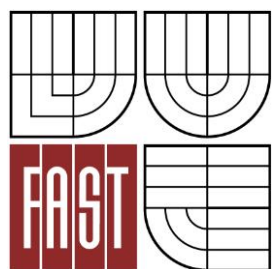




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## A - PRŮVODNÍ DOKUMENT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

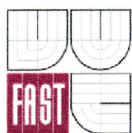
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ONDŘEJ KOMÁREK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

prof. Ing. JINDŘICH MELCHER, DrSc.

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

|                                         |                                                                                                                   |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Student</b>                          | Ondřej Komárek                                                                                                    |
| <b>Název</b>                            | Optimalizační studie hmotnosti příhradového vazníku - varianta konstrukčního řešení s ocelovými profily typu RHS. |
| <b>Vedoucí bakalářské práce</b>         | prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.                                                                                |
| <b>Datum zadání bakalářské práce</b>    | 30. 11. 2015                                                                                                      |
| <b>Datum odevzdání bakalářské práce</b> | 27. 5. 2016                                                                                                       |

V Brně dne 30. 11. 2015

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
Vedoucí ústavu



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

## Podklady a literatura

V rámci zpracování zadaného úkolu budou použity platné normy pro navrhování ocelových konstrukcí a mostů, zejména:

- [1] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [2] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [3] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [4] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků

a vybraná související odborná literatura:

Wardenier, J.: Hollow Sections in Structural Applications, Delft University of Technology, The Netherlands, CIDECT (Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire, 2001.

J. Wardenier, J., Kurobane Y., Packer, J. A. , van der Vegte, G. J. and Zhao, X.-L.: Design Guide for Circular Hollow Section (CHS) Joints Under Predominantly Static Loading, CIDECT, Second Edition, 2008.

Packer, J. A., Wardenier, J., Zhao, X.-L., van der Vegte, G. J. and Kurobane Y.: Design Guide for Rectangular Hollow Section (RHS) Joints Under Predominantly Static Loading, CIDECT, Second Edition, 2009.

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

Zadání optimalizační studie vychází z porovnání hmotnosti ocelových příhradových vazníků navržených s použitím profilů typu RHS na rozpětí 24 000 mm, se sklonem střešní plochy 5% při vzdálenosti vazníků 6 000 mm. Proměnným parametrem optimalizace je výška vazníku uprostřed rozpětí. Výstupem studie je optimální výška vazníku odpovídající jeho minimální hmotnosti. Technická dokumentace dle specifikace vedoucího.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

  
.....  
prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.  
Vedoucí bakalářské práce

### **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je nalezení optimální výšky příhradového vazníku odpovídající jeho minimální hmotnosti. Proměnným parametrem optimalizace je výška příhradového vazníku. Vazník je konstruován z profilů typu RHS na rozpětí 24 000 mm, se sklonem střešní plochy 5 % a vzdáleností vazníků 6000 mm. Konstrukční materiál je ocel S355. Bylo zpracováno 6 přibližných variant a z toho jedna podrobně. Výstupem bakalářské práce je křivka, která udává optimální výšku vazníku.

### **Klíčová slova**

Optimalizační studie, optimalizace, optimální výška, příhradový vazník, profily typu RHS, vaznice, montážní spoj.

### **Abstract**

The main target is finding the optimal height of a truss girder corresponding with its minimal weight. The height of the truss girder is a variable parameter of the optimization. The truss girder is constructed of RHS profiles. The span is 24, 000 mm, the roof plane tilt is 5 percent and the truss girder distance is 6, 000 mm. The structural material is the S355 steel. 6 variants have been processed one of which in detail. The output of the bachelor thesis is a curve of the optimal height of the truss girder.

### **Keywords**

Optimization study, optimization, optimal height, truss girder, RHS profiles, purlin, field joint.

...

## **Bibliografická citace VŠKP**

Ondřej Komárek *Optimalizační studie hmotnosti příhradového vazníku - varianta konstrukčního řešení s ocelovými profily typu RHS.* Brno, 2016. 68 s., 50 s. příl.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 24.5.2016

.....  
podpis autora  
Ondřej Komárek

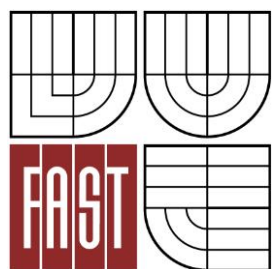
**Poděkování:**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Jindřichu Melcherovi, DrSc. za odborné vedení a poskytnuté rady, které mi pomohly při tvorbě bakalářské práce a za čas, který mi věnoval.

Ondřej Komárek



**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

## **B - TECHNICKÁ ZPRÁVA, STATICKÝ VPOČET**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ONDŘEJ KOMÁREK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

prof. Ing. JINDŘICH MELCHER, DrSc.

BRNO 2016

## Obsah

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Technická zpráva .....                                         | 4  |
| 1.1. Úvod .....                                                   | 4  |
| 1.2. Použité normativní dokumenty .....                           | 4  |
| 1.3. Materiál .....                                               | 5  |
| 1.4. Zatížení .....                                               | 5  |
| 1.4.1. Vlastní tíha .....                                         | 5  |
| 1.4.2. Ostatní stálé zatížení .....                               | 5  |
| 1.4.3. Zatížení sněhem .....                                      | 5  |
| 1.4.4. Zatížení větrem .....                                      | 5  |
| 2. Varianty řešení .....                                          | 5  |
| 2.1. Vazník č. 1; h= 1800 mm .....                                | 5  |
| 2.2. Vazník č. 2; h= 2400 mm .....                                | 6  |
| 2.3. Vazník č. 3; h= 3000 mm .....                                | 6  |
| 2.4. Vazník č. 4; h= 3600 mm .....                                | 6  |
| 2.5. Vazník č. 5; h= 4200 mm .....                                | 6  |
| 2.6. Vazník č. 6; h= 4800 mm .....                                | 7  |
| 3. Základní statický výpočet .....                                | 7  |
| 3.1. Podmínky aplikované při návrhu .....                         | 7  |
| 3.1.1. Mezní štíhlost $\lambda_{lim}$ .....                       | 7  |
| 3.1.2. Podélná ztužidla .....                                     | 7  |
| 3.2. Statické zpracování variant vazníků .....                    | 8  |
| 3.2.1. Vazník č. 1; h= 1800 mm .....                              | 8  |
| 3.2.2. Vazník č. 2; h= 2400 mm .....                              | 9  |
| 3.2.3. Vazník č. 4; h= 3600 mm .....                              | 10 |
| 3.2.4. Vazník č. 5; h= 4200 mm .....                              | 11 |
| 3.2.5. Vazník č. 6; h= 4800 mm .....                              | 12 |
| 3.2.6. Posouzení na mezní stav použitelnosti .....                | 13 |
| 4. Výchozí stanovisko pro podrobný statický výpočet vazníku ..... | 13 |
| 5. Podrobný statický výpočet vazníku výšky 3000 mm .....          | 14 |
| 5.1. Geometrie .....                                              | 14 |
| 5.1.1. Půdorys .....                                              | 14 |
| 5.1.2. Řez, vazník č. 3; h= 3000 mm .....                         | 15 |
| 5.2. Zatížení konstrukce .....                                    | 15 |

|          |                                              |    |
|----------|----------------------------------------------|----|
| 5.2.1.   | ZS1 - Vlastní tíha konstrukce .....          | 15 |
| 5.2.2.   | ZS2 - Ostatní stálé zatížení .....           | 15 |
| 5.2.2.1. | Střešní plášť .....                          | 15 |
| 5.2.2.2. | Vaznice .....                                | 15 |
| 5.2.3.   | Zatížení sněhem .....                        | 16 |
| 5.2.3.1. | ZS3 - Sníh plný - případ (i) .....           | 16 |
| 5.2.3.2. | ZS4 - Sníh navátý - případ (ii) .....        | 17 |
| 5.2.3.3. | ZS5 - Sníh navátý - případ (iii) .....       | 17 |
| 5.2.4.   | Zatížení větrem .....                        | 18 |
| 5.2.4.1. | ZS6 - Vítr příčný $X^+$ .....                | 20 |
| 5.2.4.2. | ZS7 - Vítr příčný $X^+$ .....                | 20 |
| 5.2.4.3. | ZS8 - Vítr příčný $X^-$ .....                | 20 |
| 5.2.4.4. | ZS9 - Vítr příčný $X^-$ .....                | 20 |
| 5.3.     | Kombinace zatížení a vnitřních sil .....     | 21 |
| 5.3.1.   | Kombinace pro mezní stav únosnosti .....     | 21 |
| 5.3.1.1. | Výpis kombinací .....                        | 21 |
| 5.3.2.   | Kombinace pro mezní stav použitelnosti ..... | 21 |
| 5.3.2.1. | Výpis kombinací .....                        | 21 |
| 5.4.     | Posouzení konstrukčních prvků .....          | 21 |
| 5.4.1.   | Střešní plášť .....                          | 21 |
| 5.4.2.   | Vaznice IPE180 .....                         | 22 |
| 5.4.2.1. | Zatížení .....                               | 22 |
| 5.4.2.2. | Vnitřní síly na vaznici .....                | 23 |
| 5.4.2.3. | Posouzení: .....                             | 24 |
| 5.4.3.   | Posouzení prutů na osově síly .....          | 30 |
| 5.4.3.1. | Průřezové charakteristiky .....              | 30 |
| 5.4.3.2. | Zatřídění průřezů .....                      | 31 |
| 5.4.3.3. | Ověření mezní štíhlosti .....                | 32 |
| 5.4.3.4. | Posouzení na vzpěr .....                     | 32 |
| 5.4.3.5. | Posouzení na tah .....                       | 34 |
| 5.4.4.   | Mezní stav použitelnosti .....               | 34 |
| 5.4.5.   | STYČNÍK č. 5 .....                           | 35 |
| 5.4.5.1. | Geometrie .....                              | 35 |
| 5.4.5.2. | Návrhové vnitřní síly .....                  | 35 |

|          |                                                                                                                        |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4.5.3. | Tabulka 7.8 - Rozsah platnosti svařovaných styčnicků mezipásových prutu z RHS a pásů z RHS, styčnick K s mezerou ..... | 36 |
| 5.4.5.4. | Tabulka 7.9 - Doplnující podmínky pro použití tabulky 7.10...                                                          | 37 |
| 5.4.5.5. | Porušení povrchu pásu $\beta \leq 1,0$ ; od prutu č.3 .....                                                            | 38 |
| 5.4.5.6. | Podélný plech - porušení povrchu pásu od prutu č. 1 .....                                                              | 39 |
| 5.4.6.   | STYČNÍK č.12 .....                                                                                                     | 40 |
| 5.4.6.1. | Geometrie .....                                                                                                        | 40 |
| 5.4.6.2. | Návrhové vnitřní síly .....                                                                                            | 40 |
| 5.4.6.3. | Tabulka 7.8 - Rozsah platnosti svařovaných styčnicků mezipásových prutu z RHS a pásů z RHS, styčnick K s mezerou ..... | 41 |
| 5.4.6.4. | Tabulka 7.9 - Doplnující podmínky pro použití tabulky 7.10...                                                          | 42 |
| 5.4.6.5. | Porušení povrchu pásu $\beta \leq 1,0$ ; od prutu č.1,2 .....                                                          | 43 |
| 5.4.6.6. | Podélný plech - porušení povrchu pásu od prutu č. 3 .....                                                              | 44 |
| 5.4.6.7. | Posouzení svaru diagonály 1 na dolní pás .....                                                                         | 44 |
| 5.5.     | Tabulka hmotnosti použitých prutů .....                                                                                | 45 |
| 5.6.     | Montážní spoj.....                                                                                                     | 46 |
| 5.6.1.   | Montážní spoj horního pásu .....                                                                                       | 46 |
| 5.6.1.1. | Posouzení na vliv páčení .....                                                                                         | 47 |
| 5.6.1.2. | Posouzení na protlačení .....                                                                                          | 48 |
| 5.6.2.   | Montážní spoj dolního pásu.....                                                                                        | 48 |
| 5.6.2.1. | Posouzení na vliv páčení .....                                                                                         | 49 |
| 5.6.2.2. | Posouzení na protlačení .....                                                                                          | 50 |
| 5.6.3.   | Montážní spoj diagonály vazníku.....                                                                                   | 51 |
| 6.       | Graf závislosti hmotnosti vazníku na jeho výšce .....                                                                  | 53 |

# 1. Technická zprava

## 1.1. Úvod

Předmětem bakalářské práce je optimalizační studie příhradového vazníku, která vychází z porovnání hmotnosti ocelových příhradových vazníků navržených s použitím profilů typu RHS na rozpětí 24 m a vzdáleností příčných vazeb 6 m. Proměnným parametrem optimalizace je výška vazníku. Výstupem studie je optimální výška vazníku odpovídající jeho minimální hmotnosti. Statickou analýzou bylo zpracováno 6 přibližných variant vazníků v programu Dlubal RSTAB 8 pro posouzení a výpočet prutových konstrukcí. Ručním výpočtem byla ověřena jedna ze stanovených variant vazníků. Půdorysné rozměry objektu jsou 24 m x 63 m a výška 10 m. Použitým konstrukčním materiálem je ocel S355. Pro vybranou variantu je zpracován podrobný statický výpočet a výkresová dokumentace dispozice a výrobní výkres vazníku.

## 1.2. Použité normativní dokumenty

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

### 1.3. Materiál

Hlavním materiálem prvků příhradových vazníků je ocel o jakosti S355J2H. Styčnickové plechy jsou z totožné oceli. Použité profily typu RHS jsou válcované dle EN 10210 - válcované za tepla. Šrouby pro spojení jednotlivých prvků jsou v pevnostech 4.6, 5.8 a 8.8.

### 1.4. Zatížení

Podrobná specifikace zatížení je obsažená ve statickém výpočtu.

#### 1.4.1. Vlastní tíha

Zatížení od vlastní tíhy konstrukce bylo automaticky spočítáno v programu Dlubal RSTAB 8.

#### 1.4.2. Ostatní stálé zatížení

Střešní plášť je navržen ze střešních panelů Kingspan KS1000 X-dek™

-  $g_{1,k} = 0,246 \text{ kN/m}^2$

Vaznice IPE180 -  $g_{0,k} = 0,188 \text{ kN/m}^2$

#### 1.4.3. Zatížení sněhem

Sněhová oblast (Brno): II  $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

#### 1.4.4. Zatížení větrem

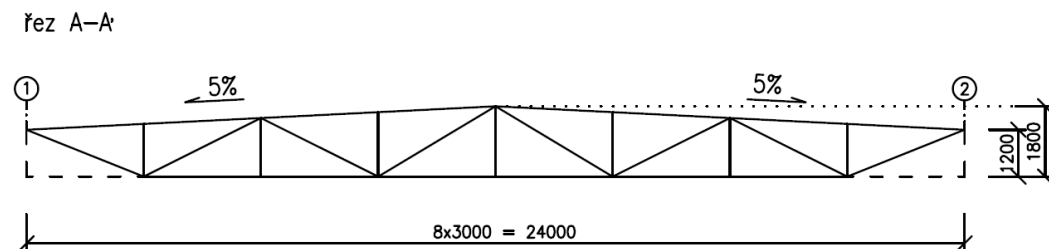
Větrná oblast (Brno): II  $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Kategorie terénu: III

## 2. Varianty řešení

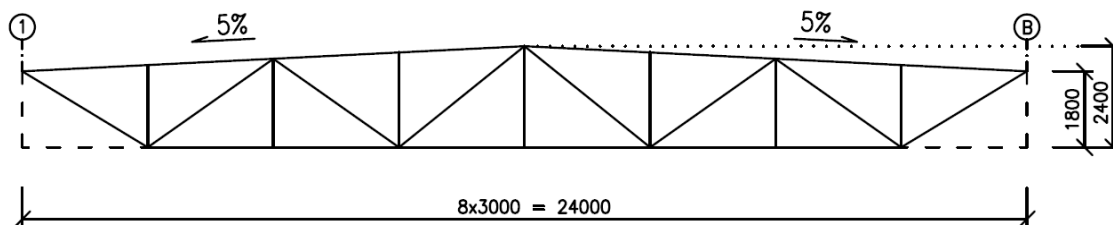
Zvolené varianty vazníků mají výšku uprostřed rozpětí 1800 mm, 2400 mm, 3000 mm, 3600 mm, 4200 mm a 4800 mm.

