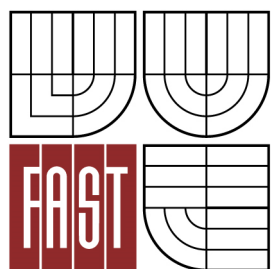




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## VÍCEÚČELOVÁ SPORTOVNÍ HALA THE MULTI-PURPOSE SPORTS HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN MALEŇÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Jan Maleňák

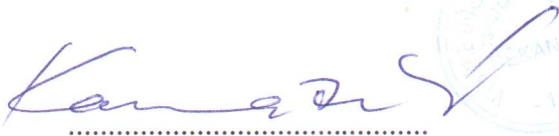
**Název** Víceúčelová sportovní hala

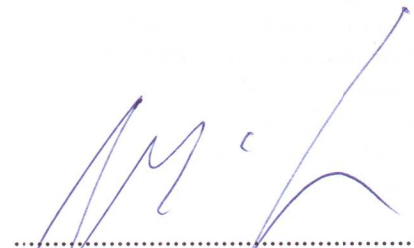
**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Michal Štrba, Ph.D.

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

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

V Brně dne 30. 11. 2014

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

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

## Podklady a literatura

Použity budou platné normy pro stanovení zatížení a navrhování ocelových konstrukcí, zejména:

- [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

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci této práce bude navržena a posouzena ocelová konstrukce víceúčelové sportovní haly o minimálních půdorysných rozměrech 30 x 50 a světlé výšce cca 12 m. Konstrukce bude vybrána na základě porovnání dvou předběžně řešených geometrických, resp. konstrukčních variant. Z hlediska klimatického zatížení konstrukce spadá do lokality města Brna. Pro zvolenou variantu bude vypracován statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce včetně spojů a některých detailů (dle specifikace vedoucího), technická zpráva se zahrnutím postupu montáže a výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím práce.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

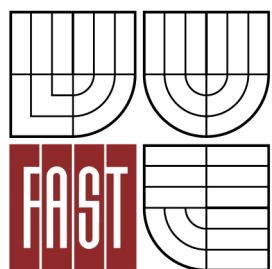
1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části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



Ing. Michal Štrba, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## ČÁST A – ÚVODNÍ DOKUMENT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

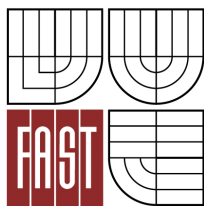
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN MALEŇÁK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.**

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STAVEBNÍ

## POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Michal Štrba, Ph.D.
<b>Autor práce</b>	Jan Maleňák
<b>Škola</b>	Vysoké učení technické v Brně
<b>Fakulta</b>	Stavební
<b>Ústav</b>	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Název práce</b>	Víceúčelová sportovní hala
<b>Název práce v anglickém jazyce</b>	The multi-purpose sports hall
<b>Typ práce</b>	Bakalářská práce
<b>Přidělovaný titul</b>	Bc.
<b>Jazyk práce</b>	Čeština
<b>Datový formát elektronické verze</b>	
<b>Anotace práce</b>	<p>Práce se zabývá návrhem ocelové konstrukce víceúčelové sportovní haly o půdorysných rozměrech <math>30 \times 60</math> m a světlé výšce 12 m. Hlavní nosná část je tvořena příhradovým vazníkem s rozpětím 30 m. Jedná se o vaznicovou soustavu s montovaným pláštěm. Konstrukce bude vybrána na základě porovnání dvou předběžně řešených variant. Prostorová tuhost konstrukce je v podélném směru zabezpečena příčným ztužidlem, v příčném směru samotným vazníkem. Z hlediska klimatického zatížení konstrukce spadá do lokality města Brna. Pro zvolenou variantu bude vypracován statický výpočet včetně výkresové dokumentace.</p>
<b>Anotace práce v anglickém jazyce</b>	<p>The thesis deals with the design of the construction of multi-function sports hall with floor plan dimensions <math>30 \times 60</math> m and height of the hall 12 m. The main loadbearing structure is formed by truss girder with span of 30 m. It is purlin roof with</p>

precast shell. The construction will be chosen based on comparing two preliminary designed variants. The spatial rigidity of the structure in longitudinal direction is provided by sway bracing, in traverse direction by the girder itself. In terms of climatic load, the structure falls within the locality of Brno. For the chosen variant will be developed static calculation including drawings.

**Klíčová slova**

Ocelová konstrukce  
Víceúčelová sportovní hala  
Příhradový vazník  
Vaznice  
Montážní spoj

**Klíčová slova v  
anglickém jazyce**

Steel construction  
Multi-function sports hall  
Truss girder  
Purlin  
Field joint

## **Abstrakt**

Práce se zabývá návrhem ocelové konstrukce víceúčelové sportovní haly o půdorysných rozměrech  $30 \times 60$  m a světlé výšce 12 m. Hlavní nosná část je tvořena příhradovým vazníkem s rozpětím 30 m. Jedná se o vaznicovou soustavu s montovaným pláštěm. Konstrukce bude vybrána na základě porovnání dvou předběžně řešených variant. Prostorová tuhost konstrukce je v podélném směru zabezpečena příčným ztužidlem, v příčném směru samotným vazníkem. Z hlediska klimatického zatížení konstrukce spadá do lokality města Brno. Pro zvolenou variantu bude vypracován statický výpočet včetně výkresové dokumentace.

## **Klíčová slova**

Ocelová konstrukce  
Víceúčelová sportovní hala  
Příhradový vazník  
Vaznice  
Montážní spoj

## **Abstract**

The thesis deals with the design of the construction of multi-function sports hall with floor plan dimensions  $30 \times 60$  m and height of the hall 12 m. The main loadbearing structure is formed by truss girder with span of 30 m. It is purlin roof with precast shell. The construction will be chosen based on comparing two preliminary designed variants. The spatial rigidity of the structure in longitudinal direction is provided by sway bracing, in traverse direction by the girder itself. In terms of climatic load, the structure falls within the locality of Brno. For the chosen variant will be developed static calculation including drawings.

## **Keywords**

Steel construction  
Multi-function sports hall  
Truss girder  
Purlin  
Field joint

## **Bibliografická citace VŠKP**

Jan Maleňák *Víceúčelová sportovní hala*. Brno, 2015. 175 s., 42 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Michal Štrba, Ph.D.



**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21.5.2015

.....  
podpis autora  
Jan Maleňák

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## **Prohlášení:**

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

V Brně dne 21.5.2015

.....  
podpis autora  
Jan Maleňák

**Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalovi Štrbovi Ph.D., za poskytnutí cenných rad, zodpovězení všech dotazů a za celkové vedení při mé bakalářské práci.

Tato bakalářská práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

## **Obsah bakalářské práce:**

**A – Úvodní dokument**

**B – Porovnání variant**

**C – Statický výpočet**

**D – Technická zpráva**

**E – Přílohy**

**F – Výkresová dokumentace**

- 1. Půdorys
- 2. Pohledy a řezy
- 3. Kotvení
- 4. Konstrukční výkres vazníku (dílec 1)
- 5. Konstrukční výkres vazníku (dílec 2)

## **Seznam použité literatury:**

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem

ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků

ING. ZDENĚK SOKOL, PH.D., PROF. ING. FRANTIŠEK WALD, CSC OCELOVÉ KONSTRUKCE tabulky. 1157th ed. Thákurova 1, Praha 6: nakladatelství ČVUT, 2013. 84 p. ISBN 978-80-01-04655-5.

PROF. ING. JIŘÍ STUDNIČKA, DRSC OCELOVÉ KONSTRUKCE 10 tabulky. 9081th ed. Žikova 4, Praha 6: nakladatelství ČVUT, 1998. 290 p. ISBN 80-01-01777-X.

Spoje ocelových konstrukcí. [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.ocel.wz.cz/>

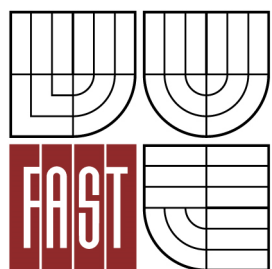
Kotevní technika. [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.fisher-cz.cz/>

Střešní panely. [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.unihal.cz/>

Detaily ocelových konstrukcí. [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.detailyok.webnode.cz/>



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## ČÁST B – POROVNÁNÍ VARIANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN MALEŇÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.

BRNO 2015

## OBSAH

1.	Varianta A.....	1
1.1.	Popis konstrukce .....	1
1.2.	Geometrie konstrukce .....	1
1.2.1.	Půdorys .....	1
1.2.2.	Příčný řez.....	2
1.3.	Zatížení.....	2
1.3.1.	Stálé.....	2
1.3.1.1.	Vlastní tíha ZS1.....	2
1.3.1.2.	Ostatní stálé ZS2 .....	2
1.3.1.2.1.	Střešní plášť.....	2
1.3.1.2.2.	Technické zařízení haly .....	2
1.3.2.	Proměnné.....	3
1.3.2.1.	Zatížení sněhem ZS3 .....	3
1.3.2.2.	Zatížení větrem ZS4 + ZS5.....	3
1.3.2.2.1.	Základní rychlost větru.....	3
1.3.2.2.2.	Střední rychlost větru .....	4
1.3.2.2.3.	Maximální dynamický tlak .....	4
1.3.2.2.4.	Tlak větru .....	5
1.4.	3D model.....	7
2.	Varianta B .....	8
2.1.	Popis konstrukce .....	8
2.2.	Geometrie konstrukce .....	8
2.2.1.	Půdorys .....	8
2.2.2.	Příčný řez.....	9

2.3.	Zatížení .....	9
2.3.1.	Stálé ZS1 .....	9
2.3.1.1.	Vlastní tíha .....	9
2.3.2.	Ostatní stálé ZS2 .....	9
2.3.2.1.	Střešní plášť .....	9
2.3.2.2.	Technické zařízení haly .....	9
2.3.3.	Proměnné.....	10
2.3.3.1.	Zatížení sněhem ZS3 .....	10
2.3.3.2.	Zatížení větrem ZS4+ZS5.....	10
2.3.3.2.1.	Základní rychlost větru.....	10
2.3.3.2.2.	Střední rychlost větru .....	11
2.3.3.2.3.	Maximální dynamický tlak .....	11
2.3.3.2.4.	Tlak větru .....	12
2.4.	3D model .....	15
3.	Porovnání variant .....	16
3.1.	Výkaz materiálu.....	16
3.1.1.	Varianta A.....	16
3.1.2.	Varianta B.....	16
3.2.	Další kritéria .....	17
3.3.	Vyhodnocení .....	17



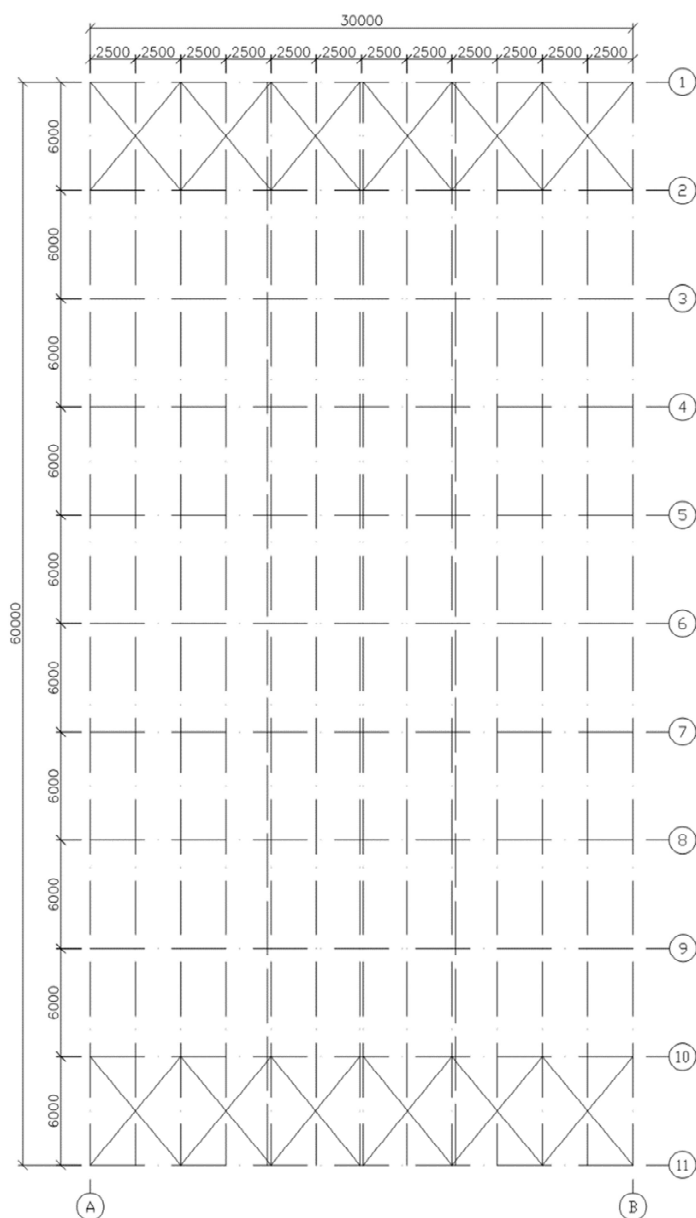
## 1. Varianta A

### 1.1. Popis konstrukce

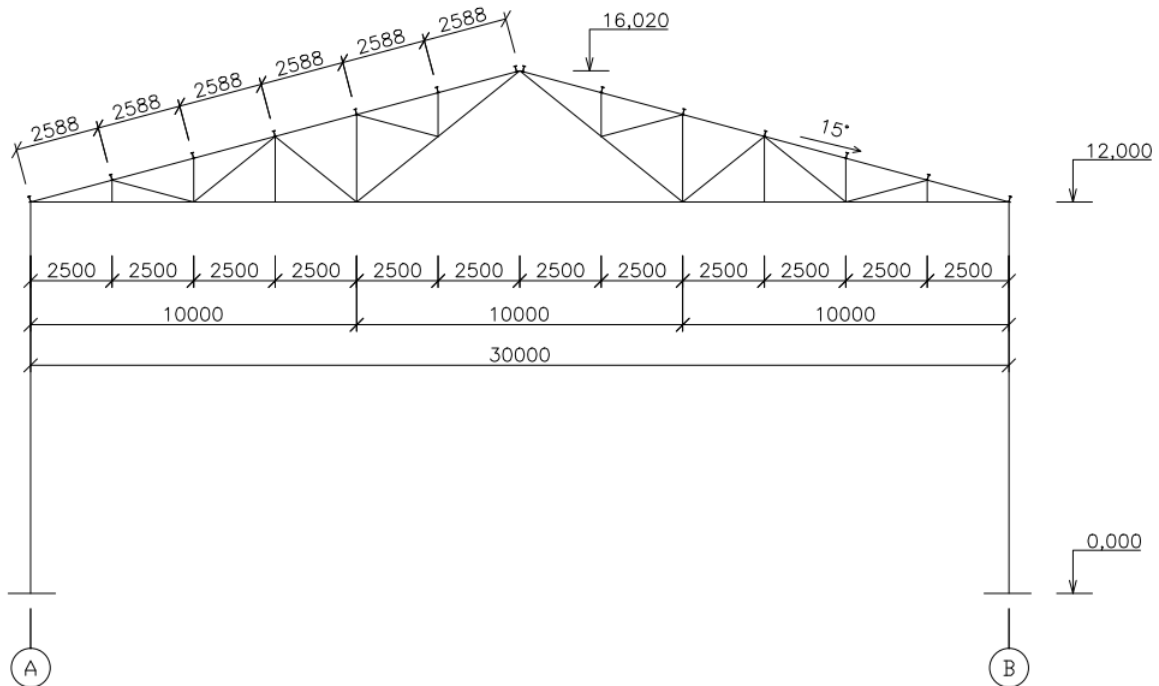
Varianta A se skládá ze dvou girlandových vazníků a táhla, osazených na sloupech, vetknutých v příčném směru. Příčné vazby jsou spojené plnostěnnými vaznicemi. Příčné ztužení je zajištěno dvojicí ztužidel v krajních polích.

### 1.2. Geometrie konstrukce

#### 1.2.1. Půdorys



### 1.2.2. Příčný řez



### 1.3. Zatížení

#### 1.3.1. Stálé

##### 1.3.1.1. Vlastní tíha ZS1

Vlastní tíha konstrukce byla vygenerována programem Dlubal RFEM

##### 1.3.1.2. Ostatní stálé ZS2

###### 1.3.1.2.1. Střešní plášť

Střecha i stěny jsou obloženy střešními panely KINGSPAN KS 1000 RW tloušťky 100mm.

Hmotnost panelu je  $12,34 \text{ kg/m}^2 = 0,1234 \text{ kN/m}^2$ .

$$g_{1k} = 0,123 \text{ kN/m}^2$$

###### 1.3.1.2.2. Technické zařízení haly

Technické zařízení haly  $20 \text{ kg/m}^2$ .

$$g_{2k} = 0,200 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k' = g_{1k} + g_{2k} = 0,123 + 0,200 = 0,323 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = g_k' \times 6,0 = 0,323 \times 6,0 = 1,938 \text{ kN/m}$$

### 1.3.2. Proměnné

#### 1.3.2.1. Zatížení sněhem ZS3

Lokalita Brno – sněhová oblast II

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice

$$C_e = 1,0$$

Tepelný součinitel

$$C_t = 1,0$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem

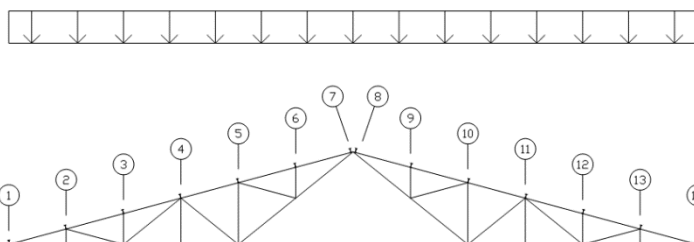
$$\mu_i = 0,8$$

$$s = s_k \times C_e \times C_t \times \mu_i = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,8 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$s = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

- Sníh plný:

$$s = 0,8 \text{ kN/m}^2$$



#### 1.3.2.2. Zatížení větrem ZS4 + ZS5

Lokalita Brno – větrná oblast II

Kategorie terénu II

##### 1.3.2.2.1. Základní rychlost větru

Výchozí základní rychlost větru

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

Součinitel směru větru

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

Součinitel ročního období

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

$$V_b = V_{b,0} \times C_{dir} \times C_{season} = 25 \times 1,0 \times 1,0 = 25 \text{ m/s}$$

#### 1.3.2.2.2. Střední rychlost větru

##### Výška objektu

$$z = 16,02 \text{ m}$$

##### Parametr drsnosti terénu

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

##### Minimální výška

$$z_{\min} = 2,0 \text{ m}$$

##### Maximální výška

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

##### Součinitel orografie

$$C_0(z) = 1,0$$

##### Součinitel terénu

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

##### Součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \times \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,19 \times \ln \left( \frac{16,02}{0,05} \right) = 1,096$$

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b = 1,096 \times 1,0 \times 25 = 27,4 \text{ m/s}$$

#### 1.3.2.2.3. Maximální dynamický tlak

##### Měrná hmotnost vzduchu

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

##### součinitel turbulence

$$k_1 = 1,0$$

##### Intenzita turbulence

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \times \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 \times \ln \left( \frac{16,02}{0,05} \right)} = 0,173$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = [1 + 7 \times 0,173] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 27,4^2 = 1,037 \text{ kN/m}^2$$

#### 1.3.2.2.4. Tlak větru

- Působení větru na střechu

Maximální dynamický tlak

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 1,037 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

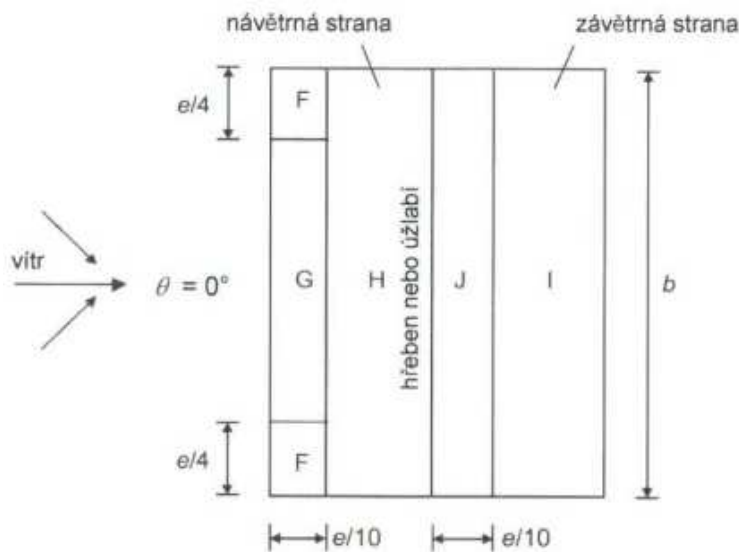
#### – Příčný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(60; 2 \times 16,02) = \min(60; 32,04) = 32,04 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{32,04}{4} = 8,01 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{32,04}{10} = 3,20 \text{ m}$$

$$A \geq 10\text{m}^2 \rightarrow c_{pe} = c_{pe,10}$$



SÁNÍ		
oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	-0,900	-0,933
G	-0,800	-0,830
H	-0,300	-0,311
I	-0,400	-0,415
J	-1,000	-1,037

TLAK		
oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	+0,200	0,207
G	+0,200	0,207
H	+0,200	0,207
I	+0,000	0,000
J	+0,000	0,000

- Působení větru na stěny

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 1,037 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

- Příčný vítr

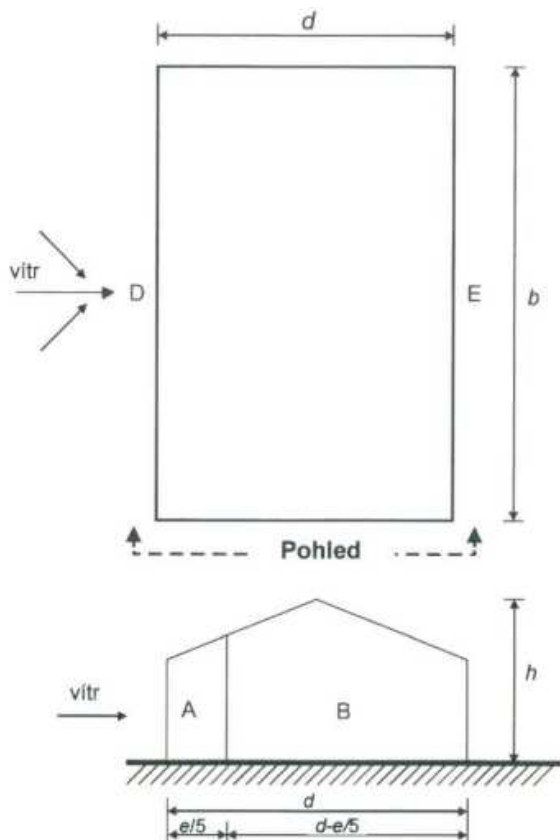
$$e = \min(b; 2h) = \min(60; 2 \times 16,02) = \min(60; 32,04) = 32,04 \text{ m}$$

$$\frac{e}{5} = \frac{32,04}{5} = 6,41 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{16,02}{30,00} = 0,534$$

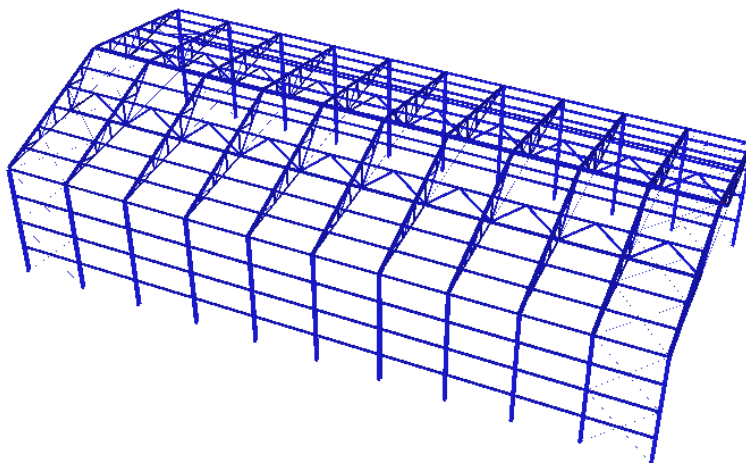
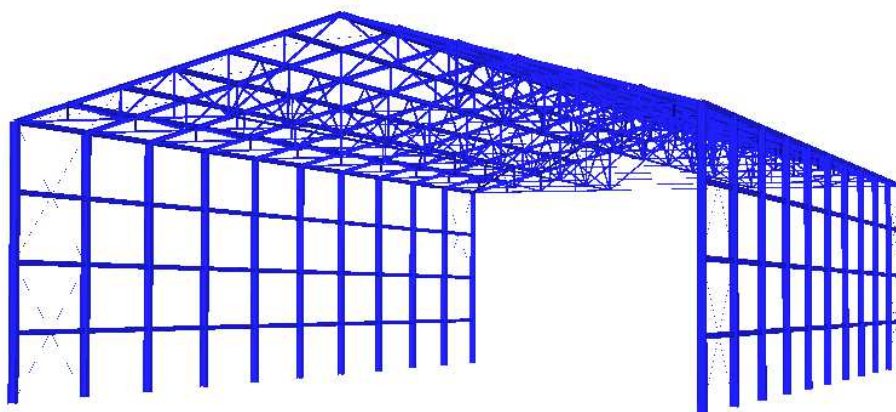
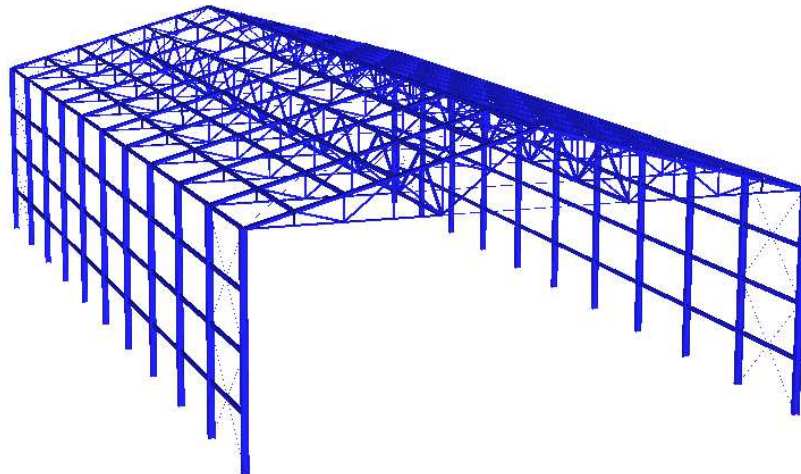
$$e \geq d$$

$$32,04 \text{ m} \geq 30,00 \text{ m}$$



oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
D	0,738	0,765
E	-0,376	-0,390

1.4. 3D model



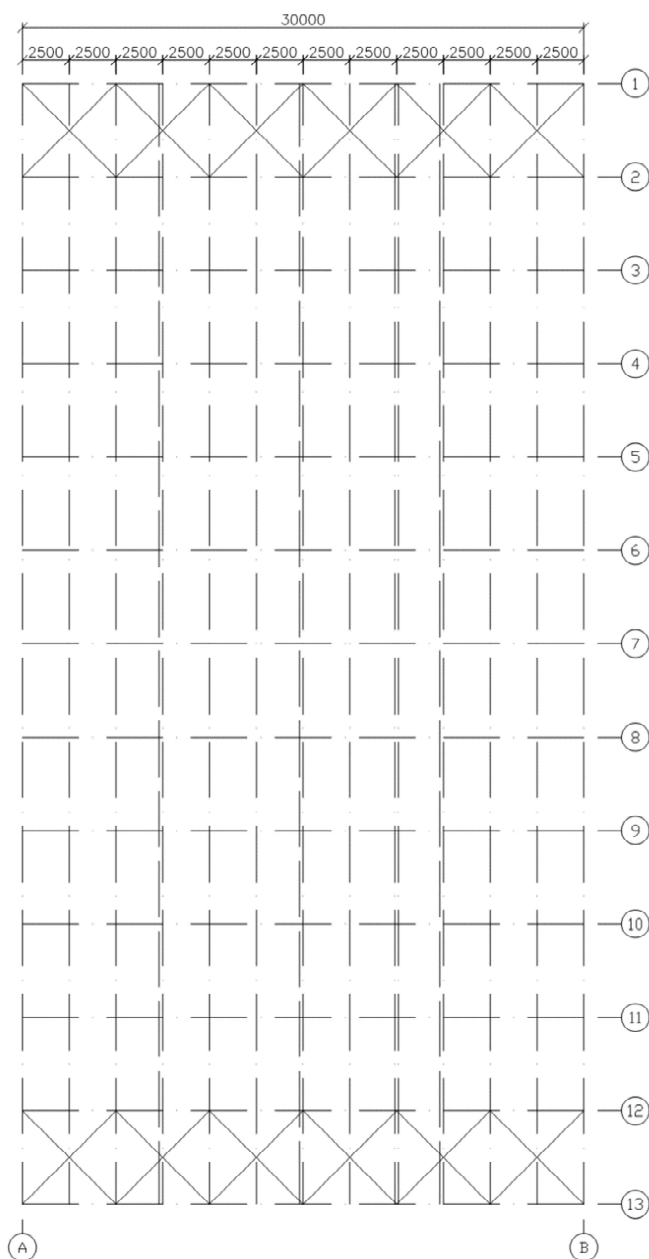
## 2. Varianta B

### 2.1. Popis konstrukce

Varianta B je tvořena z nesymetrických Prattových vazníků, uložených na sloupech, vetknutých v příčném směru. Příčné vazby jsou spojené plnostěnnými vaznicemi. Příčné ztužení je zajištěno dvojicí ztužidel v krajních polích.

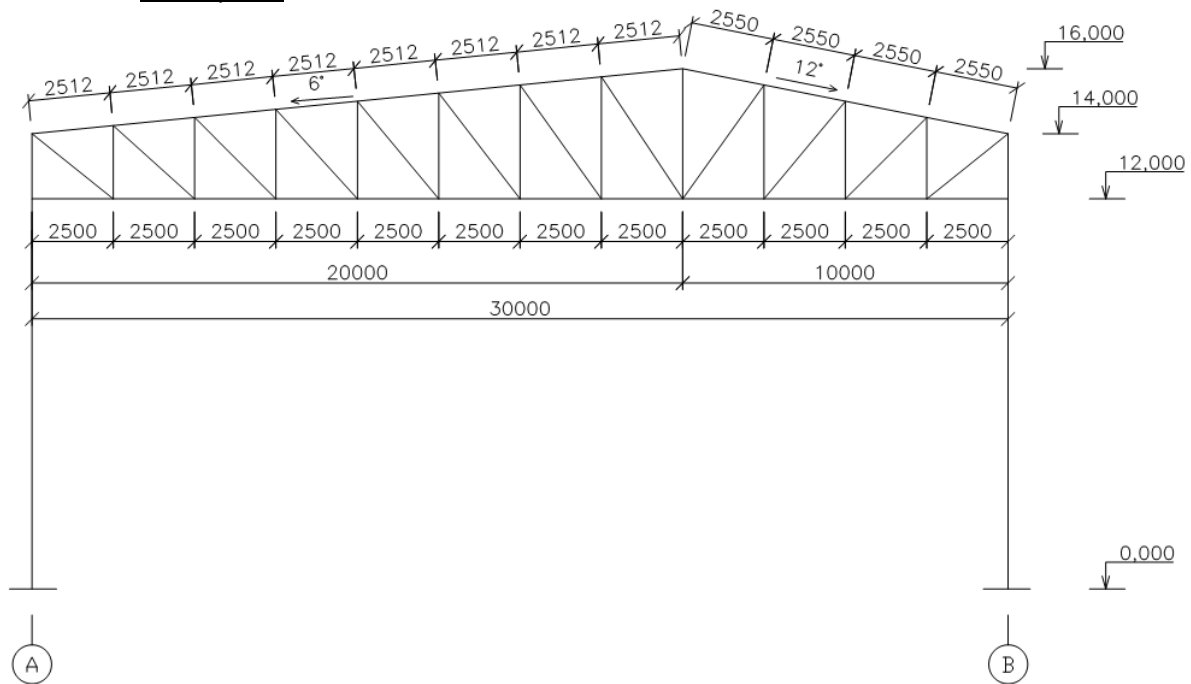
### 2.2. Geometrie konstrukce

#### 2.2.1. Půdorys





## 2.2.2. Příčný řez



## 2.3. Zatížení

### 2.3.1. Stálé ZS1

#### 2.3.1.1. Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce byla vygenerována programem Dlubal RFEM

### 2.3.2. Ostatní stálé ZS2

#### 2.3.2.1. Střešní plášť

Střecha i stěny jsou obloženy střešními panely KINGSPAN KS 1000 RW tloušťky 100mm.

