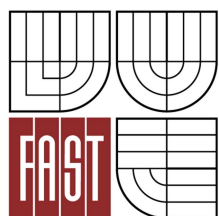




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## **VÝSTAVNÍ PAVILON**

EXHIBITION PAVILION

### **A – PRŮVODNÍ DOKUMENT**

#### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**KATEŘINA BYSTRIANSKÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.**

## **Obsah**

01 Titulní list

02 Zadání VŠKP

03 Abstrakt a klíčová slova

04 Bibliografická citace

05 Prohlášení o původnosti VŠKP

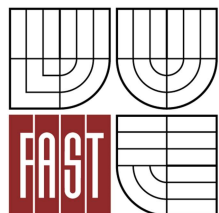
06 Poděkování

07 Seznam použité literatury

08 Obsah práce



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## VÝSTAVNÍ PAVILON

EXHIBITION PAVILION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

KATEŘINA BYSTRIANSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.

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

**Student** Kateřina Bystrianská

**Název** Výstavní pavilon

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

**Datum zadání  
bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání  
bakalářské práce** 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

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

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků

## Zásady pro vypracování

V rámci této práce bude navržena a posouzena ocelová konstrukce výstavního pavilonu v Brně. Minimální půdorysné rozměry objektu budou 30,0 x 50,0 m. Světla výška je stanovena na minimálně 10 m. Další rozměry vyplynou z architektonických a koncepčních požadavků na objekt, přičemž konkrétní konstrukce bude vybrána na základě optimalizovaného statického řešení.

Předepsanými přílohami budou:

- statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce, včetně spojů a některých detailů (dle specifikace vedoucího),
- technická zpráva (se zahrnutím postupu montáže),
- výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím práce (včetně výkazu prvků).

## 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).

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

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením ocelové konstrukce výstavního pavilonu v Brně. Rozpětí nosné konstrukce je 30,5 m, délka 53 m, výška v nejvyšším bodě 13,27 m. Hlavní konstrukční materiál je ocel S 355. Nosnou konstrukci tvoří sloupy a obloukový příhradový vazník. Vzdálenost jednotlivých příčných vazeb je 5 m. Je vypracován statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce včetně spojů a detailů.

## **Klíčová slova**

Ocelová konstrukce, příhradový vazník, kruhové trubky, obloukový vazník, výstavní pavilon

## **Abstract**

This Bachelor's thesis describes the design and assessment of steel structure of exhibition pavilion in Brno. The supporting structure of pavilion is 30,5 m span, 53 m length, clear height at the highest point is 13,27 m. Main construction material is steel, grade S355. The supporting structure consists of columns and arched truss girders. The distance of each cross links is 5 m. It is prepared statics calculation of the main load-bearing parts of the structure, including joints and details.

## **Keywords**

Steel structure, truss girder, circular tubes, arched girder, exhibition pavilion

### **Bibliografická citace VŠKP**

Kateřina Bystrianská *Výstavní pavilon*. Brno, 2016. 112 s., 50 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí.  
Vedoucí práce Ing. Michal Štrba, Ph.D.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 25.5.2016

.....  
podpis autora  
Kateřina Bystrianská

## **Poděkování**

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalu Štrbovi, Ph.D. za odborné vedení a poskytnuté rady a především za čas, který mi věnoval.

Kateřina Bystrianská

## Seznam použité literatury

### Normy

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků

### Internetové zdroje

- [7] Kingspan, Česká republika. . [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.kingspan.cz/>
- [8] Hilti. . [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/>

### Literatura

- [9] prof.Ing.HOLICKÝ, M., DrSc.,doc.Ing. MARKOVÁ, J.Ph.D., Ing.SÝKORA, M. Ph.D. *Zatížení stavebních konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1991*, Praha : ČKAIT, s.r.o., 2010, p. 132
- [10] prof.Ing. MACHÁČEK, J. DrSc. a kol. *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*, Praha: ČKAIT, s.r.o., 2009, p.184

## **Obsah práce**

### **A – Průvodní dokument**

- 01 Titulní list
- 02 Zadání VŠKP
- 03 Abstrakt a klíčová slova
- 04 Bibliografická citace
- 05 Prohlášení o původnosti VŠKP
- 06 Poděkování
- 07 Seznam použité literatury
- 08 Obsah práce

### **B – Technická zpráva**

### **C – Optimalizace příhradového vazníku**

### **D – Statický výpočet**

### **E – Výkresová dokumentace**

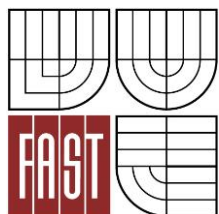
- 01 PŮDORYS
- 02 PŘÍČNÝ ŘEZ
- 03 VÝROBNÍ VÝKRES
- 04 KOTVENÍ

### **F – Přílohy**

- 01 KLÍČ KOMBINACÍ
- 02 MAXIMÁLNÍ VNITŘNÍ SÍLY NA POSUZOVANÝCH PRUTECH
- 03 POSOUZENÍ PRŮTŮ PROGRAMEM RFEM
- 04 KOTVENÍ SLOUPŮ



**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

## **VÝSTAVNÍ PAVILON**

EXHIBITION PAVILION

### **B – TECHNICKÁ ZPRÁVA**

#### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**KATEŘINA BYSTRIANSKÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.**



## 1 Obsah

|     |                                    |   |
|-----|------------------------------------|---|
| 1   | Úvod.....                          | 3 |
| 2   | Použité normativní dokumenty ..... | 3 |
| 3   | Materiály .....                    | 3 |
| 4   | Zatížení .....                     | 4 |
| 5   | Popis konstrukce .....             | 4 |
| 5.1 | Opláštění .....                    | 4 |
| 5.2 | Vazník .....                       | 5 |
| 5.3 | Vaznice.....                       | 5 |
| 5.4 | Ztužidla .....                     | 5 |
| 5.5 | Konstrukce 2.podlaží .....         | 6 |
| 5.6 | Sloupy .....                       | 6 |
| 5.7 | Kotvení .....                      | 6 |
| 6   | Povrchová úprava .....             | 7 |
| 7   | Údržba konstrukce .....            | 7 |
| 8   | Montáž .....                       | 7 |
| 9   | Výkaz materiálů.....               | 8 |

## 1 Úvod

V rámci této práce je navržena a posouzena ocelová konstrukce výstavního pavilonu v Brně. Půdorysné rozměry objektu jsou 30,5 x 53,0 m. Světlá výška je 13,27 m. Nosný systém tvoří příhradové obloukové vazníky kloubově uložené na jedné straně na sloupy a na druhé straně uložené na betonové patky. Na celou konstrukci je použita ocel S355. V rámci práce je řešena také optimalizace pásů příhradového vazníku.

## 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

## 3 Materiály

Hlavním materiálem prvků nosné konstrukce je ocel S355J0. Styčnickové plechy a čepové spoje jsou z téže oceli. Šrouby pro spojení jednotlivých prvků jsou pevnosti 4.8, 5.6 a 8.8.

## 4 Zatížení

Vlastní tíha jednotlivých prvků je generována programem Dlubal RSTAB 8.06.1103.

Ostatní stálé zatížení:

**střešní panely Kingspan** KS1000 TOP-DEK tl. 100 mm

hmotnost panelu:  $12,35 \text{ kg/m}^2 = 0,124 \text{ kN/m}^2$

**stěnové panely Kingspan** KS1000 AWP tl.100 mm

hmotnost panelu:  $12,77 \text{ kg/m}^2 = 0,128 \text{ kN/m}^2$

**stěnové prosvětlovací panely Kingspan** KS1000 WS

tl.38mm

hmotnost panelu:  $6,90 \text{ kg/m}^2 = 0,069 \text{ kN/m}^2$

Zatížení sněhem

sněhová oblast II

charakteristická hodnota zatížení sněhem  $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Zatížení větrem

větrná oblast II

výchozí základní rychlost větru  $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

kategorie terénu III

## 5 Popis konstrukce

### 5.1 Opláštění

Střešní plášť konstrukce je tvořen panely sendvičového typu. Skládají se z trapézových plechů tl. 0,5 mm a 0,4 mm. Tepelnou izolaci tvoří tuhá polyuretanová pěna. Trapézové plechy jsou oboustranně zároveň pozinkovány. Panely se ukládají na vaznice v podélném směru z důvodu malého poloměru vazníku. Staticky působí jako spojitý nosník o 3 polích. Spojují se pomocí šroubů umístěných na exteriérové straně. U stěnových panelů mají trapézové plechy tl. 0,6 mm a 0,4 mm. Tepelná izolace je opět z polyuretanové pěny. Panely se připojují k paždíkům.

## 5.2 Vazník

Obloukový příhradový vazník je navržen na rozpětí 30,5 m. Poloměry zaoblení jsou u horního pásu 20,7 m, u dolního pásu 18,9 m. Výška vazníku je 1,8 m.

Horní pás vazníku je rozdělen montážními spoji na tři části s proměnným průřezem v nejvíce namáhané části z uzavřených profilů Tr 4HR 120x120x6,3 mm a pro části vazníku s menším zatížením je použit uzavřený profil Tr 4HR 110x110x5,6. Dolní pásy vazníků jsou také proměnných průřezů a to v nejvíce namáhané části z uzavřeného profilu Tr 4HR 150x150x6,3 mm, dále pak z uzavřeného profilu Tr 4HR 140x140x6,3. Výplňové pruty vazníku tvoří trubkové profily. Vnitřní diagonály z profilu Tr 76,1x5 mm, krajní diagonály z profilu Tr 60,3x5 a svislice z Tr 38x5 mm. Pruty jsou k pásům připojeny pomocí koutových svarů. Vazníky jsou pomocí čepových spojů kloubově uloženy na sloupy a na druhé straně rozpětí kotveny do betonových patek. Profil pásu je uzavřen čelní deskou P6. Během montáže je nutno sestavit vazník ze tří montážních dílců. Jednotlivé délky horních pásů dílců jsou 12,076 m, 10,3 m a 14,625 m, dolních pásů 8,260 m, 9,810 m a 10,818 m. Spojení dílců zajišťují čelní desky z plechů P20 a šrouby M16 8.8.

## 5.3 Vaznice

Navrženy z uzavřeného profilu Tr 4HR 120x120x10. Vaznice mají délku 5 m a jsou kloubově spojeny s horními pásy vazníků pomocí úhelníků L 110/70/10 a šoubů. Na konci jsou profily vaznice uzavřeny čelní deskou P10 a kloubovým spojem. U čelní stěny tvoří vaznice převislý konec o délce 1,5 m s napojením na čelní sloupy.

## 5.4 Ztužidla

Podélné střešní ztužení konstrukce tvoří 4 řady příhradových ztužidel umístěných pod vaznicemi v řadách 2, 6, 10 a 13, vzdálených 10,316 m od sebe. Navržený profil Tr 48,3x4 mm. Ztužidlo je doplněno o profil Tr 4HR 70x70x4 mm mezi dolními pásy vazníků. Připojení ztužidla k vaznicím respektive k dolním pásům je pomocí plechů a šroubů. Střešní a stěnové příčné ztužidlo z plného kruhového profilu RD 8 je umístěno mezi vazníky A – B, E - F a J - K. Stejné profily jsou použity i u okapového ztužení. Tyto ztužidla jsou opatřeny napínáky. Diagonály ztužidel jsou v místě křížení

mimoběžné. Montážní spojení je opět pomocí plechů a šroubů. Příčná ztužidla druhého podlaží z profilu RD 12, také opatřena napínáky.

## 5.5 Konstrukce 2.podlaží

Konstrukci 2.podlaží tvoří spřažené stropnice profilu IPE 240, plech VSŽ 11 002 výšky 50 mm a betonové desky tl. 80 mm. Spřažení provedeno spřažovacími trny SD1 5.6 Ø19 mm. Stropnice jsou kloubově uloženy na průvlak o rozpětí 5 m z profilu IPE 330, který probíhá v řadách 1,3 a 5 na vnitřních sloupech objektu.

## 5.6 Sloupy

Hlavní sloupy, na kterých jsou uloženy vazníky A – K jsou navrženy z profilu HEB 550. Jejich uložení je modelováno jako kloubové v podélném směru a vetknutí v příčném směru. Vnitřní sloupy jsou z profilu IPE 240, kloubově uloženy. Sloupy čelních stěn jsou z profilu Tr OBD 180/100/5, nahoře jsou kloubově spojeny pomocí plechů a šroubů s vaznicemi předsazenými 1,5m před příčnou vazbu objektu. Podpory jsou modelovány jako kloubové.

## 5.7 Kotvení

Pro ukotvení hlavních sloupů HEB 550 jsou uvedeny dvě možné varianty. První je pomocí Hilti PROFIS Anchor 2.6.5 a to 4 mechanické kotvy HIT-RE 500+ HIT-V (8.8) M30. Patní plech o rozměrech 1500x500x30 mm. Základová patka z betonu C 25/30 o rozměrech 3050x2150 a hloubce 1000 mm. Druhou variantou je nosné kotvení a to patní plech o rozměrech 600x1500x300 doplněn výztuhami 220x1500x20 a 220x300x10. Základová patka z betonu C 25/30 o rozměrech 2000x1000x1000mm. Kotevní šrouby 4x M24 8.8.

Ukotvení vazníků je zajištěno čepovými spoji do patní desky tl. 10 mm pomocí mechanických kotev HIT-HY 200-A + HIT-V (5.8) M20. Půdorysné rozměry patní desky jsou 280x80 mm. Základová patka z betonu C 20/25 o rozměrech 1800x1100 a výšce 500mm.

Ukotvení čelních sloupů Tr OBD 180/100/5 pomocí 2 mechanických kotev HIT-HY 200-A + HIT-V (5.8) M8. Rozměry patního plechu jsou 175x250x8 mm, podlití 30mm. Rozměry patky jsou 275x330x100 mm.

Ukotvení vnitřních sloupů IPE 240 pomocí 2 mechanických kotev HIT-HY 200-A + HIT-Z M8. Rozměry patního plechu jsou 150x250x8 mm, podlití 20mm. Rozměry patky jsou 200x250x120 mm.

## **6 Povrchová úprava**

Všechny nátěry musí být provedeny v souladu s platnými normami. Ochrana proti korozi bude proveden základním nátěrem SikaCor Steel Protect VHS Rapid 80  $\mu\text{m}$  a vrchním nátěrem Sika CorroTop 60  $\mu\text{m}$ . Požadavkem pro nátěrový systém je dlouhá životnost.

Protipožární ochrana bude řešena aplikací protipožárních nátěrů nebo obkladů.

## **7 Údržba konstrukce**

Konstrukce musí být řádně udržována po celou dobu své životnosti. Stav konstrukce bude zjištěn odborně způsobilou osobou. Prohlídky jsou nutné minimálně jednou za 4 roky.

## **8 Montáž**

Pro konstrukci je stanovena třída provádění EXC3. Montáž lez provádět z obou konců zároveň.

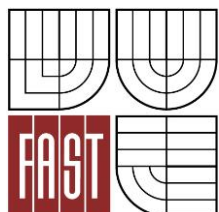
1. Výroba základových konstrukcí ze železobetonu.
2. Osazení kotvicích prvků pro upevnění sloupů a vazníků, zhotovení podlití na patkách a vyvrtání otvorů.
3. Montáž konstrukčních dílů vazníku do jednoho celku.
4. Vztyčení vazníků A-B a J-K zdvihací technikou a spojení pomocí čepů se sloupy a základy.
5. Připojení stěnových a střešních příčných ztužidel mezi vazníky A-B a J-K.
6. Připojení vaznic a dále vztyčování zbylých vazníků a připojování vaznic a podélných ztužidel z obou stran směrem ke středu budovy k vazníku F.
7. Připojení paždíků, osazení střešních a stěnových panelů + dokončovací práce.