### 2.1. Vazník č. 1; $h = 1800 \text{ mm}$



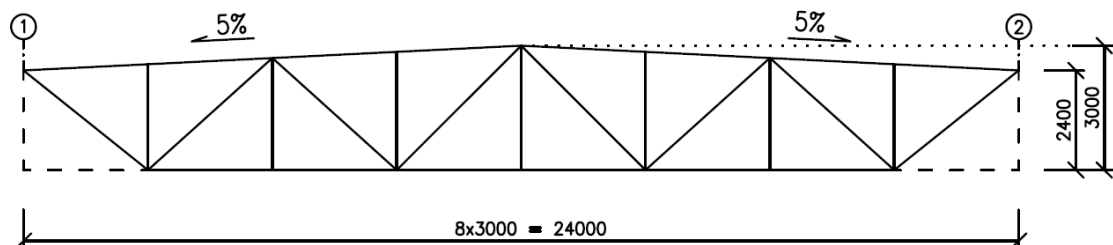
## 2.2. Vazník č. 2; $h = 2400$ mm

řez A-A'



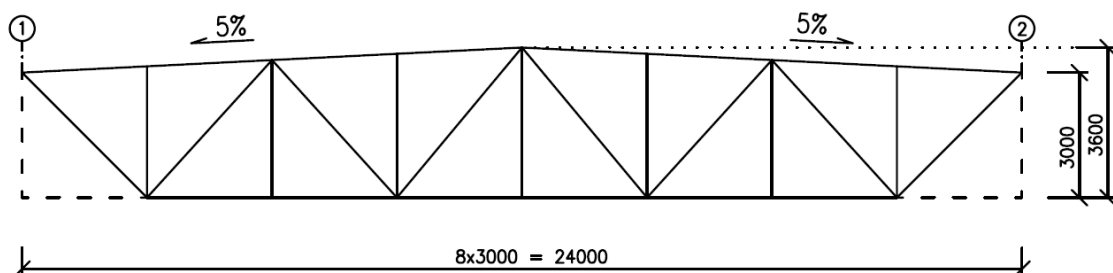
## 2.3. Vazník č. 3; $h = 3000$ mm

řez A-A'



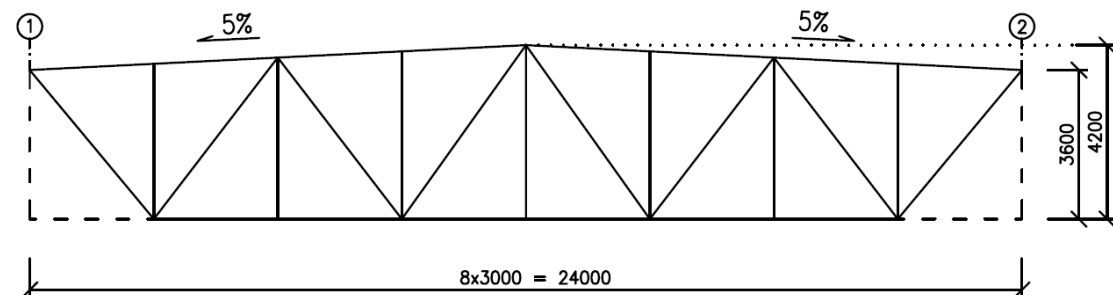
## 2.4. Vazník č. 4; $h = 3600$ mm

řez A-A'



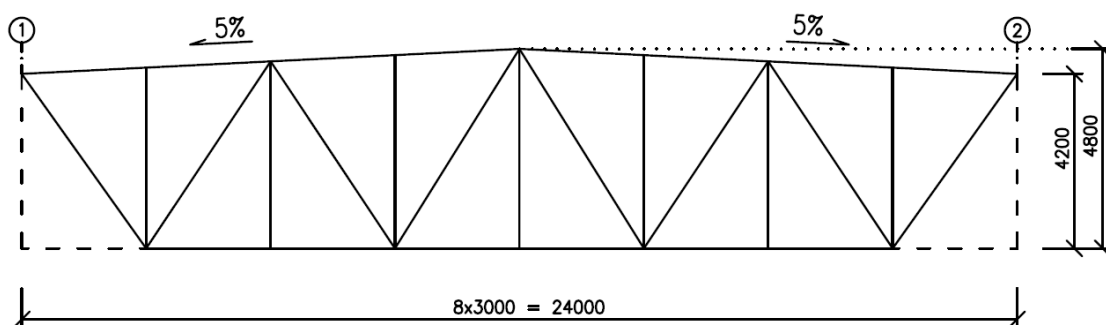
## 2.5. Vazník č. 5; $h = 4200$ mm

řez A-A'



## 2.6. Vazník č. 6; $h = 4800$ mm

řez A–A'



## 3. Základní statický výpočet

Při dimenzování příhradového vazníku bylo provedeno posouzení prutů vazníku na osově síly a v neposlední řadě bylo provedeno posouzení na porušení povrchu pásu od působení mezipásových prutů na stěnu pásů vazníku.

### 3.1. Podmínky aplikované při návrhu

#### 3.1.1. Mezní štíhlost $\lambda_{lim}$

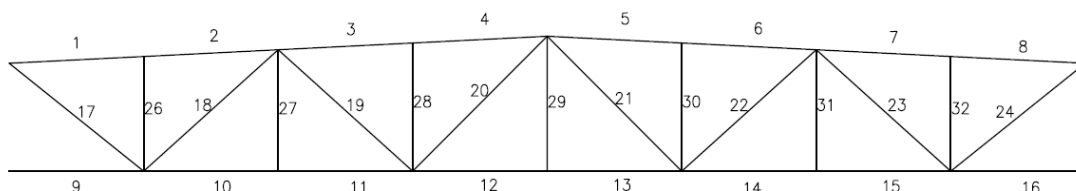
Mezní štíhlost  $\lambda_{lim}$  byla uvažována u tlačných prutů hodnotou 200 a u prutů namáhaných pouze tahovou silou hodnotou 300.

#### 3.1.2. Podélná ztužidla

Podélná ztužidla, která zajišťují spodní pás příhradového vazníku proti vybočení z roviny vazníku jsou zvolena ve **čtvrtinách rozpětí** vazníku. Toto řešení bylo aplikováno z důvodů optimalizace dolního pásu vazníku, tak aby mezní štíhlosti rapidně nezasahovala do konečných výsledků hmotností vazníků.

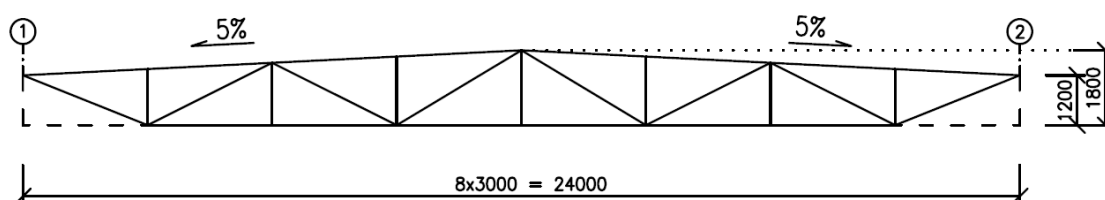
## 3.2. Statické zpracování variant vazníků

Číslování prutů



### 3.2.1. Vazník č. 1; $h = 1800$ mm

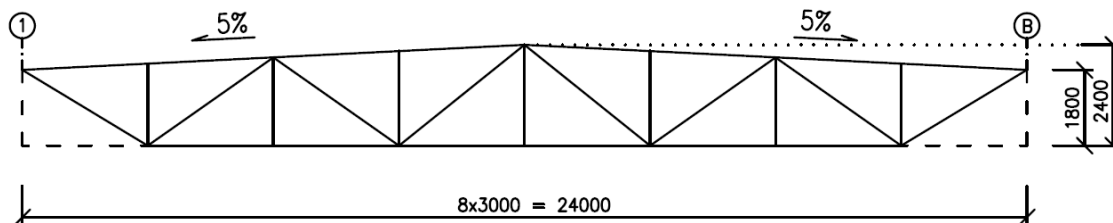
řez A–A



| č. prutu         |       | normálová síla $N_{ed}$ [kN] |         | navržený průřez | celková délka prutu [m] | hmotnost [t] |
|------------------|-------|------------------------------|---------|-----------------|-------------------------|--------------|
|                  |       | tlak                         | tah     |                 |                         |              |
| Horní pás        | 1,8   | -231,755                     | 18,277  | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
|                  | 2,7   | -231,694                     | 18,266  | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
|                  | 3,6   | -401,887                     | 11,170  | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
|                  | 4,5   | -401,813                     | 11,165  | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
| Dolní pás        | 9,16  | 0,000                        | 0,000   | RHS 150x100x5   | 6,00                    | 0,112        |
|                  | 10,15 | -20,212                      | 353,955 | RHS 150x100x5   | 6,00                    | 0,112        |
|                  | 11,14 | -20,212                      | 353,955 | RHS 150x100x5   | 6,00                    | 0,112        |
|                  | 12,13 | 0,000                        | 394,854 | RHS 150x100x5   | 6,00                    | 0,112        |
| Diagonály        | 17,24 | -19,694                      | 249,304 | RHS 80x80x4     | 6,46                    | 0,061        |
|                  | 18,23 | -138,936                     | 2,293   | RHS 90x90x4     | 6,71                    | 0,072        |
|                  | 19,22 | -4,034                       | 60,881  | RHS 50x50x4     | 6,71                    | 0,038        |
|                  | 20,21 | -34,641                      | 33,722  | RHS 60x60x4     | 7,00                    | 0,048        |
| Svislice         | 26,32 | -29,739                      | 7,842   | RHS 40x40x4     | 2,70                    | 0,012        |
|                  | 27,31 | -0,372                       | 0,439   | RHS 40x40x4     | 3,00                    | 0,013        |
|                  | 28,30 | -29,927                      | 4,879   | RHS 40x40x4     | 3,30                    | 0,014        |
|                  | 29    | 0,000                        | 1,692   | RHS 40x40x4     | 1,80                    | 0,006        |
| Celková hmotnost |       |                              |         |                 |                         | 1,160        |

### 3.2.2. Vazník č. 2; $h = 2400$ mm

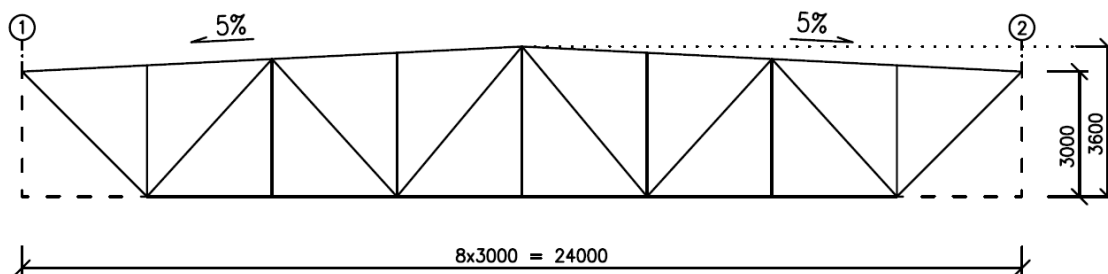
řez A–A'



| č. prutu         |       | normálová síla $N_{ed}$ [kN] |         | navržený průřez | celková délka prutu [m] | hmotnost [t] |
|------------------|-------|------------------------------|---------|-----------------|-------------------------|--------------|
|                  |       | tlak                         | tah     |                 |                         |              |
| Horní pás        | 1,8   | -159,763                     | 13,877  | RHS 120x80x6.3  | 6,01                    | 0,109        |
|                  | 2,7   | -159,738                     | 13,869  | RHS 120x80x6.3  | 6,01                    | 0,109        |
|                  | 3,6   | -294,064                     | 9,966   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
|                  | 4,5   | -294,054                     | 9,935   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
| Dolní pás        | 9,16  | 0,000                        | 0,000   | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,088        |
|                  | 10,15 | -16,065                      | 251,858 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,088        |
|                  | 11,14 | -16,065                      | 251,858 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,088        |
|                  | 12,13 | 0,540                        | 294,101 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,088        |
| Diagonály        | 17,24 | -16,192                      | 186,103 | RHS 50x50x4     | 7,00                    | 0,039        |
|                  | 18,23 | -114,215                     | 2,814   | RHS 80x80x4     | 7,32                    | 0,069        |
|                  | 19,22 | -3,230                       | 56,561  | RHS 50x50x4     | 7,32                    | 0,042        |
|                  | 20,21 | -31,080                      | 22,084  | RHS 60x60x4     | 7,68                    | 0,053        |
| Svislice         | 26,32 | -30,385                      | 7,836   | RHS 40x40x4     | 3,90                    | 0,017        |
|                  | 27,31 | -0,208                       | 0,276   | RHS 40x40x4     | 4,20                    | 0,018        |
|                  | 28,30 | -30,227                      | 4,850   | RHS 40x40x4     | 4,50                    | 0,020        |
|                  | 29    | 0,000                        | 0,552   | RHS 40x40x4     | 2,40                    | 0,012        |
| Celková hmotnost |       |                              |         |                 |                         | 1,064        |

### 3.2.3. Vazník č. 4; h= 3600 mm

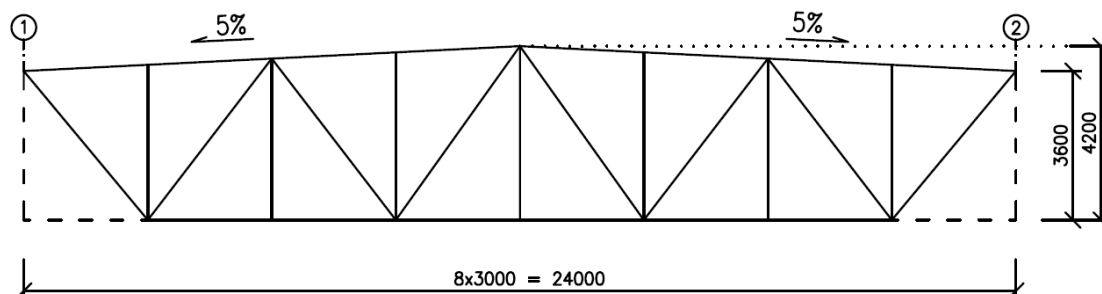
řez A–A'



| č. prutu         |       | normálová síla $N_{ed}$ [kN] |         | navržený průřez | celková délka prutu [m] | hmotnost [t] |
|------------------|-------|------------------------------|---------|-----------------|-------------------------|--------------|
|                  |       | tlak                         | tah     |                 |                         |              |
| Horní pás        | 1,8   | -99,882                      | 8,000   | RHS 100x60x4    | 6,01                    | 0,057        |
|                  | 2,7   | -99,872                      | 7,996   | RHS 100x60x4    | 6,01                    | 0,057        |
|                  | 3,6   | -193,962                     | 4,890   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
|                  | 4,5   | -193,933                     | 4,882   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
| Dolní pás        | 9,16  | 0,000                        | 0,000   | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
|                  | 10,15 | -9,055                       | 161,988 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
|                  | 11,14 | -9,055                       | 161,988 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
|                  | 12,13 | 0,000                        | 198,244 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
| Diagonály        | 17,24 | -11,390                      | 141,180 | RHS 60x60x4     | 8,49                    | 0,059        |
|                  | 18,23 | -93,816                      | 1,787   | RHS 80x80x5     | 8,92                    | 0,103        |
|                  | 19,22 | -1,882                       | 51,066  | RHS 90x90x4     | 8,92                    | 0,095        |
|                  | 20,21 | -28,000                      | 13,983  | RHS 70x70x4     | 9,37                    | 0,077        |
| Svislice         | 26,32 | -30,485                      | 8,166   | RHS 50x50x4     | 6,30                    | 0,036        |
|                  | 27,31 | 0,000                        | 0,350   | RHS 40x40x4     | 6,60                    | 0,029        |
|                  | 28,30 | -30,484                      | 4,817   | RHS 50x50x4     | 6,90                    | 0,047        |
|                  | 29    | 0,000                        | 0,666   | RHS 40x40x4     | 3,60                    | 0,016        |
| Celková hmotnost |       |                              |         |                 |                         | 1,156        |

### 3.2.4. Vazník č. 5; $h = 4200$ mm

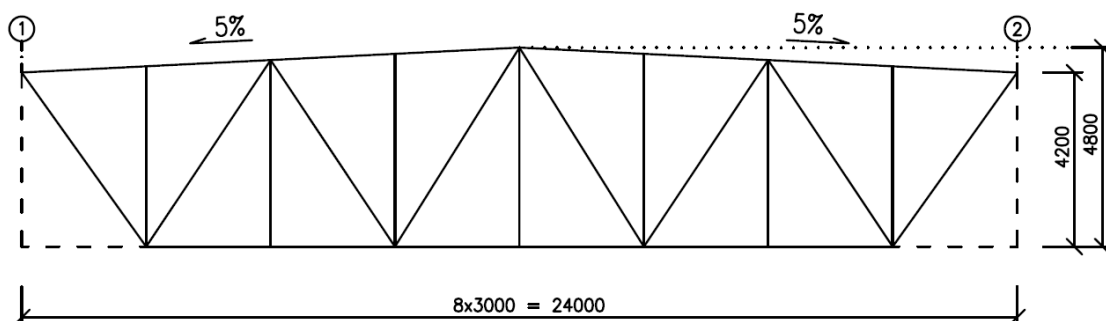
řez A-A



| č. prutu         |       | normálová síla $N_{ed}$ [kN] |         | navržený průřez | celková délka prutu [m] | hmotnost [t] |
|------------------|-------|------------------------------|---------|-----------------|-------------------------|--------------|
|                  |       | tlak                         | tah     |                 |                         |              |
| Horní pás        | 1,8   | -84,307                      | 6,217   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
|                  | 2,7   | -84,276                      | 6,207   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
|                  | 3,6   | -165,848                     | 3,620   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
|                  | 4,5   | -165,808                     | 3,613   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
| Dolní pás        | 9,16  | 0,000                        | 0,000   | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
|                  | 10,15 | -7,098                       | 137,777 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
|                  | 11,14 | -7,098                       | 137,777 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
|                  | 12,13 | 0,000                        | 170,595 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
| Diagonály        | 17,24 | -9,816                       | 131,651 | RHS 70x70x4     | 9,37                    | 0,076        |
|                  | 18,23 | -89,131                      | 1,698   | RHS 90x90x4     | 9,84                    | 0,104        |
|                  | 19,22 | -1,740                       | 49,185  | RHS 70x70x4     | 9,84                    | 0,080        |
|                  | 20,21 | -27,825                      | 12,335  | RHS 70x70x4     | 10,32                   | 0,084        |
| Svislice         | 26,32 | -30,481                      | 7,771   | RHS 60x60x4     | 7,50                    | 0,051        |
|                  | 27,31 | 0,000                        | 0,397   | RHS 40x40x4     | 7,80                    | 0,033        |
|                  | 28,30 | -30,345                      | 4,832   | RHS 60x60x4     | 8,10                    | 0,056        |
|                  | 29    | 0,000                        | 0,720   | RHS 40x40x4     | 4,20                    | 0,018        |
| Celková hmotnost |       |                              |         |                 |                         | 1,306        |