Hmotnost panelu je  $12,34 \text{ kg/m}^2 = 0,1234 \text{ kN/m}^2$ .

$$g_{1k} = 0,123 \text{ kN/m}^2$$

#### 2.3.2.2. Technické zařízení haly

Technické zařízení haly  $20 \text{ kg/m}^2$ .

$$g_{2k} = 0,200 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = g_{1k} + g_{2k} = 0,123 + 0,200 = 0,323 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k' = g_k' \times 5,0 = 0,323 \times 5,0 = 1,615 \text{ kN/m}$$

### 2.3.3. Proměnné

#### 2.3.3.1. Zatížení sněhem ZS3

Lokalita Brno – sněhová oblast II

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$$s_K = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice

$$C_e = 1,0$$

Tepelný součinitel

$$C_t = 1,0$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem

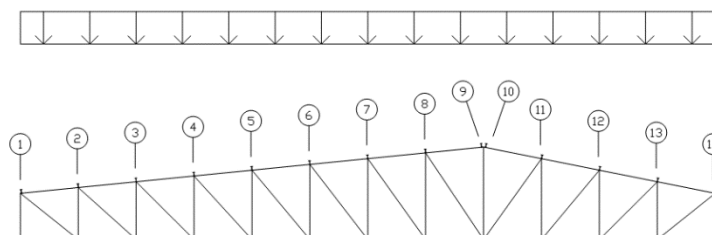
$$\mu_i = 0,8$$

$$s = s_K \times C_e \times C_t \times \mu_i = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,8 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

- Sníh plný:

$$s = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$s=0,8 \text{ kN/m}^2$$



#### 2.3.3.2. Zatížení větrem ZS4+ZS5

Lokalita Brno – větrná oblast II

Kategorie terénu II

##### 2.3.3.2.1. Základní rychlost větru

Výchozí základní rychlost větru

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

Součinitel směru větru

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

Součinitel ročního období

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

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

### 2.3.3.2.2. Střední rychlost větru

#### Výška objektu

$$z = 16,00 \text{ m}$$

#### Parametr drsnosti terénu

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

#### Minimální výška

$$z_{\min} = 2,0 \text{ m}$$

#### Maximální výška

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

#### Součinitel orografie

$$C_0(z) = 1,0$$

#### Součinitel terénu

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

#### Součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \times \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,19 \times \ln \left( \frac{16,00}{0,05} \right) = 1,096$$

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b = 1,096 \times 1,0 \times 25 = 27,4 \text{ m/s}$$

### 2.3.3.2.3. Maximální dynamický tlak

#### Měrná hmotnost vzduchu

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

#### součinitel turbulence

$$k_1 = 1,0$$

#### Intenzita turbulence

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \times \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 \times \ln \left( \frac{16,00}{0,05} \right)} = 0,173$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = [1 + 7 \times 0,173] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 27,4^2 = 1,037 \text{ kN/m}^2$$

#### 2.3.3.2.4. Tlak větru

- Působení větru na střechu

##### Maximální dynamický tlak

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 1,037 \text{ kN/m}^2$$

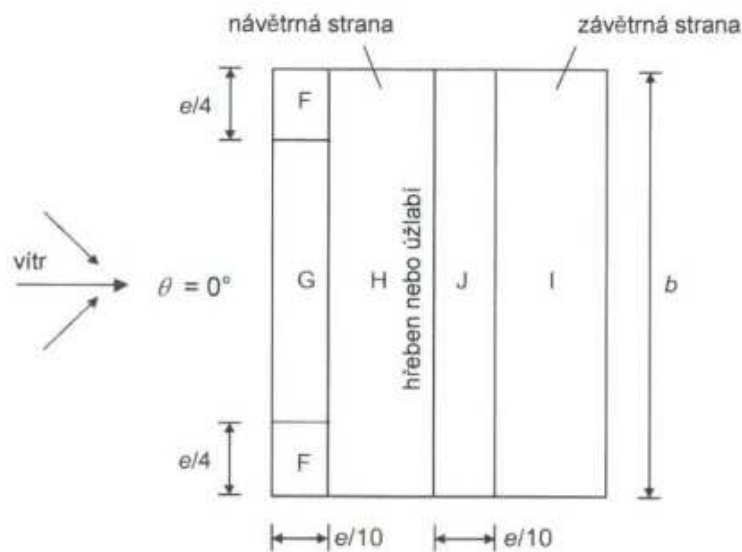
$$w_i = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

##### – Příčný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(60; 2 \times 16,00) = \min(60; 32,00) = 32,00 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{32,00}{4} = 8,00 \text{ m} \quad \frac{e}{10} = \frac{32,00}{10} = 3,20 \text{ m}$$

$$A \geq 10\text{m}^2 \rightarrow c_{pe} = c_{pe,10}$$



## Interpolace

SÁNÍ					
Úhel sklonu $\alpha$	F	G	H	I	J
5	-1,700	-1,200	-0,600	-0,600	0,200
15	-0,900	-0,800	-0,300	-0,400	-1,000
6	-1,620	-1,160	-0,570	-0,580	0,080
12	-1,140	-0,920	-0,390	-0,460	-0,640

TLAK					
Úhel sklonu $\alpha$	F	G	H	I	J
5	0,000	0,000	0,000	-0,600	-0,600
15	0,200	0,200	0,200	0,000	0,000
6	0,020	0,020	0,020	-0,540	-0,540
12	0,140	0,140	0,140	-0,180	-0,180

SÁNÍ			
oblast	Úhel sklonu $\alpha$	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	6	-1,620	-1,680
G		-1,160	-1,203
H		-0,570	-0,591
I	12	-0,460	-0,477
J		-0,640	-0,664

TLAK			
oblast	Úhel sklonu $\alpha$	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	6	0,020	0,021
G		0,020	0,021
H		0,020	0,021
I	12	-0,180	-0,187
J		-0,180	-0,187

- Působení větru na stěny

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 1,037 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

– Příčný vítr

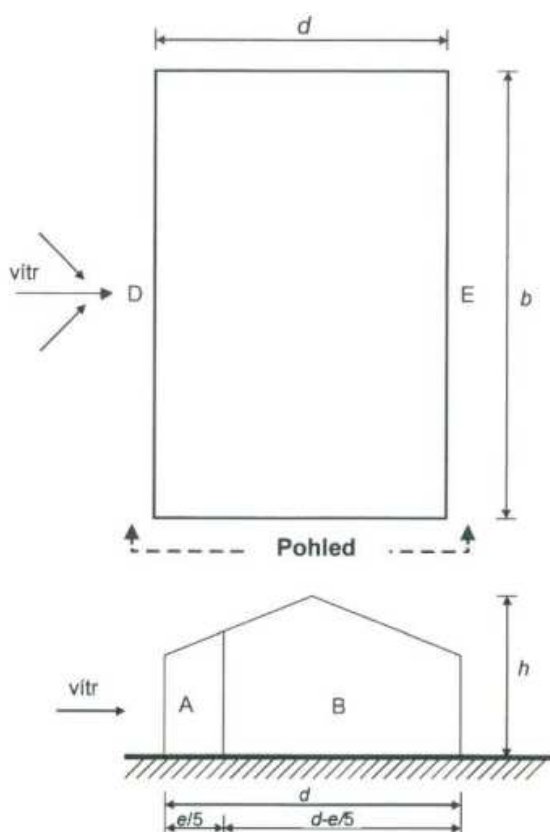
$$e = \min(b; 2h) = \min(60; 2 \times 16,00) = \min(60; 32,00) = 32,00 \text{ m}$$

$$\frac{e}{5} = \frac{32,00}{5} = 6,40 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{16,00}{30,00} = 0,533$$

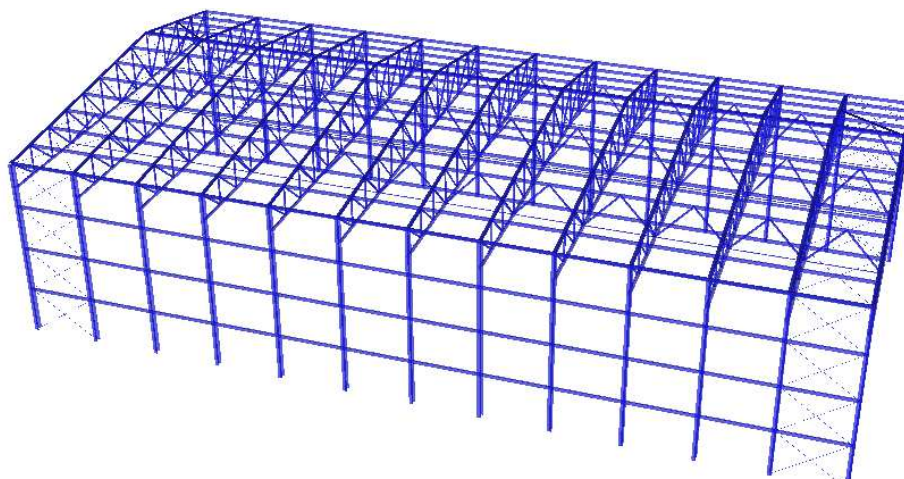
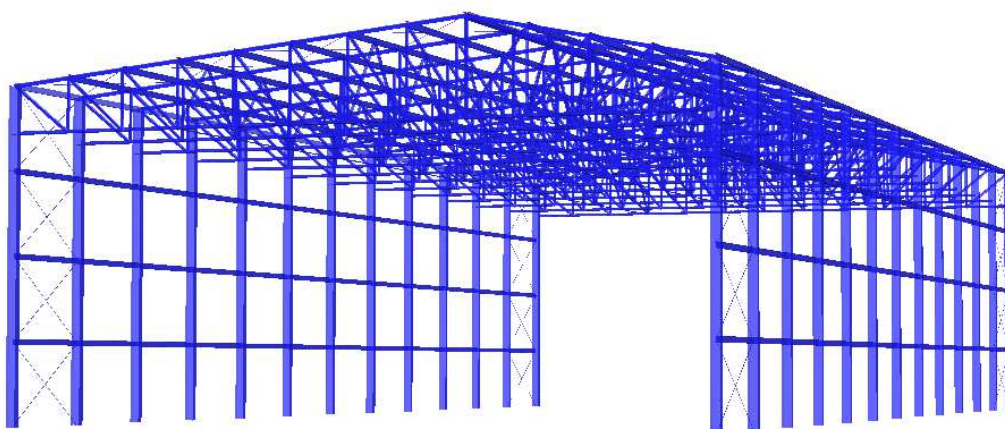
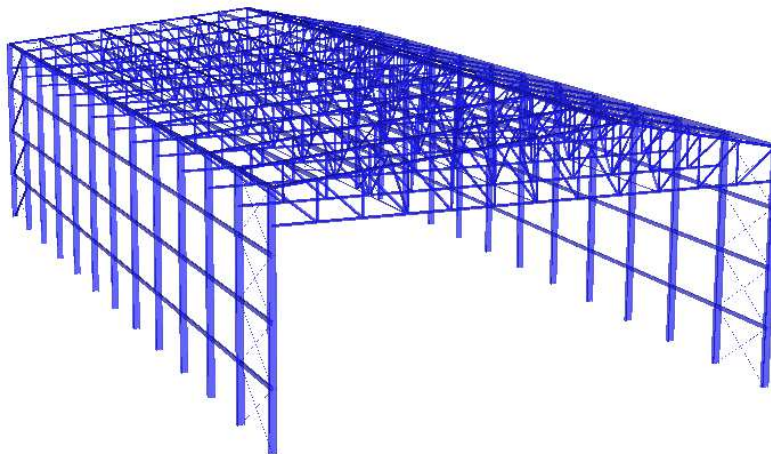
$$e \geq d$$

$$32,00 \text{ m} \geq 30,00 \text{ m}$$



oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
D	0,738	0,765
E	-0,376	-0,390

## 2.4. 3D model



## 3. Porovnaní variant

### 3.1. Výkaz materiálu

#### 3.1.1. Varianta A

Položka č.	Název prvku	Označení průřezu	Počet prutů	Celk. délka [m]	Měr. hmotn. [kg/m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Celk. hmotn. [t]
1	Sloupy	HEB 340	88	264,00	134,24	477,84	35,44
2	Dolní pás	2LA L 90x90x8	176	502,28	21,82	261,75	10,96
3	Horní pás	2LA L 200x200x20	68	341,65	119,79	399,42	40,93
4	Paždíky	IPE 240	60	360,00	30,69	331,92	11,05
5	Táhla	RD 40	11	110,00	9,89	13,82	1,09
6	Diagonály	2LC L 60x60x5	198	431,91	9,14	201,38	3,95
7	Ztužidla	RD 10	34	278,40	0,62	8,75	0,17
8	Vaznice	IPE 240	160	840	30,69	774,48	25,782
9	Pod. ztužidlo	2LC L 60x60x5	60	280,91	9,14	130,98	2,57
						celkem Σ	106,15

#### 3.1.2. Varianta B

Položka č.	Název prvku	Označení průřezu	Počet prutů	Celk. délka [m]	Měr. hmotn. [kg/m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Celk. hmotn. [t]
1	Sloupy	HE B 320	130	364,00	126,39	644,28	46,00
2	Dolní pás	1/2 HE B 260	13	390,00	46,47	296,40	18,12
3	Horní pás	2LA L 200x200x25	160	361,06	147,74	422,44	53,34
4	Paždíky	IPE 220	72	360,00	26,22	305,28	9,44
5	Diagonály	2LC L 80x80x8	299	1034,46	19,31	644,30	19,98
6	Ztužidla	RD 8	64	365,86	0,39	9,19	0,14
7	Vaznice	IPE 220	204	840,00	26,22	712,32	22,02
8	Pod. ztužidlo 1	U 65	36	180,00	7,09	49,14	1,28
9	Pod. ztužidlo 2	2LC L 80x80x8	72	295,65	19,31	184,14	5,71
						celkem Σ	176,04



### 3.2. Další kritéria

č.	Kritérium	Varianta A	Varianta B
1	Počet prutů	459	846
2	Počet styčnicků	30	32
3	Plocha [m <sup>2</sup> ]	1826	3267

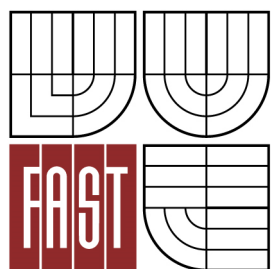
### 3.3. Vyhodnocení

Při celkovém srovnání obou variant z hlediska hmotnosti a tedy i předpokládané ceny vyšla lépe varianta A, která je o 40% lehčí než varianta B. Při porovnání počtu styčnicků na jednu vazbu v příčném směru, celkového počtu prutů v konstrukci a celkové plochy, vyšla jednoznačně jako lepší možnost Varianta A, která je i z konstrukčního a estetického hlediska zajímavější.

Po uvážení všech kritérií a po dohodě s vedoucím práce byla vybrána varianta A, která bude dále podrobně řešena.



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## ČÁST C – STATICKÝ VÝPOČET

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN MALEŇÁK**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.**

BRNO 2015

## OBSAH

1.	Geometrický model .....	1
1.1.	Půdorys .....	1
1.2.	Příčný řez .....	2
1.3.	Rozmístění hřišť.....	2
2.	Výpočtový model .....	3
2.1.	Drátěný model.....	3
2.2.	Plný model .....	3
3.	Zatížení .....	4
3.1.	Stálé .....	4
3.1.1.	Vlastní tíha ZS1 .....	4
3.1.1.1.	Ostatní stálé ZS2 .....	4
3.1.2.	Proměnné.....	4
3.1.2.1.	Zatížení sněhem .....	4
3.1.2.2.	Zatížení větrem .....	6
4.	Zatěžovací stavy .....	11
4.1.	ZS1 - Vlastní tíha .....	11
4.2.	ZS2 - ostatní stálé .....	11
4.3.	ZS3 - Sníh plný.....	12
4.4.	ZS4 - Sníh levý .....	12
4.5.	ZS5 - Sníh pravý .....	13
4.6.	ZS6 - Vítr příčný - sání + sání .....	13
4.7.	ZS7 - Vítr příčný - tlak + tlak .....	14
4.8.	ZS8 - Vítr příčný - sání + tlak.....	14
4.9.	ZS9 - Vítr příčný - tlak + sání.....	15

4.10.	ZS10 - Vítr podélný .....	15
5.	Výkaz materiálu .....	16
6.	Kombinace zatížení .....	16
6.1.	Zatěžovací stavy .....	16
6.2.	Klíč kombinací dle ČSN EN 1990 .....	17
6.2.1.	MSÚ .....	17
6.2.1.1.	Kombinace 6.10a .....	17
6.2.1.2.	Kombinace 6.10b .....	17
6.2.2.	MSP .....	17
6.2.2.1.	Charakteristická .....	17
6.3.	Jednotlivé kombinace .....	18
7.	Posouzení prvků - MSÚ, MSP .....	23
7.1.	Vaznice - HEA 140 .....	23
7.1.1.	Průřezové charakteristiky .....	23
7.1.2.	Materiálové charakteristiky .....	24
7.1.3.	Vnitřní síly .....	24
7.1.4.	MSÚ .....	24
7.1.4.1.	Posouzení na tah .....	25
7.1.4.2.	Posouzení na ohyb .....	25
7.1.4.3.	Posouzení na smyk .....	26
7.1.4.4.	Posouzení na vzpěr .....	26
7.1.4.5.	Posouzení na klopení .....	28
7.1.4.6.	Posouzení na ohyb a osový tah .....	30
7.1.5.	MSP .....	32
7.2.	Sloupy - HEM 550 .....	33

7.2.1.	Průřezové charakteristiky.....	33
7.2.2.	Materiálové charakteristiky .....	34
7.2.3.	Vnitřní síly .....	34
7.2.4.	MSÚ.....	34
7.2.4.1.	Posouzení na tlak .....	35
7.2.4.2.	Posouzení na ohyb .....	35
7.2.4.3.	Posouzení na smyk.....	36
7.2.4.4.	Posouzení na vzpěr .....	37
7.2.4.5.	Posouzení na klopení .....	39
7.2.4.6.	Posouzení na ohyb a osový tlak .....	41
7.2.5.	MSP .....	44
7.3.	Paždík v podélném směru - HEB 160.....	46
7.3.1.	Průřezové charakteristiky.....	46
7.3.2.	Materiálové charakteristiky .....	47
7.3.3.	Vnitřní síly .....	47
7.3.4.	MSÚ.....	47
7.3.4.1.	Posouzení na tlak .....	48
7.3.4.2.	Posouzení na ohyb .....	48
7.3.4.3.	Posouzení na smyk.....	49
7.3.4.4.	Posouzení na vzpěr .....	49
7.3.4.5.	Posouzení na klopení .....	51
7.3.5.	MSP .....	53
7.4.	Horní pás - 2xL 160x160x15.....	55
7.4.1.	Průřezové charakteristiky.....	55
7.4.2.	Materiálové charakteristiky .....	56

7.4.3.	Vnitřní síly .....	56
7.4.4.	MSÚ .....	56
7.4.4.1.	Posouzení na tlak .....	57
7.4.4.2.	Posouzení na ohyb .....	57
7.4.4.3.	Posouzení na smyk .....	58
7.4.4.4.	Posouzení na vzpěr .....	58
7.4.4.5.	Posouzení na klopení .....	60
7.4.5.	MSP .....	62
7.5.	Dolní pás vodorovný - 2xL 180x180x18.....	63
7.5.1.	Průřezové charakteristiky.....	63
7.5.2.	Materiálové charakteristiky .....	64
7.5.3.	Vnitřní síly .....	64
7.5.4.	MSÚ .....	64
7.5.4.1.	Posouzení na tah.....	65
7.5.4.2.	Posouzení na ohyb .....	65
7.5.4.3.	Posouzení na vzpěr .....	66
7.5.4.4.	Posouzení na klopení .....	68
7.5.5.	MSP .....	70
7.6.	Svislice - 2xL 50x50x6 .....	71
7.6.1.	Průřezové charakteristiky.....	71
7.6.2.	Materiálové charakteristiky .....	72
7.6.3.	Vnitřní síly .....	72
7.6.4.	MSÚ .....	72
7.6.4.1.	Posouzení na tah.....	73
7.6.4.2.	Posouzení na vzpěr členěného prutu .....	73

7.7.	Diagonály - 2xL 60x60x6.....	77
7.7.1.	Průřezové charakteristiky.....	77
7.7.2.	Materiálové charakteristiky .....	78
7.7.3.	Vnitřní síly .....	78
7.7.4.	MSÚ.....	78
7.7.4.1.	Posouzení na tah.....	79
7.7.4.2.	Posouzení na vzpěr členěného prutu .....	79
7.8.	Podélné ztužidlo vodorovné - 2xL 70x70x8 .....	83
7.8.1.	Průřezové charakteristiky.....	83
7.8.2.	Materiálové charakteristiky .....	84
7.8.3.	Vnitřní síly .....	84
7.8.4.	MSÚ.....	84
7.8.4.1.	Posouzení na tah.....	85
7.8.4.2.	Posouzení na vzpěr členěného prutu .....	85
7.9.	Podélné ztužidlo šikmé - 2xL 70x70x8.....	89
7.9.1.	Průřezové charakteristiky.....	89
7.9.2.	Materiálové charakteristiky .....	90
7.9.3.	Vnitřní síly .....	90
7.9.4.	MSÚ.....	90
7.9.4.1.	Posouzení na tah.....	91
7.9.4.2.	Posouzení na vzpěr členěného prutu .....	91
7.10.	Táhlo - RD 40.....	95
7.10.1.	Průřezové charakteristiky.....	95
7.10.2.	Materiálové charakteristiky .....	95
7.10.3.	Vnitřní síly .....	96

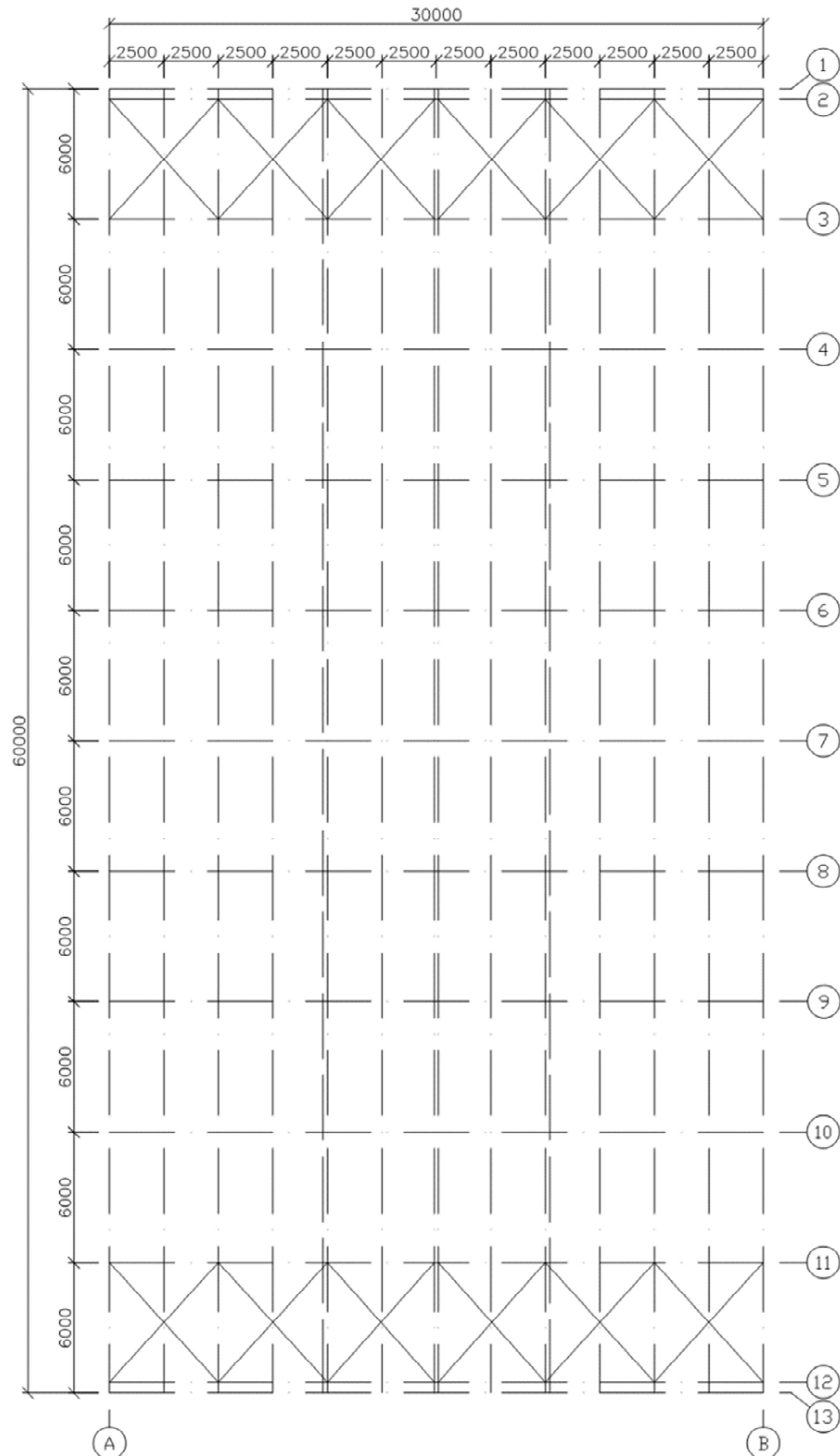
7.10.4.	MSÚ .....	96
7.10.4.1.	Posouzení na tah .....	96
7.11.	Ztužidlo - RD 25.....	97
7.11.1.	Průřezové charakteristiky.....	97
7.11.2.	Materiálové charakteristiky .....	97
7.11.3.	Vnitřní síly .....	98
7.11.4.	MSÚ .....	98
7.11.4.1.	Posouzení na tah.....	98
8.	Posouzení spojů.....	99
8.1.	Montážní spoj dolního pásu vazníku .....	99
8.1.1.	Únosnost na stříh.....	100
8.1.2.	Únosnost na otláčení.....	100
8.1.3.	Únosnost oslabeného průřezu.....	101
8.1.4.	Posouzení příložek.....	102
8.2.	Montážní spoj horního pásu vazníku .....	103
8.2.1.	Vliv páčení .....	104
8.2.2.	Únosnost na přetržení.....	104
8.2.3.	Únosnost na protlačení .....	104
8.3.	Montážní spoj vazníků ve vrcholu .....	106
8.3.1.	Vliv páčení .....	107
8.3.2.	Únosnost na přetržení.....	107
8.3.3.	Únosnost na protlačení .....	107
8.4.	Montážní spoj diagonály - šroubový spoj.....	109
8.4.1.	Únosnost na stříh.....	110
8.4.2.	Únosnost na otláčení.....	110



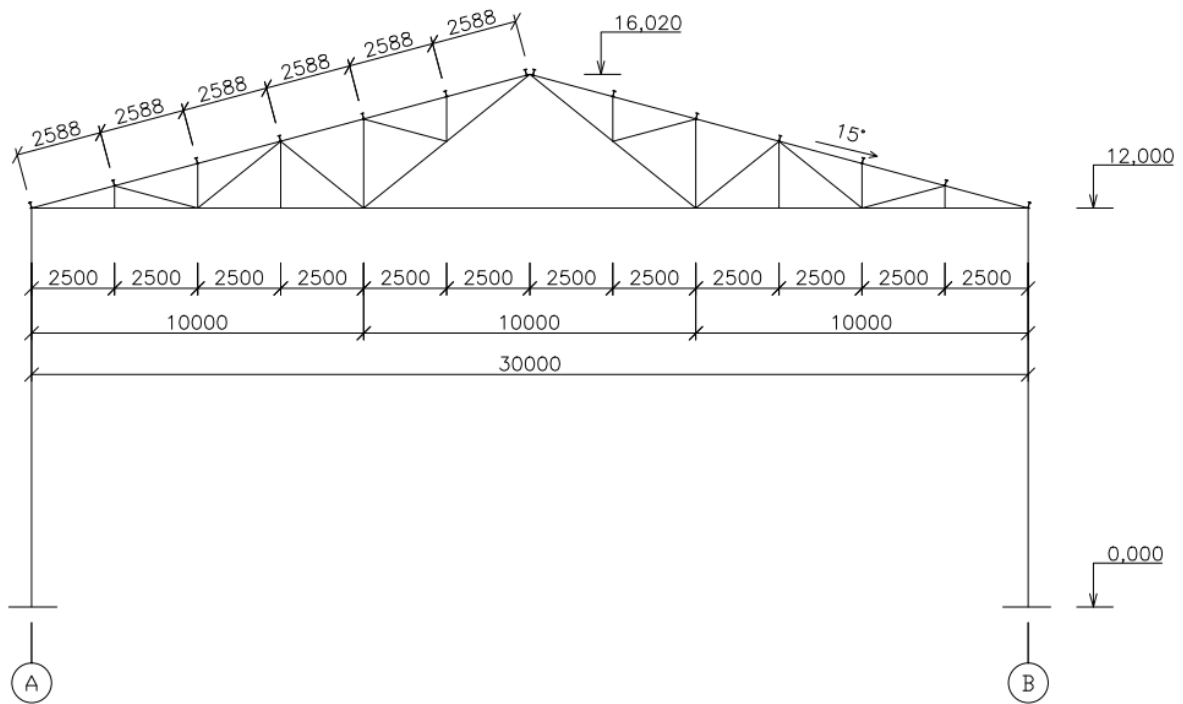
8.4.3.	Únosnost oslabeného průřezu.....	111
8.5.	Montážní spoj diagonály - tupý svar.....	112
8.5.1.	Svar b.....	112
8.5.2.	Svar b.....	113
8.6.	Montážní spoj svislice - tupý svar.....	115
8.6.1.	Svar b.....	115
8.6.2.	Svar b.....	116
8.7.	Montážní spoj táhla.....	118
8.7.1.	Únosnost na stříh.....	119
8.7.2.	Únosnost na otláčení.....	119
8.8.	Montážní čepový spoj - osazení vazníku na sloup.....	121
8.8.1.	Návrh geometrie.....	121
8.8.2.	Únosnost na stříh.....	122
8.8.3.	Únosnost na otláčení.....	122
8.8.4.	Únosnost v ohybu.....	122
8.8.5.	Kombinace stříhu a ohybu.....	123

## 1. Geometrický model

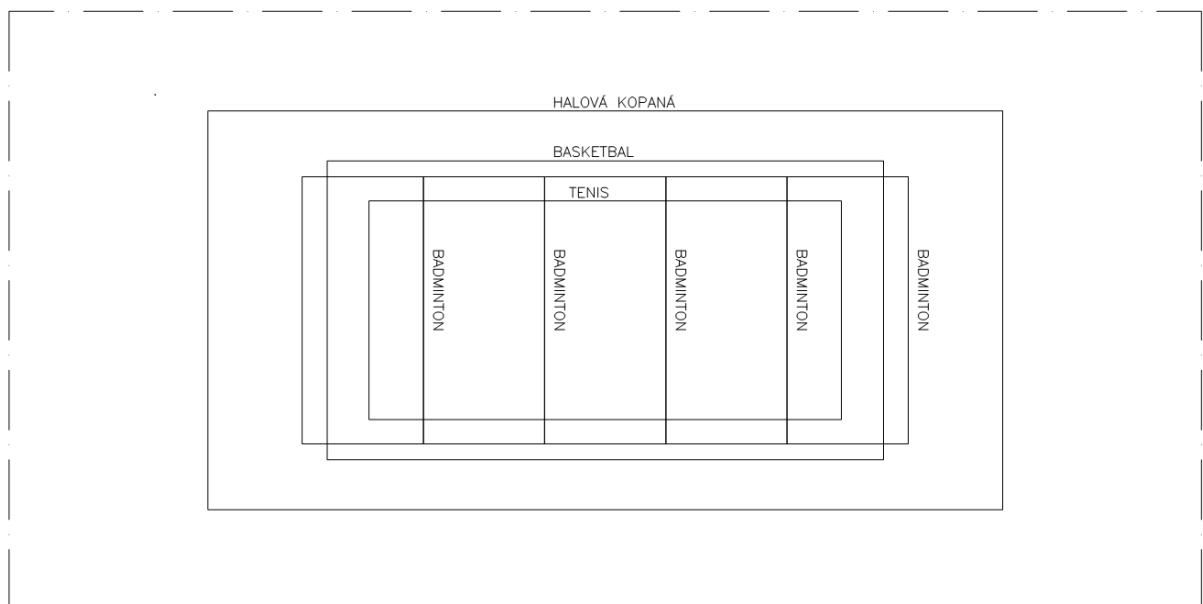
### 1.1. Půdorys



## 1.2. Příčný řez

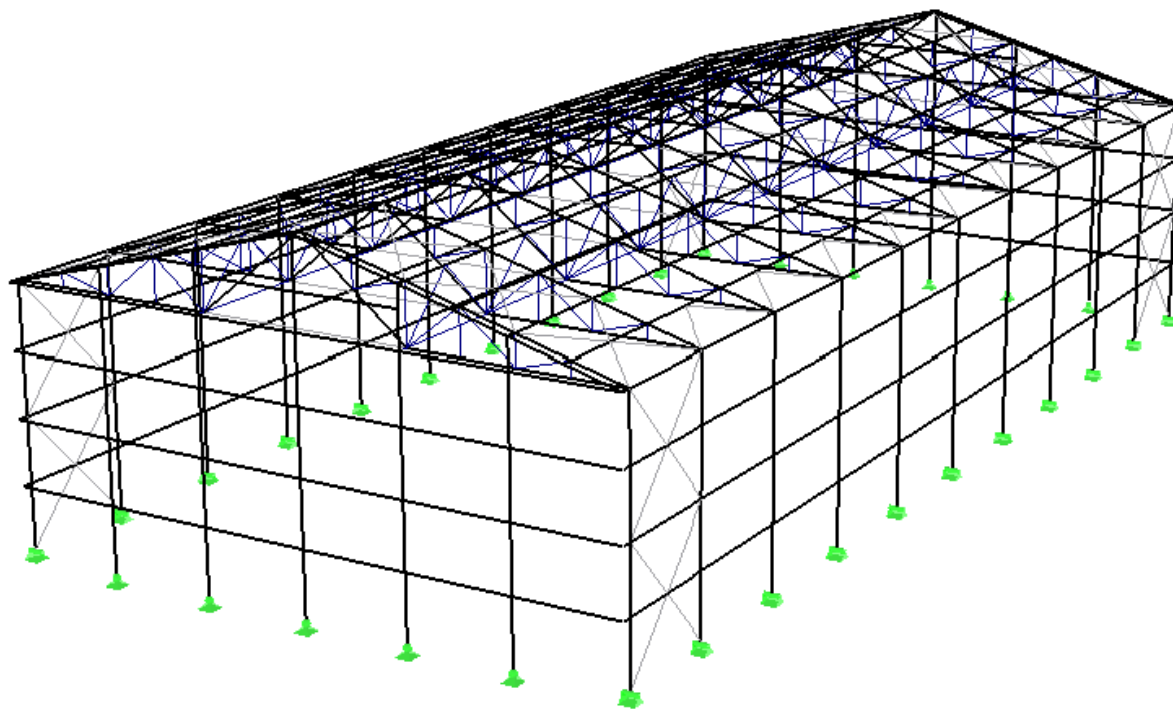


## 1.3. Rozmístění hřišť

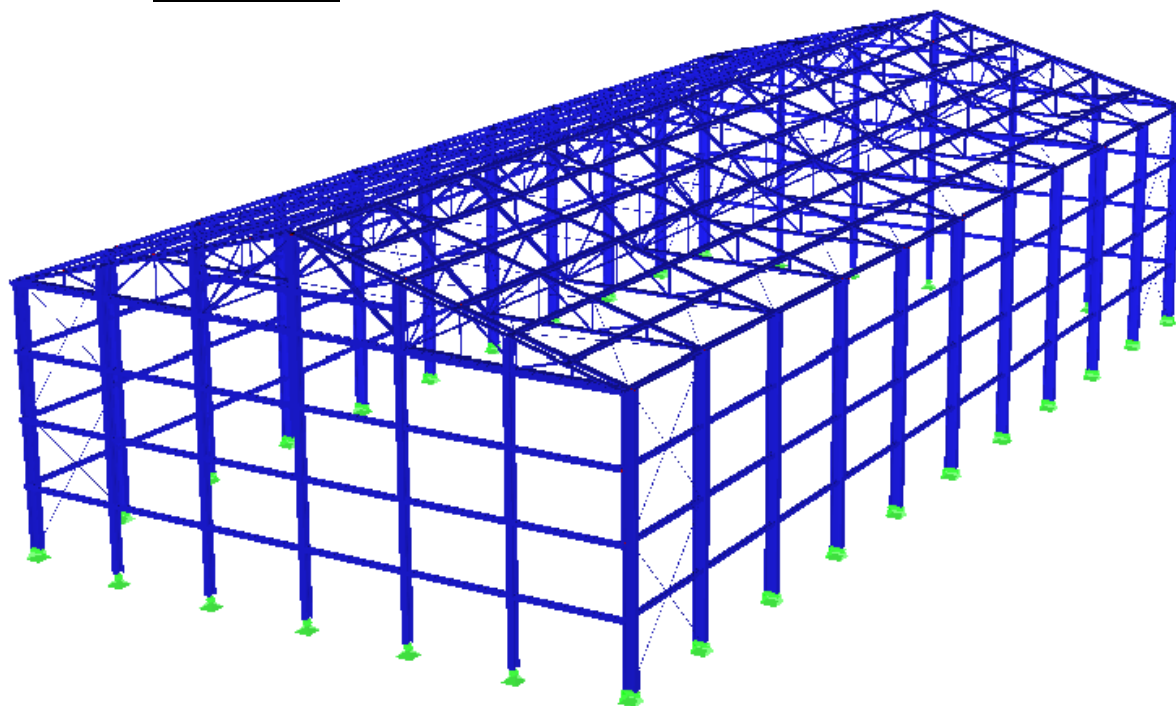


## 2. Výpočtový model

### 2.1. Drátěný model



### 2.2. Plný model



### 3. Zatížení

#### 3.1. Stálé

##### 3.1.1. Vlastní tíha ZS1

Vlastní tíha konstrukce byla vygenerována programem Dlubal RFEM

##### Ostatní stálé ZS2

##### Střešní plášť

Střecha i stěny jsou obloženy střešními panely KINGSPAN KS 1000 RW tloušťky 100mm.

