{Ed} + G_0}{R_d} = \frac{16,86 \cdot 1,15}{175} = 0,111 \text{ m}^2$$

$$b = \sqrt{A_{eff}} = \sqrt{0,111} = 0,333 \text{ m}$$

$R_d = 175 \text{ kPa}$  únosnost zeminy je odhadnuta

Potřebné rozměry betonové patky dle výpočtu v software Hilti PROFIS Anchor

$$a_c = 700 \text{ mm}$$

$$b_c = 600 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

Materiál: beton C20/25

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

$$\gamma_c = 1,5$$

Výška podlití 30 mm

Započitatelné rozměry patky

$$a_1 = \min(3 \cdot a; a_c; a + h)$$

$$a_1 = \min(3 \cdot 450; 700; 450 + 800) = \min(1350; 700; 1250) = 700 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 \cdot b; b_c; b + h)$$

$$b_1 = \min(3 \cdot 300; 700; 300 + 800) = \min(900; 700; 1100) = 700 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{700 \cdot 700}{450 \cdot 300}} = 1,91$$

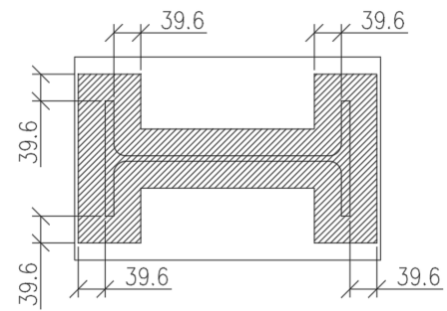
Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,91 \cdot 20}{1,5} = 16,98 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16,98}} = 39,6 \text{ mm}$$

Účinná šířka patního plechu

$$A_{eff} = 68\,074 \text{ mm}^2$$



**Únosnost**

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 68\,074 \cdot 16,98 = 1\,155,90 \text{ kN}$$

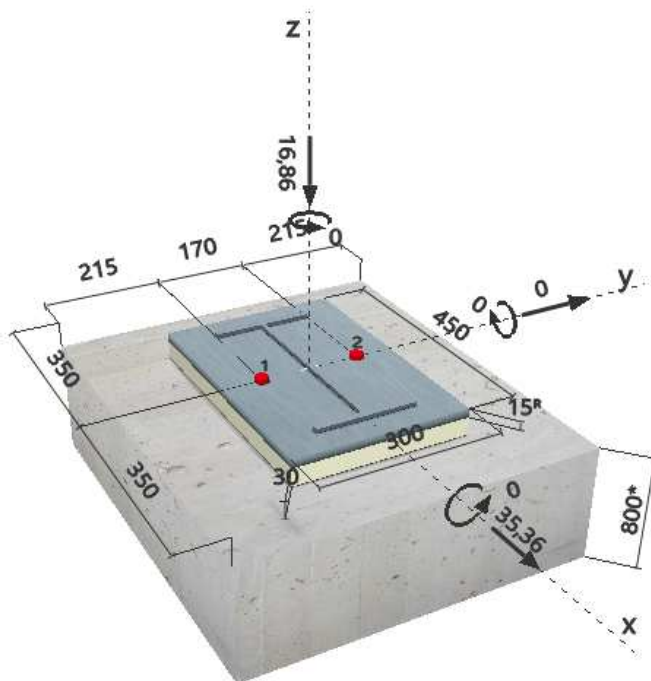
$$N_{Ed} = 16,86 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 1\,155,90 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

**Únosnost ve smyku**

Kotevní šrouby 2x M24 8.8 Hilti (HIT-RE 500 V3 + HIT-V) č. 4.2.

Rozhoduje porušení okraje betonu → využití 91%.



## 9.8 Kloubový přípoj příčle adm. části na běžný sloup

Sloup HEA700

Příčel IPE220

Čelní deska P10  $t = 10 \text{ mm}$

### Návrhové vnitřní síly (kombinace ULS24; L)

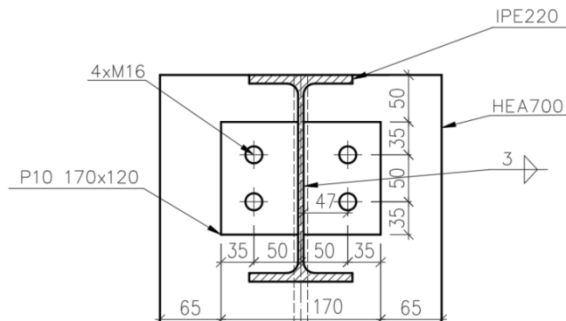
$$N_{Ed} = 16,77 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 31,98 \text{ kN}$$