### 3.2.5. Vazník č. 6; h= 4800 mm

řez A-A'



| č. prutu         |       | normálová síla $N_{ed}$ [kN] |         | navržený průřez | celková délka prutu [m] | hmotnost [t] |
|------------------|-------|------------------------------|---------|-----------------|-------------------------|--------------|
|                  |       | tlak                         | tah     |                 |                         |              |
| Horní pás        | 1,8   | -73,435                      | 4,648   | RHS 120x80x4    | 6,01                    | 0,072        |
|                  | 2,7   | -73,417                      | 4,642   | RHS 120x80x4    | 6,01                    | 0,072        |
|                  | 3,6   | -146,241                     | 1,560   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
|                  | 4,5   | -146,199                     | 1,554   | RHS 150x100x5   | 6,01                    | 0,112        |
| Dolní pás        | 9,16  | 0,000                        | 0,000   | RHS 150x100x5   | 6,00                    | 0,112        |
|                  | 10,15 | -4,920                       | 120,797 | RHS 150x100x5   | 6,00                    | 0,112        |
|                  | 11,14 | -4,920                       | 120,797 | RHS 150x100x5   | 6,00                    | 0,112        |
|                  | 12,13 | 0,000                        | 151,209 | RHS 150x100x5   | 6,00                    | 0,112        |
| Diagonály        | 17,24 | -8,137                       | 126,354 | RHS 70x70x4     | 10,32                   | 0,084        |
|                  | 18,23 | -86,484                      | 0,791   | RHS 100x100x4   | 10,82                   | 0,129        |
|                  | 19,22 | -1,681                       | 48,812  | RHS 80x80x4     | 10,82                   | 0,102        |
|                  | 20,21 | -27,899                      | 17,015  | RHS 80x80x4     | 11,32                   | 0,107        |
| Svislice         | 26,32 | -30,644                      | 8,071   | RHS 70x70x4     | 8,70                    | 0,071        |
|                  | 27,31 | 0,000                        | 0,581   | RHS 50x50x4     | 9,00                    | 0,051        |
|                  | 28,30 | -30,463                      | 4,837   | RHS 70x70x4     | 9,30                    | 0,076        |
|                  | 29    | 0,000                        | 1,091   | RHS 50x50x4     | 4,80                    | 0,028        |
| Celková hmotnost |       |                              |         |                 |                         | 1,464        |

### 3.2.6. Posouzení na mezní stav použitelnosti

Výsledky posouzení na mezní stav použitelnosti totožný viz. příloha.

$$w_{lim} = \frac{L}{250} = 96 \text{ mm}$$

| výška [mm] | $w_z$ [mm] | $w_{lim}$            | $w_z / w_{lim}$ |            |          |
|------------|------------|----------------------|-----------------|------------|----------|
| 1800       | 56,4       | $\leq 96 \text{ mm}$ | 0,59            | $\leq 1,0$ | vyhovuje |
| 2400       | 37,3       |                      | 0,39            |            |          |
| 3600       | 17,9       |                      | 0,19            |            |          |
| 4200       | 13,7       |                      | 0,14            |            |          |
| 4800       | 10,9       |                      | 0,11            |            |          |

## 4. Výchozí stanovisko pro podrobný statický výpočet vazníku

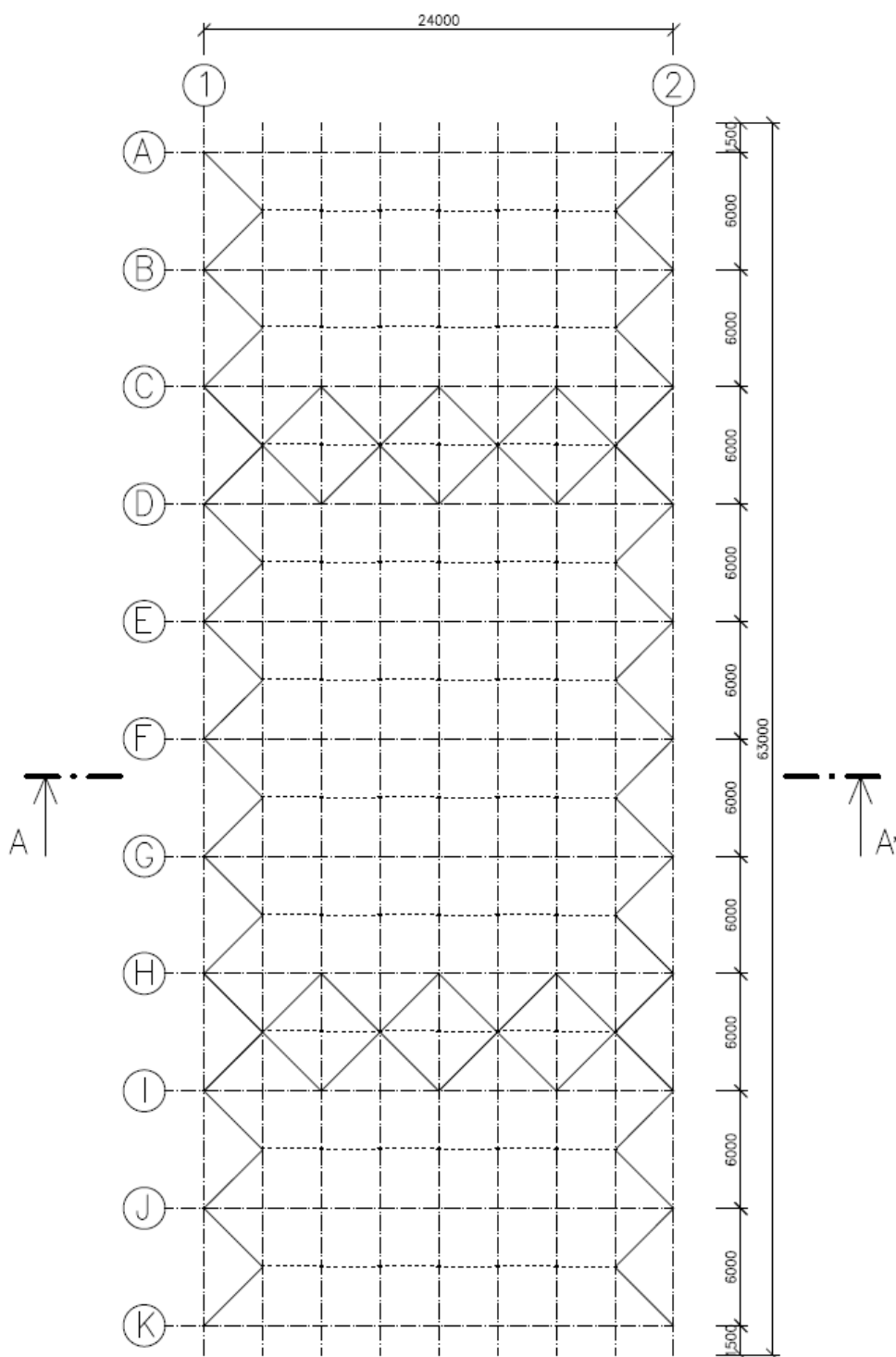
Normativní dokumenty obvykle jednoznačně nestanovují volbu výšky vazníku při určitém rozpětí. Odborná literatura udává, že výška příhradového vazníku se volí v rozsahu 1/12 až 1/16 rozpětí. V našem případě by to znamenalo hodnoty výšky od 2000 mm do 4000 mm.

V uvedeném smyslu volíme finální výšku vazníku **3000 mm** pro podrobný statický výpočet.

## 5. Podrobný statický výpočet vazníku výšky 3000 mm

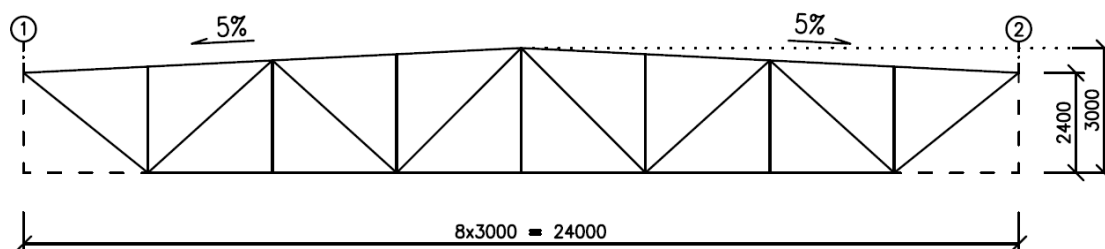
### 5.1. Geometrie

#### 5.1.1. Půdorys



### 5.1.2. Řez, vazník č. 3; h= 3000 mm

řez A-A



## 5.2. Zatížení konstrukce

### 5.2.1. ZS1 - Vlastní tíha konstrukce

Zatížení od vlastní tíhy konstrukce bylo automaticky spočítáno v softwaru Dlubal RSTAB 8.05.

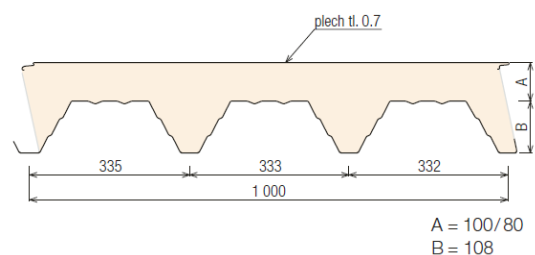
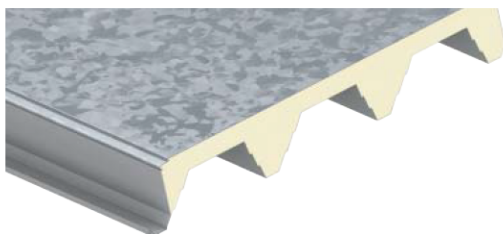
### 5.2.2. ZS2 - Ostatní stálé zatížení

#### 5.2.2.1. Střešní plášť

Střešní plášť je navržen ze střešních panelů Kingspan KS1000 X-dek™

**KS1000 X-dek™ typ XD / Plech – na stavbě aplikace PVC fólie**

■ Typ XD s horním plechem tloušťky 0,7 mm vhodný pro aplikaci PVC fólie kotvené mechanicky nebo lepením



#### Vlastní hmotnost

| Typ X-dek™<br>(exteriérový<br>povrch) | tl. interiérového<br>plechu<br>[mm] | XD<br>(plech) | XB/XG<br>(TR20/TR27)<br>[kg/m²] | XM<br>(PVC) |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------|-------------|
| X-dek 80                              | 0,9                                 | 21,4          | 15,9                            | 16,9        |
|                                       | 1,1                                 | 23,7          | 18,2                            | 19,2        |
| X-dek 100                             | 0,9                                 | 22,2          | 19,1                            | 17,8        |
|                                       | 1,1                                 | 24,6          | 19,1                            | 20,1        |

$$g_{1,k} = 0,246 \text{ kN/m}^2$$

#### 5.2.2.2. Vaznice

Střešní vaznice je řešena jako prostá a to z válcovaného prvku IPE 180.

### 5.2.3. Zatížení sněhem

Sněhová oblast (Brno): II  $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  - charakteristická hodnota

Součinitel tvaru:  $\mu_1 = 0,8$  - pro sedlové střechy  $0^\circ < \alpha < 30^\circ$

Součinitel expozice:  $C_e = 1,0$  - typ krajiny - normální

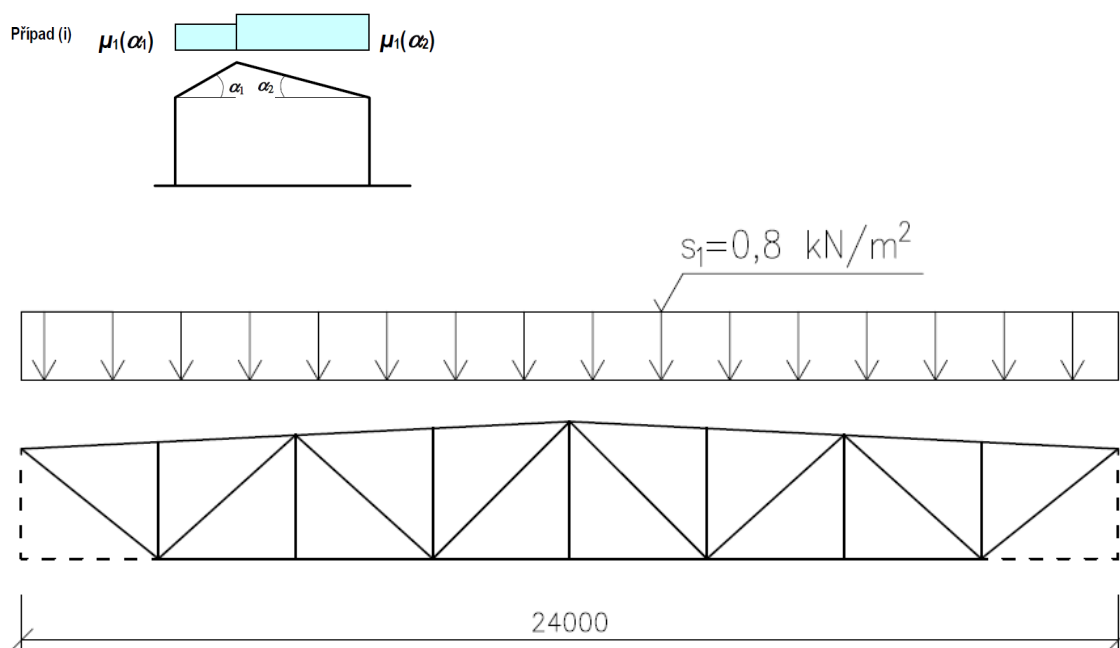
Tepelný součinitel:  $C_t = 1,0$  - nedochází k odtávání sněhu

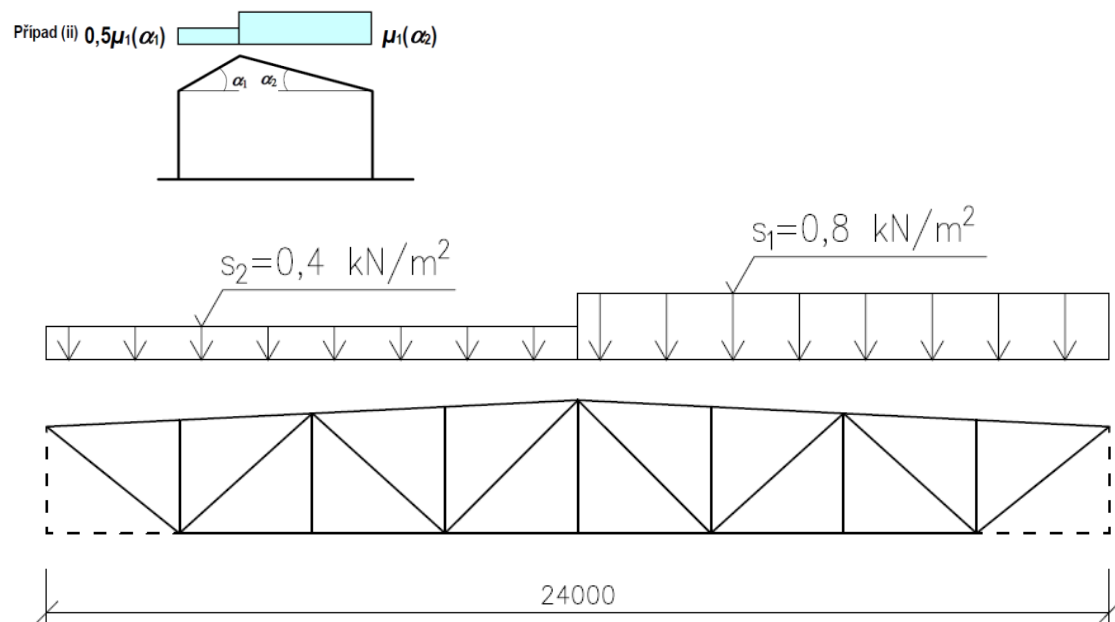
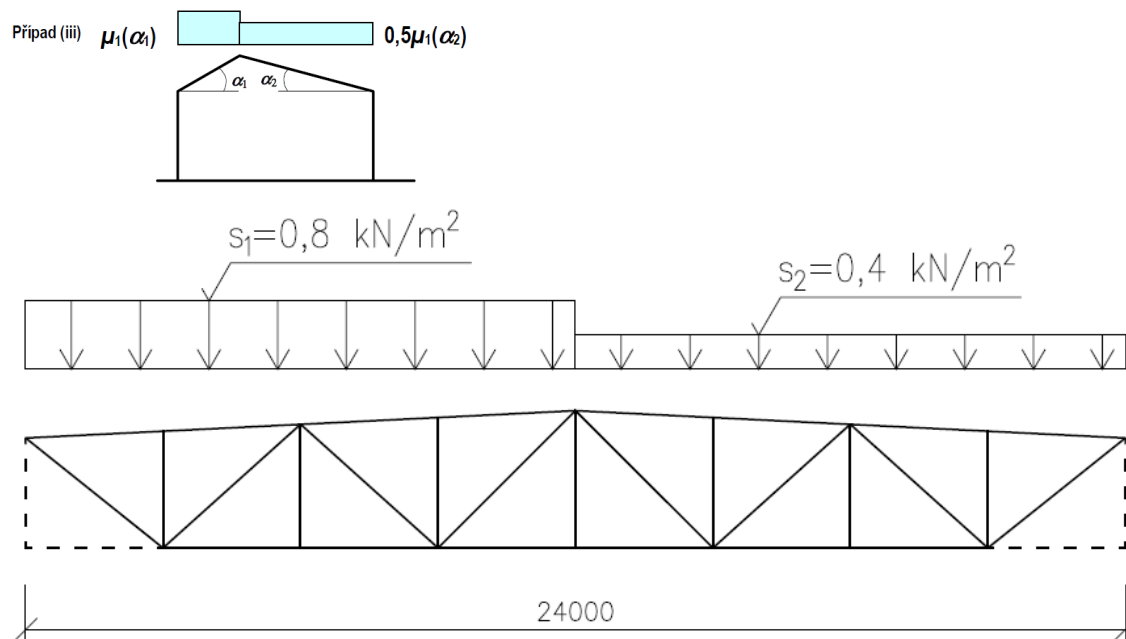
Zatížení sněhem na střechu:

$$s_{1,k} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

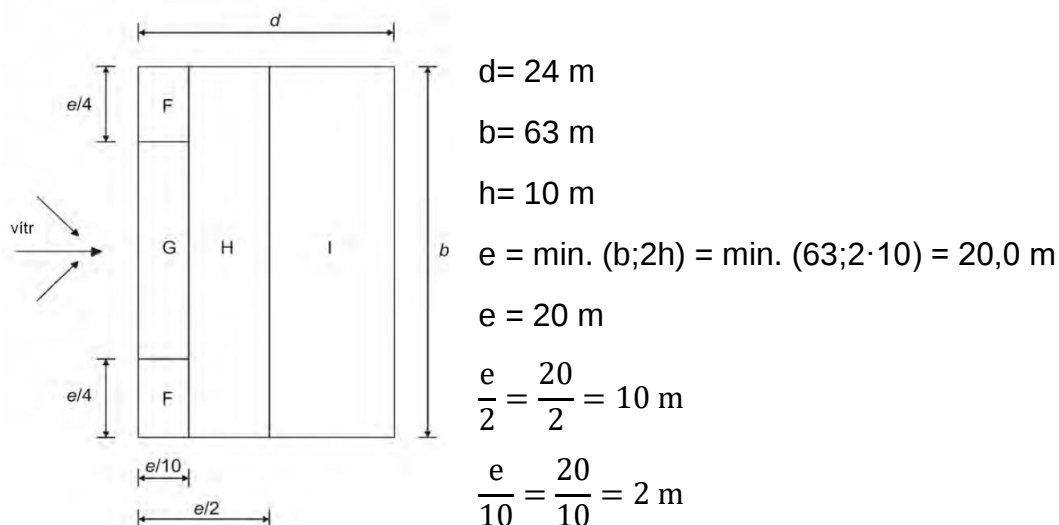
$$s_{2,k} = (0,5 \cdot \mu_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = (0,5 \cdot 0,8) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,4 \text{ kN/m}$$