Hmotnost panelu je  $12,34 \text{ kg/m}^2 = 0,1234 \text{ kN/m}^2$ .

$$g_{1k} = 0,123 \text{ kN/m}^2$$

##### Technické zařízení haly

Technické zařízení haly  $20 \text{ kg/m}^2$ .

$$g_{2k} = 0,200 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k' = g_{1k} + g_{2k} = 0,123 + 0,200 = 0,323 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = g_k' \times 6,0 = 0,323 \times 6,0 = 1,938 \text{ kN/m}$$

#### 3.1.2. Proměnné

##### 3.1.2.1. Zatížení sněhem

Lokalita Brno – sněhová oblast II

##### **Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi**

$$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

##### **Součinitel expozice**

$$C_e = 1,0$$

##### **Tepelný součinitel**

$$C_t = 1,0$$

##### **Tvarový součinitel zatížení sněhem**

$$\mu_i = 0,8$$

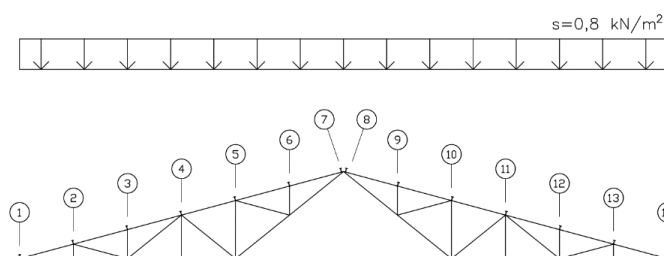
**Zatížení sněhem na střeše**

$$s = s_k \times C_e \times C_t \times \mu_i = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,8 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Délka vaznice:  $l = 6,0 \text{ m}$

• **Sníh plný**      **ZS3**

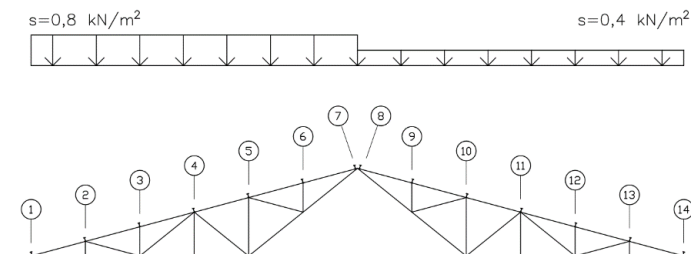
$$s = 0,8 \text{ kN/m}^2$$



• **Sníh levý**      **ZS4**

$$s_1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

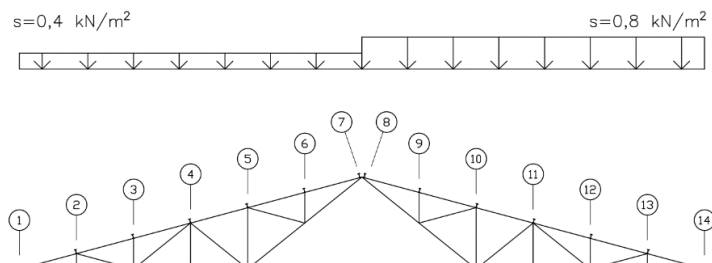
$$s_2 = 0,5 \times 0,8 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$



• **Sníh pravý**      **ZS5**

$$s_1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = 0,5 \times 0,8 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$



### 3.1.2.2. Zatížení větrem

Lokalita Brno – větrná oblast II

Kategorie terénu II

#### 3.1.2.2.1. Základní rychlost větru

Výchozí základní rychlost větru

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

Součinitel směru větru

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

Součinitel ročního období

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

$$V_b = V_{b,0} \times c_{dir} \times c_{season} = 25 \times 1,0 \times 1,0 = 25 \text{ m/s}$$

#### 3.1.2.2.2. Střední rychlost větru

Výška objektu

$$z = 16,02 \text{ m}$$

Parametr drsnosti terénu

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

Minimální výška

$$z_{min} = 2,0 \text{ m}$$

Maximální výška

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

Součinitel orografie

$$C_0(z) = 1,0$$

Součinitel terénu

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

Součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \times \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,19 \times \ln \left( \frac{16,02}{0,05} \right) = 1,096$$

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b = 1,096 \times 1,0 \times 25 = 27,4 \text{ m/s}$$

### 3.1.2.2.3. Maximální dynamický tlak

Měrná hmotnost vzduchu

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

součinitel turbulence

$$k_1 = 1,0$$

Intenzita turbulence

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \times \ln\left(\frac{16,02}{0,05}\right)} = 0,173$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = [1 + 7 \times 0,173] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 27,4^2 = 1,037 \text{ kN/m}^2$$

### 3.1.2.2.4. Tlak větru

- Působení větru na střechu

Maximální dynamický tlak

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 1,037 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

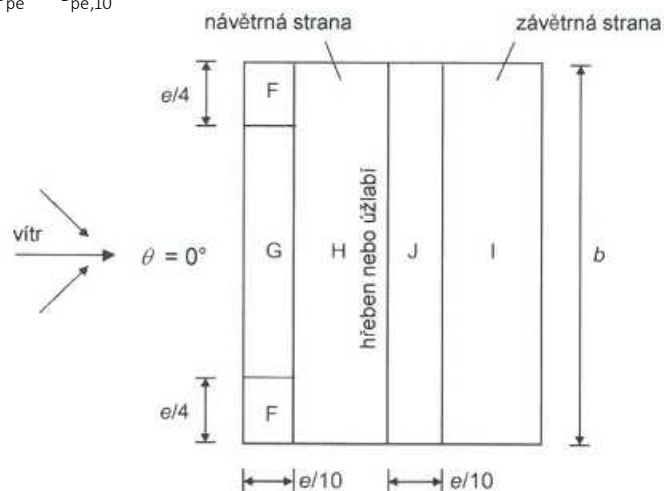
– Příčný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(60; 2 \times 16,02) = \min(60; 32,04) = 32,04 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{32,04}{4} = 8,01 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{32,04}{10} = 3,20 \text{ m}$$

$$A \geq 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe} = c_{pe,10}$$





ZS6

SÁNÍ + SÁNÍ		
oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	-0,900	-0,933
G	-0,800	-0,830
H	-0,300	-0,311
I	-0,400	-0,415
J	-1,000	-1,037

ZS7

TLAK + TLAK		
oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	+0,200	0,207
G	+0,200	0,207
H	+0,200	0,207
I	+0,000	0,000
J	+0,000	0,000

ZS8

SÁNÍ + TLAK		
oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	-0,900	-0,933
G	-0,800	-0,830
H	-0,300	-0,311
I	+0,000	0,000
J	+0,000	0,000

ZS9

TLAK + SÁNÍ		
oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	+0,200	0,207
G	+0,200	0,207
H	+0,200	0,207
I	-0,400	-0,415
J	-1,000	-1,037

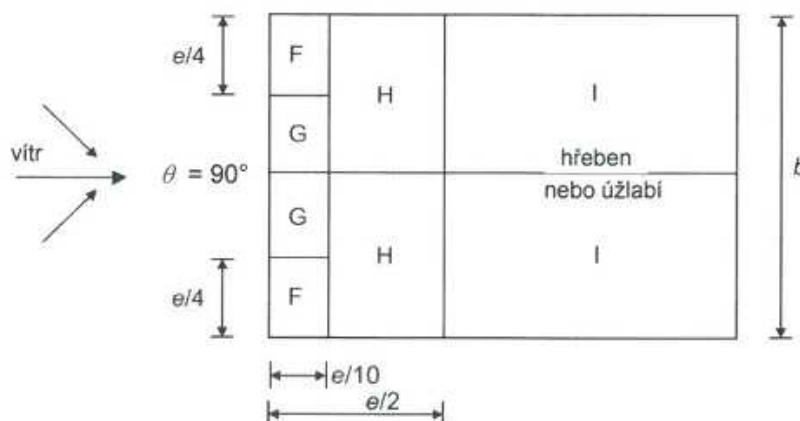
– Podélný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(30; 2 \times 16,02) = \min(30; 32,04) = 30,00 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{30,00}{4} = 7,50 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{30,00}{2} = 15,00 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{30,00}{10} = 3,00 \text{ m}$$



ZS10

SÁNÍ		
oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	-1,300	-1,348
G	-1,300	-1,348
H	-0,600	-0,622
I	-0,500	-0,519

• Působení větru na stěny

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 1,037 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = q_p(z_e) \times C_{pe}$$

– Příčný vítr

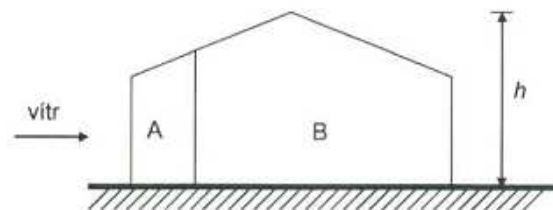
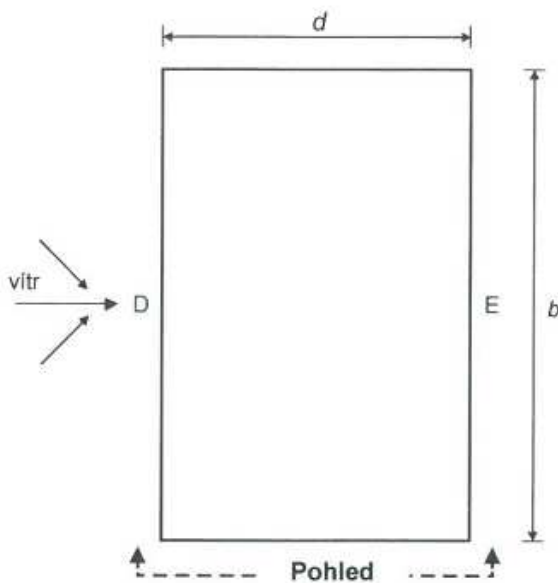
$$e = \min(b; 2h) = \min(60; 2 \times 16,02) = \min(60; 32,04) = 32,04 \text{ m}$$

$$\frac{e}{5} = \frac{32,04}{5} = 6,41 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{16,02}{30,00} = 0,534$$

$$e \geq d$$

$$32,04 \text{ m} \geq 30,00 \text{ m}$$



Interpolace

oblast	A	B	D	E
h/d				
1	-1,200	-0,800	0,800	-0,500
0,25	-1,200	-0,800	0,700	-0,300
0,534	-1,200	-0,800	0,738	-0,376

oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
A	-1,200	-1,244
B	-0,800	-0,830
D	0,738	0,765
E	-0,376	-0,390

– Podélný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(30; 2 \times 16,02) = \min(30; 32,04) = 30,00 \text{ m}$$

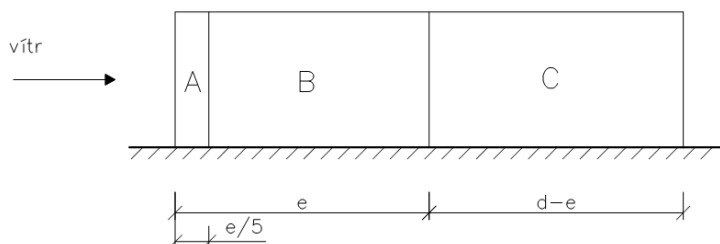
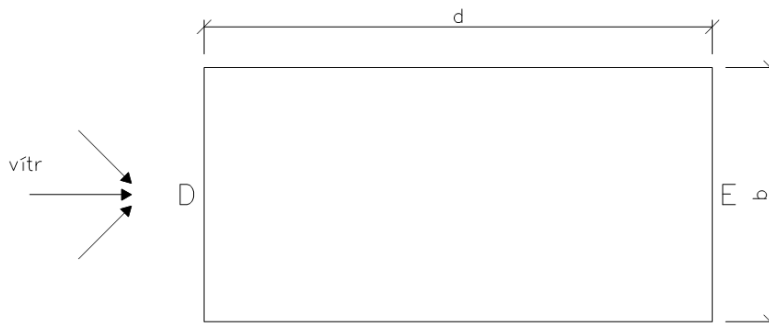
$$\frac{e}{5} = \frac{30,00}{5} = 6,00 \text{ m}$$

$$\frac{4e}{5} = \frac{4 \times 30,00}{5} = 24,00 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{16,02}{60,00} = 0,267$$

$$e < d$$

$$30,00 \text{ m} < 60,00 \text{ m}$$



### Interpolace

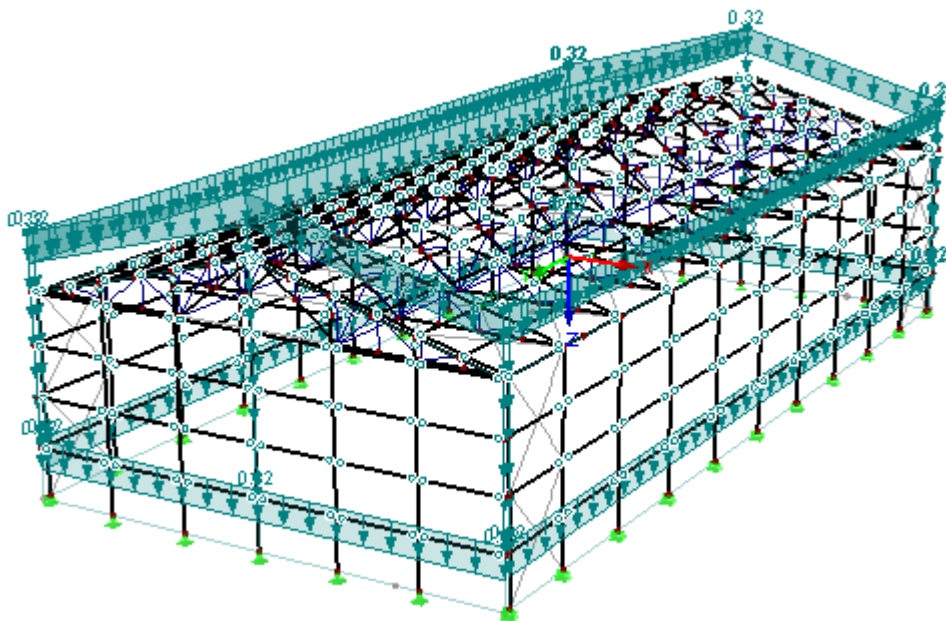
oblast	A	B	C	D	E
h/d					
1	-1,200	-0,800	-0,500	0,800	-0,500
0,25	-1,200	-0,800	-0,500	0,700	-0,300
0,267	-1,200	-0,800	-0,500	0,702	-0,305

oblast	$C_{pe}$	$w_i'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
A	-1,200	-1,244
B	-0,800	-0,830
C	-0,500	-0,519
D	0,702	0,728
E	-0,305	-0,316

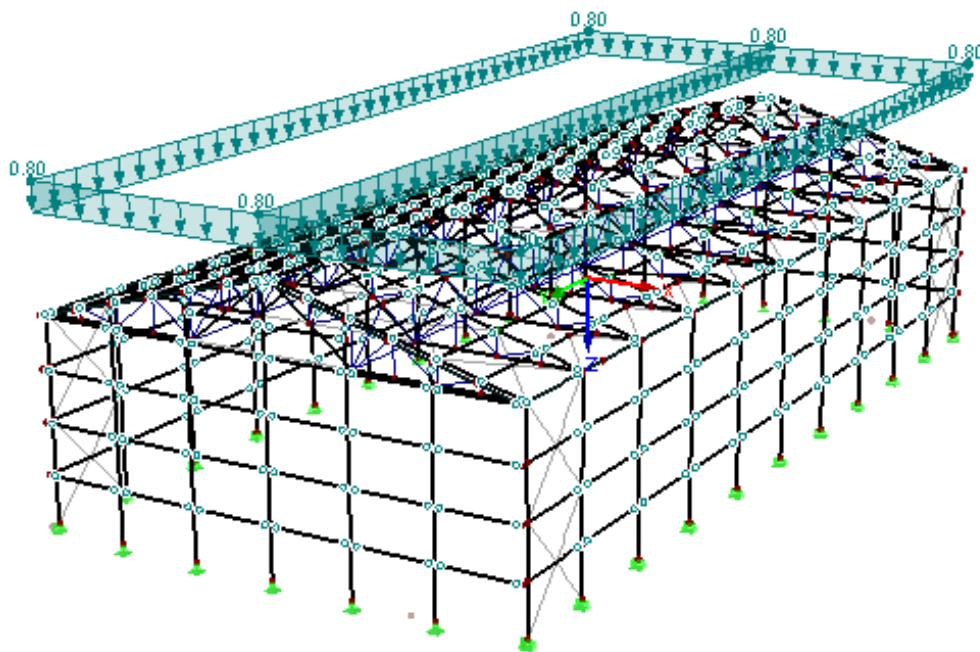
## 4. Zatěžovací stavy

### 4.1. ZS1 – Vlastní tíha

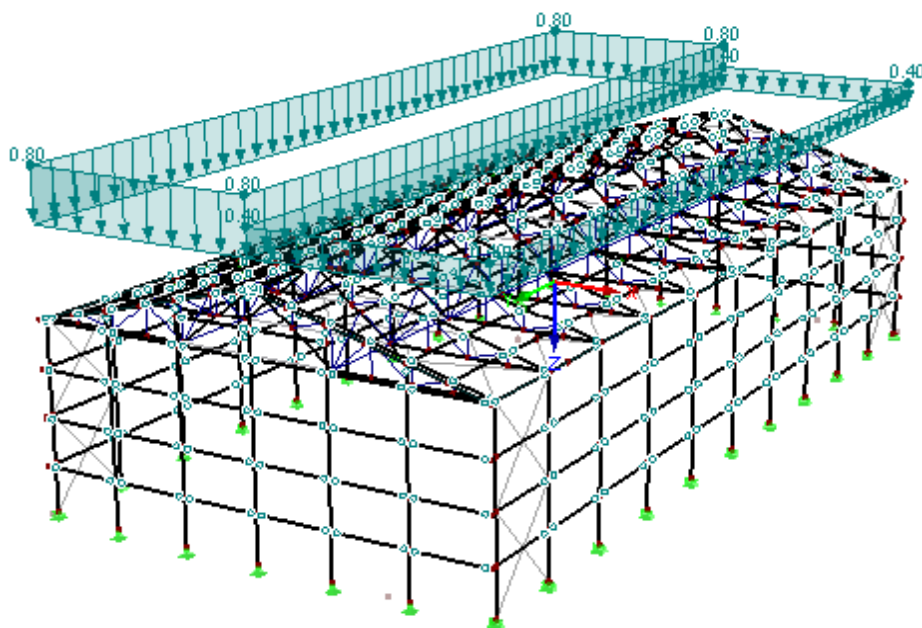
### 4.2. ZS2 – ostatní stálé



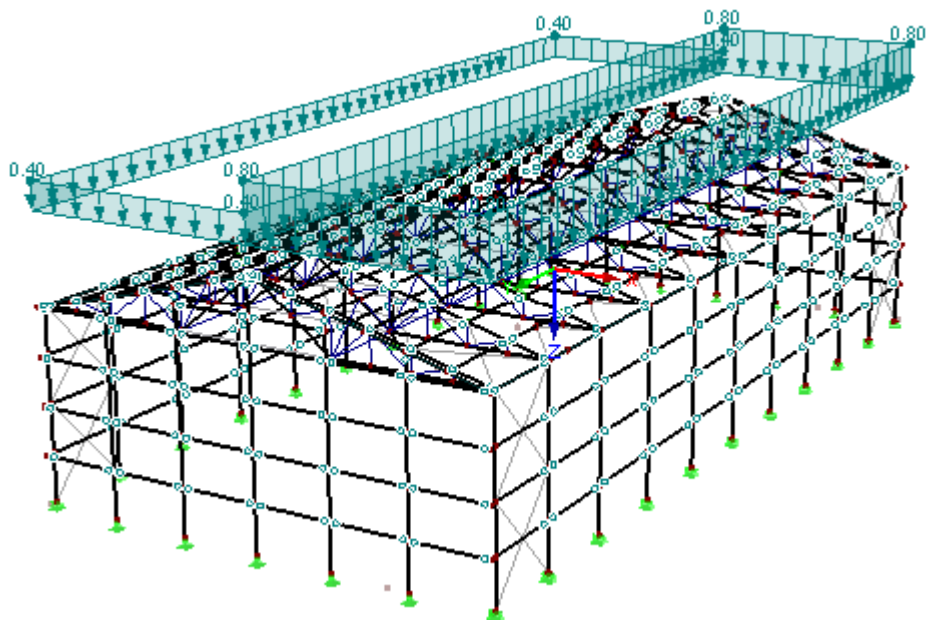
4.3. ZS3 – Sníh plný



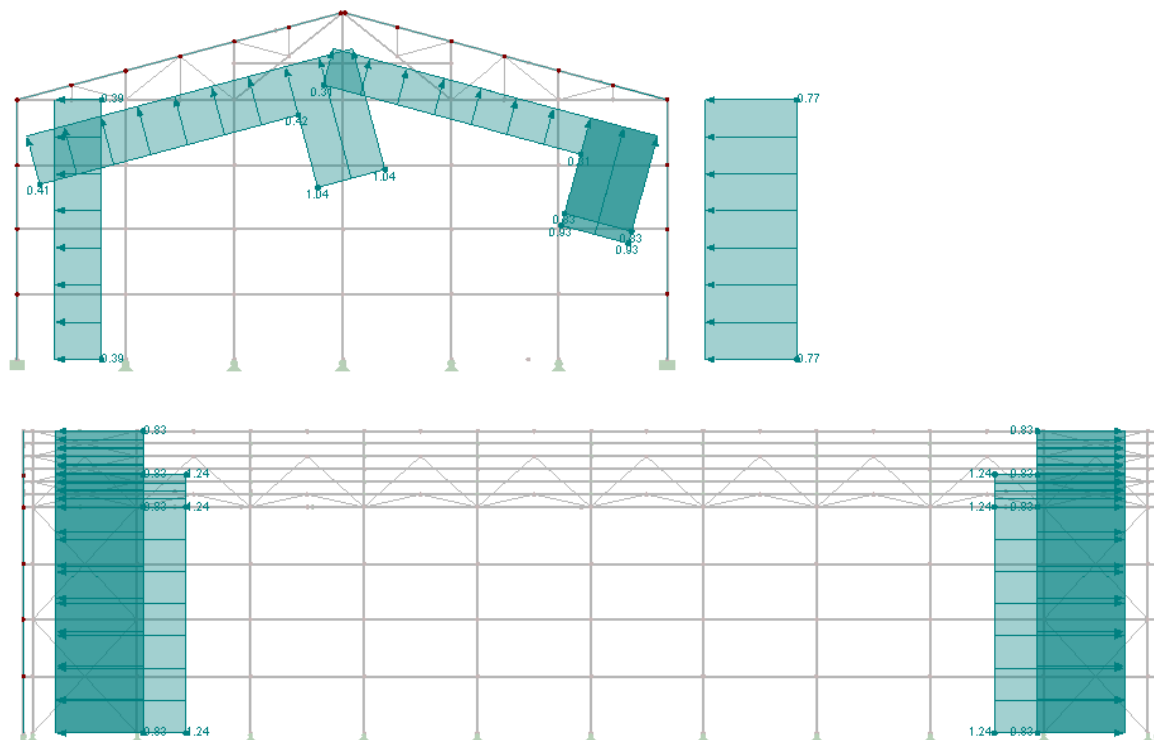
4.4. ZS4 – Sníh levý



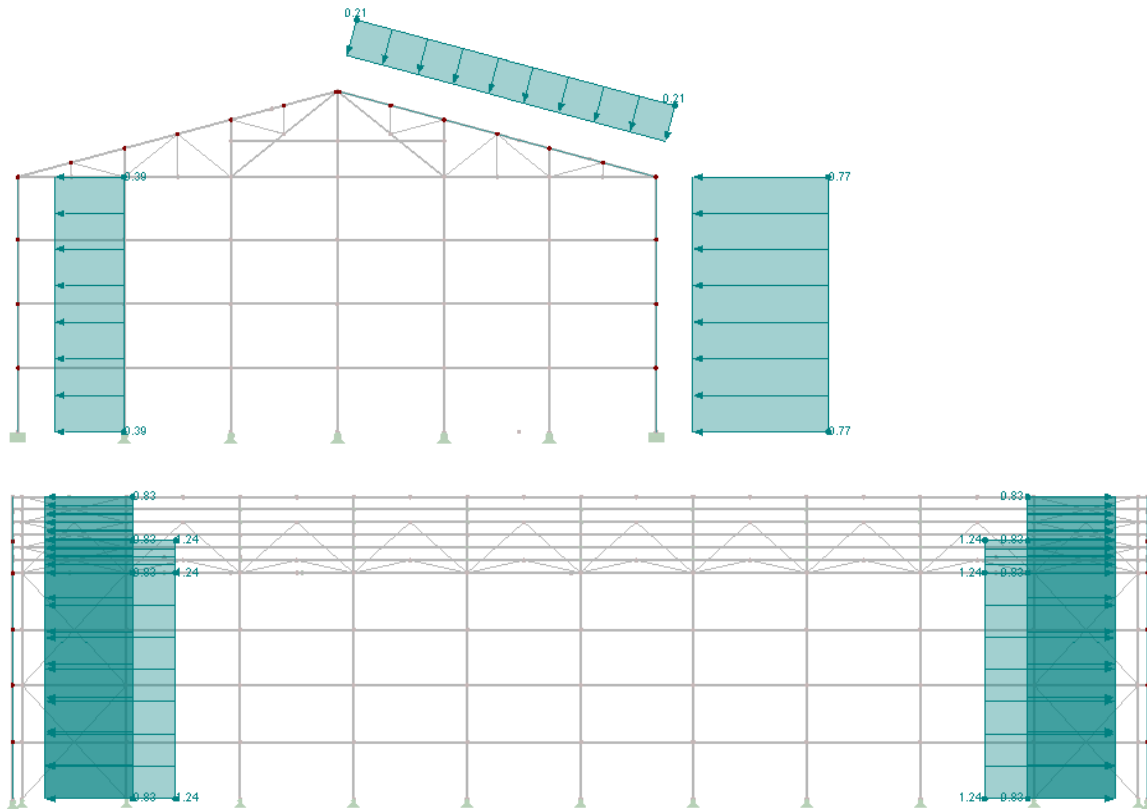
4.5. ZS5 – Sníh pravý



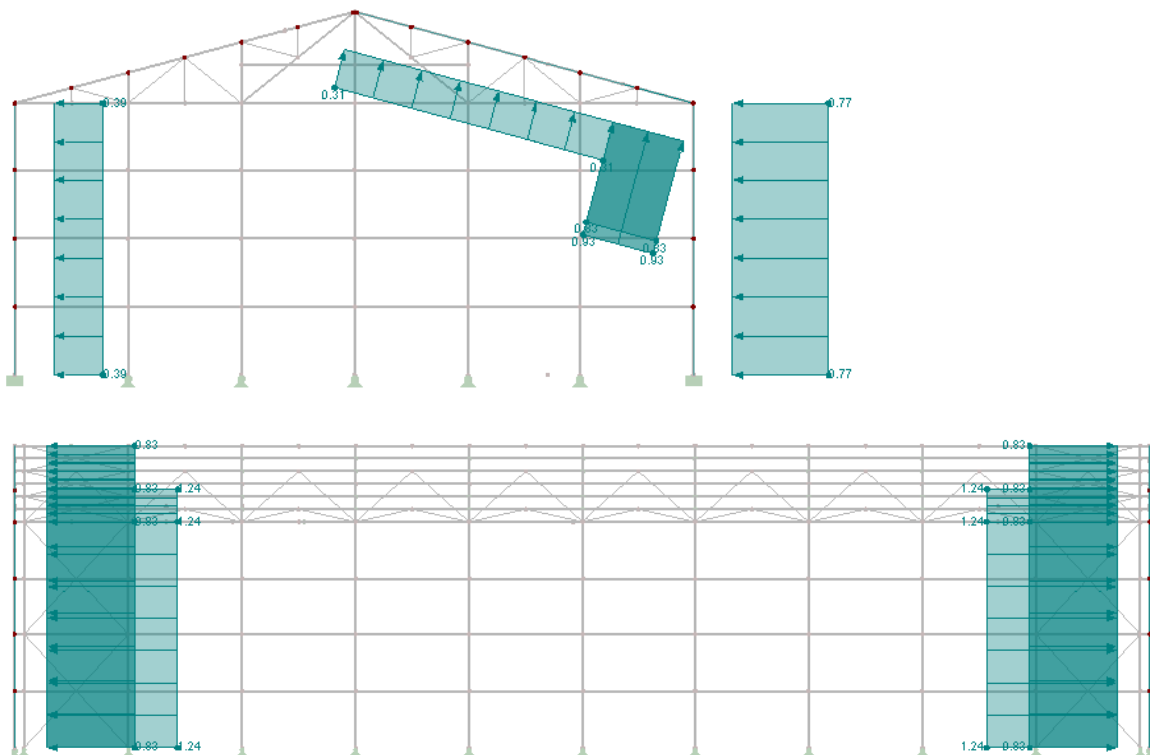
4.6. ZS6 – Vítr příčný – sání + sání



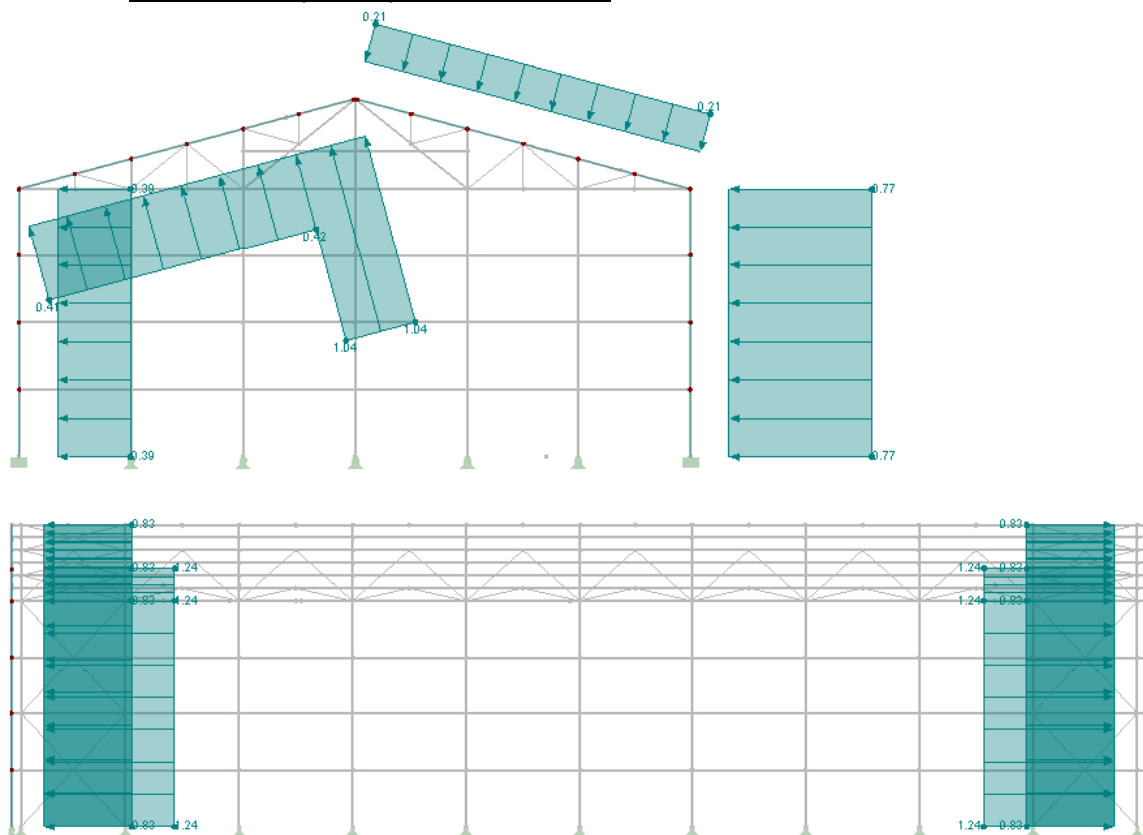
4.7. ZS7 – Vítr příčný – tlak + tlak



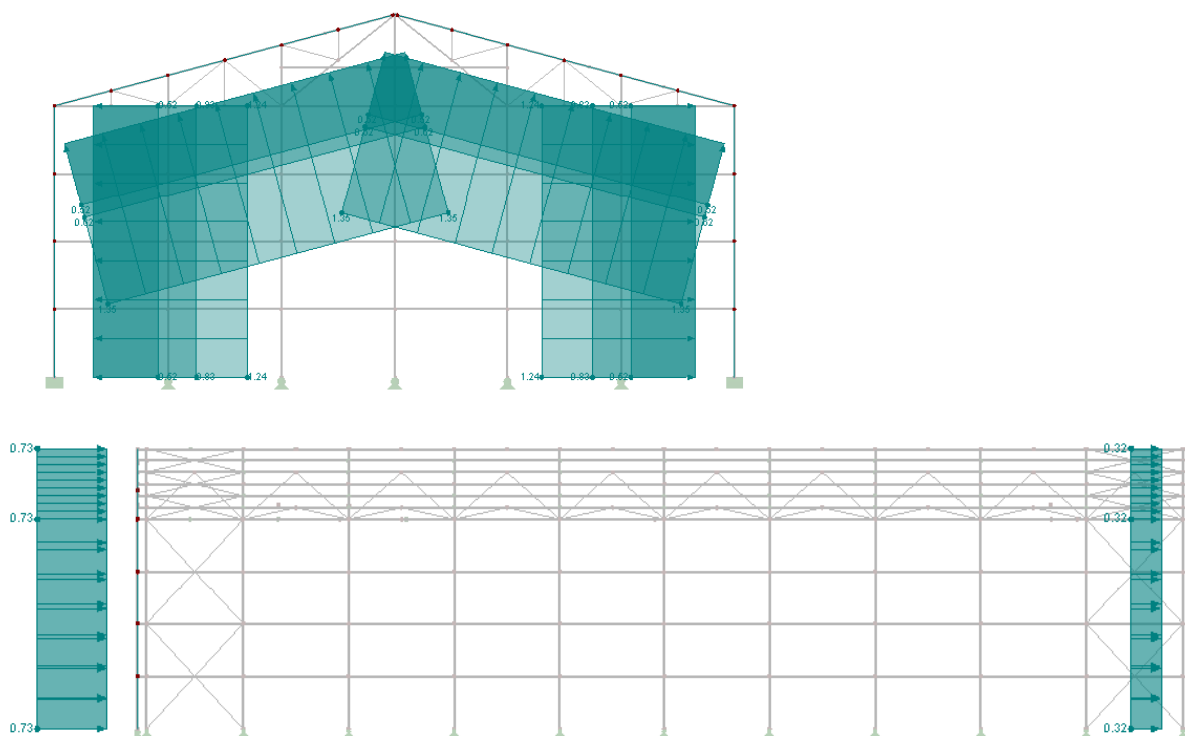
4.8. ZS8 – Vítr příčný – sání + tlak



4.9. ZS9 – Vítr příčný – tlak + sání



4.10. ZS10 – Vítr podélný





## 5. Výkaz materiálu

Položka č.	Název prvku	Označení průřezu	Počet prutů	Celk. délka [m]	Měr. hmotn. [kg/m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Celk. hmotn. [t]
1	Sloupy 1	HEM 550	88	264,00	278,20	601,92	73,45
2	Sloupy 2	HEM 340	56	144,12	247,90	273,83	35,73
3	Dolní pás 1	2LA L 180x180x18	88	220,00	97,18	231,00	21,38
4	Dolní pás 2	2LA L 180x180x14	44	141,14	76,62	148,20	10,81
5	Horní pás 1	2LA L 160x160x15	60	339,64	72,38	315,88	24,58
6	Horní pás 2	2LA L 110x110x12	12	31,06	39,41	19,82	1,22
7	Horní pás 3	2LA L 110x110x8	12	30,66	26,85	19,62	0,82
8	Paždíky 1	HEB 160	72	360,00	42,59	331,20	15,31
9	Paždíky 2	HEB 220	52	260,00	71,47	330,20	18,58
10	Diagonály	2LC L 60x60x6	88	255,03	10,85	118,91	2,77
11	Svislice	2LC L 50x50x6	110	176,88	8,93	50,94	1,58
12	Táhla	RD 40	11	110,00	9,89	13,82	1,09
13	Ztužidla	RD 25	70	422,01	3,85	33,14	1,63
14	Vaznice	HEA 140	222	840,00	24,66	663,60	20,72
15	Pod. ztužidlo	2LC L 60x60x10	60	277,45	17,43	129,29	4,84
celkem $\Sigma$							234,50