## 9 Výkaz materiálů

| VÝKAZ MATERIÁLU |                           |                    |     |                      |                            |
|-----------------|---------------------------|--------------------|-----|----------------------|----------------------------|
| OZN.            | PRVEK                     | PRŮŘEZ             | KS  | CELKOVÁ<br>DÉLKA [m] | CELKOVÁ<br>HMOTNOST<br>[t] |
| 1               | vaznice                   | Tr 4HR 120/120/10  | 168 | 742,00               | 22,54                      |
| 2               | horní pás A               | Tr 4HR 120/120/6,3 | 13  | 146,90               | 3,25                       |
| 3               | horní pás B               | Tr 4HR 110/110/5,6 | 26  | 330,52               | 5,97                       |
| 4               | svislice                  | Tr 38/5            | 132 | 237,60               | 0,97                       |
| 5               | diagonála                 | Tr 76,1/5          | 121 | 392,37               | 3,45                       |
| 6               | krajní diagonála          | Tr 60,3/5          | 22  | 71,34                | 0,49                       |
| 7               | dolní pás A               | Tr 4HR 150/150/6,3 | 13  | 113,49               | 3,19                       |
| 8               | dolní pás B               | Tr 4HR 140/140/6,3 | 26  | 198,61               | 5,19                       |
| 9               | sloupy                    | HEB 550            | 11  | 110,00               | 21,94                      |
| 10              | průvlak                   | IPE 330            | 66  | 159,00               | 7,82                       |
| 11              | stropnice                 | IPE 240            | 44  | 234,77               | 7,21                       |
| 12              | vnitřní sloupy            | IPE 240            | 12  | 60,00                | 1,84                       |
| 13              | podélná ztužidla          | Tr 48,3/4          | 80  | 246,45               | 1,08                       |
| 14              | pás podélného<br>ztužidla | Tr 4HR 70/70/4     | 40  | 200,00               | 1,63                       |
| 15              | příčné ztužidlo           | RD 8               | 94  | 484,19               | 0,19                       |
| 16              | paždíky                   | Tr 4HR 80/80/5     | 160 | 482,01               | 5,56                       |
| 17              | čelní sloupy              | Tr OBD 180/100/5   | 12  | 131,73               | 2,76                       |
| 18              | uhelníky                  | L110/70/10         | 364 | 36,40                | 0,49                       |
| 19              | trapézový plech           | VSŽ 11 002         | -   | 0,00                 | 6,70                       |
| 20              | příčné ztužidlo - 2.NP    | RD 12              | 12  | 86,14                | 0,08                       |
|                 |                           |                    |     | <b>4463,52</b>       | <b>102,35</b>              |



**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

## **VÝSTAVNÍ PAVILON**

EXHIBITION PAVILION

### **C – OPTIMALIZACE PŘÍHRADOVÉHO VAZNÍKU**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**KATEŘINA BYSTRIANSKÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.**

BRNO 2016



# Obsah

|       |                                                   |   |
|-------|---------------------------------------------------|---|
| 1     | Konstrukční řešení vazníku .....                  | 3 |
| 1.1   | Základní konstrukční řešení .....                 | 3 |
| 1.1.1 | Využití jednotlivých prutů vazníku .....          | 3 |
| 1.2   | Odstupňování průřezu horního a dolního pásu ..... | 4 |
| 1.2.1 | Využití jednotlivých prutů vazníku .....          | 4 |
| 2     | Spotřeba oceli .....                              | 5 |
| 2.1   | Základní konstrukční řešení .....                 | 5 |
| 2.2   | Odstupňovaný průřez .....                         | 5 |

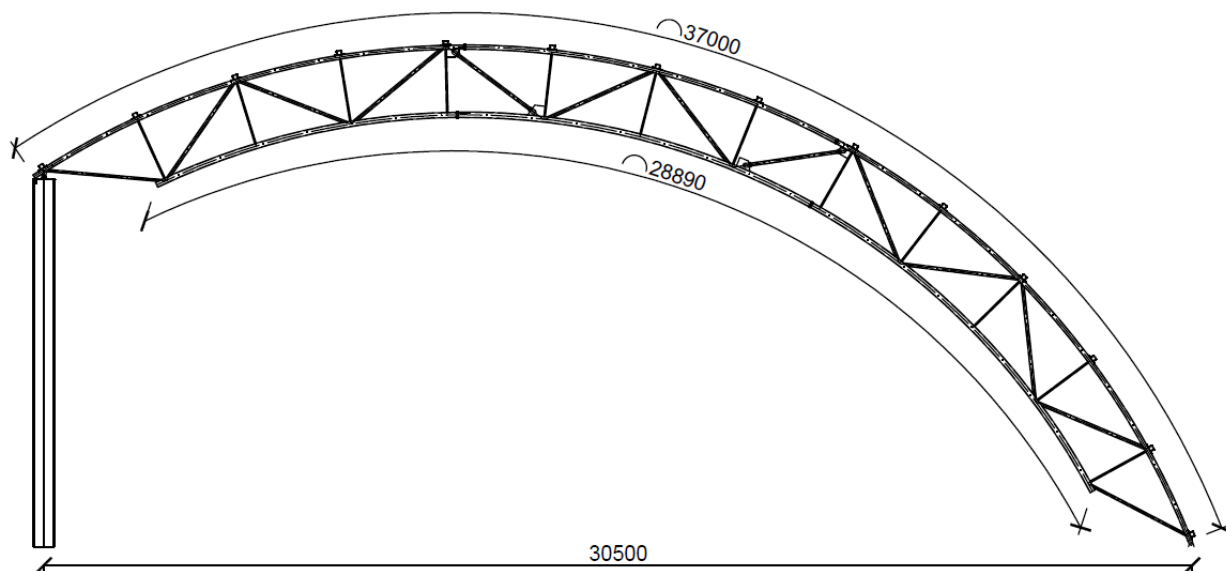
# 1 Konstrukční řešení vazníku

## 1.1 Základní konstrukční řešení

Obloukový příhradový vazník, který je navržen na rozpětí 30,5 m. Poloměr zaoblení u horního pásu je 20,7 m, u dolního pásu 18,9 m. Výška vazníku je 1,8 m.

Horní pás vazníku je z uzavřeného profilu Tr 4HR 120x120x6,3 mm. Dolní pás vazníku je ze čtvercového uzavřeného profilu Tr 4HR 150x150x6,3 mm.

Výplňové pruty vazníku tvoří trubkové profily. Vnitřní diagonály z profilu Tr 76,1x5 mm, krajní diagonály z profilu Tr 60,3x5 a svislice z Tr 38x5 mm.



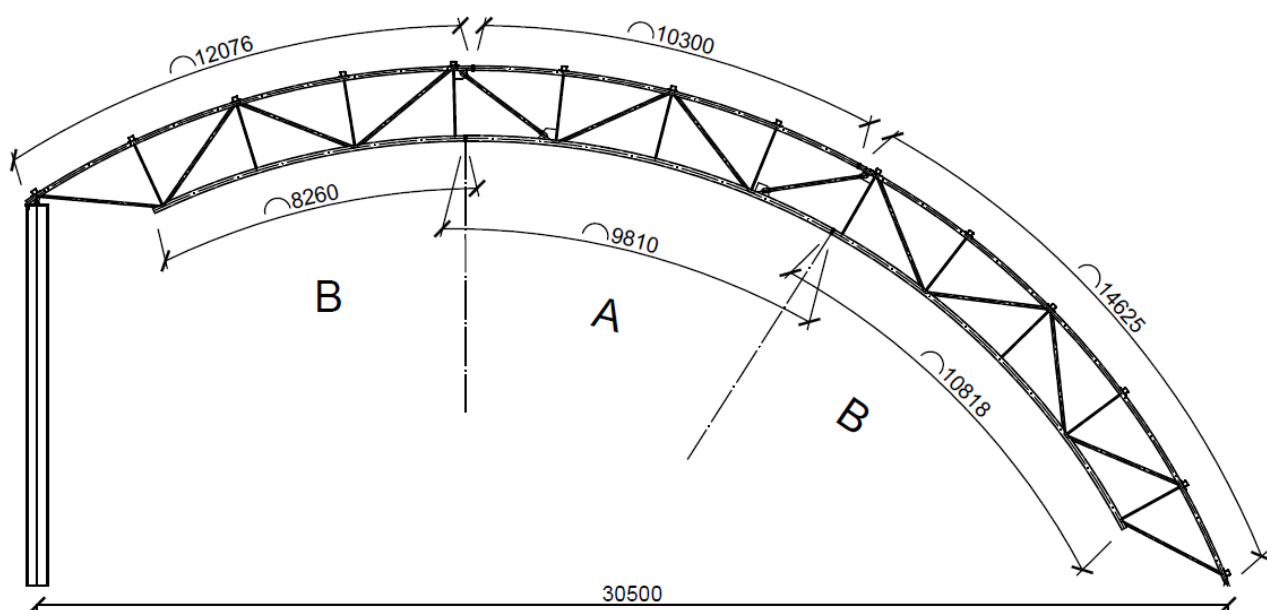
### 1.1.1 Využití jednotlivých prutů vazníku

| PRVEK            | PRŮŘEZ             | VYUŽITÍ |
|------------------|--------------------|---------|
| horní pás        | Tr 4HR 120/120/6,3 | 83%     |
| svislice         | Tr 38/5            | 50%     |
| diagonála        | Tr 76,1/5          | 83%     |
| krajní diagonála | Tr 60,3/5          | 85%     |
| dolní pás        | Tr 4HR 150/150/6,3 | 77%     |

Posouzení jednotlivých prutů programem Dlubal RSTAB 8.05 viz.přílohy.

## 1.2 Odstupňování průřezu horního a dolního pásu

Horní pás vazníku je montážními spoji rozdělen na 3 dílce podle intenzity zatížení na něj působící. Horní pás A, tedy nejvíce namáhaný je ponechán z uzavřeného profilu Tr 4HR 120x120x6,3 mm, horní pás B je z uzavřeného profilu Tr 4HR 110x110x5,6 mm. Dolní pás vazníku je rozdělen stejným způsobem, dolní pás A taktéž ponechán původní profil Tr 4HR 150x150x6,3 mm, dolní pás B je z profilu Tr 4HR 140x140x6,3 mm. Výplňové pruty vazníku jsou ponechány z původních profilů.



### 1.2.1 Využití jednotlivých prutů vazníku

| PRVEK            | PRŮŘEZ             | VYUŽITÍ |
|------------------|--------------------|---------|
| horní pás A      | Tr 4HR 120/120/6,3 | 83%     |
| horní pás B      | Tr 4HR 110/110/5,6 | 88%     |
| svislce          | Tr 38/5            | 50%     |
| diagonála        | Tr 76,1/5          | 83%     |
| krajní diagonála | Tr 60,3/5          | 85%     |
| dolní pás A      | Tr 4HR 150/150/6,3 | 77%     |
| dolní pás B      | Tr 4HR 140/140/6,3 | 82%     |

Posouzení jednotlivých prutů programem Dlubal RSTAB 8.05 viz.přílohy.

## 2 Spotřeba oceli

### 2.1 Základní konstrukční řešení

| VÝKAZ MATERIÁLU - 1 VAZNÍK |                    |    |                      |                             |
|----------------------------|--------------------|----|----------------------|-----------------------------|
| PRVEK                      | PRŮŘEZ             | KS | CELKOVÁ<br>DÉLKA [m] | CELKOVÁ<br>HMOTNOST<br>[kg] |
| horní pás                  | Tr 4HR 120/120/6,3 | 1  | 37,00                | 817,70                      |
| svislice                   | Tr 38/5            | 12 | 21,60                | 88,56                       |
| diagonála                  | Tr 76,1/5          | 11 | 35,67                | 313,90                      |
| krajní diagonála           | Tr 60,3/5          | 2  | 6,49                 | 44,13                       |
| dolní pás                  | Tr 4HR 150/150/6,3 | 1  | 28,89                | 811,81                      |
|                            |                    |    | 129,65               | 2076,10                     |

### 2.2 Odstupňovaný průřez

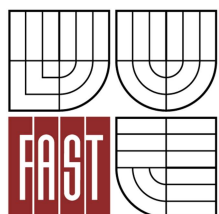
| VÝKAZ MATERIÁLU - 1 VAZNÍK |                    |    |                      |                             |
|----------------------------|--------------------|----|----------------------|-----------------------------|
| PRVEK                      | PRŮŘEZ             | KS | CELKOVÁ<br>DÉLKA [m] | CELKOVÁ<br>HMOTNOST<br>[kg] |
| horní pás A                | Tr 4HR 120/120/6,3 | 1  | 10,30                | 227,63                      |
| horní pás B                | Tr 4HR 110/110/5,6 | 1  | 26,70                | 480,60                      |
| svislice                   | Tr 38/5            | 12 | 21,60                | 88,56                       |
| diagonála                  | Tr 76,1/5          | 11 | 35,67                | 313,90                      |
| krajní diagonála           | Tr 60,3/5          | 2  | 6,49                 | 44,13                       |
| dolní pás A                | Tr 4HR 150/150/6,3 | 1  | 9,81                 | 275,66                      |
| dolní pás B                | Tr 4HR 140/140/6,3 | 1  | 19,08                | 496,08                      |
|                            |                    |    | 129,65               | 1926,56                     |

Úspora oceli při odstupňování průřezu horního a dolního pásu vazníku i při této minimální změně průřezu činí 149,54 kg/vazník. Tedy 1864 kg/celá konstrukce.

Pro další výpočty volím vazník s odstupňováním.



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

## VÝSTAVNÍ PAVILON EXHIBITION PAVILION

### D – STATICKÝ VÝPOČET

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

KATEŘINA BYSTRIANSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŠTRBA, Ph.D.

BRNO 2016

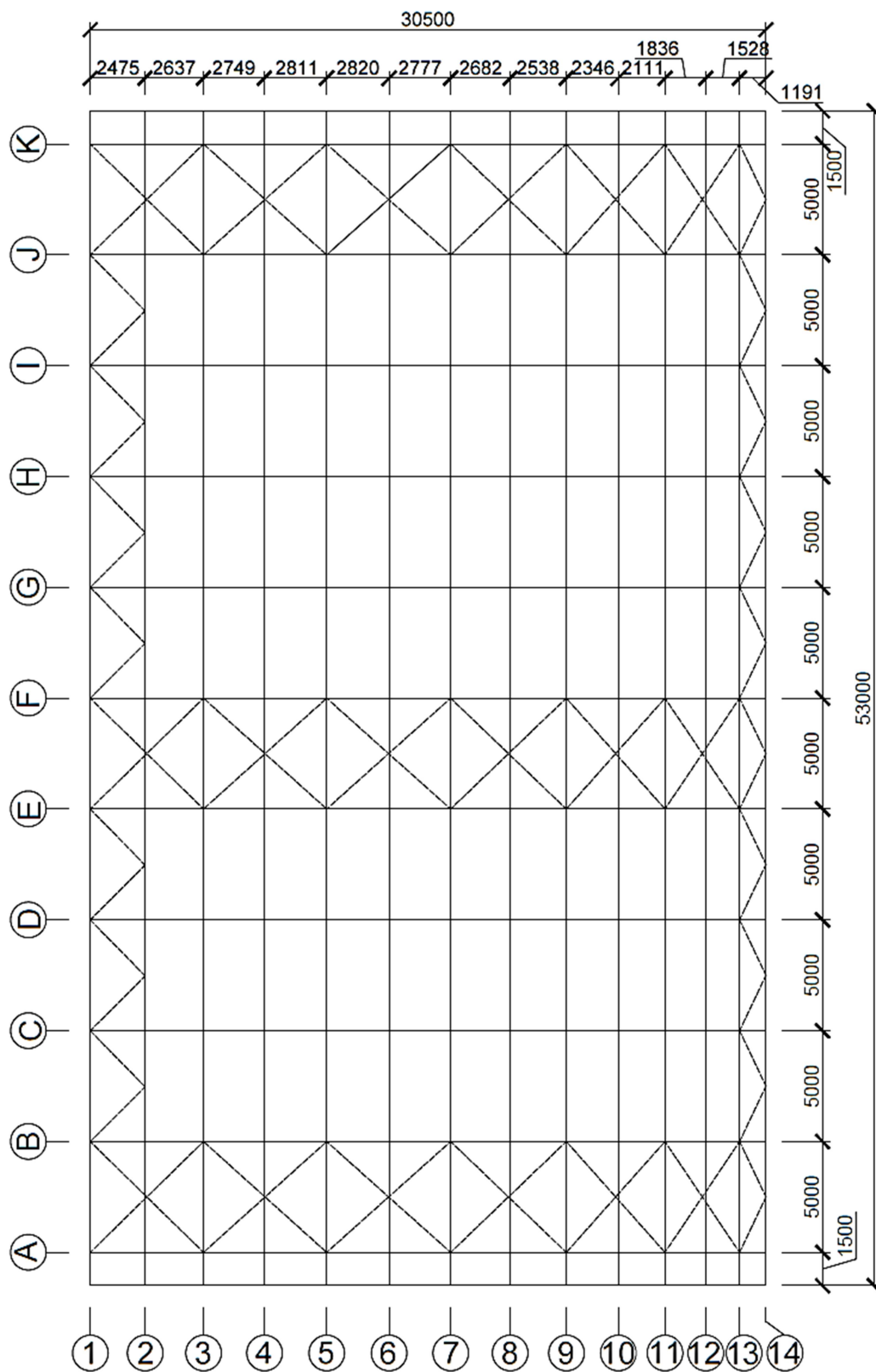
## Obsah

|       |                                              |    |
|-------|----------------------------------------------|----|
| 1     | Geometrie.....                               | 4  |
| 1.1   | Schématický půdorys .....                    | 4  |
| 1.2   | Schématický příčný řez .....                 | 5  |
| 1.3   | Statický model .....                         | 5  |
| 2     | Výpočtový model .....                        | 7  |
| 3     | Zatížení konstrukce .....                    | 7  |
| 3.1   | ZS1 – Vlastní tíha .....                     | 7  |
| 3.2   | ZS2 – Ostatní stálé zatížení .....           | 7  |
| 3.2.1 | Střešní plášť.....                           | 7  |
| 3.2.2 | Stěnové panely .....                         | 8  |
| 3.3   | Zatížení sněhem (ZS3 – ZS7) .....            | 9  |
| 3.3.1 | ZS3 – Sníh plný .....                        | 10 |
| 3.3.2 | ZS4 – Sníh navátý a) .....                   | 11 |
| 3.3.3 | ZS5 – Sníh navátý b) .....                   | 12 |
| 3.3.4 | ZS6 – Sníh sněžníky a).....                  | 13 |
| 3.3.5 | ZS7 – Sníh sněžníky b).....                  | 14 |
| 3.4   | Zatížení větrem.....                         | 15 |
| 3.4.1 | ZS8 – Vítr příčný X+.....                    | 16 |
| 3.4.2 | ZS9 – Vítr příčný X- .....                   | 18 |
| 3.4.3 | ZS10 – Vítr podélný Y+.....                  | 18 |
| 3.4.4 | ZS11 – Vítr podélný Y-.....                  | 20 |
| 4     | Kombinace zatížení a vnitřní síly.....       | 21 |
| 4.1   | Kombinace pro mezní stav únosnosti.....      | 21 |
| 4.1.1 | Klíč kombinací.....                          | 21 |
| 4.2   | Kombinace pro mezní stav použitelnosti ..... | 21 |
| 4.2.1 | Klíč kombinací.....                          | 21 |
| 4.3   | Vnitřní síly.....                            | 21 |
| 5     | Posouzení konstrukčních prvků.....           | 21 |
| 5.1   | Vaznice.....                                 | 21 |
| 5.2   | Horní pás vazníku.....                       | 30 |
| 5.3   | Dolní pás vazníku .....                      | 35 |

