



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

**C – STATICKÝ VÝPOČET**

C – STRUCTURAL ANALYSIS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Martin Sosna**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.**

**BRNO 2020**

# Obsah

1	Statická idealizace .....	1
1.1	Geometrie.....	1
1.2	Výpočtový model .....	3
2	Zatížení.....	4
2.1	Zatížení stálé .....	4
2.1.1	ZS1 - Vlastní tíha .....	4
2.1.2	ZS2 - Ostatní stálé zatížení .....	4
2.2	Zatížení proměnné .....	7
2.2.1	ZS3 - Sníh plný .....	7
2.2.2	ZS4 - Sníh nerovnoměrný – pravý .....	7
2.2.3	ZS5 - Sníh nerovnoměrný – levý .....	9
2.2.4	ZS6 - Sníh navátý – pravý.....	9
2.2.5	ZS7 - Sníh navátý – levý .....	10
2.2.6	ZS8 - Vítr příčný .....	10
2.2.7	ZS9 - Vítr podélný .....	14
2.2.8	Třecí síly od větru .....	15
3	Kombinace zatížení, výpočet vnitřních sil .....	16
3.1	Kombinace pro MSÚ.....	16
3.2	Kombinace pro MSP .....	16
3.3	Výpočet vnitřních sil.....	17
4	Mezní stav únosnosti .....	17
4.1	Opláštění.....	17
4.1.1	Střešní plášť .....	17
4.1.2	Stěnový plášť .....	18
4.2	Vaznice – střední .....	18
4.2.1	Prostý tah.....	19
4.2.2	Vzpěr .....	19
4.2.3	Smyk .....	21
4.2.4	Ohyb s tlačnou horní pásnicí .....	21
4.2.5	Ohyb s tlačnou dolní pásnicí.....	22
4.2.6	Kombinace ohybu a osově síly .....	23

4.3	Vaznice – krajní.....	27
4.3.1	Prostý tah .....	28
4.3.2	Vzpěr.....	28
4.3.3	Smyk .....	29
4.3.4	Kombinace ohybu a osově síly.....	30
4.4	Vazník .....	34
4.4.1	Horní pás.....	35
4.4.2	Dolní pás .....	38
4.4.3	Diagonála .....	40
4.4.4	Svislice .....	42
4.5	Podélné ztužidlo.....	43
4.5.1	Pás podélného ztužidla.....	44
4.6	Střešní větrové ztužidlo .....	46
4.6.1	Kombinace tahu a ohybu .....	47
4.7	Ztužidlo štítové stěny.....	47
4.7.1	Kombinace tahu a ohybu .....	48
4.8	Paždík štítový.....	48
4.8.1	Prostý tah .....	49
4.8.2	Vzpěr.....	49
4.8.3	Smyk .....	50
4.8.4	Kombinace ohybu a osově síly.....	51
4.9	Sloup.....	54
4.9.1	Prostý tah .....	55
4.9.2	Vzpěr.....	55
4.9.3	Smyk .....	57
4.9.4	Ohyb s vlivem klopení.....	57
4.9.5	Kombinace ohybu a osově síly.....	59
5	Mezní stav použitelnosti.....	62
5.1	Střešní plášť .....	62
5.2	Vaznice – střední .....	63
5.3	Vaznice - krajní .....	63
5.4	Vazník .....	64
5.5	Sloup.....	64

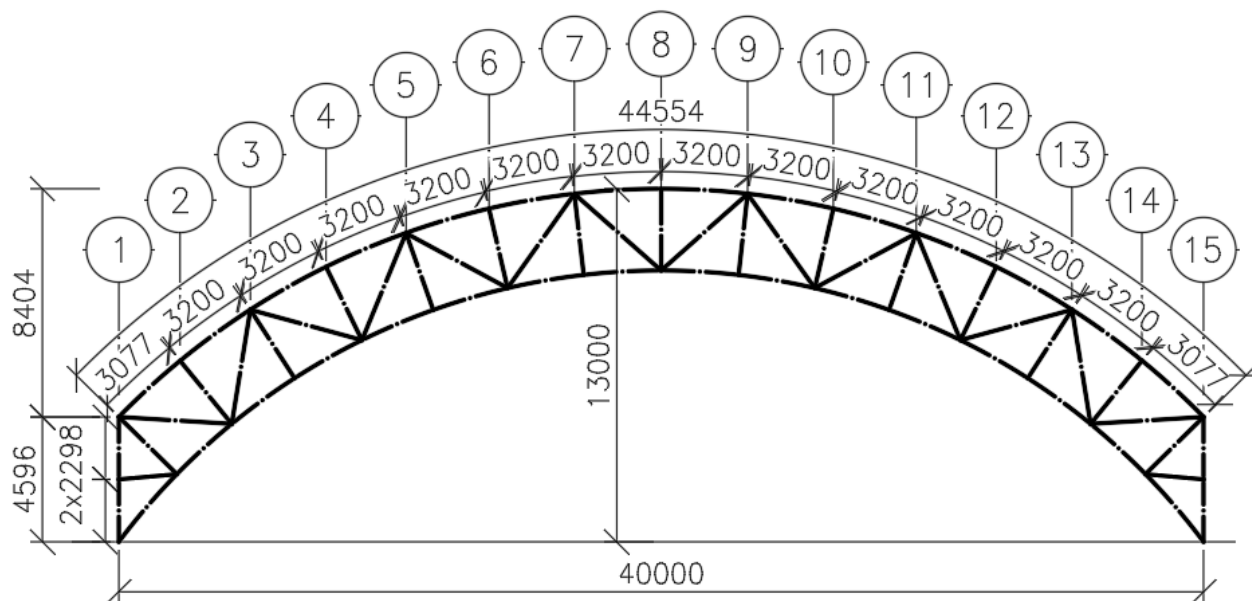
5.6	Paždík.....	64
5.7	Globální deformace .....	65
5.7.1	Podélný směr.....	65
5.7.2	Příčný směr .....	65
6	Spoje.....	66
6.1	Přípoj diagonál a svislice k dolnímu pásu.....	66
6.1.1	Posouzení svarů .....	67
6.1.2	Posouzení styčnicku dle druhu porušení .....	68
6.2	Přípoj diagonály a svislice k zalomenému hornímu pásu.....	71
6.2.1	Posouzení zalomení horního pásu .....	72
6.2.2	Posouzení svaru diagonály a styčnickového plechu .....	73
6.2.3	Posouzení svaru svislice a styčnickového plechu .....	73
6.2.4	Posouzení svaru styčnickového plechu a horního pásu .....	74
6.3	Montážní spoje vazníku.....	74
6.3.1	Horní pás.....	74
6.3.2	Dolní pás .....	78
6.3.3	Přípoj šroubované diagonály a pod. ztužidla na dolní pás .....	82
7	Kotvení .....	87
7.1	Návrh a posouzení kotvení příčné vazby.....	87
7.1.1	Návrh geometrie .....	88
7.1.2	Posouzení prvků čepového spoje.....	89
7.1.3	Posouzení svarů .....	90
7.1.4	Posouzení patní desky.....	91
7.1.5	Posouzení kotevních šroubů.....	91
7.1.6	Posouzení kotev z hlediska porušení betonu .....	94
7.2	Návrh a posouzení kotvení sloupů štítové stěny.....	95
7.2.1	Posouzení patní desky.....	96
7.2.2	Svar sloupu a patní desky .....	97
7.2.3	Posouzení kotevních šroubů.....	97
7.2.4	Posouzení kotev z hlediska porušení betonu .....	102
	Seznam použitých zdrojů .....	103
	Seznam tabulek .....	104
	Seznam obrázků .....	104

# 1 STATICKÁ IDEALIZACE

Hlavní nosná konstrukce se skládá ze 7 příčných vazeb obloukového tvaru na rozpětí 40 m. Vnitřní příčné vazby staticky působí jako příhradové dvojklobové nosníky, zatímco krajní příčné vazby jsou tvořeny pouze horními pásy vazníku, jež jsou podporovány sloupy ve štítových stěnách. Jednotlivé příčné vazby jsou osově vzdáleny 5,5 m a propojeny kloubově uloženými vaznicemi a paždíky. Prostorovou tuhost konstrukce zajišťují 3 symetricky umístěná podélná ztužidla, dále střešní ztužidla v krajních polích a přídatná ztužidla v čelních stěnách.

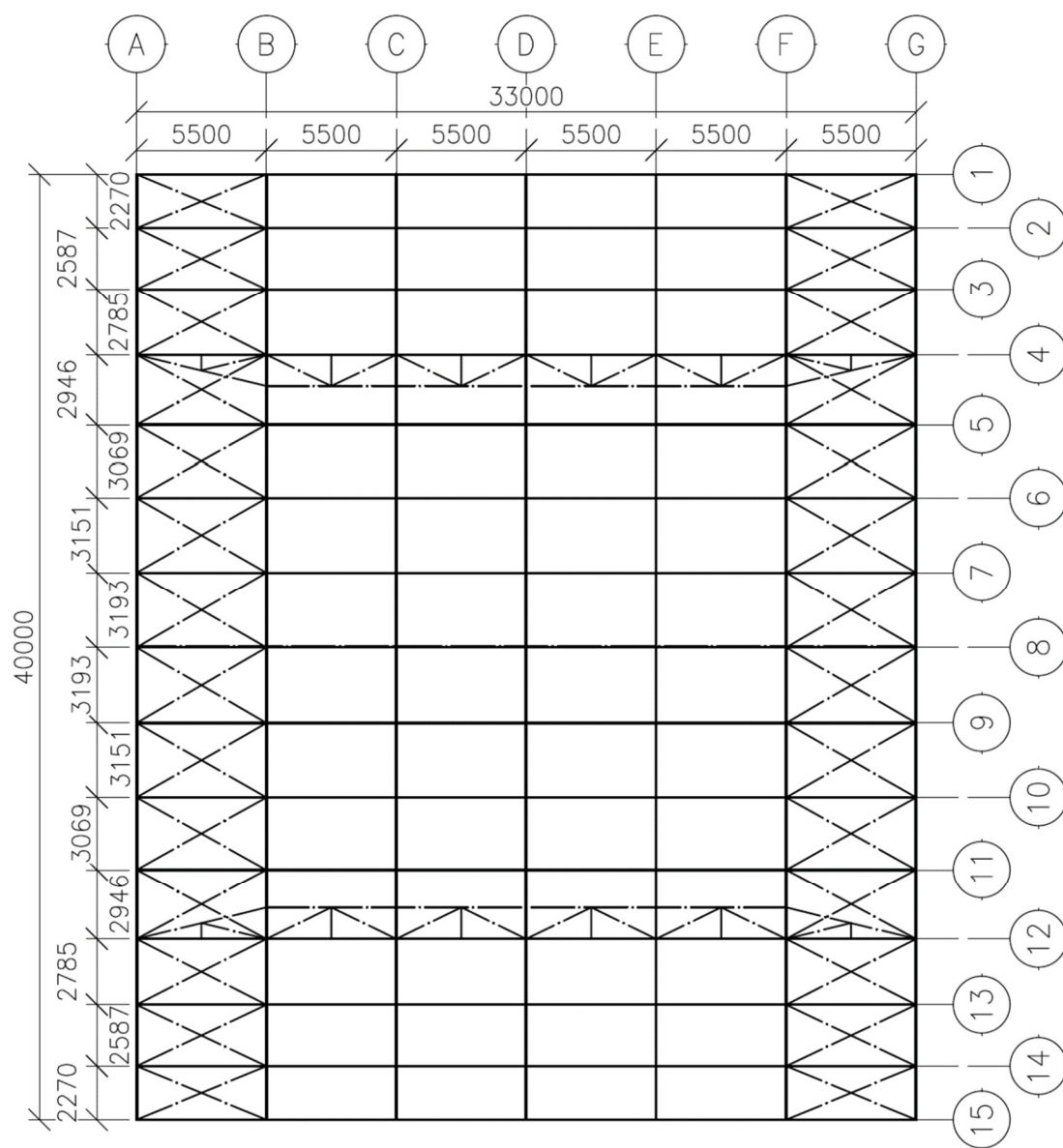
## 1.1 Geometrie

Schematický příčný řez:



Obrázek 1 – Schematický příčný řez

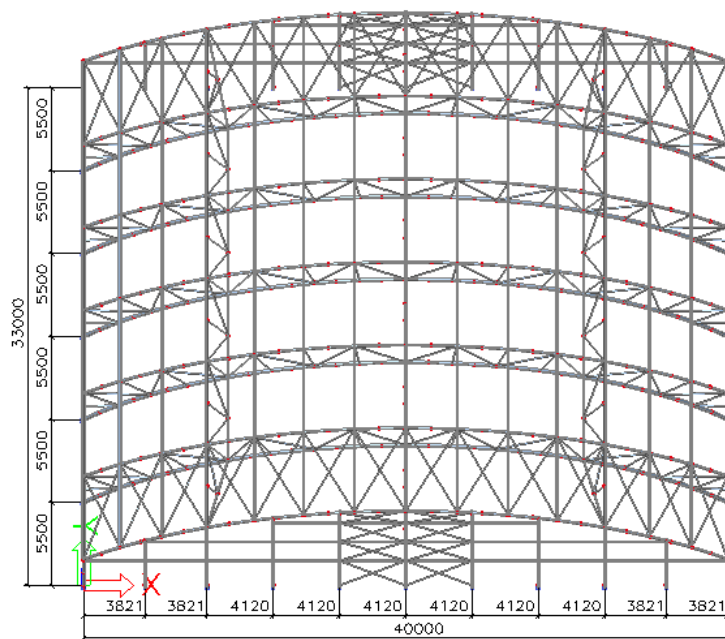
Schematický půdorys:



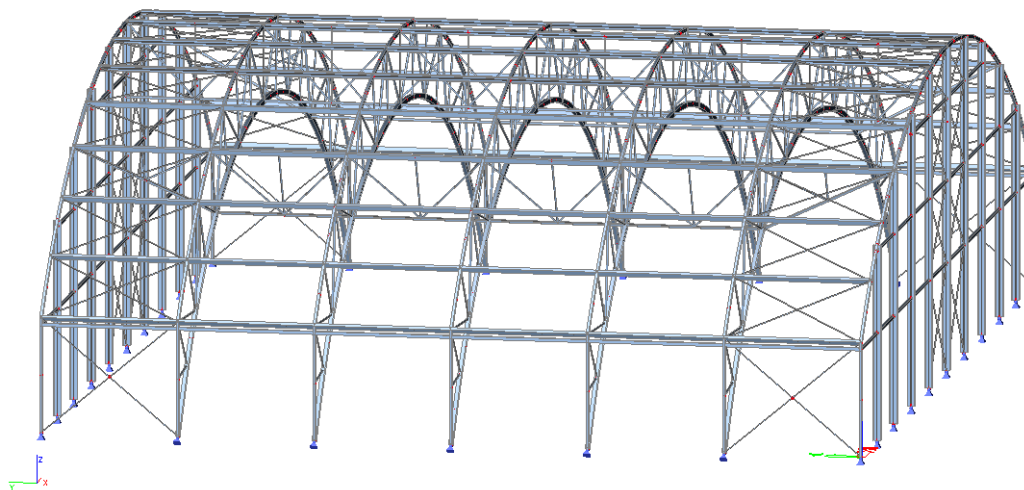
Obrázek 2 - Schematický půdorys

## 1.2 Výpočtový model

Konstrukce byla vymodelována prostorově v programu Scia Engineer. Výpočtový model je prutový, veškeré zatížení působí jako bodové či liniové. Vzpěrné délky jednotlivých prutů byly stanoveny dle příslušných norem a do modelu zadány ručně. S ohledem na to, že některé ztužidlové pruty byly modelovány jako prvky přenášející pouze zatížení tahem, je v modelu zahrnut i nelineární výpočet.



Obrázek 3 - Prostorový model



Obrázek 4 - Prostorový model - boční pohled

## 2 ZATÍŽENÍ

### 2.1 Zatížení stálé

#### 2.1.1 ZS1 - Vlastní tíha

Vlastní tíha je zahrnuta ve výpočetním programu Scia Engineer.

#### 2.1.2 ZS2 - Ostatní stálé zatížení

##### A) Střešní plášť

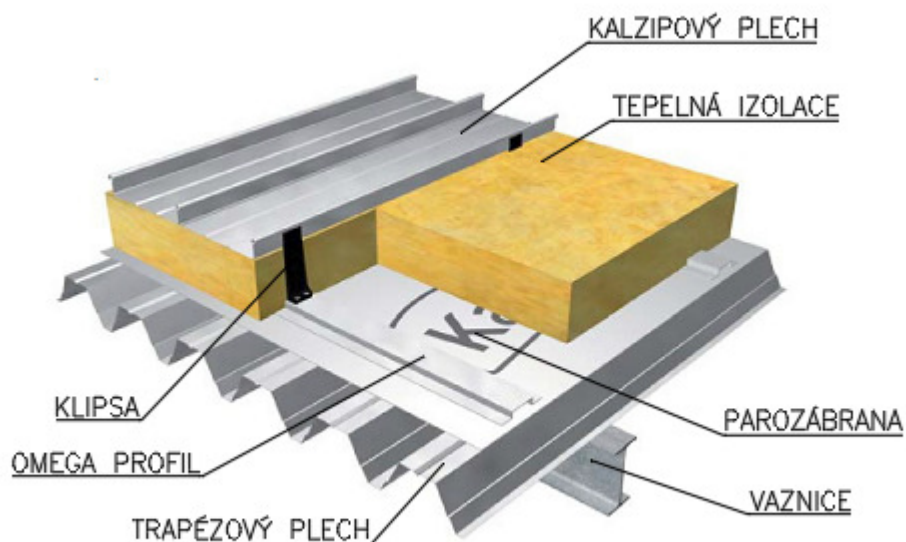
Střešní plášť je tvořen systémem Kalzip.

Skladba střešního pláště:

	$g_{1,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Kalzip 50/429 tl. 1 mm	0,037
Spoje + Omega profily (odhad)	0,050
Tepelná izolace Knauf Unifit 037 tl. 180 mm	0,036
Parozábrana Kalzip FR	0,005
Trapézový plech 40/160 tl. 1,25 mm	0,120
Rezerva pro elektroinstalaci a osvětlení	0,030

Součet zatížení

$\Sigma=0,28$  kN/m<sup>2</sup>



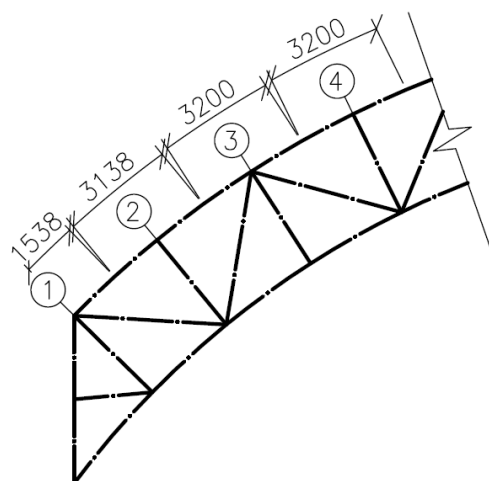
Obrázek 5 - Skladba střešní krytiny (dle katalogu výrobce <sup>7)</sup>)



Zatížení bylo následně rozpočítáno na jednotlivé vaznice přes příslušné zatěžovací šířky.

Tabulka 1 - Přepočet zatížení pro ZS2

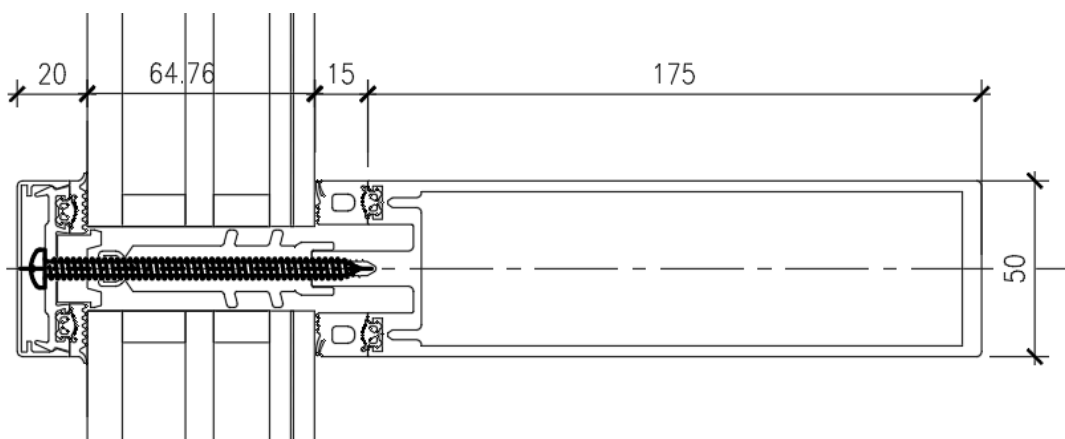
č. vaznice	b [m]	$g_{1,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_{1,k}$ [kN/m]
1	1,538	0,28	0,43
2	3,138		0,88
3-13	3,200		0,90
14	3,138		0,88
15	1,538		0,43



Obrázek 6 - Zatěžovací šířky vaznic pro ZS2

## B) Stěnový plášť

Pro opláštění štítových stěn a svislých částí bočních stěn je navržena skleněná fasáda. Tato fasáda se skládá z izolačního trojskla 10-18-8-16-66.2 uloženého na hliníkové konstrukci Schüco FWS 50.



Obrázek 7 - Horizontální řez skleněnou fasádou (dle výrobce <sup>10</sup>)

Hmotnost jednotlivých komponent (na m<sup>2</sup>):

Sklo celkové tloušťky 30 mm ( $\rho_{sklo} = 2500 \text{ kg/m}^3$ )

$$\rightarrow m_1 = \rho * 1 * 1 * t = 2500 * 1 * 1 * 0,030 = 75 \text{ kg}$$

Hliníková konstrukce Schüco FWS 50 ( $\rho_{hliník} = 2700 \text{ kg/m}^3$ )

Průřezová plocha hliníkového profilu  $A_{al} = 0,001552 \text{ m}^2$

Hmotnost profilu šířky 50 mm na běžný metr

$$m'_2 = \rho_{hliník} * A_{al} = 2700 * 0,001552 = 4,19 \text{ kg}$$

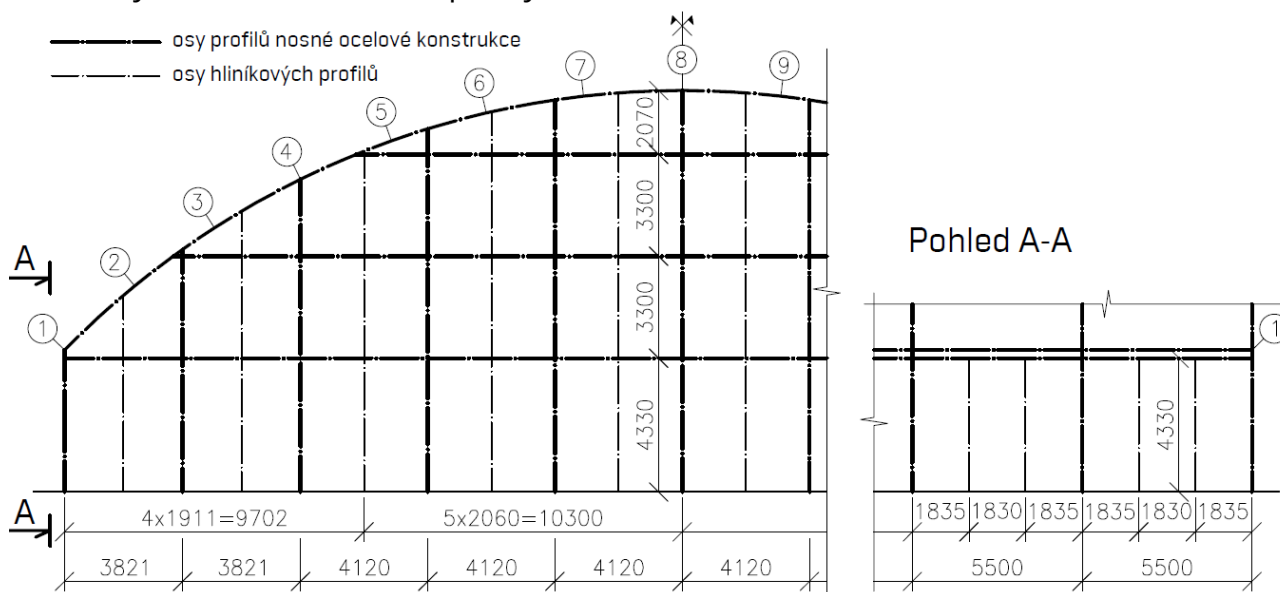
Přepočet hliníkového profilu na m<sup>2</sup>)

$$\rightarrow m_2 = \frac{m'_2}{0,050} * 1 * 1 = 83,8 \text{ kg}$$

Dle výrobce<sup>9</sup> lze uvažovat, že plocha 1 m<sup>2</sup> fasády je tvořena z 90% sklem z 10% hliníkovými profily, přičemž hmotnost příslušenství (přítlačných profilů apod.) lze uvažovat jako 15% vypočtené hmotnosti.

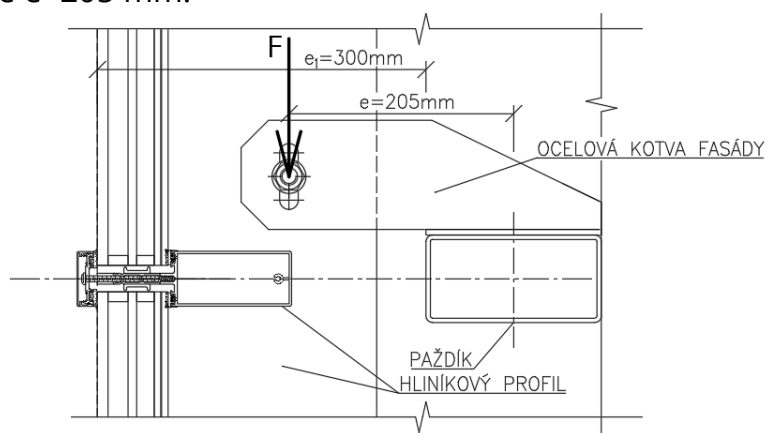
$$\rightarrow g_{2,k} = 1,15 * (0,9 * m_1 + 0,1 * m_2) = 1,15 * (0,9 * 75 + 0,1 * 83,8) \doteq 87 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = \mathbf{0,87 \frac{kN}{m^2}}$$

Modul skleněné fasády výškově respektuje modul paždíků, šířkově pak modul sloupů ve štitových stěnách a modul příčných vazeb v bočních stěnách.



Obrázek 8 - Schéma dispozice skleněné fasády

Fasáda bude zavěšena na paždíky. Vypočtená hodnota zatížení je přepočtena na jednotlivé paždíky dle stejného principu jako v Tabulce 1, kapitole 2.1.2. Vnější líc skla je vůči hraně paždíku na excentricitě  $e_1=300$  mm (hodnota dána výrobcem<sup>10</sup>). Excentricita působíště zatížení k těžišti paždíku je závislá na navržené dimenzi paždíku, předpokládaná hodnota je  $e=205$  mm.



Obrázek 9 - Excentricita zatížení fasády (vertikální řez)

## 2.2 Zatížení proměnné

### 2.2.1 ZS3 - Sníh plný

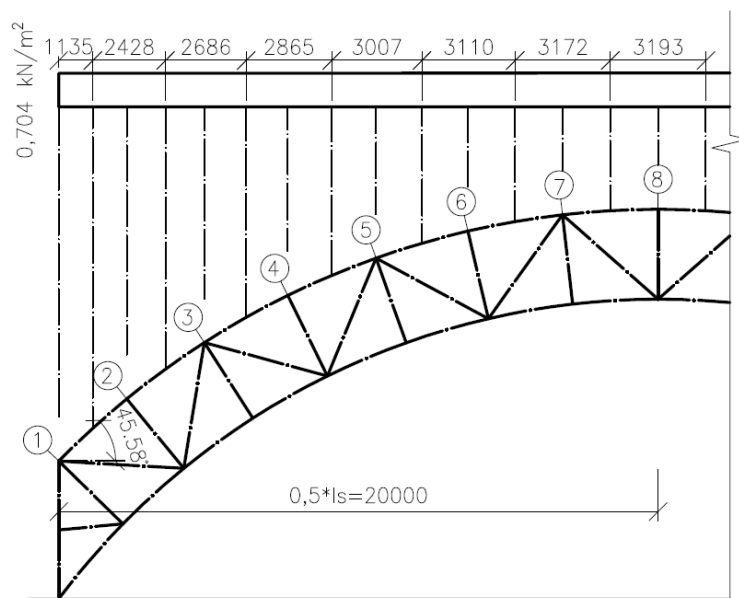
Lokalita:	Dobruška
Charakteristická hodnota zatížení:	$S_k = 0,88 \frac{kN}{m^2}$ (dle [8])
Součinitel expozice:	$C_e = 1$
Tepelný součinitel:	$C_T = 1$
Tvarový součinitel zatížení sněhem:	$\mu_1 = 0,8$

$$S = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_T \cdot S_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,88 = \mathbf{0,704 \frac{kN}{m^2}}$$

Zatížení bylo rozpočítáno na jednotlivé vaznice přes dílčí zatěžovací šířky.

Tabulka 2 - Přepočet zatížení pro ZS3

č. vaznice	b [m]	$q_{s,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{s,k}$ [kN/m]
1 a 15	1,135	0,704	0,80
2 a 14	2,428		1,71
3 a 13	2,739		1,93
4 a 12	2,812		1,98
5 a 11	3,007		2,12
6 a 10	3,11		2,19
7 a 9	3,172		2,23
8	3,193		2,25



Obrázek 10 - ZS3

### 2.2.2 ZS4 - Sníh nerovnoměrný – pravý

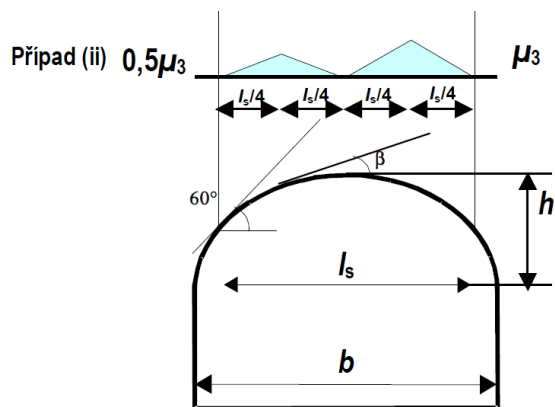
Vzepětí oblouku:	$h = 8,40 \text{ m}$
Rozpětí oblouku:	$b = 40,00 \text{ m}$

$$\frac{h}{b} = \frac{8,40}{40,00} = 0,21$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem:	$\mu_3 = 2,0$ (dle normy [3] obr. 5.5)
Celková zatěžovací šířka:	$l_s = b = 40 \text{ m}$

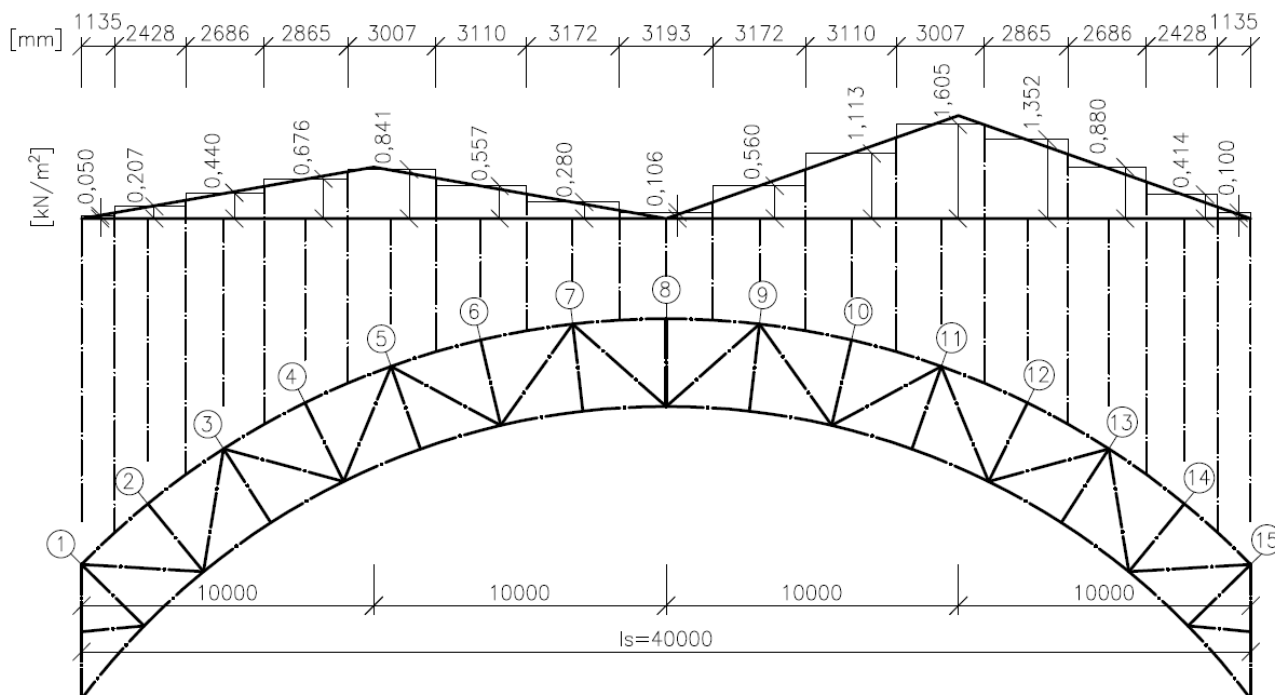
$$s_{II,a} = 0,5 \cdot \mu_3 \cdot C_e \cdot C_T \cdot S_k = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,88 = \mathbf{0,88} \frac{kN}{m^2}$$

$$s_{II,b} = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_T \cdot S_k = 2,0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,88 = \mathbf{1,76} \frac{kN}{m^2}$$

Obrázek 11 - Sníh nerovnoměrný (dle normy<sup>3)</sup>)

Tabulka 3 - Přepočet zatížení pro ZS4

č. vaznice	b [m]	q <sub>s,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>s,k</sub> [kN/m]
1	1,135	0,050	0,06
2	2,428	0,207	0,50
3	2,686	0,440	1,18
4	2,865	0,676	1,94
5	3,007	0,841	2,53
6	3,110	0,557	1,73
7	3,172	0,280	0,89
8	3,193	0,106	0,34
9	3,172	0,560	1,78
10	3,110	1,113	3,46
11	3,007	1,605	4,83
12	2,865	1,352	3,87
13	2,686	0,880	2,36
14	2,428	0,414	1,01
15	1,135	0,100	0,11



Obrázek 12 - ZS4

### 2.2.3 ZS5 - Sníh nerovnoměrný – levý

Zatěžovací stav zrcadlově převrácený k ZS4 – Sníh nerovnoměrný – pravý.