## 6. Kombinace zatížení

### 6.1. Zatěžovací stavy

Zatěž. Stav	Označení zatěž. Stavů	EN 1990   ČSN Kategorie účinků
ZS1	Vlastní tíha	Stálé
ZS2	Ostatní stálé	Stálé
ZS3	Sníh plný	Sníh
ZS4	Sníh levý	Sníh
ZS5	Sníh pravý	Sníh
ZS6	Vítr příčný sání+sání	Vítr
ZS7	Vítr příčný tlak+tlak	Vítr
ZS8	Vítr příčný sání+tlak	Vítr
ZS9	Vítr příčný tlak+sání	Vítr
ZS10	Vítr podélný	Vítr

## 6.2. Klíč kombinací dle ČSN EN 1990

### 6.2.1. MSÚ

#### 6.2.1.1. Kombinace 6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

#### 6.2.1.2. Kombinace 6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

### 6.2.2. MSP

#### 6.2.2.1. Charakteristická

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$G_k$  charakteristická hodnota stálého zatížení

$P_k$  charakteristická hodnota zatížení od předpětí

$Q_{k,1}$  charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení

$Q_{k,i}$  charakteristická hodnota i-tého vedlejšího proměnného zatížení

$\gamma_{G,j}$  dílčí součinitel j-tého stálého zatížení

$\gamma_P$  dílčí součinitel zatížení od předpětí

$\gamma_{Q,1}$  dílčí součinitel hlavního proměnného zatížení

$\gamma_{Q,i}$  dílčí součinitel i-tého proměnného zatížení

$\psi$  kombinační součinitel

$\xi_j$  redukční součinitel

## 6.3. Jednotlivé kombinace

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení	
	MS	Označení
KZ1	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2
KZ2	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3
KZ3	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4
KZ4	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5
KZ5	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS6
KZ6	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS7
KZ7	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS8
KZ8	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS9
KZ9	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 0.9*ZS6
KZ10	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 0.9*ZS7
KZ11	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 0.9*ZS8
KZ12	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 0.9*ZS9
KZ13	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.9*ZS6
KZ14	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.9*ZS7
KZ15	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.9*ZS8
KZ16	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.9*ZS9
KZ17	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS6 + 0.9*ZS10
KZ18	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS7 + 0.9*ZS10
KZ19	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS8 + 0.9*ZS10
KZ20	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS9 + 0.9*ZS10
KZ21	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 0.9*ZS6 + 0.9*ZS10
KZ22	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 0.9*ZS7 + 0.9*ZS10
KZ23	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 0.9*ZS8 + 0.9*ZS10
KZ24	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 0.9*ZS9 + 0.9*ZS10
KZ25	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.9*ZS6 + 0.9*ZS10
KZ26	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.9*ZS7 + 0.9*ZS10
KZ27	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.9*ZS8 + 0.9*ZS10
KZ28	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.9*ZS9 + 0.9*ZS10
KZ29	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS10
KZ30	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS4 + 0.9*ZS10
KZ31	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.75*ZS5 + 0.9*ZS10
KZ32	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.9*ZS6
KZ33	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.9*ZS7
KZ34	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.9*ZS8
KZ35	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.9*ZS9
KZ36	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.9*ZS6 + 0.9*ZS10
KZ37	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.9*ZS7 + 0.9*ZS10
KZ38	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.9*ZS8 + 0.9*ZS10
KZ39	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.9*ZS9 + 0.9*ZS10
KZ40	MÚ	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2 + 0.9*ZS10
KZ41	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – VÍCEÚČELOVÁ SPORTOVNÍ HALA

ČÁST C: STATICKÝ VÝPOČET

AUTOR: JAN MALEŇÁK

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení	
	MS	Označení
KZ42	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3
KZ43	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4
KZ44	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5
KZ45	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS6
KZ46	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS7
KZ47	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS8
KZ48	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS9
KZ49	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS6
KZ50	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS7
KZ51	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS8
KZ52	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS9
KZ53	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS6
KZ54	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS7
KZ55	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS8
KZ56	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS9
KZ57	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS6 + 0.9*ZS10
KZ58	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS7 + 0.9*ZS10
KZ59	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS8 + 0.9*ZS10
KZ60	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS9 + 0.9*ZS10
KZ61	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS6 + 0.9*ZS10
KZ62	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS7 + 0.9*ZS10
KZ63	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS8 + 0.9*ZS10
KZ64	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS9 + 0.9*ZS10
KZ65	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS6 + 0.9*ZS10
KZ66	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS7 + 0.9*ZS10
KZ67	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS8 + 0.9*ZS10
KZ68	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS9 + 0.9*ZS10
KZ69	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS10
KZ70	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS4 + 0.9*ZS10
KZ71	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS10
KZ72	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS6
KZ73	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS7
KZ74	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS8
KZ75	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS9
KZ76	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS3 + 1.5*ZS6
KZ77	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS3 + 1.5*ZS7
KZ78	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS3 + 1.5*ZS8
KZ79	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS3 + 1.5*ZS9
KZ80	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS4 + 1.5*ZS6
KZ81	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS4 + 1.5*ZS7
KZ82	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS4 + 1.5*ZS8
KZ83	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS4 + 1.5*ZS9
KZ84	MÚ	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS5 + 1.5*ZS6

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení	
	MS	Označení
KZ85	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS7$
KZ86	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS8$
KZ87	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS9$
KZ88	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ89	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ90	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ91	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS9 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ92	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ93	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ94	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ95	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS9 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ96	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ97	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ98	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ99	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS9 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ100	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ101	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ102	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ103	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS9 + 0.9 \cdot ZS10$
KZ104	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ105	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ106	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ107	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ108	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ109	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ110	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS8 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ111	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS9 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ112	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ113	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ114	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS8 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ115	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS9 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ116	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ117	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ118	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS8 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ119	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS9 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ120	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ121	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ122	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS8 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ123	MÚ	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS9 + 1.5 \cdot ZS10$
KZ124	MSP	ZS1 + ZS2
KZ125	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3
KZ126	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4
KZ127	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE – VÍCEÚČELOVÁ SPORTOVNÍ HALA

ČÁST C: STATICKÝ VÝPOČET

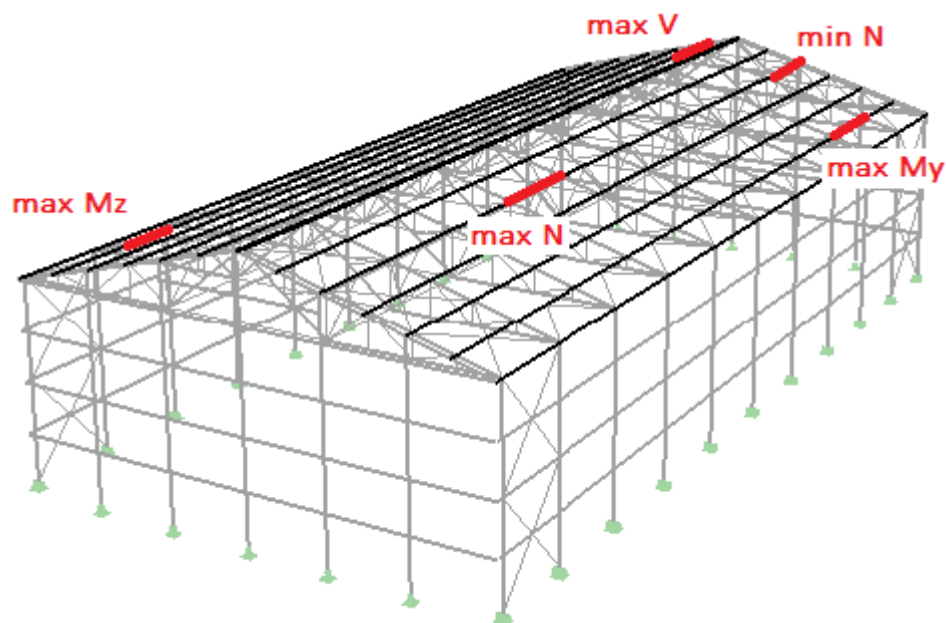
AUTOR: JAN MALEŇÁK

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení	
	MS	Označení
KZ128	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS6
KZ129	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS7
KZ130	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS8
KZ131	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS9
KZ132	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6*ZS6
KZ133	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6*ZS7
KZ134	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6*ZS8
KZ135	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6*ZS9
KZ136	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6*ZS6
KZ137	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6*ZS7
KZ138	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6*ZS8
KZ139	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6*ZS9
KZ140	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS6 + 0.6*ZS10
KZ141	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS7 + 0.6*ZS10
KZ142	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS8 + 0.6*ZS10
KZ143	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS9 + 0.6*ZS10
KZ144	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6*ZS6 + 0.6*ZS10
KZ145	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6*ZS7 + 0.6*ZS10
KZ146	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6*ZS8 + 0.6*ZS10
KZ147	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6*ZS9 + 0.6*ZS10
KZ148	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6*ZS6 + 0.6*ZS10
KZ149	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6*ZS7 + 0.6*ZS10
KZ150	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6*ZS8 + 0.6*ZS10
KZ151	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6*ZS9 + 0.6*ZS10
KZ152	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS3 + 0.6*ZS10
KZ153	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS4 + 0.6*ZS10
KZ154	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS5 + 0.6*ZS10
KZ155	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS6
KZ156	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS7
KZ157	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS8
KZ158	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS9
KZ159	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS6
KZ160	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS7
KZ161	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS8
KZ162	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS9
KZ163	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + ZS6
KZ164	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + ZS7
KZ165	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + ZS8
KZ166	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + ZS9
KZ167	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS6
KZ168	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS7
KZ169	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS8
KZ170	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS9

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení	
	MS	Označení
KZ171	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS6 + 0.6*ZS10
KZ172	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS7 + 0.6*ZS10
KZ173	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS8 + 0.6*ZS10
KZ174	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS9 + 0.6*ZS10
KZ175	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + ZS6 + 0.6*ZS10
KZ176	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + ZS7 + 0.6*ZS10
KZ177	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + ZS8 + 0.6*ZS10
KZ178	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + ZS9 + 0.6*ZS10
KZ179	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS6 + 0.6*ZS10
KZ180	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS7 + 0.6*ZS10
KZ181	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS8 + 0.6*ZS10
KZ182	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS9 + 0.6*ZS10
KZ183	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS6 + 0.6*ZS10
KZ184	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS7 + 0.6*ZS10
KZ185	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0.6*ZS10
KZ186	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS9 + 0.6*ZS10
KZ187	MSP	ZS1 + ZS2 + ZS10
KZ188	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + ZS10
KZ189	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + ZS10
KZ190	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS10
KZ191	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + 0.6*ZS6 + ZS10
KZ192	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + 0.6*ZS7 + ZS10
KZ193	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + 0.6*ZS8 + ZS10
KZ194	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS3 + 0.6*ZS9 + ZS10
KZ195	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + 0.6*ZS6 + ZS10
KZ196	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + 0.6*ZS7 + ZS10
KZ197	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + 0.6*ZS8 + ZS10
KZ198	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS4 + 0.6*ZS9 + ZS10
KZ199	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + 0.6*ZS6 + ZS10
KZ200	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + 0.6*ZS7 + ZS10
KZ201	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + 0.6*ZS8 + ZS10
KZ202	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.5*ZS5 + 0.6*ZS9 + ZS10
KZ203	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS6 + ZS10
KZ204	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS7 + ZS10
KZ205	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS8 + ZS10
KZ206	MSP	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS9 + ZS10

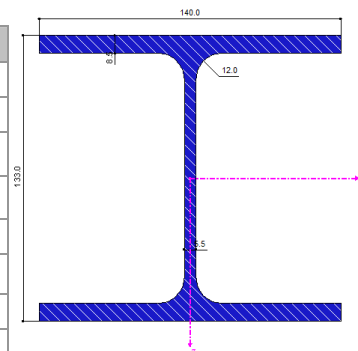
## 7. Posouzení prvků – MSÚ, MSP

### 7.1. Vaznice – HEA 140



#### 7.1.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	$h$	133,000	mm
Šířka profilu	$b$	140,000	mm
Tloušťka stojiny	$t_w$	5,500	mm
Tloušťka pásnice	$t_f$	8,500	mm
Výška rovné části stojiny	$d$	92,000	mm
Plocha průřezu	$A$	3142,000	mm <sup>2</sup>
Účinná smyková plocha	$A_{v,y}$	2476,300	mm <sup>2</sup>
Účinná smyková plocha	$A_{v,z}$	1012,800	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	10330000,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	3893000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	57,300	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	35,200	mm
Výšečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	15060000000,000	mm <sup>6</sup>
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	81300,000	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	$W_y$	155400,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_z$	55620,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{y,max}$	86750,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{z,max}$	20825,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	173500,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	84900,000	mm <sup>3</sup>





## 7.1.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

## 7.1.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
786	MAX N	<b>58,17</b>	-0,43	-1,97	0,00	0,61	-1,26	KZ 100
411	MIN N	<b>-79,18</b>	2,49	-1,64	0,00	0,00	3,37	KZ 120
425	MAX V <sub>y</sub>	1,53	<b>4,97</b>	2,24	0,00	0,00	7,50	KZ 115
779	MIN V <sub>y</sub>	12,12	<b>-5,12</b>	0,42	0,00	0,00	7,83	KZ 91
408	MAX V <sub>z</sub>	-7,64	-0,42	<b>13,99</b>	0,00	1,59	-0,41	KZ 120
866	MIN V <sub>z</sub>	-2,20	0,84	<b>-14,25</b>	0,00	1,97	0,72	KZ 123
414	MAX M <sub>T</sub>	-6,61	1,59	-1,92	<b>0,00</b>	0,00	1,67	KZ 118
863	MIN M <sub>T</sub>	7,53	3,13	11,61	<b>0,00</b>	-1,86	3,01	KZ 46
425	MAX M <sub>y</sub>	9,39	0,20	0,08	0,00	<b>20,88</b>	-1,68	KZ 46
436	MIN M <sub>y</sub>	5,49	0,10	0,00	0,00	<b>-15,54</b>	-0,47	KZ 100
779	MAX M <sub>z</sub>	12,12	-5,12	0,42	0,00	0,00	<b>7,83</b>	KZ 91
544	MIN M <sub>z</sub>	3,54	1,88	0,08	0,00	-7,75	<b>-4,54</b>	KZ 123

## 7.1.4. MSÚ

- Třída průřezu

Poměrné přetvoření

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

Poměr c/t:

$$\frac{c}{t} = \frac{92}{5,5} = 16,727 \leq 72 \times \varepsilon = 72 \times 0,814 = 58,608 \quad \text{Třída 1}$$

#### 7.1.4.1. Posouzení na tah

Návrhová únosnost v tahu

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3142 \times 355}{1,0} = 1115,41 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{Ed} = 58,17 \text{ kN} \quad (\text{KZ } 100)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{58,17}{1115,41} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,05 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.1.4.2. Posouzení na ohyb

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{173500 \times 355}{1,0} = 61,59 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$M_{Ed} = 20,88 \text{ kNm} \quad (\text{KZ } 46)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{20,88}{61,59} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,34 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 7.1.4.3. Posouzení na smyk

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{1012,8 \times 355}{\sqrt{3} \times 1,0} = 207,58 \text{ kN}$$

Posouzení

$$V_{Ed} = 14,25 \text{ kN} \quad (\text{KZ 123})$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{14,25}{207,58} \leq 1,0$$

$$0,07 \leq 1,0 \quad \underline{\underline{\text{VYHOVUJE}}}$$

0,07 ≤ 0,5 - EC3 dovoluje zanedbat vliv smykové síly na momentovou únosnost.

Jedná se o tzv. případ s malým smykem.

### 7.1.4.4. Posouzení na vzpěr

$$L_{cr,y} = 6,00 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 6,00 \text{ m}$$

- Vybočení ve směru osy ,y'

Kritická síla

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1,03 \times 10^7}{6000^2} = 593,00 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3142 \times 355}{593 \times 10^3}} = 1,37$$

Křivka vzpěrné pevnosti – b  $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (1,37 - 0,2) + 1,37^2 \right] = 1,64$$

## Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y}} = \frac{1}{1,64 + \sqrt{1,64^2 - 1,37^2}} = 0,39$$

## Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,39 \times 3142 \times 355}{1,0} = 435,00 \text{ kN}$$

## Posouzení

$$N_{Ed} = 79,18 \text{ kN} \quad (\text{ZS } 120)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{79,18}{435,00} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,18 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Vybočení ve směru osy ,z'

## Kritická síla

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3,89 \times 10^6}{6000^2} = 223,96 \text{ kN}$$

## Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3142 \times 355}{223,96 \times 10^3}} = 2,23$$

## Křivka vzpěrné pevnosti – c    $\alpha = 0,49$

$$\phi_z = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,49 \times (2,23 - 0,2) + 2,23^2 \right] = 3,48$$

## Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z}} = \frac{1}{3,48 + \sqrt{3,48^2 - 2,23^2}} = 0,16$$

### Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,16 \times 3142 \times 355}{1,0} = 178,47 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{79,18}{178,47} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,44 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.1.4.5. Posouzení na klopení

##### Součinitele vzpěrné délky

$k_y = k_z = k_w = 1,0$  pro kloubové uložení na obou koncích

##### Součinitelé závislé na zatížení a podmínkách uložení konců

$$C_1 = 1,13 \quad C_2 = 0,46 \quad C_3 = 0,53$$

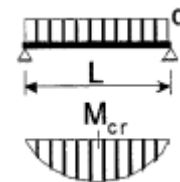
##### Souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = z_a - z_s = 0,5 \times 133 - 0 = 66,5 \text{ mm}$$

Kde

$z_a$  souřadnice působíště zatížení vzhledem k těžišti průřezu

$z_s$  souřadnice středu smyku vzhledem k těžišti průřezu



##### Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\zeta_g = \frac{\pi \times z_g}{k_z \times L} \sqrt{\frac{E \times I_z}{G \times I_t}} = \frac{\pi \times 66,5}{1,0 \times 6000} \sqrt{\frac{210000 \times 3,89 \times 10^6}{81000 \times 8,13 \times 10^4}} = 0,39$$

##### Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\zeta_j = 0$$

## Bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \times L} \sqrt{\frac{E \times I_w}{G \times I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \times 6000} \sqrt{\frac{210000 \times 1,51 \times 10^{10}}{81000 \times 8,13 \times 10^4}} = 0,36$$

## Bezrozměrný kritický moment

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j)^2} - (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,13}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0,36^2 + (0,46 \times 0,39 - 0,53 \times 0)^2} - (0,46 \times 0,39 - 0,53 \times 0) \right] = 1,015 \end{aligned}$$

## Pružný kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \times \sqrt{E \times I_z \times G \times I_t}}{L} = 1,015 \frac{\pi \times \sqrt{210000 \times 3,89 \times 10^6 \times 81000 \times 8,13 \times 10^4}}{6000} = 39,06 \text{ kNm}$$

## Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{173500 \times 355}{39,06 \times 10^6}} = 1,26$$

## Křivky klopení válcovaných profilů

Křivka klopení – b  $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha_{LT} \times (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \times \overline{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (1,26 - 0,4) + 0,75 \times 1,26^2 \right] = 1,24$$

Kde

$\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$  doporučená hodnota

$\beta = 0,75$  doporučená hodnota

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \times \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,24 + \sqrt{1,24^2 - 0,75 \times 1,26^2}} = 0,55$$

## Návrhový moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,55 \times 173500 \frac{355}{1,0} = 33,88 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 20,88 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 46})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{20,88}{38,80} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,62 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.1.4.6. Posouzení na ohyb a osový tah

- **Max  $M_{y,Ed}$**

$$N_{Ed} = 9,39 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 20,88 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1,68 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 46})$$

$$a = \frac{A - 2 \times b \times t_f}{A} = \frac{3142 - 2 \times 140 \times 8,5}{3142} = 0,24$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{9,39}{1115,41} = 0,01$$

### Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{173500 \times 355}{1,0} = 61,59 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{84900 \times 355}{1,0} = 30,14 \text{ kNm}$$

### Návrhový plastický moment únosnosti

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \times \frac{1-n}{1-0,5 \times a} = 61,59 \times \frac{1-0,01}{1-0,5 \times 0,24} = 69,39 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$69,39 \not\leq 61,59 \quad \rightarrow \quad M_{N,y,Rd} = 61,59 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 30,14 \text{ kNm}$$

### Konstanty

$$\alpha = 2$$

$$\beta = 5 \times n = 5 \times 0,01 = 0,05$$

$$\beta \geq 1,0 \quad \rightarrow \quad \beta = 1,0$$

## Posouzení

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$$

$$\left[ \frac{20,88}{69,39} \right]^2 + \left[ \frac{1,68}{30,14} \right]^1 \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,17 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- **Max  $M_{z,Ed}$**

$$N_{Ed} = 12,12 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 7,83 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 91})$$

$$a = \frac{A - 2 \times b \times t_f}{A} = \frac{3142 - 2 \times 140 \times 8,5}{3142} = 0,24$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{12,12}{1115,41} = 0,01$$

## Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{173500 \times 355}{1,0} = 61,59 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{84900 \times 355}{1,0} = 30,14 \text{ kNm}$$

## Návrhový plastický moment únosnosti

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \times \frac{1-n}{1-0,5 \times a} = 61,59 \times \frac{1-0,01}{1-0,5 \times 0,24} = 69,39 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$69,39 \not\leq 61,59 \quad \rightarrow \quad M_{N,y,Rd} = 61,59 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 30,14 \text{ kNm}$$

## Konstanty

$$\alpha = 2$$

$$\beta = 5 \times n = 5 \times 0,01 = 0,05$$

$$\beta \geq 1,0 \quad \rightarrow \quad \beta = 1,0$$



## Posouzení

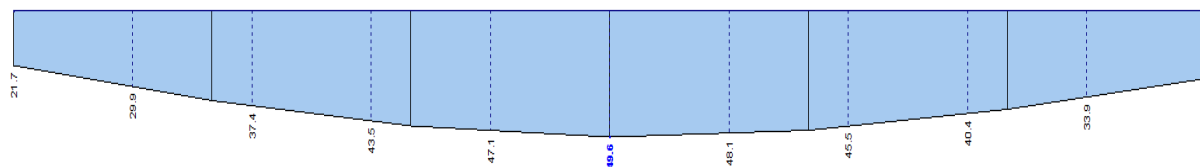
$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$$

$$\left[ \frac{0,00}{69,39} \right]^2 + \left[ \frac{7,83}{30,14} \right]^1 \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,26 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.1.5. MSP

Č.	Prut č.	Zatěž. Stav	Směr	Vztažná délka L [m]	mezní L/w	Deformace absolutní [mm]	
						exist w	mezní w
1	539	KZ129	z	6,00	200,00	25,45	30,00



### Délka vaznice

L=6000 mm

### Svislý průhyb

$$\delta_{\max} = \delta_2 = \frac{L}{200} = \frac{6000}{200} = 30,00 \text{ mm}$$

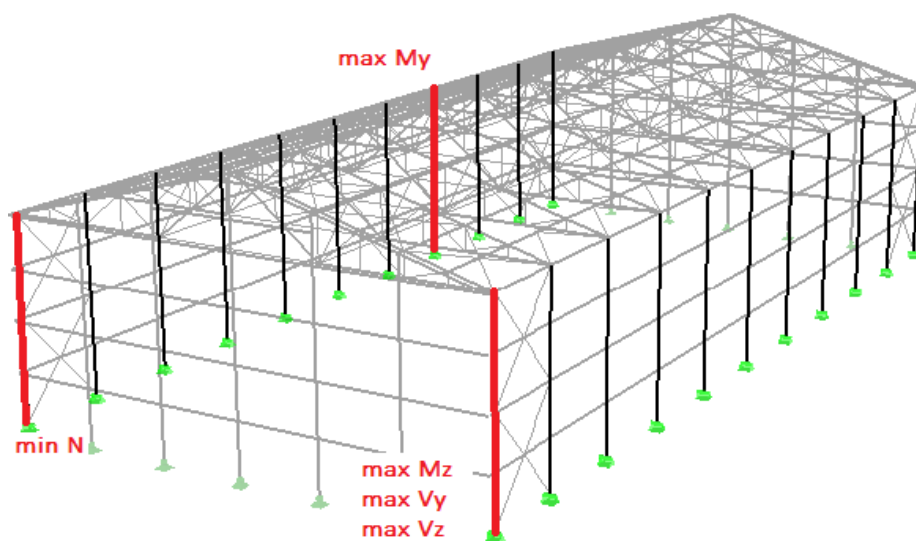
$$\delta = w = 25,45 \text{ mm}$$

### Posouzení

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

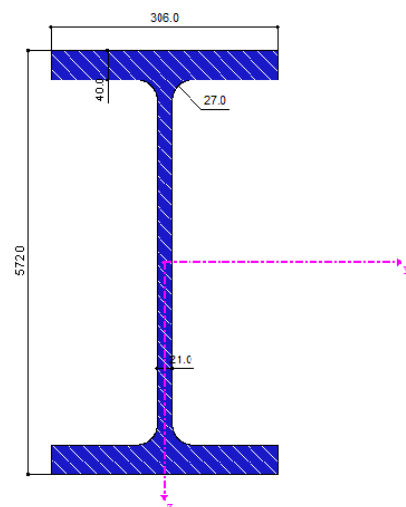
$$\underline{\underline{25,45 \text{ mm} \leq 30,00 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.2. Sloupy – HEM 550



### 7.2.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	$h$	572,000	mm
Šířka profilu	$b$	306,000	mm
Tloušťka stojiny	$t_w$	21,000	mm
Tloušťka pásnice	$t_f$	40,000	mm
Výška rovné části stojiny	$d$	438,000	mm
Plocha průřezu	$A$	35440,000	mm <sup>2</sup>
Účinná smyková plocha	$A_{w,y}$	25488,000	mm <sup>2</sup>
Účinná smyková plocha	$A_{w,z}$	13960,000	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	1980000000,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	191600000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	236,400	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	73,500	mm
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	13520000000000,000	mm <sup>6</sup>
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	15540000,000	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	$W_y$	6923000,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_z$	1252000,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{y,max}$	3966500,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{z,max}$	468180,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	7933000,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	1937000,000	mm <sup>3</sup>



## 7.2.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 460 N   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

## 7.2.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
707	MAX N	<b>116,12</b>	1,71	7,07	0,39	122,61	-5,67	KZ 120
400	MIN N	<b>-362,39</b>	3,59	61,98	1,11	259,89	0,00	KZ 109
714	MAX V <sub>y</sub>	-88,10	<b>8,20</b>	8,82	0,09	22,82	15,58	KZ 120
712	MIN V <sub>y</sub>	34,56	<b>-4,36</b>	-3,39	-0,31	122,61	-6,78	KZ 120
401	MAX V <sub>z</sub>	-176,30	1,89	<b>93,24</b>	0,67	160,53	5,67	KZ 79
392	MIN V <sub>z</sub>	53,09	-0,32	<b>-125,17</b>	-2,10	452,66	0,00	KZ 123
706	MAX M <sub>T</sub>	-12,47	-0,05	44,17	<b>2,44</b>	-132,52	-0,15	KZ 118
392	MIN M <sub>T</sub>	3,02	-0,31	-105,28	<b>-2,49</b>	328,42	0,00	KZ 110
149	MAX M <sub>y</sub>	-127,20	0,43	-100,11	-0,06	<b>625,89</b>	0,00	KZ 91
393	MIN M <sub>y</sub>	-0,83	0,10	83,93	2,09	<b>-226,04</b>	0,00	KZ 106
714	MAX M <sub>z</sub>	-88,10	8,20	8,82	0,09	22,82	<b>15,58</b>	KZ 120
714	MIN M <sub>z</sub>	-164,87	7,65	10,13	-0,25	38,05	<b>-9,05</b>	KZ 121

## 7.2.4. MSÚ

- Třída průřezu

Poměrné přetvoření

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{460}} = 0,715$$

Poměr c/t:

$$\frac{c}{t} = \frac{438}{21} = 20,857 \leq 33 \times \varepsilon = 33 \times 0,715 = 23,587 \quad \text{Třída 1}$$

#### 7.2.4.1. Posouzení na tlak

##### Návrhová únosnost v tlaku

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{35440 \times 460}{1,0} = 16302,40 \text{ kN}$$

##### Posouzení

$$N_{Ed} = 362,39 \text{ kN} \quad (\text{KZ 109})$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{362,39}{16302,40} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.2.4.2. Posouzení na ohyb

- ve směru  $y'$

##### Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7933000 \times 460}{1,0} = 3649,18 \text{ kNm}$$

##### Posouzení

$$M_{Ed} = 625,89 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 91})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{625,89}{3649,18} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,17 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- ve směru, z'

## Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{z,c,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1937000 \times 460}{1,0} = 891,02 \text{ kNm}$$

## Posouzení

$$M_{Ed} = 15,58 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 48})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{z,c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{15,58}{891,02} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 7.2.4.3. Posouzení na smyk

- Ve směru, y'

## Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{25488 \times 460}{\sqrt{3} \times 1,0} = 6769,13 \text{ kN}$$

## Posouzení

$$V_{Ed} = 8,20 \text{ kN} \quad (\text{KZ 120})$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{8,20}{6769,13} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,001 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

0,001 ≤ 0,5 - EC3 dovoluje zanedbat vliv smykové síly na momentovou únosnost.

Jedná se o tzv. případ s malým smykem.

- Ve směru  $z'$

#### Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{13960 \times 460}{\sqrt{3} \times 1,0} = 3707,51 \text{ kN}$$

#### Posouzení

$$V_{Ed} = 125,17 \text{ kN} \quad (\text{KZ 123})$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{125,17}{3707,51} \leq 1,0$$

$$0,03 \leq 1,0 \quad \underline{\underline{\text{VYHOVUJE}}}$$

$$\underline{\underline{0,03 \leq 0,5}} - \text{EC3 dovoluje zanedbat vliv smykové síly na momentovou únosnost.}$$

Jedná se o tzv. případ s malým smykem.