|      |                                                       |    |
|------|-------------------------------------------------------|----|
| 5.4  | Diagonály .....                                       | 40 |
| 5.5  | Svislice .....                                        | 42 |
| 5.6  | Průhyb příhradového vazníku .....                     | 44 |
| 5.7  | Sloupy .....                                          | 44 |
| 5.8  | Podélné ztužidlo .....                                | 52 |
| 5.9  | Dolní pás podélného ztužidla .....                    | 54 |
| 5.10 | Příčné ztužidlo .....                                 | 56 |
| 5.11 | Spřažená stropnice .....                              | 58 |
| 5.12 | Průvlak .....                                         | 63 |
| 5.13 | Posouzení dalších prvků na MSP a mezní štíhlost ..... | 65 |
| 6    | Posouzení spojů .....                                 | 68 |
| 6.1  | Připojení diagonál a svislice k dolnímu pásu .....    | 68 |
| 6.2  | Připojení diagonál a svislice k hornímu pásu .....    | 74 |
| 6.3  | Připojení svislice k dolnímu pásu .....               | 80 |
| 6.4  | Připojení krajní diagonály k hornímu pásu .....       | 82 |
| 7    | Posouzení montážních spojů .....                      | 85 |
| 7.1  | Montážní spoj horního pásu .....                      | 85 |
| 7.2  | Montážní spoj dolního pásu .....                      | 88 |
| 7.3  | Montážní spoj diagonály vazníku .....                 | 91 |
| 7.4  | Připojení vazníku na sloup .....                      | 94 |
| 8    | Kotvení .....                                         | 95 |
| 8.1  | Návrh nosného kotvení hlavních sloupů .....           | 95 |

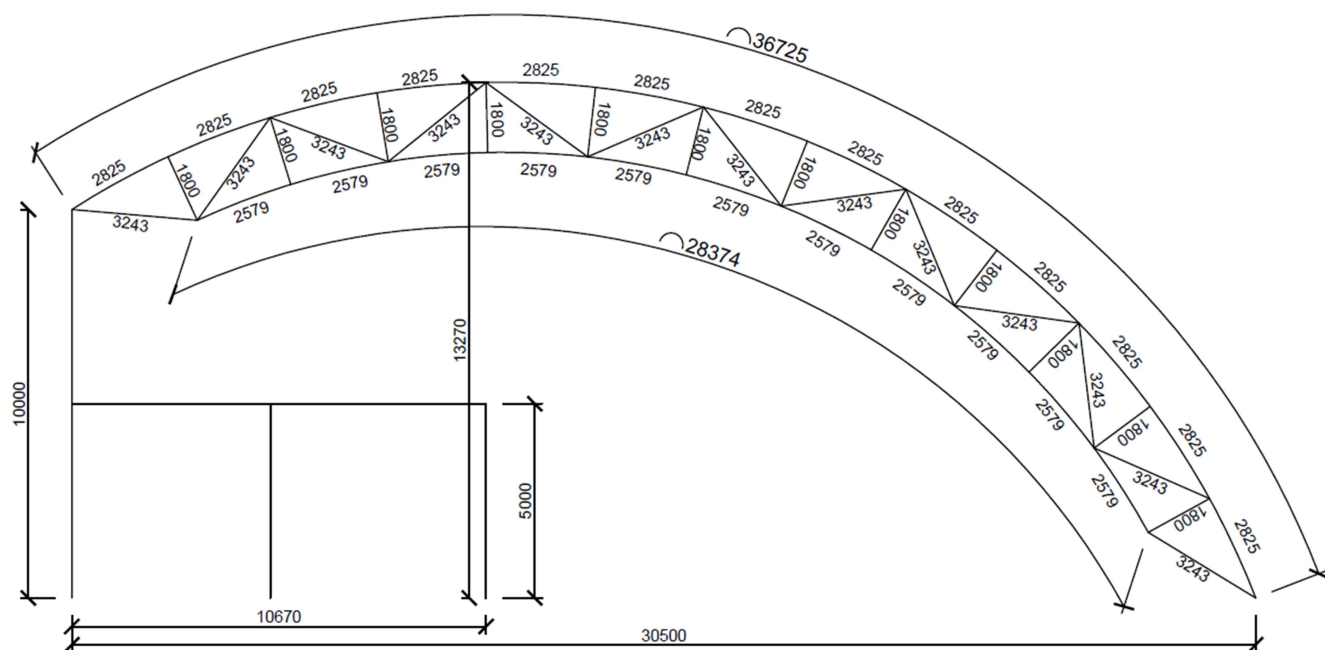
# 1 Geometrie

## 1.1 Schématický půdorys

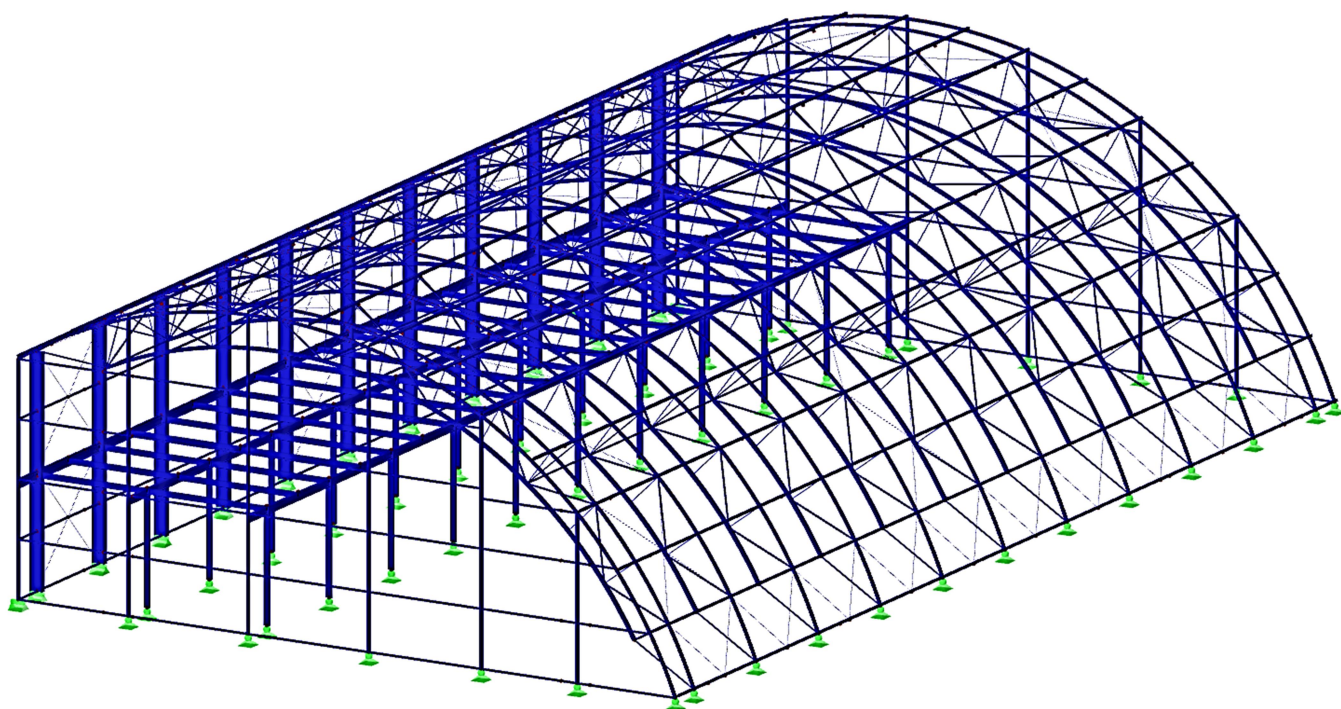


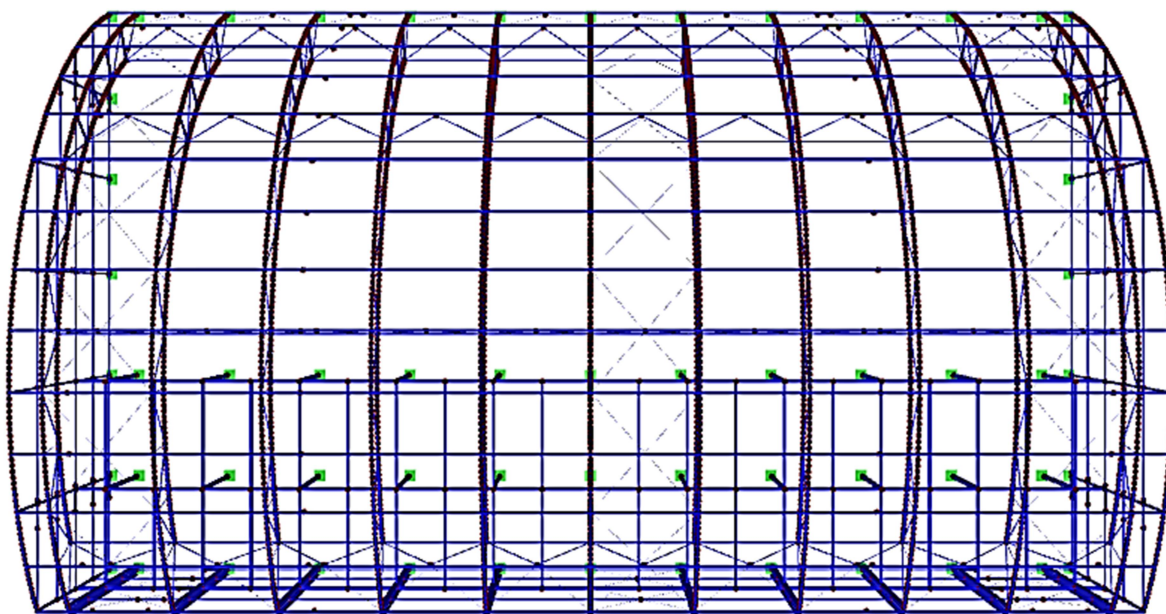
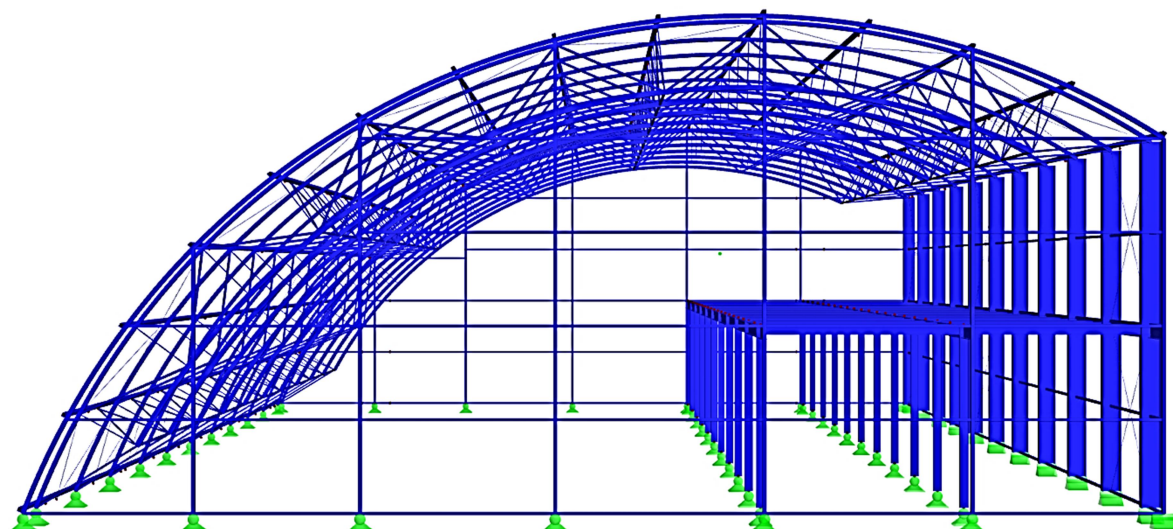
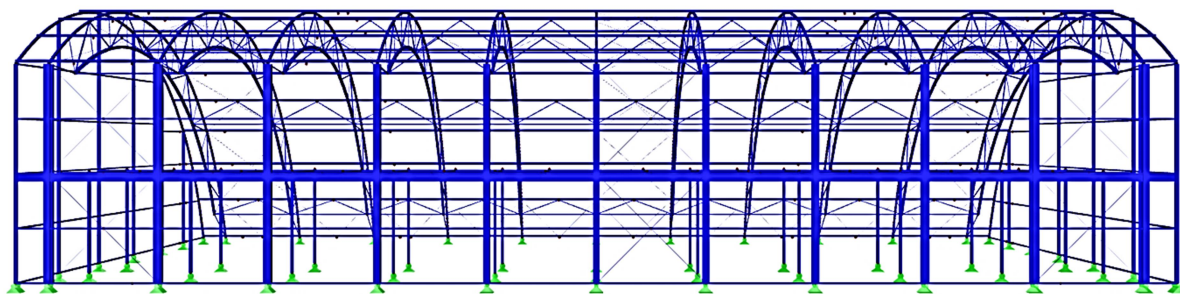


## 1.2 Schématický příčný řez



### 1.3 Statický model





## 2 Výpočtový model

Výpočtový model je vytvořen v programu Dlubal RSTAB 8.05 jako 3D prutová konstrukce. Podpory jsou u hlavních sloupů v příčném směru řešeny jako vetknutí a v podélném směru jsou kloubové. Podpory horního pásu příhradového vazníku jsou řešeny v obou směrech jako kloubové. Připojení horního pásu příhradového vazníku na sloup je řešeno jako kloubové. Výplňové pruty příhradového vazníku jsou modelovány jako příhradové, tudíž umožňují působení pouze normálové síly  $N$ . Stejným způsobem jsou řešeny i pruty podélného ztužení spodních pásů vazníků. Vaznice jsou kloubově připojeny k horním pásům příhradovým vazníkům. Připojení pažníků na sloupy je kloubové. Konstrukce 2. podlaží je řešena jako spřažená železobetonová pomocí ocelových trnů. Příčná ztužidla jsou modelována jako tahové pruty a jsou připojeny kloubově k horním pásům vazníků. Sloupy štítové stěny jsou nahoře kloubově spojeny s převislými konci vaznic a dole jsou uloženy na kloubové podpoře.

## 3 Zatížení konstrukce

### 3.1 ZS1 – Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce byla automaticky generována z programu Dlubal RSTAB 8.05.

### 3.2 ZS2 – Ostatní stálé zatížení

#### 3.2.1 Střešní plášť

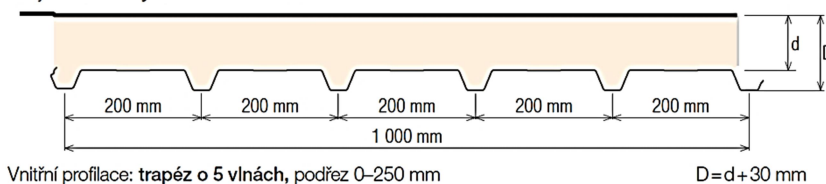
Střešní plášť je navržen ze střešních panelů Kingspan KS1000 TOP-DEK tl. 100 mm.