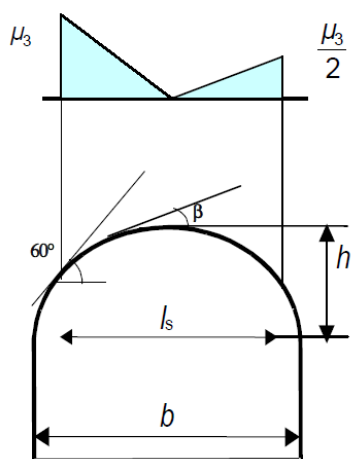
### 2.2.4 ZS6 - Sníh navátý – pravý

Tvarový součinitel zatížení sněhem:  $\mu_3 = 2,0$  (dle normy [3], obr. NA.1)

Celková zatěžovací šířka:  $l_s = b = 40 \text{ m}$

$$s_{II,a} = 0,5 \cdot \mu_3 \cdot C_e \cdot C_T \cdot S_k = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,88 = \mathbf{0,88} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$s_{II,b} = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_T \cdot S_k = 2,0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,88 = \mathbf{1,76} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

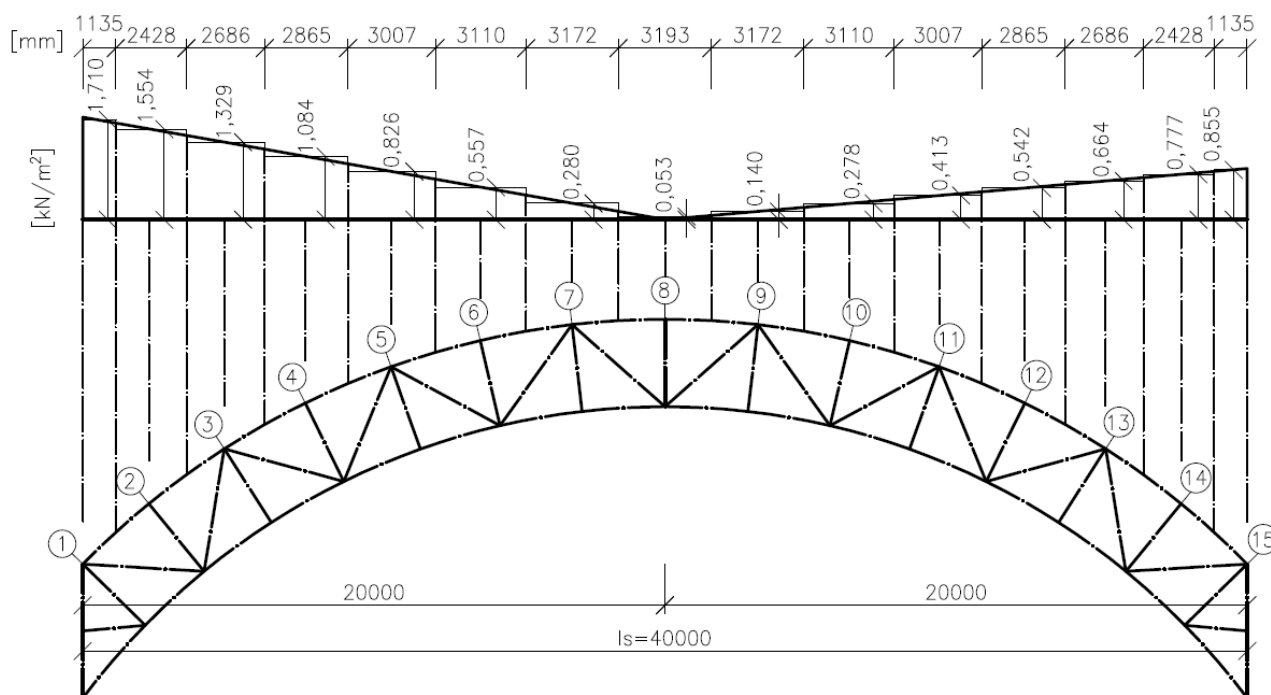


Obrázek 13 - Sníh navátý (dle normy<sup>3)</sup>)

Tabulka 4 - Přepočet zatížení pro ZS6

č. vaznice	b [m]	$q_{s,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{s,k}$ [kN/m]
1	1,135	1,710	1,94
2	2,428	1,554	3,77
3	2,686	1,329	3,57
4	2,865	1,084	3,11
5	3,007	0,826	2,48
6	3,110	0,557	1,73
7	3,172	0,280	0,89
8	3,193	0,053	0,17
9	3,172	0,140	0,44
10	3,110	0,278	0,86
11	3,007	0,413	1,24
12	2,865	0,542	1,55
13	2,686	0,664	1,78
14	2,428	0,777	1,89
15	1,135	0,855	0,97

Zatížení bylo rozpočítáno na jednotlivé vaznice přes dílčí zatěžovací šířky dle obrázku na následující straně.



Obrázek 14 - ZS6

### 2.2.5 ZS7 - Sníh navátý - levý

Zatěžovací stav zrcadlově převrácený k ZS6 – Sníh navátý – pravý.

### 2.2.6 ZS8 - Vítr příčný

Větrná oblast pro lokalitu Dobruška:

Výchozí základní rychlost větru:

Součinitel směru větru:

Součinitel ročního období:

Součinitel orografie:

Součinitel turbulence:

Měrná hmotnost vzduchu:

Parametr drsnosti terénu:

Referenční parametr drsnosti terénu:

Minimální výška nad zemí:

Maximální výška nad zemí:

Výška konstrukce:

II

$$V_{b,0} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$C_{\text{dir}} = 1$$

$$C_{\text{season}} = 1$$

$$C_0(z) = 1$$

$$K_I = 1$$

$$\rho = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m (kategorie terénu III)}$$

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

$$z_{\text{min}} = 5 \text{ m (kategorie terénu III)}$$

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

$$z \doteq 13 \text{ m}$$

Základní rychlost větru  $V_b$ :

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \frac{m}{s}$$

Součinitel terénu  $K_r$ :

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

Součinitel drsnosti terénu  $C_r(z)$ :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max} \rightarrow 5 \leq 13 \leq 200$$

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{13}{0,3}\right) = 0,810$$

Střední rychlost větru  $V_m(z)$ :

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,810 \cdot 1 \cdot 25 = 20,25 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence větru  $I_v(z)$ :

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(13/0,3)} = 0,265 [/]$$

Maximální dynamický tlak  $q_p(z)$ :

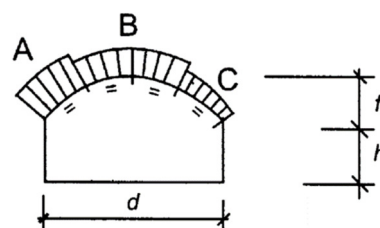
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,265] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20,25^2 = 0,732 \text{ kN/m}^2$$

### 2.2.6.1 Zatížení střešní části

Rozpětí oblouku:  $d = 40,0 \text{ m}$

Výška sloupu:  $h = 4,60 \text{ m}$

Vzepětí oblouku:  $f = 8,40 \text{ m}$



Obrázek 15 - Působení zatížení (dle normy <sup>4)</sup>)

Referenční výška  $z_e$ :

$$z_e = h + f = 4,60 + 8,40 = 13,00 \text{ m}$$

Poměr  $h/d$ :

$$h/d = 4,60/40,00 = 0,115$$

Poměr  $f/d$ :

$$f/d = 8,40/40,00 = 0,210$$

Hodnoty součinitelů tlaku byly získány z grafu na následující straně.

$$0,2 \leq f/d \leq 0,3$$

$0,2 \leq 0,210 \leq 0,3 \rightarrow$  splněno, pro oblast A budou uváženy 2 hodnoty  $c_{pe,10}$

$$c_{pe,10,a}(A) = +0,009$$

$$c_{pe,10,b}(A) = +0,271 \rightarrow \text{rozhoduje, } c_{pe,10}(A) = c_{pe,10,b}(A) = +0,271$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,900$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,400$$

Tlak větru na vnější povrch  $w_e$ :

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 0,732 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_e(A) = c_{pe,10}(A) \cdot q_p(z_e)$$

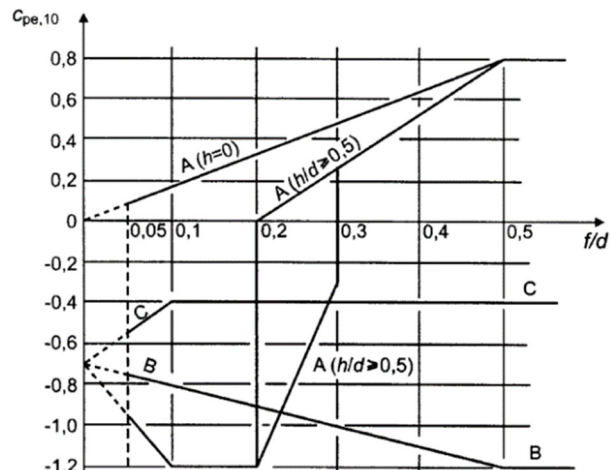
$$w_e(A) = +0,271 \cdot 0,732 = +0,198 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_e(B) = c_{pe,10}(B) \cdot q_p(z_e)$$

$$w_e(B) = -0,900 \cdot 0,732 = -0,659 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_e(C) = c_{pe,10}(C) \cdot q_p(z_e)$$

$$w_e(C) = -0,400 \cdot 0,732 = -0,293 \frac{kN}{m^2}$$

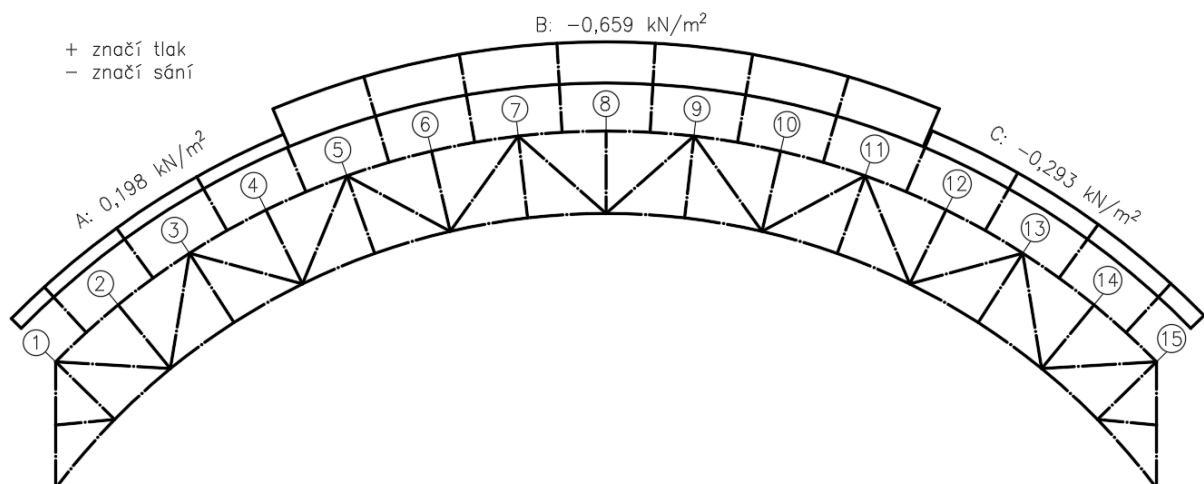


Obrázek 16 - Graf Doporučených hodnot  $c_{pe}$  (dle normy <sup>4</sup>)

Oblast A a C leží na krajních čtvrtinách oblouku, oblast B vyplňuje střední část. Zatížení na jednotlivé vaznice bylo stanoveno dle následující tabulky. Zatěžovací šířky vaznic viz. kapitola 2.1.2

Tabulka 5 - Přepočet zatížení pro ZS8

č. vaznice	b [m]	$q_{w,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{w,k}$ [kN/m]
1	1,538	0,198	0,30
2	3,138		0,62
3-4	3,200		0,63
5-11	3,200	-0,659	-2,11
12-13	3,200	-0,293	-0,94
14	3,138		-0,92
15	1,538		-0,45



Obrázek 17 - ZS8



### 2.2.6.2 Zatížení stěn

Rozměr kolmý na směr větru:  $b = 33 \text{ m}$

Rozměr rovnoběžný se směrem větru:  $d = 40 \text{ m}$

Výška konstrukce:  $h \doteq 13 \text{ m}$

$$\frac{h}{d} = \frac{13}{40} = 0,325$$

$$e = \min(b; 2h) = (33; 2 \cdot 13) = \min(33; 26) = 26 \text{ m}$$

$$e < d \rightarrow 26 \text{ m} < 40 \text{ m} \rightarrow \text{splněno}$$

Hodnoty součinitelů tlaku:

(dle normy [4], tab. 7.1)

$$c_{pe,10}(A) = -1,2$$

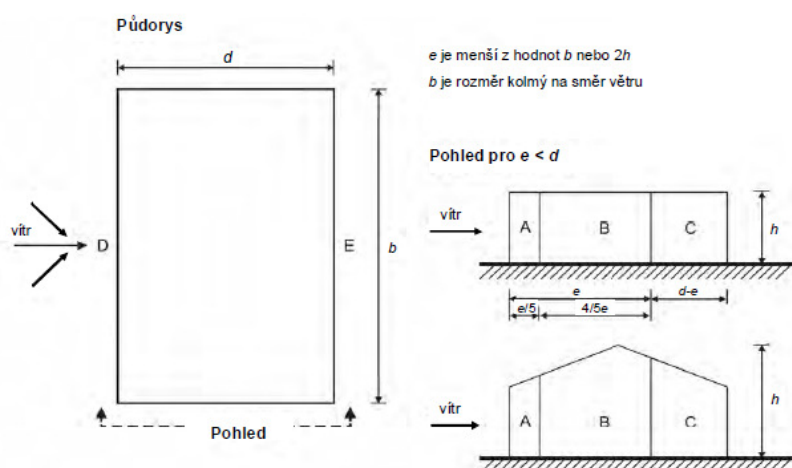
$$c_{pe,10}(B) = -0,8$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,5$$

$$c_{pe,10}(D) = +0,71$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,32$$

Pozn.: Mezilehlé hodnoty byly lineárně interpolovány.



Obrázek 18 - Legenda svislých stěn (dle normy<sup>4</sup>)

Tlak větru na vnější povrch  $w_e$ :

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 0,732 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(A) = c_{pe,10}(A) \cdot q_p(z_e) = -1,2 \cdot 0,732 = -0,878 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(B) = c_{pe,10}(B) \cdot q_p(z_e) = -0,8 \cdot 0,732 = -0,586 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(C) = c_{pe,10}(C) \cdot q_p(z_e) = -0,5 \cdot 0,732 = -0,366 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(D) = c_{pe,10}(D) \cdot q_p(z_e) = +0,71 \cdot 0,732 = +0,520 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(E) = c_{pe,10}(E) \cdot q_p(z_e) = -0,32 \cdot 0,732 = -0,253 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Zatížení bylo následně rozpočítáno na jednotlivé pruty dle příslušných zatěžovacích šířek.

## 2.2.7 ZS9 - Vítr podélný

Maximální dynamický tlak  $q_p(z)$ :

$$q_p(z) = 0,732 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{viz. kapitola 2.2.6})$$

### 2.2.7.1 Zatížení střešní části

Hodnoty  $c_{pe,i}$  byly aproximovány ze sedlové střechy dle následujícího obrázku. Pro každou oblast byl stanoven příslušný průměrný úhel sklonu  $\alpha$ .

Směr větru:  $\theta = 90^\circ$

Rozměr kolmý na směr větru:  $b = 40 \text{ m}$

Rozměr rovnoběžný se směrem větru:  $d = 33 \text{ m}$

Výška konstrukce:  $h \doteq 13 \text{ m}$

$$e = \min(b; 2h) = (40; 2 \cdot 13)$$

$$= \min(33; 26) = 26 \text{ m}$$

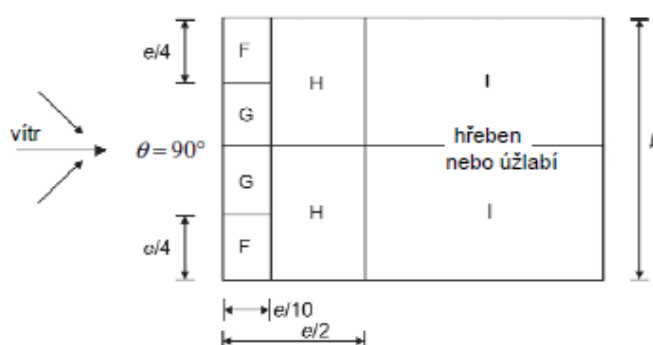
Průměrný úhel sklonu  $\alpha$ :

$$F \approx 37,3^\circ$$

$$G \approx 14,5^\circ$$

$$H \approx 22,8^\circ$$

$$I \approx 22,8^\circ$$



Obrázek 19 - Legenda pro sedlové střechy (dle normy <sup>1)</sup>)

Hodnoty součinitelů tlaku (dle normy[4] tab. 7.4b):

$$c_{pe,10}(F) = -1,10$$

$$c_{pe,10}(G) = -1,30$$

$$c_{pe,10}(H) = -0,71$$

$$c_{pe,10}(I) = -0,50$$

Pozn.: Mezilehlé hodnoty byly získány lineární interpolací.

Tlak větru na vnější povrch  $w_e$ :

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 0,732 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(F) = c_{pe,10}(F) \cdot q_p(z_e) = -1,10 \cdot 0,732 = -0,805 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(G) = c_{pe,10}(G) \cdot q_p(z_e) = -1,30 \cdot 0,732 = -0,952 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(H) = c_{pe,10}(H) \cdot q_p(z_e) = -0,71 \cdot 0,732 = -0,520 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(I) = c_{pe,10}(I) \cdot q_p(z_e) = -0,50 \cdot 0,732 = -0,366 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Zatížení bylo následně rozpočítáno na jednotlivé pruty dle příslušných zatěžovacích šířek.

### 2.2.7.2 Zatížení stěn

Rozměr kolmý na směr větru:  $b = 40 \text{ m}$

Rozměr rovnoběžný se směrem větru:  $d = 33 \text{ m}$

Výška konstrukce:  $h = 13 \text{ m}$

$$\frac{h}{d} = \frac{13}{33} = 0,394$$

$$e = \min(b; 2h) = (40; 2 \cdot 13) = \min(40; 26) = 26 \text{ m}$$

$$e < d \rightarrow 26 \text{ m} < 33 \text{ m} \quad \rightarrow \text{splněno}$$

Hodnoty součinitelů tlaku (dle normy [4], tab. 7.1):

$$c_{pe,10}(A) = -1,2$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,8$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,5$$

$$c_{pe,10}(D) = +0,72$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,34 \quad \text{Pozn.: Mezilehlé hodnoty byly lineárně interpolovány.}$$

Tlak větru na vnější povrch  $w_e$ :

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 0,732 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(A) = c_{pe,10}(A) \cdot q_p(z_e) = -1,2 \cdot 0,732 = -0,878 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(B) = c_{pe,10}(B) \cdot q_p(z_e) = -0,8 \cdot 0,732 = -0,586 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(C) = c_{pe,10}(C) \cdot q_p(z_e) = -0,5 \cdot 0,732 = -0,366 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(D) = c_{pe,10}(D) \cdot q_p(z_e) = +0,72 \cdot 0,732 = +0,527 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e(E) = c_{pe,10}(E) \cdot q_p(z_e) = -0,34 \cdot 0,732 = -0,249 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Zatížení bylo následně rozpočítáno na jednotlivé pruty dle příslušných zatěžovacích šířek.

### 2.2.8 Třecí síly od větru

Třecí síly jsou vyvolané třením větru o střešní plášť.

#### 2.2.8.1 Vítr příčný

Plocha povrchů rovnoběžných se směrem větru:

$$A_{\parallel} = 831 \text{ m}^2$$

Plocha povrchů kolmých na směr větru

$$A_{\perp} \doteq 1774 \text{ m}^2$$

$$A_{\parallel} \leq 4 \cdot A_{\perp}$$

$$831 \leq 4 \cdot 1774$$

$792 \leq 7096 \rightarrow$  účinek třecích sil od příčného větru lze zanedbat.

### 2.2.8.2 Vítr podélný

Plocha povrchů rovnoběžných se směrem větru:

$$A_{\parallel} \doteq 1774 \text{ m}^2$$

Plocha povrchů kolmých na směr větru

$$A_{\perp} \doteq 831 \text{ m}^2$$

$$A_{\parallel} \leq 4 \cdot A_{\perp}$$

$$1774 \leq 4 \cdot 831$$

$1774 \leq 3324 \rightarrow$  účinek třecích sil od podélného větru lze zanedbat.

## 3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ, VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Kombinace výše uvedených stavů byly stanoveny v programu Scia Engineer dle vztahů uvedených v příslušné normě <sup>1</sup>.

### 3.1 Kombinace pro MSÚ

Kombinace byly provedeny dle rovnic 6.10a a 6.10b. Výpis kombinací je doložen v příloze E1 (kapitola 8).

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10a)$$

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10b)$$

Obrázek 20 - Rovnice 6.10a, 6.10b (dle normy <sup>1</sup>)

### 3.2 Kombinace pro MSP

Kombinace byly provedeny dle rovnice 6.14b. Výpis kombinací je doložen v příloze E1 (kapitola 8).

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

Obrázek 21 - Rovnice 6.14b (dle normy <sup>1</sup>)

### 3.3 Výpočet vnitřních sil

Výpočet vnitřních sil byl proveden v programu Scia Engineer a je doložen v příloze E1 (kapitola 10).

## 4 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

### 4.1 Opláštění

#### 4.1.1 Střešní plášť

Nosná složka střešního pláště: trapézový plech 40/160 tl. 1,25 mm  
 Statické působení: spojitý nosník o 2 polích  
 Rozpětí pole:  $L = 3,2m$

#### Maximální tlak:

Vlastní tíha:  $g_{1,k} = 0,28 \frac{kN}{m^2}$   
 Sníh navátý (nad vaznicí č. 11):  $q_{s,k} = 1,605 \frac{kN}{m^2}$  (viz. obr. 12)  
 Odklon střešní roviny:  $\alpha = 71^\circ$

$$\rightarrow q_{e,d} = (\gamma_F * g_{1,k} + \gamma_F * q_{s,k}) * \sin(\alpha) = (1,35 * 0,28 + 1,5 * 1,605) * \sin(71) \doteq 2,63 \frac{kN}{m^2}$$

#### Maximální sání:

Vlastní tíha:  $g_{1,k} = 0,28 \frac{kN}{m^2}$   
 Vítr podélný (oblast G):  $w_e(G) = -0,952 \frac{kN}{m^2}$  (viz. obr. 19)


$$\rightarrow q_{e,d} = \gamma_F * g_{1,k} + \gamma_F * w_e(G) = 1,00 * 0,28 + 1,5 * -0,952 \doteq -1,1 \frac{kN}{m^2}$$

Rozhoduje zatížení tlakem.

#### Posouzení:

Maximální přípustná hodnota zatížení vychází z katalogu výrobce<sup>11</sup>.

SPOJITÝ NOSNÍK SE DVĚMA SHODNÝMI POLI  
 - SYMETRICKÝ PLECH



tN (mm)	g (kN/m²)	rozpětí pole L [m]																	
		1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	
1,25	q <sub>ed</sub> (c<1,5h)	36,51	24,71	17,85	13,12	10,05	7,94	6,43	5,31	4,46	3,80	3,28	2,86	2,51	2,22	1,98	1,78	1,61	
	q <sub>ed</sub> (c≥1,5h)	36,51	24,71	17,85	13,12	10,05	7,94	6,43	5,31	4,46	3,80	3,28	2,86	2,51	2,22	1,98	1,78	1,61	
	q <sub>ek</sub> (δ≤L/200)	62,60	32,05	18,55	11,68	7,83	5,50	4,01	3,01	2,32	1,82	1,46	1,19	0,98	0,82	0,69	0,58	0,50	
q <sub>ed</sub> (c<1,5h)		návrhová hodnota únosnosti: krajní podpora šířky min. 40 mm s přesahem plechu 40 mm za podporu, vnitřní podpora šířky min. 120 mm [kN/m²]																	
q <sub>ed</sub> (c≥1,5h)		návrhová hodnota únosnosti: krajní podpora šířky min. 40 mm s přesahem plechu 1,5 x výška plechu za podporu, vnitřní podpora šířky min. 120 mm [kN/m²]																	
q <sub>ek</sub> (δ≤L/200)		charakteristická hodnota zatížení pro deformaci L/200 [kN/m²]																	

Obrázek 22 - Přípustné zatížení trapézového plechu (dle katalogu <sup>11</sup>)

$$q_{Ed} = 2,63 \frac{kN}{m^2} \leq q_{Ed,max} = 3,80 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{vyhoví}$$

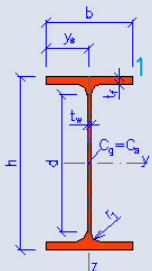
#### 4.1.2 Stěnový plášť

Stěnový plášť je tvořen skleněnou fasádou z izolačního trojskla 10-18-8-16-66.2 uloženého na hliníkové konstrukci Schüco FWS 50.

Fasáda byla navržena ve spolupráci s odbornou firmou<sup>10</sup>, která garantuje její únosnost z hlediska statiky a deformací.

#### 4.2 Vaznice – střední

Průřez IPE 220. Jedná se o vaznice č. 6-10.

IPE220			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
h = 220 mm		Osa y	Osa z
b = 110 mm		$I_y = 2.77E+7 \text{ mm}^4$	$I_z = 2.05E+6 \text{ mm}^4$
$t_f = 9.2 \text{ mm}$		$W_{y1} = 2.52E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 3.72E+4 \text{ mm}^3$
$t_w = 5.9 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 2.85E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 5.81E+4 \text{ mm}^3$
$r_1 = 12 \text{ mm}$		$i_y = 91.10 \text{ mm}$	$i_z = 24.80 \text{ mm}$
$y_s = 55 \text{ mm}$		$S_y = 1.43E+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 2.91E+4 \text{ mm}^3$
d = 177.6 mm		Kroucení a klopení	
$A = 3340 \text{ mm}^2$		$I_w = 2.27E+10 \text{ mm}^6$	$I_t = 9.17E+4 \text{ mm}^4$
$A_L = 0.85 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 26.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 27.60 \text{ mm}$	$i_{pc} = 94.40 \text{ mm}$

Obrázek 23 - Průřezové charakteristiky IPE 220 (dle tabulek<sup>12</sup>)

#### Materiálové charakteristiky

Ocel: S235  
 Mez kluzu:  $f_y = 235 \text{ MPa}$   
 Modul pružnosti:  $E = 210 \text{ GPa}$   
 Modul pružnosti ve smyku:  $G = 81 \text{ GPa}$

#### Klasifikace průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

zatřídění stojiny:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{177,6}{5,9} = 30,1 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

zatřídění pásnice:

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r_1}{2} = \frac{110 - 5,9 - 2 \cdot 12}{2} = 40,05$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{40,05}{9,2} = 4,35 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

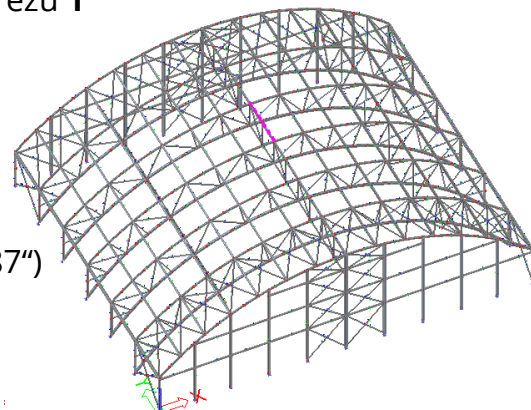
→ **celý průřez třídy 1**

#### 4.2.1 Prostý tah

$N_{t,Ed} = 29,59 \text{ kN}$  (Prut B423, kombinace „Únosnost 87“)

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3340 \cdot 235}{1} = 784,9 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{29,59}{784,9} = 0,04 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 24 - Vaznice, prut B423

#### 4.2.2 Vzpěr

$N_{c,Ed} = -32,13 \text{ kN}$  (Prut B517, kombinace „Únosnost 40“)

##### Vzpěr na osu y

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 2,750 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,77 \cdot 10^7}{2750^2} = 7597 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3340 \cdot 235}{7597000}} = 0,32$$

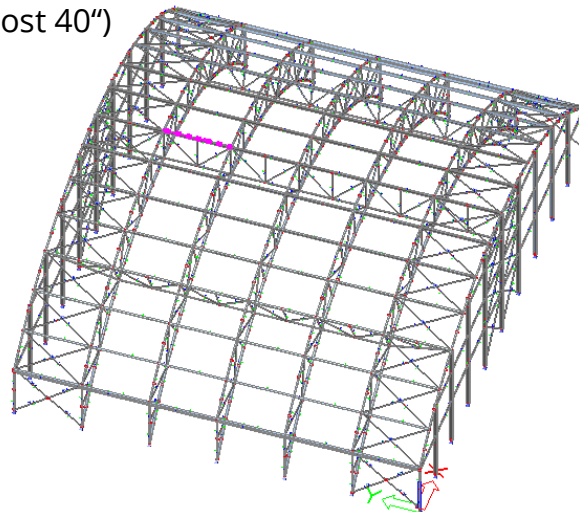
Součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,21$  (křivka a)

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,32 - 0,2) + 0,32^2] = 0,56$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,32^2}} = 0,98$$



Obrázek 25 - Vaznice, prut B517

**Vzpěr na osu z**

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = 5,500m$$

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,05 \cdot 10^6}{5500^2} = 140kN$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3340 \cdot 235}{140000}} = 2,36$$

Součinitel imperfekce:

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,36 - 0,2) + 2,36^2] = 3,65$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,65 + \sqrt{3,65^2 - 2,36^2}} = 0,16$$

**Vzpěr zkroucením**

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,T} = 5,500m$$

$$i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2} = \sqrt{91,1^2 + 24,8^2 + 0 + 0} = 94,4mm$$

Kritická síla:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left( G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{94,4^2} \cdot \left( 81000 \cdot 9,17 \cdot 10^4 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,27 \cdot 10^{10}}{5500^2} \right)$$

$$N_{cr,T} = 1008kN$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{3340 \cdot 235}{1008000}} = 0,88$$

Součinitel imperfekce:

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,88 - 0,2) + 0,88^2] = 1,00$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,00 + \sqrt{1,00^2 - 0,88^2}} = 0,68$$

**Vzpěrná únosnost**

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z; \chi_T) = \min(0,98; 0,16; 0,68) = 0,16$$



$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,16 \cdot 3340 \cdot 235}{1,00} = 125,58 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{32,13}{125,58} = 0,26 \leq 1,00 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### 4.2.3 Smyk

#### Smyk ve směru osy z

$V_{z,Ed} = 17,66 \text{ kN}$  (Prut B139, kombinace „Únosnost 41“)

Smyková plocha:

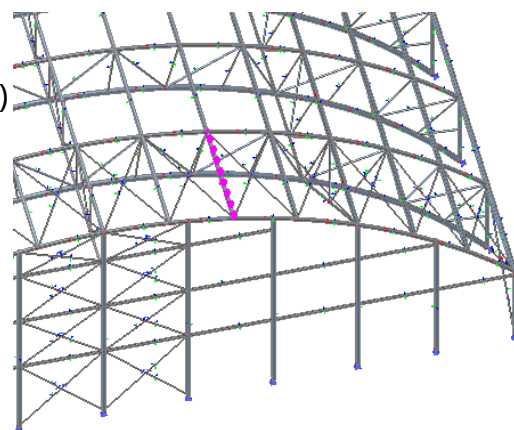
$$A_{v,z} = \eta \cdot h_w \cdot t_w = \eta \cdot d \cdot t_w =$$

$$= 1,0 \cdot 177,6 \cdot 5,9 \doteq 1047 \text{ mm}^2$$

Únosnost ve smyku:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1047 \cdot 235}{1,00 \cdot \sqrt{3}} = 142,05 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{17,66}{142,05} = 0,12 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 26 - Vaznice, prut B139

#### Smyk ve směru y

$V_{y,Ed} = 3,06 \text{ kN}$  (Prut B139, kombinace „Únosnost 41“)

Smyková plocha:

$$A_{v,y} = A - \sum(h_w \cdot t_w) = A - \sum(d \cdot t_w) = 3340 - (177,6 \cdot 5,9) \doteq 2292 \text{ mm}^2$$

Únosnost ve smyku:

$$V_{pl,Rd,y} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{2292 \cdot 235}{1,00 \cdot \sqrt{3}} = 310,97 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,Rd,y}} = \frac{3,06}{310,97} = 0,010 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vliv smyku na ohybovou únosnost lze zanedbat dle kapitoly 6.2.8, čl. (2) normy<sup>5</sup>.

### 4.2.4 Ohyb s tlačnou horní pásnicí

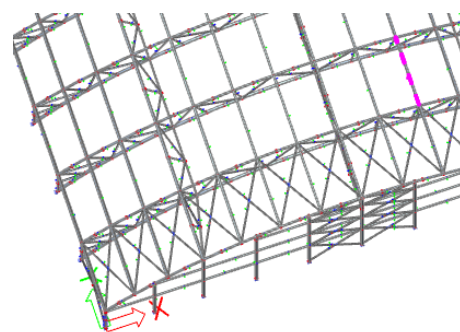
Horní pásnice je stabilizována střešním pláštěm proti ztrátě stability klopením.

$$M_{y,Ed} = 24,28 \text{ kNm}$$

(Prut B233, kombinace „Únosnost 41“)

$$M_{c,Rd} = \frac{w_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,85 \cdot 10^5 \cdot 235}{1} = 66,98 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{24,28}{66,98} = 0,36 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 27 - Vaznice, prut B233

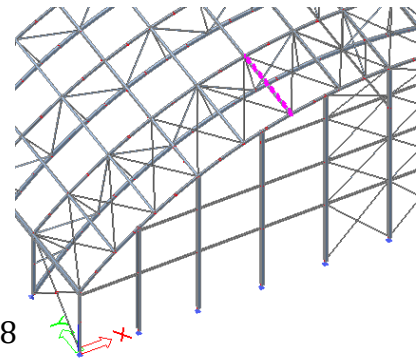
#### 4.2.5 Ohyb s tlačnou dolní pásnicí

Při ohýbání vaznice od účinků sání větru dochází ke ztrátě stability klopením dolní pásnice.