#### 7.2.4.4. Posouzení na vzpěr

$$L_{cr,y} = 24,00 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 3,00 \text{ m}$$

- Vybočení ve směru  $y'$

#### Kritická síla

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1,98 \times 10^9}{24000^2} = 7124,62 \text{ kN}$$

#### Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{35440 \times 460}{7124,62 \times 10^3}} = 1,51$$

#### Křivka vzpěrné pevnosti – $a_0 \quad \alpha = 0,13$

$$\phi_y = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,13 \times (1,51 - 0,2) + 1,51^2 \right] = 1,73$$

### Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,73 + \sqrt{1,73^2 - 1,51^2}} = 0,39$$

### Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,39 \times 35440 \times 460}{1,0} = 6357,94 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{362,39}{6357,94} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,06 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Vybočení kolmo k ose ,z'

### Kritická síla

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1,92 \times 10^8}{3000^2} = 44123,71 \text{ kN}$$

### Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{35440 \times 460}{44123,71 \times 10^3}} = 0,61$$

### Křivka vzpěrné pevnosti – a<sub>0</sub> α = 0,13

$$\phi_z = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,13 \times (0,61 - 0,2) + 0,61^2 \right] = 0,71$$

### Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,61^2}} = 0,93$$

### Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,93 \times 35440 \times 460}{1,0} = 15161,23 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{362,39}{15161,23} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.2.4.5. Posouzení na klopení

##### Součinitele vzpěrné délky

$$k_y = \frac{L_{cr,y}}{L} = \frac{24000}{12000} = 2 \quad \rightarrow \quad k_y = 1,0$$

$$k_z = \frac{L_{cr,z}}{L} = \frac{3000}{12000} = 0,25 \quad \rightarrow \quad k_z = 0,5$$

$$k_w = 0,5$$

##### Součinitelé závislé na zatížení a podmínkách uložení konců

$$C_1 = 0,97 \quad C_2 = 0,31 \quad C_3 = 0,67$$

##### Souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = z_a - z_s = 0,5 \times 572 - 0 = 286 \text{ mm}$$

Kde

$z_a$  souřadnice působíště zatížení vzhledem k těžišti průřezu

$z_s$  souřadnice středu smyku vzhledem k těžišti průřezu



**Bezrozměrný parametr působivosti zatížení vzhledem ke středu smyku**

$$\zeta_g = \frac{\pi \times z_g}{k_z \times L} \sqrt{\frac{E \times I_z}{G \times I_t}} = \frac{\pi \times 286}{0,5 \times 12000} \sqrt{\frac{210000 \times 1,92 \times 10^8}{81000 \times 1,55 \times 10^7}} = 0,85$$

**Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu**

$$\zeta_j = 0$$

**Bezrozměrný parametr kroucení**

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \times L} \sqrt{\frac{E \times I_w}{G \times I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \times 12000} \sqrt{\frac{210000 \times 1,35 \times 10^{13}}{81000 \times 1,55 \times 10^7}} = 0,79$$

**Bezrozměrný kritický moment**

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j)^2} - (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{0,97}{0,5} \left[ \sqrt{1 + 0,79^2 + (0,31 \times 0,85 - 0,67 \times 0)^2} - (0,31 \times 0,85 - 0,67 \times 0) \right] = 2,011 \end{aligned}$$

**Pružný kritický moment**

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \times \sqrt{E \times I_z \times G \times I_t}}{L} = 2,011 \frac{\pi \times \sqrt{210000 \times 1,92 \times 10^8 \times 81000 \times 1,55 \times 10^7}}{12000} = 3746,76 \text{ kNm}$$

**Poměrná štíhlost**

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7933000 \times 460}{3746,76 \times 10^6}} = 0,99$$

**Křivky klopení válcovaných profilů**

**Křivka klopení – b**       $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha_{LT} \times (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \times \overline{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (0,99 - 0,4) + 0,75 \times 0,99^2 \right] = 0,97$$

Kde

$\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$       doporučená hodnota

$\beta = 0,75$       doporučená hodnota

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \times \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,97 + \sqrt{0,97^2 - 0,75 \times 0,99^2}} = 0,71$$

## Návrhový moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,71 \times 7933000 \frac{460}{1,0} = 2582,44 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 625,89 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 91})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{625,89}{2582,44} \leq 1,0$$

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

### 7.2.4.6. Posouzení na ohyb a osový tlak

- **Max  $M_{y,Ed}$**

$$N_{Ed} = 127,20 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 625,89 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 91})$$

#### Interakční součinitel $k_{yy}$

$$M_h = 625,89 \text{ kNm} \quad M_s = 133,89 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{133,89}{625,89} = 0,21$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 \times \alpha_s = 0,2 + 0,8 \times 0,21 = 0,37$$

$$C_{my} = 0,37 \not\geq 0,40 \rightarrow C_{my} = 0,40$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,51$$

$$\chi_y = 0,39$$

$$N_{Rk} = A \times f_y = 35440 \times 460 = 16302,40 \text{ kN}$$

$k_{yy}$

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

$$0,4 \times \left( 1 + (1,51 - 0,2) \times \frac{127,20}{\frac{0,39 \times 16302,40}{1,0}} \right) \leq C_{my} \times \left( 1 + 0,8 \times \frac{127,20}{\frac{0,39 \times 16302,40}{1,0}} \right)$$

$$0,411 \not\leq 0,406$$

$k_{yy} = 0,406$

**Interakční součinitel  $k_{zz}$**

$\psi = 0$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \times \psi = 0,6 + 0,4 \times 0 = 0,6$$

$$C_{mz} = 0,60 \geq 0,40 \rightarrow C_{mz} = 0,60$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,61$$

$$\chi_z = 0,93$$

$$N_{Rk} = A \times f_y = 35440 \times 460 = 16302,40 \text{ kN}$$

$k_{zz}$

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

$$0,4 \times \left( 1 + (2 \times 0,61 - 0,6) \times \frac{127,20}{\frac{0,93 \times 16302,40}{1,0}} \right) \leq C_{mz} \times \left( 1 + 1,4 \times \frac{127,20}{\frac{0,93 \times 16302,40}{1,0}} \right)$$

$$0,419 \not\leq 0,411$$

$k_{zz} = 0,411$

**Interakční součinitel  $k_{yz}$**

$$k_{yz} = 0,6 \times k_{zz} = 0,6 \times 0,411 = 0,247$$

## Interakční součinitel $k_{zy}$

$$\psi = 0$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \times \psi = 0,6 + 0,4 \times 0 = 0,6$$

$$C_{mLT} = 0,60 \geq 0,40 \rightarrow C_{mLT} = 0,60$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,61$$

$$\chi_z = 0,93$$

$$N_{Rk} = A \times f_y = 35440 \times 460 = 16302,40 \text{ kN}$$

$k_{zy}$

$$\left( 1 - \frac{0,1 \times \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \times \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \times N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \geq \left( 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \times \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \times N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$\left( 1 - \frac{0,1 \times 0,61}{(0,6 - 0,25)} \times \frac{127,20}{\frac{0,93 \times 16302,40}{1,0}} \right) \geq C_{my} \times \left( 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \times \frac{127,20}{\frac{0,93 \times 16302,40}{1,0}} \right)$$

$$0,997 \geq 0,994$$

$$k_{zy} = 0,997$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \times f_y = 7933000 \times 460 = 3649,18 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \times f_y = 1937000 \times 460 = 891,02 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = 0,71$$

## Podmínky

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

$$\frac{127,20}{0,39 \times 16302,40} + 0,406 \times \frac{625,89}{0,71 \times 3649,18} + 0,247 \times \frac{0}{891,02} \leq 1,0$$

$$\frac{127,20}{1,0} + 0,406 \times \frac{625,89}{1,0} + 0,247 \times \frac{0}{1,0} \leq 1,0$$

$$0,12 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

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

$$\frac{127,20}{0,93 \times 16302,40} + 0,997 \times \frac{625,89}{0,71 \times 3649,18} + 0,411 \times \frac{0}{891,02} \leq 1,0$$

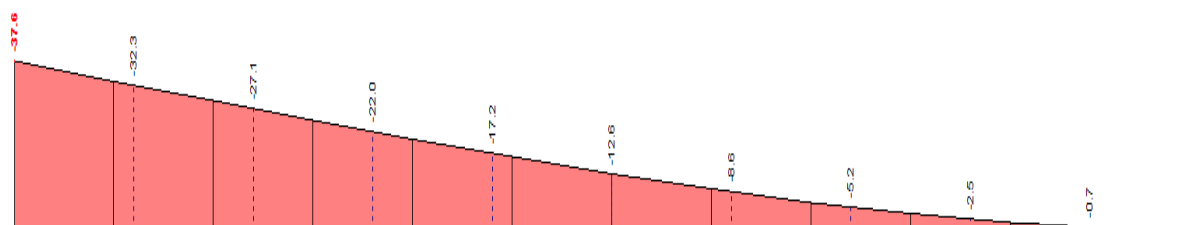
$$\frac{1,0}{1,0} + 0,997 \times \frac{1,0}{1,0} + 0,411 \times \frac{1,0}{1,0} \leq 1,0$$

0,25 ≤ 1,0 VYHOVUJE

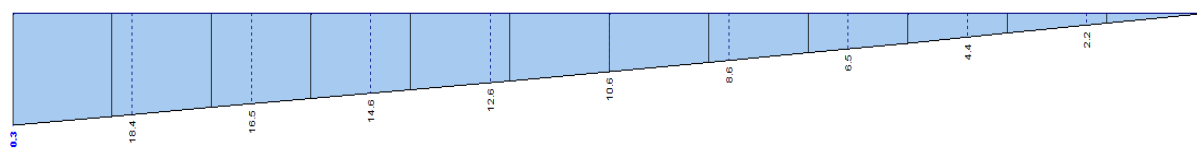
### 7.2.5. MSP

Č.	sada	Zatěž. Stav	Směr	Vztažná délka L [m]	mezní L/w	Deformace absolutní [mm]	
						exist w	mezní w
1	17	KZ162	z	12,00	300,00	37,60	40,00
2	15	KZ188	y	12,00	300,00	20,30	40,00

uz



uy



### Délka sloupu

L=12000 mm

- Vodorovný průhyb ve směru ,z'

$$\delta_{\max} = \delta_2 = \frac{L}{300} = \frac{12000}{300} = 40,00 \text{ mm}$$

$$\delta = w = 37,60 \text{ mm}$$

### Posouzení

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

$$\underline{\underline{37,60 \text{ mm} \leq 40,00 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Vodorovný průhyb ve směru ,y'

$$\delta_{\max} = \delta_2 = \frac{L}{300} = \frac{12000}{300} = 40,00 \text{ mm}$$

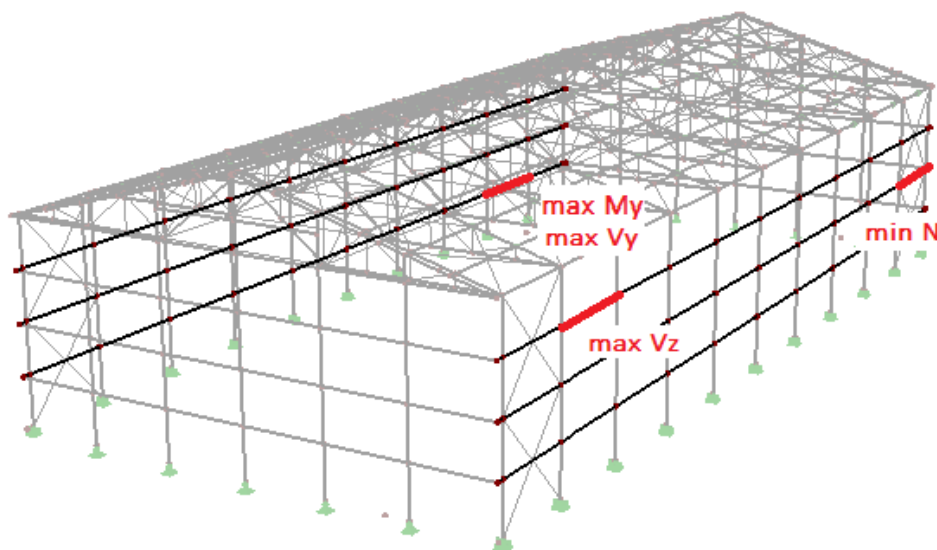
$$\delta = w = 20,30 \text{ mm}$$

### Posouzení

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

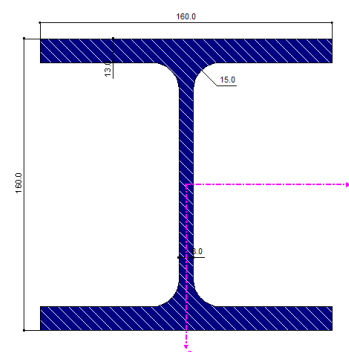
$$\underline{\underline{20,30 \text{ mm} \leq 40,00 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 7.3. Paždík v podélném směru – HEB 160



#### 7.3.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	$h$	160,000	mm
Šířka profilu	$b$	160,000	mm
Tloušťka stojiny	$t_w$	8,000	mm
Tloušťka pásnice	$t_f$	13,000	mm
Výška rovné části stojiny	$d$	104,000	mm
Plocha průřezu	$A$	5425,000	mm <sup>2</sup>
Účinná smyková plocha	$A_{w,y}$	4344,000	mm <sup>2</sup>
Účinná smyková plocha	$A_{w,z}$	1759,000	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	24920000,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	8892000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	67,800	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	40,500	mm
Výšečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	4794000000,000	mm <sup>6</sup>
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	312400,000	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	$W_y$	311500,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_z$	111200,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{y,max}$	177000,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{z,max}$	41600,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	354000,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	170000,000	mm <sup>3</sup>



## 7.3.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

## 7.3.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
659	MAX N	<b>24,19</b>	6,48	-16,18	0,00	7,71	3,24	KZ 89
395	MIN N	<b>-84,61</b>	5,06	-15,54	0,00	1,10	3,59	KZ 107
399	MAX V <sub>y</sub>	6,02	<b>8,72</b>	-10,54	0,00	11,11	9,57	KZ 12
405	MIN V <sub>y</sub>	11,81	<b>-8,98</b>	3,31	0,00	3,17	11,02	KZ 26
569	MAX V <sub>z</sub>	-3,88	-6,48	<b>45,56</b>	0,00	21,53	3,16	KZ 115
632	MIN V <sub>z</sub>	-12,28	-6,48	<b>-34,36</b>	0,00	-16,14	3,14	KZ 104
580	MAX M <sub>T</sub>	3,95	4,81	-7,90	<b>0,01</b>	0,00	0,00	KZ 79
622	MIN M <sub>T</sub>	2,48	6,57	-14,20	<b>-0,01</b>	0,00	0,00	KZ 91
399	MAX M <sub>y</sub>	-15,10	-0,13	-2,51	0,00	<b>25,77</b>	-5,52	KZ 105
578	MIN M <sub>y</sub>	-2,01	0,00	0,00	0,00	<b>-32,32</b>	-9,73	KZ 108
405	MAX M <sub>z</sub>	11,81	-8,98	3,31	0,00	3,17	<b>11,02</b>	KZ 26
578	MIN M <sub>z</sub>	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>-11,42</b>	KZ 1

## 7.3.4. MSÚ

- Třída průřezu

Poměrné přetvoření

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

Poměr c/t:

$$\frac{c}{t} = \frac{104}{8} = 13 \leq 72 \times \varepsilon = 72 \times 0,814 = 58,580 \quad \text{Třída 1}$$



#### 7.3.4.1. Posouzení na tlak

Návrhová únosnost tlakové síly

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5425 \times 355}{1,0} = 1925,88 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{Ed} = 84,61 \text{ kN} \quad (\text{KZ 107})$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{84,61}{1925,88} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,04 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.3.4.2. Posouzení na ohyb

- Ve směru  $y'$

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{354000 \times 355}{1,0} = 125,67 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$M_{Ed} = 32,32 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 108})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{32,32}{125,67} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,26 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 7.3.4.3. Posouzení na smyk

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{1759 \times 355}{\sqrt{3} \times 1,0} = 360,52 \text{ kN}$$

Posouzení

$$V_{Ed} = 45,56 \text{ kN} \quad (\text{KZ 115})$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{45,56}{360,52} \leq 1,0$$

$$0,13 \leq 1,0 \quad \underline{\underline{\text{VYHOVUJE}}}$$

0,13 ≤ 0,5 - EC3 dovoluje zanedbat vliv smykové síly na momentovou únosnost. Jedná se o tzv. případ s malým smykem.

### 7.3.4.4. Posouzení na vzpěr

$$L_{cr,y} = 6,00 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 6,00 \text{ m}$$

- Vybočení ve směru osy ,y'

Kritická síla

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2,49 \times 10^7}{6000^2} = 1434,711 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5425 \times 355}{1434,71 \times 10^3}} = 1,16$$

Křivka vzpěrné pevnosti – b  $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (1,16 - 0,2) + 1,16^2 \right] = 1,33$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,33 + \sqrt{1,33^2 - 1,16^2}} = 0,50$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,50 \times 5425 \times 355}{1,0} = 962,94 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{Ed} = 84,61 \text{ kN} \quad (\text{ZS } 107)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{84,61}{962,94} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,09 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Vybočení ve směru osy ,z'

Kritická síla

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 8,89 \times 10^6}{6000^2} = 511,94 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{5425 \times 355}{511,94 \times 10^3}} = 1,94$$

Křivka vzpěrné pevnosti – c  $\alpha = 0,49$

$$\phi_z = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,49 \times (1,94 - 0,2) + 1,94^2 \right] = 2,81$$

### Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{2,81 + \sqrt{2,81^2 - 1,94^2}} = 0,21$$

### Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,21 \times 5425 \times 355}{1,0} = 404,43 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{84,61}{404,43} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,21 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.3.4.5. Posouzení na klopení

##### Součinitele vzpěrné délky

$k_y = k_z = k_w = 1,0$  pro kloubové uložení na obou koncích

##### Součinitel závisící na zatížení a podmínkách uložení konců

$$C_1 = 1,13 \quad C_2 = 0,46 \quad C_3 = 0,53$$

##### Souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = z_a - z_s = 0,5 \times 160 - 0 = 80 \text{ mm}$$

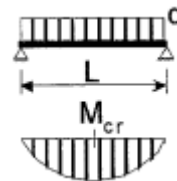
Kde

$z_a$  souřadnice působíště zatížení vzhledem k těžišti průřezu

$z_s$  souřadnice středu smyku vzhledem k těžišti průřezu

##### Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\zeta_g = \frac{\pi \times z_g}{k_z \times L} \sqrt{\frac{E \times I_z}{G \times I_t}} = \frac{\pi \times 80}{1,0 \times 6000} \sqrt{\frac{210000 \times 8,89 \times 10^6}{81000 \times 3,12 \times 10^5}} = 0,36$$



## Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\zeta_j = 0$$

## Bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \times L} \sqrt{\frac{E \times I_w}{G \times I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \times 6000} \sqrt{\frac{210000 \times 4,79 \times 10^{10}}{81000 \times 3,12 \times 10^5}} = 0,33$$

## Bezrozměrný kritický moment

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j)^2} - (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,13}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0,33^2 + (0,46 \times 0,36 - 0,53 \times 0)^2} - (0,46 \times 0,36 - 0,53 \times 0) \right] = 1,018 \end{aligned}$$

## Pružný kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \times \sqrt{E \times I_z \times G \times I_t}}{L} = 1,015 \frac{\pi \times \sqrt{210000 \times 8,89 \times 10^6 \times 81000 \times 3,12 \times 10^5}}{6000} = 115,87 \text{ kNm}$$

## Poměrná štíhlost

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{354000 \times 355}{115,87 \times 10^6}} = 1,04$$

## Křivky klopení válcovaných profilů

### Křivka klopení – b $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha_{LT} \times (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \times \overline{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (1,04 - 0,4) + 0,75 \times 1,04^2 \right] = 1,02$$

Kde

$$\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad \text{doporučená hodnota}$$

$$\beta = 0,75 \quad \text{doporučená hodnota}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \times \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,02 + \sqrt{1,02^2 - 0,75 \times 1,04^2}} = 0,67$$

## Návrhový moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,67 \times 354000 \frac{355}{1,0} = 84,74 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 32,32 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 108})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

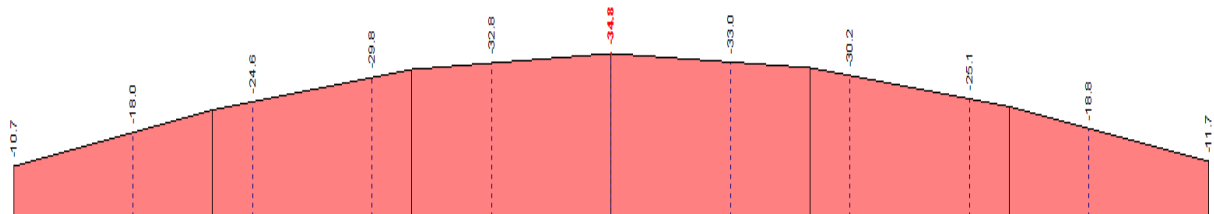
$$\frac{32,32}{84,74} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,38 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

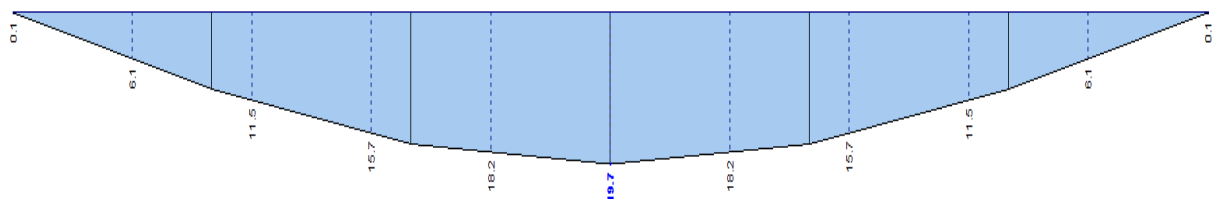
### 7.3.5. MSP

Č.	Prut č.	Zatěž. Stav	Směr	Vztažná délka L [m]	mezní L/w	Deformace absolutní [mm]	
						exist w	mezní w
1	580	KZ110	z	6,00	250,00	23,53	24,00
2	656	KZ109	y	6,00	250,00	19,70	24,00

**u<sub>z</sub>**



**u<sub>y</sub>**



## Délka paždiku

L=6000 mm

- Vodorovný průhyb ve směru ,z'

$$\delta_{\max} = \delta_2 = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24,00 \text{ mm}$$

$$\delta = w = 23,53 \text{ mm}$$

## Posouzení

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

$$\underline{\underline{23,53 \text{ mm} \leq 24,00 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Svislý průhyb ve směru ,y'

$$\delta_{\max} = \delta_2 = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24,00 \text{ mm}$$

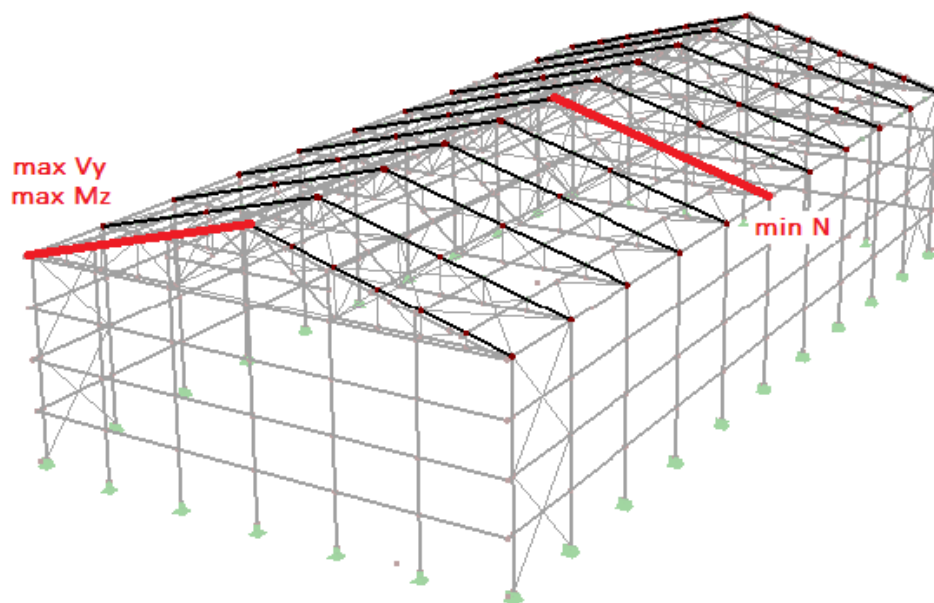
$$\delta = w = 19,57 \text{ mm}$$

## Posouzení

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

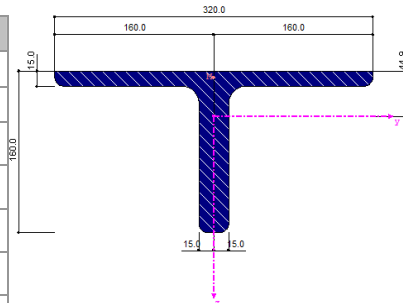
$$\underline{\underline{19,57 \text{ mm} \leq 24,00 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.4. Horní pás – 2xL 160x160x15



### 7.4.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
délka ramena	h	160,000	mm
tloušťka příruby	t	15,000	mm
Plocha průřezu	A	9220,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	A <sub>y</sub>	3954,800	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	A <sub>z</sub>	2834,000	mm <sup>2</sup>
Vzdálenost těžiště	e <sub>z</sub>	44,900	mm
Moment setrvačnosti	I <sub>y</sub>	21980000,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	I <sub>z</sub>	40570000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	48,800	mm
Poloměr setrvačnosti	i <sub>z</sub>	66,300	mm
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	664988,000	mm <sup>4</sup>
Vzdálenost od středu smyku k těžišti	Z <sub>M</sub>	-38,500	mm
Výsečový moment setrvačnosti	I <sub>@v</sub>	2000000000,000	mm <sup>6</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y,max</sub>	190964,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y,min</sub>	-489532,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>z</sub>	253548,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>y,max</sub>	97634,800	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>z,max</sub>	206895,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y,max</sub>	347110,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,z,max</sub>	413539,000	mm <sup>3</sup>





## 7.4.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

## 7.4.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
424	MAX N	<b>219,44</b>	-26,59	8,71	0,04	0,00	0,00	LK 120
209	MIN N	<b>-611,38</b>	-0,02	-0,65	-0,08	4,06	-0,03	LK 46
838	MAX V <sub>y</sub>	-405,67	<b>37,06</b>	-6,69	-0,20	0,67	3,71	LK 46
930	MIN V <sub>y</sub>	-311,38	<b>-49,05</b>	5,87	0,10	0,00	0,00	LK 58
43	MAX V <sub>z</sub>	-412,61	-3,71	<b>22,11</b>	-0,02	0,00	0,00	LK 46
504	MIN V <sub>z</sub>	-516,74	-0,16	<b>-16,09</b>	-0,09	0,00	0,00	LK 46
930	MAX M <sub>T</sub>	-379,04	-27,38	7,04	<b>0,32</b>	0,00	0,00	LK 44
838	MIN M <sub>T</sub>	-244,36	5,91	1,14	<b>-0,34</b>	-0,11	0,59	LK 71
209	MAX M <sub>y</sub>	-610,72	0,02	-0,17	0,19	<b>4,95</b>	0,06	LK 46
227	MIN M <sub>y</sub>	57,62	-0,11	-2,23	-0,08	<b>-3,07</b>	0,27	LK 103
966	MAX M <sub>z</sub>	-379,32	7,36	1,75	0,06	0,66	<b>12,63</b>	LK 46
869	MIN M <sub>z</sub>	-255,67	7,36	-2,05	-0,10	-0,87	<b>-9,57</b>	LK 69

## 7.4.4. MSÚ

- Třída průřezu

Poměrné přetvoření

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

Poměr h/t:

$$\frac{h}{t} = \frac{160}{15} = 10,667 \leq 15 \times \varepsilon = 15 \times 0,814 = 12,210 \quad \text{Třída 3}$$

#### 7.4.4.1. Posouzení na tlak

Návrhová únosnost tlakové síly

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9220 \times 355}{1,0} = 3273,10 \text{ kN}$$

**Posouzení**

$$N_{Ed} = 611,38 \text{ kN} \quad (\text{KZ 46})$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{611,38}{3273,10} \leq 1,0$$

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

#### 7.4.4.2. Posouzení na ohyb

- Ve směru ,z'

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{z,c,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{253548 \times 355}{1,0} = 90,00 \text{ kNm}$$

**Posouzení**

$$M_{Ed} = 12,63 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 46})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{12,63}{90,00} \leq 1,0$$

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

#### 7.4.4.3. Posouzení na smyk

- Ve směru ,y'

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{3954,8 \times 355}{\sqrt{3} \times 1,0} = 810,57 \text{ kN}$$

Posouzení

$$V_{Ed} = 49,05 \text{ kN} \quad (\text{KZ 58})$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{49,05}{810,57} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,06 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

0,06 ≤ 0,5 - EC3 dovoluje zanedbat vliv smykové síly na momentovou únosnost.

Jedná se o tzv. případ s malým smykem.

#### 7.4.4.4. Posouzení na vzpěr

$$L_{cr,y} = 5,18 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 2,59 \text{ m}$$

- Vybočení ve směru osy ,y'

Kritická síla

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2,2 \times 10^7}{5176^2} = 1700,43 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{9220 \times 355}{1700,43 \times 10^3}} = 1,39$$

Křivka vzpěrné pevnosti – b  $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (1,39 - 0,2) + 1,39^2 \right] = 1,66$$

### Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,66 + \sqrt{1,66^2 - 1,39^2}} = 0,39$$

### Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,39 \times 9220 \times 355}{1,0} = 1276,51 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$N_{Ed} = 611,38 \text{ kN} \quad (\text{ZS } 46)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{611,38}{1276,51} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,48 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Vybočení ve směru osy ,z'

### Kritická síla

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 4,06 \times 10^7}{2588^2} = 12554,39 \text{ kN}$$

### Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{9220 \times 355}{12554,39 \times 10^3}} = 0,51$$

### Křivka vzpěrné pevnosti – b $\alpha = 0,34$

$$\phi_z = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (0,51 - 0,2) + 0,51^2 \right] = 0,68$$

### Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,51^2}} = 0,88$$

### Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,88 \times 9220 \times 355}{1,0} = 2880,33 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{611,38}{2880,33} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,21 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.4.4.5. Posouzení na klopení

##### Součinitele vzpěrné délky

$$k_y = \frac{L_{cr,y}}{L} = \frac{5176}{15528} = 0,33 \rightarrow k_y = 1,0$$

$$k_z = \frac{L_{cr,z}}{L} = \frac{2588}{15528} = 0,16 \rightarrow k_z = 0,5$$

$$k_w = 0,5$$

##### Součinitelé závislé na zatížení a podmínkách uložení konců

$$C_1 = 0,97 \quad C_2 = 0,40 \quad C_3 = 0,44$$

##### Souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = z_a - z_s = 44,9 - 38,5 = 6,4 \text{ mm}$$

Kde

$z_a$  souřadnice působíště zatížení vzhledem k těžišti průřezu

$z_s$  souřadnice středu smyku vzhledem k těžišti průřezu

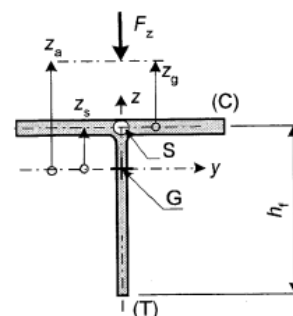
##### Součinitel nesymetrie průřezu

$$\psi = 1,0$$

##### Souřadnice $z_j$

$$z_j = 0,45 \times \psi_f \times h_f = 0,45 \times 1,0 \times 152,5 = 68,63 \text{ mm}$$

Kde  $h_f$  vzdálenost mezi středem pásnice a volným koncem průřezu



**Bezrozměrný parametr působivosti zatížení vzhledem ke středu smyku**

$$\zeta_g = \frac{\pi \times z_g}{k_z \times L} \sqrt{\frac{E \times I_z}{G \times I_t}} = \frac{\pi \times 6,4}{0,5 \times 15528} \sqrt{\frac{210000 \times 4,06 \times 10^7}{81000 \times 6,65 \times 10^5}} = 0,04$$

**Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu**

$$\zeta_j = \frac{\pi \times z_j}{k_z \times L} \sqrt{\frac{E \times I_z}{G \times I_t}} = \frac{\pi \times 68,63}{0,5 \times 15528} \sqrt{\frac{210000 \times 4,06 \times 10^7}{81000 \times 6,65 \times 10^5}} = 0,35$$

**Bezrozměrný parametr kroucení**

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \times L} \sqrt{\frac{E \times I_w}{G \times I_t}} = \frac{\pi}{0,5 \times 15528} \sqrt{\frac{210000 \times 2,00 \times 10^9}{81000 \times 6,65 \times 10^5}} = 0,04$$

**Bezrozměrný kritický moment**

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j)^2} - (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{0,97}{0,5} \left[ \sqrt{1 + 0,04^2 + (0,40 \times 0,04 - 0,44 \times 0,35)^2} - (0,40 \times 0,04 - 0,44 \times 0,35) \right] = 2,233 \end{aligned}$$

**Pružný kritický moment**

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \times \sqrt{E \times I_z \times G \times I_t}}{L} = 2,228 \frac{\pi \times \sqrt{210000 \times 4,06 \times 10^7 \times 81000 \times 6,65 \times 10^5}}{15528} = 306,04 \text{ kNm}$$

**Poměrná štíhlost**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{347110 \times 355}{305,36 \times 10^6}} = 0,63$$

**Křivky klopení válcovaných profilů**

**Křivka klopení – d**      $\alpha_{LT} = 0,76$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha_{LT} \times (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,76 \times (0,63 - 0,2) + 0,63^2 \right] = 0,87$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,87 + \sqrt{0,87^2 - 0,63^2}} = 0,69$$

**Návrhový moment únosnosti na klopení**

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,69 \times 347110 \frac{355}{1,0} = 84,61 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 4,95 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 46})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

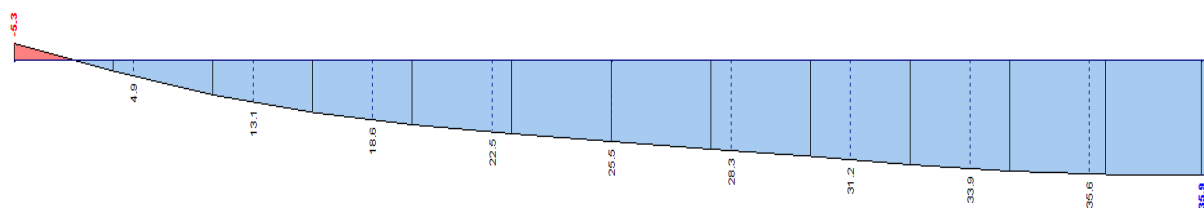
$$\frac{4,95}{84,61} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,06 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 7.4.5. MSP