#### 5.2.3.1. ZS3 - Sníh plný - případ (i)



**5.2.3.2. ZS4 - Sníh navátý - případ (ii)****5.2.3.3. ZS5 - Sníh navátý - případ (iii)**

### 5.2.4. Zatížení větrem



|                            |     |                                               |
|----------------------------|-----|-----------------------------------------------|
| Větrná oblast (Brno):      | II  | $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$                    |
| Kategorie terénu:          | III | $z_0 = 0,3 \text{ m}; z_{\min} = 5 \text{ m}$ |
| Součinitel směru větru:    |     | $c_{\text{dir}} = 1,0$                        |
| Součinitel ročního období: |     | $c_{\text{season}} = 1,0$                     |

Základní rychlost větru:

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

Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,754 \cdot 1,0 \cdot 25 = 18,85 \text{ m/s}$$

kde:  $c_r(z)$  je součinitel terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,3}\right) = 0,754 \quad \text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$5 \leq 10 \leq 200 \text{ m}$$

$c_o(z)$  - uvažován 1,0

kde:  $k_r$  je součinitel terénu

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

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

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

Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,3}\right)} = 0,285 \quad \text{pro} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$5,0 \leq 10,00 \leq 200 \text{ m}$$

kde:  $k_I = 1,0$  - součinitel turbulence

$$c_0(z) = 1,0$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

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

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,285] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 18,85^2 = 0,665 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru na povrchu konstrukce

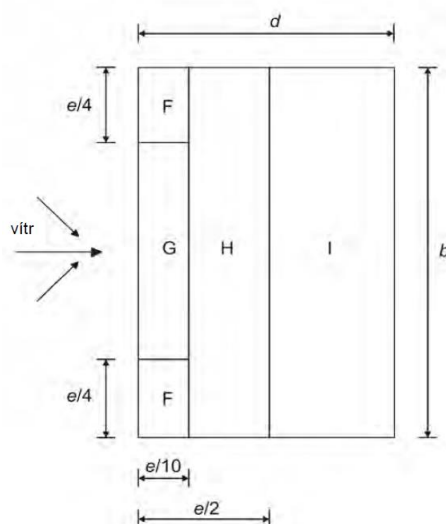
$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad \text{kde: } q_p(z_e) \text{ je maximální dynamický tlak}$$

pro výšku  $z_e = h$

$c_{pe}$  je součinitel vnějšího tlaku

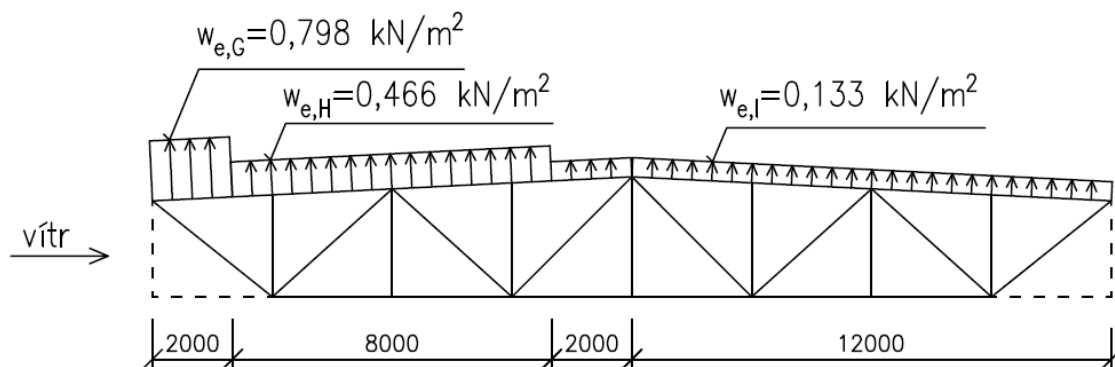
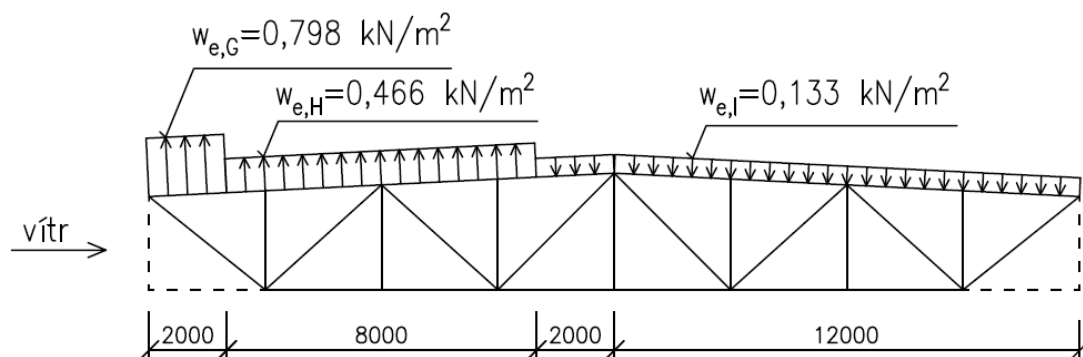
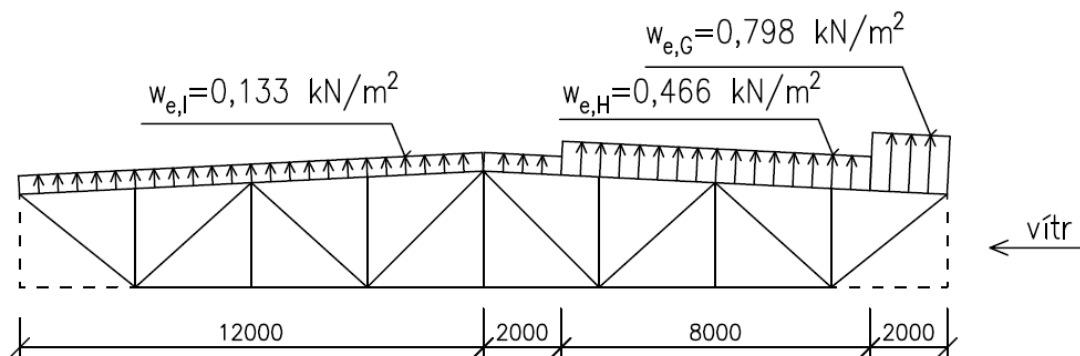
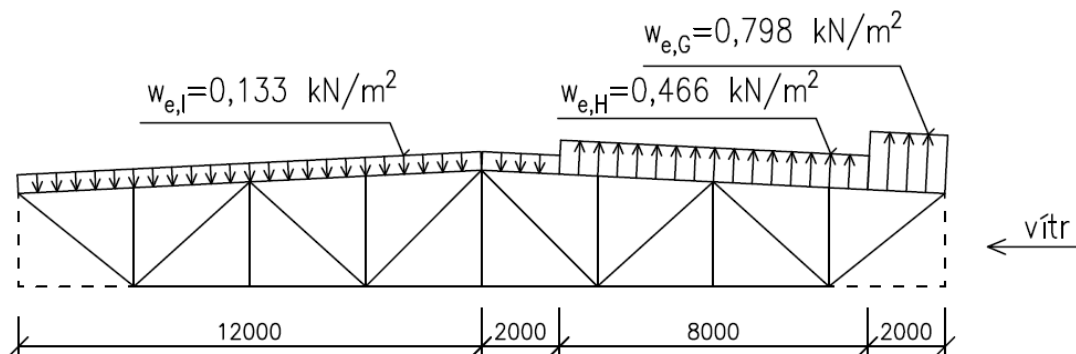
$$A > 10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$$

Hodnoty  $c_{pe,10}$  jsou doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro ploché střechy.



$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,665 \cdot c_{pe,10} \Rightarrow$$

|                      | G      | H     | I      |
|----------------------|--------|-------|--------|
| $c_{pe,10}$          | -1,2   | -0,7  | 0,2    |
|                      |        |       | -0,2   |
| $w_e[\text{kN/m}^2]$ | -0,798 | 0,466 | 0,133  |
|                      |        |       | -0,133 |

**5.2.4.1. ZS6 - Vítr příčný X<sup>+</sup>****5.2.4.2. ZS7 - Vítr příčný X<sup>+</sup>****5.2.4.3. ZS8 - Vítr příčný X<sup>-</sup>****5.2.4.4. ZS9 - Vítr příčný X<sup>-</sup>**

## 5.3. Kombinace zatížení a vnitřních sil

### 5.3.1. Kombinace pro mezní stav únosnosti

KP1 - MSÚ - kombinační pravidlo provedeno dle výrazu 6.10a a 6.10b

#### 5.3.1.1. Výpis kombinací

- přiložen v příloze

### 5.3.2. Kombinace pro mezní stav použitelnosti

KP2 - MSP - kombinační pravidlo provedeno dle výrazu 6.14b - charakteristická kombinace

#### 5.3.2.1. Výpis kombinací

- přiložen v příloze

## 5.4. Posouzení konstrukčních prvků

### 5.4.1. Střešní plášť

Výrobce udává maximální hodnoty zatížení v charakteristických hodnotách při daných parametrech:

- rozpon 3 m
- statické působení jako spojitý nosník o 2 polích

#### Případ zatížení:

- max. zatížení v tlaku: 5,94 kN/m<sup>2</sup> v charakteristických hodnotách
- max. zatížení na sání větrem 7,99 kN/m<sup>2</sup> v charakteristických hodnotách

#### Ověření hodnot zatížení

Maximální hodnota zatížení v tlaku od proměnných zatíženích je v tomto případě

$$S_{1,k} \cdot \gamma_Q + W_{e,I} \cdot \gamma_Q = 0,8 \cdot 1,5 + 0,133 \cdot 1,5 = 1,40 \text{ kN/m}^2$$

$$1,40 \text{ kN/m}^2 < 5,94 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \underline{\underline{\text{VYHOVUJE}}}$$

Maximální hodnota zatížení od sání větrem je v tomto případě

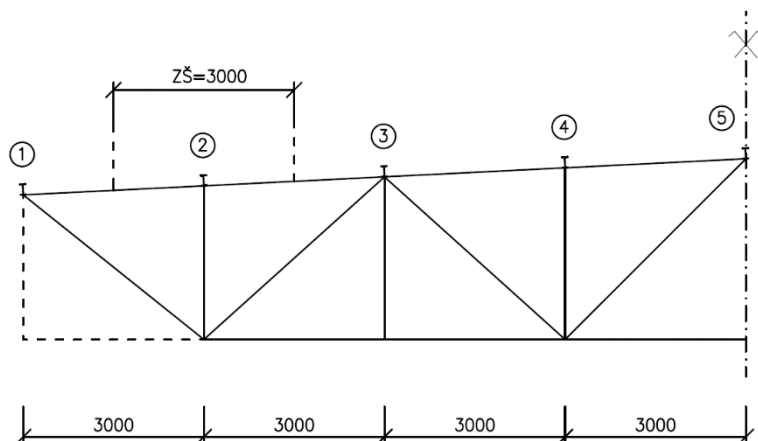
$$W_{e,G} \cdot \gamma_Q = 0,798 \cdot 1,5 = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

$$1,20 \text{ kN/m}^2 < 7,99 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \underline{\underline{\text{VYHOVUJE}}}$$

### 5.4.2. Vaznice IPE180

Veškeré zatížení je řešeno pouze v rovině Z - Z => zatížení v rovině X - X se zanedbává z důvodu nízkého sklonu střechy [ $\cos 2,86^\circ = 0,9989$ ].

#### 5.4.2.1. Zatížení



Zatěžovací šířka na vaznici je 3,0 m.

Vlastní tíha vaznice (IPE180) - ZS1

$$- g_{0,k} = \underline{0,148 \text{ kN/m}}$$

Střešní plášť - ZS2

$$- g_{1,k} = g_{1,k} \cdot zš = 0,246 \cdot 3,0 = \underline{0,738 \text{ kN/m}}$$

Sníh - ZS3

$$- q_{s1,k} = q_{s1} \cdot zš = 0,8 \cdot 3,0 = \underline{2,400 \text{ kN/m}}$$

Sání větru - ZS 6

- vaznice č.2 - nejhorší možnost zatížení od sání větru

$$- q_{w,k} = w_{e,G} \cdot zš_G + w_{e,H} \cdot zš_H = 0,798 \cdot 0,5 + 0,466 \cdot 2,5 = 1,564 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru ZS 9

$$- q_{w,k} = w_{e,l} \cdot zš = 0,133 \cdot 3,0 = \underline{0,399 \text{ kN/m}}$$

Stabilizující síly od vazníku

- uvažována 1/100 síly v horním pásu vazníku výšky 3000 mm  
z kombinace KZ40 -  $N_{Ed} = -232,628 \text{ kN}$

$$H_{sd} = \frac{N_{Ed}}{100} = \frac{-232,628}{100} = -2,302 \text{ kN}$$

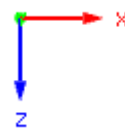
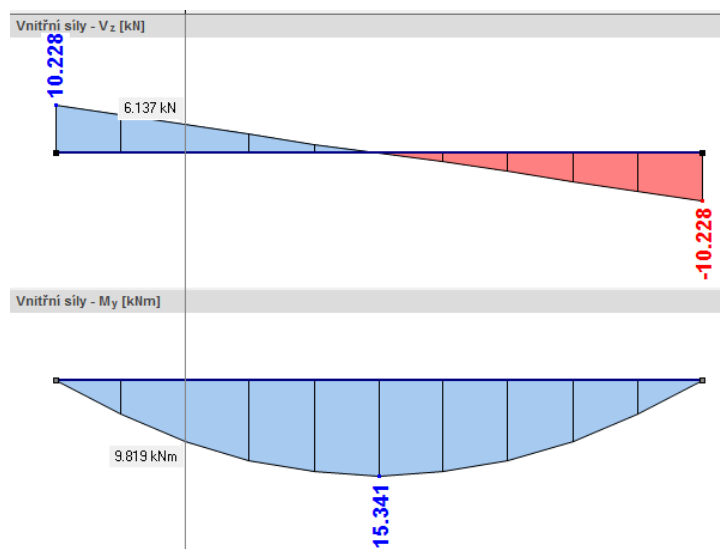
$$\Sigma H_{sd} = H_{sd} \cdot 10 = -23,020 \text{ kN}$$

$$N_{stab} = \frac{\Sigma H_{sd}}{n} = \frac{-23,020}{2} = -11,510 \text{ kN}$$

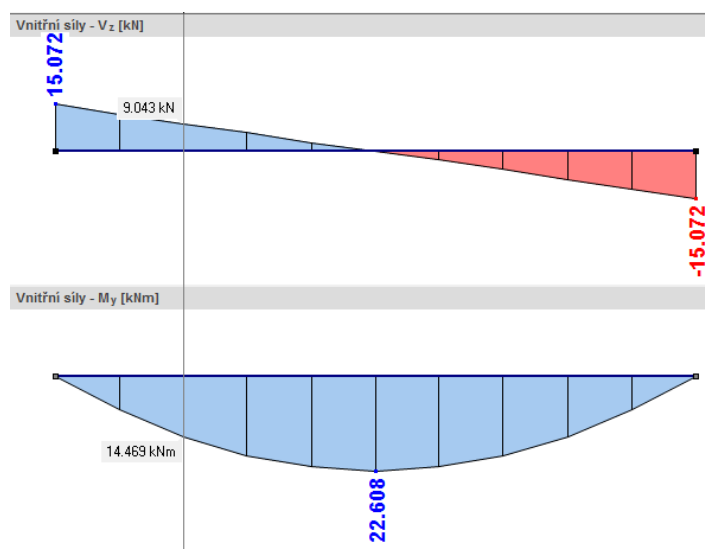
### 5.4.2.2. Vnitřní síly na vaznici

Vnitřní síly při působení zatížení ve směru osy  $Z^+$

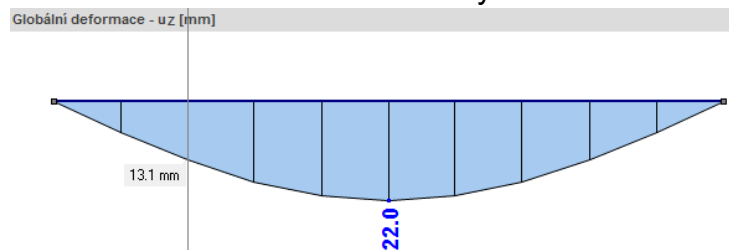
MSÚ - kombinace dle 6.10a



MSÚ - kombinace dle 6.10b

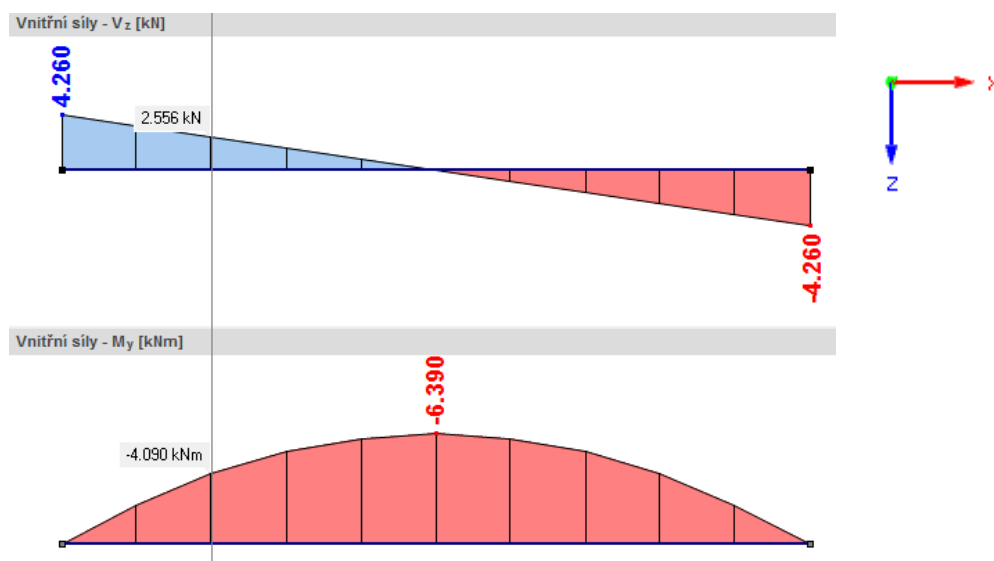


MSP - kombinace charakteristických hodnot dle 6.14b



### Vnitřní síly při působení zatížení ve směru osy Z - sání větru

MSÚ - kombinace dle 6.10a



#### 5.4.2.3. Posouzení:

##### MSÚ

A - zatížení Z<sup>+</sup>  $M_{y,Ed} = 22,608 \text{ kNm}$ ;  $V_{Ed} = 15,072 \text{ kN}$ ;  $N_{Ed} = -11,510 \text{ kN}$ ;