$M_{y,Ed} = 8,95 kNm$  (Prut B148, kombinace „Únosnost 88“)

Bezrozměrný parametr kroucení:

$$K_{w,t} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 5500} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 2,27 \cdot 10^{10}}{81000 \cdot 9,17 \cdot 10^4}} = 0,458$$



Obrázek 28 - Vaznice, prut B148

Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku:

$$z_g = -z_a = -110 mm$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{K_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot -110}{1 \cdot 5500} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 2,05 \cdot 10^6}{81000 \cdot 9,17 \cdot 10^4}} = -0,478$$

Součinitele momentu na klopení:

$$C_1 = C_{1,1} = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

Bezrozměrný kritický moment:

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{K_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right] \\ &= \frac{1,13}{1} \cdot \left[ \sqrt{1 + (0,458)^2 + (0,46 \cdot -0,478)^2} - 0,46 \cdot -0,478 \right] = 1,49 \end{aligned}$$

Pružný kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,49 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 2,05 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 9,17 \cdot 10^4}}{5500} = 48,13 kNm$$

Poměrná štíhlost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{w_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,85 \cdot 10^5 \cdot 235}{48,13 \cdot 10^6}} = 1,18$$

Součinitel imperfekce:

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka a)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,18 - 0,2) + 1,18^2] = 1,299$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,299 + \sqrt{1,299^2 - 1,18^2}} = 0,54$$

Návrhový moment únosnosti v ohybu s vlivem klopení:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{w_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,54 \cdot \frac{2,85 \cdot 10^5 \cdot 235}{1} = 36,17 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{8,95}{36,17} = 0,25 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Jelikož využití průřezu při ohybu s tlačnou horní pásnicí (36%) je vyšší než při ohybu s tlačnou dolní pásnicí (25%), bude při posouzení ohybu a tlakové osově síly uvažován přírůstek od ohybu bez vlivu klopení.

#### 4.2.6 Kombinace ohybu a osově síly

$N_{c,Ed,max} = -32,13 \text{ kN}$  (Prut B517 viz. kap. 4.2.2, kombinace „Únosnost 40“).

$M_{y,Ed,max} = 24,28 \text{ kNm}$  (Prut B233 viz. kap. 4.2.4, kombinace „Únosnost 41“)

Kritický posudek je na pozici 2,750 m

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	-2,42	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{Ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	24,28	kNm
$M_{z,Ed}$	4,20	kNm

Obrázek 30 - Odpovídající vnitřní síly pro  $N_{c,Ed,max}$

Kritický posudek je na pozici 1,031 m

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	-32,13	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,66	kN
$T_{Ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	3,18	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Obrázek 29 - Odpovídající vnitřní síly pro  $M_{y,Ed,max}$

#### Ohyb a osový tlak

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3340 \cdot 235 = 784,90 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = w_{y,pl} \cdot f_y = 2,85 \cdot 10^5 \cdot 235 = 66,98 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = w_{z,pl} \cdot f_y = 5,81 \cdot 10^4 \cdot 235 = 13,65 \text{ kNm}$$

Stanovení součinitele ekvivalentního konstantního momentu:

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{M_s} = 0; \psi = 1$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLt} = 0,95$$

Stanovení součinitele  $\chi_y$  pro prut B233 ( $L_{cr,y} = 5,500 \text{ m}$ ):

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,77 \cdot 10^7}{5500^2} = 1898 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3340 \cdot 235}{1898000}} = 0,64$$

Součinitel imperfekce:

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka a)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,64 - 0,2) + 0,64^2] = 0,75$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,75 + \sqrt{0,75^2 - 0,64^2}} = 0,88$$

Stanovení souč. interakce pro maximální tlak + odpovídající ohybové momenty:

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (0,64 - 0,2) \cdot \frac{32,13}{\frac{0,88 \cdot 784,9}{1,00}}) \leq 0,95 \left( 1 + 0,8 \frac{32,13}{\frac{0,88 \cdot 784,9}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,97 \leq 0,99$$

$$k_{yy} = 0,97$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \left( 1 + (2 \cdot 2,36 - 0,6) \frac{32,13}{\frac{0,16 \cdot 784,9}{1,00}} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 1,4 \frac{32,13}{\frac{0,16 \cdot 784,9}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,95 \leq 1,29$$

$$k_{zz} = 1,29$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,97 = 0,58$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,29 = 0,774$$

Posouzení na maximální tlak + odpovídající ohybové momenty:

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

$$\frac{32,13}{\frac{0,88 \cdot 784,9}{1,00}} + 0,97 \cdot \frac{3,18 + 0}{\frac{1,0 \cdot 66,98}{1,00}} + 0,774 \cdot \frac{0 + 0}{\frac{13,65}{1,00}} \leq 1$$

$$0,05 + 0,05 + 0,00 \leq 1$$

$$0,10 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{32,13}{\frac{0,16 \cdot 784,9}{1,00}} + 0,58 \cdot \frac{3,18 + 0}{\frac{1,0 \cdot 66,98}{1,00}} + 1,29 \cdot \frac{0 + 0}{\frac{13,65}{1,00}} \leq 1$$

$$0,26 + 0,03 + 0,00 \leq 1$$

$$0,29 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Stanovení souč. interakce pro maximální ohybové momenty + odpovídající tlak:

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (0,64 - 0,2) \cdot \frac{2,42}{\frac{0,88 \cdot 784,9}{1,00}}) \leq 0,95 \left( 1 + 0,8 \frac{2,42}{\frac{0,88 \cdot 784,9}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \leq 0,95$$

$$k_{yy} = 0,95$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \left( 1 + (2 \cdot 2,36 - 0,6) \frac{2,42}{\frac{0,16 \cdot 784,9}{1,00}} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 1,4 \frac{2,42}{\frac{0,16 \cdot 784,9}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,03 \leq 0,98$$

$$k_{zz} = 0,98$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,95 = 0,57$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,98 = 0,59$$

Posouzení na maximální ohybové momenty + odpovídající tlak:

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

$$\frac{2,42}{\frac{0,88 \cdot 784,9}{1,00}} + 0,95 \cdot \frac{24,28 + 0}{\frac{1,0 \cdot 66,98}{1,00}} + 0,59 \cdot \frac{4,20 + 0}{\frac{13,65}{1,00}} \leq 1$$

$$0,004 + 0,34 + 0,18 \leq 1$$

$$0,52 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{2,42}{0,16 \cdot 784,9 \cdot 1,00} + 0,57 \cdot \frac{24,28 + 0}{1,0 \cdot 66,98 \cdot 1,00} + 0,98 \cdot \frac{4,20 + 0}{13,65 \cdot 1,00} \leq 1$$

$$0,02 + 0,21 + 0,30 \leq 1$$

$$0,53 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Využití průřezu 0,53 koresponduje s hodnotou 0,51 ze Scia Engineer.**

### Ohyb a osový tah

$N_{Ed} = 29,59 \text{ kN}$  (Prut B423 viz. kap. 4.2.1, kombinace „Únosnost 87“).

Vliv osově síly lze zanedbat při splnění následujících podmínek:

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

$$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3340 \cdot 235}{1}$$

$$29,59 \leq 0,25 \cdot \frac{3340 \cdot 235}{1}$$

$$29,59 \leq 196,23 \rightarrow \text{splňuje}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$


$$29,59 \leq \frac{0,5 \cdot 177,6 \cdot 5,9 \cdot 235}{1}$$

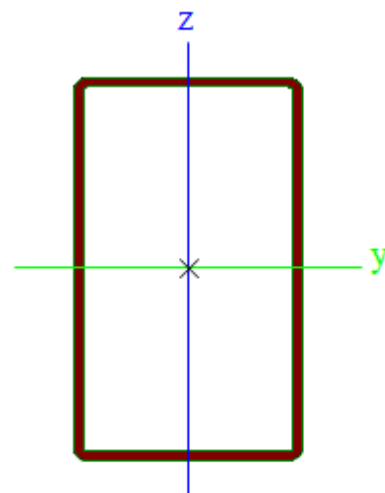
$$29,59 \leq 123,12 \rightarrow \text{splňuje}$$

Interakci osového tahu a ohybu lze zanedbat.

### 4.3 Vaznice – krajní

Průřez RHS 200/120/5. Jedná se o vaznice č. 1-5 a 11-15.

Vaznice - krajní		
Typ	RHS200/120/5.0	
Kód tvaru	2 - Obdélníkové uzavřené průřezy	
Typ tvaru	Tenkostěnný	
Materiál	S 235	
Výroba	válcovaný	
Barva		
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	a	a
A [mm <sup>2</sup> ]	3070	
A <sub>y</sub> [mm <sup>2</sup> ], A <sub>z</sub> [mm <sup>2</sup> ]	1146	1910
A <sub>L</sub> [m <sup>2</sup> /m], A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> /m]	6,2700e-01	1,2228e+00
C <sub>y,UCS</sub> [mm], C <sub>z,UCS</sub> [mm]	60	100
α [deg]	0,00	
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	16850000	7620000
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	74	50
W <sub>el,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	168000	127000
W <sub>pl,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	202931	142680
M <sub>pl,y,+</sub> [Nmm], M <sub>pl,y,-</sub> [Nmm]	4,77e+07	4,77e+07
M <sub>pl,z,+</sub> [Nmm], M <sub>pl,z,-</sub> [Nmm]	3,35e+07	3,35e+07
d <sub>y</sub> [mm], d <sub>z</sub> [mm]	0	0
I <sub>t</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>w</sub> [mm <sup>6</sup> ]	16480000	38400000000
β <sub>y</sub> [mm], β <sub>z</sub> [mm]	0	0



Obrázek 31 - Průřezové charakteristiky RHS 200/120/5 (z programu Scia Engineer)

#### Materiálové charakteristiky

Ocel: S235  
 Mez kluzu:  $f_y = 235 \text{ MPa}$   
 Modul pružnosti:  $E = 210 \text{ GPa}$   
 Modul pružnosti ve smyku:  $G = 81 \text{ GPa}$

#### Klasifikace průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Vertikální stěna:

$$c = h - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 200 - 2 \cdot 5 - 2 \cdot 8 = 176 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{176}{5} = 35,2 \leq 38 \cdot \varepsilon = 38 \cdot 1 = 38 \quad \rightarrow \text{třída průřezu 2}$$

Horizontální stěna:

$$c = b - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 120 - 2 \cdot 5 - 2 \cdot 8 = 94 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{94}{5} = 18,8 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \quad \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

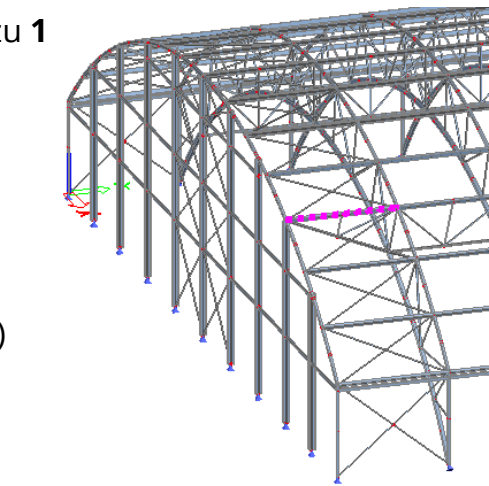
→ celý průřez třídy 2

#### 4.3.1 Prostý tah

$N_{t,Ed} = 16,34 \text{ kN}$  (Prut B137, kombinace „Únosnost 87“)

$$N_{t,Rd} = N_{pL,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3070 \cdot 235}{1} = 721,45 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{16,34}{721,45} = 0,02 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 32 – Vaznice krajní, prut B137

#### 4.3.2 Vzpěr

$N_{c,Ed} = -41,52 \text{ kN}$  (Prut B144, kombinace „NK – Únosnost 1“)

##### Vzpěr na osu y

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 5,500 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,685 \cdot 10^7}{5500^2} = 1154,5 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3070 \cdot 235}{1154500}} = 0,79$$

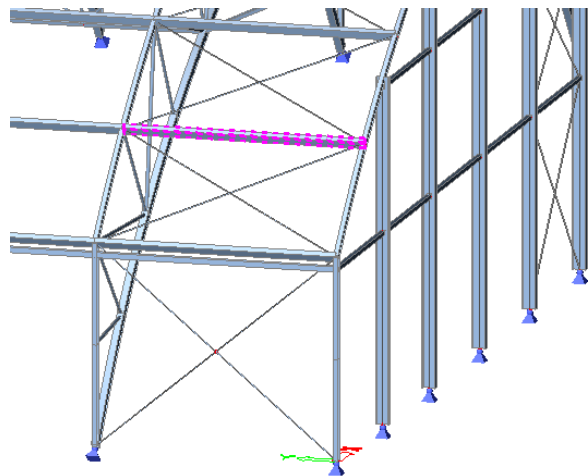
Součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,21$  (křivka a)

$$\phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,79 - 0,2) + 0,79^2] = 0,87$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,87 + \sqrt{0,87^2 - 0,79^2}} = 0,81$$



Obrázek 33 – Vaznice krajní, prut B144

##### Vzpěr na osu z

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = 5,500 \text{ m}$$



Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 7,62 \cdot 10^6}{5500^2} = 522,09 kN$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3070 \cdot 235}{522090}} = 1,18$$

Součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,21$  (křivka a)

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,18 - 0,2) + 1,18^2] = 1,30$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,30 + \sqrt{1,30^2 - 1,18^2}} = 0,54$$

### Vzpěrná únosnost

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,81; 0,54) = 0,54$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,54 \cdot 3070 \cdot 235}{1,00} = 389,58 kN$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{41,52}{389,58} = 0,11 \leq 1,00 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### 4.3.3 Smyk

#### Smyk ve směru osy z

$V_{z,Ed} = 22,56 kN$  (Prut B138, kombinace „Únosnost 41“)

Smyková plocha:

$$A_{v,z} = \frac{A \cdot h}{b + h} = \frac{3070 \cdot 200}{120 + 200} = 1918 mm^2$$

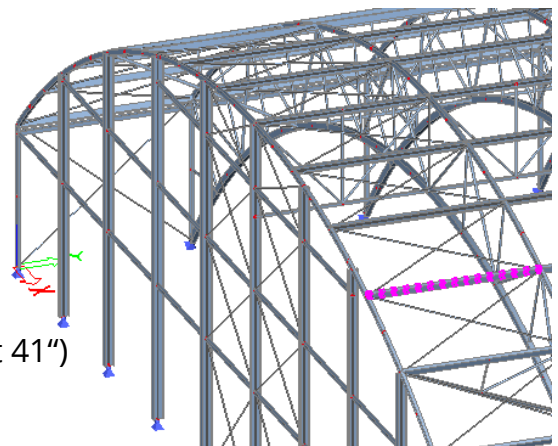
Únosnost ve smyku:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1918 \cdot 235}{1,00 \cdot \sqrt{3}} = 260,23 kN$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{22,56}{260,23} = 0,09 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### Smyk ve směru y

$V_{y,Ed} = 11,22 kN$  (Prut B135, kombinace „Únosnost 52“)



Obrázek 34 - Vaznice krajní, prut B138

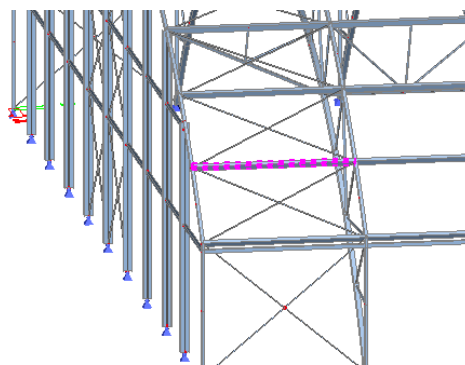
Smyková plocha:

$$A_{v,z} = \frac{A \cdot b}{b + h} = \frac{3070 \cdot 120}{120 + 200} \doteq 1151 \text{ mm}^2$$

Únosnost ve smyku:

$$V_{pl,Rd,y} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1151 \cdot 235}{1,00 \cdot \sqrt{3}} = 156,16 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,Rd,y}} = \frac{11,22}{156,16} = 0,07 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 35 - Vaznice krajní, prut B135

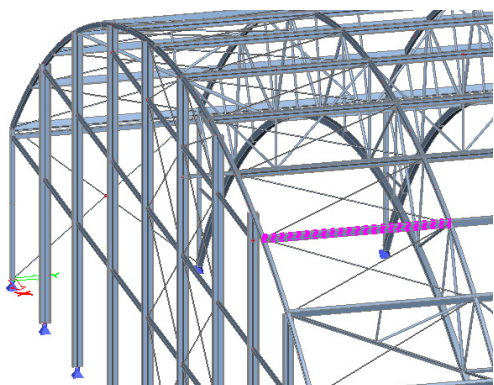
Vliv smyku na ohybovou únosnost lze zanedbat dle kapitoly 6.2.8, čl. (2) normy<sup>5</sup>.

#### 4.3.4 Kombinace ohybu a osové síly

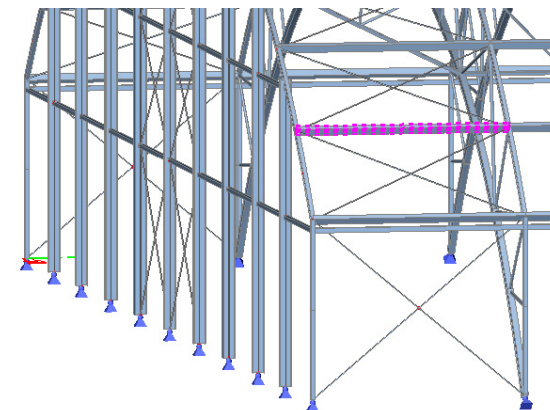
##### Šikmý ohyb

$M_{y,Ed,max} = 31,02 \text{ kNm}$  (Prut B138, kombinace „Únosnost 41“).

$M_{z,Ed,max} = 15,42 \text{ kNm}$  (Prut B135, kombinace „Únosnost 44“).



Obrázek 37 - Vaznice krajní, prut B138



Obrázek 36 - Vaznice krajní, prut B135

Kritický posudek je na pozici 2,750 m

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	2,14	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{Ed}$	0,81	kNm
$M_{y,Ed}$	31,02	kNm
$M_{z,Ed}$	9,11	kNm

Obrázek 38 - Odpovídající vnitřní síly pro  $M_{y,Ed,max}$

Kritický posudek je na pozici 2,750 m

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	2,60	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{Ed}$	0,58	kNm
$M_{y,Ed}$	21,21	kNm
$M_{z,Ed}$	15,42	kNm

Obrázek 39 - Odpovídající vnitřní síly pro  $M_{z,Ed,max}$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{w_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{202931 \cdot 235}{1} = 47,69 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{w_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{142680 \cdot 235}{1} = 33,53 \text{ kNm}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3070 \cdot 235}{1} = 721,45 \text{ kN}$$

Stanovení parametru  $n$ :

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{2,60}{721,45} = 0,0036$$

Stanovení parametru  $a_w$ :

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} \leq 0,5$$

$$a_w = \frac{3070 - 2 \cdot 120 \cdot 5}{3070} = 0,61 \leq 0,5$$

$$a_w = 0,5$$

Stanovení parametru  $a_f$ :

$$a_f = \frac{A - 2 \cdot h \cdot t}{A} \leq 0,5$$

$$a_f = \frac{3070 - 2 \cdot 200 \cdot 5}{3070} = 0,35 \leq 0,5$$

$$a_f = 0,35$$

Stanovení únosnosti:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_w} = 47,69 \cdot \frac{1 - 0,0036}{1 - 0,5 \cdot 0,5} = 63,35 \leq M_{pl,y,Rd} = 47,69$$

$$M_{N,y,Rd} = 47,69 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_f} = 33,53 \cdot \frac{1 - 0,0036}{1 - 0,5 \cdot 0,35} = 40,50 \leq M_{pl,z,Rd} = 33,53$$

$$M_{N,z,Rd} = 33,53 \text{ kNm}$$

Stanovení součinitelů  $\alpha$  a  $\beta$ :

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot 0,0036^2} = 1,66 \leq 6$$

Posouzení na  $M_{yEd,max} + M_{zEd,odp}$ :

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

$$\left[ \frac{31,02}{47,69} \right]^{1,66} + \left[ \frac{9,11}{33,53} \right]^{1,66} \leq 1$$

$$0,49 + 0,11 \leq 1$$

$$0,60 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Posouzení na  $M_{zEd,max} + M_{Ed,odp}$  :

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

$$\left[ \frac{21,21}{47,69} \right]^{1,66} + \left[ \frac{15,42}{33,53} \right]^{1,66} \leq 1$$

$$0,26 + 0,28 \leq 1$$

$$0,54 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

## Ohyb a osový tlak

$N_{c,Ed,max} = -41,52 \text{ kN}$  (Prut B144 viz. kap. 4.3.2, kombinace „Únosnost 1“)

$M_{yEd,max} = 31,02 \text{ kNm}$  (Prut B355, kombinace „Únosnost 43“)

Kritický posudek je na pozici 2,406 m

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	-41,52	kN
$V_{y,Ed}$	0,23	kN
$V_{z,Ed}$	-0,12	kN
$T_{Ed}$	-0,11	kNm
$M_{y,Ed}$	4,38	kNm
$M_{z,Ed}$	2,44	kNm

Kritický posudek je na pozici 2,750 m

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	-4,01	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{Ed}$	0,00	kNm
$M_{y,Ed}$	-31,02	kNm
$M_{z,Ed}$	9,11	kNm

Obrázek 40 - Odpovídající vnitřní síly pro  $N_{c,Ed,max}$

Obrázek 41 - Odpovídající vnitřní síly pro  $M_{y,Ed,max}$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3070 \cdot 235 = 721,45 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = w_{y,pl} \cdot f_y = 202931 \cdot 235 = 47,69 \text{ kNm}$$

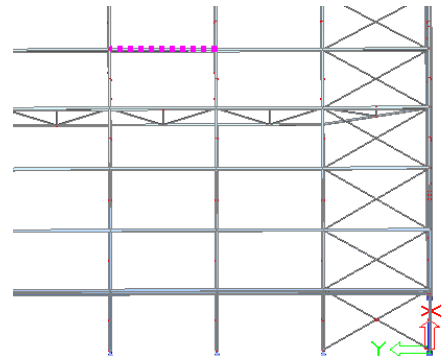
$$M_{z,Rk} = w_{z,pl} \cdot f_y = 142680 \cdot 235 = 33,53 \text{ kNm}$$

Stanovení součinitele ekvivalentního

konstantního momentu:

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{M_s} = 0; \psi = 1$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLt} = 0,95$$



Obrázek 42 - Vaznice krajní, prut B355

Stanovení souč. interakce pro maximální tlak + odpovídající ohybové momenty:

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (0,79 - 0,2) \cdot \frac{41,52}{\frac{0,81 \cdot 721,45}{1,00}}) \leq 0,95 \left( 1 + 0,8 \frac{41,52}{\frac{0,81 \cdot 721,45}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,99 \leq 1,00$$

$$k_{yy} = 0,99$$

$$k_{zz} = c_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq c_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \left( 1 + (2 \cdot 1,18 - 0,6) \frac{41,52}{\frac{0,54 \cdot 721,45}{1,00}} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 1,4 \frac{41,52}{\frac{0,54 \cdot 721,45}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,13 \leq 1,09$$

$$k_{zz} = 1,09$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,99 = 0,59$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,09 = 0,65$$

Posouzení na maximální tlak + odpovídající ohybové momenty:

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

$$\frac{41,52}{\frac{0,81 \cdot 721,45}{1,00}} + 0,99 \cdot \frac{4,38 + 0}{\frac{47,69}{1,00}} + 0,65 \cdot \frac{2,44 + 0}{\frac{33,53}{1,00}} \leq 1$$

$$0,07 + 0,09 + 0,05 \leq 1$$

$$0,21 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{41,52}{\frac{0,54 \cdot 721,45}{1,00}} + 0,59 \cdot \frac{4,38 + 0}{\frac{47,69}{1,00}} + 1,09 \cdot \frac{2,44 + 0}{\frac{33,53}{1,00}} \leq 1$$

$$0,11 + 0,05 + 0,08 \leq 1$$

$$0,24 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Stanovení souč. interakce pro maximální ohybové momenty + odpovídající tlak:

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot (1 + (0,79 - 0,2) \cdot \frac{4,01}{\frac{0,81 \cdot 721,45}{1,00}}) \leq 0,95 \left( 1 + 0,8 \frac{4,01}{\frac{0,81 \cdot 721,45}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \leq 0,96$$

$$k_{yy} = 0,95$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \left( 1 + (2 \cdot 1,18 - 0,6) \frac{4,01}{\frac{0,54 \cdot 721,45}{1,00}} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 1,4 \frac{4,01}{\frac{0,54 \cdot 721,45}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,97 \leq 0,96$$

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

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,95 = 0,57$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,96 = 0,58$$

Posouzení na maximální ohybové momenty + odpovídající tlak:

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

$$\frac{4,01}{\frac{0,81 \cdot 721,45}{1,00}} + 0,95 \cdot \frac{31,02 + 0}{\frac{47,69}{1,00}} + 0,58 \cdot \frac{9,11 + 0}{\frac{33,53}{1,00}} \leq 1$$

$$0,007 + 0,62 + 0,16 \leq 1$$

$$0,78 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{4,01}{\frac{0,54 \cdot 721,45}{1,00}} + 0,57 \cdot \frac{31,02 + 0}{\frac{47,69}{1,00}} + 0,96 \cdot \frac{9,11 + 0}{\frac{33,53}{1,00}} \leq 1$$

$$0,01 + 0,37 + 0,26 \leq 1$$

$$0,64 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

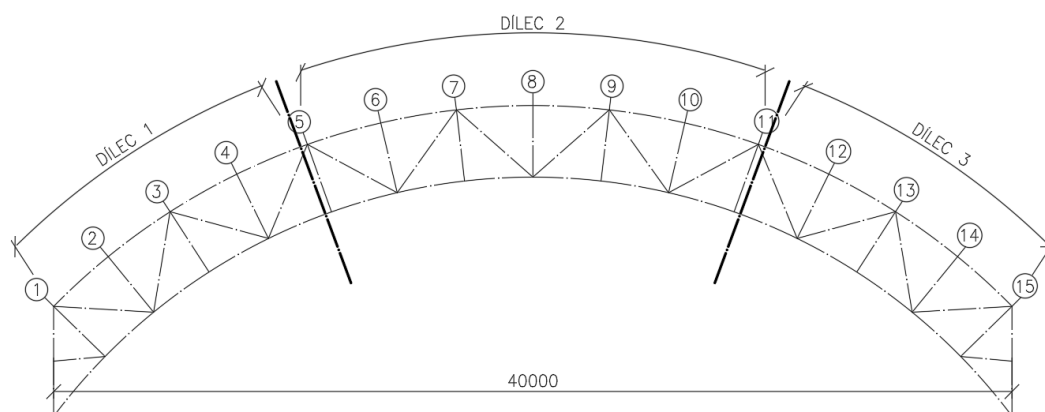
**Využití průřezu 0,78 koresponduje s hodnotou 0,76 ze Scia Engineer.**

#### 4.4 Vazník

Všechny vazníky budou z důvodu přepravy rozděleny na 3 montážní dílce. U jednotlivých dílců byla provedena optimalizace průřezů dle následující tabulky.

Průřez	Horní pás	Dolní pás	Diagonála	Svislice
Dílec č. 1 a 3	RHS 150/100/5	RHS 200/150/10	RO 73x8	RO 54x4
Dílec č. 2		RHS 200/150/6,3	RO 73x4	

Tabulka 6 - Průřezy vazníkových dílců



Obrázek 43 - Montážní dílce vazníku

V rámci ručního výpočtu budou ověřeny průřezy v krajních dílcích.

#### 4.4.1 Horní pás

Průřez RHS 150/100/5

RHS 150x100x5			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
		Osa y	Osa z
h = 150 mm		$I_y = 7.39E+6 \text{ mm}^4$	$I_z = 3.92E+6 \text{ mm}^4$
b = 100 mm		$W_{y,el} = 9.85E+4 \text{ mm}^3$	$W_{z,el} = 7.85E+4 \text{ mm}^3$
t = 5 mm		$W_{y,pl} = 1.19E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 9.01E+4 \text{ mm}^3$
r = 7.5 mm		$i_y = 55.8 \text{ mm}$	$i_z = 40.7 \text{ mm}$
$A = 2370 \text{ mm}^2$		$S_y = 5.95E+4 \text{ mm}^3$	$S_z = 4.50E+4 \text{ mm}^3$
$A_L = 0.49 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		Kroucení a klopení	
$G = 18.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 8.07E+6 \text{ mm}^4$	$C_t = 1.27E+5 \text{ mm}^3$

Obrázek 44 - Průřezové charakteristiky RHS150/100/5 (dle tabulek<sup>12)</sup>)

#### Materiálové charakteristiky

Ocel:	S235
Mez kluzu:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

#### Klasifikace průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Vertikální stěna:

$$c = h - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 150 - 2 \cdot 5 - 2 \cdot 7,5 = 125 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{125}{5} = 25 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

Horizontální stěna:

$$c = b - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 100 - 2 \cdot 5 - 2 \cdot 7,5 = 75 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{75}{5} = 15 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

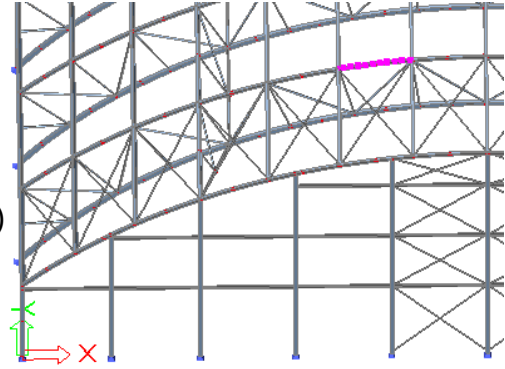
→ celý průřez třídy 1

#### 4.4.1.1 Prostý tah

$$N_{t,Ed} = 54,60 \text{ kN (Prut B78, kombinace „Únosnost 88“)}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2370 \cdot 235}{1} = 556,95 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{54,60}{556,95} = 0,10 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 45 - Horní pás, prut B78

#### 4.4.1.2 Vzpěr

$$N_{c,Ed} = -131,37 \text{ kN (Prut B269, kombinace „Únosnost 48“)}$$

##### Vzpěr na osu y

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 3,200 \text{ m (vychází ze vzdálenosti styčníků mezipásových prutů)}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 7,39 \cdot 10^6}{3200^2} = 1495,77 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2370 \cdot 235}{1495770}} = 0,61$$

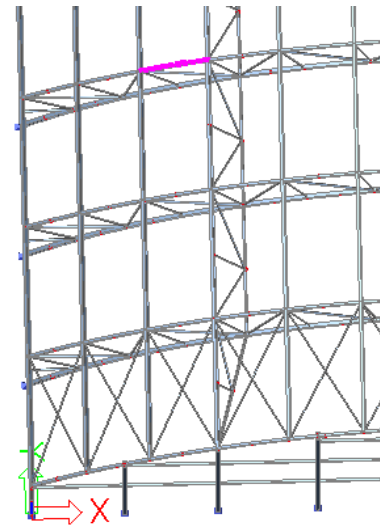
Součinitel imperfekce:

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka a)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,61 - 0,2) + 0,61^2] = 0,73$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,73 + \sqrt{0,73^2 - 0,61^2}} = 0,88$$



Obrázek 46 - Horní pás, prut B269



**Vzpěr na osu z**

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = 3,200m \text{ (z geometrie střešního ztužidla)}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3,92 \cdot 10^6}{3200^2} = 793,42kN$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2370 \cdot 235}{793420}} = 0,84$$

Součinitel imperfekce:

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka a)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,84 - 0,2) + 0,84^2] = 0,92$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,92 + \sqrt{0,92^2 - 0,84^2}} = 0,77$$

**Vzpěrná únosnost**

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,88; 0,77) = 0,77$$


$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,77 \cdot 2370 \cdot 235}{1,00} = 428,85kN$$

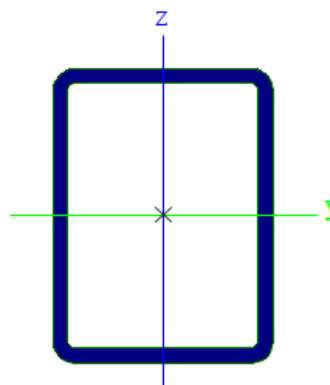
$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{131,37}{428,85} = 0,31 \leq 1,00 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Využití průřezu 0,31 koresponduje s hodnotou 0,44 ze Scia Engineer.** Rozdílné využití je způsobeno tím, že v softwaru rozhoduje posudek na tlak + ohyb (protože na daném prutu vzniká nepatrný ohybový moment). Programový posudek na vzpěr vychází **0,30**.