Č.	sada	Zatěž. Stav	Směr	Vztažná délka L [m]	mezní L/w	Deformace absolutní [mm]	
						exist w	mezní w
1	6	KZ129	z	15,53	250,00	43,40	62,12

$u_z$



Délka horního pásu

$$L=15530 \text{ mm}$$

Svislý průhyb

$$\delta_{\max} = \delta_2 = \frac{L}{250} = \frac{15530}{250} = 62,12 \text{ mm}$$

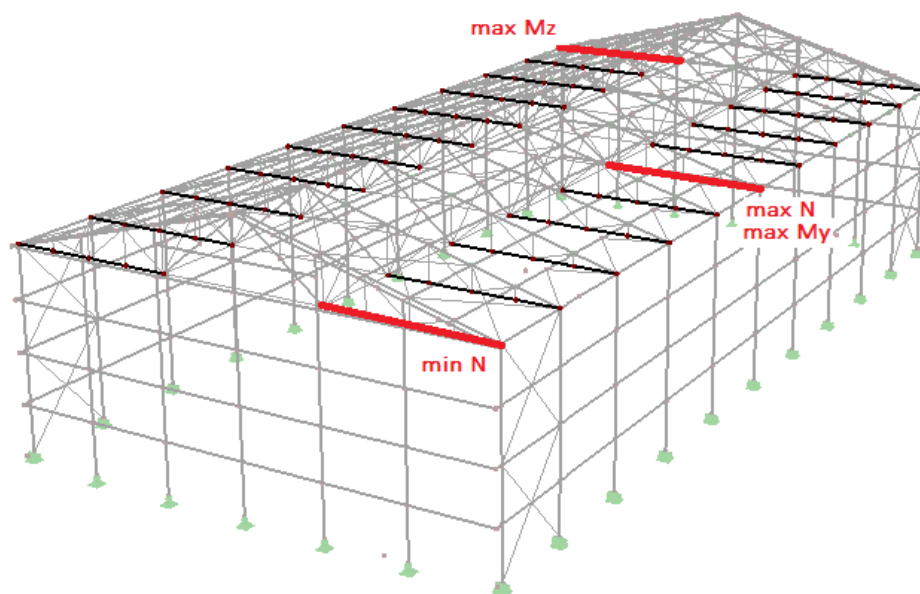
$$\delta=w=43,40 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

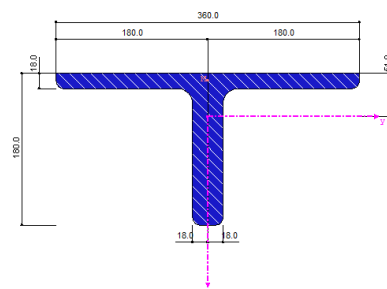
$$\underline{\underline{43,00 \text{ mm} \leq 62,12 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.5. Dolní pás vodorovný – 2xL 180x180x18



### 7.5.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
délka ramena	h	180,000	mm
tloušťka příruby	t	18,000	mm
Plocha průřezu	A	12380,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	A <sub>y</sub>	5343,100	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	A <sub>z</sub>	3821,100	mm <sup>2</sup>
Vzdálenost těžiště	e <sub>z</sub>	51,000	mm
Moment setrvačnosti	I <sub>y</sub>	37320000,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	I <sub>z</sub>	69520000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	54,900	mm
Poloměr setrvačnosti	i <sub>z</sub>	74,900	mm
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	1285610,000	mm <sup>4</sup>
Vzdálenost od středu smyku k těžišti	z <sub>s</sub>	-43,100	mm
Výsečový moment setrvačnosti	I <sub>@v</sub>	4854000000,000	mm <sup>6</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y,max</sub>	289302,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y,min</sub>	-731765,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>z</sub>	386224,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>y,max</sub>	147504,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>z,max</sub>	316091,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y,max</sub>	525259,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,z,max</sub>	631872,000	mm <sup>3</sup>





## 7.5.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

## 7.5.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
188	MAX N	<b>664,77</b>	-0,07	-7,88	-0,02	0,34	-0,61	KZ 46
40	MIN N	<b>-113,75</b>	0,01	0,45	0,00	-0,15	0,13	KZ 120
795	MAX V <sub>y</sub>	284,62	<b>1,75</b>	-5,19	0,20	1,47	17,21	KZ 48
797	MIN V <sub>y</sub>	226,33	<b>-1,75</b>	0,91	-0,22	-5,64	12,83	KZ 60
212	MAX V <sub>z</sub>	664,77	-0,07	<b>6,15</b>	-0,02	-3,97	-0,28	KZ 46
188	MIN V <sub>z</sub>	664,77	-0,07	<b>-7,88</b>	-0,02	0,34	-0,61	KZ 46
795	MAX M <sub>T</sub>	284,62	1,75	-5,19	<b>0,20</b>	1,47	17,21	KZ 48
797	MIN M <sub>T</sub>	226,33	-1,75	0,91	<b>-0,22</b>	-5,64	12,83	KZ 60
40	MAX M <sub>y</sub>	-113,75	0,01	3,24	0,00	<b>4,46</b>	0,11	KZ 120
188	MIN M <sub>y</sub>	664,77	-0,07	-5,08	-0,02	<b>-15,86</b>	-0,44	KZ 46
795	MAX M <sub>z</sub>	284,62	1,75	-5,19	0,20	1,47	<b>17,21</b>	KZ 48
796	MIN M <sub>z</sub>	298,74	1,43	4,41	0,18	0,17	<b>-14,21</b>	KZ 69

## 7.5.4. MSÚ

- Třída průřezu

Poměrné přetvoření

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

Poměr h/t:

$$\frac{h}{t} = \frac{180}{18} = 10,000 \leq 15 \times \varepsilon = 15 \times 0,814 = 12,210 \quad \text{Třída 3}$$

#### 7.5.4.1. Posouzení na tah

Návrhová únosnost tahové síly

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12380 \times 355}{1,0} = 4394,90 \text{ kN}$$

**Posouzení**

$$N_{Ed} = 664,77 \text{ kN} \quad (\text{KZ 46})$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{664,77}{4394,90} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,15 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.5.4.2. Posouzení na ohyb

- Ve směru ,z'

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{z,c,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{386224 \times 355}{1,0} = 137,11 \text{ kNm}$$

**Posouzení**

$$M_{Ed} = 17,21 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 48})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{17,21}{137,11} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,13 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 7.5.4.3. Posouzení na vzpěr

$$L_{cr,y} = 10,00 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 2,50 \text{ m}$$

- Vybočení ve směru osy ,y'

Kritická síla

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3,73 \times 10^7}{10000^2} = 773,50 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{12380 \times 355}{773,50 \times 10^3}} = 2,38$$

Křivka vzpěrné pevnosti – b  $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (2,38 - 0,2) + 2,38^2 \right] = 3,71$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3,71 + \sqrt{3,71^2 - 2,38^2}} = 0,15$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,15 \times 12380 \times 355}{1,0} = 659,24 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{Ed} = 113,75 \text{ kN} \quad (\text{ZS } 120)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{113,75}{659,24} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,17 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Vybočení ve směru osy ,z'

## Kritická síla

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 6,95 \times 10^7}{2500^2} = 23054,13 \text{ kN}$$

## Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{12380 \times 355}{23054,13 \times 10^3}} = 0,44$$

## Křivka vzpěrné pevnosti – b $\alpha = 0,34$

$$\phi_z = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (0,44 - 0,2) + 0,44^2 \right] = 0,64$$

## Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,64 + \sqrt{0,64^2 - 0,44^2}} = 0,91$$

## Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,91 \times 12380 \times 355}{1,0} = 3999,36 \text{ kN}$$

## Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{bR,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{113,75}{3999,36} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,03 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.5.4.4. Posouzení na klopení

Součinitele vzpěrné délky

$$k_y = \frac{L_{cr,y}}{L} = \frac{10000}{10000} = 1,00 \rightarrow k_y = 1,0$$

$$k_z = \frac{L_{cr,z}}{L} = \frac{2500}{10000} = 0,25 \rightarrow k_z = 0,5$$

$$k_w = 0,5$$

Součinitelé závisící na zatížení a podmínkách uložení konců

$$C_1 = 0,97 \quad C_2 = 0,25 \quad C_3 = 0,84$$

Souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = z_a - z_s = 51,0 - 43,1 = 7,9 \text{ mm}$$

Kde

$z_a$  souřadnice působíště zatížení vzhledem k těžišti průřezu

$z_s$  souřadnice středu smyku vzhledem k těžišti průřezu

Součinitel nesymetrie průřezu

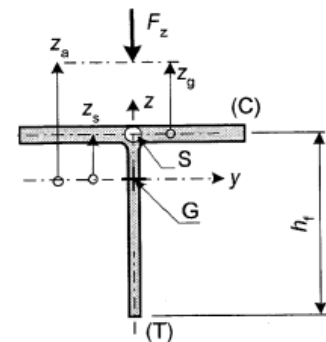
$$\psi = -1,0$$

Souřadnice  $z_j$

$$z_j = 0,45 \times \psi_f \times h_f = 0,45 \times -1,0 \times 171,0 = -76,95 \text{ mm}$$

Kde

$h_f$  vzdálenost mezi středem pásnice a volným koncem průřezu



Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\zeta_g = \frac{\pi \times z_g}{k_z \times L} \sqrt{\frac{E \times I_z}{G \times I_t}} = \frac{\pi \times 7,9}{0,5 \times 10000} \sqrt{\frac{210000 \times 6,95 \times 10^7}{81000 \times 1,29 \times 10^6}} = 0,06$$

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\zeta_j = \frac{\pi \times z_j}{k_z \times L} \sqrt{\frac{E \times I_z}{G \times I_t}} = \frac{\pi \times -76,95}{0,5 \times 10000} \sqrt{\frac{210000 \times 6,95 \times 10^7}{81000 \times 1,29 \times 10^6}} = -0,57$$

Bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \times L} \sqrt{\frac{E \times I_w}{G \times I_t}} = \frac{\pi}{0,5 \times 10000} \sqrt{\frac{210000 \times 4,85 \times 10^9}{81000 \times 1,29 \times 10^6}} = 0,06$$

### Bezrozměrný kritický moment

$$\begin{aligned}\mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j)^2} - (C_2 \times \zeta_g - C_3 \times \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{0,97}{0,5} \left[ \sqrt{1 + 0,06^2 + (0,25 \times 0,06 - 0,84 \times -0,57)^2} - (0,25 \times 0,06 - 0,84 \times -0,57) \right] = 1,207\end{aligned}$$

### Pružný kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \times \sqrt{E \times I_z \times G \times I_t}}{L} = 2,228 \frac{\pi \times \sqrt{210000 \times 6,95 \times 10^7 \times 81000 \times 1,29 \times 10^6}}{10000} = 467,54 \text{ kNm}$$

### Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{525259 \times 355}{467,54 \times 10^6}} = 0,63$$

### Křivky klopení válcovaných profilů

Křivka klopení – d       $\alpha_{LT} = 0,76$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha_{LT} \times (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,76 \times (0,63 - 0,2) + 0,63^2 \right] = 0,86$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,86 + \sqrt{0,86^2 - 0,63^2}} = 0,69$$

### Návrhový moment únosnosti na klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,69 \times 525259 \frac{355}{1,0} = 128,41 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 15,85 \text{ kNm} \quad (\text{KZ 46})$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

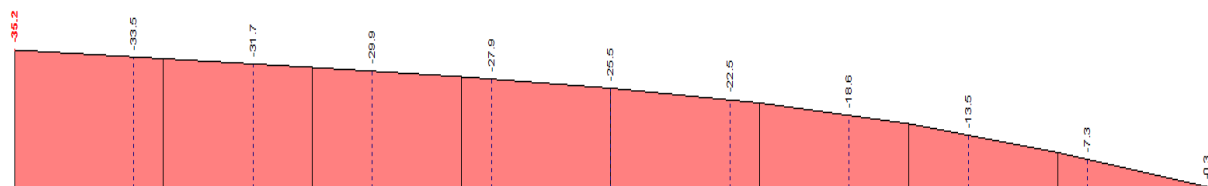
$$\frac{15,85}{128,41} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,12 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 7.5.5. MSP

Č.	sada	Zatěž. Stav	Směr	Vztažná délka L [m]	mezní L/w	Deformace absolutní [mm]	
						exist w	mezní w
1	17	KZ129	z	10,00	250,00	35,20	40,00

$u_z$



Délka dolního pásu

$L=10000$  mm

Svislý průhyb

$$\delta_{\max} = \delta_2 = \frac{L}{250} = \frac{10000}{250} = 40,00 \text{ mm}$$

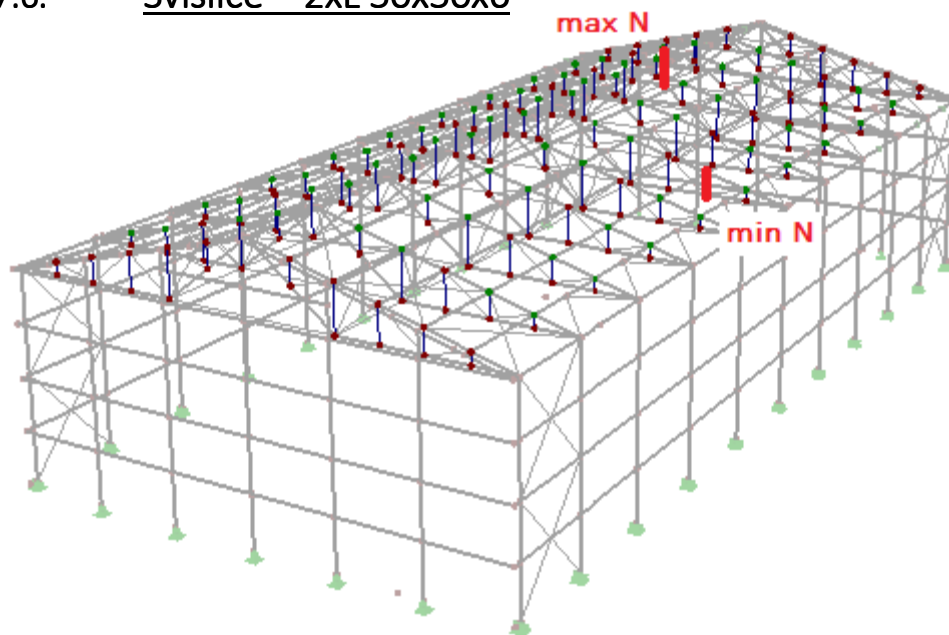
$$\delta = w = 40,00 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

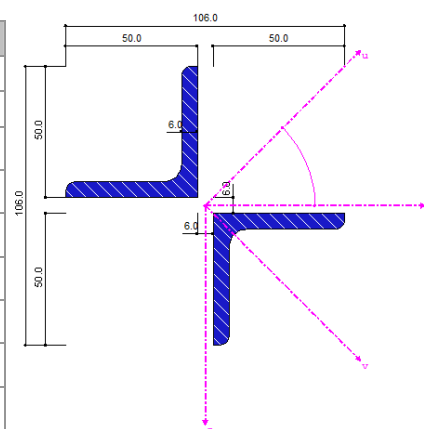
$$35,20 \text{ mm} \leq 40,00 \text{ mm} \quad \underline{\underline{\text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.6. Svislice – 2xL 50x50x6



### 7.6.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
délka ramena	$h$	50,000	mm
tloušťka příruby	$t$	6,000	mm
Plocha průřezu	$A$	1138,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_u$	473,600	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_v$	150,000	mm <sup>2</sup>
Úhel natočení hlavních os	$\alpha$	-45,000	°
Moment setrvačnosti	$I_y$	688725,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	688725,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti okolo hlavní osy	$I_u$	972249,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti okolo hlavní osy	$I_v$	406000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_u$	29,200	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_v$	18,900	mm
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	12991,700	mm <sup>4</sup>
Polární moment setrvačnosti	$I_p$	990529,000	mm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	53160000,000	mm <sup>6</sup>
Elastický průřezový modul	$W_u$	19656,500	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_v$	11483,400	mm <sup>3</sup>
Výsečový průřezový modul	$W_w$	141376,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{u,max}$	15714,700	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{v,max}$	4689,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y,max}$	31259,100	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z,max}$	18478,300	mm <sup>3</sup>





## 7.6.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

## 7.6.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
91	MAX N	<b>18,71</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 103
220	MIN N	<b>-31,85</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 46
46	MAX V <sub>u</sub>	-0,89	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
46	MIN V <sub>u</sub>	-0,89	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
46	MAX V <sub>v</sub>	-0,89	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	KZ 1
46	MIN V <sub>v</sub>	-0,89	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	KZ 1
46	MAX M <sub>T</sub>	-0,89	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	KZ 1
46	MIN M <sub>T</sub>	-0,89	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	KZ 1
46	MAX M <sub>u</sub>	-0,89	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	KZ 1
46	MIN M <sub>u</sub>	-0,89	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	KZ 1
46	MAX M <sub>v</sub>	-0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	KZ 1
46	MIN M <sub>v</sub>	-0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	KZ 1

## 7.6.4. MSÚ

- Třída průřezu

Poměrné přetvoření

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

Poměr h/t:

$$\frac{h}{t} = \frac{50}{6} = 8,333 \leq 15 \times \varepsilon = 15 \times 0,814 = 12,210 \quad \text{Třída 3}$$

#### 7.6.4.1. Posouzení na tah

Návrhová únosnost tahové síly

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1138 \times 355}{1,0} = 403,99 \text{ kN}$$

**Posouzení**

$$N_{Ed} = 18,71 \text{ kN} \quad (\text{KZ 103})$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{18,71}{403,99} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,05 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.6.4.2. Posouzení na vzpěr členěného prutu

- Vybočení kolmo k nehmotné ose

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = 0,9 \times L_{sys} = 0,9 \times 1,340 = 1,206 \text{ m}$$

Vzdálenost mezi spojkami pásů členěného prutu

$$a = \frac{1}{3} \times L_{cr} = \frac{1}{3} \times 1,206 = 0,402 \text{ m}$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{ch,y}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 5,31 \times 10^4}{1,206^2} = 75,67 \text{ kN}$$

Imperfekce prutu

$$e_0 = \frac{L_{cr}}{500} = \frac{1206}{500} = 2,41 \text{ mm}$$

**Návrh spojek**

tloušťka  $t_p = 6 \text{ mm}$

délka  $h = 90 \text{ mm}$

### Vzdálenost těžišť

$$h_0 = 2 \times u_1 + \sqrt{2 \times t_p^2} = 2 \times 20,4 + \sqrt{2 \times 6^2} = 49,29 \text{ mm}$$

Kde

$u_1$  vzdálenost těžišť úhelníků

### Moment $I_1$

$$I_1 = 0,5 \times h_0^2 \times A_{ch} + 2 \times I_{ch,v} = 0,5 \times 49,29^2 \times 569 + 2 \times 5,31 \times 10^4 = 7,97 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

### Nejmenší poloměr setrvačnosti členěného prutu

$$i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2 \times A_{ch}}} = \sqrt{\frac{7,97 \times 10^5}{2 \times 569}} = 26,47 \text{ mm}$$

### Poměrná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_0} = \frac{1206}{26,47} = 45,56$$

### Součinitel účinnosti

$$\lambda = 45,56 \leq 75 \rightarrow \mu = 1,0$$

### Účinný moment setrvačnosti

$$I_{eff} = 0,5 \times h_0^2 \times A_{ch} + 2 \times \mu \times I_{ch,v} = 0,5 \times 49,29^2 \times 569 + 2 \times 1 \times 5,31 \times 10^4 = 7,97 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

### Moment setrvačnosti spojek

$$I_b = \frac{1}{12} \times t_p \times h^3 = \frac{1}{12} \times 6 \times 90^3 = 3,60 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

### Použití spojek

$$\frac{n \times I_b}{h_0} \geq \frac{10 \times I_{ch,v}}{a}$$

$$\frac{2 \times 3,60 \times 10^5}{49,29} \geq \frac{10 \times 5,31 \times 10^4}{402}$$

$$14791,43 \geq 1320,90 \rightarrow \text{tuhé spojky}$$

Kde

$n$  počet rovin s rámovými spojkami

## Smyková tuhost

$$S_v = \frac{2 \times \pi^2 \times E \times I_{ch,v}}{a^2}$$

$$S_v = \frac{2 \times \pi^2 \times 210000 \times 5,31 \times 10^4}{402^2}$$

$$S_v = 1362,04 \text{ kN}$$

## Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{eff}}{a^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 7,97 \times 10^5}{402^2} = 10225,10 \text{ kN}$$

## Návrhová hodnota největšího momentu členěného prutu

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \times e_0}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{CR}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} = \frac{31,85 \times 2,41 \times 10^{-3}}{1 - \frac{31,85}{10225,10} - \frac{31,85}{1362,04}} = 0,08 \text{ kNm}$$

## Návrhová síla $N_{ch,Ed}$

$$N_{ch,Ed} = 0,5 \times \left( N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \times h_0 \times A_{ch}}{I_{eff}} \right) = 0,5 \times \left( 31,85 \times 10^3 + \frac{0,08 \times 10^3 \times 49,29 \times 10^{-3} \times 569 \times 10^{-6}}{7,97 \times 10^{-7}} \right) = 15,93 \text{ kN}$$

## Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ch} \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{569 \times 355}{10225,10 \times 10^3}} = 0,14$$

## Křivka vzpěrné pevnosti – b $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (0,14 - 0,2) + 0,14^2 \right] = 0,50$$

## Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,50 + \sqrt{0,50^2 - 0,14^2}} = 1,03 \leq 1,0$$

## Vzpěrná únosnost

$$N_{ch,b,Rd} = \frac{\chi \times A_{ch} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \times 569 \times 355}{1,0} = 208,05 \text{ kN}$$

## Posouzení

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{15,93}{202,00} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,08 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- **Vybočení kolmo k hmotné ose**

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = L_{sys} = 1,340 \text{ m}$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{ch,u}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2,04 \times 10^5}{1340^2} = 470,94 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1138 \times 355}{470,94 \times 10^3}} = 0,93$$

Křivka vzpěrné pevnosti – b  $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (0,93 - 0,2) + 0,93^2 \right] = 1,05$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,05 + \sqrt{1,05^2 - 0,93^2}} = 0,64 \leq 1,0$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,64 \times 1138 \times 355}{1,0} = 258,55 \text{ kN}$$

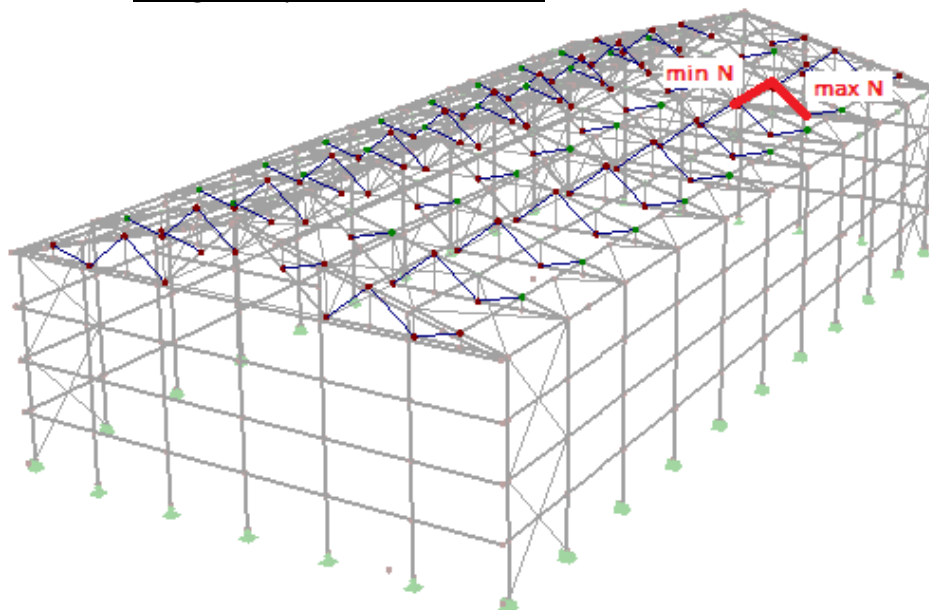
Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{31,85}{258,55} \leq 1,0$$

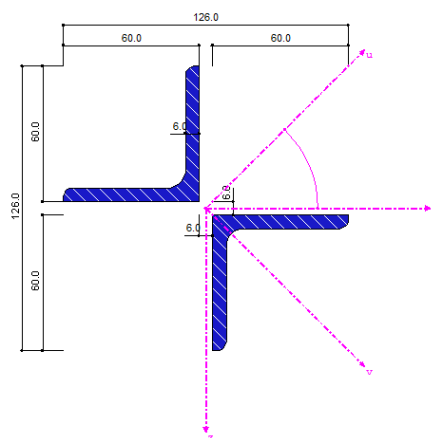
$$\underline{\underline{0,12 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.7. Diagonály – 2xL 60x60x6



### 7.7.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
délka ramena	$h$	60,000	mm
tloušťka příruby	$t$	6,000	mm
Plocha průřezu	$A$	1382,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_u$	573,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_v$	590,500	mm <sup>2</sup>
Úhel natočení hlavních os	$\alpha$	-45,000	°
Moment setrvačnosti	$I_y$	850713,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	850713,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti okolo hlavní osy	$I_u$	978226,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti okolo hlavní osy	$I_v$	722000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_u$	26,600	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_v$	22,900	mm
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	15871,700	mm <sup>4</sup>
Polární moment setrvačnosti	$I_p$	1701430,000	mm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	13330000,000	mm <sup>6</sup>
Elastický průřezový modul	$W_u$	19860,500	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_v$	17017,700	mm <sup>3</sup>
Výsečový průřezový modul	$W_w$	77976,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{u,max}$	16648,100	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{v,max}$	6895,200	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y,max}$	32871,400	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z,max}$	27122,000	mm <sup>3</sup>



## 7.7.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

## 7.7.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
108	MAX N	<b>76,61</b>	0,11	-0,11	0,00	0,00	0,00	KZ 52
107	MIN N	<b>-77,82</b>	-0,11	0,11	0,00	0,00	0,00	KZ 52
66	MAX V <sub>u</sub>	53,26	<b>0,13</b>	-0,13	0,00	0,00	0,00	KZ 7
66	MIN V <sub>u</sub>	52,96	<b>-0,13</b>	0,13	0,00	0,00	0,00	KZ 7
66	MAX V <sub>v</sub>	52,96	-0,13	<b>0,13</b>	0,00	0,00	0,00	KZ 7
66	MIN V <sub>v</sub>	53,26	0,13	<b>-0,13</b>	0,00	0,00	0,00	KZ 7
62	MAX M <sub>T</sub>	-15,80	-0,13	0,13	<b>0,00</b>	0,00	0,00	KZ 1
62	MIN M <sub>T</sub>	-15,80	-0,13	0,13	<b>0,00</b>	0,00	0,00	KZ 1
66	MAX M <sub>u</sub>	33,60	-0,04	0,04	0,00	<b>0,09</b>	0,09	KZ 1
62	MIN M <sub>u</sub>	-15,80	-0,13	0,13	0,00	<b>0,00</b>	0,00	KZ 1
66	MAX M <sub>v</sub>	33,60	-0,04	0,04	0,00	0,09	<b>0,09</b>	KZ 1
62	MIN M <sub>v</sub>	-15,80	-0,13	0,13	0,00	0,00	<b>0,00</b>	KZ 1

## 7.7.4. MSÚ

- Třída průřezu

Poměrné přetvoření

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

Poměr h/t:

$$\frac{h}{t} = \frac{60}{6} = 10,000 \leq 15 \times \varepsilon = 15 \times 0,814 = 12,210 \quad \text{Třída 3}$$

#### 7.7.4.1. Posouzení na tah

Návrhová únosnost tahové síly

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1382 \times 355}{1,0} = 490,61 \text{ kN}$$

**Posouzení**

$$N_{Ed} = 76,61 \text{ kN} \quad (\text{KZ 52})$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{76,61}{490,61} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,16 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.7.4.2. Posouzení na vzpěr členěného prutu

- Vybočení kolmo k nehmotné ose

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = 0,9 \times L_{sys} = 0,9 \times 3,208 = 2,887 \text{ m}$$

Vzdálenost mezi spojkami pásů členěného prutu

$$a = \frac{1}{3} \times L_{cr} = \frac{1}{3} \times 2,887 = 0,962 \text{ m}$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{ch,y}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 9,38 \times 10^4}{2,887^2} = 23,32 \text{ kN}$$

Imperfekce prutu

$$e_0 = \frac{L_{cr}}{500} = \frac{2887}{500} = 5,77 \text{ mm}$$

Návrh spojek

tloušťka  $t_p = 6 \text{ mm}$

délka  $h = 110 \text{ mm}$



### Vzdálenost těžišť

$$h_0 = 2 \times u_1 + \sqrt{2 \times t_p^2} = 2 \times 23,9 + \sqrt{2 \times 6^2} = 56,29 \text{ mm}$$

Kde

$u_1$  vzdálenost těžišť úhelníků

### Moment $I_1$

$$I_1 = 0,5 \times h_0^2 \times A_{ch} + 2 \times I_{ch,v} = 0,5 \times 56,29^2 \times 691 + 2 \times 9,38 \times 10^4 = 1,28 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

### Nejmenší poloměr setrvačnosti členěného prutu

$$i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2 \times A_{ch}}} = \sqrt{\frac{1,28 \times 10^6}{2 \times 691}} = 30,46 \text{ mm}$$

### Poměrná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_0} = \frac{2887}{30,46} = 94,79$$

### Součinitel účinnosti

$$75 < \lambda = 94,79 < 150 \rightarrow \mu = 2 - \frac{\lambda}{75} = 2 - \frac{94,79}{75} = 0,74$$

### Účinný moment setrvačnosti

$$I_{eff} = 0,5 \times h_0^2 \times A_{ch} + 2 \times \mu \times I_{ch,v} = 0,5 \times 56,29^2 \times 691 + 2 \times 0,74 \times 9,38 \times 10^4 = 1,26 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

### Moment setrvačnosti spojek

$$I_b = \frac{1}{12} \times t_p \times h^3 = \frac{1}{12} \times 6 \times 110^3 = 6,66 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

### Použití spojek

$$\frac{n \times I_b}{h_0} \geq \frac{10 \times I_{ch,v}}{a}$$

$$\frac{2 \times 6,66 \times 10^5}{56,29} \geq \frac{10 \times 9,38 \times 10^4}{962}$$

$$23647,39 \geq 974,65 \rightarrow \text{tuhé spojky}$$

Kde

$n$  počet rovin s rámovými spojkami

## Smyková tuhost

$$S_v = \frac{2 \times \pi^2 \times E \times I_{ch,v}}{a^2}$$

$$S_v = \frac{2 \times \pi^2 \times 210000 \times 9,38 \times 10^4}{962^2}$$

$$S_v = 419,80 \text{ kN}$$

## Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{eff}}{a^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1,23 \times 10^6}{962^2} = 2758,35 \text{ kN}$$

## Návrhová hodnota největšího momentu členěného prutu

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \times e_0}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{CR}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} = \frac{77,82 \times 5,77 \times 10^{-3}}{1 - \frac{77,82}{2758,35} - \frac{77,82}{419,80}} = 0,57 \text{ kNm}$$

## Návrhová síla $N_{ch,Ed}$

$$N_{ch,Ed} = 0,5 \times \left( N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \times h_0 \times A_{ch}}{I_{eff}} \right) = 0,5 \times \left( 77,82 \times 10^3 + \frac{0,57 \times 10^3 \times 56,29 \times 10^{-3} \times 691 \times 10^{-6}}{1,23 \times 10^{-6}} \right) = 38,91 \text{ kN}$$

## Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ch} \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{691 \times 355}{2758,35 \times 10^3}} = 0,30$$

## Křivka vzpěrné pevnosti – b $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (0,30 - 0,2) + 0,30^2 \right] = 0,56$$

## Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,30^2}} = 0,96 \leq 1,0$$

## Vzpěrná únosnost

$$N_{ch,b,Rd} = \frac{\chi \times A_{ch} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,96 \times 691 \times 355}{1,0} = 235,49 \text{ kN}$$

## Posouzení

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{38,91}{235,49} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,17 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Vybočení kolmo k hmotné ose

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = L_{sys} = 3,208 \text{ m}$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{ch,u}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3,62 \times 10^5}{3208^2} = 145,81 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1382 \times 355}{145,81 \times 10^3}} = 1,83$$

Křivka vzpěrné pevnosti – b  $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (1,83 - 0,2) + 1,83^2 \right] = 2,46$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,46 + \sqrt{2,46^2 - 1,83^2}} = 0,24 \leq 1,0$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,24 \times 1382 \times 355}{1,0} = 117,75 \text{ kN}$$

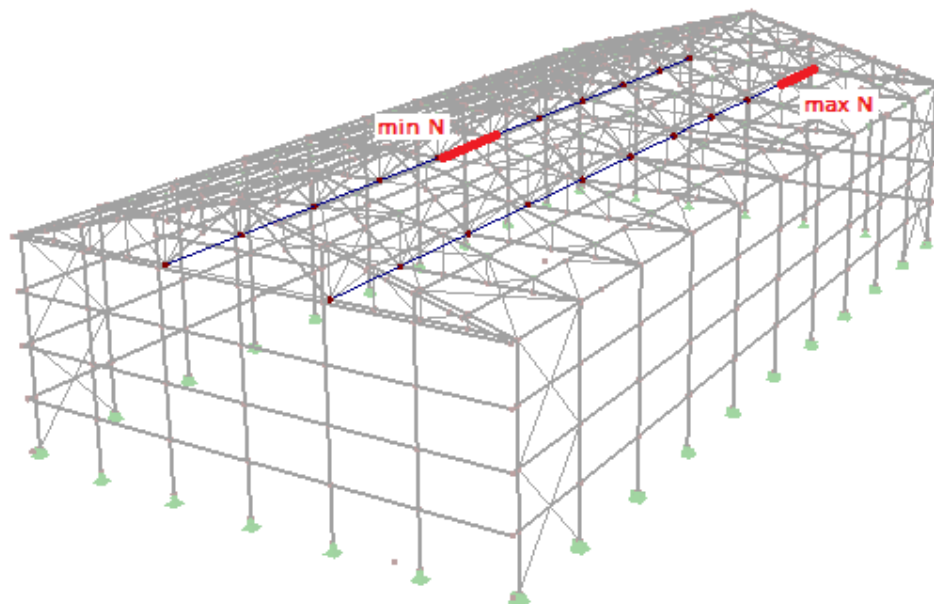
Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{77,82}{117,75} \leq 1,0$$