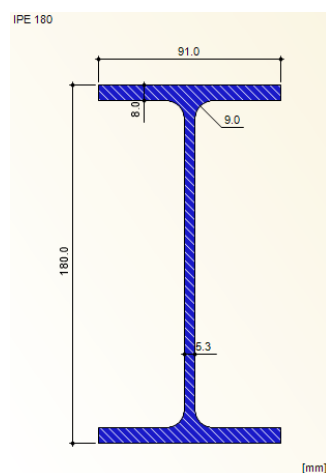
B - zatížení Z<sup>-</sup>  $M_{y,Ed} = -6,390 \text{ kNm}$ ;  $V_{Ed} = 4,260 \text{ kN}$ ;  $N_{Ed} = 0 \text{ kN}$ ;

##### MSP

A - zatížení Z<sup>+</sup>  $u_z = 22,0 \text{ mm}$

$$w_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24,0 \text{ mm} \geq w_z = 22,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

##### IPE180



$$A = 2,395 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,317 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4; I_z = 1,009 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4;$$

$$I_t = 4,790 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = 1,664 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3; W_{pl,z} = 3,460 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

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

$$E = 210 \text{ GPa}; G = 81 \text{ GPa}$$

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

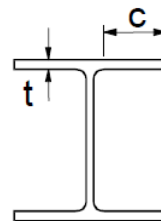
### Zatřídění průřezu IPE180

#### Pásnice - tlačená část

$$c = 33,8 \text{ mm}; t = 8,0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

$$\frac{33,8}{8,0} = 4,230 \leq 9 \cdot 0,814 = 7,326 \Rightarrow \text{TŘÍDA Č. 1}$$

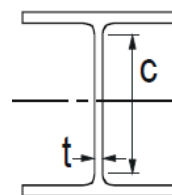


#### Stojina - ohýbaná část

$$c = 146 \text{ mm}; t = 5,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$\frac{146}{5,3} = 27,55 \leq 72 \cdot 0,814 = 58,608 \Rightarrow \text{TŘÍDA Č. 1}$$



#### Posouzení na ohybový moment a osovou tlakovou sílu

Střešní plášť je považován za tuhý  $\Rightarrow$  při zatížení ve směru osy  $Z^+$  nevzniká ztráta stability klopením

Pruty namáhané kombinací ohybu a osového tlaku mají splňovat podmínky:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{11,510 \cdot 10^3}{0,624 \cdot 850,225 \cdot 10^3}}{1,0} + 0,966 \cdot \frac{\frac{22,608 \cdot 10^3 + 0,0}{1,0 \cdot 59,072 \cdot 10^3}}{1,0} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{0,0 + 0,0}{12,283 \cdot 10^3}}{1,0} \leq 1,0$$

$$0,039 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{11,510 \cdot 10^3}{0,624 \cdot 850,225 \cdot 10^3}}{1,0} + 0,580 \cdot \frac{\frac{22,608 \cdot 10^3 + 0,0}{1,0 \cdot 59,072 \cdot 10^3}}{1,0} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{0,0 + 0,0}{12,283 \cdot 10^3}}{1,0} \leq 1,0$$

$$0,28 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

kde:  $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$  jsou návrhové hodnoty tlakové síly a nejvyšších momentů k ose y-y a z-z, působící na prutu;

$M_{y,Ed}$ ,  $\Delta M_{y,Ed}$   $\Delta M_{z,Ed}$  momenty v důsledku posunu těžišťové osy

$\chi_y$  a  $\chi_z$  součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru

$\chi_{LT}$  součinitel klopení

$k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{zz}$  součinitele interakce

$$N_{Rk} = A_i \cdot f_y = 2,395 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 850,225 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,664 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 59,072 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 3,460 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6 = 12,283 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0 \text{ kNm}; \Delta M_{z,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

je zabráněno klopení  $\Rightarrow \chi_{LT} = 1,0$

### Y-Y

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,317 \cdot 10^{-5}}{6,0^2} = 758,232 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,395 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{758,232 \cdot 10^3}} = 1,059$$

$$\Phi_y = 0,5[1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5[1 + 0,21 \cdot (1,059 - 0,2) + 1,059^2]$$

$$\Phi_y = 1,151$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,151 + \sqrt{1,151^2 - 1,059^2}} = 0,624$$

### Z-Z

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,009 \cdot 10^{-6}}{3,0^2} = 232,363 \text{ kN}$$

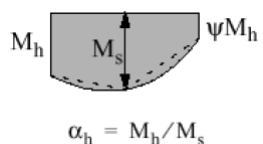
$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,395 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{232,363 \cdot 10^3}} = 1,913$$

$$\Phi_z = 0,5[1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5[1 + 0,34 \cdot (1,913 - 0,2) + 1,913^2]$$

$$\Phi_z = 2,621$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{2,621 + \sqrt{2,621^2 - 1,913^2}} = \mathbf{0,227}$$

**k<sub>yy</sub>**



$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{22,608} = 0,0$$

$\alpha_h = M_h / M_s$

rovnorné zatížení -  $C_{my} = 0,95 + 0,05\alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,0 = \mathbf{0,95}$

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

$$0,95 \cdot \left( 1 + (1,059 - 0,2) \cdot \frac{11,510 \cdot 10^3}{\frac{0,624 \cdot 850,225 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq$$

$$\leq 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{11,510 \cdot 10^3}{\frac{0,624 \cdot 850,225 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$0,968 \leq 0,966 \Rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0,966}$$

**k<sub>zy</sub>**

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,966 = \mathbf{0,580}$$

### Posouzení na ohybový moment od sání větru

Při zatížení ve směru osy Z vzniká ve spodních vláknech tlakové napětí => nutno posoudit na ztrátu stability klopením.

### Únosnost na klopení:

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

$$\frac{6,390}{13,114} = 0,49 \leq 1,0 \Rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

kde:  $M_{Ed}$  - návrhová hodnota ohybového momentu

$M_{b,Rd}$  - návrhový moment únosnosti nosníku při klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,222 \cdot 1,664 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{1,0} = \mathbf{13,114 \text{ kNm}}$$

kde:  $\chi_{LT}$  - součinitel klopení

$W_y$  - příslušný průřezový modul, který se určí následovně

$W_y = W_{pl,y}$  pro průřezy třídy 1. nebo 2.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{2,517 + \sqrt{2,517^2 - (0,75 \cdot 2,123^2)}} = \mathbf{0,24}$$

$$\text{ale } \left\{ \chi_{LT} \leq 1,0 ; \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{2,123^2} = 0,222 \right\} \Rightarrow \chi_{LT} = \mathbf{0,222}$$

$$\text{=kde: } \phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,340 \cdot (2,123 - 0,2) + 0,75 \cdot 2,123^2] = \mathbf{2,517}$$

kde:  $\alpha_{LT}$  je součinitel imperfekce při klopení

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

$$\beta = 0,75$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,664 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{13,103 \cdot 10^3}} = \mathbf{2,123}$$

$M_{cr}$  je pružný kritický moment při klopení

Křivka klopení válcovaných I průřezů

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = \mathbf{1,978} \leq 2 \Rightarrow \text{křivka klopení „b“} - \alpha_{LT} = 0,340$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

$$= 0,138 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 1,009 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 4,790 \cdot 10^{-7}}}{3,0}$$

$$= \mathbf{13,103 \text{ kNm}}$$

kde bezrozměrný kritický moment  $\mu_{cr}$  je

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{0,234}{1,0} \cdot \left[ \sqrt{1 + 0,210^2 + (0,460 \cdot 0,222 - 0,530 \cdot 0)^2} - (0,460 \cdot 0,222 - 0,530 \cdot 0) \right] = \mathbf{0,138}$$

bezrozměrný parametr kroucení

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 3,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 7,43 \cdot 10^{-9}}{81 \cdot 10^9 \cdot 4,790 \cdot 10^{-7}}} = \mathbf{0,210}$$

$k_w = 1,0$  není bráněno deplanaci

bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,09}{1,0 \cdot 3,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,009 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 4,79 \cdot 10^{-7}}} = \mathbf{0,222}$$

bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,0}{1,0 \cdot 3,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,009 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 4,79 \cdot 10^{-7}}} = \mathbf{0}$$

přičemž:

$k_z$  a  $k_w$  jsou součinitele vzpěrné délky

$k_z = 1,0$  - kloubově uloženo

$k_w = 1,0$  - kloubově uloženo

$L$  je délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny

$L = 3,0$  m

$C_1, C_2$ , a  $C_3$  jsou součinitele závisející na zatížení a podmínkách uložení konců (viz. tab.)

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{wt} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,210 = 0,234$$

$$C_2 = 0,460$$

$$C_3 = 0,530$$

$z_g$  souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = 0,09$$
 m

$z_j$  pro průřezy symetrické k ose y-y je  $z_j = 0$

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} \Rightarrow \psi_f = 0$$

$$I_{fc} = I_{ft} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,008 \cdot 0,091^3 = \mathbf{5,020 \cdot 10^{-7} m^4}$$

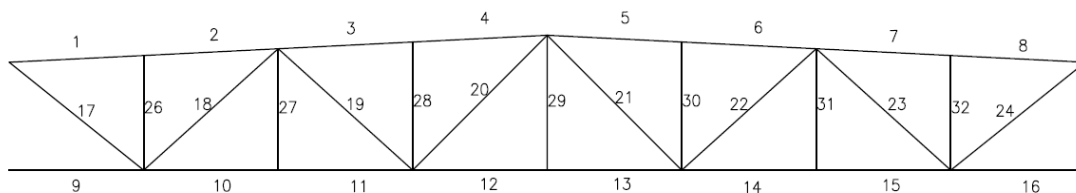
$$I_w = (1 - \psi_f^2) \cdot I_z \cdot \left(\frac{h_s}{2}\right)^2 = (1 - 0^2) \cdot 1,009 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{0,172}{2}\right)^2 = 7,43 \cdot 10^{-9} m^6$$

### 5.4.3. Posouzení prutů na osově síly

Vnitřní síly pro posudek jsou převzaty z obálky vnitřních sil z kombinace výsledků KV1

KV1 - viz. příloha

Číslování prutů



#### 5.4.3.1. Průřezové charakteristiky

| č. prutu  |       | profil       | I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ] | I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ] | A [mm <sup>2</sup> ] |
|-----------|-------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Horní pás | 1,8   | RHS 120x60x4 | 2490000                           | 831000                            | 1360                 |
|           | 2,7   | RHS 120x60x4 | 2490000                           | 831000                            | 1360                 |
|           | 3,6   | RHS 160x80x5 | 7440000                           | 2490000                           | 2270                 |
|           | 4,5   | RHS 160x80x5 | 7440000                           | 2490000                           | 2270                 |
| Dolní pás | 9,16  | RHS 120x80x5 | 3650000                           | 1930000                           | 1870                 |
|           | 10,15 | RHS 120x80x5 | 3650000                           | 1930000                           | 1870                 |
|           | 11,14 | RHS 120x80x5 | 3650000                           | 1930000                           | 1870                 |
|           | 12,13 | RHS 120x80x5 | 3650000                           | 1930000                           | 1870                 |
| Diagonály | 17,24 | RHS 60x60x4  | 454000                            | 454000                            | 879                  |
|           | 18,23 | RHS 80x80x4  | 1140000                           | 1140000                           | 1200                 |
|           | 19,22 | RHS 60x60x4  | 454000                            | 454000                            | 879                  |
|           | 20,21 | RHS 60x60x4  | 454000                            | 454000                            | 879                  |
| Svislice  | 26,32 | RHS 50x50x4  | 250000                            | 250000                            | 719                  |
|           | 27,31 | RHS 40x40x4  | 118000                            | 118000                            | 559                  |
|           | 28,3  | RHS 50x50x4  | 250000                            | 250000                            | 719                  |
|           | 29    | RHS 40x40x4  | 118000                            | 118000                            | 559                  |

## 5.4.3.2. Zatřídění průřezů

| ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZŮ DO TŘÍD |        |              |        |     |      |        |      |         |          |  |
|---------------------------|--------|--------------|--------|-----|------|--------|------|---------|----------|--|
| č. prutu                  | profil | c [mm]       | t [mm] | c/t |      |        | c/t  |         |          |  |
| Horní pás                 | 1,8    | RHS 120x60x4 | 108    | 4   | 27   | ≤ 38 ε | 27   | ≤ 30,93 | 2. třída |  |
|                           | 2,7    | RHS 120x60x4 | 108    | 4   | 27   | ≤ 38 ε | 27   | ≤ 30,93 | 2. třída |  |
|                           | 3,6    | RHS 160x80x5 | 145    | 5   | 29   | ≤ 38 ε | 29   | ≤ 30,93 | 2. třída |  |
|                           | 4,5    | RHS 160x80x5 | 145    | 5   | 29   | ≤ 38 ε | 29   | ≤ 30,93 | 2. třída |  |
| Dolní pás                 | 9,16   | RHS 120x80x5 | 108    | 5   | 21,6 | ≤ 38 ε | 21,6 | ≤ 30,93 | 2. třída |  |
|                           | 10,15  | RHS 120x80x5 | 108    | 5   | 21,6 | ≤ 38 ε | 21,6 | ≤ 30,93 | 2. třída |  |
|                           | 11,14  | RHS 120x80x5 | 108    | 5   | 21,6 | ≤ 38 ε | 21,6 | ≤ 30,93 | 2. třída |  |
|                           | 12,13  | RHS 120x80x5 | 108    | 5   | 21,6 | ≤ 38 ε | 21,6 | ≤ 30,93 | 2. třída |  |
| Diagonály                 | 17,24  | RHS 60x60x4  | 48     | 4   | 12   | ≤ 33 ε | 12   | ≤ 26,86 | 1. třída |  |
|                           | 18,23  | RHS 80x80x4  | 68     | 4   | 17   | ≤ 33 ε | 17   | ≤ 26,86 | 1. třída |  |
|                           | 19,22  | RHS 60x60x4  | 48     | 4   | 12   | ≤ 33 ε | 12   | ≤ 26,86 | 1. třída |  |
|                           | 20,21  | RHS 60x60x4  | 48     | 4   | 12   | ≤ 33 ε | 12   | ≤ 26,86 | 1. třída |  |
| Svislice                  | 26,32  | RHS 50x50x4  | 38     | 4   | 9,5  | ≤ 33 ε | 9,5  | ≤ 26,86 | 1. třída |  |
|                           | 27,31  | RHS 40x40x4  | 28     | 4   | 7    | ≤ 33 ε | 7    | ≤ 26,86 | 1. třída |  |
|                           | 28,3   | RHS 50x50x4  | 38     | 4   | 9,5  | ≤ 33 ε | 9,5  | ≤ 26,86 | 1. třída |  |
|                           | 29     | RHS 40x40x4  | 28     | 4   | 7    | ≤ 33 ε | 7    | ≤ 26,86 | 1. třída |  |

### 5.4.3.3. Ověření mezní štíhlosti

$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$ ; posudek proveden na měkou osu ( $z - z$ ) s většími vzpěrnými délkami

osa  $y - y$  automaticky **VYHOVÍ**

| POSOUZENÍ MEZNÍ ŠTÍHLOSTI |        |                |            |             |                 |         |
|---------------------------|--------|----------------|------------|-------------|-----------------|---------|
| č. prutu                  | profil | $L_{cr,z}$ [m] | $i_z$ [mm] | $\lambda_z$ | $\lambda_{lim}$ |         |
| Horní pás                 | 1,8    | RHS 120x60x4   | 3,004      | 24,7        | 121,62          | SPLNĚNO |
|                           | 2,7    | RHS 120x60x4   | 3,004      | 24,7        | 121,62          |         |
|                           | 3,6    | RHS 160x80x5   | 3,004      | 33,1        | 90,76           |         |
|                           | 4,5    | RHS 160x80x5   | 3,004      | 33,1        | 90,76           |         |
| Dolní pás                 | 9,16   | RHS 120x80x5   | 6,000      | 32,1        | 186,92          |         |
|                           | 10,15  | RHS 120x80x5   | 6,000      | 32,1        | 186,92          |         |
|                           | 11,14  | RHS 120x80x5   | 6,000      | 32,1        | 186,92          |         |
|                           | 12,13  | RHS 120x80x5   | 6,000      | 32,1        | 186,92          |         |
| Diagonály                 | 17,24  | RHS 60x60x4    | 3,842      | 22,7        | 169,25          |         |
|                           | 18,23  | RHS 80x80x4    | 4,036      | 30,9        | 130,61          |         |
|                           | 19,22  | RHS 60x60x4    | 4,036      | 22,7        | 177,80          |         |
|                           | 20,21  | RHS 60x60x4    | 4,243      | 22,7        | 186,92          |         |
| Svislice                  | 26,32  | RHS 50x50x4    | 2,550      | 18,6        | 137,10          |         |
|                           | 27,31  | RHS 40x40x4    | 2,700      | 14,5        | 186,21          |         |
|                           | 28,3   | RHS 50x50x4    | 2,850      | 18,6        | 153,23          |         |
|                           | 29     | RHS 40x40x4    | 3,000      | 14,5        | 206,90          |         |