## 4.4.2 Dolní pás

Průřez RHS 200/150/10

DP - krajní		
Typ	RHS200/150/10.0	
Kód tvaru	2 - Obdélníkové uzavřené průřezy	
Typ tvaru	Tenkostěnný	
Materiál	S 235	
Výroba	válcovaný	
Barva		
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	a	a
A [mm <sup>2</sup> ]	6490	
A <sub>y</sub> [mm <sup>2</sup> ], A <sub>z</sub> [mm <sup>2</sup> ]	2754	3672
A <sub>L</sub> [m <sup>2</sup> /m], A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> /m]	6,7400e-01	1,2855e+00
c <sub>y,ucs</sub> [mm], c <sub>z,ucs</sub> [mm]	75	100
α [deg]	0,60	
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	35580000	22640000
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	74	59
W <sub>el,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	357000	302000
W <sub>pl,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	429937	351808
M <sub>pl,y,+</sub> [Nmm], M <sub>pl,y,-</sub> [Nmm]	1,01e+08	1,01e+08
M <sub>pl,z,+</sub> [Nmm], M <sub>pl,z,-</sub> [Nmm]	8,27e+07	8,27e+07
d <sub>y</sub> [mm], d <sub>z</sub> [mm]	0	0
I <sub>t</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>w</sub> [mm <sup>6</sup> ]	44090000	131250000000
β <sub>y</sub> [mm], β <sub>z</sub> [mm]	0	0



Obrázek 47 - Průřezové charakteristiky RHS 200/150/10 (z programu Scia Engineer)

### Materiálové charakteristiky

Ocel: S235  
 Mez kluzu:  $f_y = 235 \text{ MPa}$   
 Modul pružnosti:  $E = 210 \text{ GPa}$   
 Modul pružnosti ve smyku:  $G = 81 \text{ GPa}$

### Klasifikace průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Vertikální stěna:

$$c = h - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 200 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 150 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{150}{10} = 15 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \quad \rightarrow \text{třída průřezu } \mathbf{1}$$

Horizontální stěna:

$$c = b - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 150 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 100 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{100}{10} = 10 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \quad \rightarrow \text{třída průřezu } \mathbf{1}$$

→ celý průřez třídy **1**

#### 4.4.2.1 Prostý tah

$N_{t,Ed} = 91,61kN$  (Prut B261, kombinace „Únosnost 87“)

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6490 \cdot 235}{1} = 1525,15kN$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{91,61}{1525,15} = 0,06 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### 4.4.2.2 Vzpěr

$N_{c,Ed} = -250,42kN$  (Prut B308, kombinace „Únosnost 40“)

##### Vzpěr na osu y

Vzpěrná délka:

$L_{cr,y} = 3,200m$  (vychází ze vzdálenosti styčníků mezipásových prutů)

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 35680000}{3200^2} = 7221,77kN$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{6490 \cdot 235}{7221770}} = 0,46$$

Součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,21$  (křivka a)

$$\phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,21 \cdot (0,46 - 0,2) + 0,46^2 \right] = 0,63$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,63 + \sqrt{0,63^2 - 0,46^2}} = 0,94$$

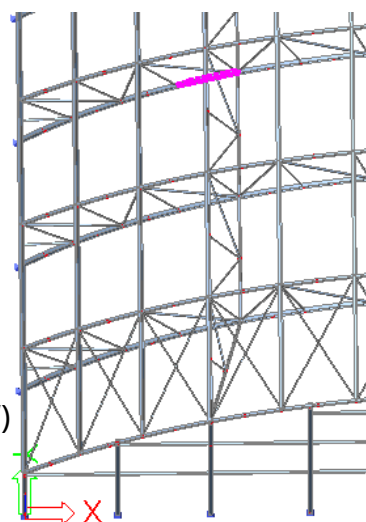
##### Vzpěr na osu z

Vzpěrná délka:

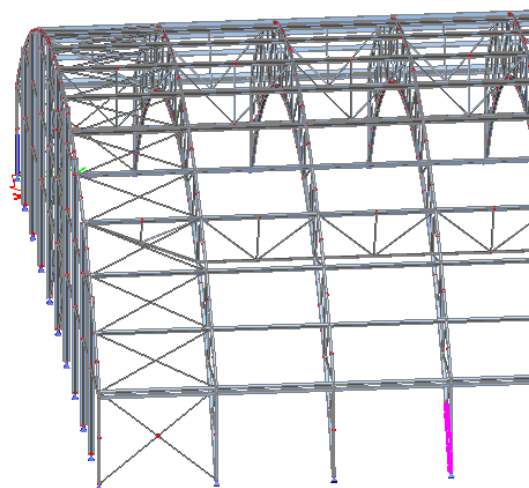
$L_{cr,z} = 11,753m$  (z geometrie podélného ztužidla)

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 22640000}{11753^2} = 339,7kN$$



Obrázek 48 - Dolní pás, prut B261



Obrázek 49 - Dolní pás, prut B308

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{6490 \cdot 235}{339700}} = 2,12$$

Součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,21$  (křivka a)

$$\phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,12 - 0,2) + 2,12^2] = 2,95$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,95 + \sqrt{2,95^2 - 2,12^2}} = 0,20$$

### Vzpěrná únosnost

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,94; 0,20) = 0,20$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,20 \cdot 6490 \cdot 235}{1,00} = 305,03 kN$$

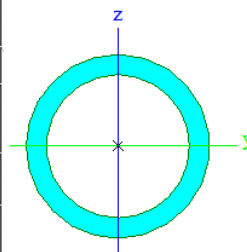
$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{250,42}{305,03} = 0,82 \leq 1,00 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Využití průřezu 0,82 koresponduje s hodnotou 0,88 ze Scia Engineer.** Rozdílné využití je způsobeno tím, že v softwaru rozhoduje posudek na tlak + ohyb (protože na daném prutu vzniká nepatrný ohybový moment). Programový posudek na vzpěr vychází **0,82**.

### 4.4.3 Diagonála

Průřez RO 73x8

Diagonála - krajní			
Typ	RO73X8		
Kód tvaru	3 - Kruhové uzavřené průřezy		
Typ tvaru	Tenkostěnný		
Materiál	S 235		
Výroba	válcovaný		
Barva	a		
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek	a		
rovinného vzpěru z-z			
A [mm <sup>2</sup> ]	1630		
A <sub>y</sub> [mm <sup>2</sup> ], A <sub>z</sub> [mm <sup>2</sup> ]	1040	1040	
A <sub>L</sub> [m <sup>2</sup> /m], A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> /m]	2,2878e-01	4,0839e-01	
C <sub>y,UCS</sub> [mm], C <sub>z,UCS</sub> [mm]	36	36	
α [deg]	0,00		
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	876000	876000	
I <sub>y</sub> [mm], I <sub>z</sub> [mm]	23	23	
W <sub>el,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	24000	24000	
W <sub>pl,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	33800	33800	
M <sub>pl,y,+</sub> [Nmm], M <sub>pl,y,-</sub> [Nmm]	7,98e+06	7,98e+06	
M <sub>pl,z,+</sub> [Nmm], M <sub>pl,z,-</sub> [Nmm]	7,98e+06	7,98e+06	
d <sub>y</sub> [mm], d <sub>z</sub> [mm]	0	0	
I <sub>t</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>w</sub> [mm <sup>6</sup> ]	1752000	0	
β <sub>y</sub> [mm], β <sub>z</sub> [mm]	0	0	



Obrázek 50 - Průřezové charakteristiky RO73x8 (z programu Scia Engineer)

## Materiálové charakteristiky

Ocel:	S235
Mez kluzu:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

## Klasifikace průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{d}{t} = \frac{73}{8} = 9,1 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1^2 = 50 \rightarrow \text{Průřez třídy 1}$$

### 4.4.3.1 Prostý tah

$$N_{t,Ed} = 78,56 \text{ kN} \text{ (Prut B287, kombinace „Únosnost 50“)}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1630 \cdot 235}{1} = 383,05 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{78,56}{383,05} = 0,21 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### 4.4.3.2 Vzpěr

$$N_{c,Ed} = -78,23 \text{ kN} \text{ (Prut B100, kombinace „Únosnost 51“)}$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = 4,258 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 876000}{4258^2} = 100,14 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1630 \cdot 235}{100140}} = 1,96$$

Součinitel imperfekce:

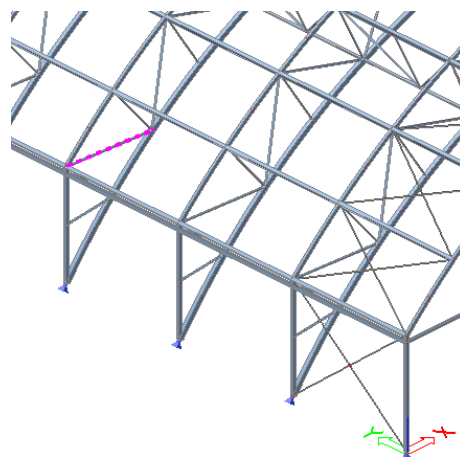
$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka a)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,96 - 0,2) + 1,96^2] = 2,61$$

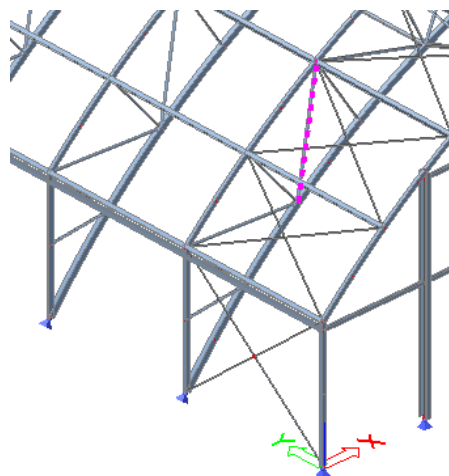
Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,61 + \sqrt{2,61^2 - 1,96^2}} = 0,23$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,23 \cdot 1630 \cdot 235}{1,00} = 88,1 \text{ kN}$$



Obrázek 52 - Diagonála, prut B287



Obrázek 51 - Diagonála, prut B100

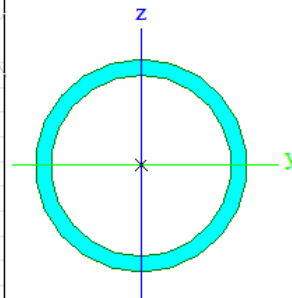
$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{78,23}{88,1} = 0,89 \leq 1,00 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Využití průřezu 0,89 odpovídá hodnotě 0,89 ze Scia Engineer.

#### 4.4.4 Svislice

Průřez RO 54x4

Svislice			
Typ	RO54X4		
Kód tvaru	3 - Kruhové uzavřené průřezy		
Typ tvaru	Tenkostěnný		
Materiál	S 235		
Výroba	válcovaný		
Barva			
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	a		
A [mm <sup>2</sup> ]	628		
A <sub>y</sub> [mm <sup>2</sup> ], A <sub>z</sub> [mm <sup>2</sup> ]	400	400	
A <sub>L</sub> [m <sup>2</sup> /m], A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> /m]	1,6923e-01	3,1414e-01	
C <sub>y,UCS</sub> [mm], C <sub>z,UCS</sub> [mm]	27	27	
α [deg]	0,00		
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	198000	198000	
I <sub>y</sub> [mm], I <sub>z</sub> [mm]	18	18	
W <sub>el,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	7320	7320	
W <sub>pl,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	10000	10000	
M <sub>pl,y,+</sub> [Nmm], M <sub>pl,y,-</sub> [Nmm]	2,35e+06	2,35e+06	
M <sub>pl,z,+</sub> [Nmm], M <sub>pl,z,-</sub> [Nmm]	2,35e+06	2,35e+06	
d <sub>y</sub> [mm], d <sub>z</sub> [mm]	0	0	
I <sub>t</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>w</sub> [mm <sup>6</sup> ]	396000	0	
β <sub>y</sub> [mm], β <sub>z</sub> [mm]	0	0	



Obrázek 53 - Průřezové charakteristiky RO54x4 (z programu Scia Engineer)

#### Materiálové charakteristiky

Ocel: S235  
 Mez kluzu:  $f_y = 235 \text{ MPa}$   
 Modul pružnosti:  $E = 210 \text{ GPa}$   
 Modul pružnosti ve smyku:  $G = 81 \text{ GPa}$

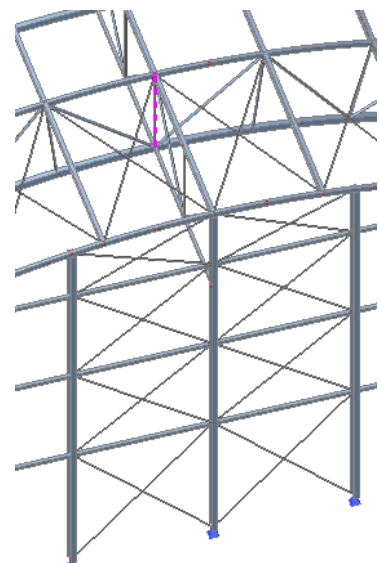
#### Klasifikace průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{d}{t} = \frac{54}{5} = 10,8 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1^2 = 50 \rightarrow \text{Průřez třídy 1}$$

##### 4.4.4.1 Prostý tah

$N_{t,Ed} = 16,84 \text{ kN}$  (Prut B84, kombinace „Únosnost 51“)



Obrázek 54 - Svislice, prut B84

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{628 \cdot 235}{1} = 147,58 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{16,84}{147,58} = 0,11 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### 4.4.4.2 Vzpěr

$N_{c,Ed} = -28,77 \text{ kN}$  (Prut B278, kombinace „Únosnost 41“)

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = 3,000 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 198000}{3000^2} = 45,6 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{628 \cdot 235}{45600}} = 1,80$$

Součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,21$  (křivka a)

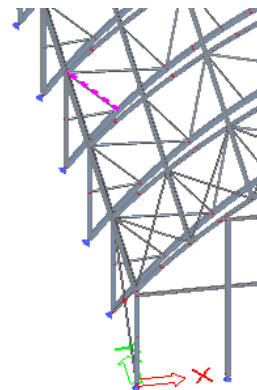
$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,80 - 0,2) + 1,80^2] = 2,29$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,29 + \sqrt{2,29^2 - 1,80^2}} = 0,27$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,27 \cdot 628 \cdot 235}{1,00} = 39,85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{28,77}{39,85} = 0,72 \leq 1,00 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

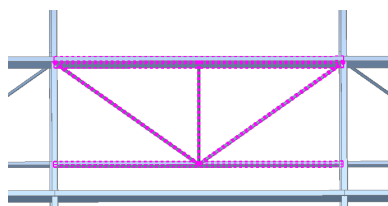


Obrázek 55 - Svislice, prut B278

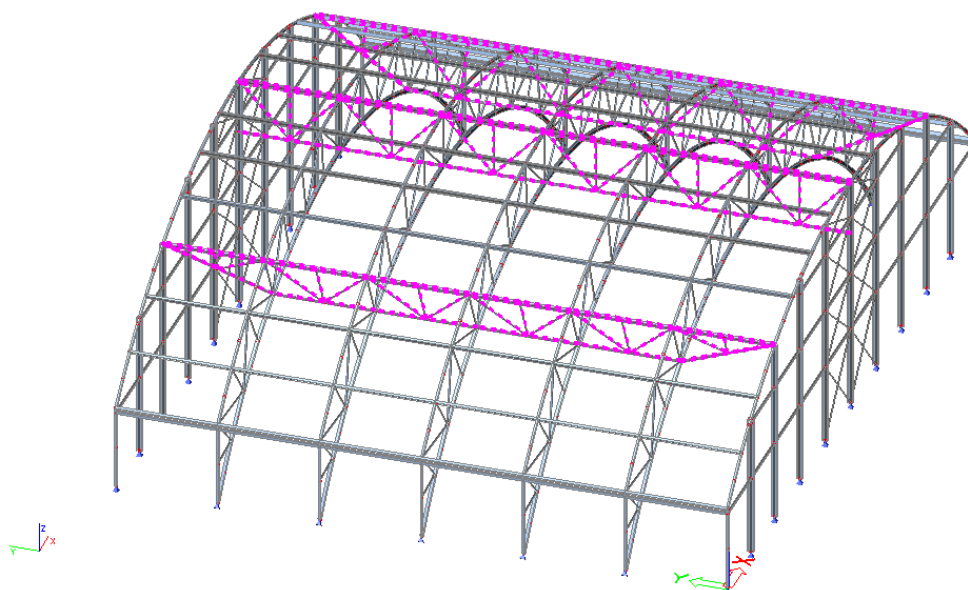
**Využití průřezu 0,72 koresponduje s hodnotou 0,75 ze Scia Engineer.**

## 4.5 Podélné ztužidlo

Jedná se o příhradové ztužidlo tvořené pásem průřezu SHS 80/80/4, diagonálami průřezu RO 57x6,3 a svislicemi průřezu 51x4. Součástí ztužidla v řadě 4 a 12 jsou vaznice RHS 200/120/5, v řadě 12 jsou to vaznice průřezu IPE 220.



Obrázek 56 - Geometrie podélného ztužidla

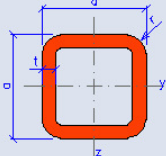


Obrázek 57 - Pohled na podélné ztužidlo

V rámci ručního ověření podélného ztužidla bude posouzen pouze pás, protože na něm jsou vyvozeny největší normálové síly.

#### 4.5.1 Pás podélného ztužidla

Průřez SHS 80/80/4

mm		cm	
SHS 80x4			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
a = 80 mm		$I_y = I_z = 1.14\text{E}+6 \text{ mm}^4$	
t = 4 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 2.86\text{E}+4 \text{ mm}^3$	
r = 6 mm		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 3.40\text{E}+4 \text{ mm}^3$	
A = 1200 mm <sup>2</sup>		$i_y = i_z = 30.9 \text{ mm}$	
A <sub>L</sub> = 0.31 m <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup>		$S_y = S_z = 1.70\text{E}+4 \text{ mm}^3$	
G = 9.41 kg.m <sup>-1</sup>		$I_t = 1.80\text{E}+6 \text{ mm}^4$	
		$C_t = 4.19\text{E}+4 \text{ mm}^3$	

Obrázek 58 - Průřezové charakteristiky SHS 80/80/4 (dle tabulek12)

#### Materiálové charakteristiky

Ocel:	S235
Mez kluzu:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$



## Klasifikace průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Stěny:

$$c = h - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 80 - 2 \cdot 4 - 2 \cdot 6 = 60 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{60}{4} = 15 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

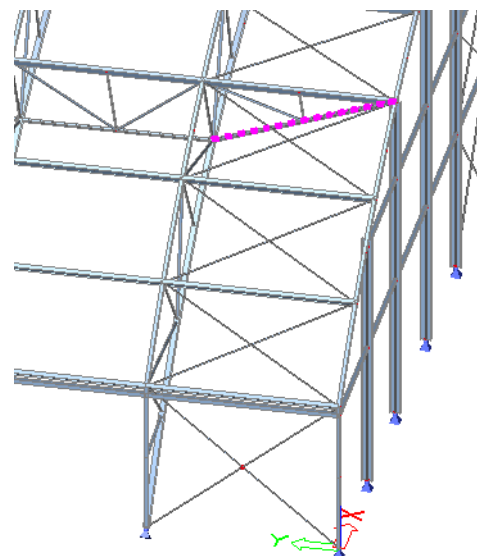
→ **průřez třídy 1**

### 4.5.1.1 Prostý tah

$N_{t,Ed} = 61,44 \text{ kN}$  (Prut B935, kombinace „Únosnost 51“)

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1200 \cdot 235}{1} = 282,00 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{61,44}{282,00} = 0,22 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 59 - Pás podélného ztužidla, prut B935

### 4.5.1.2 Vzpěr

$N_{c,Ed} = -28,28 \text{ kN}$  (Prut B158, kombinace „Únosnost 79“)

$$I_y = I_z = 1140000 \text{ mm}^4$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = 5,500 \text{ m} \geq L_{cr,y} = 2,750 \text{ m}$$

→ rozhoduje vzpěr na osu z

### Vzpěr na osu z

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = 5,500 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1140000}{5500^2} = 78,11 \text{ kN}$$

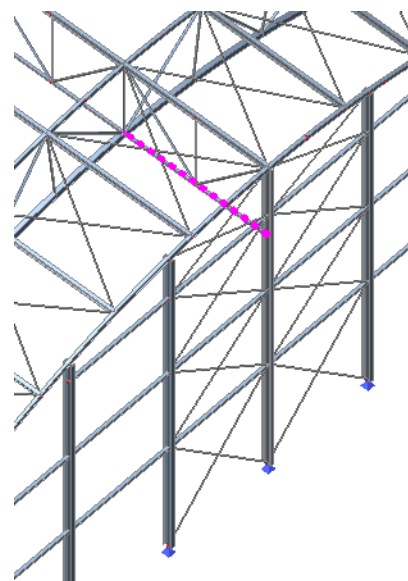
Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1200 \cdot 235}{78110}} = 1,90$$

Součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,21$  (křivka a)

$$\phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,90 - 0,2) + 1,90^2] = 2,48$$



Obrázek 60 - Pás podélného ztužidla, prut B158

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,48 + \sqrt{2,48^2 - 1,90^2}} = 0,25$$

### Vzpěrná únosnost


$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,25 \cdot 1200 \cdot 235}{1,00} = 70,5 \text{ kN}$$

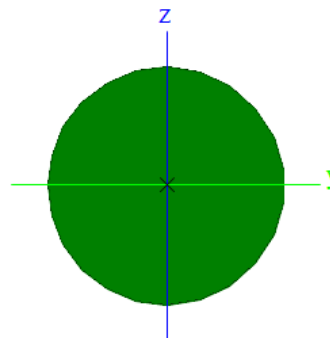
$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{28,28}{70,5} = 0,40 \leq 1,00 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Využití průřezu 0,40 koresponduje s hodnotou 0,46 ze Scia Engineer.** Rozdílné využití je způsobeno tím, že v softwaru rozhoduje posudek na tlak + ohyb (protože na daném prutu vzniká nepatrný ohybový moment). Programový posudek na vzpěr vychází **0,41**.

## 4.6 Střešní větrové ztužidlo

Jedná se o táhlo průřezu RD 19.

Střešní ztužidlo			
Typ	RD19		
Kód tvaru	11 - Plný kruhový průřez		
Typ tvaru	tlustostěnný		
Materiál	S 355		
Výroba	válcovaný		
Barva			
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	c	c	
A [m <sup>2</sup> ]	2,8338e-04		
A <sub>y</sub> [m <sup>2</sup> ], A <sub>z</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,5491e-04	2,5491e-04	
A <sub>L</sub> [m <sup>2</sup> /m], A <sub>0</sub> [m <sup>2</sup> /m]	5,9533e-02	5,9687e-02	
c <sub>y,UCS</sub> [mm], c <sub>z,UCS</sub> [mm]	10	10	
α [deg]	0,00		
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	6,2631e-09	6,2631e-09	
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	5	5	
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	6,5927e-07	6,5927e-07	
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	1,1251e-06	1,1251e-06	
M <sub>pl,y+</sub> [Nm], M <sub>pl,y-</sub> [Nm]	4,06e+02	4,06e+02	
M <sub>pl,z+</sub> [Nm], M <sub>pl,z-</sub> [Nm]	4,06e+02	4,06e+02	
d <sub>y</sub> [mm], d <sub>z</sub> [mm]	0	0	
I <sub>t</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>w</sub> [m <sup>6</sup> ]	1,2819e-08	2,8699e-23	
β <sub>y</sub> [mm], β <sub>z</sub> [mm]	0	0	



Obrázek 61 - Průřezové charakteristiky RD19 (z programu Scia Engineer)

### Materiálové charakteristiky

Ocel: S355

Mez kluzu:  $f_y = 355 \text{ MPa}$

Modul pružnosti:  $E = 210 \text{ GPa}$

Modul pružnosti ve smyku:  $G = 81 \text{ GPa}$

#### 4.6.1 Kombinace tahu a ohybu

$N_{t,Ed} = 46,71 \text{ kN}$  (Prut B605, kombinace „NK – Únosnost 1“)

$M_{,Ed} = 0,10 \text{ kNm}$  (Prut B605, kombinace „NK – Únosnost 1“)

$$\sigma_{n,ED} = \frac{N_{t,Ed}}{A} = \frac{46,71 \cdot 10^3}{283} = 165,05 \text{ MPa}$$

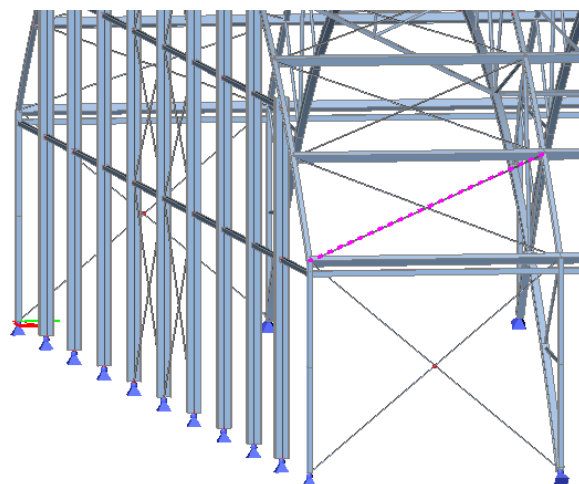
$$\sigma_{m,ED} = \frac{M_{,Ed}}{W_{,El}} = \frac{0,10 \cdot 10^6}{659} = 151,75 \text{ MPa}$$

Posouzení na úrovni napětí:

$$\frac{\sigma_{n,ED}}{f_y/\gamma_{M_0}} + \frac{\sigma_{m,ED}}{f_y/\gamma_{M_0}} \leq 1$$

$$\frac{165,05}{355/1,0} + \frac{151,75}{355/1,0} \leq 1$$

$$0,46 + 0,43 = 0,89 \leq 1$$



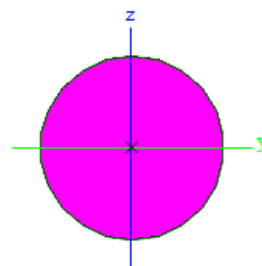
Obrázek 62 - Střešní ztužidlo, prut B605

Využití průřezu 0,89 koresponduje s hodnotou 0,90 ze Scia Engineer.

#### 4.7 Ztužidlo štítové stěny

Jedná se o táhlo průřezu RD 13.

Ztužidlo čelní stěny			
Typ	RD13		
Kód tvaru	11 - Plný kruhový průřez		
Typ tvaru	Tlustostěnný		
Materiál	S 355		
Výroba	válcovaný		
Barva			
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	c	c	
A [m <sup>2</sup> ]	1,3266e-04		
A <sub>y</sub> [m <sup>2</sup> ], A <sub>z</sub> [m <sup>2</sup> ]	1,1915e-04	1,1915e-04	
A <sub>L</sub> [m <sup>2</sup> /m], A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> /m]	4,0733e-02	4,0839e-02	
c <sub>y,UCS</sub> [mm], c <sub>z,UCS</sub> [mm]	6	6	
α [deg]	0,00		
I <sub>y</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [m <sup>4</sup> ]	1,3726e-09	1,3726e-09	
i <sub>y</sub> [mm], i <sub>z</sub> [mm]	3	3	
W <sub>el,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>el,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	2,1117e-07	2,1117e-07	
W <sub>pl,y</sub> [m <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [m <sup>3</sup> ]	3,6039e-07	3,6039e-07	
M <sub>pl,y,+</sub> [Nm], M <sub>pl,y,-</sub> [Nm]	1,30e+02	1,30e+02	
M <sub>pl,z,+</sub> [Nm], M <sub>pl,z,-</sub> [Nm]	1,30e+02	1,30e+02	
d <sub>y</sub> [mm], d <sub>z</sub> [mm]	0	0	
I <sub>t</sub> [m <sup>4</sup> ], I <sub>w</sub> [m <sup>6</sup> ]	2,8098e-09	2,4743e-24	
β <sub>y</sub> [mm], β <sub>z</sub> [mm]	0	0	



Obrázek 63 - Průřezové charakteristiky RD13 (z programu Scia Engineer)

## Materiálové charakteristiky

Ocel: S355  
 Mez kluzu:  $f_y = 355 \text{ MPa}$   
 Modul pružnosti:  $E = 210 \text{ GPa}$   
 Modul pružnosti ve smyku:  $G = 81 \text{ GPa}$

### 4.7.1 Kombinace tahu a ohybu

$N_{t,Ed} = 3,98 \text{ kN}$  (Prut B983, kombinace „NK – Únosnost 2“)

$M_{,Ed} = 0,03 \text{ kNm}$  (Prut B983, kombinace „NK – Únosnost 2“)

$$\sigma_{n,ED} = \frac{N_{t,Ed}}{A} = \frac{3,98 \cdot 10^3}{132} = 30,15 \text{ MPa}$$

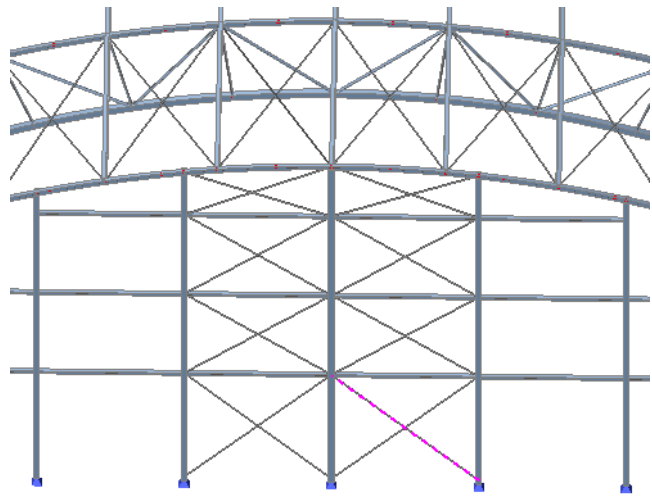
$$\sigma_{m,ED} = \frac{M_{,Ed}}{W_{,El}} = \frac{0,03 \cdot 10^6}{211} = 142,18 \text{ MPa}$$

Posouzení na úrovni napětí:

$$\frac{\sigma_{n,ED}}{f_y/\gamma_{M_0}} + \frac{\sigma_{m,ED}}{f_y/\gamma_{M_0}} \leq 1$$

$$\frac{30,15}{355/1,0} + \frac{142,18}{355/1,0} \leq 1$$

$$0,08 + 0,40 = 0,48 \leq 1$$



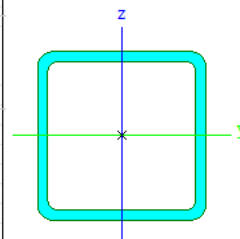
Obrázek 64 - Ztužidlo štítové stěny, prut 983

Využití průřezu 0,48 koresponduje s hodnotou 0,50 ze Scia Engineer.

## 4.8 Paždík štítový

Průřez SHS 100/100/6

Paždík štítový			
Typ	SHS100/100/6.0		
Kód tvaru	Z - Obdélníkové uzavřené průřezy		
Typ tvaru	Tenkostěnný		
Materiál	S 235		
Výroba	válcovaný		
Barva	a		
Posudek rovinného vzpěru y-y, Posudek rovinného vzpěru z-z	a		
A [mm <sup>2</sup> ]	2,22e+03		
A <sub>y</sub> [mm <sup>2</sup> ], A <sub>z</sub> [mm <sup>2</sup> ]	1,11e+03	1,11e+03	
A <sub>L</sub> [m <sup>2</sup> /m], A <sub>0</sub> [m <sup>2</sup> /m]	3,8500e-01	7,2613e-01	
C <sub>y,UCS</sub> [mm], C <sub>z,UCS</sub> [mm]	50	50	
α [deg]	0,00		
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	3,23e+06	3,23e+06	
I <sub>y</sub> [mm], I <sub>z</sub> [mm]	38	38	
W <sub>pl,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	6,46e+04	6,46e+04	
W <sub>pl,y</sub> [mm <sup>3</sup> ], W <sub>pl,z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	7,76e+04	7,76e+04	
M <sub>pl,y</sub> [Nmm], M <sub>pl,z</sub> [Nmm]	1,82e+07	1,82e+07	
M <sub>pl,y</sub> [Nmm], M <sub>pl,z</sub> [Nmm]	1,82e+07	1,82e+07	
d <sub>y</sub> [mm], d <sub>z</sub> [mm]	0	0	
I <sub>c</sub> [mm <sup>4</sup> ], I <sub>w</sub> [mm <sup>6</sup> ]	5,13e+06	5,00e+09	
β <sub>y</sub> [mm], β <sub>z</sub> [mm]	0	0	



Obrázek 65 - Průřezové charakteristiky SHS100/100/6 (z programu Scia Engineer)

## Materiálové charakteristiky

Ocel:	S235
Mez kluzu:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

## Klasifikace průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Stěny:

$$c = h - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 100 - 2 \cdot 6 - 2 \cdot 9 = 70 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{70}{4} = 17,5 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu 1}$$

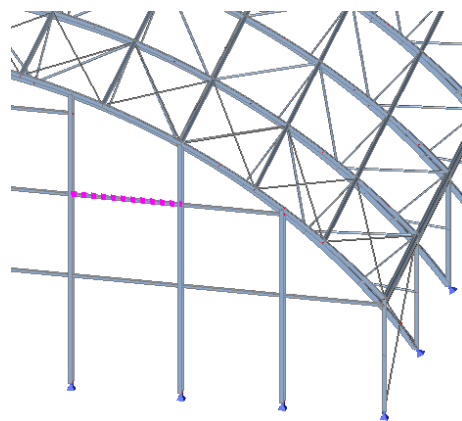
→ průřez třídy 1

### 4.8.1 Prostý tah

$$N_{t,Ed} = 34,97 \text{ kN} \text{ (Prut B969, kombinace „Únosnost 81“)}$$

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{22200 \cdot 235}{1} = 521,70 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{34,97}{521,70} = 0,07 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 66 - Paždík štítový, prut B969

### 4.8.2 Vzpěr

$$N_{c,Ed} = -23,11 \text{ kN} \text{ (Prut B1035, kombinace „Únosnost 98“)}$$

$$I_y = I_z = 3230000 \text{ mm}^4$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = L_{cr,y} = 4,120 \text{ m} \rightarrow \chi_z = \chi_y$$

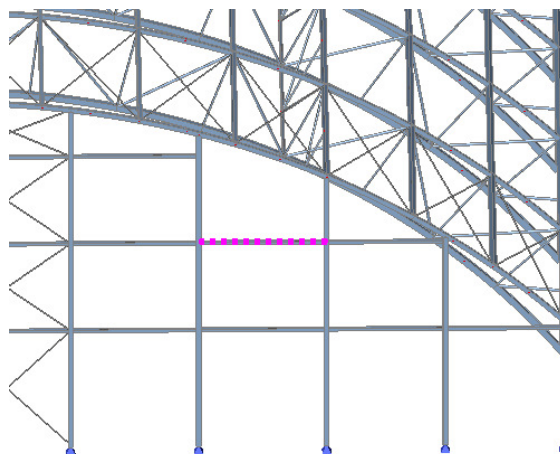
#### Vzpěr na osu y

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 4,120 \text{ m}$$

Kritická síla:

$$\begin{aligned} N_{cr,y} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3,23 \cdot 10^6}{4120^2} = 394,39 \text{ kN} \end{aligned}$$



Obrázek 67 - Paždík štítový, prut B1035

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2220 \cdot 235}{394390}} = 1,15$$

Součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,21$  (křivka a)

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,15 - 0,2) + 1,15^2] = 1,26$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \chi_z = \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,26 + \sqrt{1,26^2 - 1,15^2}} = 0,56$$

### Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,56 \cdot 2220 \cdot 235}{1,00} = 292,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{23,11}{292,15} = 0,08 \leq 1,00 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### 4.8.3 Smyk

#### Smyk ve směru osy z

$V_{z,Ed} = 8,54 \text{ kN}$  (Prut B964, kombinace „Únosnost 1“)

Smyková plocha:

$$A_{v,z} = \frac{A \cdot h}{b + h} = \frac{2220 \cdot 100}{100 + 100} = 1100 \text{ mm}^2$$

Únosnost ve smyku:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1110 \cdot 235}{1,00 \cdot \sqrt{3}} = 150,60 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{8,54}{150,60} = 0,06 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### Smyk ve směru y

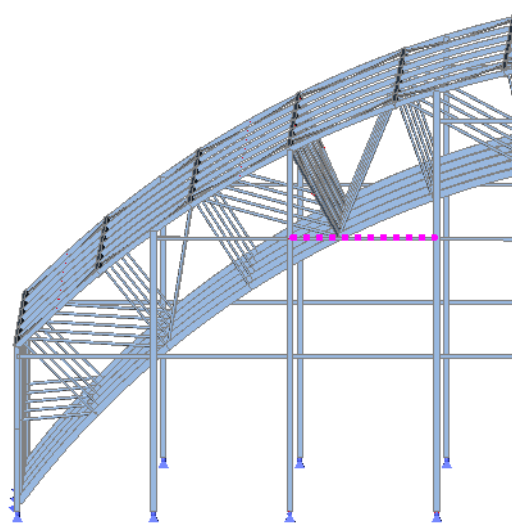
$V_{y,Ed} = 8,64 \text{ kN}$  (Prut B994, kombinace „Únosnost 87“)

Smyková plocha:

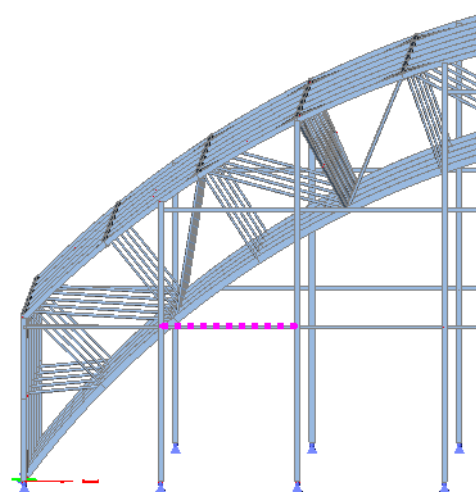
$$A_{v,z} = A_{v,y} = 1100 \text{ mm}^2$$

Únosnost ve smyku:

$$V_{pl,Rd,y} = V_{pl,Rd,z} = 150,60 \text{ kN}$$



Obrázek 68 - Paždík štítový, prut 964



Obrázek 69 - Paždík štítový, prut 994

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,Rd,y}} = \frac{8,64}{150,60} = 0,06 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vliv smyku na ohybovou únosnost lze zanedbat dle kapitoly 6.2.8, čl. (2) normy<sup>5</sup>.