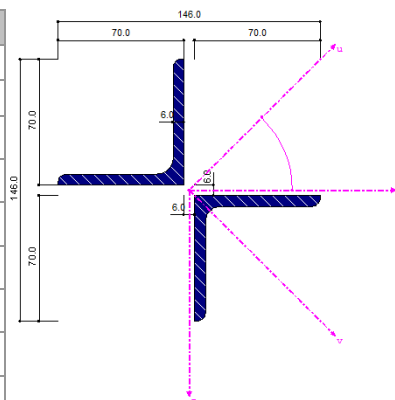
$$\underline{\underline{0,66 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.8. Podélné ztužidlo vodorovné – 2xL 70x70x8



### 7.8.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
délka ramena	$h$	70,000	mm
tloušťka příruby	$t$	6,000	mm
Plocha průřezu	$A$	1626,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_u$	793,700	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_v$	672,500	mm <sup>2</sup>
Úhel natočení hlavních os	$\alpha$	-45,000	°
Moment setrvačnosti	$I_y$	1546590,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	1546590,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti okolo hlavní osy	$I_u$	1923190,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti okolo hlavní osy	$I_v$	1170000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_u$	34,400	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_v$	26,800	mm
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	18751,700	mm <sup>4</sup>
Polární moment setrvačnosti	$I_p$	3093190,000	mm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	86620000,000	mm <sup>6</sup>
Elastický průřezový modul	$W_u$	31861,200	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_v$	23637,600	mm <sup>3</sup>
Výsečový průřezový modul	$W_w$	215472,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{u,max}$	9528,400	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{v,max}$	25836,800	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y,max}$	37402,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z,max}$	51069,400	mm <sup>3</sup>



## 7.8.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

## 7.8.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
108	MAX N	<b>79,66</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 100
107	MIN N	<b>-64,90</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 100
	MAX V <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN V <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX V <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN V <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>T</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>T</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1

## 7.8.4. MSÚ

- Třída průřezu

Poměrné přetvoření

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

Poměr h/t:

$$\frac{h}{t} = \frac{70}{8} = 8,750 \leq 15 \times \varepsilon = 15 \times 0,814 = 12,210 \quad \text{Třída 3}$$

#### 7.8.4.1. Posouzení na tah

Návrhová únosnost tahové síly

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2140 \times 355}{1,0} = 759,70 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{Ed} = 79,66 \text{ kN} \quad (\text{KZ } 100)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{79,66}{759,70} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,10 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.8.4.2. Posouzení na vzpěr členěného prutu

- Vybočení kolmo k nehmotné ose

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = 0,9 \times L_{sys} = 0,9 \times 6,000 = 5,400 \text{ m}$$

Vzdálenost mezi spojkami pásů členěného prutu

$$a = \frac{1}{3} \times L_{cr} = \frac{1}{3} \times 5,400 = 1,800 \text{ m}$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{ch,v}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2,00 \times 10^5}{5,400^2} = 14,22 \text{ kN}$$

Imperfekce prutu

$$e_0 = \frac{L_{cr}}{500} = \frac{5400}{500} = 10,80 \text{ mm}$$

Návrh spojek

tloušťka  $t_p = 8 \text{ mm}$

délka  $h = 130 \text{ mm}$

### Vzdálenost těžišť

$$h_0 = 2 \times u_1 + \sqrt{2 \times t_p^2} = 2 \times 28,4 + \sqrt{2 \times 8^2} = 68,11 \text{ mm}$$

Kde

$u_1$  vzdálenost těžišť úhelníků

### Moment $I_1$

$$I_1 = 0,5 \times h_0^2 \times A_{ch} + 2 \times I_{ch,v} = 0,5 \times 68,11^2 \times 1070 + 2 \times 2,00 \times 10^5 = 2,88 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

### Nejmenší poloměr setrvačnosti členěného prutu

$$i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2 \times A_{ch}}} = \sqrt{\frac{2,00 \times 10^6}{2 \times 1070}} = 36,70 \text{ mm}$$

### Poměrná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_0} = \frac{5400}{36,70} = 147,15$$

### Součinitel účinnosti

$$75 < \lambda = 147,15 < 150 \rightarrow \mu = 2 - \frac{\lambda}{75} = 2 - \frac{147,15}{75} = 0,04$$

### Účinný moment setrvačnosti

$$I_{eff} = 0,5 \times h_0^2 \times A_{ch} + 2 \times \mu \times I_{ch,v} = 0,5 \times 68,11^2 \times 1070 + 2 \times 0,04 \times 2,00 \times 10^5 = 2,50 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

### Moment setrvačnosti spojek

$$I_b = \frac{1}{12} \times t_p \times h^3 = \frac{1}{12} \times 8 \times 130^3 = 1,46 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

### Použití spojek

$$\frac{n \times I_b}{h_0} \geq \frac{10 \times I_{ch,v}}{a}$$

$$\frac{2 \times 1,46 \times 10^6}{68,11} \geq \frac{10 \times 2,00 \times 10^5}{1800}$$

$$43006,52 \geq 1111,11 \rightarrow \text{tuhé spojky}$$

Kde

$n$  počet rovin s rámovými spojkami

## Smyková tuhost

$$S_v = \frac{2 \times \pi^2 \times E \times I_{ch,v}}{a^2}$$

$$S_v = \frac{2 \times \pi^2 \times 210000 \times 2,00 \times 10^5}{1800^2}$$

$$S_v = 255,88 \text{ kN}$$

## Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{eff}}{a^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2,50 \times 10^6}{1800^2} = 1597,55 \text{ kN}$$

## Návrhová hodnota největšího momentu členěného prutu

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \times e_0}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{CR}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} = \frac{64,90 \times 10,8 \times 10^{-3}}{1 - \frac{64,90}{1597,55} - \frac{64,90}{255,88}} = 1,00 \text{ kNm}$$

## Návrhová síla $N_{ch,Ed}$

$$N_{ch,Ed} = 0,5 \times \left( N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \times h_0 \times A_{ch}}{I_{eff}} \right) = 0,5 \times \left( 64,90 \times 10^3 + \frac{1,00 \times 10^3 \times 68,11 \times 10^{-3} \times 1070 \times 10^{-6}}{2,50 \times 10^{-6}} \right) = 32,45 \text{ kN}$$

## Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ch} \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1070 \times 355}{1597,55 \times 10^3}} = 0,49$$

## Křivka vzpěrné pevnosti – b $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (0,49 - 0,2) + 0,49^2 \right] = 0,67$$

## Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,67 + \sqrt{0,67^2 - 0,49^2}} = 0,89 \leq 1,0$$

## Vzpěrná únosnost

$$N_{ch,b,Rd} = \frac{\chi \times A_{ch} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,89 \times 1070 \times 355}{1,0} = 338,07 \text{ kN}$$

## Posouzení

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,b,Rd}} \leq 1,0$$



$$\frac{32,45}{338,07} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,10 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Vybočení kolmo k hmotné ose

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = L_{sys} = 6,000 \text{ m}$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{ch,\mu}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 7,49 \times 10^5}{6000^2} = 86,24 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2140 \times 355}{86,24 \times 10^3}} = 2,97$$

Křivka vzpěrné pevnosti – b  $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (2,97 - 0,2) + 2,97^2 \right] = 5,37$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{5,37 + \sqrt{5,37^2 - 2,97^2}} = 0,10 \leq 1,0$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,10 \times 2140 \times 355}{1,0} = 75,97 \text{ kN}$$

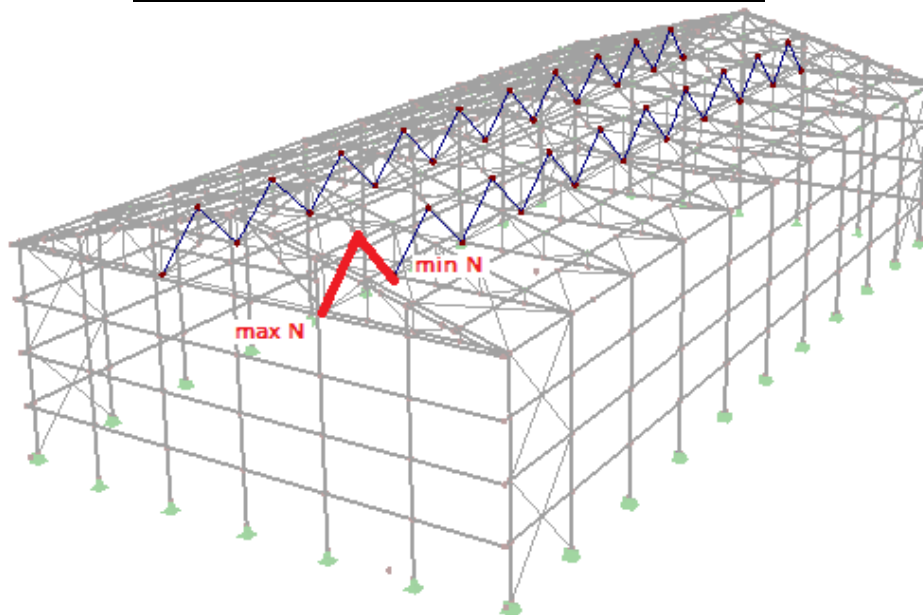
Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{64,90}{75,97} \leq 1,0$$

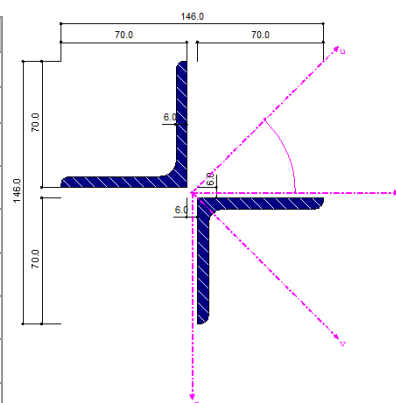
$$\underline{\underline{0,85 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.9. Podélné ztužidlo šikmé – 2xL 70x70x8



### 7.9.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
délka ramena	$h$	70,000	mm
tloušťka příruby	$t$	6,000	mm
Plocha průřezu	$A$	1626,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_u$	793,700	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_v$	672,500	mm <sup>2</sup>
Úhel natočení hlavních os	$\alpha$	-45,000	°
Moment setrvačnosti	$I_y$	1546590,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	1546590,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti okolo hlavní osy	$I_u$	1923190,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti okolo hlavní osy	$I_v$	1170000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_u$	34,400	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_v$	26,800	mm
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	18751,700	mm <sup>4</sup>
Polární moment setrvačnosti	$I_p$	3093190,000	mm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	86620000,000	mm <sup>6</sup>
Elastický průřezový modul	$W_u$	31861,200	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_v$	23637,600	mm <sup>3</sup>
Výsečový průřezový modul	$W_w$	215472,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{u,max}$	9528,400	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{v,max}$	25836,800	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y,max}$	37402,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z,max}$	51069,400	mm <sup>3</sup>



## 7.9.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

## 7.9.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
970	MAX N	<b>63,38</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 120
969	MIN N	<b>-54,42</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 120
	MAX V <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN V <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX V <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN V <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>T</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>T</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1

## 7.9.4. MSÚ

- Třída průřezu

Poměrné přetvoření

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

Poměr h/t:

$$\frac{h}{t} = \frac{60}{6} = 10,000 \leq 15 \times \varepsilon = 15 \times 0,814 = 12,210 \quad \text{Třída 3}$$

#### 7.9.4.1. Posouzení na tah

Návrhová únosnost tahové síly

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2140 \times 355}{1,0} = 759,70 \text{ kN}$$

**Posouzení**

$$N_{Ed} = 63,38 \text{ kN} \quad (\text{KZ 120})$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{63,38}{759,70} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,08 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 7.9.4.2. Posouzení na vzpěr členěného prutu

- Vybočení kolmo k nehmotné ose

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = 0,9 \times L_{sys} = 0,9 \times 3,840 = 3,456 \text{ m}$$

Vzdálenost mezi spojkami pásů členěného prutu

$$a = \frac{1}{3} \times L_{cr} = \frac{1}{3} \times 3,456 = 1,152 \text{ m}$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{ch,y}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2,00 \times 10^5}{3456^2} = 34,71 \text{ kN}$$

Imperfekce prutu

$$e_0 = \frac{L_{cr}}{500} = \frac{3456}{500} = 6,91 \text{ mm}$$

Návrh spojek

tloušťka  $t_p = 8 \text{ mm}$

délka  $h = 130 \text{ mm}$

## Vzdálenost těžišť

$$h_0 = 2 \times u_1 + \sqrt{2 \times t_p^2} = 2 \times 28,4 + \sqrt{2 \times 8^2} = 68,11 \text{ mm}$$

Kde

$u_1$  vzdálenost těžišť úhelníků

## Moment $I_1$

$$I_1 = 0,5 \times h_0^2 \times A_{ch} + 2 \times I_{ch,v} = 0,5 \times 68,11^2 \times 1070 + 2 \times 2,00 \times 10^5 = 2,88 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

## Nejmenší poloměr setrvačnosti členěného prutu

$$i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2 \times A_{ch}}} = \sqrt{\frac{2,00 \times 10^6}{2 \times 1070}} = 36,70 \text{ mm}$$

## Poměrná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_0} = \frac{3456}{36,70} = 94,17$$

## Součinitel účinnosti

$$75 < \lambda = 94,17 < 150 \rightarrow \mu = 2 - \frac{\lambda}{75} = 2 - \frac{94,17}{75} = 0,74$$

## Účinný moment setrvačnosti

$$I_{eff} = 0,5 \times h_0^2 \times A_{ch} + 2 \times \mu \times I_{ch,v} = 0,5 \times 68,11^2 \times 1070 + 2 \times 0,74 \times 2,00 \times 10^5 = 2,78 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

## Moment setrvačnosti spojek

$$I_b = \frac{1}{12} \times t_p \times h^3 = \frac{1}{12} \times 8 \times 130^3 = 1,46 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

## Použití spojek

$$\frac{n \times I_b}{h_0} \geq \frac{10 \times I_{ch,v}}{a}$$

$$\frac{2 \times 1,46 \times 10^6}{68,11} \geq \frac{10 \times 2,00 \times 10^5}{1152}$$

$$43006,52 \geq 1736,11 \rightarrow \text{tuhé spojky}$$

Kde

$n$  počet rovin s rámovými spojkami

## Smyková tuhost

$$S_v = \frac{2 \times \pi^2 \times E \times I_{ch,v}}{a^2}$$

$$S_v = \frac{2 \times \pi^2 \times 210000 \times 2,00 \times 10^5}{1152^2}$$

$$S_v = 624,70 \text{ kN}$$

## Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{eff}}{a^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2,78 \times 10^6}{1152^2} = 4341,48 \text{ kN}$$

## Návrhová hodnota největšího momentu členěného prutu

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \times e_0}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{CR}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} = \frac{54,42 \times 6,91 \times 10^{-3}}{1 - \frac{54,42}{4341,48} - \frac{54,42}{624,70}} = 0,42 \text{ kNm}$$

## Návrhová síla $N_{ch,Ed}$

$$N_{ch,Ed} = 0,5 \times \left( N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \times h_0 \times A_{ch}}{I_{eff}} \right) = 0,5 \times \left( 54,42 \times 10^3 + \frac{0,42 \times 10^3 \times 68,11 \times 10^{-3} \times 1070 \times 10^{-6}}{2,78 \times 10^{-6}} \right) = 27,21 \text{ kN}$$

## Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ch} \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1070 \times 355}{4341,48 \times 10^3}} = 0,30$$

## Křivka vzpěrné pevnosti – b $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (0,30 - 0,2) + 0,30^2 \right] = 0,56$$

## Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,30^2}} = 0,97 \leq 1,0$$

## Vzpěrná únosnost

$$N_{ch,b,Rd} = \frac{\chi \times A_{ch} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,97 \times 1070 \times 355}{1,0} = 368,45 \text{ kN}$$

## Posouzení

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{27,21}{368,45} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,07 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

- Vybočení kolmo k hmotné ose

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = L_{sys} = 3,840 \text{ m}$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{ch,\mu}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 7,49 \times 10^5}{3840^2} = 210,56 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2140 \times 355}{210,56 \times 10^3}} = 1,90$$

Křivka vzpěrné pevnosti – b  $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34 \times (1,90 - 0,2) + 1,90^2 \right] = 2,59$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,59 + \sqrt{2,59^2 - 1,90^2}} = 0,23 \leq 1,0$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,10 \times 2140 \times 355}{1,0} = 174,73 \text{ kN}$$

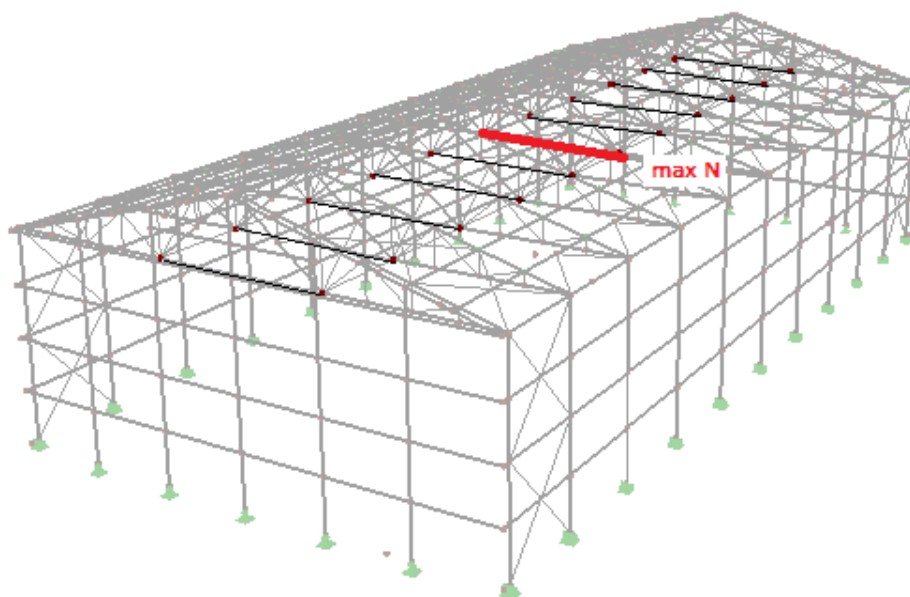
Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{54,42}{174,73} \leq 1,0$$

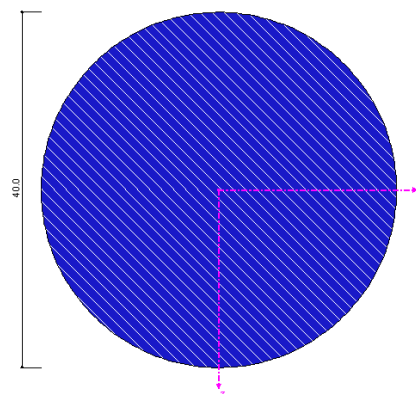
$$\underline{\underline{0,31 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.10. Táhlo – RD 40



### 7.10.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Průměr	$d$	40,000	mm
Plocha průřezu	$A$	1260,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_v$	1058,400	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	125664,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	10,000	mm
Polární poloměr setrvačnosti	$i_p$	14,100	mm
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	251327,000	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	$W_y$	6283,200	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	10666,700	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{y,max}$	5333,300	mm <sup>3</sup>



### 7.10.2. Materiálové charakteristiky

Materiál	Modul pružnosti	Smykový modul	Souč. teplot. roztaž.
Označení	$E$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$G$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\alpha$ [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05



## 7.10.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
221	MAX N	<b>369,58</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 46
221	MIN N	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 100
	MAX V <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN V <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX V <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN V <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>T</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>T</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1

## 7.10.4. MSÚ

### 7.10.4.1. Posouzení na tah

Návrhová únosnost tahové síly

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1260 \times 355}{1,0} = 447,30 \text{ kN}$$

Posouzení

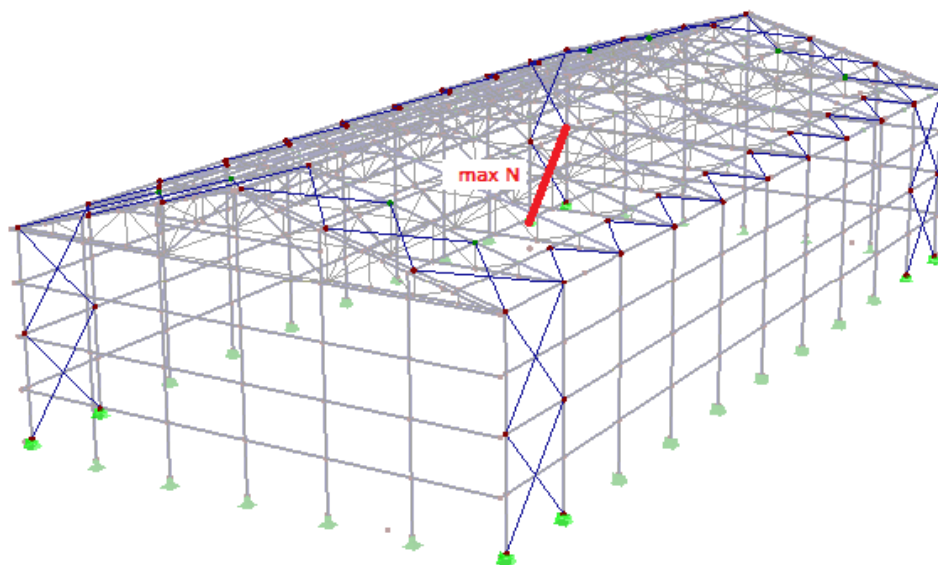
$$N_{Ed} = 369,58 \text{ kN} \quad (\text{KZ 46})$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{369,58}{447,30} \leq 1,0$$

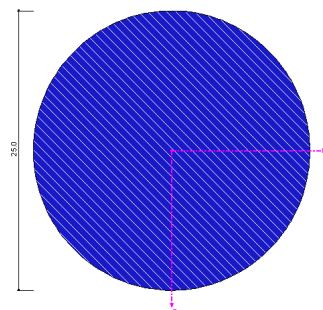
$$\underline{\underline{0,83 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 7.11. Ztužidlo – RD 25



### 7.11.1. Průřezové charakteristiky

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Průměr	d	25,000	mm
Plocha průřezu	A	491,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	A <sub>v</sub>	412,400	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	I <sub>y</sub>	19174,800	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	6,200	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i <sub>p</sub>	8,800	mm
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	38349,500	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y</sub>	1534,000	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	2604,200	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>y,max</sub>	1302,100	mm <sup>3</sup>



### 7.11.2. Materiálové charakteristiky

Materiál Označení	Modul pružnosti E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Smykový modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Souč. teplot. roztaž. α [1/°C]
Ocel S 355   ČSN EN 1993-1-1:2006	21000,00	8076,92	1,20E-05

### 7.11.3. Vnitřní síly

Prut č.		Síly [kN]			Momenty [kNm]			Příslušející zatěžovací stavy
		N	V <sub>y</sub> / V <sub>u</sub>	V <sub>z</sub> / V <sub>v</sub>	M <sub>T</sub>	M <sub>y</sub> / M <sub>u</sub>	M <sub>z</sub> / M <sub>v</sub>	
1027	MAX N	<b>138,73</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 106
1027	MIN N	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 106
	MAX V <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN V <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX V <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN V <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>T</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>T</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>u</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MAX M <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1
	MIN M <sub>v</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KZ 1

### 7.11.4. MSÚ

#### 7.11.4.1. Posouzení na tah

Návrhová únosnost tahové síly

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{491 \times 355}{1,0} = 174,31 \text{ kN}$$

Posouzení

$$N_{Ed} = 138,73 \text{ kN} \quad (\text{KZ 106})$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{138,73}{174,31} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,80 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 8. Posouzení spojů

Všechny spoje byly posouzeny ručně na základě výstupních hodnot vnitřních sil, získaných z programu RFEM.

### 8.1. Montážní spoj dolního pásu vazníku

$$N_{Ed} = 571,19 \text{ kN} \quad (\text{ZS } 46)$$

Součinitel spolehlivosti

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

- Spojované prvky – 2 x L 180x180x18

Tloušťka příruby

$$t_1 = 18,00 \text{ mm}$$

Plocha úhelníku

$$A_{ch} = 6190 \text{ mm}^2$$

- Návrh šroubů – 6 x M16 6.8

Tloušťka dřívku

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

Průměr otvoru

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

Plocha šroubu

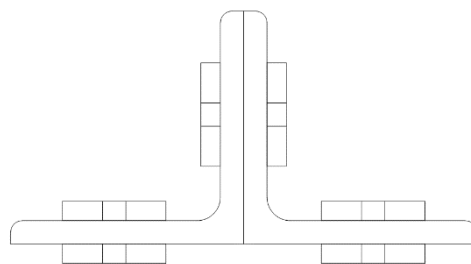
$$A = 201 \text{ mm}^2$$

Mez pevnosti

$$f_{ub} = 600 \text{ MPa}$$

Rozteče šroubů

	min [mm]	dop [mm]	zvolené [mm]
$e_1$	21,60	36,00	50,00
$p_1$	39,60	63,00	60,00
$e_2$	21,60	27,00	40,00
$p_2$	43,20	54,00	50,00



- Příložky S355

### Tloušťka příložek

$$t_2 = 15,00 \text{ mm}$$

### Šířka příložek

$$b = 2 \times e_2 = 2 \times 40,00 = 80,00 \text{ mm}$$

### Délka příložek

$$d = 2 \times e_1 + p_1 = 2 \times 50 + 60 = 160,00 \text{ mm}$$

## 8.1.1. Únosnost na stříh

Počet stříhových rovin  $n=2$

Únosnost jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd,1} = n \times \frac{0,6 \times A \times f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 2 \times \frac{0,6 \times 201 \times 600}{1,25} = 115,78 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = 6 \times F_{v,Rd,1} = 6 \times 115,78 = 694,66 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{571,19}{694,66} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,82 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 8.1.2. Únosnost na otláčení

Nejmenší tloušťka spojovaných prvků

$$t = \min(t_1; t_2) = \min(18,00; 15,00) = 15,00 \text{ mm}$$

Součinitel  $k_1$

$$k_1 = \min\left(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \left(2,8 \times \frac{40}{18} - 1,7; 2,5\right) = (4,52; 2,5) = 2,5$$

### Součinitel $\alpha$

$$\alpha = \min \begin{pmatrix} \frac{e_1}{3 \times d_0} \\ \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{50}{3 \times 18} \\ \frac{60}{3 \times 18} - \frac{1}{4} \\ \frac{600}{490} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,93 \\ 0,86 \\ 1,22 \\ 1 \end{pmatrix} = 0,86$$

### Únosnost jednoho šroubu v otažení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times d \times t \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \times 0,86 \times 16 \times 15 \times 490}{1,25} = 202,53 \text{ kN}$$

### Únosnost v otažení

$$F_{b,Rd} = 6 \times F_{b,Rd,1} = 6 \times 202,53 = 1215,20 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{571,19}{1215,20} \leq 1,0$$

$$0,47 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 8.1.3. Únosnost oslabeného průřezu

### Oslabená plocha

$$A_{net} = A_{ch} - n \times d_0 \times t_1 = 6190 - 4 \times 18 \times 18 = 4894,00 \text{ mm}^2$$

Kde

n počet otvorů v úhelníku

### Únosnost oslabeného průřezu

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 4894 \times 490}{1,25} = 1726,60 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1,0$$
$$\frac{571,19}{1726,60} \leq 1,0$$
$$\underline{\underline{0,33 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

#### 8.1.4. Posouzení příložek

##### Plocha oslabené příložky

$$A_{net} = t_2 \times b - t_2 \times d_0 = 15 \times 80 - 15 \times 18 = 930,00 \text{ mm}^2$$

##### Únosnost jedné příložky

$$N_{Rd,1} = \frac{A_{net} \times f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 \times 4894 \times 490}{1,00} = 455,70 \text{ kN}$$

##### Únosnost příložek

$$N_{Rd} = 6 \times N_{Rd,1} = 6 \times 455,70 = 2734,20 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1,0$$
$$\frac{571,19}{2734,20} \leq 1,0$$
$$\underline{\underline{0,06 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 8.2. Montážní spoj horního pásu vazníku

$$N_{Ed} = 187,37 \text{ kN} \quad (\text{ZS } 120)$$

Součinitel spolehlivosti

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

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

- Spojované prvky – L 180x180x15

Tloušťka příruby

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

Plocha úhelníku

$$A_{ch} = 5210 \text{ mm}^2$$

- Návrh šroubů – 2 x M30 8.8

Tloušťka dřívku

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

Průměr otvoru

$$d_0 = 33 \text{ mm}$$

Plocha průřezu dřívku v místě závitů

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

Mez pevnosti

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

Rozměry hlavy šroubu

$$d_0' = 40 \text{ mm}$$

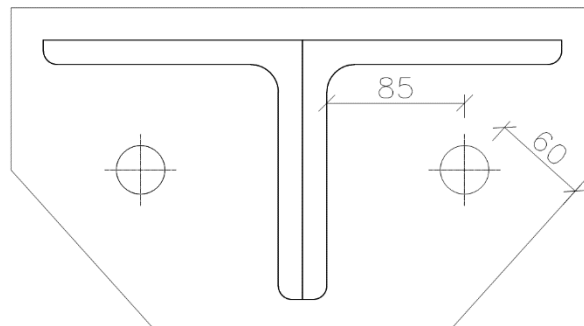
$$d_1 = 45 \text{ mm}$$

- Styčnickové plechy S355

Tloušťka plechu

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

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





### 8.2.1. Vliv páčení

#### Rozteče šroubů

$$a = 60 \text{ mm}$$

$$b = 85 \text{ mm}$$

#### Tloušťka příruby

$$t_e = 4,3 \times \sqrt[3]{\frac{b \times d^2}{a}} = 4,3 \times \sqrt[3]{\frac{85 \times 30^2}{60}} = 46,63 \text{ mm}$$

$$t = 15,00 \text{ mm} < t_e = 46,63 \text{ mm} \rightarrow \text{VYPOČÍTAT PŘITÍŽENÍ}$$

#### Součinitel přitížení

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \times \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \times \frac{46,63^3 - 15,00^3}{30^2} = 1,54$$

#### Přitížení

$$F_{t,Ed} = \gamma_p \times N_{Ed} = 1,54 \times 187,37 = 289,38 \text{ kN}$$

### 8.2.2. Únosnost na přetržení

#### Únosnost přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 800 \times 561}{1,25} = 323,14 \text{ kN}$$

#### Posouzení

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{289,38}{323,14} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,90 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 8.2.3. Únosnost na protlačení

#### Střední průměr kružnice hlavy šroubu

$$d_m = \frac{d_0' + d_1}{2} = \frac{40 + 45}{2} = 47,50 \text{ mm}$$

### Únosnost na protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \times d_m \times t_p \times f_u \times \pi}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times 47,50 \times 15 \times 490 \times \pi}{1,25} = 526,47 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{289,38}{526,47} \leq 1,0$$

$$0,55 \leq 1,0 \quad \underline{\underline{\text{VYHOVUJE}}}$$

### 8.3. Montážní spoj vazníků ve vrcholu

$$N_{Ed} = 255,51 \text{ kN} \quad (\text{ZS } 120)$$

Součinitel spolehlivosti

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

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

- Spojované prvky – L 180x180x15

Tloušťka příruby

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

Plocha úhelníku

$$A_{ch} = 5210 \text{ mm}^2$$

- Návrh šroubů – 2 x M30 10.9

Tloušťka dřívku

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

Průměr otvoru

$$d_0 = 33 \text{ mm}$$

Plocha průřezu dřívku v místě závitů

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

Mez pevnosti

$$f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$$

Rozměry hlavy šroubu

$$d_0' = 40 \text{ mm}$$

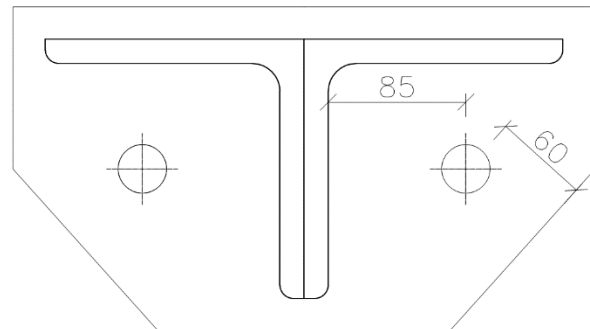
$$d_1 = 45 \text{ mm}$$

- Styčnickové plechy S355

Tloušťka plechu

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

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



### 8.3.1. Vliv páčení

#### Rozteče šroubů

$$a = 65 \text{ mm}$$

$$b = 85 \text{ mm}$$

#### Tloušťka příruby

$$t_e = 4,3 \times \sqrt[3]{\frac{b \times d^2}{a}} = 4,3 \times \sqrt[3]{\frac{85 \times 30^2}{65}} = 46,63 \text{ mm}$$

$$t = 15,00 \text{ mm} < t_e = 46,63 \text{ mm} \rightarrow \text{VYPOČÍTAT PŘITÍŽENÍ}$$

#### Součinitel přitížení

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \times \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \times \frac{46,63^3 - 15,00^3}{30^2} = 1,54$$

#### Přitížení

$$F_{t,Ed} = \gamma_p \times N_{Ed} = 1,54 \times 255,51 = 394,62 \text{ kN}$$

### 8.3.2. Únosnost na přetržení

#### Únosnost přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 1000 \times 561}{1,25} = 403,92 \text{ kN}$$

#### Posouzení

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{394,62}{403,92} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,98 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 8.3.3. Únosnost na protlačení