### 5.4.3.4. Posouzení na vzpěr

- hodnoty návrhových sil z kombinace výsledků KV1

|               |      |     |
|---------------|------|-----|
| $\alpha =$    | 0,21 | -   |
| $E =$         | 210  | Gpa |
| $f_y =$       | 355  | Mpa |
| $\gamma_{M1}$ | 1,0  |     |

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}; \lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}; \alpha = 0,21 - \text{křivka vzpěrné pevnosti „a”}$$

| POSOUZENÍ TLAČENÝCH PRŮTŮ NA VZPĚR |       |                      |                       |                       |                        |                        |
|------------------------------------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| č. prutu                           |       | N <sub>ed</sub> [kN] | L <sub>cr,y</sub> [m] | L <sub>cr,z</sub> [m] | N <sub>cr,y</sub> [kN] | N <sub>cr,z</sub> [kN] |
| Horní pás                          | 1,8   | -122,804             | 3,004                 | 3,004                 | 571,898                | 190,862                |
|                                    | 2,7   | -122,788             | 3,004                 | 3,004                 | 571,898                | 190,862                |
|                                    | 3,6   | -233,321             | 3,004                 | 3,004                 | 1708,803               | 571,898                |
|                                    | 4,5   | -233,277             | 3,004                 | 3,004                 | 1708,803               | 571,898                |
| Dolní pás                          | 9,16  | 0,000                | 3,000                 | 6,000                 | 840,561                | 111,115                |
|                                    | 10,15 | -11,904              | 3,000                 | 6,000                 | 840,561                | 111,115                |
|                                    | 11,14 | -12,904              | 3,000                 | 6,000                 | 840,561                | 111,115                |
|                                    | 12,13 | 0,000                | 3,000                 | 6,000                 | 840,561                | 111,115                |
| Diagonály                          | 17,24 | -13,246              | 3,842                 | 3,842                 | 63,747                 | 63,747                 |
|                                    | 18,23 | -101,246             | 4,036                 | 4,036                 | 145,051                | 145,051                |
|                                    | 19,22 | -2,356               | 4,036                 | 4,036                 | 57,766                 | 57,766                 |
|                                    | 20,21 | -29,218              | 4,243                 | 4,243                 | 52,267                 | 52,267                 |
| Svislice                           | 26,32 | -30,380              | 2,550                 | 2,550                 | 79,685                 | 79,685                 |
|                                    | 27,31 | -0,025               | 2,700                 | 2,700                 | 33,549                 | 33,549                 |
|                                    | 28,3  | -30,136              | 2,850                 | 2,850                 | 63,792                 | 63,792                 |
|                                    | 29    | 0,000                | 3,000                 | 3,000                 | 27,174                 | 27,174                 |

| POSOUZENÍ TLAČENÝCH PRŮTŮ NA VZPĚR |       |                |                |                |                |                |                |                   |                                    |       |          |
|------------------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|------------------------------------|-------|----------|
| č. prutu                           |       | λ <sub>y</sub> | λ <sub>z</sub> | Φ <sub>y</sub> | Φ <sub>z</sub> | χ <sub>y</sub> | χ <sub>z</sub> | N <sub>b,Rd</sub> | N <sub>ed</sub> /N <sub>b,Rd</sub> |       |          |
| Horní pás                          | 1,8   | 0,919          | 1,590          | 0,998          | 1,910          | 0,72           | 0,34           | 164,152           | 0,75                               | ≤ 1,0 | VYHOVUJE |
|                                    | 2,7   | 0,919          | 1,590          | 0,998          | 1,910          | 0,72           | 0,34           | 164,152           | 0,75                               |       |          |
|                                    | 3,6   | 0,687          | 1,187          | 0,787          | 1,308          | 0,85           | 0,54           | 435,159           | 0,54                               |       |          |
|                                    | 4,5   | 0,687          | 1,187          | 0,787          | 1,308          | 0,85           | 0,54           | 435,159           | 0,54                               |       |          |
| Dolní pás                          | 9,16  | 0,889          | 2,444          | 0,968          | 3,722          | 0,74           | 0,15           | 99,578            | 0,00                               |       |          |
|                                    | 10,15 | 0,889          | 2,444          | 0,968          | 3,722          | 0,74           | 0,15           | 99,578            | 0,12                               |       |          |
|                                    | 11,14 | 0,889          | 2,444          | 0,968          | 3,722          | 0,74           | 0,15           | 99,578            | 0,13                               |       |          |
|                                    | 12,13 | 0,889          | 2,444          | 0,968          | 3,722          | 0,74           | 0,15           | 99,578            | 0,00                               |       |          |
| Diagonály                          | 17,24 | 2,212          | 2,212          | 3,158          | 3,158          | 0,18           | 0,18           | 56,168            | 0,24                               |       |          |
|                                    | 18,23 | 1,714          | 1,714          | 2,128          | 2,128          | 0,30           | 0,30           | 127,8             | 0,79                               |       |          |
|                                    | 19,22 | 2,324          | 2,324          | 3,424          | 3,424          | 0,17           | 0,17           | 53,048            | 0,04                               |       |          |
|                                    | 20,21 | 2,443          | 2,443          | 3,720          | 3,720          | 0,15           | 0,15           | 46,807            | 0,62                               |       |          |
| Svislice                           | 26,32 | 1,790          | 1,790          | 2,269          | 2,269          | 0,27           | 0,27           | 68,916            | 0,44                               |       |          |
|                                    | 27,31 | 2,432          | 2,432          | 3,692          | 3,692          | 0,15           | 0,15           | 29,767            | 0,00                               |       |          |
|                                    | 28,3  | 2,000          | 2,000          | 2,689          | 2,689          | 0,22           | 0,22           | 56,154            | 0,54                               |       |          |
|                                    | 29    | 2,702          | 2,702          | 4,413          | 4,413          | 0,13           | 0,13           | 25,798            | 0,00                               |       |          |

### 5.4.3.5. Posouzení na tah

Hodnoty návrhových sil z kombinace výsledků KV1

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

| POSOUZENÍ PRUTŮ NA TAH |        |                      |                      |                        |                                     |      |                          |
|------------------------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------|------|--------------------------|
| č. prutu               | profil | N <sub>ed</sub> [kN] | A [mm <sup>2</sup> ] | N <sub>t,Rd</sub> [kN] | N <sub>ed</sub> / N <sub>t,Rd</sub> |      |                          |
| Horní pás              | 1,8    | RHS 120x60x4         | 10,302               | 1360                   | 482,800                             | 0,02 | ≤<br>1,0<br><br>VYHOVUJE |
|                        | 2,7    | RHS 120x60x4         | 10,298               | 1360                   | 482,800                             | 0,02 |                          |
|                        | 3,6    | RHS 160x80x5         | 6,970                | 2270                   | 805,850                             | 0,01 |                          |
|                        | 4,5    | RHS 160x80x5         | 6,970                | 2270                   | 805,850                             | 0,01 |                          |
| Dolní pás              | 9,16   | RHS 120x80x5         | 0,000                | 1870                   | 663,850                             | 0,00 |                          |
|                        | 10,15  | RHS 120x80x5         | 196,897              | 1870                   | 663,850                             | 0,30 |                          |
|                        | 11,14  | RHS 120x80x5         | 196,897              | 1870                   | 663,850                             | 0,30 |                          |
|                        | 12,13  | RHS 120x80x5         | 236,630              | 1870                   | 663,850                             | 0,36 |                          |
| Diagonály              | 17,24  | RHS 60x60x4          | 157,144              | 879                    | 312,045                             | 0,50 |                          |
|                        | 18,23  | RHS 80x80x4          | 2,314                | 1200                   | 426,000                             | 0,01 |                          |
|                        | 19,22  | RHS 60x60x4          | 53,042               | 879                    | 312,045                             | 0,17 |                          |
|                        | 20,21  | RHS 60x60x4          | 16,435               | 879                    | 312,045                             | 0,05 |                          |
| Svislice               | 26,32  | RHS 50x50x4          | 8,120                | 719                    | 255,245                             | 0,03 |                          |
|                        | 27,31  | RHS 40x40x4          | 0,340                | 559                    | 198,445                             | 0,00 |                          |
|                        | 28,3   | RHS 50x50x4          | 4,841                | 719                    | 255,245                             | 0,02 |                          |
|                        | 29     | RHS 40x40x4          | 0,738                | 559                    | 198,445                             | 0,00 |                          |

### 5.4.4. Mezní stav použitelnosti

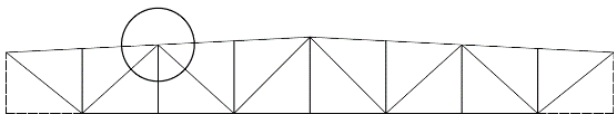
Výsledky posouzení na mezní stav použitelnosti totožný viz. příloha.

$$w_{lim} = \frac{L}{250} = 96 \text{ mm}$$

$$w_z = 25,0 \text{ mm}$$

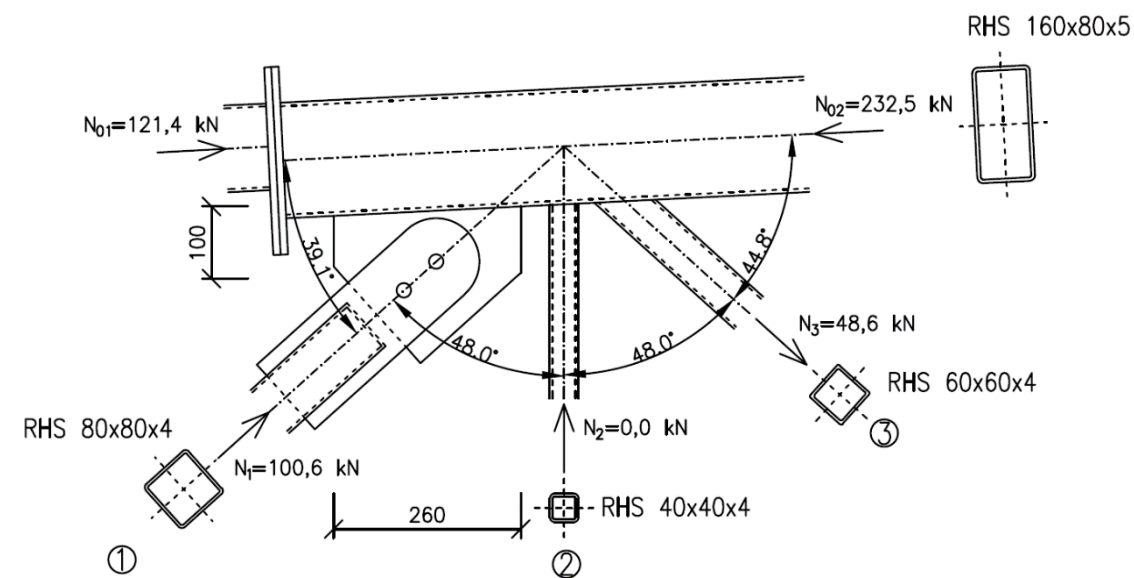
$$\frac{w_z}{w_{lim}} = \frac{25,0}{96} = 0,26 \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 5.4.5. STYČNÍK č. 5



#### 5.4.5.1. Geometrie

Vnitřní síly z kombinace KZ40



$$t_0 = 5 \text{ mm}; b_0 = 80 \text{ mm}; h_0 = 160 \text{ mm}; t_1 = t_2 = t_3 = 4 \text{ mm}$$

$$b_1 = h_1 = 80 \text{ mm}; b_2 = h_2 = 40 \text{ mm}; b_3 = h_3 = 60 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 39,12^\circ; \theta_2 = 87,12^\circ; \theta_3 = 44,85^\circ$$

$$f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = f_{y3} = 355 \text{ MPa}; \gamma_{M5} = 1,0$$

#### 5.4.5.2. Návrhové vnitřní síly

48,6

$$N_{01,Ed} = -121,4 \text{ kN}; M_{y,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{02,Ed} = -232,5 \text{ kN}; M_{y,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = -100,6 \text{ kN}; M_{y,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{y,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = 48,6 \text{ kN}; M_{y,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

**5.4.5.3. Tabulka 7.8 - Rozsah platnosti svařovaných styčníků  
mezipásových prutu z RHS a pásů z RHS, styčník K s mezerou**

$$30^\circ \leq \theta_2 = 87,12^\circ \leq 150^\circ \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$30^\circ \leq \theta_3 = 44,85^\circ \leq 150^\circ \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_2/b_0 = 40/80 = \mathbf{0,50} \quad \geq 0,25 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_3/b_0 = 60/80 = \mathbf{0,75} \quad \geq 0,35 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$\frac{b_3}{b_0} \geq 0,1 + 0,01 \cdot \frac{b_0}{t_0}$$

$$\frac{60}{80} \geq 0,1 + 0,01 \cdot \frac{80}{5}$$

$$\mathbf{0,75 \geq 0,26} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_2/t_2 = 40/4 = \mathbf{10,00} \quad \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$h_2/t_2 = 40/4 = \mathbf{10,00} \quad \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

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

$$c_2/t_2 = 28/4 = \mathbf{7,00} \quad \leq 33\varepsilon = 26,86$$

$$\Rightarrow \text{třída 1} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_3/t_3 = 60/4 = \mathbf{15,00} \quad \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$h_3/t_3 = 60/4 = \mathbf{15,00} \quad \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} \leq 2,0$$

$$0,5 \leq \frac{160}{80} \leq 2,0$$

$$\underline{0,5 \leq 2,0 \leq 2,0} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$0,5 \leq \frac{h_2}{b_2} \leq 2,0$$

$$0,5 \leq \frac{40}{40} \leq 2,0$$

$$\underline{0,5 \leq 1,0 \leq 2,0} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$0,5 \leq \frac{h_3}{b_3} \leq 2,0$$

$$0,5 \leq \frac{60}{60} \leq 2,0$$

$$0,5 \leq 1,0 \leq 2,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_0/t_0 = 80/5 = \mathbf{16,00} \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$h_0/t_0 = 160/5 = \mathbf{32,00} \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$c_3/t_3 = 48/4 = \mathbf{12,00} \leq 33\varepsilon = 26,86$$

$$\Rightarrow \text{třída 1} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$\beta = \frac{b_2 + h_2 + b_3 + h_3}{4 \cdot b_0} = \frac{40 + 40 + 60 + 60}{4 \cdot 80} = \mathbf{0,625}$$

$$0,5 \cdot (1 - \beta) \leq g_{2,3} / b_0 \leq 1,5 \cdot (1 - \beta)$$

$$0,5 \cdot (1 - 0,625) \leq 22,0 / 80 \leq 1,5 \cdot (1 - 0,625)$$

$$0,188 \leq \mathbf{0,275} \leq 0,563 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$g_{2,3} \geq t_1 + t_2$$

$$\mathbf{22,0} \geq 4 + 4 = 8 \quad \text{SPLNĚNO}$$

#### 5.4.5.4. Tabulka 7.9 - Doplnující podmínky pro použití tabulky 7.10

$$b_2/b_0 = 40/80 = \mathbf{0,50} \leq 0,85 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_0/t_0 = 80/5 = \mathbf{16,00} \geq 10,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$0,6 \leq \frac{b_2 + b_3}{2 \cdot b_2} \leq 1,3$$

$$0,6 \leq \frac{40 + 60}{2 \cdot 40} \leq 1,3$$

$$0,6 \leq \mathbf{1,25} \leq 1,3 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_0/t_0 \geq 15$$

$$80/5 \geq 15$$

$$\mathbf{16,00} \geq 15 \quad \text{SPLNĚNO}$$

**5.4.5.5. Porušení povrchu pásu  $\beta \leq 1,0$ ; od prutu č.3**

$$N_{3,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_1} \cdot \left( \frac{b_2 + b_3}{2 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} =$$

$$= \frac{\frac{8,9 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,005^2 \cdot \sqrt{8}}{\sin 44,85^\circ} \cdot \left( \frac{40 + 60}{2 \cdot 80} \right)}{1,0} = \mathbf{197,988 \text{ kN}}$$

$$n = \frac{\frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{102,42}{355}}{1,0} = 0,289 \Rightarrow k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,291}{0,625}$$

$$= \mathbf{1,11} \quad \text{ale} \quad k_n \leq 1,0 \Rightarrow \mathbf{k_n = 1,0}$$

$$\beta = \frac{b_2 + b_3 + h_2 + h_3}{4 \cdot b_0} = \frac{40 + 60 + 40 + 60}{4 \cdot 80} = \mathbf{0,625}$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{232,5 \cdot 10^3}{2270 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,0}{W_{el,0}} = \mathbf{-102,42 \text{ MPa}}$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{80}{2 \cdot 5} = \mathbf{8}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{48,6}{197,988} = \mathbf{0,245 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

**Posouzení:**

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$100,6 \cdot \sin 39,12^\circ + 0,0 \cdot \sin 87,12^\circ \leq 197,988 \cdot \sin 39,12^\circ$$

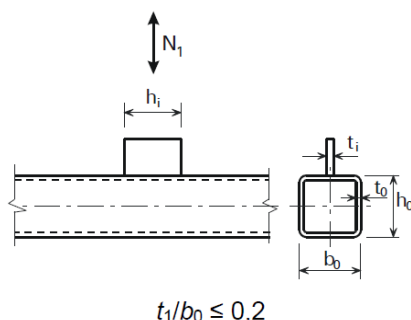
$$63,47 \text{ kN} \leq 124,92 \text{ kN} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$48,6 \cdot \sin 44,85^\circ \leq 197,988 \cdot \sin 39,12^\circ$$

$$34,28 \text{ kN} \leq 124,92 \text{ kN} \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