#### 4.8.4 Kombinace ohybu a osové síly

##### Šikmý ohyb

$M_{yEd,max} = 8,79 \text{ kNm}$  (Prut B964 viz kap. 4.8.3, kombinace „Únosnost 1“).

$M_{zEd,max} = 7,55 \text{ kNm}$  (Prut B995, kombinace „Únosnost 75“).

Kritický posudek je na pozici 2,060 m

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	2,28	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{Ed}$	-0,01	kNm
$M_{y,Ed}$	8,79	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Obrázek 70 - Odpovídající vnitřní síly pro  $M_{y,Ed,max}$

Kritický posudek je na pozici 1,910 m

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	-1,35	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{Ed}$	0,06	kNm
$M_{y,Ed}$	2,24	kNm
$M_{z,Ed}$	-7,55	kNm

Obrázek 71 - Odpovídající vnitřní síly pro  $M_{z,Ed,max}$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{w_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{77600 \cdot 235}{1} = 18,23 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 18,23 \text{ kNm}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2220 \cdot 235}{1} = 521,70 \text{ kN}$$

Stanovení parametru  $n$ :

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{2,28}{521,70} = 0,0044$$

Stanovení parametru  $a_w$ :

$$a_w = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} \leq 0,5$$

$$a_w = \frac{2220 - 2 \cdot 100 \cdot 6}{2220} = 0,46 \leq 0,5$$

$$a_w = 0,46$$

Stanovení parametru  $a_f$ :

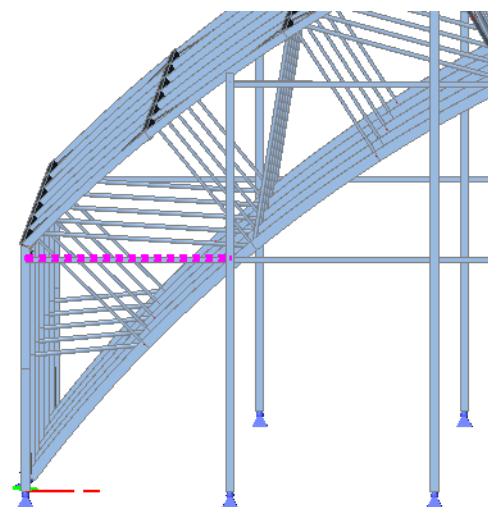
$$a_f = a_w = 0,46$$

Stanovení únosnosti:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_w} = 18,23 \cdot \frac{1 - 0,0044}{1 - 0,5 \cdot 0,46} = 23,57 \leq M_{pl,y,Rd} = 18,23$$

$$M_{N,y,Rd} = 18,23 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{N,y,Rd} = 18,23 \text{ kNm}$$



Obrázek 72 - Paždík štítový, prut 995



Stanovení součinitelů  $\alpha$  a  $\beta$ :

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 * n^2} = \frac{1,66}{1 - 1,13 * 0,0044^2} = 1,66 \leq 6$$

Posouzení na  $M_{zEd,max} + M_{Ed,odp}$ :

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

$$\left[ \frac{2,24}{18,23} \right]^{1,66} + \left[ \frac{7,55}{18,23} \right]^{1,66} \leq 1$$

$$0,03 + 0,23 \leq 1$$

$$0,26 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Posouzení na  $M_{yEd,max} + M_{zEd,odp}$ :

$$\frac{M_{y,Ed,max}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{8,79}{18,23} = 0,48 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vzhledem k nulovému  $M_{zEd,odp}$  při  $M_{yEd,max}$  je zde použit vztah pro prostý ohyb.

## Ohyb a osový tlak

$N_{c,Ed,max} = -23,11 \text{ kN}$  (Prut B1035 viz. kap. 4.8.2, kombinace „Únosnost 98“)

$M_{yEd,max} = 8,79 \text{ kNm}$  (Prut B964 viz kap. 4.8.3, kombinace „Únosnost 1“)

**Kritický posudek je na pozici 2,060 m**

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	-23,11	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{Ed}$	-0,03	kNm
$M_{y,Ed}$	-5,57	kNm
$M_{z,Ed}$	6,51	kNm

Obrázek 73 - Odpovídající vnitřní síly pro  $N_{c,Ed,max}$

**Kritický posudek je na pozici 2,060 m**

Vnitřní síly	Vypočtené	Jednotka
$N_{Ed}$	2,28	kN
$V_{y,Ed}$	0,00	kN
$V_{z,Ed}$	0,00	kN
$T_{Ed}$	-0,01	kNm
$M_{y,Ed}$	8,79	kNm
$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Obrázek 74 - Odpovídající vnitřní síly pro  $M_{y,Ed,max}$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2220 \cdot 235 = 521,70 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = w_{y,pl} \cdot f_y = 77600 \cdot 235 = 18,23 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = M_{y,Rk} = 18,23 \text{ kNm}$$

Stanovení součinitele ekvivalentního

konstantního momentu:

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{M_s} = 0; \psi = 1$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLt} = 0,95$$



Stanovení souč. interakce pro maximální tlak + odpovídající ohybové momenty:

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

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left( 1 + (1,15 - 0,2) \cdot \frac{23,11}{\frac{0,56 \cdot 521,70}{1,00}} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 0,8 \frac{23,11}{\frac{0,56 \cdot 521,70}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,02 \leq 1,01$$

$$k_{yy} = 1,01$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,95 \left( 1 + (2 \cdot 1,15 - 0,6) \frac{23,11}{\frac{0,56 \cdot 521,70}{1,00}} \right) \leq 0,95 \left( 1 + 1,4 \frac{23,11}{\frac{0,56 \cdot 521,70}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,08 \leq 1,06$$

$$k_{zz} = 1,06$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,01 = 0,61$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,06 = 0,64$$

Posouzení na maximální tlak + odpovídající ohybové momenty:

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

$$\frac{23,11}{\frac{0,56 \cdot 521,70}{1,00}} + 1,01 \cdot \frac{5,57 + 0}{\frac{18,23}{1,00}} + 0,64 \cdot \frac{6,51 + 0}{\frac{18,23}{1,00}} \leq 1$$

$$0,08 + 0,31 + 0,23 \leq 1$$

$$0,62 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{23,11}{\frac{0,56 \cdot 521,70}{1,00}} + 0,61 \cdot \frac{5,57 + 0}{\frac{18,23}{1,00}} + 1,06 \cdot \frac{6,51 + 0}{\frac{18,23}{1,00}} \leq 1$$

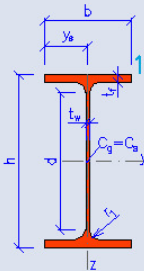
$$0,08 + 0,19 + 0,38 \leq 1$$

$$0,65 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Využití průřezu 0,65 koresponduje s hodnotou 0,67 ze Scia Engineer.**

## 4.9 Sloup

Průřez IPE 300.

IPE300			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
h = 300 mm		Osa y	Osa z
b = 150 mm		$I_y = 8.36E+7 \text{ mm}^4$	$I_z = 6.04E+6 \text{ mm}^4$
$t_f = 10.7 \text{ mm}$		$W_{y1} = 5.57E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 8.05E+4 \text{ mm}^3$
$t_w = 7.1 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 6.28E+5 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 1.25E+5 \text{ mm}^3$
$r_1 = 15 \text{ mm}$		$i_y = 125.0 \text{ mm}$	$i_z = 33.50 \text{ mm}$
$y_s = 75 \text{ mm}$		$S_y = 3.14E+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 6.26E+4 \text{ mm}^3$
d = 248.6 mm		Kroucení a klopení	
A = 5380 mm <sup>2</sup>		$I_w = 1.26E+11 \text{ mm}^6$	$I_t = 2.01E+5 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.16 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	G = 42.2 kg·m <sup>-1</sup>	$i_w = 37.50 \text{ mm}$	$i_{pc} = 129.0 \text{ mm}$

Obrázek 75 - Průřezové charakteristiky IPE 300 (dle tabulek<sup>12)</sup>)

### Materiálové charakteristiky

Ocel:	S235
Mez kluzu:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

### Klasifikace průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

zatřídění stojiny:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{248,6}{7,1} = 25,0 \leq 38 \cdot \varepsilon = 38 \cdot 1 = 33 \rightarrow \text{třída průřezu } \mathbf{2}$$

zatřídění pásnice:

$$c = \frac{b - t_w - 2r_1}{2} = \frac{150 - 7,1 - 2 \cdot 15}{2} = 56,45$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{56,45}{10,7} = 5,28 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \rightarrow \text{třída průřezu } \mathbf{1}$$

→ celý průřez třídy 2

### 4.9.1 Prostý tah

$N_{t,Ed} = 22,48kN$  (Prut B992, kombinace „Únosnost 88“)

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5380 \cdot 235}{1} = 1264,30kN$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{22,48}{1264,30} = 0,02 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### 4.9.2 Vzpěr

$N_{c,Ed} = -77,81kN$  (Prut B998, kombinace „Únosnost 40“)

#### Vzpěr na osu y

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = 13,000m$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 8,36 \cdot 10^7}{13000^2} = 1025,27kN$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5380 \cdot 235}{1025270}} = 1,11$$

Součinitel imperfekce:

$\alpha = 0,21$  (křivka a)

$$\begin{aligned} \phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,11 - 0,2) + 1,11^2] = 1,21 \end{aligned}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,21 + \sqrt{1,21^2 - 1,11^2}} = 0,59$$

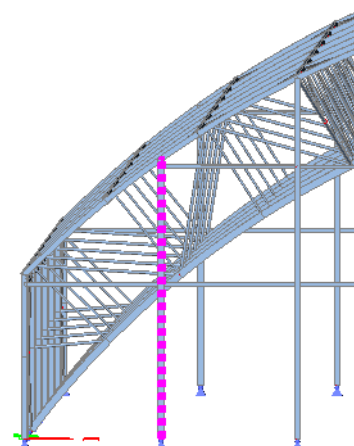
#### Vzpěr na osu z

Vzpěrná délka:

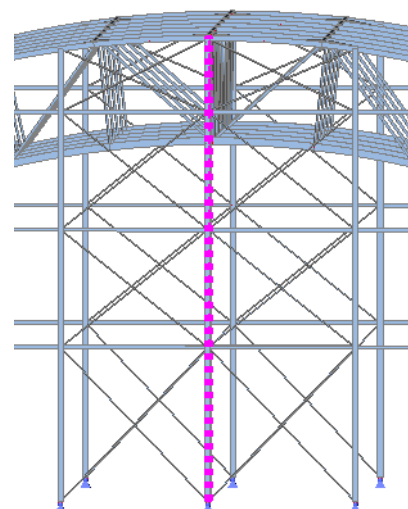
$L_{cr,z} = 4,330m$  (vychází z geometrie ztužidla štítové stěny)

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6,04 \cdot 10^6}{4330^2} = 667,70kN$$



Obrázek 76 - Sloup, prut B992



Obrázek 77 - Sloup, prut B998

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{5380 \cdot 235}{667700}} = 1,38$$

Součinitel imperfekce:

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,38 - 0,2) + 1,38^2] = 1,65$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,65 + \sqrt{1,65^2 - 1,38^2}} = 0,39$$

### Vzpěr zkroucením

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,T} = 4,330m$$

$$i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2} = \sqrt{125^2 + 33,5^2 + 0 + 0} = 129,4mm$$

Kritická síla:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left( G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{129,4^2} \cdot \left( 81000 \cdot 2,01 \cdot 10^5 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,26 \cdot 10^{11}}{4330^2} \right)$$

$$N_{cr,T} = 1804kN$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{5380 \cdot 235}{1804000}} = 0,84$$

Součinitel imperfekce:

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,84 - 0,2) + 0,84^2] = 0,96$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,96 + \sqrt{0,96^2 - 0,84^2}} = 0,70$$

### Vzpěrná únosnost

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z; \chi_T) = \min(0,59; 0,39; 0,70) = 0,39$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,39 \cdot 5380 \cdot 235}{1,00} = 493,08kN$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{77,81}{494,08} = 0,16 \leq 1,00 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### 4.9.3 Smyk

#### Smyk ve směru osy z

$V_{z,Ed} = 20,15kN$  (Prut B1001, kombinace „Únosnost 75“)

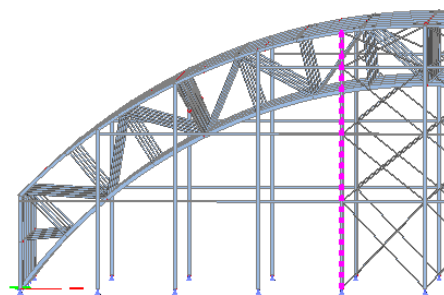
Smyková plocha:

$$A_{v,z} = \eta \cdot h_w \cdot t_w = \eta \cdot d \cdot t_w = 1,0 \cdot 248,6 \cdot 7,1 \doteq 1765$$

Únosnost ve smyku:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1765 \cdot 235}{1,00 \cdot \sqrt{3}} = 239,47kN$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{20,15}{239,47} = 0,08 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 78 - Sloup, prut B1001

#### Smyk ve směru y

$V_{y,Ed} = 32,00kN$  (Prut B812, kombinace „Únosnost 81“)

Smyková plocha:

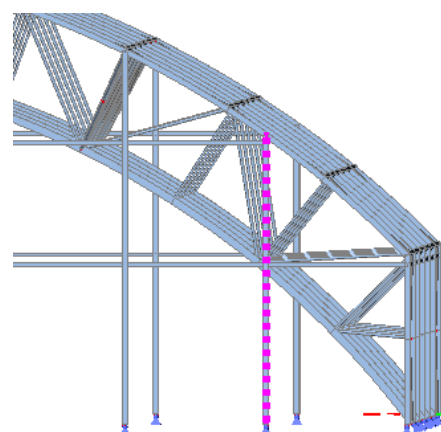
$$A_{v,y} = A - \sum(h_w \cdot t_w) = A - \sum(d \cdot t_w) =$$

$$= 5380 - (248,6 \cdot 7,1) \doteq 3614mm^2$$

Únosnost ve smyku:

$$V_{pl,Rd,y} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{3614 \cdot 235}{1,00 \cdot \sqrt{3}} = 490,33kN$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,Rd,y}} = \frac{32,00}{490,33} = 0,07 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 79 - Sloup, prut B812

Vliv smyku na ohybovou únosnost lze zanedbat dle kapitoly 6.2.8, čl. (2) normy<sup>5</sup>.

### 4.9.4 Ohyb s vlivem klopení

Klopení při ohybu kolem osy y.

$M_{y,Ed} = 68,85kNm$  (Prut B816, kombinace „Únosnost 77“)

Bezrozměrný parametr kroucení:

$L = 4,330 m$  (vychází z geometrie ztužidla štítové stěny)

$k_w = 1$

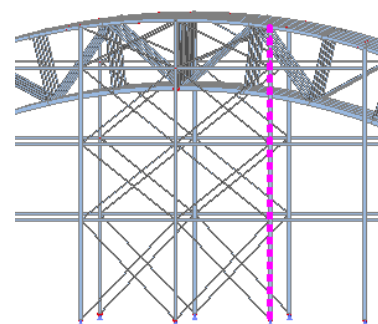
$$K_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 4330} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,26 \cdot 10^{11}}{81000 \cdot 2,01 \cdot 10^5}} = 0,92$$

Bezrozměrný parametr působíště zatížení

vzhledem ke středu smyku:

$z_g = -z_a = -550mm$  (uvažována vzdálenost od středu smyku a líce prosklené fasády)

$k_z = k_w = 1$



Obrázek 80 - Sloup, prut B816

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{K_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot -550}{1 \cdot 4330} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 6,04 \cdot 10^6}{81000 \cdot 2,01 \cdot 10^5}} = -3,52$$

Poměr koncových momentů:

$$\psi = 0$$

Součinitele momentu na klopení: (dle [5], tab. NB.3.1)

$$k_{wt} = 0,92 \leq C_{1,1} = 1,85 \rightarrow C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} \leq C_{1,1}$$

$$C_1 = 1,77 + (1,85 - 1,77) \cdot 0,92 \leq 1,85$$

$$C_1 = 1,84 \leq 1,85$$

$$C_1 = 1,84$$

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = 1$$

Bezrozměrný kritický moment:

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{K_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right] = \\ &= \frac{1,84}{1} \cdot [\sqrt{1 + 0,92^2 + (0 \cdot -3,52)^2} - 0 \cdot 1,36] = 2,50 \end{aligned}$$

Pružný kritický moment:

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = \\ &= 2,50 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 6,04 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 2,01 \cdot 10^5}}{4330} = 260,66 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{w_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,28 \cdot 10^5 \cdot 235}{260,66 \cdot 10^6}} = 0,75$$

Součinitel imperfekce:

$$\frac{h}{b} = \frac{300}{150} = 2 \leq 2 \rightarrow \alpha = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,75 - 0,2) + 0,75^2] = 0,87$$

Součinitel klopení:

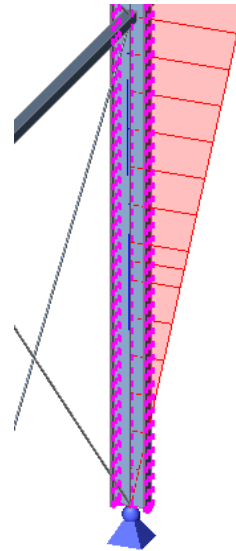
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,87 + \sqrt{0,87^2 - 0,75^2}} = 0,76$$

Opravný součinitel:

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot \psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot 0} = 0,75$$

Redukční součinitel:

$$\begin{aligned} f &= 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot [1 - 2,0 \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] = \\ &= 1 - 0,5 \cdot (1 - 0,75) \cdot [1 - 2,0 \cdot (0,75 - 0,8)^2] = 0,88 \leq 1 \end{aligned}$$



Obrázek 81 - Průběh  $M_y, ED$  na posuzovaném úseku



Obrázek 82 - Tvar momentového obrazce (dle tab. NB.3.1 normy<sup>5</sup>)

Modifikovaný součinitel klopení:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,76}{0,88} = 0,86$$

Návrhový moment únosnosti na klopení:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT,mod} \cdot \frac{w_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,86 \cdot \frac{6,28 \cdot 10^5 \cdot 235}{1} = 126,91 kNm$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{68,85}{126,91} = 0,54 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### 4.9.5 Kombinace ohybu a osově síly

##### 4.9.5.1 Ohyb a osový tah

$N_{Ed} = 22,48 kN$  (Prut B992, kombinace „Únosnost 88“)

Vliv osově síly lze zanedbat při splnění následujících podmínek:

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

$$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$22,48 \leq 0,25 \cdot \frac{5380 \cdot 235}{1}$$

$$22,48 \leq 316,07 \rightarrow \text{splňuje}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot d \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$22,48 \leq \frac{0,5 \cdot 248,6 \cdot 7,1 \cdot 235}{1}$$

$$22,48 \leq 207,39 \rightarrow \text{splňuje}$$

Interakci osového tahu a ohybu lze zanedbat.

##### 4.9.5.2 Ohyb a osový tlak

$N_{c,Ed,max} = -77,81 kN$  (Prut B998 viz. kap. 4.9.2, kombinace „Únosnost 40“)

$M_{y,Ed,odp} = 4,75 kNm$

$M_{z,Ed,odp} \doteq 0 kNm$

$M_{y,Ed,max} = 68,85 kNm$  (Prut B816 viz. kap. 4.9.4, kombinace „Únosnost 77“)

$M_{z,Ed,odp} \doteq 0 kNm$

$N_{c,Ed,odp} = -35,32 kN$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 5380 \cdot 235 = 1264,30 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = w_{y,pl} \cdot f_y = 6,28 \cdot 10^5 \cdot 235 = 147,58 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = w_{z,pl} \cdot f_y = 1,25 \cdot 10^5 \cdot 235 = 29,37 \text{ kNm}$$

Stanovení součinitele ekvivalentního konstantního momentu:

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{M_s} = 0; \psi = 1$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLt} = 0,90$$

Stanovení souč. interakce pro maximální tlak + odpovídající ohybové momenty:

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

$$k_{yy} = 0,90 \cdot (1 + (1,11 - 0,2) \cdot \frac{77,81}{\frac{0,59 \cdot 1264,30}{1,00}}) \leq 0,90 \left( 1 + 0,8 \frac{77,81}{\frac{0,59 \cdot 1264,30}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,99 \leq 0,98$$

$$k_{yy} = 0,98$$

$$k_{zz} = c_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq c_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,90 \left( 1 + (2 \cdot 1,38 - 0,6) \frac{77,81}{\frac{0,39 \cdot 1264,30}{1,00}} \right) \leq 0,90 \left( 1 + 1,4 \frac{77,81}{\frac{0,39 \cdot 1264,30}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,21 \leq 1,10$$

$$k_{zz} = 1,10$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,98 = 0,59$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,10 = 0,66$$

Posouzení na maximální tlak + odpovídající ohybové momenty:

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

$$\frac{77,81}{\frac{0,59 \cdot 1264,30}{1,00}} + 0,98 \cdot \frac{4,75 + 0}{\frac{0,86 \cdot 147,58}{1,00}} + 0,66 \cdot \frac{0 + 0}{\frac{29,37}{1,00}} \leq 1$$

$$0,010 + 0,04 + 0,00 \leq 1$$

$$0,14 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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



$$\frac{77,81}{\frac{0,39 \cdot 1264,30}{1,00}} + 0,59 \cdot \frac{4,75 + 0}{\frac{0,86 \cdot 147,58}{1,00}} + 1,10 \cdot \frac{0 + 0}{\frac{29,37}{1,00}} \leq 1$$

$$0,16 + 0,02 + 0,00 \leq 1$$

$$0,18 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Stanovení souč. interakce pro maximální ohybové momenty + odpovídající tlak:

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

$$k_{yy} = 0,90 \cdot (1 + (1,11 - 0,2) \cdot \frac{35,32}{\frac{0,59 \cdot 1264,30}{1,00}}) \leq 0,90 \left( 1 + 0,8 \frac{35,32}{\frac{0,59 \cdot 1264,30}{1,00}} \right)$$

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

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

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,90 \left( 1 + (2 \cdot 1,38 - 0,6) \frac{35,32}{\frac{0,39 \cdot 1264,30}{1,00}} \right) \leq 0,90 \left( 1 + 1,4 \frac{35,32}{\frac{0,39 \cdot 1264,30}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,04 \leq 0,99$$

$$k_{zz} = 0,99$$

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

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,99 = 0,59$$

Posouzení na maximální ohybové momenty + odpovídající tlak:

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

$$\frac{35,32}{\frac{0,59 \cdot 1264,30}{1,00}} + 0,94 \cdot \frac{68,85 + 0}{\frac{0,86 \cdot 147,58}{1,00}} + 0,59 \cdot \frac{0 + 0}{\frac{29,37}{1,00}} \leq 1$$

$$0,05 + 0,51 + 0,00 \leq 1$$

$$0,56 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{35,32}{0,39 \cdot 1264,30} + 0,56 \cdot \frac{68,85 + 0}{0,86 \cdot 147,58} + 0,99 \cdot \frac{0 + 0}{29,37} \leq 1$$

$$0,07 + 0,30 + 0,00 \leq 1$$

$$0,37 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Využití průřezu 0,56 koresponduje s hodnotou 0,59 ze Scia Engineer.

## 5 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

### 5.1 Střešní plášť

Nosná složka střešního pláště:

trapézový plech 40/160 tl. 1,25 mm

Statické působení:

spojitý nosník o 2 polích

Rozpětí pole:

$$L = 3,2m$$

#### Maximální tlak:

Vlastní tíha:

$$g_{1,k} = 0,28 \frac{kN}{m^2}$$

Sníh navátý (nad vaznicí č. 11):

$$q_{s,k} = 1,605 \frac{kN}{m^2}$$

Odklon střešní roviny:

$$\alpha = 71^\circ$$

$$\rightarrow q_{e,k} = (\gamma_F * g_{1,k} + \gamma_F * q_{s,k}) * \sin(\alpha) = (1,0 * 0,28 + 1,0 * 1,605) * \sin(71) \doteq 1,78 \frac{kN}{m^2}$$

#### Maximální sání:

Vlastní tíha:

$$g_{1,k} = 0,28 \frac{kN}{m^2}$$

Vítr podélný (oblast G):

$$w_e(G) = -0,952 \frac{kN}{m^2}$$

$$\rightarrow q_{e,k} = \gamma_F * g_{1,k} + \gamma_F * w_e(G) = 1,00 * 0,28 + 1,0 * -0,952 \doteq -0,67 \frac{kN}{m^2}$$

Rozhoduje zatížení tlakem.

#### Posouzení:

Maximální přípustná hodnota zatížení vychází z katalogu výrobce<sup>11</sup> (viz. kapitola 4.1.1, obr. 22).

$$q_{Ek} = 1,78 \frac{kN}{m^2} \leq q_{Ek,max} = 1,82 \frac{kN}{m^2} \rightarrow \text{vyhoví}$$

## 5.2 Vaznice – střední

Průřez IPE 220.

L=5500 mm

### Svislý průhyb

$u_z = 9,5 \text{ mm}$  (Pрут B690, kombinace „Použitelnost 6“)

$$u_{z,lim} = \frac{L}{200} = \frac{5500}{200} = 27,5 \text{ mm}$$

$$u_z \leq u_{z,lim}$$

$$9,5 \leq 27,5 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

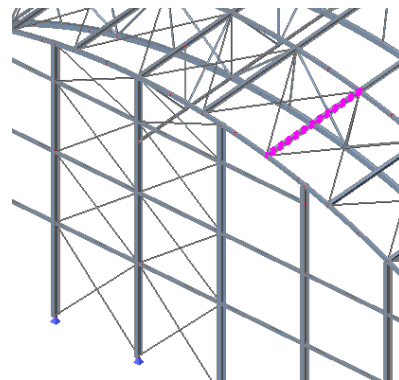
### Vodorovný průhyb

$u_y = 21,8 \text{ mm}$  (Pрут B430, kombinace „Použitelnost 6“)

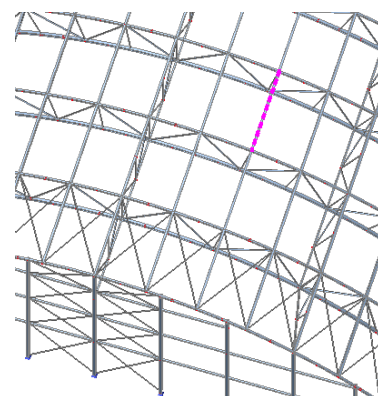
$$u_{y,lim} = \frac{L}{200} = \frac{5500}{200} = 27,5 \text{ mm}$$

$$u_y \leq u_{y,lim}$$

$$21,8 \leq 27,5 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 83 - Vaznice střední, prut B690



Obrázek 84 - Vaznice střední, prut B430

## 5.3 Vaznice - krajní

Průřez RHS 200/120/5

L=5500 mm

### Svislý průhyb

$u_z = 19,4 \text{ mm}$  (Pрут B241, kombinace „Použitelnost 6“)

$$u_{z,lim} = \frac{L}{200} = \frac{5500}{200} = 27,5 \text{ mm}$$

$$u_z \leq u_{z,lim}$$

$$19,4 \leq 27,5 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

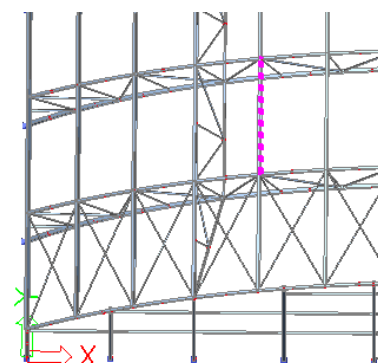
### Vodorovný průhyb

$u_y = 21,5 \text{ mm}$  (Pрут B135, kombinace „Použitelnost 18“)

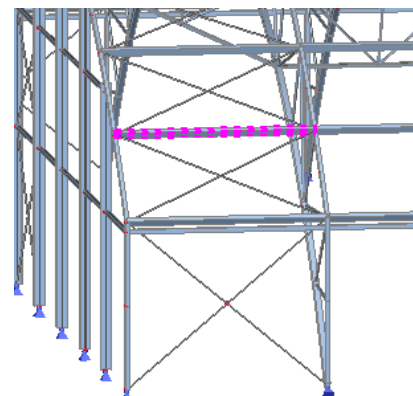
$$u_{y,lim} = \frac{L}{200} = \frac{5500}{200} = 27,5 \text{ mm}$$

$$u_y \leq u_{y,lim}$$

$$21,5 \leq 27,5 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 85 - Vaznice krajní, prut B241



Obrázek 86 - Vaznice krajní, prut B135

## 5.4 Vazník

$L = 40000 \text{ mm}$

### Svislý průhyb

$u_z = 7,8 \text{ mm}$

(Vazník řady D, k. „Použitelnost 6“)

$$u_{z,lim} = \frac{L}{250} = \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm}$$

$u_z \leq u_{z,lim}$

$7,8 \leq 160 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$

### Vodorovný průhyb

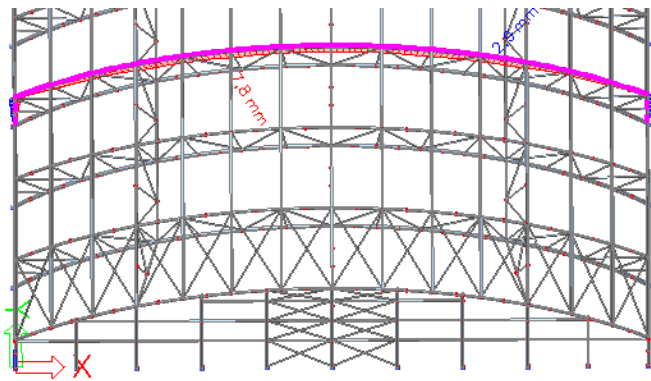
$u_y = 40,9 \text{ mm}$

(Vazník řady B, k. „NK – Použitelnost 1“)

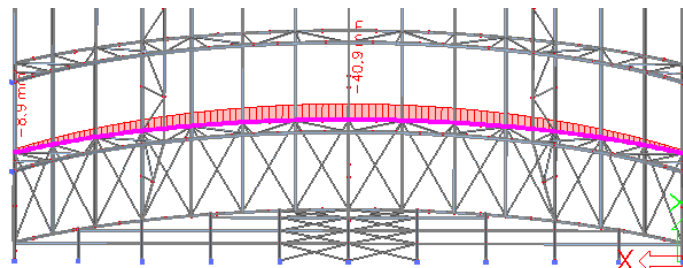
$$u_{y,lim} = \frac{L}{250} = \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm}$$

$u_y \leq u_{y,lim}$

$40,9 \leq 160 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$



Obrázek 87 – Svislý průhyb, vazník řada D



Obrázek 88 – Vodorovný průhyb, vazník řada B

## 5.5 Sloup

### Vodorovný průhyb

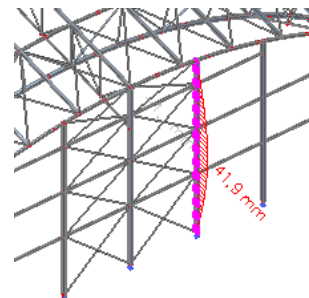
$u_z = 41,9 \text{ mm}$  (prut 816, kombinace „Použitelnost 26“)