#### KS1000 TOP-DEK

- IPN jádro
- pro ploché střechy
- na exteriéru
- hydroizolační fólie PVC
- $L^4 = 2-12$  m



Vnější materiál: hydroizolační fólie PVC



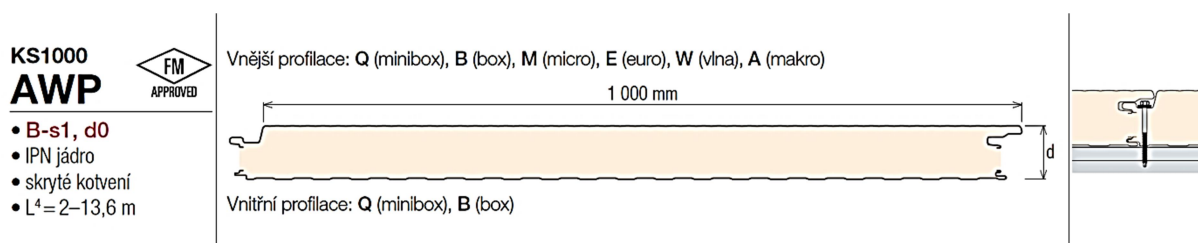
Hmotnost panelu:  $12,35 \text{ kg/m}^2 = 0,1235 \text{ kN/m}^2$

Zatížení střešním pláštěm na jednotlivé vaznice:

| č.<br>vaznice | zatěžovací<br>šířka [m] | střešní<br>plášť<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | zatížení<br>na<br>vaznici<br>[kN/m] |
|---------------|-------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1             | 1,237                   | 0,1235                                   | <b>0,153</b>                        |
| 2             | 2,556                   | 0,1235                                   | <b>0,316</b>                        |
| 3             | 2,693                   | 0,1235                                   | <b>0,333</b>                        |
| 4             | 2,78                    | 0,1235                                   | <b>0,343</b>                        |
| 5             | 2,815                   | 0,1235                                   | <b>0,348</b>                        |
| 6             | 2,799                   | 0,1235                                   | <b>0,346</b>                        |
| 7             | 2,73                    | 0,1235                                   | <b>0,337</b>                        |
| 8             | 2,61                    | 0,1235                                   | <b>0,322</b>                        |
| 9             | 2,442                   | 0,1235                                   | <b>0,302</b>                        |
| 10            | 2,228                   | 0,1235                                   | <b>0,275</b>                        |
| 11            | 1,974                   | 0,1235                                   | <b>0,244</b>                        |
| 12            | 1,682                   | 0,1235                                   | <b>0,208</b>                        |
| 13            | 1,359                   | 0,1235                                   | <b>0,168</b>                        |
| 14            | 0,595                   | 0,1235                                   | <b>0,073</b>                        |

### 3.2.2 Stěnové panely

Opláštění stěn je navrženo ze stěnových panelů Kingspan KS1000 AWP tl. 100 mm.



Hmotnost panelu:  $12,77 \text{ kg/m}^2 = 0,1277 \text{ kN/m}^2$

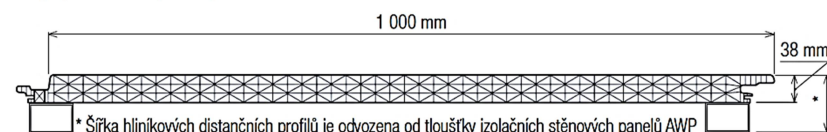


V kombinaci se stěnovými prosvětlovacími panely Kingspan KS1000 WL tl. 38 mm.

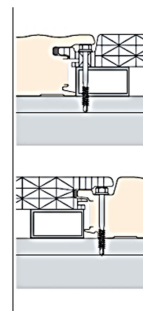
**KS1000****WL**

- možno kombinovat s panely KS1000 AWP tl. 60, 80, 100 mm
- komůrkový polykarbonát
- propustnost světla 55 % dle EN 410 (pro čiré provedení)
- odolnost vůči UV
- $L^4 = 1-6$  m

Vnější profilace: F (hladká)



Vnitřní profilace: F (hladká)



Hmotnost panelu:  $6,9 \text{ kg/m}^2 = 0,069 \text{ kN/m}^2$

### 3.3 Zatížení sněhem (ZS3 – ZS7)

Město Brno se nachází v II. Sněhové oblasti.

Tvarový součinitel zatížení sněhem

$\mu_3 = 0,8$  (pro válcové střechy)

Součinitel expozice

$c_e = 1,0$

Teplotní součinitel

$C_t = 1,0$

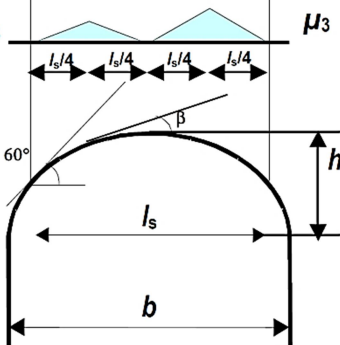
Charakteristická hodnota zatížení sněhem

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

Případ (i)



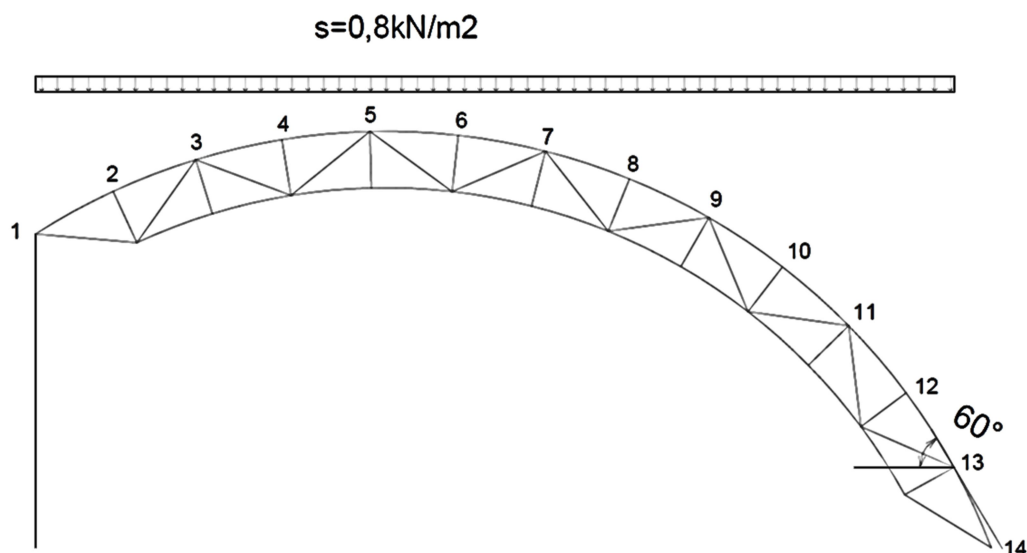
Případ (ii)  $0,5\mu_3$



### 3.3.1 ZS3 – Sníh plný

Případ (i):

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \underline{0,8 \text{ kN/m}^2}$$



Zatížení sněhem plným na jednotlivé vaznice:

| č.<br>vaznic<br>e | zatěžovací<br>šířka [m] | sníh<br>plný<br>[kN/m²] | zatížení na<br>vaznici<br>[kN/m] |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1                 | 1,237                   | 0,8                     | <b>0,990</b>                     |
| 2                 | 2,556                   | 0,8                     | <b>2,045</b>                     |
| 3                 | 2,693                   | 0,8                     | <b>2,154</b>                     |
| 4                 | 2,78                    | 0,8                     | <b>2,224</b>                     |
| 5                 | 2,815                   | 0,8                     | <b>2,252</b>                     |
| 6                 | 2,799                   | 0,8                     | <b>2,239</b>                     |
| 7                 | 2,73                    | 0,8                     | <b>2,184</b>                     |
| 8                 | 2,61                    | 0,8                     | <b>2,088</b>                     |
| 9                 | 2,442                   | 0,8                     | <b>1,954</b>                     |
| 10                | 2,228                   | 0,8                     | <b>1,782</b>                     |
| 11                | 1,974                   | 0,8                     | <b>1,579</b>                     |
| 12                | 2,446                   | 0,8                     | <b>1,957</b>                     |

### 3.3.2 ZS4 – Sníh navátý a)

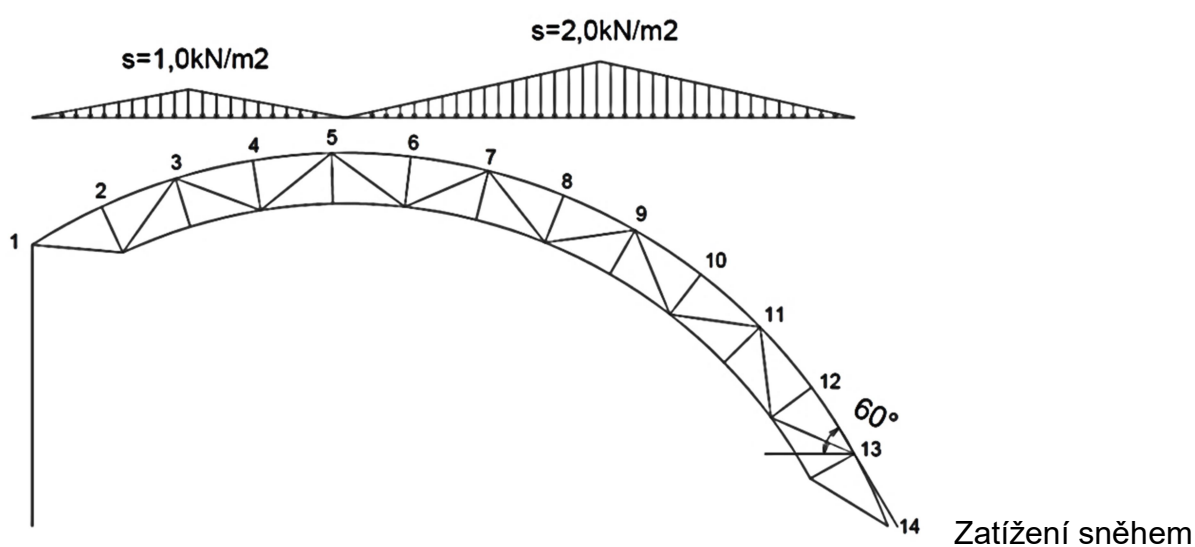
Případ (ii):

Tvarový součinitel: pro  $\beta > 60^\circ$   $\mu_3=0$

$$\text{pro } \beta < 60^\circ \quad \mu_3 = 0,2 + 10 \frac{h}{b} = 0,2 + 10 \frac{13,27}{30,5} = 4,55$$

Limitní hodnota  $\mu_3=2,0$

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \underline{2,0 \text{ kN/m}^2}$$



navátým a) na jednotlivé vaznice:

| č.<br>vaznice | zatěžovací<br>šířka [m] | zatížení<br>na vaznici<br>[kN/m] |
|---------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1             | 1,237                   | <b>0,137</b>                     |
| 2             | 2,556                   | <b>1,151</b>                     |
| 3             | 2,693                   | <b>2,333</b>                     |
| 4             | 2,78                    | <b>1,641</b>                     |
| 5             | 2,815                   | <b>0,417</b>                     |
| 6             | 2,799                   | <b>1,424</b>                     |
| 7             | 2,73                    | <b>3,053</b>                     |
| 8             | 2,61                    | <b>4,456</b>                     |
| 9             | 2,442                   | <b>4,238</b>                     |
| 10            | 2,228                   | <b>2,720</b>                     |
| 11            | 1,974                   | <b>1,494</b>                     |
| 12            | 2,446                   | <b>0,660</b>                     |

### 3.3.3 ZS5 – Sníh navátý b)

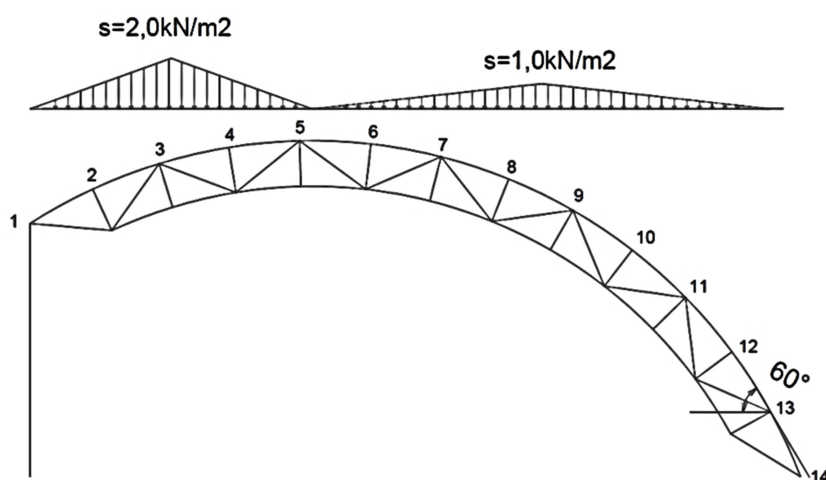
Případ (ii):

Tvarový součinitel: pro  $\beta > 60^\circ$   $\mu_3 = 0$

$$\text{pro } \beta < 60^\circ \quad \mu_3 = 0,2 + 10 \frac{h}{b} = 0,2 + 10 \frac{13,27}{30,5} = 4,55$$

Limitní hodnota  $\mu_3 = 2,0$

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \underline{2,0 \text{ kN/m}^2}$$



Zatížení sněhem navátým b) na jednotlivé vaznice:

| č.<br>vaznice | zatěžovací<br>šířka [m] | zatížení na<br>vaznici<br>[kN/m] |
|---------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1             | 1,237                   | <b>0,274</b>                     |
| 2             | 2,556                   | <b>2,301</b>                     |
| 3             | 2,693                   | <b>4,665</b>                     |
| 4             | 2,78                    | <b>3,281</b>                     |
| 5             | 2,815                   | <b>0,697</b>                     |
| 6             | 2,799                   | <b>0,712</b>                     |
| 7             | 2,73                    | <b>1,527</b>                     |
| 8             | 2,61                    | <b>2,239</b>                     |
| 9             | 2,442                   | <b>2,119</b>                     |
| 10            | 2,228                   | <b>1,360</b>                     |
| 11            | 1,974                   | <b>0,747</b>                     |
| 12            | 2,446                   | <b>0,330</b>                     |



### 3.3.4 ZS6 – Sníh sněžníky a)

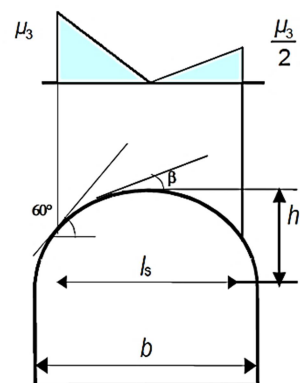
Uvážení vlivu sněžníků:

Tvarový součinitel: pro  $\beta > 60^\circ$   $\mu_3 = 0$

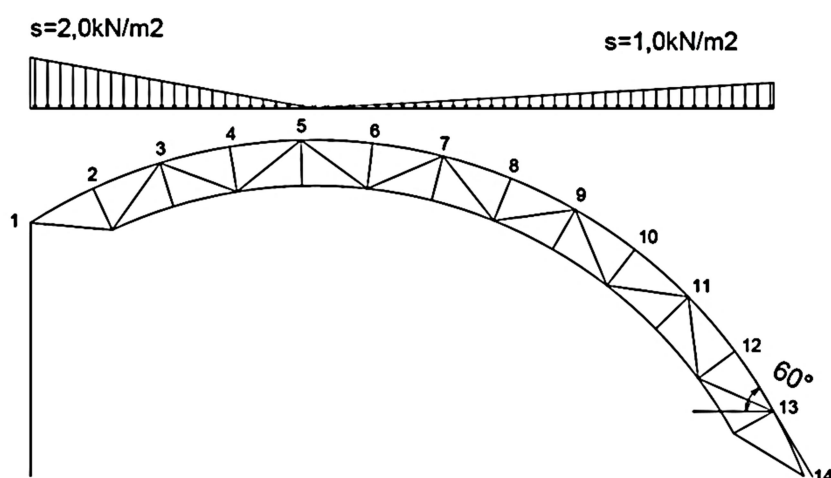
pro  $\beta < 60^\circ$

$\mu_3$  pro  $h/b = 13,27/30,5 = 0,4 \geq 1/5 \rightarrow \mu_3 = 2,0$

$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \underline{2,0 \text{ kN/m}^2}$



|         |      |     |            |
|---------|------|-----|------------|
| $h/b$   | 1/8  | 1/6 | $\geq 1/5$ |
| $\mu_3$ | 1,45 | 1,8 | 2,0        |



Zatížení – sněžníky na jednotlivé vaznice:

| č.<br>vaznice | zatěžovací<br>šířka [m] | zatížení<br>na<br>vaznici<br>[kN/m] |
|---------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 1             | 1,237                   | <b>2,338</b>                        |
| 2             | 2,556                   | <b>3,961</b>                        |
| 3             | 2,693                   | <b>2,908</b>                        |
| 4             | 2,78                    | <b>1,641</b>                        |
| 5             | 2,815                   | <b>0,349</b>                        |
| 6             | 2,799                   | <b>0,356</b>                        |
| 7             | 2,73                    | <b>0,763</b>                        |
| 8             | 2,61                    | <b>1,114</b>                        |
| 9             | 2,442                   | <b>1,382</b>                        |
| 10            | 2,228                   | <b>1,549</b>                        |
| 11            | 1,974                   | <b>1,600</b>                        |
| 12            | 2,446                   | <b>2,281</b>                        |

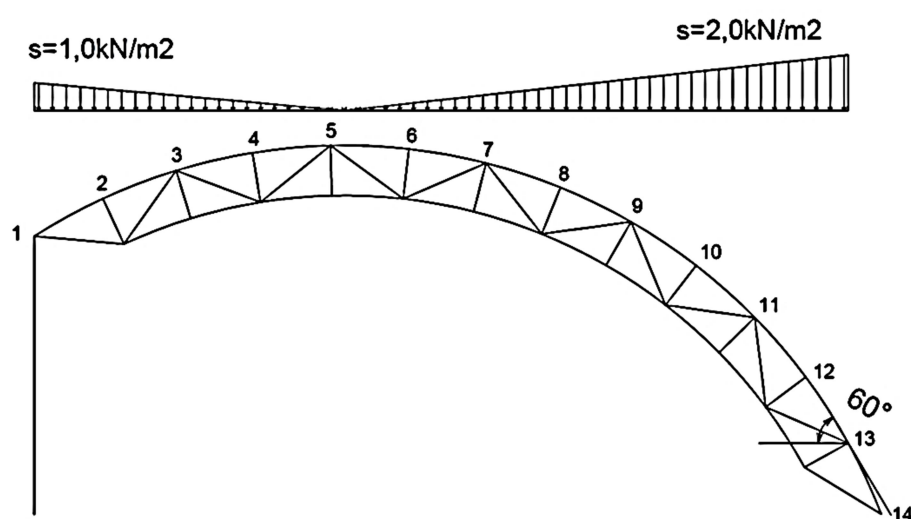
### 3.3.5 ZS7 – Sníh sněžníky b)