#### Střední průměr kružnice hlavy šroubu

$$d_m = \frac{d_0' + d_1}{2} = \frac{40 + 45}{2} = 47,50 \text{ mm}$$

### Únosnost na protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \times d_m \times t_p \times f_u \times \pi}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times 47,50 \times 15 \times 490 \times \pi}{1,25} = 526,47 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{394,62}{526,47} \leq 1,0$$

$$0,74 \leq 1,0 \quad \underline{\underline{\text{VYHOVUJE}}}$$

#### 8.4. Montážní spoj diagonály – šroubový spoj

$$N_{Ed} = 77,80 \text{ kN} \quad (\text{ZS 52})$$

$$N_{a,Ed} = 0,5 \times N_{Ed} = 0,5 \times 77,80 = 38,90 \text{ kN}$$

Součinitel spolehlivosti

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

- Spojované prvky – L 60x60x6

Tloušťka příruby

$$t_1 = 6,00 \text{ mm}$$

Plocha úhelníku

$$A_{ch} = 4610 \text{ mm}^2$$

- Návrh šroubů – 2 x M12 4.6

Tloušťka dřívku

$$d = 12 \text{ mm}$$

Průměr otvoru

$$d_0 = 13 \text{ mm}$$

Plocha šroubu

$$A = 113 \text{ mm}^2$$

Mez pevnosti

$$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$$

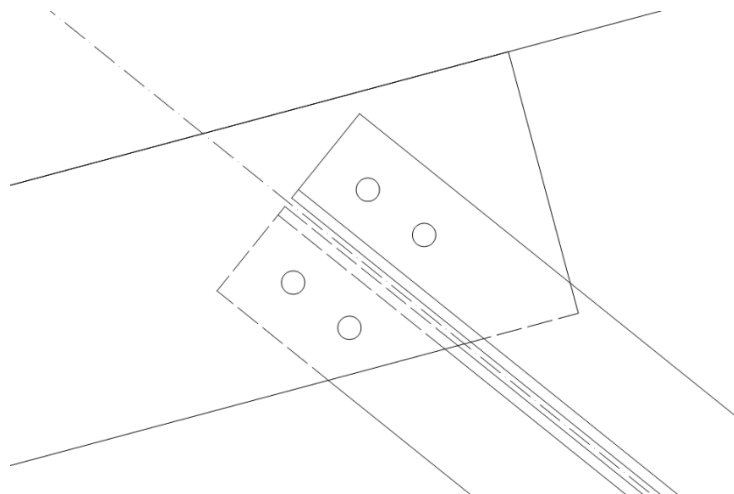
Rozteče šroubů

	min [mm]	dop [mm]	zvolené [mm]
e <sub>1</sub>	15,60	26,00	30,00
p <sub>1</sub>	28,60	45,50	40,00
e <sub>2</sub>	15,60	19,50	25,00
p <sub>2</sub>	31,20	39,00	0,00

- Styčnický plech S355

Tloušťka plechu

$$t_2 = 6 \text{ mm}$$



### 8.4.1. Únosnost na stříh

Počet stříhových ploch  $n=1$

Únosnost jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd,1} = n \times \frac{0,6 \times A \times f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 1 \times \frac{0,6 \times 113 \times 400}{1,25} = 21,70 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = 2 \times F_{v,Rd,1} = 2 \times 21,70 = 43,40 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{38,90}{43,40} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,90 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 8.4.2. Únosnost na otláčení

Nejmenší tloušťka spojovaných prvků

$$t = \min(t_1; t_2) = \min(6,00; 10,00) = 6,00 \text{ mm}$$

Součinitel  $k_1$

$$k_1 = \min\left(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \left(2,8 \times \frac{25}{13} - 1,7; 2,5\right) = (3,68; 2,5) = 2,5$$

Součinitel  $\alpha$

$$\alpha = \min\left(\begin{array}{c} \frac{e_1}{3 \times d_0} \\ \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1 \end{array}\right) = \left(\begin{array}{c} \frac{30}{3 \times 13} \\ \frac{40}{3 \times 13} - \frac{1}{4} \\ \frac{400}{490} \\ 1 \end{array}\right) = \left(\begin{array}{c} 0,77 \\ 0,78 \\ 1,82 \\ 1 \end{array}\right) = 0,77$$

### Únosnost jednoho šroubu v otačení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times d \times t \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \times 0,77 \times 12 \times 6 \times 490}{1,25} = 54,28 \text{ kN}$$

### Únosnost v otačení

$$F_{b,Rd} = 2 \times F_{b,Rd,1} = 2 \times 54,28 = 108,55 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{38,90}{108,55} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,36 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 8.4.3. Únosnost oslabeného průřezu

#### Oslabená plocha

$$A_{net} = A_{ch} - n \times d_o \times t_1 = 4610 - 2 \times 13 \times 6 = 4454,00 \text{ mm}^2$$

Kde

n počet otvorů v úhelníku

#### Únosnost oslabeného průřezu

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \times 4454 \times 490}{1,25} = 1571,37 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{38,9}{1571,37} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,02 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$



## 8.5. Montážní spoj diagonály – tupý svar

$$N_{Ed} = 76,62 \text{ kN} \quad (\text{ZS } 52)$$

$$N_{a,Ed} = 0,5 \times N_{Ed} = 0,5 \times 76,62 = 38,31 \text{ kN}$$

Součinitel spolehlivosti

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

- Spojované prvky – L 60x60x6

Tloušťka příruby

$$t_1 = 6 \text{ mm}$$

Excentricita

$$e = 16,9 \text{ mm}$$

Délka příruby

$$b = 60 \text{ mm}$$

- Styčnickový plech S355

Tloušťka plechu

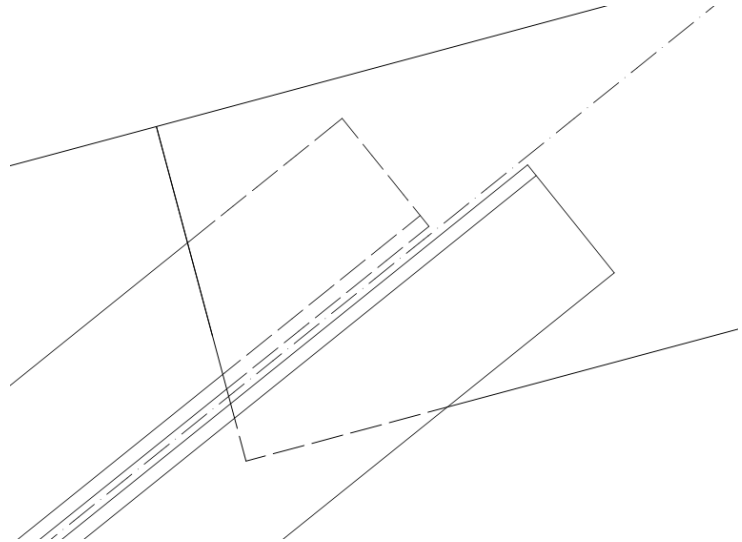
$$t_2 = 6 \text{ mm}$$

Mez pevnosti

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

Korelační součinitel

$$\beta_w = 0,9$$



### 8.5.1. Svar b

Tloušťka svaru

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

Délka svaru

$$L_b = \frac{0,68 \times N_{a,Ed}}{a_b} \times \frac{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{M2}}{f_u} + 0,54 \times b = \frac{0,68 \times 38,31 \times 10^3}{3} \times \frac{\sqrt{3} \times 0,9 \times 1,25}{490} + 0,54 \times 60 =$$

$$= 66,93 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad L_b = 70 \text{ mm}$$

### Ekvivalentní síla $F_b$

$$F_b = N_{a,Ed} \times \frac{b-e}{b} = 38,31 \times \frac{60-16,9}{60} = 27,52 \text{ kN}$$

### Smykové napětí v rovině nebezpečného průřezu, rovnoběžné s osou tvaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_b}{a_b \times L_b} = \frac{27,52 \times 10^3}{3 \times 70} = 131,04 \text{ MPa}$$

### Moment v odstávající přírubě

$$M = \frac{N_{a,Ed}}{2} \times \frac{b}{2} = \frac{38,31}{2} \times \frac{60 \times 10^{-3}}{2} = 0,57 \text{ kNm}$$

### Normálové napětí kolmé k rovině nebezpečného průřezu

$$\sigma_{\perp} = \frac{6 \times N_{a,Ed} \times b}{4 \times \sqrt{2} \times a_b \times L_b} = \frac{6 \times 38,31 \times 10^3 \times 60}{4 \times \sqrt{2} \times 3 \times 70} = 165,85 \text{ MPa}$$

### Smykové napětí v rovině nebezpečného průřezu, kolmé na osu tvaru

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 165,85 \text{ MPa}$$

### Posouzení

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

$$\sqrt{165,85^2 + 3 \times (165,85^2 + 131,04^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$401,93 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 8.5.2. Svar b

### Tloušťka svaru

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

### Délka svaru

$$L_a = 0,4 \times \frac{a_b}{a_a} \times L_b = 0,4 \times \frac{3}{3} \times 70 = 26,77 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad L_a = 30 \text{ mm}$$

### Ekvivalentní síla $F_a$

$$F_a = N_{a,Ed} \times \frac{e}{b} = 38,31 \times \frac{16,9}{60} = 10,79 \text{ kN}$$

Smykové napětí v rovině nebezpečného průřezu, rovnoběžné s osou tvaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_a}{a_a \times L_a} = \frac{10,79 \times 10^3}{3 \times 30} = 119,90 \text{ MPa}$$

Smykové napětí v rovině nebezpečného průřezu, kolmé na osu tvaru

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

Posouzení

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}}$$
$$\sqrt{0 + 3 \times (0 + 131,04^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

---

---

$$207,67 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 8.6. Montážní spoj svislice – tupý svar

$$N_{Ed} = 31,85 \text{ kN} \quad (\text{ZS 46})$$

$$N_{a,Ed} = 0,5 \times N_{Ed} = 0,5 \times 31,85 = 15,93 \text{ kN}$$

Součinitel spolehlivosti

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

- Spojované prvky – L 50x50x6

Tloušťka příruby

$$t_1 = 6 \text{ mm}$$

Excentricita

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

Délka příruby

$$b = 50 \text{ mm}$$

- Styčnickový plech S355

Tloušťka plechu

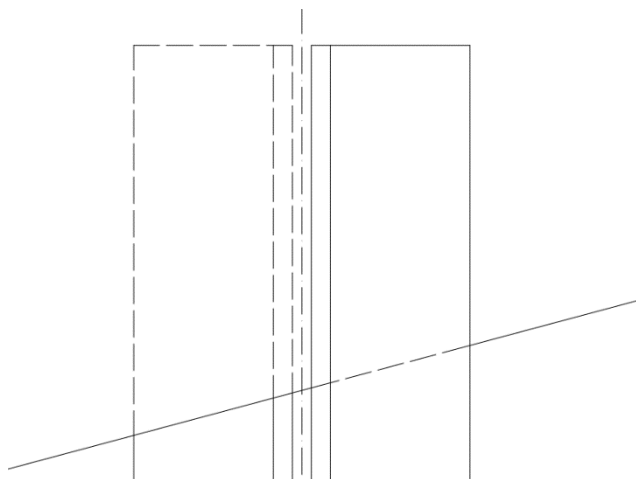
$$t_2 = 6 \text{ mm}$$

Mez pevnosti

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

Korelační součinitel

$$\beta_w = 0,9$$



### 8.6.1. Svar b

Tloušťka svaru

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

Délka svaru

$$L_b = \frac{0,68 \times N_{a,Ed}}{a_b} \times \frac{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{M2}}{f_u} + 0,54 \times b = \frac{0,68 \times 15,93 \times 10^3}{3} \times \frac{\sqrt{3} \times 0,9 \times 1,25}{490} + 0,54 \times 50 =$$

$$= 41,35 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad L_b = 50 \text{ mm}$$

### Ekvivalentní síla $F_b$

$$F_b = N_{a,Ed} \times \frac{b-e}{b} = 15,93 \times \frac{50-14,5}{50} = 11,31 \text{ kN}$$

### Smykové napětí v rovině nebezpečného průřezu, rovnoběžné s osou tvaru

$$\tau_{||} = \frac{F_b}{a_b \times L_b} = \frac{11,31 \times 10^3}{3 \times 50} = 75,38 \text{ MPa}$$

### Moment v odstávající přírubě

$$M = \frac{N_{a,Ed}}{2} \times \frac{b}{2} = \frac{15,93}{2} \times \frac{50 \times 10^{-3}}{2} = 0,20 \text{ kNm}$$

### Normálové napětí kolmé k rovině nebezpečného průřezu

$$\sigma_{\perp} = \frac{6 \times N_{a,Ed} \times b}{4 \times \sqrt{2} \times a_b \times L_b} = \frac{6 \times 15,93 \times 10^3 \times 50}{4 \times \sqrt{2} \times 3 \times 50} = 112,61 \text{ MPa}$$

### Smykové napětí v rovině nebezpečného průřezu, kolmé na osu tvaru

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 112,61 \text{ MPa}$$

### Posouzení

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{112,61^2 + 3 \times (112,61^2 + 75,38^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$260,32 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 8.6.2. Svar b

### Tloušťka svaru

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

### Délka svaru

$$L_a = 0,4 \times \frac{a_b}{a_a} \times L_b = 0,4 \times \frac{3}{3} \times 50 = 16,54 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad L_a = 30 \text{ mm}$$

### Ekvivalentní síla $F_a$

$$F_a = N_{a,Ed} \times \frac{e}{b} = 15,93 \times \frac{14,5}{50} = 4,62 \text{ kN s}$$

Smykové napětí v rovině nebezpečného průřezu, rovnoběžné s osou tvaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_a}{a_a \times L_a} = \frac{4,62 \times 10^3}{3 \times 30} = 51,31 \text{ MPa}$$

Smykové napětí v rovině nebezpečného průřezu, kolmé na osu tvaru

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

Posouzení

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

$$\sqrt{0 + 3 \times (0 + 51,31^2)} \leq \frac{490}{0,9 \times 1,25}$$

$$88,88 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 8.7. Montážní spoj táhla

$$N_{Ed} = 369,58 \text{ kN} \quad (\text{ZS 46})$$

Součinitel spolehlivosti

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

- Táhlo Macalloy M42

Délka koncovky

$$L = 232 \text{ mm}$$

Průměr táhla

$$d = 39 \text{ mm}$$

Tloušťka koncovky

$$t_1 = 18 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost dle výrobce

$$N_{u,Rd} = 512,00 \text{ kN}$$

- Návrh šroubů – 1 x M30 10.9

Tloušťka dřívku

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

Průměr otvoru

$$d_0 = 33 \text{ mm}$$

Plocha šroubu

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

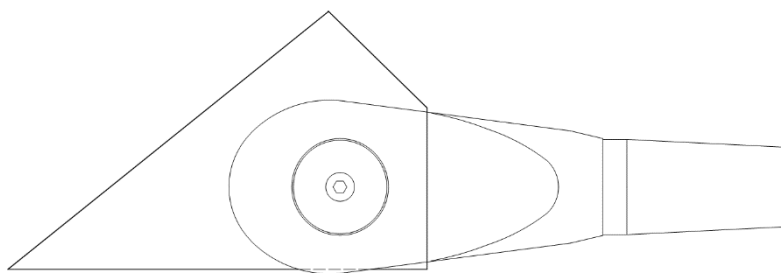
Mez pevnosti

$$f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$$

Rozteče šroubů

	min [mm]	dop [mm]	zvolené [mm]
e <sub>1</sub>	31,20	52,00	55,00
e <sub>2</sub>	31,20	39,00	50,00

Rozteče šroubů vychází z rozměrů koncovky táhla



- Styčnickový plech S355

Tloušťka plechu

$$t_2 = 20 \text{ mm}$$

### 8.7.1. Únosnost na stříh

Počet stříhových ploch  $n=2$

Únosnost šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd,1} = n \times \frac{0,6 \times A \times f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 2 \times \frac{0,6 \times 707 \times 1000}{1,25} = 678,72 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{369,58}{678,72} \leq 1,0$$

$$0,54 \leq 1,0 \quad \underline{\underline{\text{VYHOVUJE}}}$$

### 8.7.2. Únosnost na otláčení

Nejmenší tloušťka spojovaných prvků

$$t = \min(t_1; t_2) = \min(18; 20) = 18 \text{ mm}$$

Součinitel  $k_1$

$$k_1 = \min\left(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \left(2,8 \times \frac{55}{33} - 1,7; 2,5\right) = (2,96; 2,5) = 2,5$$

Součinitel  $\alpha$

$$\alpha = \min \begin{pmatrix} \frac{e_1}{3 \times d_0} \\ \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{70}{3 \times 33} \\ 0 - \frac{1}{4} \\ \frac{1000}{490} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,71 \\ 0 \\ 2,04 \\ 1 \end{pmatrix} = 0,71$$



### Únosnost šroubu v otláčení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times d \times t \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \times 0,71 \times 30 \times 18 \times 490}{1,25} = 374,18 \text{ kN}$$

### Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{369,58}{374,18} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,98 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

## 8.8. Montážní čepový spoj – osazení vazníku na sloup

$$F_{V,Ed} = 611,38 \text{ kN} \quad (\text{ZS 46})$$

Součinitel spolehlivosti

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

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

- Návrh čepu – S355

Průměr čepu

$$d = 50 \text{ mm}$$

Průměr otvoru pro čep

$$d_0 = 52 \text{ mm}$$

Plocha čepu

$$A = 1963,5 \text{ mm}^2$$

Elastický průřezový modul

$$W_{el} = \frac{\pi \times d^3}{32} = \frac{\pi \times 50^3}{32} = 1,23 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

Mez kluzu a mez pevnosti

$$f_{yp} = 355 \text{ MPa}$$

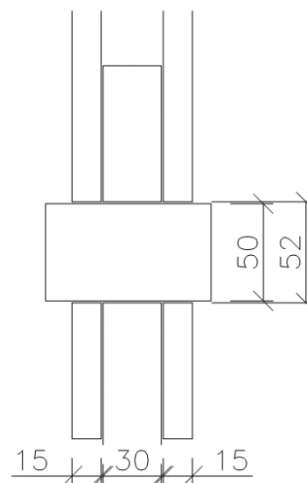
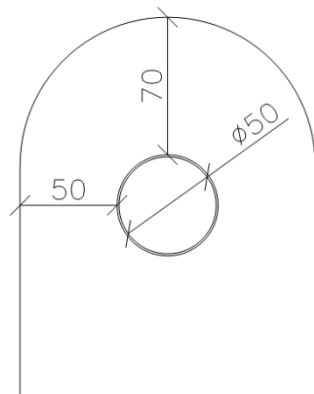
$$f_{up} = 490 \text{ MPa}$$

Rozměry čepu

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

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

$$c' = 1 \text{ mm}$$



### 8.8.1. Návrh geometrie

$$a \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_{M0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{2 \times d_0}{3} = \frac{611,38 \times 10^3 \times 1,00}{2 \times 30 \times 355} + \frac{2 \times 50}{3} = 63,37 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad a = 70,00 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_{M0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{611,38 \times 10^3 \times 1,00}{2 \times 30 \times 355} + \frac{50}{3} = 46,04 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad c = 50,00 \text{ mm}$$

### 8.8.2. Únosnost na stříh

Počet stříhových rovin  $n=2$

$$F_{V,Rd} = n \times \frac{0,6 \times A \times f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 \times \frac{0,6 \times 1963,5 \times 490 \times 10^3}{1,25} = 1847,26 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{611,38}{1847,26} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,33 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 8.8.3. Únosnost na otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \times t \times d \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \times 30 \times 50 \times 490}{1,25} = 798,75 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{611,38}{798,75} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,77 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 8.8.4. Únosnost v ohybu

Návrhový moment

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \times W_{el} \times f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \times 1,23 \times 10^{-5} \times 355 \times 10^6}{1,00} = 6,53 \text{ kNm}$$

Působící moment

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \times (t + 4 \times c' + 2 \times t_1) = \frac{611,38}{8} \times (0,03 + 4 \times 0,001 + 2 \times 0,015) = 4,89 \text{ kNm}$$

### Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{4,89}{6,53} \leq 1,0$$

$$\underline{\underline{0,75 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVUJE}}}$$

### 8.8.5. Kombinace stříhu a ohybu

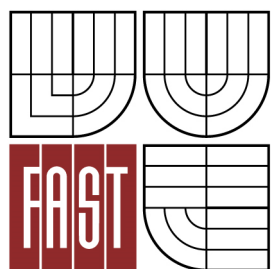
$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[ \frac{4,89}{6,53} \right]^2 + \left[ \frac{611,38}{1847,26} \right]^2 \leq 1,0$$

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



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## ČÁST D – TECHNICKÁ ZPRÁVA

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN MALEŇÁK**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.**

BRNO 2015

## OBSAH

1. Popis řešené konstrukce.....	1
2. Normativní dokumenty.....	1
3. Varianty řešení.....	2
3.1. Varianta A.....	2
3.2. Varianta B.....	2
3.3. Vyhodnocení.....	2
4. Dispozice.....	2
5. Popis konstrukce.....	3
5.1. Vazník.....	3
5.2. Vaznicový systém.....	3
5.3. Střešní plášť.....	4
5.4. Sloupy.....	4
5.5. Ztužidla.....	4
5.5.1. Příčné ztužidlo.....	4
5.5.2. Okapové ztužidlo.....	5
5.5.3. Podélné ztužidlo.....	5
5.6. Paždíky.....	5
5.7. Kotvení a základy.....	5
6. Materiál.....	6
7. Zatížení.....	6
8. Povrchová úprava konstrukce.....	6
8.1. Ochrana konstrukce.....	6
8.2. Úprava povrchu v místě svaru.....	7
8.3. Úprava povrchu na styku s betonem.....	7

8.4.	Protipožární ochrana.....	7
9.	Údržba konstrukce .....	7
10.	Montážní postup .....	8
11.	Výkaz materiálu .....	9

## 1. Popis řešené konstrukce

Práce se zabývá návrhem ocelové konstrukce víceúčelové sportovní haly o půdorysných rozměrech 30 × 60 m a světlé výšce 12 m. Hlavní nosná část je tvořena příhradovým vazníkem s rozpětím 30 m. Jedná se o vaznicovou soustavu s montovaným pláštěm. Konstrukce byla vybrána na základě porovnání dvou předběžně řešených variant. Prostorová tuhost konstrukce je v podélném směru zabezpečena příčným ztužidlem, v příčném směru samotným vazníkem. Z hlediska klimatického zatížení konstrukce spadá do lokality města Brna. Pro zvolenou variantu byl vypracován statický výpočet včetně výkresové dokumentace.

## 2. Normativní dokumenty

- [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 styčnicků



### 3. Varianty řešení

#### 3.1. Varianta A

Varianta A se skládá z příhradového vazníku a táhla. Vazníky jsou osazené na sloupech, vetknutých v příčném směru. Příčné vazby s osovou vzdáleností 6m, jsou spojené plnostěnnými vaznicemi. Příčné ztužení je zajištěno dvojicí ztužidel v krajních polích. Dále je konstrukce opatřena podélnými a okapovými ztužidly.

#### 3.2. Varianta B

Varianta B je tvořena z nesymetrických Prattových vazníků, uložených na sloupech, vetknutých v příčném směru. Vazník obsahuje celkem 24 výplňových prutů. Příčné vazby s osovou vzdáleností 5 m, jsou spojené plnostěnnými vaznicemi. Příčné ztužení je zajištěno dvojicí ztužidel v krajních polích. Konstrukce je zajištěna podélnými ztužidly.

#### 3.3. Vyhodnocení

Při celkovém srovnání obou variant z hlediska hmotnosti a tedy i předpokládané ceny vyšla lépe varianta A, která je o 40 % lehčí než varianta B. Při porovnání počtu styčnicků na jednu vazbu v příčném směru, celkového počtu prutů v konstrukci a celkové plochy, vyšla jednoznačně jako lepší možnost Varianta A.

### 4. Dispozice

Půdorysné rozměry a světlá výška haly jsou navrženy podle potřebných rozměrů hrací plochy jednotlivých sportů. Z hlediska velikosti je hala vhodná pro malou kopanou, tenis, basketbal či badminton.

- Půdorysné rozměry: 60,378m x 30,572m
- Světlá výška: 11,98m
- Výška hřebene: 16,08m

## 5. Popis konstrukce

### 5.1. Vazník

Všechny vazníky jsou navrženy se stejnými rozměry a dimenzí. Celkem 11 vazníků, osazených na sloupech v podélném směru (osa 2-12 viz výkres půdorysu) se skládá z horního pásu, který tvoří dvojice úhelníků L160x160x15, z dolního pásu vodorovného tvořeného dvojicí úhelníků L180x180x18 a dolního pásu šikmého L180x180x14. Svislice jsou ze dvou úhelníků L50x50x6 spojených ve třetinách spojkami o rozměru 90x50 mm a tloušťce 6mm. Diagonály tvořené dvojicí úhelníků L60x60x6 spojených ve třetinách spojkami o rozměru 110x50 mm a tloušťce 6mm. Dolní pásy jsou spojeny táhlem MACALLOY M42. Pro připojení diagonál a svislic jsou navrženy styčnickové plechy tloušťky 6mm a půdorysných rozměrech dle konstrukčního výkresu vazníku obou dílců. Spojení obou částí vazníku ve vrcholu je uvažováno kloubově a je provedeno pomocí čelní desky tloušťky 15 mm. Pro usnadnění přepravy, jsou obě části vazníku rozděleny na dva dílce montážním spojem.

### 5.2. Vaznicový systém

Vaznice přenáší zatížení ze střešního pláště do vazníku. Jsou uloženy kloubově na obou stranách a ze statického hlediska působí jako prostý nosník. Vaznice je navržena z válcovaného profilu HEA 140, délka vaznice je 6,00 m. Vaznice v krajních polích, tedy mezi 1. a 2. respektive 12. a 13. příčnou vazbou budou součástí příčného střešního ztužidla. Půdorysná osová vzdálenost jednotlivých vaznic je 2,50 m. Kloubové připojení vaznic na horní pás vazníku je navrženo šroubovým spojem pomocí dvojice šroubů M12. V krajních polích se vaznice osadí na úpalek profilu HEB260 délky 150mm, vysoký 100mm, který bude přivařený k hornímu pásu po celém obvodu. V obou krajních polích se na úpalek z profilu HEB160 zároveň připojí ztužidla MACALLOY M24. Ve všech ostatních polích je vaznice připojena k hornímu pásu pomocí úhelníku L150x150x10 a dvojice šroubů.

### 5.3. Střešní plášť

Jako střešní plášť jsou navrženy střešní panely KINGSPAN KS 1000 RW tloušťky 100mm. Panely jsou osazeny na vaznice. Tyto panely se zároveň použijí i jako opláštění stěn. Podrobné informace o střešních panelech a možné způsoby provedení jsou doloženy v příloze č. 1.

### 5.4. Sloupy

Celkem jsou navrženy dva druhy sloupů. Sloupy, na kterých jsou osazené vazníky (osa 2 – 12 viz výkres č. 1 - půdorys) jsou v podélném směru uvažovány jako kloubově uložené a v příčném směru jako vetknuté. Sloupy jsou navrženy z profilu HEM550. Výška sloupů je 11,865 m. Na sloupy jsou ve vrcholu navařené styčnickové plechy s výztuhami, které slouží k osazení vazníku pomocí čepového spoje. Na sloupy jsou připojeny tři řady paždíků, vždy po 3m. Rozdělují tedy sloup na čtvrtiny. Sloupy v čelní stěně HEM340 (osa A – G viz výkres č. 1 – půdorys) jsou uloženy kloubově. Ve vrcholu jsou připojeny na dvojici úhelníků L110x110x8 a L110x110x12. Tyto úhelníky jsou pomocí spojeny s horním pásem krajního vazníku. Úhelníky pouze uzavírají konstrukci z prostorového hlediska a slouží k jednoduššímu osazení střešních panelů. Výšky sloupů jsou od kraje 13,19 m, 14,56 m a 15,90 m pro sloup uprostřed.

### 5.5. Ztužidla

#### 5.5.1. Příčné ztužidlo

Příčné ztužidlo je umístěné v krajních polích, tedy mezi vazbami 2 – 3 a 11 – 12. Ztužidlo je navrženo jako táhlo MACALLOY M24. Je připojeno kloubově pomocí šroubového spoje na úpalek profilu HEB260. Zajišťuje prostorovou tuhost v podélném směru. Ztužidlo je namáhané pouze tahovou silou, působí jako táhlo a bude opatřeno napínáky.

### 5.5.2. Okapové ztužidlo

Okapové ztužidlo je navrženo v celé délce na obou stranách konstrukce. Je navrženo jako táhlo MACALLOY M24 a je připojeno kloubově k odřezu HEB260 na jedné straně a pomocí nerovnoramenného úhelníku na druhé straně, uprostřed vaznice. Ztužidlo bude opatřeno napínáky.

### 5.5.3. Podélné ztužidlo

Pro podélné ztužidlo jsou použity dvojice úhelníků L70x70x8, které jsou ve třetinách spojené spojkami o rozměrech 130x50mm a tloušťce 8mm. Jsou připojeny kloubově na styčnickové plechy.

### 5.6. Paždíky

Paždíky v podélné stěně jsou navrženy jako profil HEB160 a v příčné stěně jako HEB220. Slouží k přenosu zatížení ze střešního pláště na sloupy. Jsou otočené o 90° kvůli příznivějšímu působení proti zatížení větru. Ke sloupům jsou připojeny šroubovým spojem.

### 5.7. Kotvení a základy

Sloupy jsou ukotvené do tuhých ŽB patek z betonu pevnostní třídy C20/25. Patky pod sloupy HEM550 mají půdorysné rozměry 2,6x3,0m a hloubku 1,2m. Pod sloupy je navržena kotevní deska tloušťky 30 mm a půdorysných rozměrech 800x1200 mm. Podlité je tloušťky 50 mm. Jako kotvicí prvek je použita kotva fisher superbond se závitovou tyčí M30 a pevnostní třídou 8.8. Patky pod sloupy HEM340 v čelní stěně jsou ukotveny na ŽB patky o rozměrech 1,0x1,0m a hloubce 1,0 m. Pod sloupy je navržena kotevní deska tloušťky 10 mm a půdorysných rozměrech 500x700 mm. Podlité je tloušťky 30 mm. Jako kotvicí prvek je použita kotva fisher superbond se závitovou tyčí M24 a pevnostní třídou 5.8

## 6. Materiál

Jako základní materiál pro výrobu ocelové konstrukce bude použita ocel třídy S355 J2 ( $f_u=490\text{Mpa}$ ). Na montážní spoje jsou použity šrouby pevnostních tříd 4.6, 6.8, 8.8 a 10.9. Nosné svary jsou provedeny jako dílenské a jsou minimální výšky 3mm, pokud není uvedeno jinak. Svary prováděné na stavbě se budou řídit dle příslušných technologických postupů. Čepový spoj je proveden z plechu tloušťek 15 a 30mm, z oceli S355.

## 7. Zatížení

Výpočet zatížení je proveden v souladu s platnou normou:

- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4

## 8. Povrchová úprava konstrukce

### 8.1. Ochrana konstrukce

Protikorozní ochrana a nátěry musejí být provedeny v souladu s platnými normami. Systém povrchové protikorozní ochrany včetně odstínu nátěru bude stanovený investorem. Je nutné dodržovat tloušťku nátěru podle pokynů udávaných výrobcem. Po dokončení výstavby je nutné případné poškození ochrany obnovit.

Třída provedení je dle ČSN EN 1090 – 2 EXC3

## 8.2. Úprava povrchu v místě svaru

Povrch konstrukce v blízkosti svaru musí být opatřen ochranou, která nebude ovlivňovat provedení a kvalitu svaru. Takto ošetřený povrch musí být do vzdálenosti min 150 mm od svaru.

## 8.3. Úprava povrchu na styku s betonem

Povrchy na styku s betonem – podkladní plechové desky a kotvící prvky se nesmí opatřit povrchovou ochranou.

## 8.4. Protipožární ochrana

Protipožární ochrana bude zajištěna aplikací protipožárních nátěrů nebo obkladů. Podrobné informace protipožární ochrany budou uvedeny v samostatné projektové dokumentaci.

## 9. Údržba konstrukce

Konstrukce musí být po dobu své životnosti pravidelně udržována a kontrolována, Tato kontrola musí být provedena min jednou za 4 roky. Kontrolu provede odborně způsobilá osoba.

## 10. Montážní postup

Následující montážní postup je orientační.

1. Provedení výkopových prací a základových patek po obvodu konstrukce.
2. Ukotvení sloupů v ose 2 a 3. Osazení kotev do vyvrtaných otvorů.
3. Propojení sloupů pomocí stěnových ztužidel a paždíků.
4. Smontování jednotlivých částí vazníku do jednoho celku
5. Osazení krajních vazníků v ose č. 2 a 3 (viz výkres č. 1 – půdorys) na sloupy pomocí čepového spoje.
6. Propojení 2 krajních vazníků pomocí vaznic a ztužidel a následné osazení zbývajících vazníků.
7. Ukotvení sloupů v čelní stěně do vybetonovaných patek a jejich spojení ve vrcholu s horním pásem krajního vazníku pomocí dvojice úhelníků tvořících ukončení plochy střechy na kraji konstrukce.
8. Montáž paždíků na čelní stěně.
9. Osazení střešních a stěnových panelů.

Montáž popsaná v bodech 2 – 6 lze provádět zároveň z obou konců konstrukce směrem do jejího středu.

## 11. Výkaz materiálu

Položka č.	Název prvku	Označení průřezu	Celk. délka [m]	Měr. hmotn. [kg/m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Celk. hmotn. [t]
1	Sloupy 1	HEM 550	258,00	278,20	588,24	71,78
2	Sloupy 2	HEM 340	144,12	247,90	273,83	35,73
3	Dolní pás 1	2LA L 180x180x18	220,00	97,18	231,00	21,38
4	Dolní pás 2	2LA L 180x180x14	141,14	76,62	148,20	10,81
5	Horní pás 1	2LA L 160x160x15	247,67	72,38	315,88	24,58
6	Horní pás 2	2LA L 110x110x12	31,06	39,41	19,82	1,22
7	Horní pás 3	2LA L 110x110x8	30,66	26,85	19,62	0,82
8	Paždíky 1	HEB 160	360,00	42,59	331,20	15,31
9	Paždíky 2	HEB 220	260,00	71,47	330,20	18,58
10	Diagonály	2LC L 60x60x6	255,03	10,85	118,91	2,77
11	Svislice	2LC L 50x50x6	176,88	8,93	50,94	1,58
12	Táhla	RD 40	110,00	9,89	13,82	1,09
13	Ztužidla	RD 25	422,01	3,85	33,14	1,63
14	Vaznice	HEA 140	840,00	24,66	663,60	20,72
15	Pod. ztužidlo	2LC L 70x70x8	277,45	16,74	150,70	4,64
celkem $\Sigma$					3289,10	232,64

Po přičtení hmotnosti spojovacích prvků, která činí přibližně 5 % = 11,63 t, je celková hmotnost konstrukce 244,27 t.