$L = 12695 \text{ mm}$

$$u_{z,lim} = \frac{L}{200} = \frac{12695}{200} = 63,4 \text{ mm}$$

$u_z \leq u_{z,lim}$

$41,9 \leq 63,4 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$



Obrázek 89 – Vodorovný průhyb sloupu, prut B816)

## 5.6 Paždík

### Svislý průhyb

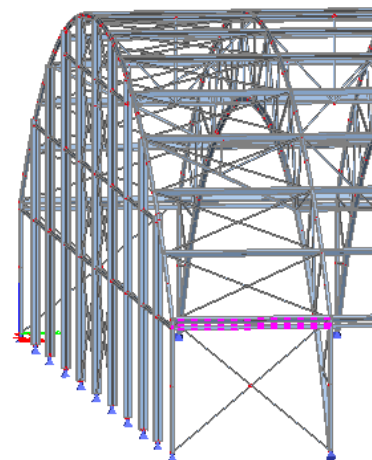
$u_z = 19,8 \text{ mm}$  (Prut B777, kombinace „Použitelnost 25“)

$L = 5500 \text{ mm}$

$$u_{y,lim} = \frac{L}{200} = \frac{5500}{200} = 27,5 \text{ mm}$$

$u_y \leq u_{y,lim}$

$19,8 \leq 27,5 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$



Obrázek 90 – Paždík boční, prut B777

## Vodorovný průhyb

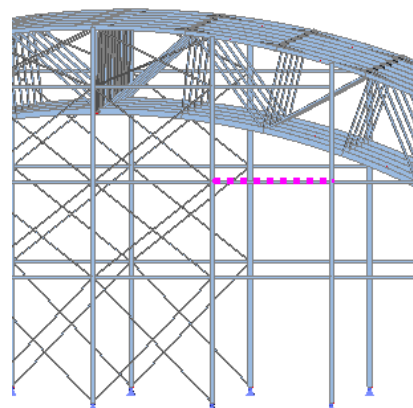
$u_y = 17,1 \text{ mm}$  (Prut B1006, kombinace „Použitelnost 24“)

$L = 4120 \text{ mm}$

$$u_{y,lim} = \frac{L}{200} = \frac{4120}{200} = 20,6 \text{ mm}$$

$$u_y \leq u_{y,lim}$$

$$17,1 \leq 20,6 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 91 - Paždík štítový, prut B1006

## 5.7 Globální deformace

### 5.7.1 Podélný směr

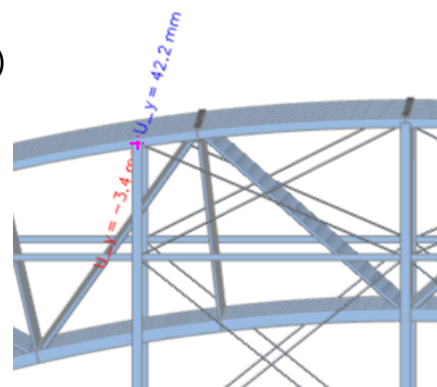
$u_y = 42,2 \text{ mm}$  (Uzel N802, kombinace NK – Použitelnost 1)

$h = 12695 \text{ mm}$

$$u_{y,lim} = \frac{h}{300} = \frac{12695}{300} = 42,3 \text{ mm}$$

$$u_y \leq u_{y,lim}$$

$$42,2 \text{ mm} \leq 42,3 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



### 5.7.2 Příčný směr

Obrázek 92 - Globální deformace v podélném směru

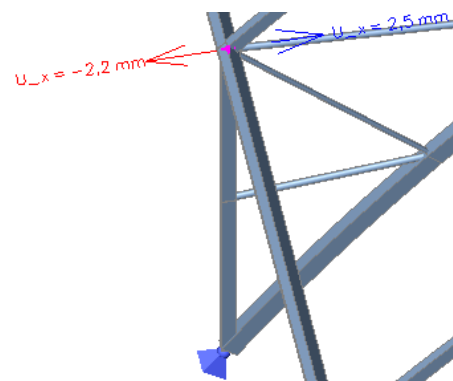
$u_x = 2,5 \text{ mm}$  (Uzel N286 příčné vazby D, k. Použitelnost 31)

$h = 4596 \text{ mm}$

$$u_{x,lim} = \frac{h}{300} = \frac{4596}{300} = 15,32 \text{ mm}$$

$$u_x \leq u_{x,lim}$$

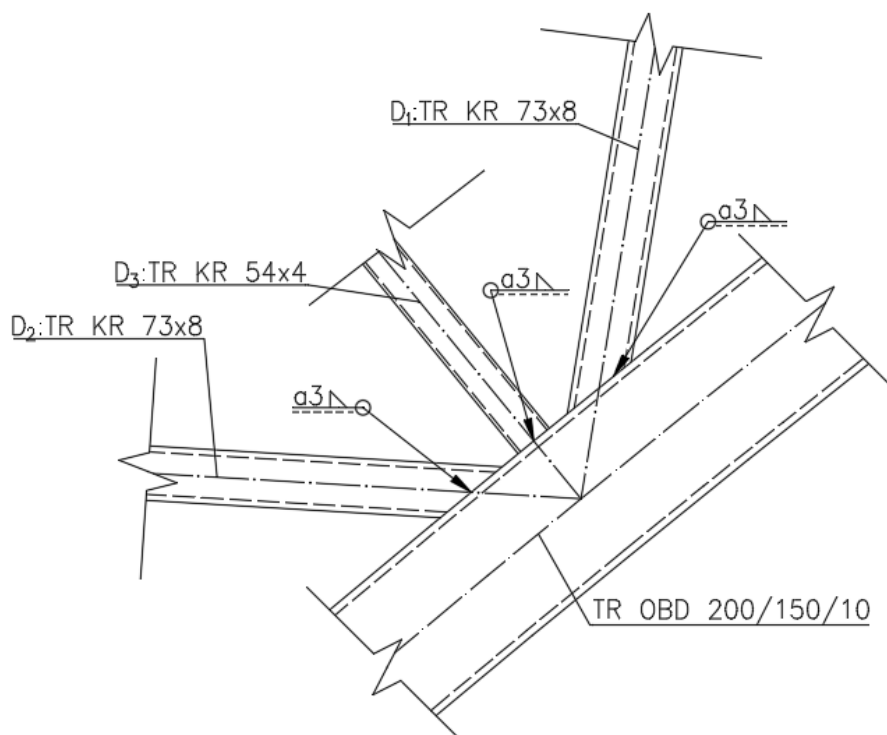
$$2,5 \text{ mm} \leq 15,32 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 93 - Globální deformace v příčném směru

## 6 SPOJE

### 6.1 Přípoj diagonál a svislice k dolnímu pásu



#### Vnitřní síly

Obrázek 94 - Přípoj diagonál a svislice k dolnímu pásu

$$N_{Ed,0} = -248,37 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,1} = -78,23 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,2} = 78,56 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,3} = -23,48 \text{ kN}$$

#### Rozměry prvků, geometrie

$$t_0 = 10 \text{ mm}, t_1 = 8 \text{ mm}, t_2 = 8 \text{ mm}, t_3 = 4 \text{ mm}$$

$$b_0 = 150 \text{ mm}, h_0 = 200 \text{ mm}, d_1 = d_2 = 73 \text{ mm}, d_3 = 54 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 41,4^\circ, \theta_2 = 42,7^\circ, \theta_3 = 90^\circ$$

#### Rozsah platnosti

Kontrola mezery:

$$\beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} = \frac{73 + 73 + 54}{2 \cdot 150} = 0,67$$

$$g = 27,5 \text{ mm}$$

$$0,5 \cdot (1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1,5 \cdot (1 - \beta)$$

$$0,5 \cdot (1 - 0,67) \leq \frac{27,5}{150} \leq 1,5 \cdot (1 - 0,67)$$

$$0,17 \leq 0,18 \leq 0,50 \rightarrow \text{vyhoví.}$$

Kontrola geometrie:

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{73}{150} = 0,49 \geq 0,35 \wedge \frac{d_1}{b_0} = 0,49 \geq 0,1 + 0,01 \cdot \frac{b_0}{t_0} = 0,1 + 0,01 \cdot \frac{150}{10} = 0,25 \rightarrow \text{vyhoví.}$$

$$\frac{d_2}{b_0} = \frac{73}{150} = 0,49 \geq 0,35 \wedge \frac{d_2}{b_0} = 0,49 \geq 0,1 + 0,01 \cdot \frac{b_0}{t_0} = 0,1 + 0,01 \cdot \frac{150}{10} = 0,25 \rightarrow \text{vyhoví.}$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{73}{8} = 9,1 \leq 35 \rightarrow \text{vyhoví.}$$

$$\frac{d_2}{t_2} = \frac{73}{8} = 9,1 \leq 35 \rightarrow \text{vyhoví.}$$

$$0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} = \frac{200}{150} = 1,33 \leq 2 \rightarrow \text{vyhoví.}$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{150}{10} = 15 \leq 35 \rightarrow \text{vyhoví.}$$

## 6.1.1 Posouzení svarů

### 6.1.1.1 Svar diagonál k dolnímu pásu

Diagonály budou ovařeny dokola koutovým svarem.

Navržen svar  $a = 3 \text{ mm}$ ,  $L \doteq 229 \text{ mm}$

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L = 229 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost:

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$F_{w,Rd,1} = F_{w,Rd,2} = \frac{f_u \cdot a \cdot L_{eff}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 3 \cdot 229}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 142,79 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed,1}}{F_{w,Rd}} = \frac{78,23}{142,79} = 0,55 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{N_{Ed,2}}{F_{w,Rd}} = \frac{78,56}{142,79} = 0,55 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### 6.1.1.2 Svar svislice k dolnímu pásu

Svislice budou ovařeny dokola koutovým svarem.

Navržen svar  $a = 3 \text{ mm}$ ,  $L \doteq 169 \text{ mm}$

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L = 169 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost:

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u \cdot a \cdot L_{eff}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 3 \cdot 169}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 105,37 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed,3}}{F_{w,Rd}} = \frac{23,48}{105,37} = 0,22 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## 6.1.2 Posouzení styčnicku dle druhu porušení

### Porušení povrchu pásu

$$N_{Ed,0} = 248,37 \text{ kN (tlak)}$$

Vliv ohybového momentu lze pro jeho nepatrnou velikost zanedbat.

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{Ed,0}}{A_0} + \frac{M_{Ed,0}}{W_{el,0}} = \frac{248370}{6490} + 0 = 38,3 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y,0}} = \frac{38,3}{235} = 0,163 \rightarrow K_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,163}{0,67} = 1,20$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{150}{2 \cdot 10} = 7,5$$

Únosnost tlačené diagonály

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot K_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin(\theta_1)} \cdot \left( \frac{2 \cdot d_1 + 2 \cdot d_2 + 2 \cdot d_3}{6 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot 1,20 \cdot 235 \cdot 10^2 \cdot \sqrt{7,5}}{\sin(41,4)} \cdot \left( \frac{2 \cdot 73 + 2 \cdot 73 + 2 \cdot 54}{6 \cdot 150} \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 362,8 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{Ed,1} \cdot \sin(\theta_1) + N_{Ed,3} \cdot \sin(\theta_3) \leq N_{1,Rd} \cdot \sin(\theta_1)$$

$$78,23 \cdot \sin(41,4) + 23,48 \cdot \sin(90) \leq 362,8 \cdot \sin(41,4)$$

$$75,21 \text{ kN} \leq 239,9 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

**Poznámka:** Jelikož norma<sup>6</sup> neuvádí vztahy pro styčnick KT pro následující druhy porušení, bude styčnick nadále posuzován jako styčnick K (bez svislice).



**Porušení pásu smykem**

$\alpha = 0$  (pro kruhové mezipásové pruty)

Smyková plocha:

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 = (2 \cdot 200 + 0) \cdot 10 = 4000 \text{ mm}^2$$

Únosnost mezipásových prutů:

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{235 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot \sin(41,4)}}{1,0} = 820,6 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_2)}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{235 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot \sin(42,7)}}{1,0} = 800,2 \text{ kN}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_3)}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{235 \cdot 2560}{\sqrt{3} \cdot \sin(90)}}{1,0} = 542,7 \text{ kN}$$

Únosnost spodního pásu:

$$N_{0,Rd} = \frac{(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}}\right)^2}}{\gamma_{M5}}$$

$$N_{0,Rd} = \frac{(6490 - 4000) \cdot 235 + 4000 \cdot 235 \cdot \sqrt{1 - 0}}{1,0} = 1525,1 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed,1}}{N_{1,Rd}} = \frac{78,23}{820,6} = 0,10 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{N_{Ed,2}}{N_{2,Rd}} = \frac{78,56}{800,2} = 0,10 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{N_{Ed,3}}{N_{3,Rd}} = \frac{23,48}{542,7} = 0,04 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{N_{Ed,0}}{N_{0,Rd}} = \frac{248,37}{1525,1} = 0,16 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

**Porušení mezipásového prutu**

$$b_{eff,1} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{y1} \cdot t_1} \cdot d_1 = \frac{10}{\frac{150}{10}} \cdot \frac{235 \cdot 10}{235 \cdot 8} \cdot 73 = 60 \text{ mm} \leq d_1 = 73 \text{ mm}$$

$$b_{eff,2} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{y2} \cdot t_2} \cdot d_2 = \frac{10}{\frac{150}{10}} \cdot \frac{235 \cdot 10}{235 \cdot 8} \cdot 73 = 60 \text{ mm} \leq d_2 = 73 \text{ mm}$$

$$b_{eff,3} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{y3} \cdot t_3} \cdot d_3 = \frac{10}{\frac{150}{10}} \cdot \frac{235 \cdot 10}{235 \cdot 4} \cdot 54 = 90mm \leq d_3 = 54mm \rightarrow b_{eff,3} = 54mm$$

Stanovení únosnosti mezipásových prutů:

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y1} \cdot t_1 \cdot (2 \cdot d_1 - 4 \cdot t_1 + d_1 + b_{eff,1})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{235 \cdot 8 \cdot (2 \cdot 73 - 4 \cdot 8 + 73 + 60)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 364,7 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y2} \cdot t_2 \cdot (2 \cdot d_2 - 4 \cdot t_2 + d_2 + b_{eff,2})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{235 \cdot 8 \cdot (2 \cdot 73 - 4 \cdot 8 + 73 + 60)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 364,7 \text{ kN}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{f_{y3} \cdot t_3 \cdot (2 \cdot d_3 - 4 \cdot t_3 + d_3 + b_{eff,3})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{235 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 54 - 4 \cdot 4 + 54 + 54)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 147,0 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed,1}}{N_{1,Rd}} = \frac{78,23}{364,7} = 0,21 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{N_{Ed,2}}{N_{2,Rd}} = \frac{78,56}{364,7} = 0,22 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{N_{Ed,3}}{N_{3,Rd}} = \frac{23,48}{147,0} = 0,16 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### Prolomení smykem

$$\beta \leq 1 - \frac{1}{\gamma}$$

$$0,67 \leq 1 - \frac{1}{7,5} = 87$$

$$b_{e,p,1} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot d_1 = \frac{10}{\frac{150}{10}} \cdot 73 = 48mm \leq d_1 = 73mm$$

$$b_{e,p,2} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot d_2 = \frac{10}{\frac{150}{10}} \cdot 73 = 48mm \leq d_2 = 73mm$$

$$b_{e,p,3} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} \cdot d_3 = \frac{10}{\frac{150}{10}} \cdot 54 = 36mm \leq d_3 = 54mm$$

Stanovení únosnosti mezipásových prutů:

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)} \cdot (\frac{2 \cdot d_1}{\sin(\theta_1)} + d_1 + b_{e,p,1})}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{235 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot \sin(41,4)} \cdot \left( \frac{2 \cdot 73}{\sin(41,4)} + 73 + 48 \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 550,7 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_2)} \cdot \left( \frac{2 \cdot d_2}{\sin(\theta_2)} + d_2 + b_{e,p,2} \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{235 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot \sin(42,7)} \cdot \left( \frac{2 \cdot 73}{\sin(42,7)} + 73 + 48 \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 528,4 \text{ kN}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_3)} \cdot \left( \frac{2 \cdot d_3}{\sin(\theta_3)} + d_3 + b_{e,p,3} \right)}{\gamma_{M5}} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{\frac{235 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot \sin(90)} \cdot \left( \frac{2 \cdot 54}{\sin(90)} + 54 + 36 \right)}{1,0} \cdot \frac{\pi}{4} = 210,9 \text{ kN}$$

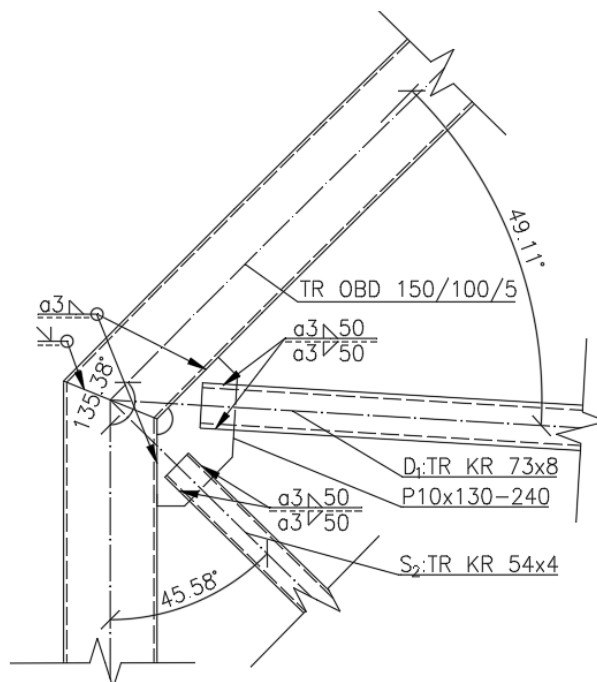
Posouzení:

$$\frac{N_{Ed,1}}{N_{1,Rd}} = \frac{78,23}{550,7} = 0,14 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{N_{Ed,2}}{N_{2,Rd}} = \frac{78,56}{528,4} = 0,15 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{N_{Ed,3}}{N_{3,Rd}} = \frac{23,48}{210,9} = 0,11 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## 6.2 Přípoj diagonály a svislice k zalomenému hornímu pásu



Obrázek 95 – Přípoj diagonály a svislice k zalomenému hornímu pásu

## Vnitřní síly

$$N_{Ed,0} = -104,5 \text{ kN}, M_{Ed,0,odp} = M_{y,Ed,odp,0} = 1,68 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,0} = M_{y,Ed,0} = 6,64 \text{ kNm}, N_{Ed,0,odp} = -54,57 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,1} = 78,56 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,2} = -28,77 \text{ kN}$$

## Rozměry prvků, geometrie

$$t_0 = 5 \text{ mm}, t_1 = 8 \text{ mm}, t_2 = 4 \text{ mm}, t_{pl} = 10 \text{ mm}$$

$$b_0 = 100 \text{ mm}, h_0 = 150 \text{ mm}, d_1 = 73 \text{ mm}, d_2 = 54 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 49,1^\circ, \theta_2 = 45,6^\circ, \theta = 135,4^\circ$$

## Materiálové charakteristiky

Veškeré prvky z oceli S235

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

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

### 6.2.1 Posouzení zalomení horního pásu

Navržen tupý svar s plným provařením. Aby bylo možné tento svar provést, musí být splněna 2 následující kritéria:

$$1) N_{Ed,0} \leq 0,2 \cdot N_{pl,Rd,0}$$

$$2) \frac{N_{Ed,0}}{N_{pl,Rd,0}} + \frac{M_{Ed,0}}{M_{pl,Rd,0}} \leq \kappa$$

$$N_{pl,Rd,0} = \frac{A_0 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2370 \cdot 235}{1} = 556,95 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,0} = M_{y,pl,Rd,0} = \frac{w_{y,pl,0} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,19 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 27,96 \text{ kNm}$$

$$\kappa_{90} = \frac{\sqrt[3]{\frac{b_0}{h_0}}}{\left[\frac{b_0}{t_0}\right]^{0,8}} + \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{b_0}{h_0}} = \frac{\sqrt[3]{\frac{100}{150}}}{\left[\frac{100}{5}\right]^{0,8}} + \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{100}{150}} = 0,51$$

$$\kappa = 1 - \left( \sqrt{2} \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right) \cdot (1 - \kappa_{90}) = 1 - \left( \sqrt{2} \cdot \cos\left(\frac{135,4}{2}\right) \right) \cdot (1 - 0,51) = 0,74$$

Posouzení:

$$1) 104,5 \text{ kN} \leq 0,2 \cdot 556,95 = 111,39 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$2) \frac{N_{Ed,0}}{N_{pl,Rd,0}} + \frac{M_{Ed,0,odp}}{M_{pl,Rd,0}} \leq \kappa$$

$$\frac{104,5}{556,95} + \frac{1,68}{27,96} = 0,19 + 0,06 = 0,25 \leq 0,74 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{N_{Ed,0,odp}}{N_{pl,Rd,0}} + \frac{M_{Ed,0}}{M_{pl,Rd,0}} \leq \kappa$$

$$\frac{54,57}{556,95} + \frac{6,64}{27,96} = 0,10 + 0,24 = 0,34 \leq 0,74 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## 6.2.2 Posouzení svaru diagonály a styčnickového plechu

Navržen koutový svar  $a = 3 \text{ mm}$ ,  $L = 50 \text{ mm}$ .

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L - 2 \cdot a = 50 - 2 \cdot 3 = 44 \text{ mm}$$

Účinná plocha svaru:

$$A_w = \sum a \cdot L_{eff} = 4 \cdot 3 \cdot 44 = 528 \text{ mm}^2$$

Napětí v účinné ploše svaru:

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

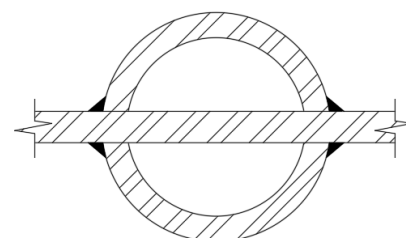
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$\tau_{\parallel,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \rightarrow N_{\parallel,Rd} = \frac{f_u \cdot A_w}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 528}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 109,74 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed,1}}{N_{\parallel,Rd}} = \frac{78,56}{109,74} = 0,72 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 96 - Příčný řez, rozmístění svarů

## 6.2.3 Posouzení svaru svislice a styčnickového plechu

Navržen koutový svar  $a = 3 \text{ mm}$ ,  $L = 50 \text{ mm}$ .

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L - 2 \cdot a = 50 - 2 \cdot 3 = 44 \text{ mm}$$

Účinná plocha svaru:

$$A_w = \sum a \cdot L_{eff} = 4 \cdot 3 \cdot 44 = 528 \text{ mm}^2$$

Napětí v účinné ploše svaru:

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

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

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$\tau_{\parallel,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \rightarrow N_{\parallel,Rd} = \frac{f_u \cdot A_w}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 528}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 109,74 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed,2}}{N_{\parallel,Rd}} = \frac{28,77}{109,74} = 0,26 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## 6.2.4 Posouzení svaru styčnickového plechu a horního pásu

Plech bude ovařen dokola koutovým svarem.

Navržen svar  $a = 3 \text{ mm}$ ,  $L \doteq 4 \cdot 115 + 4 \cdot 10 = 500 \text{ mm}$

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L = 500 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost:

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u \cdot a \cdot L_{eff}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 3 \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 311,7 \text{ kN}$$

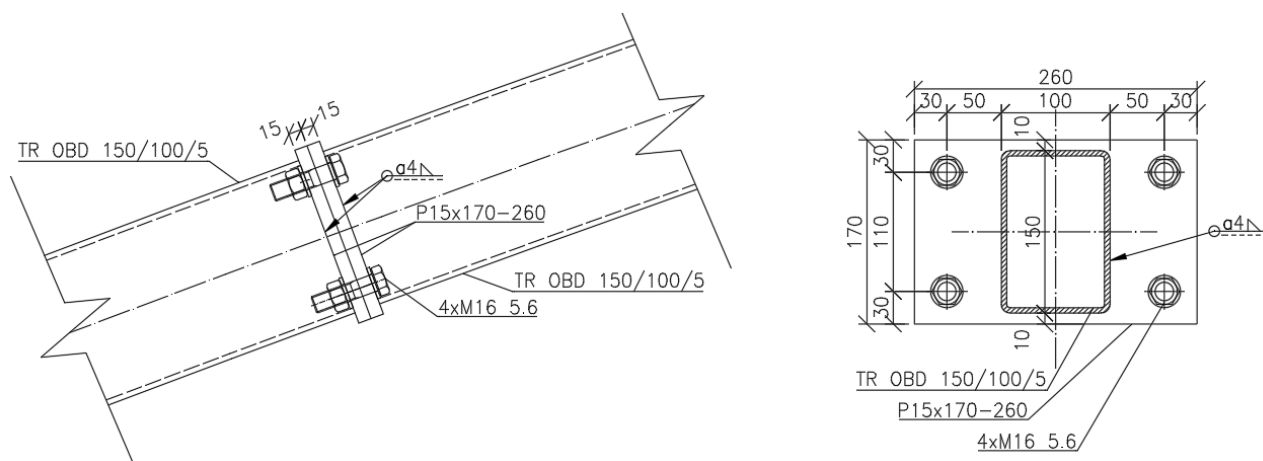
Posouzení:

$$\frac{N_{Ed,1}}{F_{w,Rd}} = \frac{78,56}{311,7} = 0,25 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## 6.3 Montážní spoje vazníku

### 6.3.1 Horní pás

Navržen šroubovaný styčník čelní deskou. Poloha montážního spoje viz. kapitola 4.4.



Obrázek 97 - Šroubovaný styčník čelní deskou, horní pás

### Rozměry prvků

Průměr šroubů  $d = 16 \text{ mm}$

Průměr otvorů  $d_0 = 18 \text{ mm}$

Plná plocha šroubu	$A = 201 \text{ mm}^2$
Účinná plocha jádra šroubu	$A_s = 157 \text{ mm}^2$
Tloušťka čelní desky	$t = t_f = 15 \text{ mm}$
Rozměr matice	$d_w = 24 \text{ mm}$

## Materiálové charakteristiky

Šrouby M16 5.6

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

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

Čelní deska z oceli S235

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

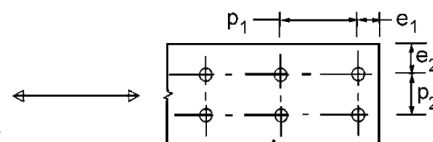
$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

## Vzdálenost od okraje

$$e_1 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$P_1 = \min 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 110 \text{ mm}$$



Obrázek 98 - Vzdálenost šroubů od okraje (dle normy<sup>6</sup>)

## Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} = -113,31 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = +50,15 \text{ kN}$$

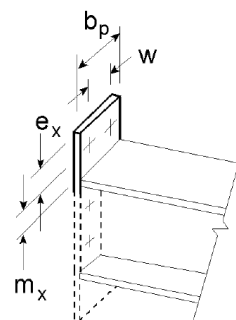
Zbylé vnitřní síly lze vzhledem k jejich velikosti zanedbat.

### 6.3.1.1 Posouzení šroubů

Navrženy 4 šrouby M16 5.6. Tlak se přenesou kontaktem, rozhoduje tah s vlivem páčení. Únosnost styčnicku je převedena na únosnost náhradního T-profilu v tahu.

$$m = m_x = 50 \text{ mm}, w = 110 \text{ mm}, e = e_x = 30 \text{ mm}, b_p = 170 \text{ mm}$$

$$n = e_{\min} = e = 30 \text{ mm} \leq 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 50 = 62,5 \text{ mm}$$



Obrázek 99 - Hodnoty  $m_x$ ,  $w$ ,  $e_x$ ,  $b_p$  (dle normy<sup>6</sup>)

### 1. Způsob porušení

$$l_{eff,cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot m_x; \pi \cdot m_x + w; \pi \cdot m_x + e_x) =$$

$$= \min(2 \cdot \pi \cdot 50; \pi \cdot 50 + 110; \pi \cdot 50 + 30) =$$

$$= \min(314; 267; 187) = 187 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min(4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_x; e + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x; 0,5 \cdot b_p; 0,5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x)$$

$$= \min(4 \cdot 50 + 1,25 \cdot 30; 30 + 2 \cdot 50 + 0,625 \cdot 30; 0,5 \cdot 170; 0,5 \cdot 110 + 2 \cdot 50 + 0,625 \cdot 30) =$$

$$= \min(237; 148; 85; 173) = 85 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$$

$$l_{eff,1} = 85\text{mm} \leq 187\text{mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 2 \cdot 85 \cdot 15^2 \cdot 235}{1,0} = 2,247\text{kNm}$$

Stanovení únosnosti 1. způsobu porušení:

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 2,247}{0,050} = 179,84\text{kN}$$

## 2. Způsob porušení

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 85\text{mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 2 \cdot 85 \cdot 15^2 \cdot 235}{1,0} = 2,247\text{kNm}$$

Návrhová únosnost šroubu v tahu:

$$k_2 = 0,9$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 56,52\text{ kN}$$

Stanovení únosnosti 2. způsobu porušení:

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 2,247 + 0,030 \cdot 4 \cdot 56,52}{0,050 + 0,030} = 140,95\text{kN}$$

## 3. Způsob porušení

$$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 4 \cdot 56,52 = 226,08\text{kN}$$

$$F_{t,Rd,min} = \min(F_{t,1,Rd}; F_{t,2,Rd}; F_{t,3,Rd}) = \min(179,84; 140,95; 226,08) = 140,95\text{kN}$$

→ rozhoduje 2. způsob porušení.

Posouzení:

$$\frac{N_{t,Ed}}{F_{t,2,Rd}} = \frac{50,15}{140,95} = 0,36 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## Ověření únosnosti spoje s vlivem páčení dle ČSN<sup>13</sup>:

$$a = e = 30\text{ mm}$$

$$b = m = 50\text{ mm}$$

$$t \geq t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}}$$

$$15 \geq t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{50 \cdot 16^2}{30}}$$



$15 < 32,37 \rightarrow$  Vliv páčení nelze zanedbat.

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{32,37^3 - 15^3}{16^2} = 1,60$$

$$F_{t,Ed} = \gamma_p \cdot N_{t,Ed} = 1,60 \cdot 50,15 = 80,24 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Ed} = \frac{F_{t,Ed}}{4} = \frac{80,24}{4} = 20,06 \text{ kN}$$

Posouzení přetržení šroubu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 56,52 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{20,06}{56,52} = 0,35 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

Posouzení protlačení hlavy šroubu:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 27 \cdot 15 \cdot 360 \cdot \pi}{1,25} = 219,86 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{20,06}{219,86} = 0,09 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

Využití spoje 0,35 dle ČSN koresponduje s využitím 0,36 získaným přesnějším výpočtem.

### Protlačení hlavy šroubu

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

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

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}}$$

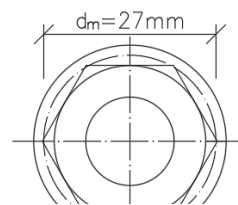
$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot 27 \cdot 15 \cdot 360 \cdot \pi}{1,25} = 219,86 \text{ kN}$$

Stanovení zatížení na 1 šroub:

$$F_{t,1,Ed} = \frac{N_{t,Ed}}{4} = \frac{50,15}{4} = 12,54 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{12,54}{219,86} = 0,06 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 100 - Stanovení hodnoty  $d_m$

### 6.3.1.2 Posouzení svaru čelní desky

Navržen koutový svar  $a = 4 \text{ mm}$  s ovařením dokola.  $L \doteq 486 \text{ mm}$ .

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L = 486 = 486 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost:

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

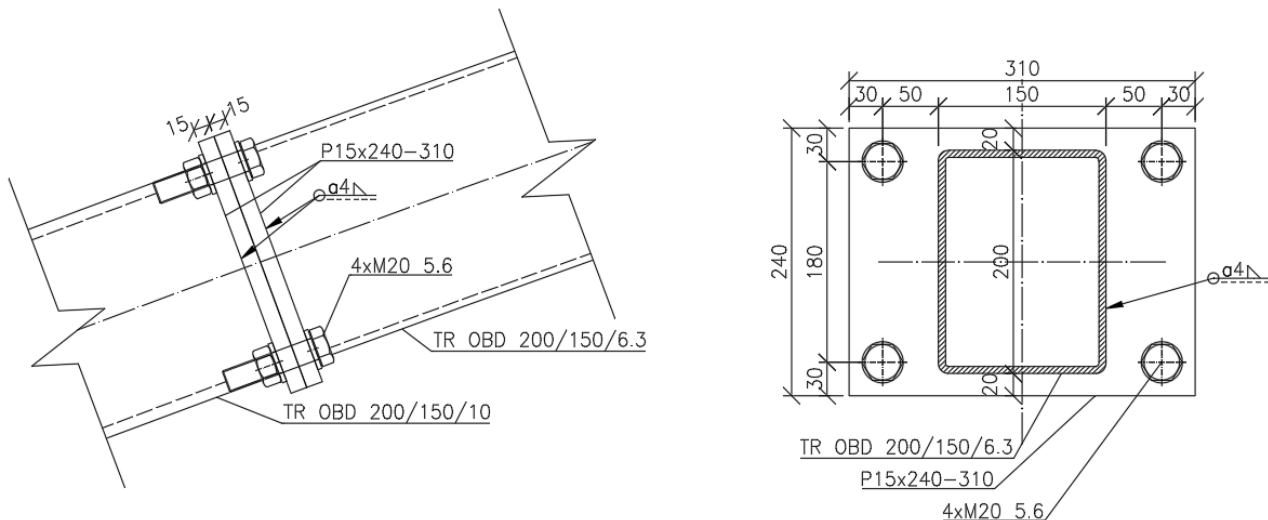
$$F_{w,Rd} = \frac{f_u \cdot a \cdot L_{eff}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 4 \cdot 486}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 404,05 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{113,31}{404,05} = 0,28 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### 6.3.2 Dolní pás

Navržen šroubovaný styčník čelní deskou. Poloha montážního spoje viz. kapitola 4.4.