Uvážení vlivu sněžníků:

Tvarový součinitel: pro  $\beta > 60^\circ$   $\mu_3 = 0$

pro  $\beta < 60^\circ$   $\mu_3$  pro  $h/b = 13,27/30,5 = 0,4 \geq 1/5 \rightarrow \mu_3 = 2,0$

$$s = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \underline{2,0 \text{ kN/m}^2}$$



Zatížení – sněžníky na jednotlivé vaznice:

| č.<br>vaznice | zatěžovací<br>šířka [m] | zatížení<br>na vaznici<br>[kN/m] |
|---------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1             | 1,237                   | <b>1,169</b>                     |
| 2             | 2,556                   | <b>1,980</b>                     |
| 3             | 2,693                   | <b>1,454</b>                     |
| 4             | 2,78                    | <b>0,820</b>                     |
| 5             | 2,815                   | <b>0,209</b>                     |
| 6             | 2,799                   | <b>0,712</b>                     |
| 7             | 2,73                    | <b>1,527</b>                     |
| 8             | 2,61                    | <b>2,228</b>                     |
| 9             | 2,442                   | <b>2,765</b>                     |
| 10            | 2,228                   | <b>3,097</b>                     |
| 11            | 1,974                   | <b>3,200</b>                     |
| 12            | 2,446                   | <b>4,562</b>                     |

### 3.4 Zatížení větrem

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

Kategorie terénu: III.  $z_0 = 0,3 \text{ m}; z_{\min} = 5 \text{ m}$

Součinitel směru větru:  $c_{dir} = 1,0$

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

Výška konstrukce nad zemí:  $z = 13,270 \text{ m}$

Základní rychlost větru:

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

Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,815 \cdot 1,0 \cdot 25 = 20,375 \text{ m/s}$$

kde:  $c_r(z)$  je součinitel terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{13,27}{0,3}\right) = 0,815 \quad \text{pro} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$5 \leq 13,27 \leq 200 \text{ m}$$

$c_o(z)$  - uvažován 1,0

kde:  $k_r$  je součinitel terénu

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

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

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

Intenzita turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{13,27}{0,3}\right)} = 0,264 \quad \text{pro} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$5,0 \leq 13,27 \leq 200 \text{ m}$$

kde:  $k_1 = 1,0$  - 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:  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,264] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20,375^2 = 0,739 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru na povrchy:

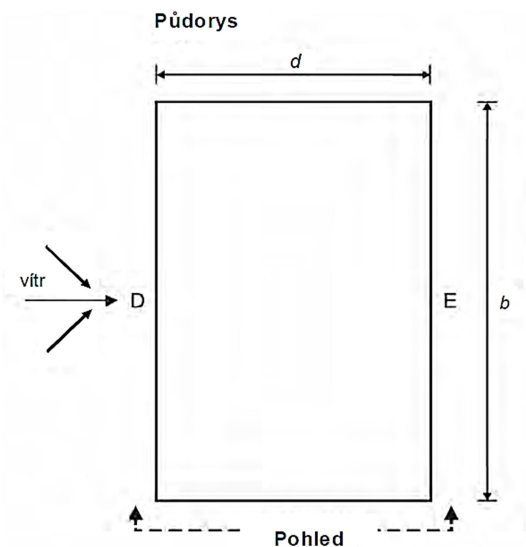
$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

kde:  $q_p(z_e)$  je maximální dynamický tlak

pro výšku  $z_e = h = 13,270 \text{ m}$

$c_{pe}$  je součinitel vnějšího tlaku

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



### 3.4.1 ZS8 – Vitr příčný X+

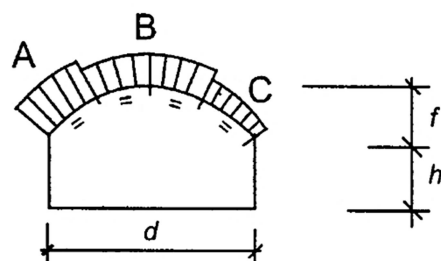
#### Střešní plášť

- řešeno jako klenba  $\rightarrow h=0$  a  $f/d = 13,27/30,5 = 0,435 \rightarrow c_{pe}$  odečteno z grafu

|                       | A           | B            | C            |
|-----------------------|-------------|--------------|--------------|
| $c_{pe,10}$           | 0,64        | -1,14        | -0,40        |
| $w_e [\text{kN/m}^2]$ | <b>0,47</b> | <b>-0,84</b> | <b>-0,30</b> |

#### Stěna

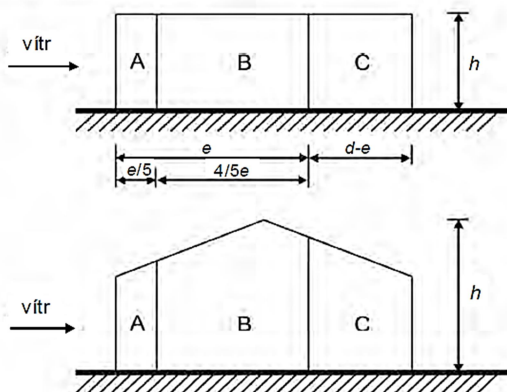
$$e = \min(b; 2h) = \min(53; 26,54) = 26,54 \text{ m}$$



$e = 26,54 \text{ m} < d = 30,5 \text{ m} \rightarrow$  oblasti A, B, C

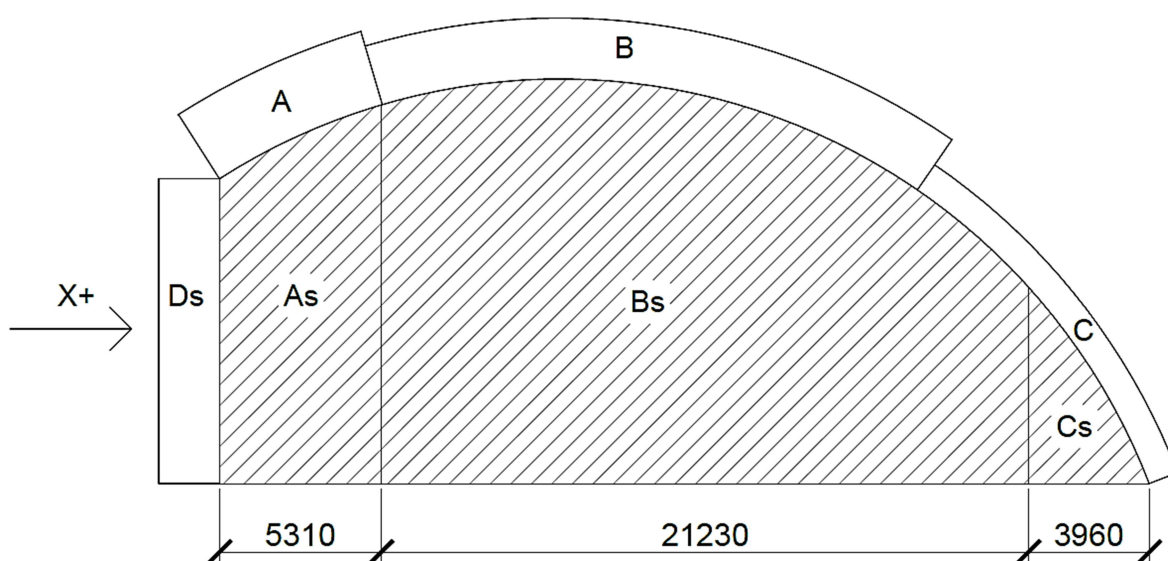
$h/d = 13,27/30,5 = 0,435$

Pohled pro  $e < d$



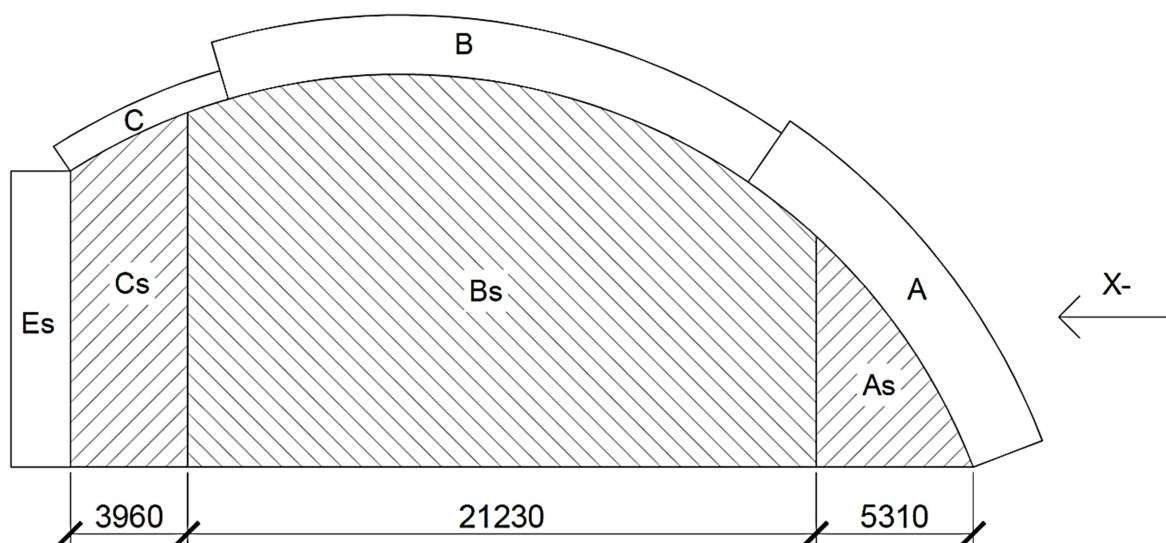
|                               | As          | Bs           | Cs           | Ds          | Es           |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| $c_{pe,10}$                   | -1,20       | -0,80        | -0,50        | 0,73        | -0,35        |
| $w_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$ | <b>0,89</b> | <b>-0,59</b> | <b>-0,37</b> | <b>0,54</b> | <b>-0,26</b> |
|                               | $e/5$       | $4/5e$       | $d-e$        |             |              |
| Délka úseku<br>[m]            | <b>5,31</b> | <b>21,23</b> | <b>3,96</b>  |             |              |

- mezilehlé hodnoty  $c_{pe}$  určeny lineární interpolací



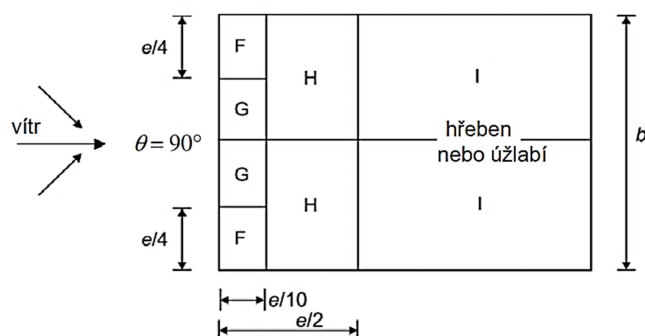
### 3.4.2 ZS9 – Vítr příčný X-

Hodnoty viz. ZS8.



### 3.4.3 ZS10 – Vítr podélný Y+

**Střešní plášť**



c) Směr větru  $\theta = 90^\circ$

$$e = \min(b; 2h) = \min(30,5; 2 \cdot 13,27) = 26,54 \text{ m}$$

$$\text{oblast G, F} \rightarrow e/10 = 2,654 \text{ m}$$

$$\text{oblast H} \rightarrow e/2 = 13,27 \text{ m}$$

| č.<br>vaznice | úhel<br>[°] | cpe, 10 |       |       |       | ŘEŠÍM<br>JAKO      | we, i [kN/m²] |              |              |              |
|---------------|-------------|---------|-------|-------|-------|--------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|               |             | F       | G     | H     | I     |                    | F             | G            | H            | I            |
| 1             | 31°         | -1,1    | -     | -0,81 | -0,50 | SEDLOVÁ<br>STŘECHA | <b>-0,81</b>  | -            | <b>-0,60</b> | <b>-0,37</b> |
| 2             | 25°         | -1,167  | -     | -0,73 | -0,50 |                    | <b>-0,86</b>  | -            | <b>-0,54</b> | <b>-0,37</b> |
| 3             | 17°         | -1,273  | -1,24 | -0,63 | -0,50 |                    | <b>-0,94</b>  | <b>-0,92</b> | <b>-0,46</b> | <b>-0,37</b> |
| 4             | 9°          | -       | -1,3  | -0,66 | -0,56 |                    | -             | <b>-0,96</b> | <b>-0,49</b> | <b>-0,41</b> |
| 5             | 1°          | -       | -1,2  | -0,70 | -0,20 | PLOCHÁ<br>STŘECHA  | -             | <b>-0,89</b> | <b>-0,52</b> | <b>-0,15</b> |
| 6             | 6°          | -       | -1,3  | -0,69 | -0,59 | SEDLOVÁ STŘECHA    | -             | <b>-0,96</b> | <b>-0,51</b> | <b>-0,44</b> |
| 7             | 14°         | -       | -1,3  | -0,61 | -0,51 |                    | -             | <b>-0,96</b> | <b>-0,45</b> | <b>-0,38</b> |
| 8             | 22°         | -       | -1,35 | -0,69 | -0,50 |                    | -             | <b>-1,00</b> | <b>-0,51</b> | <b>-0,37</b> |
| 9             | 30°         | -       | -1,4  | -0,80 | -0,50 |                    | -             | <b>-1,03</b> | <b>-0,59</b> | <b>-0,37</b> |
| 10            | 38°         | -1,1    | -1,4  | -0,85 | -0,50 |                    | <b>-0,81</b>  | <b>-1,03</b> | <b>-0,63</b> | <b>-0,37</b> |
| 11            | 46°         | -1,1    | -     | -0,89 | -0,50 |                    | <b>-0,81</b>  | -            | <b>-0,66</b> | <b>-0,37</b> |
| 12            | 53°         | -1,1    | -     | -0,85 | -0,50 |                    | <b>-0,81</b>  | -            | <b>-0,63</b> | <b>-0,37</b> |
| 13            | 61°         | -1,1    | -     | -0,80 | -0,50 |                    | <b>-0,81</b>  | -            | <b>-0,59</b> | <b>-0,37</b> |
| 14            | 67°         | -1,1    | -     | -0,80 | -0,50 |                    | <b>-0,81</b>  | -            | <b>-0,59</b> | <b>-0,37</b> |

- mezilehlé hodnoty  $c_{pe}$  určeny lineární interpolací

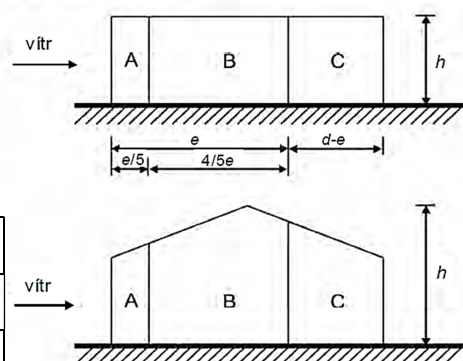
### Stěna

$$e = \min (b; 2h) = \min (30,5; 2 \cdot 13,27) = 26,54 \text{ m}$$

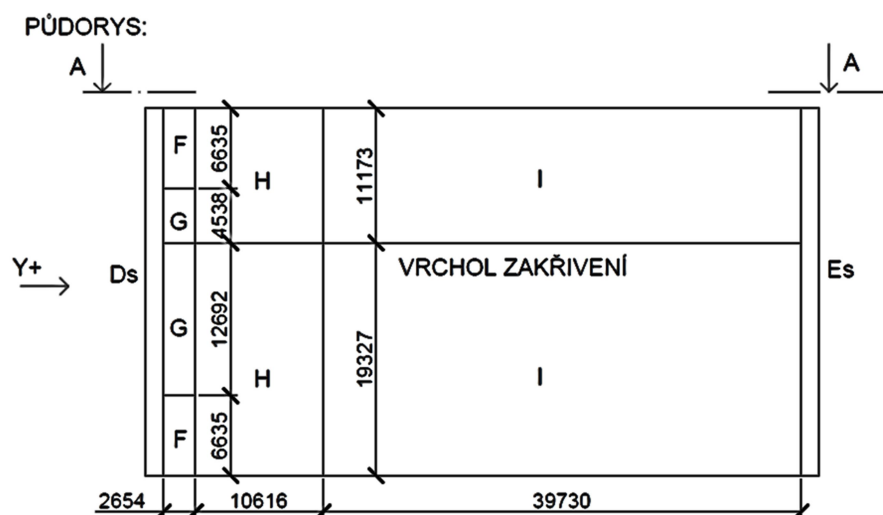
$$e = 26,54 \text{ m} < d = 53 \text{ m} \rightarrow h/d = 13,27/53 = 0,25$$

|                    | As           | Bs           | Cs           | Ds          | Es           |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| cpe, 10            | -1,2         | -0,8         | -0,5         | 0,7         | -0,3         |
| we [kN/m²]         | <b>-0,89</b> | <b>-0,59</b> | <b>-0,37</b> | <b>0,52</b> | <b>-0,22</b> |
|                    | e/5          | 4/5e         | d-e          |             |              |
| Délka úseku<br>[m] | <b>5,31</b>  | <b>21,23</b> | <b>26,46</b> |             |              |