#### 5.4.5.6. Podélný plech - porušení povrchu pásu od prutu č. 1



$$t_1/b_0 \leq 0,2$$

$$5/80 = 0,063 \leq 0,2 \dots \text{ SPLNĚNO}$$

$$h_i = 260 \text{ mm}; t_i = 10 \text{ mm}; \theta_1 = 39,12^\circ$$

$$t_1/b_0 \leq 0,2$$

$$N_1 = N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 = 100,6 \cdot \sin 39,12 = \mathbf{63,470 \text{ kN}}$$

$$n = \frac{\frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{53,480}{355}}{1,0} = -0,151 \Rightarrow k_m = 1,3 \cdot (1 - n) = 1,3 \cdot (1 - 0,151)$$

$$= \mathbf{1,10} \quad \text{ale} \quad k_m \leq 1,0 \Rightarrow \mathbf{k_m = 1,0}$$

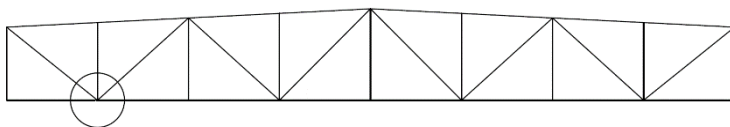
$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{-121,4 \cdot 10^3}{2270 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,0}{W_{el,0}} = \mathbf{-53,480 \text{ MPa}}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_m \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \left( 2 \cdot \frac{h_1}{b_0} + 4 \cdot \sqrt{1 - t_i/b_0} \right)}{\gamma_{M5}} =$$

$$= \frac{1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,005^2 \cdot \left( 2 \cdot \frac{0,26}{0,08} + 4 \cdot \sqrt{1 - 0,01/0,08} \right)}{1,0} = \mathbf{90,895 \text{ kN}}$$

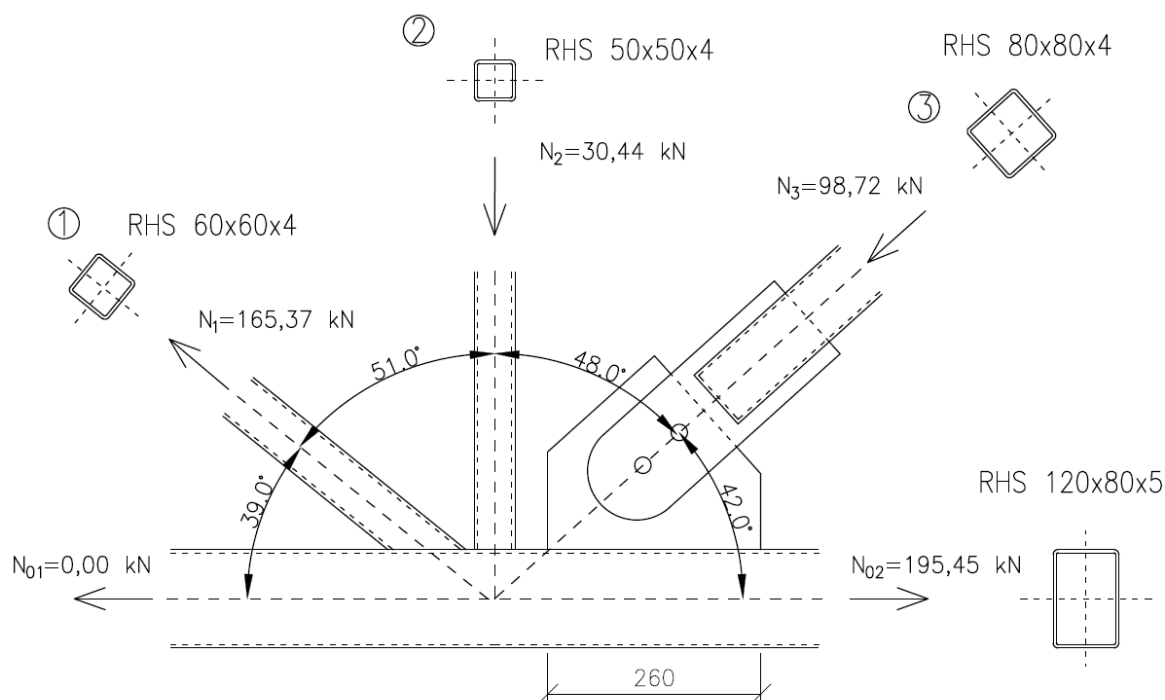
$$\frac{N_1}{N_{1,Rd}} = \frac{63,473}{90,895} = \mathbf{0,70 \leq 1,0 \dots \text{ VYHOVUJE}}$$

### 5.4.6. STYČNÍK č.12



#### 5.4.6.1. Geometrie

Vnitřní síly z kombinace KZ46



$$t_0 = 5 \text{ mm}; b_0 = 80 \text{ mm}; h_0 = 120 \text{ mm}; t_1 = t_2 = t_3 = 4 \text{ mm}$$

$$b_1 = h_1 = 60 \text{ mm}; b_2 = h_2 = 50 \text{ mm}; b_3 = h_3 = 80 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 38,66^\circ; \theta_2 = 90,00^\circ; \theta_3 = 41,99^\circ$$

$$f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = f_{y3} = 355 \text{ MPa}; \gamma_{M5} = 1,0$$

#### 5.4.6.2. Návrhové vnitřní síly

$$N_{01,Ed} = 0,00 \text{ kN}; M_{y,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{02,Ed} = 195,45 \text{ kN}; M_{y,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 165,37 \text{ kN}; M_{y,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = -30,44 \text{ kN}; M_{y,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = -98,72 \text{ kN}; M_{y,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

**5.4.6.3. Tabulka 7.8 - Rozsah platnosti svařovaných styčnicků  
mezipásových prutu z RHS a pásů z RHS, styčnick K s mezerou**

$$30^\circ \leq \theta_1 = 38,66^\circ \leq 150^\circ \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$30^\circ \leq \theta_2 = 90,00^\circ \leq 150^\circ \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_1/b_0 = 60/80 = \mathbf{0,75} \quad \geq 0,35 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_2/b_0 = 50/80 = \mathbf{0,625} \quad \geq 0,25 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$\frac{b_1}{b_0} \geq 0,1 + 0,01 \cdot \frac{b_0}{t_0}$$

$$\frac{60}{80} \geq 0,1 + 0,01 \cdot \frac{80}{5}$$

$$\mathbf{0,75 \geq 0,26} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_2/t_2 = 50/4 = \mathbf{12,50} \quad \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$h_2/t_2 = 50/4 = \mathbf{12,50} \quad \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

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

$$c_2/t_2 = 38/4 = \mathbf{9,50} \quad \leq 33\varepsilon = 26,86$$

$$\Rightarrow \text{třída 1} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_1/t_1 = 60/4 = \mathbf{15,00} \quad \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$h_1/t_1 = 60/4 = \mathbf{15,00} \quad \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} \leq 2,0$$

$$0,5 \leq \frac{120}{80} \leq 2,0$$

$$\underline{0,5 \leq 1,5 \leq 2,0} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$0,5 \leq \frac{h_1}{b_1} \leq 2,0$$

$$0,5 \leq \frac{60}{60} \leq 2,0$$

$$\underline{0,5 \leq 1,0 \leq 2,0} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$0,5 \leq \frac{h_2}{b_2} \leq 2,0$$

$$0,5 \leq \frac{50}{50} \leq 2,0$$

---


$$0,5 \leq 1,0 \leq 2,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_0/t_0 = 80/5 = \mathbf{16,00} \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$h_0/t_0 = 120/5 = \mathbf{24,00} \leq 35,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$c_1/t_1 = 48/4 = \mathbf{12,00} \leq 33\varepsilon = 26,86$$

$$\Rightarrow \text{třída 1} \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} = \frac{60 + 50 + 60 + 50}{4 \cdot 80} = \mathbf{0,688}$$

$$0,5 \cdot (1 - \beta) \leq g_{1,2} / b_0 \leq 1,5 \cdot (1 - \beta)$$

$$0,5 \cdot (1 - 0,688) \leq 20,0 / 80 \leq 1,5 \cdot (1 - 0,688)$$

---


$$0,156 \leq \mathbf{0,250} \leq 0,468 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$g_{1,2} \geq t_1 + t_2$$

---


$$\mathbf{20,0} \geq 4 + 4 = 8 \quad \text{SPLNĚNO}$$

#### 5.4.6.4. Tabulka 7.9 - Doplnující podmínky pro použití tabulky 7.10

$$b_2/b_0 = 40/80 = \mathbf{0,50} \leq 0,85 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_0/t_0 = 80/5 = \mathbf{16,00} \geq 10,0 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} \leq 1,3$$

$$0,6 \leq \frac{60 + 50}{2 \cdot 60} \leq 1,3$$

$$0,6 \leq \mathbf{0,92} \leq 1,3 \quad \text{SPLNĚNO}$$

$$b_0/t_0 \geq 15$$

$$80/5 \geq 15$$

$$\mathbf{16,00} \geq 15 \quad \text{SPLNĚNO}$$

**5.4.6.5. Porušení povrchu pásu  $\beta \leq 1,0$ ; od prutu č.1,2**

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_1} \cdot \left( \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} =$$

$$= \frac{\frac{8,9 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,005^2 \cdot \sqrt{8}}{\sin 38,66^\circ} \cdot \left( \frac{60 + 50}{2 \cdot 80} \right)}{1,0} = 245,870 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_2} \cdot \left( \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M5}} =$$

$$= \frac{\frac{8,9 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,005^2 \cdot \sqrt{8}}{\sin 90,00^\circ} \cdot \left( \frac{60 + 50}{2 \cdot 80} \right)}{1,0} = 153,594 \text{ kN}$$

$$n = \frac{\frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{104,519}{355}}{1,0} = 0,294 \Rightarrow k_n = 1,0 \dots \text{ pro tah}$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{195,45 \cdot 10^3}{1870 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,0}{W_{el,0}} = 104,519 \text{ MPa}$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{80}{2 \cdot 5} = 8$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{165,37}{245,870} = 0,67 \leq 1,0 \dots \text{ VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{2,Ed}}{N_{2,Rd}} = \frac{30,44}{153,594} = 0,20 \leq 1,0 \dots \text{ VYHOVUJE}$$

**Posouzení:**

$$N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3 + N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$98,72 \cdot \sin 41,99^\circ + 30,44 \cdot \sin 90,00^\circ \leq 245,870 \cdot \sin 38,66^\circ$$

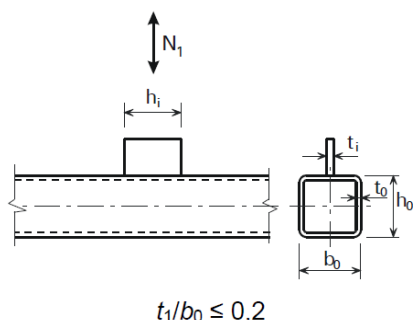
$$90,463 \text{ kN} \leq 153,594 \text{ kN} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$98,72 \cdot \sin 38,66^\circ \leq 245,870 \cdot \sin 38,66^\circ$$

$$61,670 \text{ kN} \leq 153,594 \text{ kN} \dots \text{ VYHOVUJE}$$

#### 5.4.6.6. Podélný plech - porušení povrchu pásu od prutu č. 3



$$t_3/b_0 \leq 0,2$$

$$5/80 = 0,063 \leq 0,2 \dots \text{ SPLNĚNO}$$

$$h_i = 260 \text{ mm}; t_i = 10 \text{ mm}; \theta_3 = 41,99^\circ$$

$$t_1/b_0 \leq 0,2$$

$$N_3 = N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_1 = 98,72 \cdot \sin 41,99 = \mathbf{66,04 \text{ kN}}$$

$$n = \frac{\frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{104,519}{355}}{1,0} = 0,294 \Rightarrow k_m = 1,3 \cdot (1 - n) = 1,3 \cdot (1 - 0,294)$$

$$= \mathbf{0,92} \quad \text{ale} \quad k_m \leq 1,0 \Rightarrow \mathbf{k_m = 0,92}$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{195,45 \cdot 10^3}{1870 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,0}{W_{el,0}} = \mathbf{104,519 \text{ MPa}}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{k_m \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \left( 2 \cdot \frac{h_1}{b_0} + 4 \cdot \sqrt{1 - t_i/b_0} \right)}{\gamma_{M5}} =$$

$$= \frac{0,92 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,005^2 \cdot \left( 2 \cdot \frac{0,26}{0,08} + 4 \cdot \sqrt{1 - 0,01/0,08} \right)}{1,0} = \mathbf{83,62 \text{ kN}}$$

$$\frac{N_3}{N_{3,Rd}} = \frac{66,04}{83,62} = \mathbf{0,79 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

#### 5.4.6.7. Posouzení svaru diagonály 1 na dolní pás

$$N_{1,Ed} = 165,37 \text{ kN}; \text{ RHS } 60 \times 60 \times 4; \theta_1 = 38,66^\circ$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}; \beta_w = 0,9; \gamma_{M2} = 1,25$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 4 = 4,4 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a = 3 \text{ mm} \leq a_{max} = 4,4 \text{ mm} \dots \text{ SPLNĚNO}$$

$$L = 2 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0 = 2 \cdot 60 + 2 \cdot 60 = 240 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 240 \cdot 3 = 720 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{165,37 \cdot 10^3 \cdot \sin 38,66^\circ}{720 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{2}} = \mathbf{101,456 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A} = \frac{165,37 \cdot 10^3 \cdot \cos 38,66^\circ}{720 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{179,350 \text{ MPa}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{101,456^2 + 3 \cdot 101,456^2 + 3 \cdot 179,350^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$\mathbf{371,043 \text{ MPa} \leq 435,556 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

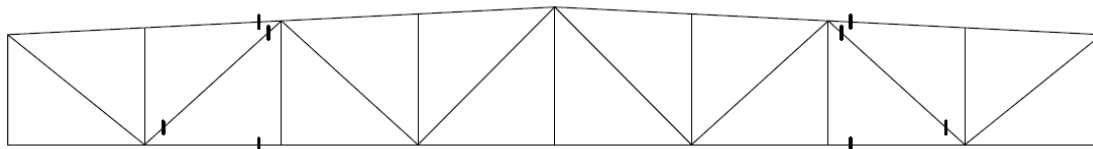
$$101,456 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$\mathbf{101,456 \text{ MPa} \leq 352,8 \text{ MPa} \quad \dots \text{VYHOVUJE}}$$

## 5.5. Tabulka hmotnosti použitých prutů

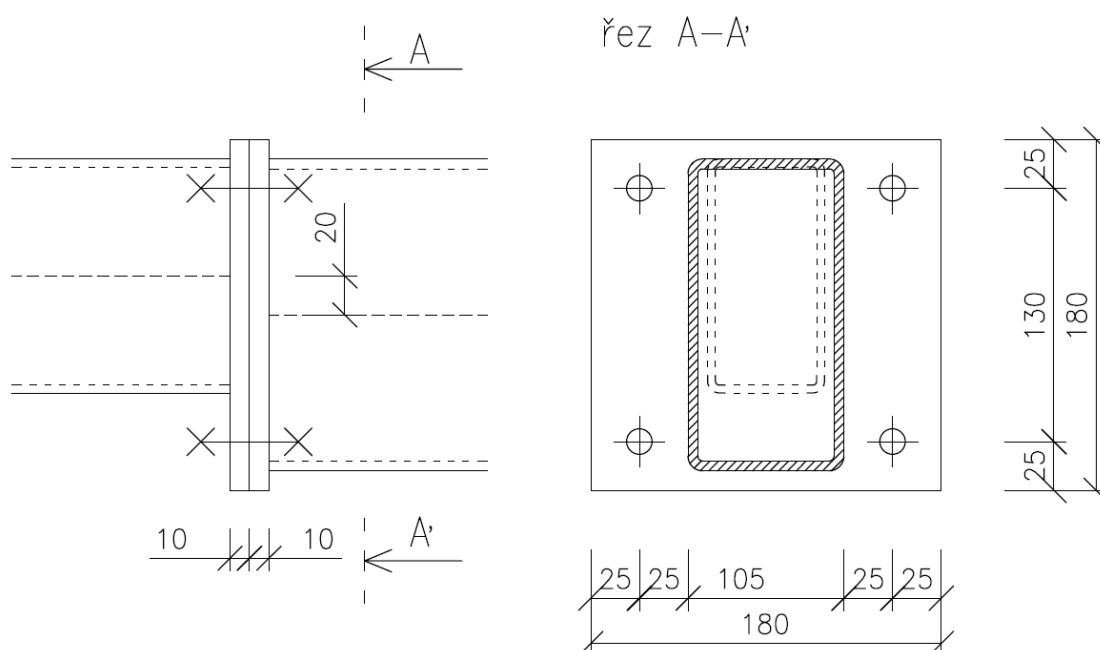
| č. prutu         |       | normálová síla $N_{ed}$ [kN] |         | navržený průřez | celková délka prutu [m] | hmotnost [t] |
|------------------|-------|------------------------------|---------|-----------------|-------------------------|--------------|
|                  |       | tlak                         | tah     |                 |                         |              |
| Horní pás        | 1,8   | -122,804                     | 10,302  | RHS 120x60x4    | 6,01                    | 0,064        |
|                  | 2,7   | -122,788                     | 10,298  | RHS 120x60x4    | 6,01                    | 0,064        |
|                  | 3,6   | -233,321                     | 6,970   | RHS 160x80x5    | 6,01                    | 0,107        |
|                  | 4,5   | -233,277                     | 6,970   | RHS 160x80x5    | 6,01                    | 0,107        |
| Dolní pás        | 9,16  | 0,000                        | 0,000   | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
|                  | 10,15 | -11,904                      | 196,897 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
|                  | 11,14 | -12,904                      | 196,897 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
|                  | 12,13 | 0,000                        | 236,630 | RHS 120x80x5    | 6,00                    | 0,089        |
| Diagonály        | 17,24 | -13,246                      | 157,144 | RHS 60x60x4     | 7,68                    | 0,053        |
|                  | 18,23 | -101,246                     | 2,314   | RHS 80x80x4     | 8,07                    | 0,076        |
|                  | 19,22 | -2,356                       | 53,042  | RHS 60x60x4     | 8,07                    | 0,056        |
|                  | 20,21 | -29,218                      | 16,435  | RHS 60x60x4     | 8,49                    | 0,059        |
| Svislice         | 26,32 | -30,380                      | 8,120   | RHS 50x50x4     | 5,10                    | 0,029        |
|                  | 27,31 | -0,025                       | 0,340   | RHS 40x40x4     | 5,40                    | 0,024        |
|                  | 28,30 | -30,136                      | 4,841   | RHS 50x50x4     | 5,70                    | 0,032        |
|                  | 29    | 0,000                        | 0,738   | RHS 40x40x4     | 3,00                    | 0,013        |
| Celková hmotnost |       |                              |         |                 |                         | <b>1,040</b> |