Obrázek 101 - Šroubovaný styčník čelní deskou, dolní pás

### Rozměry prvků

Průměr šroubů	$d = 20 \text{ mm}$
Průměr otvorů	$d_0 = 22 \text{ mm}$
Plná plocha šroubu	$A = 314 \text{ mm}^2$
Účinná plocha jádra šroubu	$A_s = 245 \text{ mm}^2$
Tloušťka čelní desky	$t = t_f = 15 \text{ mm}$
Rozměr matice	$d_w = 30 \text{ mm}$

## Materiálové charakteristiky

Šrouby M20 5.6

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

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

Čelní deska z oceli S235

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

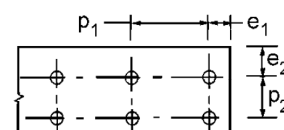
$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

## Vzdálenost od okraje

$$e_1 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$P_1 = \min 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 180 \text{ mm}$$



Obrázek 102 - Vzdálenost šroubů od okraje (dle normy<sup>6</sup>)

## Vnitřní síly

$$N_{c,Ed} = -141,63 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = +52,22 \text{ kN}$$

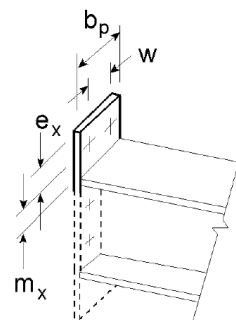
Zbylé vnitřní síly lze vzhledem k jejich velikosti zanedbat.

### 6.3.2.1 Posouzení šroubů

Navrženy 4 šrouby M20 5.6. Tlak se přenes kontakt, rozhoduje tah s vlivem páčení. Únosnost styčníku je převedena na únosnost náhradního T-profilu v tahu.

$$m = m_x = 50 \text{ mm}, w = 180 \text{ mm}, e = e_x = 30 \text{ mm}, b_p = 240 \text{ mm}$$

$$n = e_{\min} = e = 30 \text{ mm} \leq 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 50 = 62,5 \text{ mm}$$



Obrázek 103 - Hodnoty  $m_x$ ,  $w$ ,  $e_x$ ,  $b_p$  (dle normy<sup>6</sup>)

### 1. Způsob porušení

$$l_{eff,cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot m_x; \pi \cdot m_x + w; \pi \cdot m_x + e_x) =$$

$$= \min(2 \cdot \pi \cdot 50; \pi \cdot 50 + 180; \pi \cdot 50 + 30) =$$

$$= \min(314; 337; 187) = 187 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min(4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_x; e + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x; 0,5 \cdot b_p; 0,5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x)$$

$$= \min(4 \cdot 50 + 1,25 \cdot 30; 30 + 2 \cdot 50 + 0,625 \cdot 30; 0,5 \cdot 240; 0,5 \cdot 180 + 2 \cdot 50 + 0,625 \cdot 30) =$$

$$= \min(237; 148; 120; 208) = 120 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$$

$$l_{eff,1} = 120 \text{ mm} \leq 187 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 15^2 \cdot 235}{1,0} = 3,172 \text{ kNm}$$

Stanovení únosnosti 1. způsobu porušení:

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 3,172}{0,050} = 253,76 \text{ kN}$$

## 2. Způsob porušení

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 120 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{Y_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 15^2 \cdot 235}{1,0} = 3,172 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost šroubu v tahu:

$$k_2 = 0,9$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{Y_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 245}{1,25} = 88,20 \text{ kN}$$

Stanovení únosnosti 2. způsobu porušení:

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 3,172 + 0,030 \cdot 4 \cdot 88,20}{0,050 + 0,030} = 211,60 \text{ kN}$$

## 3. Způsob porušení

$$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 4 \cdot 88,20 = 352,80 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd,min} = \min(F_{t,1,Rd}; F_{t,2,Rd}; F_{t,3,Rd}) = \min(253,76; 211,60; 352,80) = 211,60 \text{ kN}$$

→ rozhoduje 2. způsob porušení.

Posouzení:

$$\frac{N_{t,Ed}}{F_{t,2,Rd}} = \frac{52,22}{211,60} = 0,25 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## Ověření únosnosti spoje s vlivem páčení dle ČSN<sup>13</sup>:

$$a = e = 30 \text{ mm}$$

$$b = m = 50 \text{ mm}$$

$$t \geq t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}}$$

$$15 \geq t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{50 \cdot 20^2}{30}}$$

$$15 < 37,56 \rightarrow \text{Vliv páčení nelze zanedbat.}$$

$$Y_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{37,56^3 - 15^3}{20^2} = 1,62$$

$$F_{t,Ed} = \gamma_p \cdot N_{t,Ed} = 1,62 \cdot 52,22 = 84,60 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Ed} = \frac{F_{t,Ed}}{4} = \frac{84,60}{4} = 21,15 \text{ kN}$$

Posouzení přetržení šroubu:

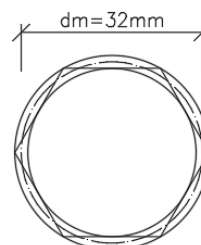
$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 245}{1,25} = 88,20 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{21,15}{88,20} = 0,24 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

Posouzení protlačení hlavy šroubu:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 32 \cdot 15 \cdot 360 \cdot \pi}{1,25} = 250,58 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{21,15}{250,58} = 0,08 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 104 - Stanovení hodnoty  $d_m$

Využití spoje 0,24 dle ČSN koresponduje s využitím 0,25 získaným přesnějším výpočtem.

### Protlačení hlavy šroubu

$$d_m = 32 \text{ mm}$$

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

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot 32 \cdot 15 \cdot 360 \cdot \pi}{1,25} = 250,58 \text{ kN}$$

Stanovení zatížení na 1 šroub:

$$F_{t,1,Ed} = \frac{N_{t,Ed}}{4} = \frac{52,22}{4} = 13,06 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{13,06}{250,58} = 0,05 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### 6.3.2.2 Posouzení svaru čelní desky

Navržen koutový svar  $a = 4 \text{ mm}$  s ovařením dokola.  $L \doteq 674 \text{ mm}$ .

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L = 674 = 674 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost:

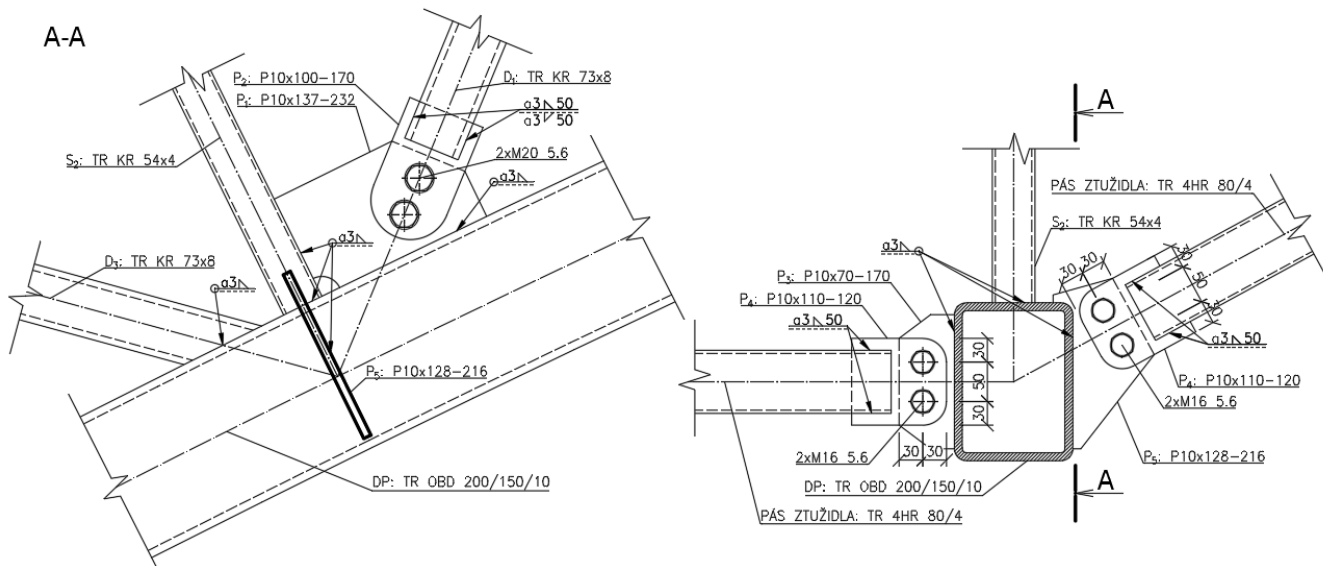
$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u \cdot a \cdot L_{eff}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 4 \cdot 674}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 560,35 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{141,63}{560,35} = 0,25 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### 6.3.3 Přípoj šroubované diagonály a pod. ztužidla na dolní pás



Obrázek 105 - Přípoj šroubované diagonály a podélného ztužidla na dolní pás

#### 6.3.3.1 Přípoj šroubované diagonály

##### Rozměry prvků

Průměr šroubů	$d = 20 \text{ mm}$
Průměr otvorů	$d_0 = 22 \text{ mm}$
Plná plocha šroubu	$A = 314 \text{ mm}^2$
Účinná plocha jádra šroubu	$A_s = 245 \text{ mm}^2$
Tloušťka styčnickových plechů	$t = 10 \text{ mm}$

##### Materiálové charakteristiky

Šrouby M20 5.6

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

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

Styčnickové plechy z oceli S235

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

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

## Vzdálenost od okraje

Styčnickový plech  $P_1$ :

$$e_1 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$P_1 = \min 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 50 \text{ mm}$$

Styčnickový plech  $P_2$ :

$$e_1 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$P_1 = \min 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 50 \text{ mm}$$

## Vnitřní síly ve šroubované diagonále:

$$N_{c,Ed} = -64,07 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = +41,39 \text{ kN}$$

$$F_{c,1,Ed} = \frac{64,07}{2} = 32,04 \text{ kN}$$

Zbylé vnitřní síly lze vzhledem k jejich velikosti zanedbat.

### 6.3.3.1.1 Posouzení šroubů

#### Únosnost ve střihu

Skrze šrouby prochází pouze 1 rovina střihu ( $n=1$ ).

$\alpha_v = 0,6$  (pevnostní třída 5.6)

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 245}{1,25} = 58,80 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{c,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{32,04}{58,80} = 0,54 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

#### Únosnost v otláčení

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{30}{22} - 1,7; 2,5 \right) = \min(3,81; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 22} = 0,45$$

$$\alpha_b = \min \left( \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min \left( 0,45; \frac{500}{360}; 1 \right) = 0,45$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,45 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10}{1,25} = 64,80 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{c,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{32,04}{64,80} = 0,49 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### Únosnost oslabeného plechu

$$A_{net} = 780 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 780 \cdot 360}{1,25} = 202,17 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{41,39}{202,17} = 0,20 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

#### 6.3.1.1.2 Posouzení svarů

##### Svar plechu P<sub>1</sub> a dolního pásu

Navrženo ovaření dokola koutovým svarem.

$$a = 3 \text{ mm}, L \doteq 428 \text{ mm}$$

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L = 428 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost:

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u \cdot a \cdot L_{eff}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 3 \cdot 428}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 266,87 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{64,07}{266,87} = 0,24 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

##### Svar plechu P<sub>2</sub> a šroubované diagonály

Navržen koutový svar  $a = 3 \text{ mm}, L = 50 \text{ mm}$

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L - 2 \cdot a = 50 - 2 \cdot 3 = 44 \text{ mm}$$

Účinná plocha svaru:

$$A_w = \sum a \cdot L_{eff} = 4 \cdot 3 \cdot 44 = 528 \text{ mm}^2$$

Napětí v účinné ploše svaru:

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

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

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$\tau_{\parallel,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \rightarrow N_{\parallel,Rd} = \frac{f_u \cdot A_w}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 528}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 109,74 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{\parallel,Rd}} = \frac{64,07}{109,74} = 0,58 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



### 6.3.3.2 Přípoj podélného ztužidla

#### Rozměry prvků

Průměr šroubů	$d = 16 \text{ mm}$
Průměr otvorů	$d_0 = 18 \text{ mm}$
Plná plocha šroubu	$A = 201 \text{ mm}^2$
Účinná plocha jádra šroubu	$A_s = 157 \text{ mm}^2$
Tloušťka styčnickových plechů	$t = 10 \text{ mm}$
Rozměr matice	$d_w = 24 \text{ mm}$

#### Materiálové charakteristiky

Šrouby M16 5.6

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

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

Styčnickové plechy z oceli S235

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

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

#### Vzdálenost od okraje

Styčnickový plech P<sub>3</sub>:

$$e_1 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$P_2 = \min 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 50 \text{ mm}$$

Styčnickový plech P<sub>4</sub>:

$$e_1 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 30 \text{ mm}$$

$$P_2 = \min 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 50 \text{ mm}$$

#### Vnitřní síly v podélném ztužidle

$$N_{c,Ed} = -14,36 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = +38,46 \text{ kN}; F_{t,1,Ed} = \frac{38,46}{2} = 19,23 \text{ kN}$$

Zbylé vnitřní síly lze vzhledem k jejich velikosti zanedbat.

#### 6.3.3.2.1 Posouzení šroubů

##### Únosnost ve střihu

Skrze šrouby prochází pouze 1 rovina střihu ( $n=1$ ).

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pevnostní třída 5.6)}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 37,68 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{19,23}{37,68} = 0,51 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### Únosnost v otláčení

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{P_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{50}{18} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,97; 2,19; 2,5) = 2,19$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,55$$

$$\alpha_b = \min \left( \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min \left( 0,55; \frac{500}{360}; 1 \right) = 0,55$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,19 \cdot 0,55 \cdot 360 \cdot 18 \cdot 10}{1,25} = 62,44 \text{ kN}$$

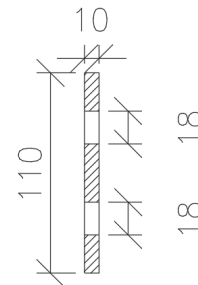
$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{19,23}{62,44} = 0,31 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### Únosnost oslabeného plechu P<sub>3</sub>

$$A_{net} = 660 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 660 \cdot 360}{1,25} = 171,07 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{38,46}{171,07} = 0,22 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 106 - Průřez oslabeného plechu

#### 6.3.3.2 Posouzení svarů

##### Svar plechu P<sub>3</sub> a dolního pásu

Navrženo ovaření dokola koutovým svarem.

$$a = 3 \text{ mm}, L \doteq 356 \text{ mm}$$

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L = 356 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost:

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u \cdot a \cdot L_{eff}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 3 \cdot 356}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 221,98 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{38,46}{221,98} = 0,17 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## Svar plechu P<sub>4</sub> a podélného ztužidla

Navržen koutový svar  $a = 3 \text{ mm}$ ,  $L = 50 \text{ mm}$

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L - 2 \cdot a = 50 - 2 \cdot 3 = 44 \text{ mm}$$

Účinná plocha svaru:

$$A_w = \sum a \cdot L_{eff} = 4 \cdot 3 \cdot 44 = 528 \text{ mm}^2$$

Napětí v účinné ploše svaru:

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

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

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$\tau_{\parallel, Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \rightarrow N_{\parallel, Rd} = \frac{f_u \cdot A_w}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 528}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 109,74 \text{ kN}$$

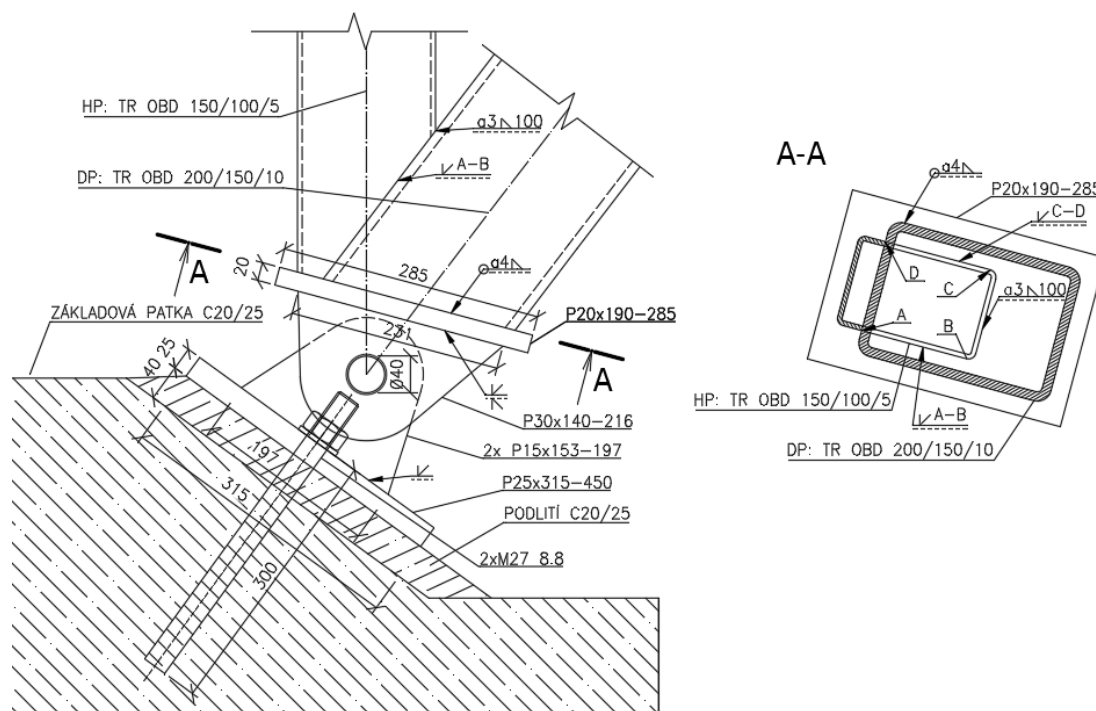
Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{\parallel, Rd}} = \frac{38,45}{109,74} = 0,35 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## 7 KOTVENÍ

### 7.1 Návrh a posouzení kotvení příčné vazby

Jedná se o čepový spoj, návrh je proveden pro příčnou vazbu v běžném poli.



Obrázek 107 - Kotvení příčné vazby

## Podporové reakce

Hodnoty reakcí jsou v lokálním souřadném systému, který odpovídá skutečnému natočení podpor.

Jméno	Stav	$R_x$ [kN]	$R_y$ [kN]	$R_z$ [kN]	$M_x$ [kNm]	$M_y$ [kNm]	$M_z$ [kNm]	$e_x$ [mm]	$e_y$ [mm]
Sn9/N341	Únosnost94/1	<b>-50,12</b>	0,04	62,80	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn4/N132	Únosnost98/2	<b>39,22</b>	-31,32	174,08	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,0	0,0
Sn11/N411	NK - Únosnost 1	25,12	<b>-41,52</b>	-50,71	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn11/N411	Únosnost58/3	-20,85	<b>0,57</b>	209,17	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn12/N427	Únosnost88/4	-36,53	-32,02	<b>-117,71</b>	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn9/N341	Únosnost42/5	6,78	0,07	<b>258,25</b>	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0

Obrázek 108 - Podporové reakce z programu Scia Engineer

### 7.1.1 Návrh geometrie

Návrhová působící síla:

$$F_{E,D} = F_{CE,D} = \sqrt{R_z^2 + R_x^2} = \sqrt{258,25^2 + 6,78^2} = 258,33 \text{ kN}$$

### Materiálové charakteristiky

Styčnickové plechy z oceli S355

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

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

Čep z oceli S355

$$f_{yp} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{up} = 490 \text{ MPa}$$

### Rozměry:

Průměr čepu

$$d = 40 \text{ mm}$$

Průměr otvoru pro čep

$$d_0 = d + 2 = 30 + 2 = 42 \text{ mm}$$

Tloušťka čelní desky

$$t_0 = 20 \text{ mm}$$

Tloušťka středního plechu čep. spoje

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

Tloušťka krajních plechů čep. spoje

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

Návrh koncových roztečí:

$$a \geq \frac{F_{E,D} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{258330 \cdot 1,0}{2 \cdot 30 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 42}{3} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{navrhuji } 40 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{E,D} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{258330 \cdot 1,0}{2 \cdot 30 \cdot 355} + \frac{42}{3} = 26 \text{ mm} \rightarrow \text{navrhuji } 40 \text{ mm}$$

## 7.1.2 Posouzení prvků čepového spoje

### 7.1.2.1 Únosnost čepu ve stříhu

$n = 2$  (roviny stříhu)

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{up} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 490 \cdot \left( \pi \cdot \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right)}{1,25} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 490 \cdot \left( \pi \cdot \left( \frac{40}{2} \right)^2 \right)}{1,25} = 591,12 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{E,D}}{F_{v,Rd}} = \frac{258,33}{591,12} = 0,44 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### 7.1.2.2 Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$t = \min(t; 2 \cdot t_1) = \min(30; 2 \cdot 15) = 30 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 355}{1,00} = 639,00 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{E,D}}{F_{b,Rd}} = \frac{258,33}{639,00} = 0,40 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### 7.1.2.3 Únosnost čepu v ohybu

Stanovení  $M_{E,D}$ :

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

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

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

$$M_{E,D} = \frac{F_{E,D}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{258330}{8} \cdot (30 + 4 \cdot 5 + 2 \cdot 15) = 2,58 \text{ kNm}$$

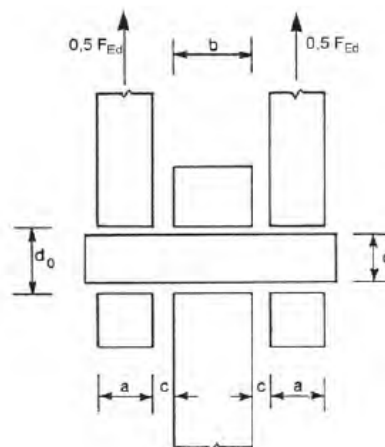
Stanovení únosnosti:

$$w_{el} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 40^3}{32} = 6283 \text{ mm}^3$$

$$M_{R,D} = \frac{1,5 \cdot w_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 6283 \cdot 355}{1,00} = 3,34 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$\frac{M_{E,D}}{M_{R,D}} = \frac{2,58}{3,34} = 0,77 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 109 - Rozměry pro stanovení  $M_{E,D}$  (dle normy <sup>6</sup>)

### 7.1.2.4 Únosnost při kombinaci stříhu a ohybu

$$\left[ \frac{M_{E,D}}{M_{R,D}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{E,D}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{2,58}{3,34} \right]^2 + \left[ \frac{258,33}{591,12} \right]^2 = 0,60 + 0,19 = 0,79 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### 7.1.2.5 Únosnost oslabeného středního plechu čepového spoje

Nejslabší místo se nachází v ose čepu,  $A_{net} = 2640 \text{ mm}^2$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 2640 \cdot 490}{1,25} = 931,39 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{117,71}{931,39} = 0,13 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### 7.1.3 Posouzení svarů

Výslednice návrhové působící síly:

$$N_{E,D} = \sqrt{R_z^2 + R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{258,25^2 + 6,78^2 + 0,07^2} = 258,34 \text{ kN}$$

#### 7.1.3.1 Svar čelní desky, dolního a části horního pásu

Navrženo ovaření dokola koutovým svarem.

$$a = 4 \text{ mm}, L \doteq 755 \text{ mm}$$

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L = 755 \text{ mm}$$

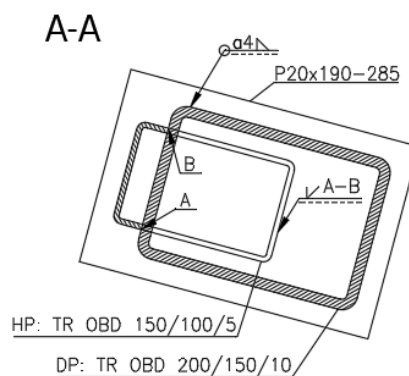
Návrhová únosnost:

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u \cdot a \cdot L_{eff}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 4 \cdot 755}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 627,70 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{258,34}{627,70} = 0,46 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 110 - Řez čelní deskou,  
koutový svar po obvodu

#### 7.1.3.2 Svar čelní desky a středního plechu čepového spoje

Navržen K-svar s plným provařením. Dle článku 4.7.1 normy<sup>6</sup> tento typ svaru nerozhoduje o únosnosti.

#### 7.1.3.3 Svar patního plechu a krajních plechů čepového spoje

Navržen ½V-svar s plným provařením. Dle článku 4.7.1 normy<sup>6</sup> tento typ svaru nerozhoduje o únosnosti.

### 7.1.4 Posouzení patní desky

Návrhová únosnost je stanovena jako návrhová únosnost náhradního T-profilu v tlaku.

#### Rozměry

Šířka patní desky	$b_p = 450 \text{ mm}$
Výška patní desky	$h_p = 315 \text{ mm}$
Tloušťka patní desky	$t_p = 25 \text{ mm}$
Podlití cementovou maltou	$t_g = 40 \text{ mm}$

#### Materiálové charakteristiky

Ocel patního plechu:	S235	$f_{y,k} = 235 \text{ MPa}$
Pevnost podlití:	C20/25	$f_{c,k} = 20 \text{ MPa}$

Součinitel materiálu:

$$t_g = 40 \text{ mm} \leq \min(0,2 \cdot b_p; 0,2 \cdot h_p) = \min(0,2 \cdot 450; 0,2 \cdot 315) = 63 \text{ mm} \rightarrow \beta_j = \frac{2}{3}$$

Návrhová únosnosti v uložení:

$$f_{j,d} = \beta_j \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_{M,c}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{20}{1,5} = 8,88 \text{ MPa}$$

Stanovení přesahu c:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\gamma_{M,0} \cdot 3 \cdot f_{j,d}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{235}{1,00 \cdot 3 \cdot 8,88}} \doteq 59 \text{ mm}$$

Účinná plocha:

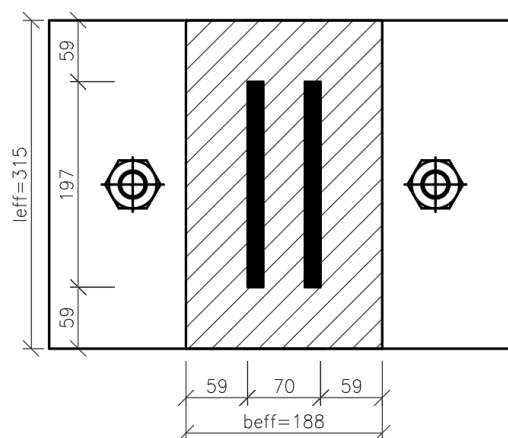
$$A_{eff} = l_{eff} \cdot b_{eff} = 315 \cdot 188 = 59220 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost pásnice T-profilu:

$$N_{j,Rd} = A_{eff} \cdot f_{j,d} = 59220 \cdot 8,88 = 525,87 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{c,Ed}}{N_{j,Rd}} = \frac{258,33}{525,87} = 0,49 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 111 - Účinné rozměry T-profilu

### 7.1.5 Posouzení kotevních šroubů

Navrženy 2 kotevní šrouby HAS M27 8.8.

## Rozměry prvků

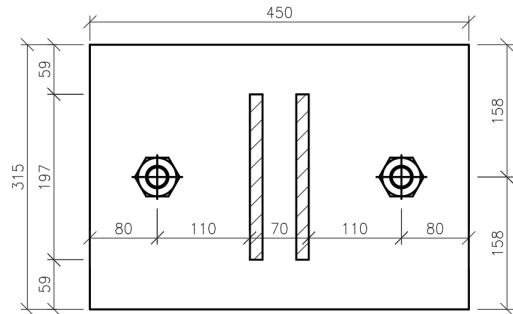
Průměr šroubů	$d = 27 \text{ mm}$
Průměr otvorů	$d_0 = 30 \text{ mm}$
Plná plocha šroubu	$A = 572 \text{ mm}^2$
Účinná plocha jádra šroubu	$A_s = 459 \text{ mm}^2$
Tloušťka patní desky	$t = t_f = 25 \text{ mm}$
Rozměr matice	$d_w = 46 \text{ mm}$

## Materiálové charakteristiky

Šrouby M27 8.8

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

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



Obrázek 112 - Geometrie patní desky

## Vzdálenost od okraje

$$e_1 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 30 = 36 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 158 \text{ mm}$$

$$e_2 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 30 = 36 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 80 \text{ mm}$$

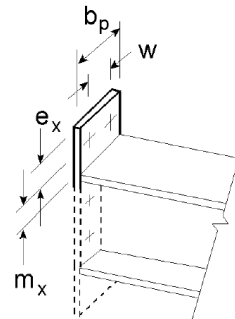
$$P_2 = \min 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 30 = 72 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 290 \text{ mm}$$

Únosnost styčníku je převedena na únosnost náhradního T-profilu v tahu.

Stanovení geometrie T-profilu:

$$m = m_x = 110 \text{ mm}, w = 0 \text{ mm}, e = e_x = 80 \text{ mm}, b_p = 315 \text{ mm}$$

$$n = e_{\min} = e = 80 \text{ mm} \leq 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 110 = 137 \text{ mm}$$



Obrázek 113 - Hodnoty  $m_x$ ,  $w$ ,  $e_x$ ,  $b_p$  (dle normy<sup>6)</sup>)

## 1. Způsob porušení

$$l_{eff,cp} = \min(2 \cdot \pi \cdot m_x; \pi \cdot m_x + w; \pi \cdot m_x + e_x) =$$

$$= \min(2 \cdot \pi \cdot 60; \pi \cdot 110 + 0; \pi \cdot 110 + 80) =$$

$$= \min(376; 345; 425) = 376 \text{ mm}$$

$$l_{eff,nc} = \min(4 \cdot m_x + 1,25 \cdot e_x; e + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x; 0,5 \cdot b_p; 0,5 \cdot w + 2 \cdot m_x + 0,625 \cdot e_x)$$

$$= \min(4 \cdot 110 + 1,25 \cdot 80; 80 + 2 \cdot 110 + 0,625 \cdot 80; 0,5 \cdot 315; 0,5 \cdot 0 + 2 \cdot 110 + 0,625 \cdot 80)$$

$$= \min(540; 350; 157; 270) = 157 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} \leq l_{eff,cp}$$

$$l_{eff,1} = 157 \text{ mm} \leq 376 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 157 \cdot 25^2 \cdot 235}{1,0} = 5,764 \text{ kNm}$$



Stanovení únosnosti 1. způsobu porušení:

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 5,764}{0,110} = 209,60 kN$$

## 2. Způsob porušení

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 157 mm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{Y_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 157 \cdot 25^2 \cdot 235}{1,0} = 5,764 kNm$$

Návrhová únosnost šroubu v tahu:

$$k_2 = 0,9$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{Y_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 264,38 kN$$

Stanovení únosnosti 2. způsobu porušení:

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 5,764 + 0,080 \cdot 2 \cdot 264,38}{0,110 + 0,080} = 283,30 kN$$

## 3. Způsob porušení

$$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 264,38 = 528,76 kN$$

$$F_{t,Rd,min} = \min(F_{t,1,Rd}; F_{t,2,Rd}; F_{t,3,Rd}) = \min(209,60; 283,30; 528,76) = 209,60 kN$$

→ rozhoduje 1. způsob porušení, je tedy spočítán přesněji:

$$F_{t,1,Rd} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n)} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot \frac{d_w}{4}) \cdot M_{pl,1,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - \frac{d_w}{4} \cdot (m + n)} =$$

$$= \frac{(8 \cdot 80 - 2 \cdot \frac{46}{4}) \cdot 5764000}{2 \cdot 110 \cdot 80 - \frac{46}{4} \cdot (110 + 80)} = 230,71 kN$$

→ rozhoduje 1. způsob porušení.

Posouzení:

$$\frac{N_{t,Ed}}{F_{t,1,Rd}} = \frac{117,71}{230,71} = 0,51 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

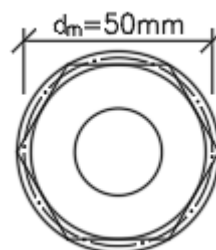
## Protlačení hlavy šroubu

$$d_m = 50 mm$$

$$t_p = t = 25 mm$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u \cdot \pi}{Y_{M2}}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot 50 \cdot 25 \cdot 360 \cdot \pi}{1,25} = 678,58 kN$$



Obrázek 114 - Stanovení hodnoty  $d_m$

Stanovení zatížení na 1 šroub:

$$F_{t,1,Ed} = \frac{N_{t,Ed}}{2} = \frac{117,71}{2} = 58,86 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{58,86}{678,58} = 0,09 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### Únosnost ve stříhu

Skrze šrouby prochází pouze 1 rovina stříhu ( $n=1$ ).

$\alpha_v = 0,6$  (pevnostní třída 8.8)

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 220,32 \text{ kN}$$

Stanovení zatížení na 1 šroub:

$$F_{v,1,Ed} = \frac{N_{v,Ed}}{2} = \frac{50,12}{2} = 25,06 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{25,06}{220,32} = 0,11 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### Únosnost v otláčení

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{P_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{80}{30} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{290}{30} - 1,7; 2,5 \right) = \min(5,76; 11,83; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{e_2}{3 \cdot d_0} = \frac{80}{3 \cdot 30} = 0,88$$

$$\alpha_b = \min \left( \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min \left( 0,88; \frac{800}{360}; 1 \right) = 0,88$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,88 \cdot 360 \cdot 27 \cdot 25}{1,25} = 427,68 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{25,06}{427,68} = 0,06 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### Kombinace stříhu a tahu

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{T,Rd}} = \frac{25,06}{220,32} + \frac{117,71}{1,4 \cdot 230,71} = 0,11 + 0,36 = 0,47 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## 7.1.6 Posouzení kotev z hlediska porušení betonu

Únosnost kotev z hlediska porušení betonu je při dodržení daných rozměrů garantována výrobcem. Při návrhu nebyla dodržena osová vzdálenost kotev  $s_{cr,sp}$ , tudíž výsledná návrhová únosnost 2 kotev nelze uvažovat v plné velikosti. Nicméně

vzhledem k tomu, že pro přenesení účinků zatížení stačí pouze 1 kotva, je návrh považován za vyhovující.