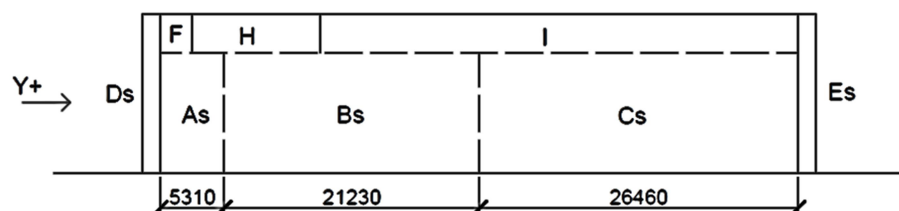
Pohled pro  $e < d$



- mezilehlé hodnoty  $c_{pe}$  určeny lineární interpolací

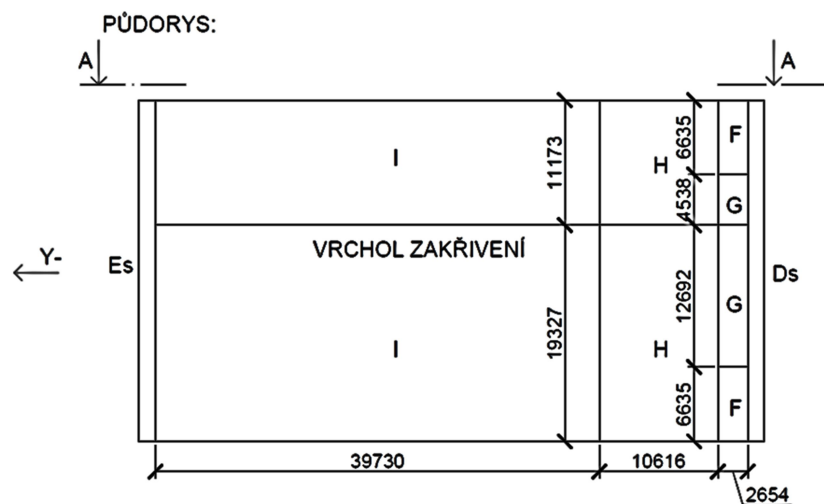


POHLED A-A:

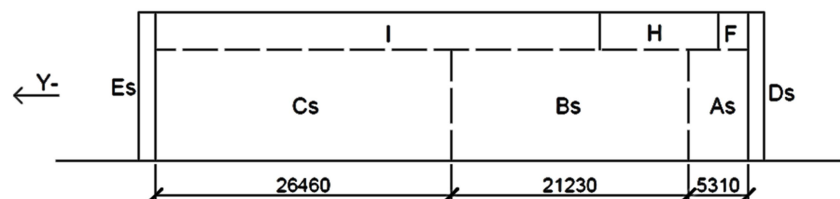


### 3.4.4 ZS11 – Vítr podélný Y-

Hodnoty viz. ZS10.



POHLED A-A:





## 4 Kombinace zatížení a vnitřní síly

### 4.1 Kombinace pro mezní stav únosnosti

KP1 - MSÚ – kombinace provedena dle výrazu 6.10.

#### 4.1.1 Klíč kombinací

Přiložen v příloze.

### 4.2 Kombinace pro mezní stav použitelnosti

KP2 – MSP – kombinace provedena dle výrazu 6.14b – charakteristická kombinace.

#### 4.2.1 Klíč kombinací

Přiložen v příloze.

### 4.3 Vnitřní síly

Přehled vnitřních sil v jednotlivých prutech přiložen v příloze.

## 5 Posouzení konstrukčních prvků

### 5.1 Vaznice

PRŮŘEZ: Tr 4HR 120/120/10 (tvarovaný za tepla)

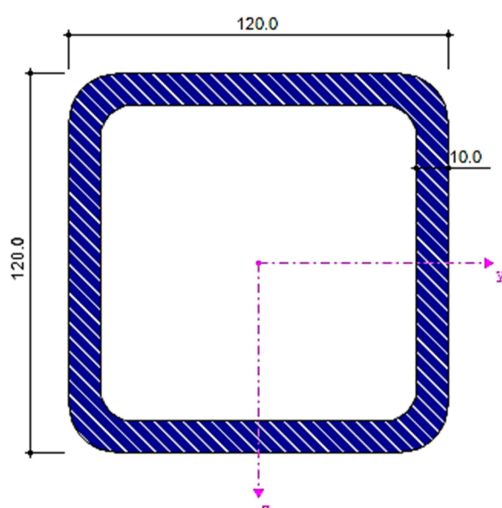
**Průřezové charakteristiky:**

$$A = 4,29 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 8,52 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$A_{v,y} = A_{v,z} = 2,145 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$



**Materiálové charakteristiky:**

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

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

**Klasifikace průřezu:**

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

**Pásnice:**

$$c = 90 \text{ mm}; t = 10 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{90}{10} = 9 \leq 33 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

**Stojina:**

$$c = 90 \text{ mm}; t = 10 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{90}{10} = 9 \leq 33 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

**Posouzení mezní štíhlosti:**

Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = 56,098 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\lambda_z = 112,196 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na vzpěr:**

max.  $N_{c,Ed} = 22,281 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$L_{cr,y} = 2,500 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8,52 \cdot 10^{-6}}{2,500^2} = 2\,825,391 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,29 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{2\,825,391 \cdot 10^3}} = 0,734$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

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

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,734 - 0,2) + 0,734^2] = 0,825$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{0,825 + \sqrt{0,825^2 - 0,734^2}} = 0,832 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,832 \cdot 4,29 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1267,094 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{22,281}{1267,094} = 0,02 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$L_{cr,z} = 5,000 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8,52 \cdot 10^{-6}}{5,000^2} = 706,348 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,29 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{706,348 \cdot 10^3}} = 1,47$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

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

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,47 - 0,2) + 1,47^2] = 1,710$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,710 + \sqrt{1,710^2 - 1,47^2}} = 0,390 \leq 1,0$$

$$N_{bR,d} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,39 \cdot 4,29 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 593,950 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{22,281}{593,950} = 0,4 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na tah:

$$\text{max. } N_{t,Ed} = 12,39 \text{ kN} \quad \text{hodnota z kombinace KZ 25.}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,29 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1522,950 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{12,390}{1522,95} = 0,01 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na ohyb:

$$\text{max. } M_{y,Ed} = 23,754 \text{ kNm} \quad \text{hodnota z kombinace KZ 10.}$$

$$\text{max. } M_{z,Ed} = 19,136 \text{ kNm} \quad \text{hodnota z kombinace KZ 30.}$$

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,75 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 62,125 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{23,754}{62,125} = 0,38 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{19,136}{62,125} = 0,31 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na smyk:**

max.  $V_{y,Ed} = 15,309 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 30.

max.  $V_{z,Ed} = 19,003 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 10.

$$V_{c,Rd,y} = V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,145 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 439,638 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{15,309}{439,638} = 0,03 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{19,003}{439,638} = 0,04 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na kombinaci ohybu a osového tlaku****a) Maximální  $M_y$  odpovídající  $N$** 

max.  $M_{y,Ed} = 23,754 \text{ kNm}$  hodnoty z kombinace KZ 10.

odp.  $M_{z,Ed} = 6,744 \text{ kNm}$  vaznice 3

odp.  $N_{c,Ed} = 1,066 \text{ kN}$

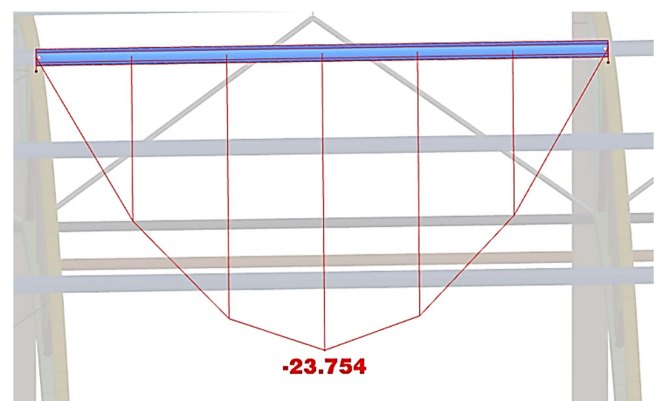
$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4,29 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1\,522,950 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,75 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 62,125 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 23,754 \text{ kNm}; M_{h,y} = 0,000 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,y} = 0,000 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0$$

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0,000}{23,754} = 0,00$$

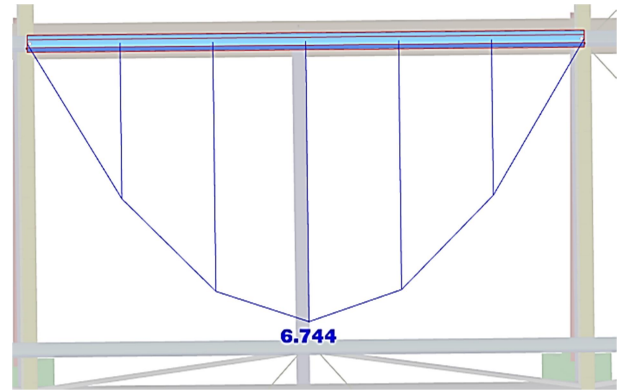


$$c_{m,y} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$M_{s,z} = -6,744 \text{ kNm}; \psi M_{h,z} = 0,000 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0$$

$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0,000}{6,744} = 0,00$$

$$c_{m,z} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$



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

$$0,95 \cdot \left( 1 + (1,47 - 0,2) \cdot \frac{1,066}{\frac{0,39 \cdot 1522,950}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{1,066}{\frac{0,39 \cdot 1522,950}{1,0}} \right)$$

$$0,952 \leq 0,951 \rightarrow k_{yy} = 0,951$$

$$c_{m,z} \cdot \left( 1 + (\lambda_z^- - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{m,z} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left( 1 + (1,47 - 0,2) \cdot \frac{1,066}{\frac{0,39 \cdot 1522,950}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{1,066}{\frac{0,39 \cdot 1522,950}{1,0}} \right)$$

$$0,952 \leq 0,951 \rightarrow k_{zz} = 0,951$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,951 = 0,571$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,951 = 0,571$$

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

$$\frac{1,066}{0,39 \cdot 1522,950} + 0,951 \cdot \frac{23,754 + 0}{1,0 \cdot 62,125} + 0,571 \cdot \frac{6,744 + 0}{1,0 \cdot 62,125} = 0,43$$

0,43 ≤ 1,0 ... *VYHOVUJE*

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

$$\frac{1,066}{0,39 \cdot 1522,950} + 0,571 \cdot \frac{23,754 + 0}{1,0 \cdot 62,125} + 0,951 \cdot \frac{6,744 + 0}{1,0 \cdot 62,125} = 0,32$$

0,32 ≤ 1,0 ... *VYHOVUJE*

#### b) Maximální N odpovídající My

max.  $N_{c,Ed} = 22,281 \text{ kN}$

hodnoty z kombinace KZ 9.

odp.  $M_{y,Ed} = 1,298 \text{ kNm}$

odp.  $M_{z,Ed} = 1,088 \text{ kNm}$

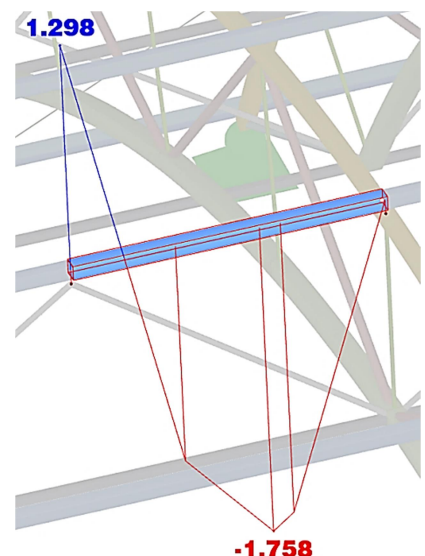
$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4,29 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1\,522,950 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,75 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 62,125 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 1,758 \text{ kNm}; M_{h,y} = 1,298 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,y} = 0,000 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0$$

$$\alpha_{s,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{1,298}{1,758} = -0,74$$



$$c_{m,y} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,74) = 0,692 > 0,4$$

$$M_{s,z} = -1,088 \text{ kNm}; \psi M_{h,z} = 0,000 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0$$

$$c_{m,z} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0,000}{1,088} = 0,00$$

$$k_{yy} = c_{m,y} \cdot \left( 1 + (\lambda_y^- - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{m,y} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left( 1 + (0,734 - 0,2) \cdot \frac{22,281}{\frac{0,832 \cdot 1522,950}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{22,281}{\frac{0,832 \cdot 1522,950}{1,0}} \right)$$

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

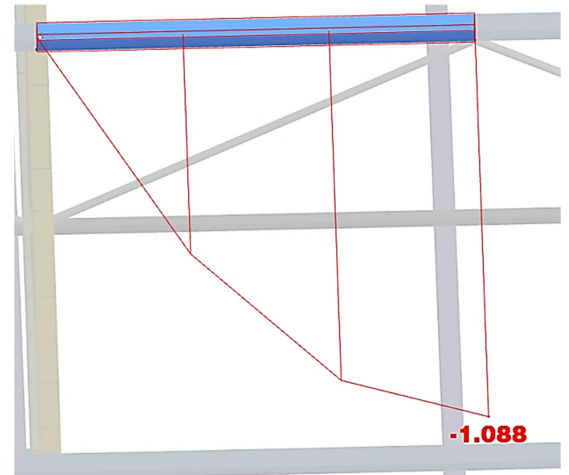
$$k_{zz} = c_{m,z} \cdot \left( 1 + (\lambda_z^- - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{m,z} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left( 1 + (1,47 - 0,2) \cdot \frac{22,281}{\frac{0,39 \cdot 1522,950}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{22,281}{\frac{0,39 \cdot 1522,950}{1,0}} \right)$$

$$0,995 \leq 0,980 \rightarrow k_{zz} = 0,98$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,980 = 0,588$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,960 = 0,576$$





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

$$\frac{22,281}{0,832 \cdot 1522,950} + 0,96 \cdot \frac{1,298 + 0}{1,0 \cdot 62,125} + 0,588 \cdot \frac{1,088 + 0}{1,0 \cdot 62,125} = 0,43$$

0,05 ≤ 1,0 ... VYHOVUJE

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

$$\frac{22,281}{0,39 \cdot 1522,950} + 0,576 \cdot \frac{1,298 + 0}{1,0 \cdot 62,125} + 0,98 \cdot \frac{1,088 + 0}{1,0 \cdot 62,125} = 0,32$$

0,07 ≤ 1,0 ... VYHOVUJE

### Posouzení na průhyb:

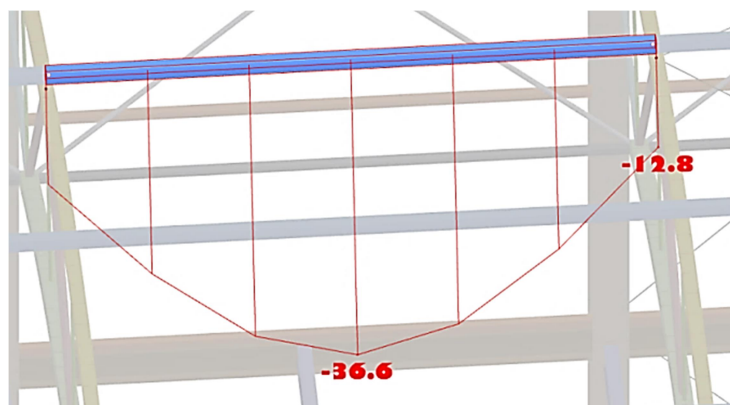
Program RSTAB zobrazuje lokální deformace ovlivněné deformacemi jiných prvků. Tyto deformace je tedy nutné odečíst.