### Únosnost řady šroubů v tahu

Únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 90,432 \text{ kN}$$



### Výpočet 1. řady šroubů

Únosnost pásnice náhradního T-profilu

$$c_1 = c_2 = 0,8 \cdot a_{2,w} \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} = 3,4 \text{ mm}$$

$$m = 47 - c_2 = 47 - 3,4 = 43,6 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(35; 1,25 \cdot 43,6) = \min(35; 54,5) = 35 \text{ mm}$$

### Efektivní šířka pro náhradní T-průřez – koncová řada šroubů

Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp,1} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 43,6 = 273,95 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp,2} = \pi \cdot m + 2 \cdot e_1 = \pi \cdot 43,6 + 2 \cdot 35 = 206,97 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp} = \min(l_{eff,cp,1}; l_{eff,cp,2}) = 206,97 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc,1} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 43,6 + 1,25 \cdot 35 = 218,15 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,2} = 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + e_1 = 2 \cdot 43,6 + 0,625 \cdot 35 + 35 = 144,08 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min(l_{eff,nc,1}; l_{eff,nc,2}) = 144,08 \text{ mm}$$

Řada šroubů uvažována jako součást skupiny šroubů

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp,3} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 43,6 + 50 = 186,97 \text{ mm}$$

$$l_{eff,cp,4} = 2 \cdot e_1 + p = 2 \cdot 35 + 50 = 120 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc,3} = 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + 0,5p = 2 \cdot 43,6 + 0,625 \cdot 35 + 0,5 \cdot 50 = 134,08 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc,4} = e_1 + 0,5p = 35 + 0,5 \cdot 50 = 60 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,nc}) = 60 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = \min(l_{eff,nc}) = 60 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 60 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} = 0,533 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 60 \cdot 10^2 \cdot 355}{1,0} = 0,533 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

1. Způsob porušení

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 0,533 \cdot 10^6}{43,6} = 48,90 \text{ kN}$$

2. Způsob porušení

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 0,533 \cdot 10^6 + 35 \cdot 2 \cdot 90,432 \cdot 10^3}{43,6 + 35} = 94,100 \text{ kN}$$

3. Způsob porušení

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 90,432 \cdot 10^3 = 180,864 \text{ kN}$$

**Únosnost 1. řady šroubů**

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(48,90 \text{ kN}; 94,100 \text{ kN}; 180,864 \text{ kN}) \\ = 48,90 \text{ kN}$$

**Výpočet a únosnost 2. řady šroubů**

Tato řada má stejnou únosnost jako 1. řada.

$$F_{t,2,Rd} = 48,90 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = F_{t,1,Rd} + F_{t,2,Rd} = 48,90 + 48,90 = 97,80 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 16,77 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 97,80 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

**Smyková únosnost**

Šrouby 4xM16 8.8

Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub} \cdot n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800 \cdot 1}{1,25} = 60,288 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

P10  $t = 10 \text{ mm}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = 114,66 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{35}{18} - 1,7; 2,5\right) = \min(3,74; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = \min(0,65; 1,63; 1,0) = 0,74$$

Únosnost ve smyku

$$V_{Rd} = 4 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 241,152 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 31,98 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 241,152 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

**Únosnost šroubů na kombinaci tahu a stříhu**

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{31,98 \cdot 10^3}{241,152 \cdot 10^3} + \frac{16,77 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 90,432 \cdot 10^3} = 0,033 + 0,033 = 0,066 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

**Smyková únosnost oslabeného průřezu**

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{t_w \cdot h_{P10}} = \frac{31,98 \cdot 10^3}{5,9 \cdot 120} = 45,17 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y} = \frac{45,17}{355} = 0,220 \leq 1,0$$

$$\frac{\tau_{Ed}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{45,17}{\sqrt{3} \cdot 1,0}$$

Vyhovuje.

### Svar příčle a čelní desky

Návrh:  $a_w = 3 \text{ mm}$

$l_w = 120 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{31,98 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 120} = 44,417 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{16,77 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 120} = 23,292 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{23,292}{\sqrt{2}} = 16,470 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{16,470^2 + 3 \cdot (16,470^2 + 44,417^2)} = 83,688 \text{ MPa}$$

$$83,688 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{490}{1,25 \cdot 0,9} = 435,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

$$\sigma_{\perp} = 16,470 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.