### Technická data pro použití s kotevním šroubem HAS



Data jsou kompatibilní s		ETA 05/0255 a EOTA TR 029							
Základní materiál		Beton bez trhlin C20/25 (B25), příklepem vrtaný kotevní otvor							
HAS šroub		M8 (5.8)	M10 (5.8)	M12 (5.8)	M16 (5.8)	M20 (5.8)	M24 (5.8)	M27 (8.8)	M30 (8.8)
Průměr vrtání	$d_0$ [mm]	10	12	14	18	24	28	30	35
Průměr otvoru v kotevní desce	$d_f \leq$ [mm]	9	12	14	18	22	26	30	33
Efektivní kotevní hloubka	$h_{ef}$ [mm]	80	90	110	125	170	210	240	270
Vzdálenost od okraje	$c_{cr,sp}$ [mm]	170	205	250	270	385	475	545	610
Osová vzdálenost	$s_{cr,sp}$ [mm]	340	410	500	540	770	950	1090	1220
Minimální vzdálenost od okraje	$c_{min}$ [mm]	40	45	55	65	90	120	130	135
Minimální osová vzdálenost	$s_{min}$ [mm]	40	45	55	65	90	120	130	135
Minimální tloušťka betonu	$h_{min}$ [mm]	110	120	140	170	220	270	300	340
Maximální utahovací moment	$T_{max}$ [Nm]	10	20	40	80	150	200	270	300
Beton bez trhlin									
Dovolené namáhání v tahu	$N_{rec}$ [kN]	8,1	12,4	18,1	28,6	53,3	66,7	89,4	106,7
Dovolené namáhání ve smyku	$V_{rec}$ [kN]	4,9	7,4	10,9	20,6	32,0	45,7	99,4	120,6
Návrhová únosnost v tahu	$N_{Rd}$ [kN]	11,3	17,3	25,3	40,0	74,6	93,3	125,2	149,4
Návrhová únosnost ve smyku	$V_{Rd}$ [kN]	6,8	10,4	15,2	28,8	44,8	64,0	139,2	168,8

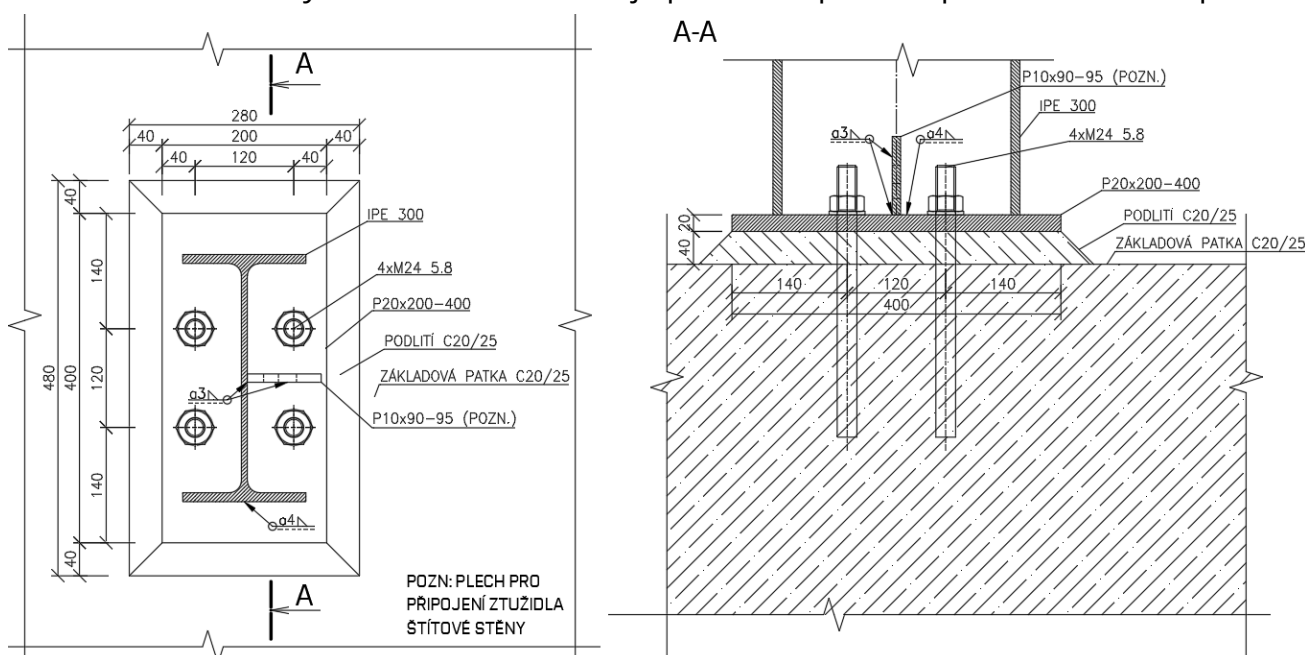
**Podmínky platnosti:** Hodnoty dovoleného namáhání a návrhové únosnosti jsou platné pro jednu samostatnou kotvu bez vlivu vzdáleností od okraje a pro kotevní hloubku a tloušťku základního materiálu, které jsou uvedeny v tabulce. Max. dlouhodobá provozní teplota 24°C, max. krátkodobá provozní teplota 40°C. Příklepem vrtaný otvor v suchém nebo vlhkém betonu. Kotevní šroub HAS – kvalita oceli 5.8 pro M8 až M24, kvalita oceli 8.8 pro M27 a M30. Pro podrobnější informace použijte Fastening Technology Manual nebo Hilti PROFIS Anchor návrhový software.

Obrázek 115 - Technická data pro kotevní šrouby HAS (dle katalogu<sup>14</sup>)

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{117,71}{125,2} = 0,94 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.} \quad \frac{V_{E,d}}{V_{1,Rd}} = \frac{50,12}{139,2} = 0,36 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## 7.2 Návrh a posouzení kotvení sloupů štítové stěny

Jedná se o kloubové uložení, kotvení je provedeno 4 chemickými kotvami HVU a kotevními šrouby HAS M24 5.8. Návrh je proveden pro sloup ve ztužidlovém poli.



Obrázek 116 - Kotvení sloupů štítové stěny ve ztužidlovém poli

## Podporové reakce

Jméno	Stav	$R_x$ [kN]	$R_y$ [kN]	$R_z$ [kN]	$M_x$ [kNm]	$M_y$ [kNm]	$M_z$ [kNm]	$e_x$ [mm]	$e_y$ [mm]
Sn18/N546	Únosnost80/1	-8,33	-6,88	31,79	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn18/N546	Únosnost64/2	3,41	-2,56	54,04	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn1/N20	NK - Únosnost 1	0,41	-42,31	-47,88	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn31/N766	Únosnost89/3	-3,07	14,64	26,09	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn2/N38	Únosnost88/4	-0,51	-32,02	-74,70	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
Sn14/N497	Únosnost86/5	0,48	-32,97	91,19	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0

Obrázek 117 - Podporové reakce sloupů štítové stěny ze Scia Engineer

### Rozměry:

tloušťka patní desky	$t_p = 20\text{ mm}$
šířka patní desky	$b_p = 200\text{ mm}$
výška patní desky	$h_p = 400\text{ mm}$
podlití cementovou maltou	$t_g = 40\text{ mm}$

### Materiálové charakteristiky

Styčnickové plechy z oceli S235

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

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

Podlití cementovou maltou a základová patka z betonu C20/25

$$f_{c,k} = 20\text{ MPa}$$

### 7.2.1 Posouzení patní desky

Návrhová únosnost je stanovena jako návrhová únosnost náhradního T-profilu v tlaku.

### Rozměry

šířka patní desky	$b_p = 200\text{ mm}$
výška patní desky	$h_p = 400\text{ mm}$
tloušťka patní desky	$t_p = 20\text{ mm}$
podlití cementovou maltou	$t_g = 40\text{ mm}$

### Materiálové charakteristiky

Ocel patního plechu:	S235	$f_{y,k} = 235\text{ MPa}$
Pevnost podlití:	C20/25	$f_{c,k} = 20\text{ MPa}$

Součinitel materiálu:

$$t_g = 40 \text{ mm} \leq \min(0,2 \cdot b_p; 0,2 \cdot h_p) = \\ = \min(0,2 \cdot 200; 0,2 \cdot 400) = 40 \text{ mm} \rightarrow \beta_j = \frac{2}{3}$$

Návrhová únosnosti v uložení:

$$f_{j,d} = \beta_j \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_{M,c}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{20}{1,5} = 8,88 \text{ MPa}$$

Stanovení přesahu c:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{y,k}}{3 \cdot f_{j,d}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 8,88}} \doteq 59 \text{ mm}$$

Účinná plocha:

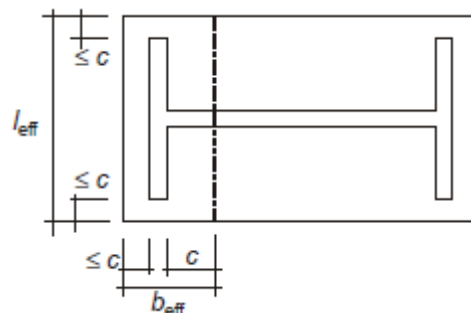
$$A_{eff} = b_{eff} \cdot l_{eff} = 200 \cdot 120 = 24000 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost pásnice T-profilu:

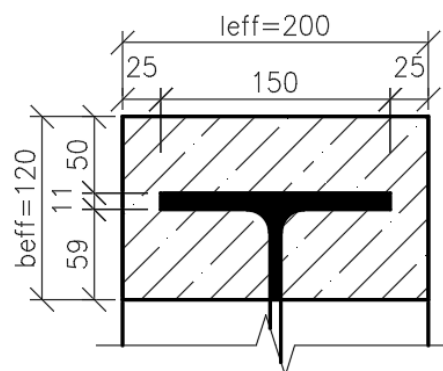
$$N_{j,Rd} = A_{eff} \cdot f_{j,d} = 24000 \cdot 8,88 = 213,12 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{c,Ed}}{N_{j,Rd}} = \frac{91,19}{213,12} = 0,43 \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obrázek 118 - Stanovení účinných rozměrů (dle normy<sup>8</sup>)



Obrázek 119 - Účinné rozměry T-profilu

## 7.2.2 Svar sloupu a patní desky

Navrženo ovaření dokola koutovým svarem.

$$a = 4 \text{ mm}, L \doteq 1160 \text{ mm}$$

Efektivní délka svaru:

$$L_{eff} = L = 1160 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost:

$$\beta_w = 0,80 \text{ (pro S235)}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u \cdot a \cdot L_{eff}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 4 \cdot 1160}{\sqrt{3} \cdot 0,80 \cdot 1,25} = 964,40 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{91,19}{964,40} = 0,09 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## 7.2.3 Posouzení kotevních šroubů

Navrženy 4 kotevní šrouby HAS M24 5.8.

## Rozměry prvků

Průměr šroubů

$$d = 24 \text{ mm}$$

Průměr otvorů

$$d_0 = 26 \text{ mm}$$

Plná plocha šroubu

$$A = 452 \text{ mm}^2$$

Účinná plocha jádra šroubu

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

Tloušťka patní desky

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

Rozměr matice

$$d_w = 41 \text{ mm}$$

## Materiálové charakteristiky

Šrouby M24 5.8

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa}, f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

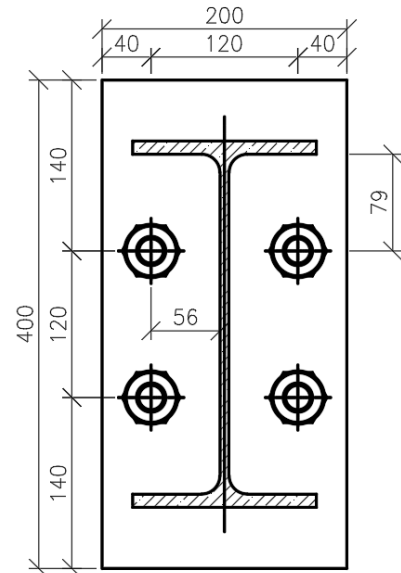
## Vzdálenost od okraje

$$e_1 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26 = 31,2 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 140 \text{ mm}$$

$$e_2 = \min 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26 = 31,2 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 40 \text{ mm}$$

$$P_1 = \min 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 26 = 57,2 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 120 \text{ mm}$$

$$P_2 = \min 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 26 = 62,2 \text{ mm} \rightarrow \text{navrženo } 120 \text{ mm}$$



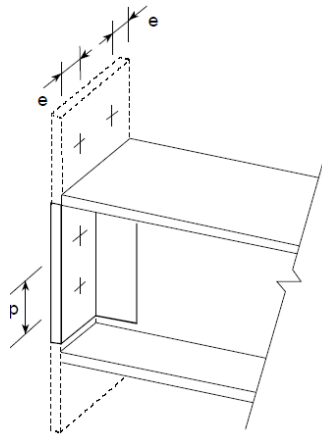
Obrázek 120 - Geometrie patní desky

Únosnost styčníku je převedena na únosnost náhradního T-profilu v tahu.

Stanovení geometrie T-profilu:

$$m = 56 \text{ mm}, m_2 = 79 \text{ mm}, e = 40 \text{ mm}, p = 120 \text{ mm}$$

$$n = e_{\min} = 40 \text{ mm} \leq 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 56 = 70 \text{ mm}$$

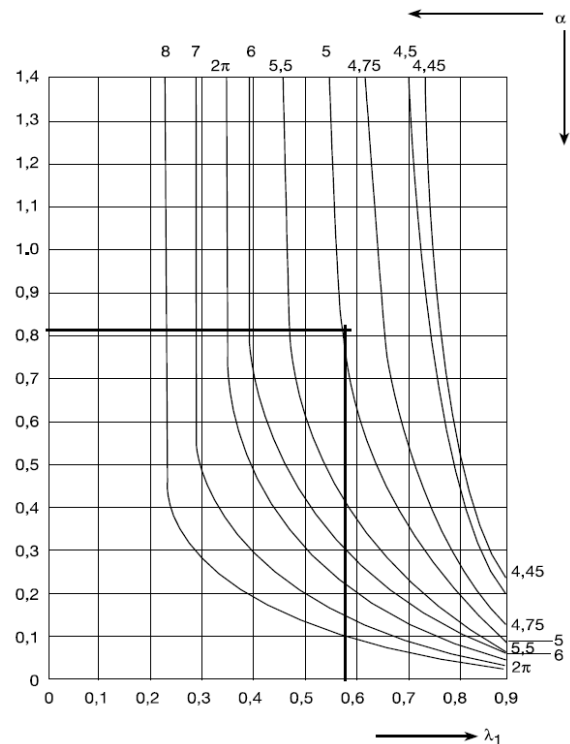


Obrázek 121 - Geometrie T-profilu (dle normy<sup>8</sup>)

Stanovení součinitele  $\alpha$ :

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{56}{56+40} = 0,58$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{79}{56+40} = 0,82 \rightarrow \alpha = 5$$



Obrázek 122 - Graf pro součinitel  $\alpha$  (dle normy<sup>8</sup>)

**1. Způsob porušení – řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku**

Řada šroubů uvažovaná samostatně:

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 56 = 351mm$$

$$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 5 \cdot 56 = 280mm$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 280mm \leq l_{eff,cp} = 351mm$$

Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny šroubů:

$$l_{eff,cp} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 56 + 120 = 295mm$$

$$l_{eff,nc} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e) =$$

$$= 0,5 \cdot 120 + 5 \cdot 56 - (2 \cdot 56 + 0,625 \cdot 40) = 203mm$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 203mm \leq l_{eff,cp} = 295mm$$

$$\rightarrow l_{eff,1} = \min(351; 295) = 295mm$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 295 \cdot 20^2 \cdot 235}{1,0} = 6,932kNm$$

Stanovení únosnosti:

$$F_{t,1,Rd,pásnice} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 6,932}{0,056} = 495,14kN$$

**1. Způsob porušení – koncová řada šroubů**

Řada šroubů uvažovaná samostatně:

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 56 = 351mm$$

$$l_{eff,nc} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 56 + 1,25 \cdot 40 = 274mm$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 274mm \leq l_{eff,cp} = 351mm$$

Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny šroubů:

$$l_{eff,cp} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 56 + 120 = 295mm$$

$$l_{eff,nc} = 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + 0,5 \cdot p = 2 \cdot 56 + 0,625 \cdot 40 + 0,5 \cdot 120 = 197mm$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 197mm \leq l_{eff,cp} = 295mm$$

$$\rightarrow l_{eff,1} = \min(274; 197) = 197mm$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 197 \cdot 20^2 \cdot 235}{1,0} = 4,629kNm$$

Stanovení únosnosti:

$$F_{t,1,Rd,koncové} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 4,629}{0,056} = 330,64kN$$

Stanovení únosnosti obou řad 1. způsobu porušení:

$$F_{t,1,Rd} = F_{t,1,Rd,pásnice} + F_{t,1,Rd,koncové} = 495,14 + 330,64 = 825,78kN$$

**2. Způsob porušení – řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku**

$$l_{eff,2} = \min(l_{eff,nc}) = \min(280; 203) = 203mm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 203 \cdot 20^2 \cdot 235}{1,0} = 4,770kNm$$

Návrhová únosnost šroubu v tahu:

$$k_2 = 0,9$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 127,08 kN$$

Stanovení únosnosti:

$$F_{t,2,Rd,pásnice} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 4,770 + 0,050 \cdot 2 \cdot 127,08}{0,056 + 0,040} = 231,75kN$$

**2. Způsob porušení – Koncová řada šroubů**

$$l_{eff,2} = \min(l_{eff,nc}) = \min(274; 197) = 197mm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 197 \cdot 20^2 \cdot 235}{1,0} = 4,629kNm$$

Návrhová únosnost šroubu v tahu:

$$k_2 = 0,9$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 127,08 kN$$

Stanovení únosnosti:

$$F_{t,2,Rd,koncové} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 4,629 + 0,050 \cdot 2 \cdot 127,08}{0,056 + 0,040} = 228,81kN$$

Stanovení únosnosti obou řad 2. způsobu porušení:

$$F_{t,2,Rd} = F_{t,2,Rd,pásnice} + F_{t,2,Rd,koncové} = 231,75 + 228,81 = 460,56kN$$

**3. Způsob porušení**

$$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 4 \cdot 127,08 = 508,32kN$$

$$F_{t,Rd,min} = \min(F_{t,1,Rd}; F_{t,2,Rd}; F_{t,3,Rd}) = \min(825,78; 460,56; 508,32) = 460,56kN$$

→ rozhoduje 2. způsob porušení.

Posouzení:

$$\frac{N_{t,Ed}}{F_{t,2,Rd}} = \frac{74,70}{460,56} = 0,16 \leq 1 \rightarrow Vyhovuje.$$



**Protlačení hlavy šroubu**

$$d_m = 44 \text{ mm}$$

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

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}}$$

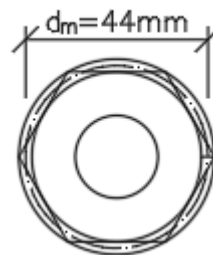
$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot 44 \cdot 20 \cdot 360 \cdot \pi}{1,25} = 477,72 \text{ kN}$$

Stanovení zatížení na 1 šroub:

$$F_{t,1,Ed} = \frac{N_{t,Ed}}{4} = \frac{74,70}{4} = 18,68 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{18,68}{477,72} = 0,04 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$



Obrázek 123 - Stanovení hodnoty  $d_m$

**Únosnost ve střihu**

Skrze šrouby prochází pouze 1 rovina střihu ( $n=1$ ).

$\alpha_v = 0,5$  (pevnostní třída 5.8)

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,60 \text{ kN}$$

Stanovení zatížení na 1 šroub:

$$F_{v,1,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{42,31}{4} = 10,58 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{10,58}{70,60} = 0,15 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

**Únosnost v otláčení**

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{P_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{40}{26} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{120}{26} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,60; 4,76; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_d = \frac{e_2}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 26} = 0,51$$

$$\alpha_b = \min \left( \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min \left( 0,51; \frac{500}{360}; 1 \right) = 0,51$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,51 \cdot 360 \cdot 26 \cdot 20}{1,25} = 190,94 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{10,58}{190,94} = 0,06 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### Kombinace střihu a tahu

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{T,Rd}} = \frac{10,58}{70,60} + \frac{74,70}{1,4 \cdot 460,56} = 0,15 + 0,12 = 0,27 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

### 7.2.4 Posouzení kotev z hlediska porušení betonu

Únosnost kotev z hlediska porušení betonu je při dodržení daných rozměrů garantována výrobcem. Při návrhu nebyla dodržena osová vzdálenost kotev  $s_{cr,sp}$ , tudíž výsledná návrhová únosnost 4 kotev musí být redukována. Nicméně vzhledem k tomu, že pro přenesení účinků zatížení stačí pouze 1 kotva, je návrh považován za vyhovující.

### Technická data pro použití s kotevním šroubem HAS



Data jsou kompatibilní s		ETA 05/0255 a EOTA TR 029							
Základní materiál		Beton bez trhlin C20/25 (B25), přiklepem vrtaný kotevní otvor							
HAS šroub		M8 (5.8)	M10 (5.8)	M12 (5.8)	M16 (5.8)	M20 (5.8)	M24 (5.8)	M27 (8.8)	M30 (8.8)
Průměr vrtání	$d_0$ [mm]	10	12	14	18	24	28	30	35
Průměr otvoru v kotevní desce	$d_f \leq$ [mm]	9	12	14	18	22	26	30	33
Efektivní kotevní hloubka	$h_{ef}$ [mm]	80	90	110	125	170	210	240	270
Vzdálenost od okraje	$c_{cr,sp}$ [mm]	170	205	250	270	385	475	545	610
Osová vzdálenost	$s_{cr,sp}$ [mm]	340	410	500	540	770	950	1090	1220
Minimální vzdálenost od okraje	$c_{min}$ [mm]	40	45	55	65	90	120	130	135
Minimální osová vzdálenost	$s_{min}$ [mm]	40	45	55	65	90	120	130	135
Minimální tloušťka betonu	$h_{min}$ [mm]	110	120	140	170	220	270	300	340
Maximální utahovací moment	$T_{max}$ [Nm]	10	20	40	80	150	200	270	300
Beton bez trhlin									
Dovolené namáhání v tahu	$N_{rec}$ [kN]	8,1	12,4	18,1	28,6	53,3	66,7	89,4	106,7
Dovolené namáhání ve smyku	$V_{rec}$ [kN]	4,9	7,4	10,9	20,6	32,0	45,7	99,4	120,6
Návrhová únosnost v tahu	$N_{Rd}$ [kN]	11,3	17,3	25,3	40,0	74,6	93,3	125,2	149,4
Návrhová únosnost ve smyku	$V_{Rd}$ [kN]	6,8	10,4	15,2	28,8	44,8	64,0	139,2	168,8

**Podmínky platnosti:** Hodnoty dovoleného namáhání a návrhové únosnosti jsou platné pro jednu samostatnou kotvu bez vlivu vzdálenosti od okraje a pro kotevní hloubku a tloušťku základního materiálu, které jsou uvedeny v tabulce. Max. dlouhodobá provozní teplota 24°C, max. krátkodobá provozní teplota 40°C. Přiklepem vrtaný otvor v suchém nebo vlhkém betonu. Kotevní šroub HAS – kvalita oceli 5.8 až M24, kvalita oceli 8.8 pro M27 a M30. Pro podrobnější informace použijte Fastening Technology Manual nebo Hilti PROFIS Anchor návrhový software.

Obrázek 124 - Technická data pro kotevní šrouby HAS (dle katalogu<sup>14</sup>)

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{74,70}{93,3} = 0,80 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

$$\frac{V_{E,d}}{V_{1,Rd}} = \frac{42,31}{64,0} = 0,66 \leq 1 \rightarrow \text{Vyhovuje.}$$

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### Normy

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků
- [13] ČSN 73 1401: Navrhování ocelových konstrukcí

### Internetové zdroje

- [7] Katalog Kalzip. Dostupný z: <http://www.kalzip.cz/prospekty/>
- [8] Sněhová mapa. Dostupná z: <http://www.snehovamapa.cz/>
- [9] Společnost Schüco. Dostupná z: <https://www.schueco.com/web2/cz>
- [10] Společnost OKF. Dostupná z: <https://www.okf.cz/cs>
- [11] Katalog trapézových plechů. Dostupný z: <https://ds.arcelormittal.com/portal>
- [12] Statické tabulky. Dostupné z: <http://www.staticstools.eu/cs>

[14] Katalog společnosti Hilti. Dostupný z: <https://www.hilti.cz>

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Přepočet zatížení pro ZS2 .....	5
Tabulka 2 - Přepočet zatížení pro ZS3 .....	7
Tabulka 3 - Přepočet zatížení pro ZS4 .....	8
Tabulka 4 - Přepočet zatížení pro ZS6 .....	9
Tabulka 5 - Přepočet zatížení pro ZS8 .....	12
Tabulka 6 - Průřezy vazníkových dílců .....	34

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Schematický příčný řez .....	1
Obrázek 2 - Schematický půdorys .....	2
Obrázek 3 - Prostorový model .....	3
Obrázek 4 - Prostorový model - boční pohled .....	3
Obrázek 5 - Skladba střešní krytiny (dle katalogu výrobce <sup>7)</sup> .....	4
Obrázek 6 - Zatěžovací šířky vaznic pro ZS2 .....	5
Obrázek 7 - Horizontální řez skleněnou fasádou (dle výrobce <sup>10)</sup> .....	5
Obrázek 8 - Schéma dispozice skleněné fasády .....	6
Obrázek 9 - Excentricita zatížení fasády (vertikální řez) .....	6
Obrázek 10 - ZS3 .....	7
Obrázek 11 - Sníh nerovnoměrný (dle normy <sup>3)</sup> .....	8
Obrázek 12 - ZS4 .....	8
Obrázek 13 - Sníh navátý (dle normy <sup>3)</sup> .....	9
Obrázek 14 - ZS6 .....	10
Obrázek 15 - Působení zatížení (dle normy <sup>4)</sup> .....	11
Obrázek 16 - Graf Doporučených hodnot cpe (dle normy <sup>4)</sup> .....	12
Obrázek 17 - ZS8 .....	12
Obrázek 18 - Legenda svislých stěn (dle normy <sup>4)</sup> .....	13
Obrázek 19 - Legenda pro sedlové střechy (dle normy <sup>1)</sup> .....	14
Obrázek 20 - Rovnice 6.10a, 6.10b (dle normy <sup>1)</sup> .....	16

Obrázek 21 - Rovnice 6.14b (dle normy <sup>1)</sup> ).....	16
Obrázek 22 - Přípustné zatížení trapézového plechu (dle katalogu <sup>11)</sup> ).....	17
Obrázek 23 - Průřezové charakteristiky IPE 220 (dle tabulek <sup>12)</sup> ) .....	18
Obrázek 24 - Vaznice, prut B423.....	19
Obrázek 25 - Vaznice, prut B517 .....	19
Obrázek 26 - Vaznice, prut B139.....	21
Obrázek 27 - Vaznice, prut B233.....	21
Obrázek 28 - Vaznice, prut B148.....	22
Obrázek 29 - Odpovídající vnitřní síly pro $M_y, E_d, \max$ .....	23
Obrázek 30 - Odpovídající vnitřní síly pro $N_c, E_d, \max$ .....	23
Obrázek 31 - Průřezové charakteristiky RHS 200/120/5 (z programu Scia Engineer) ...	27
Obrázek 32 - Vaznice krajní, prut B137.....	28
Obrázek 33 - Vaznice krajní, prut B144.....	28
Obrázek 34 - Vaznice krajní, prut B138 .....	29
Obrázek 35 - Vaznice krajní, prut B135 .....	30
Obrázek 36 - Vaznice krajní, prut B135 .....	30
Obrázek 37 - Vaznice krajní, prut B138.....	30
Obrázek 38 - Odpovídající vnitřní síly pro $M_y, E_d, \max$ .....	30
Obrázek 39 - Odpovídající vnitřní síly pro $M_z, E_d, \max$ .....	30
Obrázek 40 - Odpovídající vnitřní síly pro $N_c, E_d, \max$ .....	32
Obrázek 41 - Odpovídající vnitřní síly pro $M_y, E_d, \max$ .....	32
Obrázek 42 - Vaznice krajní, prut B355 .....	32
Obrázek 43 - Montážní dílce vazníku.....	35
Obrázek 44 - Průřezové charakteristiky RHS150/100/5 (dle tabulek <sup>12)</sup> ) .....	35
Obrázek 45 - Horní pás, prut B78 .....	36
Obrázek 46 - Horní pás, prut B269 .....	36
Obrázek 47 - Průřezové charakteristiky RHS 200/150/10 (z programu Scia Engineer) .	38
Obrázek 48 - Dolní pás, prut B261 .....	39
Obrázek 49 - Dolní pás, prut B308.....	39
Obrázek 50 - Průřezové charakteristiky RO73x8 (z programu Scia Engineer).....	40
Obrázek 51 - Diagonála, prut B100.....	41
Obrázek 52 - Diagonála, prut B287.....	41
Obrázek 53 - Průřezové charakteristiky RO54x4 (z programu Scia Engineer).....	42

Obrázek 54 - Svislice, prut B84 .....	42
Obrázek 55 - Svislice, prut B278 .....	43
Obrázek 56 - Geometrie podélného ztužidla .....	43
Obrázek 57 - Pohled na podélné ztužidlo .....	44
Obrázek 58 - Průřezové charakteristiky SHS 80/80/4 (dle tabulek <sup>12</sup> ) .....	44
Obrázek 59 - Pás podélného ztužidla, prut B935.....	45
Obrázek 60 - Pás podélného ztužidla, prut B158.....	45
Obrázek 61 - Průřezové charakteristiky RD19 (z programu Scia Engineer).....	46
Obrázek 62 - Střešní ztužidlo, prut B605 .....	47
Obrázek 63 - Průřezové charakteristiky RD13 (z programu Scia Engineer).....	47
Obrázek 64 - Ztužidlo štítové stěny, prut 983.....	48
Obrázek 65 - Průřezové charakteristiky SHS100/100/6 (z programu Scia Engineer) ....	48
Obrázek 66 - Paždík štítový, prut B969 .....	49
Obrázek 67 - Paždík štítový, prut B1035 .....	49
Obrázek 68 - Paždík štítový, prut 964.....	50
Obrázek 69 - Paždík štítový, prut 994.....	50
Obrázek 70 - Odpovídající vnitřní síly pro $M_y, E_d, \max$ .....	51
Obrázek 71 - Odpovídající vnitřní síly pro $M_z, E_d, \max$ .....	51
Obrázek 72 - Paždík štítový, prut 995.....	51
Obrázek 73 - Odpovídající vnitřní síly pro $N_c, E_d, \max$ .....	52
Obrázek 74 - Odpovídající vnitřní síly pro $M_y, E_d, \max$ .....	52
Obrázek 75 - Průřezové charakteristiky IPE 300 (dle tabulek <sup>12</sup> ) .....	54
Obrázek 76 - Sloup, prut B992 .....	55
Obrázek 77 - Sloup, prut B998.....	55
Obrázek 78 - Sloup, prut B1001 .....	57
Obrázek 79 - Sloup, prut B812.....	57
Obrázek 80 - Sloup, prut B816 .....	57
Obrázek 81 - Průběh $M_y, E_d$ na posuzovaném úseku .....	58
Obrázek 82 - Tvar momentového obrazce (dle tab. NB.3.1 normy <sup>5</sup> ).....	58
Obrázek 83 - Vaznice střední, prut B690 .....	63
Obrázek 84 - Vaznice střední, prut B430 .....	63
Obrázek 85 - Vaznice krajní, prut B241 .....	63
Obrázek 86 - Vaznice krajní, prut B135 .....	63

Obrázek 87 – Svislý průhyb, vazník řada D .....	64
Obrázek 88 – Vodorovný průhyb, vazník řada B .....	64
Obrázek 89 - Vodorovný průhyb sloupu, prut B816) .....	64
Obrázek 90 - Paždík boční, prut B777 .....	64
Obrázek 91 - Paždík štítový, prut B1006 .....	65
Obrázek 92 - Globální deformace v podélném směru .....	65
Obrázek 93 - Globální deformace v příčném směru.....	65
Obrázek 94 - Připoj diagonál a svislice k dolnímu pásu .....	66
Obrázek 95 – Připoj diagonály a svislice k zalomenému hornímu pásu.....	71
Obrázek 96 - Příčný řez, rozmístění svarů .....	73
Obrázek 97 - Šroubovaný styčník čelní deskou, horní pás.....	74
Obrázek 98 - Vzdálenost šroubů od okraje (dle normy <sup>6</sup> ) .....	75
Obrázek 99 - Hodnoty $m_x$ , $w$ , $e_x$ , $b_p$ (dle normy <sup>6</sup> ) .....	75
Obrázek 100 - Stanovení hodnoty $d_m$ .....	77
Obrázek 101 - Šroubovaný styčník čelní deskou, dolní pás .....	78
Obrázek 102 - Vzdálenost šroubů od okraje (dle normy <sup>6</sup> ) .....	79
Obrázek 103 - Hodnoty $m_x$ , $w$ , $e_x$ , $b_p$ (dle normy <sup>6</sup> ) .....	79
Obrázek 104 - Stanovení hodnoty $d_m$ .....	81
Obrázek 105 - Připoj šroubované diagonály a podélného ztužidla na dolní pás.....	82
Obrázek 106 - Průřez oslabeného plechu.....	86
Obrázek 107 - Kotvení příčné vazby .....	87
Obrázek 108 - Podporové reakce z programu Scia Engineer .....	88
Obrázek 109 - Rozměry pro stanovení $M_{E,D}$ (dle normy <sup>6</sup> ).....	89
Obrázek 110 - Řez čelní deskou, koutový svar po obvodu .....	90
Obrázek 111 - Účinné rozměry T-profilu.....	91
Obrázek 112 - Geometrie patní desky.....	92
Obrázek 113 - Hodnoty $m_x$ , $w$ , $e_x$ , $b_p$ (dle normy <sup>6</sup> ) .....	92
Obrázek 114 - Stanovení hodnoty $d_m$ .....	93
Obrázek 115 - Technická data pro kotevní šrouby HAS (dle katalogu <sup>14</sup> ) .....	95
Obrázek 116 - Kotvení sloupu štítové stěny ve ztužidlovém poli .....	95
Obrázek 117 - Podporové reakce sloupů štítové stěny ze Scia Engineer .....	96
Obrázek 118 - Stanovení účinných rozměrů (dle normy <sup>8</sup> ) .....	97
Obrázek 119 – Účinné rozměry T-profilu .....	97

Obrázek 120 - Geometrie patní desky .....	98
Obrázek 121 - Geometrie T-profilu (dle normy <sup>8</sup> ) .....	98
Obrázek 122 - Graf pro součinitel $\alpha$ (dle normy <sup>8</sup> ) .....	98
Obrázek 123 - Stanovení hodnoty $d_m$ .....	101
Obrázek 124 - Technická data pro kotevní šrouby HAS (dle katalogu <sup>14</sup> ) .....	102