Průhyb ve směru z: hodnoty z kombinace KZ 110, vaznice 3 mezi vazníkem I a J.

$$\omega = 36,6 - 12,8 = 23,8$$

$$\omega_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$$

$$\omega = 23,8 \text{ mm} < \omega_{lim} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

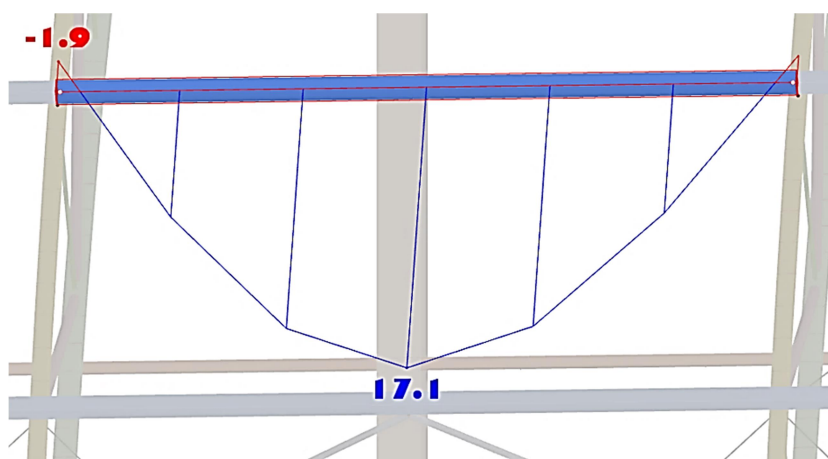


Průhyb ve směru y: hodnoty z kombinace KZ 130.

$$\omega = 17,1 + 1,9 = 19 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{200} = \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$$

$$\omega = 19 \text{ mm} < \omega_{\text{lim}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



## 5.2 Horní pás vazníku

PRŮŘEZ: Tr 4HR 120/120/6,3 (tvarovaný za tepla)

### Průřezové charakteristiky:

$$A = 2,82 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 6,03 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

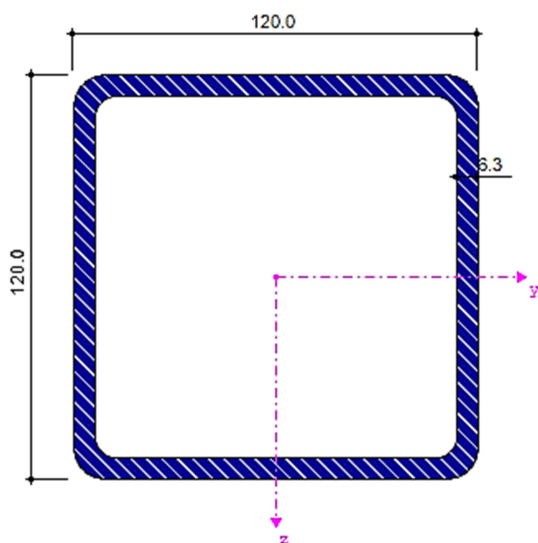
$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$A_{v,y} = A_{v,z} = 1,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

### Materiálové charakteristiky:

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

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



**Klasifikace průřezu:**

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

**Pásnice:**

$$c = 101 \text{ mm}; t = 6,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{101}{6,3} = 16 \leq 33 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

**Stojina:**

$$c = 101 \text{ mm}; t = 6,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{101}{6,3} = 16 \leq 33 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

**Posouzení mezní štíhlosti:**

Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = \lambda_z = 61,092 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na vzpěr:**

max.  $N_{c,Ed} = 383,638 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,825 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,03 \cdot 10^{-6}}{2,825^2} = 1566,028 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,82 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1566,028 \cdot 10^3}} = 0,800$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

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

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,8 - 0,2) + 0,8^2] = 0,883$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,883 + \sqrt{0,883^2 - 0,8^2}} = 0,796 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,796 \cdot 2,82 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 796,843 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{383,638}{796,843} = 0,48 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na tah:

max.  $N_{t,Ed} = 188,408 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 53.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,82 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1001,100 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{188,408}{1001,100} = 0,19 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na ohyb:

max.  $M_{y,Ed} = 14,372 \text{ kNm}$  hodnota z kombinace KZ 9.

max.  $M_{z,Ed} = 3,021 \text{ kNm}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 42,600 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{14,372}{42,600} = 0,34 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{3,021}{42,600} = 0,07 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na smyk:

max.  $V_{y,Ed} = 1,396 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 30.

max.  $V_{z,Ed} = 24,673 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 10.

$$V_{c,Rd,y} = V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,41 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 288,993 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{1,396}{288,993} = 0,01 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{24,673}{288,993} = 0,09 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na kombinaci ohybu a osového tlaku

max.  $M_{y,Ed} = 14,372 \text{ kNm}$  hodnoty z kombinace KZ 9, horní pás vazníku F.

odp.  $M_{z,Ed} = 0,010 \text{ kNm} \rightarrow$  zanedbává se

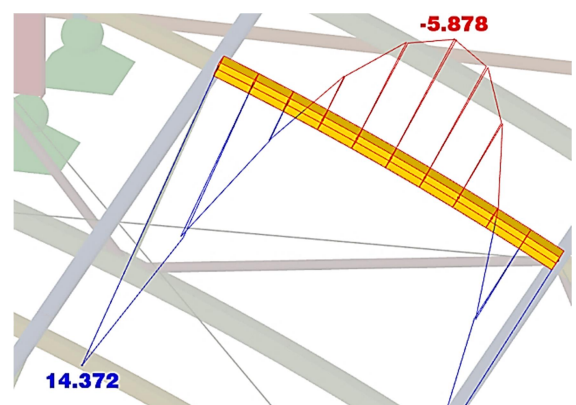
odp.  $N_{c,Ed} = 382,627 \text{ kN}$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2,82 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1\,001,100 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 42,600 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -5,878 \text{ kNm}; M_{h,y} = 14,372 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,y} = 14,372 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 1$$



$$\alpha_{s,y} = \frac{M_{s,y}}{M_{h,y}} = \frac{-5,878}{14,372} = -0,409$$

$$c_{m,y} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,409) = 0,427 \leq 0,4$$

$$k_{yy} = c_{m,y} \cdot \left( 1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{m,y} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,427 \cdot \left( 1 + (0,8 - 0,2) \cdot \frac{382,627}{\frac{0,796 \cdot 1001,1}{1,0}} \right) \leq 0,427 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{382,627}{\frac{0,796 \cdot 1001,1}{1,0}} \right)$$

$$0,550 \leq 0,591 \rightarrow k_{yy} = 0,550$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,550 = 0,330$$

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

$$\frac{382,627}{\frac{0,796 \cdot 1001,1}{1,0}} + 0,550 \cdot \frac{14,372 + 0}{\frac{1,0 \cdot 42,600}{1,0}} + 0 = 0,7$$

$$0,7 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

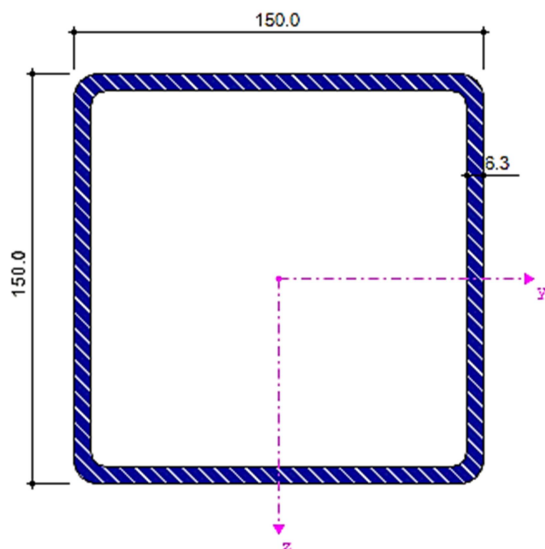
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$\frac{382,627}{\frac{0,796 \cdot 1001,1}{1,0}} + 0,330 \cdot \frac{14,372 + 0}{\frac{1,0 \cdot 42,600}{1,0}} + 0 = 0,58$$

$$0,6 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

### 5.3 Dolní pás vazníku

PRŮŘEZ: Tr 4HR 150/150/6,3 (tvarovaný za tepla)



#### Průřezové charakteristiky:

$$A = 3,58 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 1,223 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 19,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$A_{v,y} = A_{v,z} = 1,79 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

#### Materiálové charakteristiky:

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

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

#### Klasifikace průřezu:

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

#### Pásnice:

$$c = 131 \text{ mm}; t = 6,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{131}{6,3} = 20,8 \leq 33 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

#### Stojina:

$$c = 131 \text{ mm}; t = 6,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{131}{6,3} = 20,8 \leq 33 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

**Posouzení mezní štíhlosti:**

Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = 44,124 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\lambda_z = 176,498 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na vzpěr:**

max.  $N_{c,Ed} = 159,061 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 53.

$$L_{cr,y} = 2,579 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,223 \cdot 10^{-5}}{2,579^2} = 3811,034 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3,58 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{3811,034 \cdot 10^3}} = 0,577$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

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

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,577 - 0,2) + 0,577^2] = 0,706$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{0,706 + \sqrt{0,706^2 - 0,577^2}} = 0,898 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,898 \cdot 3,58 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1141,268 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{br,d}} = \frac{159,061}{1141,268} = 0,14 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



$$L_{cr,z} = 10,316 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,223 \cdot 10^{-5}}{10,316^2} = 238,190 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3,58 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{238,190 \cdot 10^3}} = 2,310$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

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

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,310 - 0,2) + 2,310^2] = 3,389$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{3,389 + \sqrt{3,389^2 - 2,31^2}} = 0,170 \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,170 \cdot 3,58 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 216,053 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{159,061}{216,053} = 0,74 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na tah:

max.  $N_{t,Ed} = 288,315 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,58 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1270,900 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{288,315}{1270,900} = 0,23 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na ohyb:**

max.  $M_{y,Ed} = 6,783 \text{ kNm}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$M_{c,Rd,y} = M_{c,Rd,z} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19,2 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 68,160 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd,y}} = \frac{6,783}{68,160} = 0,10 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na smyk:**

max.  $V_{z,Ed} = 18,247 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$V_{c,Rd,y} = V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,79 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 366,877 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{18,247}{366,877} = 0,05 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na kombinaci ohybu a osového tlaku**

max.  $N_{c,Ed} = 159,061 \text{ kN}$  hodnoty z kombinace KZ 53.

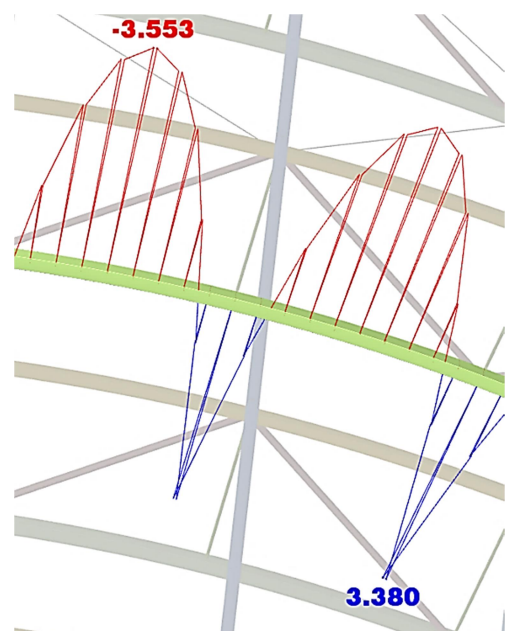
odp.  $M_{y,Ed} = -3,553 \text{ kNm}$  dolní pás vazníku F

odp.  $M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm} \rightarrow \text{zanedbává se}$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3,58 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1\,270,900 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,92 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 68,160 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -3,553 \text{ kNm}; M_{h,y} = 3,176 \text{ kNm};$$



$$\psi M_{h,y} = 3,380 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 1$$

$$\alpha_{s,y} = \frac{M_{s,y}}{M_{h,y}} = \frac{-3,553}{3,359} = -1,06 \rightarrow -1$$

$$c_{m,y} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-1) = 0,9 \leq 0,4 \rightarrow c_{m,y} = 0,4$$

$$k_{yy} = c_{m,y} \cdot \left( 1 + (\lambda_y^- - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{m,y} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,9 \cdot \left( 1 + (0,577 - 0,2) \cdot \frac{159,061}{\frac{0,898 \cdot 1270,900}{1,0}} \right) \leq 0,9 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{159,061}{\frac{0,898 \cdot 1270,900}{1,0}} \right)$$

$$0,950 \leq 1,0 \rightarrow k_{yy} = 0,950$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,950 = 0,570$$

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

$$\frac{159,061}{\frac{0,898 \cdot 1270,900}{1,0}} + 0,950 \cdot \frac{3,553 + 0}{\frac{1,0 \cdot 68,160}{1,0}} + 0 = 0,19$$

$$0,19 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

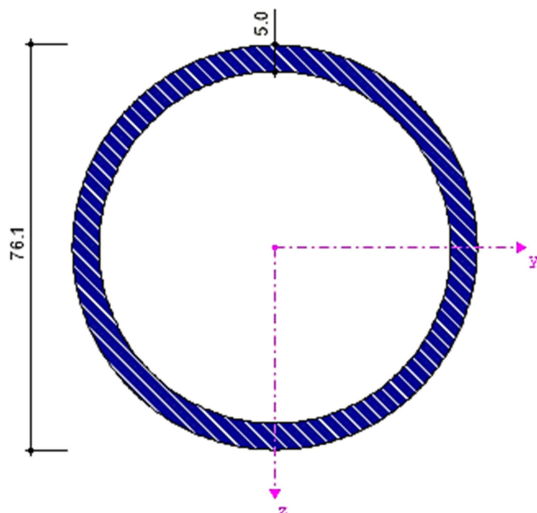
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$\frac{159,061}{\frac{0,898 \cdot 1270,900}{1,0}} + 0,570 \cdot \frac{3,553 + 0}{\frac{1,0 \cdot 68,160}{1,0}} + 0 = 0,17$$

$$0,17 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 5.4 Diagonály

PRŮŘEZ: Tr 76,1 x 5,0 (tvarovaný za tepla)



### Průřezové charakteristiky:

$$A = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 7,09 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 2,53 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

### Materiálové charakteristiky:

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

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

### Klasifikace průřezu:

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

$$d = 76,1 \text{ mm}; t = 5,0 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$$

$$\frac{76,1}{5,0} = 15,22 \leq 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

### Posouzení mezní štíhlosti:

Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = \lambda_z = 128,885 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na vzpěr:**

max.  $N_{c,Ed} = 100,324 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 10.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,243 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,09 \cdot 10^{-7}}{3,243^2} = 139,745 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{139,745 \cdot 10^3}} = 1,687$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}]$$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,687 - 0,2) + 1,687^2] = 2,079$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{2,079 + \sqrt{2,079^2 - 1,687^2}} = 0,304 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,304 \cdot 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 120,870 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{100,324}{120,870} = 0,83 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na tah:**

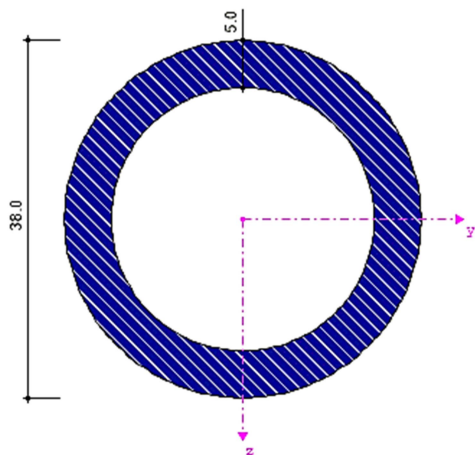
max.  $N_{t,Ed} = 87,048 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 397,600 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{87,048}{397,600} = 0,19 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 5.5 Svislice

PRŮŘEZ: Tr 38,0 x 5,0 (tvarovaný za tepla)



### Průřezové charakteristiky:

$$A = 0,5184 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 7,218 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 5,487 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

### Materiálové charakteristiky:

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

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

### Klasifikace průřezu:

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

$$d = 38 \text{ mm}; t = 5 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$$

$$\frac{38}{5,0} = 7,6 \leq 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

### Posouzení mezní štíhlosti:

Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = \lambda_z = 152,537 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na vzpěr:**

max.  $N_{c,Ed} = 20,688 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 53.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1,800 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,218 \cdot 10^{-8}}{1,800^2} = 46,175 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0,518 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{46,173 \cdot 10^3}} = 1,996$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}]$$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,996 - 0,2) + 1,996^2] = 2,681$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{2,681 + \sqrt{2,681^2 - 1,996^2}} = 0,224 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,224 \cdot 0,5184 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 41,223 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{20,688}{41,223} = 0,50 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na tah:**

max.  $N_{t,Ed} = 40,448 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5184 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 184,032 \text{ kN}$$

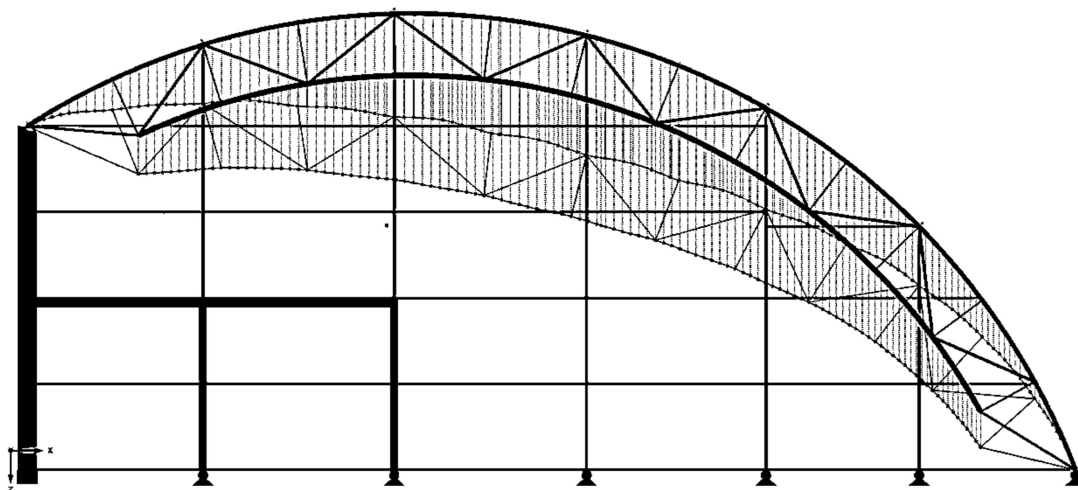
$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{40,448}{184,032} = 0,22 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 5.6 Průhyb příhradového vazníku

$$\omega = 69,8 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = \frac{30500}{250} = 122 \text{ mm}$$