## 5.6. Montážní spoj



### 5.6.1. Montážní spoj horního pásu

Vnitřní síly z kombinace KZ86



4x šrouby M12 4.6

### Vnitřní síly

$N_{Ed} = 10,70 \text{ kN}$ ;  $M_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$ ;  $V_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$

### Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 12 \text{ mm}$ ;  $d_0 = 13 \text{ mm}$ ;  $d_m = 20,5 \text{ mm}$ ;  $t = 10 \text{ mm}$

$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$ ;  $f_{yb} = 240 \text{ MPa}$ ;  $A = 113 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$ ;  $f_u = 490 \text{ MPa}$

**Rozteče**

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 13 = 28,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 130 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 13 = 31,2 \text{ mm} \rightarrow p_2 = 130 \text{ mm}$$

Síla, kterou přenáší jeden šroub

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{10,70}{4} = 2,68 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 400 \cdot 84,3}{1,25} = 24,278 \text{ kN}$$

**5.6.1.1. Posouzení na vliv páčení****1. způsob: úplná plastifikace pásnice**

$$\sum l_{eff,1} = 180 \text{ mm}; t_f = 10 \text{ mm}; m = 25 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,180 \cdot 0,010^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1,598 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 1,598}{0,025} = 255,68 \text{ kN}$$

**2. způsob: porušení šroubu s plastifikací pásnice**

$$\sum l_{eff,2} = 180 \text{ mm}; t_f = 10 \text{ mm}; m = 25 \text{ mm}; n = 25 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,180 \cdot 0,010^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1,598 \text{ kNm}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 4 \cdot 24,278 = 97,112 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1,598 + 0,025 \cdot 97,112}{0,025 + 0,025} = 112,476 \text{ kN}$$

### 3. způsob: porušení šroubu

$$\sum F_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 4 \cdot 24,278 = 97,112 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 97,112 \text{ kN}$$

### POSOUZENÍ:

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{10,70}{4} = 2,68 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = F_{T,2,Rd} = 97,112 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd}} = \frac{2,68}{97,112} = 0,03 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

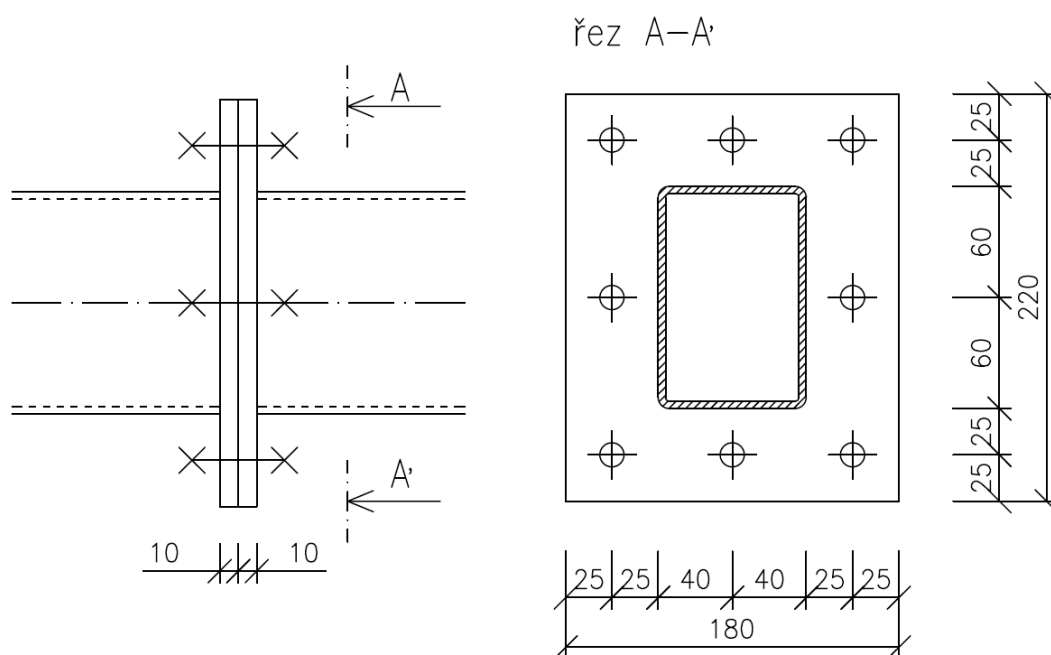
#### 5.6.1.2. Posouzení na protlačení

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 20,5 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = 151,475 \text{ kN}$$

$$\frac{F'_{t,Ed,1}}{B_{P,Rd}} = \frac{2,68}{151,475} = 0,02 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

#### 5.6.2. Montážní spoj dolního pásu

Vnitřní síly z kombinace KZ40



8x šrouby M16 5.8

## Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 196,2 \text{ kN}; M_{Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

## Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; d_m = 25,9 \text{ mm}; t = 10 \text{ mm}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 400 \text{ MPa}; A = 201 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2; f_u = 490 \text{ MPa}$$

## Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 65 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \rightarrow p_2 = 85 \text{ mm}$$

Síla, kterou přenáší jeden šroub

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{196,2}{8} = \mathbf{24,53 \text{ kN}}$$

Únosnost jednoho šroubu na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = \mathbf{56,520 \text{ kN}}$$

### 5.6.2.1. Posouzení na vliv páčení

#### 1. způsob: úplná plastifikace pásnice

$$\sum l_{eff,1} = 180 \text{ mm}; t_f = 10 \text{ mm}; m = 25 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,180 \cdot 0,010^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = \mathbf{1,598 \text{ kNm}}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 1,598}{0,025} = \mathbf{255,680 \text{ kN}}$$

#### 2. způsob: porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$\sum l_{eff,2} = 180 \text{ mm}; t_f = 10 \text{ mm}; m = 25 \text{ mm}; n = 25 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,180 \cdot 0,010^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1,598 \text{ kNm}$$

$$\sum F_{t,Rd} = 8 \cdot F_{t,Rd} = 8 \cdot 56,52 = 452,160 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1,598 + 0,025 \cdot 452,16}{0,025 + 0,025} = 119,432 \text{ kN}$$

### 3. způsob: porušení šroubu

$$\sum F_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 8 \cdot 56,52 = 452,160 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 452,160 \text{ kN}$$

### POSOUZENÍ:

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{196,2}{8} = 24,53 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = F_{T,2,Rd} = 119,432 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd}} = \frac{24,53}{119,432} = 0,21 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

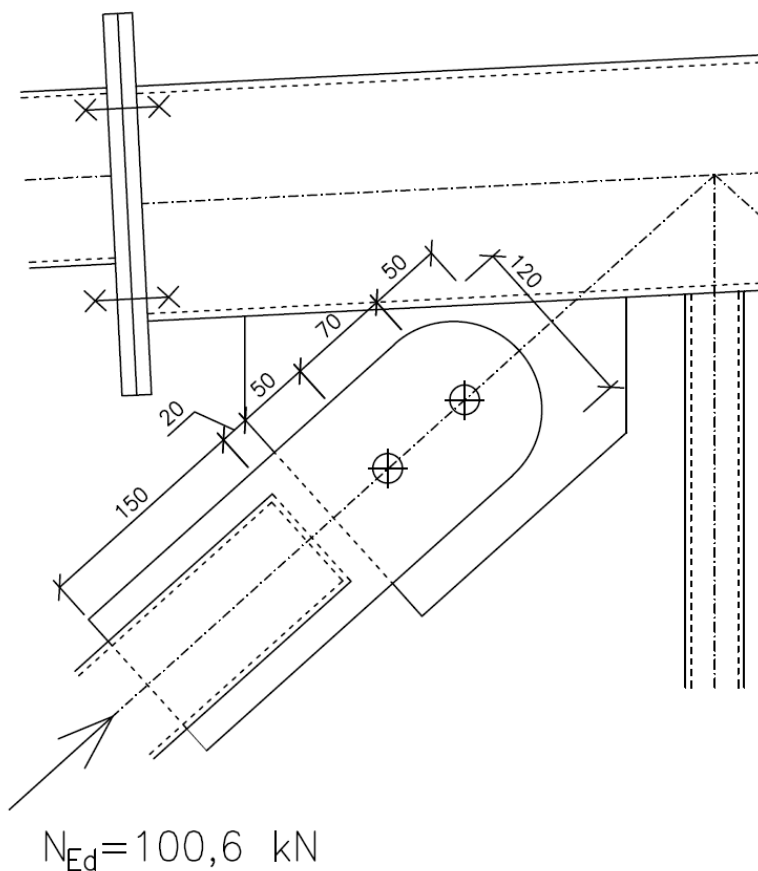
### 5.6.2.2. Posouzení na protlačení

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,9 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = 191,38 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{B_{P,Rd}} = \frac{24,53}{191,38} = 0,13 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 5.6.3. Montážní spoj diagonály vazníku

Vnitřní síly z kombinace KZ40



2x šrouby M16 8.8

#### Vnitřní síly

$N_{Ed} = 100,6 \text{ kN}$

#### Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; d_m = 25,9 \text{ mm}; t = 10 \text{ mm}$

$f_{ub} = 800 \text{ MPa}; f_{yb} = 640 \text{ MPa}; A = 201 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2; f_u = 490 \text{ MPa}$

#### Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 50 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 70 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 60 \text{ mm}$

**Posouzení na střih**

$$F_{v,1,Rd} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{100,6}{2} = \mathbf{50,30 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 157}{1,25} = \mathbf{60,288 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,1,Rd}}{F_{v,Rd}} = \frac{50,30}{60,288} = \mathbf{0,83 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

**Posouzení na otláčení materiálu**

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{f_{ub}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(9,33; -; 2,5) = \mathbf{2,5}$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,93; 1,05; 1,63; 1) = \mathbf{0,93}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,93 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 10}{1,25} = \mathbf{145,83 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,1,Rd}}{F_{b,Rd}} = \frac{50,3}{145,83} = \mathbf{0,35 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

## 6. Graf závislosti hmotnosti vazníku na jeho výšce

| výška [mm] | hmotnost [kg] |
|------------|---------------|
| 1800       | 1160          |
| 2400       | 1064          |
| 3000       | 1040          |
| 3600       | 1156          |
| 4200       | 1306          |
| 4800       | 1464          |



Z optimalizace jasně vyplývá, že nejvýhodnější volba výšky vazníku je  $1/8$  rozpětí vazníku, což odpovídá střední hodnotě intervalu, kterou udává odborná literatura.

### Seznam použitých zdrojů:

1. MACHÁČEK, Josef. *Navrhování ocelových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8 ; Navrhování hliníkových konstrukcí : příručka k ČSN EN 1999-1*. 1. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009, 180 s. Technická knižnice. ISBN 978-80-87093-86-3.
2. ČSN ISO 12 944. *Nátěrové hmoty*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
3. ČSN EN 1993-1-2. *Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla-Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
4. ČSN EN 1993-1-1. *Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla pro navrhování konstrukcí pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
5. ČSN EN 1993-1-8. *Navrhování ocelových konstrukcí: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
6. ČSN EN 1090-2. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí: Technické požadavky na ocelové konstrukce*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
7. ČSN EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
8. ČSN EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
9. ČSN EN 1991-1-3. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
10. ČSN EN 1991-1-1. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
11. MELCHER, Jindřich a Bohumil STRAKA. *Kovové konstrukce*. 2., nezm. vyd. Brno: VUT, 1980. Učební texty vysokých škol.
12. MAREK, Pavel. *Kovové konstrukce pozemních staveb*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.

13. HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-89-4.
14. HAYWARD, Alan, Frank. WEARE a Anthony OAKHILL. *Steel detailers' manual*. 2nd ed. / revised by Anthony Oakhill. Malden, MA: Blackwell Science, 2001.  
ISBN 0632055723.
15. WANKE, Josef a Luděk SPAL. *Ocelové trubkové konstrukce: určeno [také] studentům vys. techn. škol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975. Řada stavební literatury.
16. *Kingspan* [online]. 2016 [cit. 2016-01-23]. Dostupné z: <http://www.kingspan.cz/>
17. *Ferona* [online]. 2016 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/>
18. *Ocel* [online]. 2016 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <http://www.ocel.cz/>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

### Velká písmena

$A$  plná průřezová plocha šroubu

$A$  průřezová plocha

$A_s$  plocha šroubu účinná v tahu

$B_{P,Rd}$  návrhová smyková únosnost při protlačení hlavy nebo matice šroubu

$C_{dir}$  součinitel směru

$C_e$  součinitel expozice

$C_{mLT}$  součinitel ekvivalentního konstantního momentu

$C_{my}$  součinitel ekvivalentního konstantního momentu

$C_0(z)$  součinitel orografie

$C_{pe,10}$  součinitel tlaku

$C_r(z)$  součinitel drsnosti

$C_{season}$  součinitel ročního období

$F_{b,Rd}$  návrhová únosnost šroubu v otláčení

$F_{Ed}$  návrhová působící síla

$F_{t,Rd}$  návrhová únosnost šroub v tahu

$F_{V,Ed}$  návrhová smyková síla ve šroubu v mezním stavu únosnosti

$F_{V,Rd}$  návrhová únosnost šroubu ve střihu

$E$  modul pružnosti v tahu, tlaku

$G$  modul pružnosti ve smyku

$I_t$  moment setrvačnosti v kroucení

$I_v(z)$  intenzita turbulence

$I_w$  výsečový moment setrvačnosti

$I_y$  moment setrvačnosti průřezu k ose y

$I_z$  moment setrvačnosti průřezu k ose z

$L$  délka svaru

$L_{cr,T}$  vzpěrná délka při vybočení zkroucením

$L_{cr,y}$  kritická vzpěrná délka kolmo k ose y

$L_{cr,z}$  kritická vzpěrná délka kolmo k ose z

$M_{c,Rd}$  vrhová únosnost v ohybu

$M_{Ed}$  návrhový ohybový moment

$M_{Rk}$  charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu v ohybu

$N_{b,Rd}$  vzpěrná únosnost

$N_{cr}$  kritická síla

$N_{cr,y}$  pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose y

$N_{cr,z}$  pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose z

$N_{Ed}$  návrhová hodnota osově síly

$N_{Rk}$  charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osově síly

$N_{t,Rd}$  návrhová únosnost v tahu

$V_{E,d}$  návrhová smyková síla

$W_{el,y}$  elastický modul průřezu k ose z

$W_{el,z}$  elastický průřezový modul k ose z

$W_{pl,y}$  plastický modul průřezu k ose y

$W_{pl,z}$  plastický průřezový modul k ose z

## **Malá písmena**

$a$  účinná výška svaru

$b$  šířka průřezu

$d$  hloubka konstrukce (délka povrchu rovnoběžného se směrem větru)

$d$  výška rovné části stojiny

$d$  jmenovitý průměr šroubu

$d_0$  průměr otvoru pro šroub

$e$  vzdálenost šroubu od okraje

$f_y$  mez kluzu

$f_u$  mez pevnosti

$f_{ub}$  mez pevnosti materiálu šroubu

$h$  výška průřezu

$i_0$  polární poloměr setrvačnosti

$i_y$  poloměr setrvačnosti k ose y

$i_z$  poloměr setrvačnosti k ose z

$k_r$  součinitel terénu

$k_w$  součinitel vzpěrné délky

$k_{yy}$  součinitel interakce

$k_{yz}$  součinitel interakce

$k_z$  součinitel vzpěrné délky

$k_{zy}$  součinitel interakce

$k_{zz}$  součinitel interakce

$k_{\tau}$  součinitel napětí

$l_{eff}$  efektivní délka

$n$  počet stříhových rovin

$q_p(z)$  maximální hodnota dynamického tlaku větru

$s$  charakteristická hodnota zatížení sněhem (rovnoměrné spojitě zatížení)

$s_k$  základní tíha sněhu

$t$  tloušťka

$u$  průhyb

$w_{max}$  maximální hodnota průhybu

$v_{b,0}$  výchozí hodnota základní rychlosti větru

$v_m$  střední rychlost větru

$w$  tlak větru (rovnoměrné spojitě zatížení)

$z_0$  parametr drsnosti terénu

$z_{0,II}$  parametr drsnosti terénu

$z$  výška nad zemí

$z_{min}$  minimální výška

### **Velká řecká písmena**

$\Phi$  hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti

$\Phi_{LT}$  hodnota pro výpočet součinitele klopení

### **Malá řecká písmena**

$\alpha$  součinitel

$\alpha_{LT}$  součinitel imperfekce pro klopení

$\beta$  součinitel vzpěrné délky

$\beta_w$  korelační součinitel pro svary závislý na druhu oceli

$\gamma_{M0}$  dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

$\gamma_{M2}$  dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje

$\varepsilon$  součinitel závisející na  $f_y$

$\kappa_{wt}$  bezrozměrný parametr kroucení

$\lambda$  štíhlost

$\lambda_y$  štíhlost k ose y

$\lambda_z$  štíhlost k ose z

$\lambda_T$  poměrná štíhlost při klopení

$\lambda$  poměrná štíhlost při vybočení zkroucením

$\lambda_w$  poměrná štíhlost stěny

$\mu_{cr}$  bezrozměrný kritický moment

$\mu_i$  tvarový součinitel zatížení sněhem

$\pi$  Ludolfovo číslo

$\rho$  měrná hmotnost vzduchu

$\tau$  smykové napětí

$\chi_{LT}$  součinitel klopení

$\chi_T$  součinitel vzpěrnosti při prostorovém vzpěru

$\chi_y$  součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose y

$\chi_z$  součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose z

## **Seznam příloh:**

1. příloha C - programový výstup
2. příloha D - výkresová dokumentace