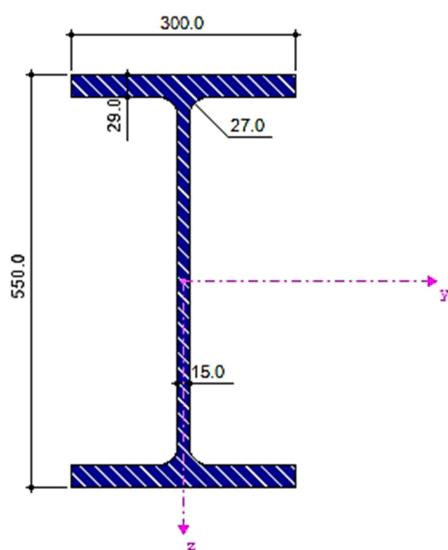
$$\omega_{\text{lim}} = 122 \text{ mm} > \omega = 69,8 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



## 5.7 Sloupy

PRŮŘEZ: HEB 550

**Průřezové charakteristiky:**



$$A = 25,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,367 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,308 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = 5,591 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,341 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A_{v,y} = 18,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{v,z} = 10,011 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$



**Materiálové charakteristiky:**

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

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

**Klasifikace průřezu:**

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

**Pásnice:**

$$c = 115,5 \text{ mm}; t = 29 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{115,5}{29} = 4 \leq 33 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

**Stojina:**

$$c = 438 \text{ mm}; t = 15 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 38\varepsilon$$

$$\frac{438}{15} = 29,2 \leq 38 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 2}$$

**Posouzení mezní štíhlosti:**

Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = 44,839 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\lambda_z = 34,845 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na vzpěr:**

max.  $N_{c,Ed} = 166,433 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 10.

$$L_{cr,y} = 2 \cdot 5,200 = 10,400 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,367 \cdot 10^{-3}}{10,400^2} = 26\,195,149 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{25,41 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{26\,195,149 \cdot 10^3}} = 0,587$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

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

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,587 - 0,2) + 0,587^2] = 0,713$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{0,713 + \sqrt{0,713^2 - 0,587^2}} = 0,895 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,895 \cdot 25,41 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 8\,073,392 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{166,433}{8\,073,392} = 0,02 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$L_{cr,z} = 2,500 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,308 \cdot 10^{-4}}{2,500^2} = 43\,375,9 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{25,41 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{43\,375,9 \cdot 10^3}} = 0,456$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

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

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,456 - 0,2) + 0,456^2] = 0,648$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{0,648 + \sqrt{0,648^2 - 0,456^2}} = 0,903 \leq 1,0$$

$$N_{b,R,d} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,903 \cdot 25,41 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 8\,145,557 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,R,d}} = \frac{166,433}{8\,145,557} = 0,02 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na tah:

max.  $N_{t,Ed} = 40,044 \text{ kN}$  hodnota z kombinace ZS 11.

$$N_{t,R,d} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{25,41 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 9\,020,550 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,R,d}} = \frac{40,044}{9\,020,550} = 0,00 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na ohyb:

max.  $M_{y,Ed} = 695,128 \text{ kNm}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$M_{c,R,d,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,591 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1\,984,805 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,R,d,y}} = \frac{695,128}{1\,984,805} = 0,35 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na smyk:

max.  $V_{z,Ed} = 79,051 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 9.

$$V_{c,R,d,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{10,011 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 2\,051,848 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,R,d,z}} = \frac{79,051}{2\,051,848} = 0,04 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na klopení**

max.  $M_{y,Ed} = 695,128 \text{ kNm}$  hodnoty z kombinace KZ 9.

$L = 5,000 \text{ m}$  (výška podlaží) sloup pod vazníkem F

$$k_y = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$c_{1,0} = 1,13$$

$$c_{1,1} = 1,13$$

$$c_2 = 0,46$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 5,000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 8,856}{81 \cdot 10^6 \cdot 6,003 \cdot 10^{-5}}} = 1,229$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{wt} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 1,229 = 1,13 \leq c_{1,1} = 1,13$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,13}{1,0} \sqrt{1 + 1,229^2} = 1,790$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,790 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 1,308 \cdot 10^8 \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 6,003 \cdot 10^6}}{5000} \\ = 4\,110,296 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{5,591 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{4\,110,296}} = 0,695$$

$$h/b = 550/300 = 1,833 < 2,0 \rightarrow \text{křivka } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2] \\ = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,695 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,695^2] = 0,712$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 + \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,712 + \sqrt{0,712^2 + 0,75 \cdot 0,695^2}} = 0,608$$

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

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot 0,485} = 0,855$$

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[ 1 - 2,0(\overline{\lambda_{LT}} - 0,8)^2 \right] = 1 - 0,5(1 - 0,855) [1 - 2,0(0,695 - 0,8)^2] \\ = 0,929 \leq 1,0$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,608}{0,929} = 0,655 \leq 1,0$$

$$\leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{0,695^2} = 2,07$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,655 \cdot 5,591 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 1300,050 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{695,128}{1300,05} = 0,53 \leq 1,0$$

### Posouzení na ohyb a osový tlak

a) max.  $N_{c,Ed} = 166,433 \text{ kN}$  hodnoty z kombinace KZ 10.

odp.  $M_{y,Ed} = 562,298 \text{ kNm}$  sloup pod vazníkem F.

odp.  $M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm}$

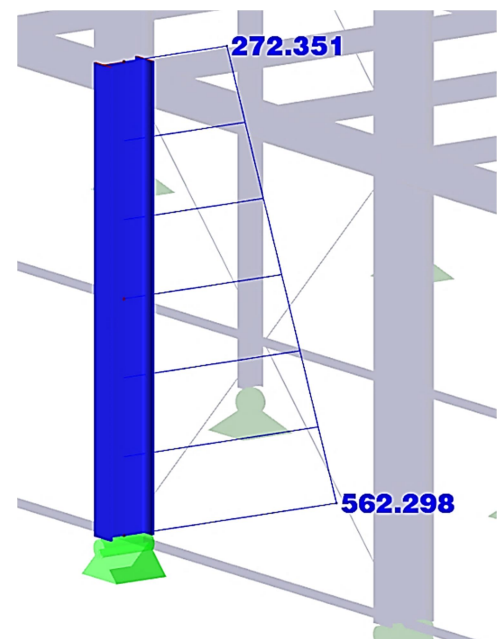
$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 25,41 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 9\,020,550 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 5,591 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 \\ = 1\,984,805 \text{ kNm}$$

$$M_y = 562,298 \text{ kNm}$$

$$\psi M_y = 272,351 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,484$$

$$c_{m,y} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,484 = 0,794 \geq 0,4$$



$$k_{yy} = c_{m,y} \cdot \left( 1 + (\lambda_y^- - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{m,y} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) =$$

$$0,794 \cdot \left( 1 + (0,587 - 0,2) \cdot \frac{166,433}{\frac{0,895 \cdot 9020,550}{1,0}} \right) \leq 0,794 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{166,433}{\frac{0,895 \cdot 9020,550}{1,0}} \right)$$

$$0,8 \leq 0,807 \rightarrow k_{yy} = 0,800$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,8 = 0,480$$

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

$$\frac{166,433}{\frac{0,895 \cdot 9020,550}{1,0}} + 0,8 \cdot \frac{562,298 + 0}{\frac{0,655 \cdot 1984,805}{1,0}} + 0 = 0,37$$

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

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

$$\frac{166,433}{\frac{0,903 \cdot 9020,550}{1,0}} + 0,48 \cdot \frac{562,298 + 0}{\frac{0,655 \cdot 1984,805}{1,0}} + 0 = 0,23$$

$$0,23 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

b) max.  $M_{y,Ed} = 695,128 \text{ kNm}$  hodnoty z kombinace KZ 9.

odp.  $N_{c,Ed} = 153,043 \text{ kN}$  sloup pod vazníkem F

odp.  $M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm}$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 25,41 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 9\,020,550 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 5,591 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 1\,984,805 \text{ kNm}$$

$$M_y = 695,128 \text{ kNm}$$

$$\psi M_y = 337,340 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,485$$

$$c_{m,y} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,485 = 0,794 \geq 0,4$$

$$k_{yy} = c_{m,y} \cdot \left( 1 + (\lambda_{\bar{y}} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{m,y} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$=$$

$$0,794 \cdot \left( 1 + (0,587 - 0,2) \cdot \frac{153,043}{\frac{0,895 \cdot 9020,550}{1,0}} \right) \leq 0,794 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{153,043}{\frac{0,895 \cdot 9020,550}{1,0}} \right)$$

$$0,8 \leq 0,806 \rightarrow k_{yy} = 0,800$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,8 = 0,480$$

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

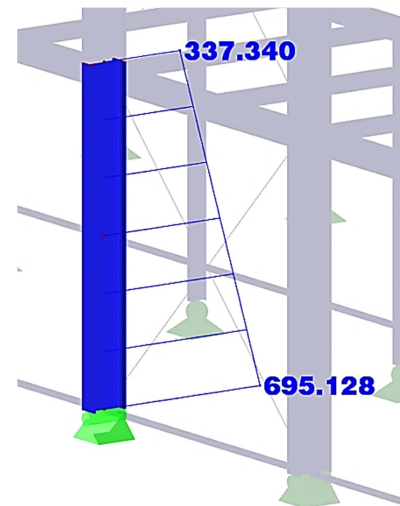
$$\frac{153,043}{\frac{0,895 \cdot 9020,550}{1,0}} + 0,8 \cdot \frac{695,128 + 0}{\frac{0,655 \cdot 1984,805}{1,0}} + 0 = 0,45$$

$$0,45 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$\frac{153,043}{\frac{0,903 \cdot 9020,550}{1,0}} + 0,48 \cdot \frac{695,128 + 0}{\frac{0,655 \cdot 1984,805}{1,0}} + 0 = 0,28$$

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



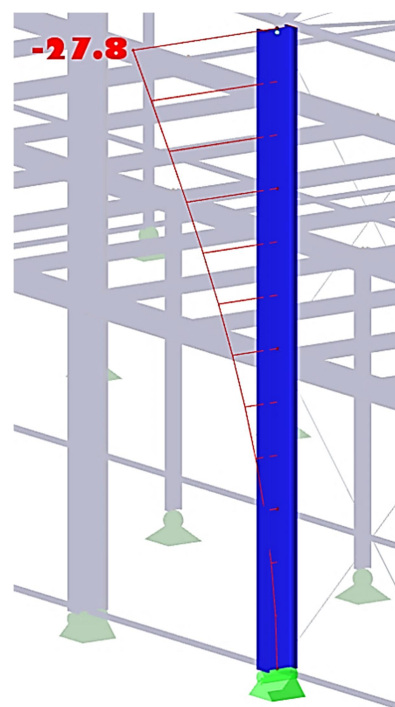
**Posouzení na průhyb**

Sloup pod vazníkem F, hodnota z kombinace KZ113.

$$\omega = 27,8 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{10000}{300} = 33,3 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = 33,3 \text{ mm} > \omega = 27,8 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**5.8 Podélné ztužidlo**

PRŮŘEZ: Tr 48,3 x 4,0 (tvarovaný za tepla)

**Průřezové charakteristiky:**

$$A = 0,557 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

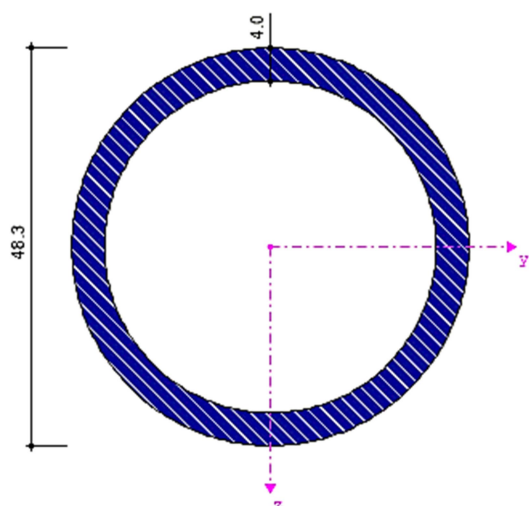
$$I_y = I_z = 1,38 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 7,87 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

**Materiálové charakteristiky:**

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

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

**Klasifikace průřezu:**

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



$$d = 48,3 \text{ mm}; t = 4 \text{ mm}$$

$$\frac{48,3}{4,0} \leq 50\varepsilon^2$$

$$\frac{48,3}{4,0} = 12,07 \leq 50 \cdot 0,814^2 = 33,13 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

### Posouzení mezní štíhlosti:

Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = \lambda_z = 195,7 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na vzpěr:

max.  $N_{c,Ed} = 23,515 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 25.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,081 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,38 \cdot 10^{-7}}{3,081^2} = 30,139 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{0,557 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{30,139 \cdot 10^3}} = 2,561$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{2-}]$$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,561 - 0,2) + 2,561^2] = 4,028$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{2-}}} = \frac{1}{4,028 + \sqrt{4,028^2 - 2,561^2}} = 0,140 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,140 \cdot 0,557 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 27,704 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{23,515}{27,704} = 0,85 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na tah:**max.  $N_{t,Ed} = 13,105 \text{ kN}$ 

hodnota z kombinace KZ 56.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,557 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 197,735 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{13,105}{197,735} = 0,07 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**5.9 Dolní pás podélného ztužidla**

PRŮŘEZ:

Tr 4HR 70/70/4,0 (tvarovaný za tepla)

**Průřezové charakteristiky:**

$$A = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = I_z = 7,47 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

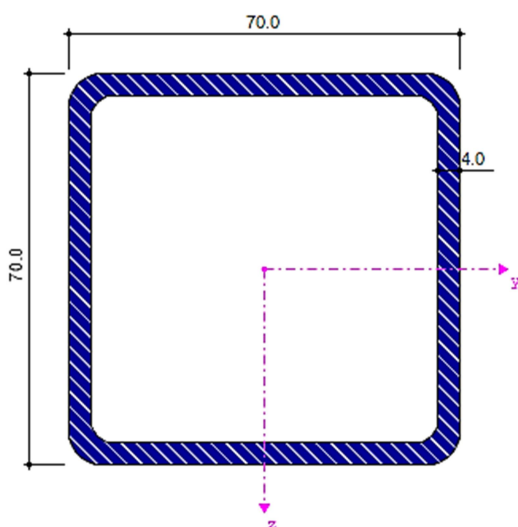
$$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 2,55 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$A_{v,y} = A_{v,z} = 0,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

**Materiálové charakteristiky:**

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

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

**Klasifikace průřezu:**

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

**Pásnice:**

$$c = 58 \text{ mm}; t = 4,0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{58}{4,0} = 14,5 \leq 33 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

**Stojina:**

$$c = 58 \text{ mm}; t = 4,0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{58}{4,0} = 14,5 \leq 33 \cdot 0,814 = 26,862 \rightarrow \text{TŘÍDA PRŮŘEZU 1}$$

**Posouzení mezní štíhlosti:**

Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = \lambda_z = 186,563 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na vzpěr:**

max.  $N_{c,Ed} = 16,425 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 53.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 5,000 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,47 \cdot 10^{-7}}{5,000^2} = 61,930 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,04 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{61,930 \cdot 10^3}} = 2,442$$

křivka a ...  $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{2^-}]$$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,442 - 0,2) + 2,442^2] = 3,716$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{3,716 + \sqrt{3,716^2 - 2,442^2}} = 0,153 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,153 \cdot 1,04 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 56,646 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{16,425}{56,646} = 0,29 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na tah:

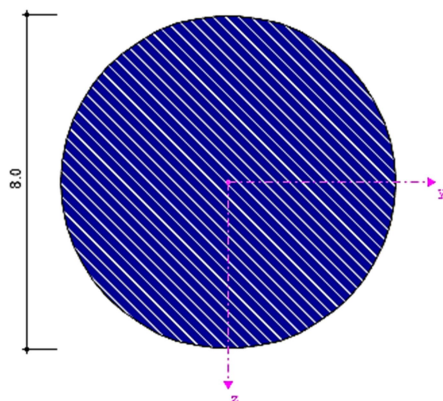
max.  $N_{t,Ed} = 28,533 \text{ kN}$  hodnota z kombinace KZ 8.

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,04 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 369,200 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{28,533}{369,200} = 0,08 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 5.10 Příčné ztužidlo

PRŮŘEZ: RD 8 (stěnové, střešní a okapové)



### Průřezové charakteristiky:

$$A = 5,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

### Materiálové charakteristiky:

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

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

### Posouzení na tah:

max.  $N_{t,Ed} = 13,204 \text{ kN}$

hodnota z kombinace KZ 9.

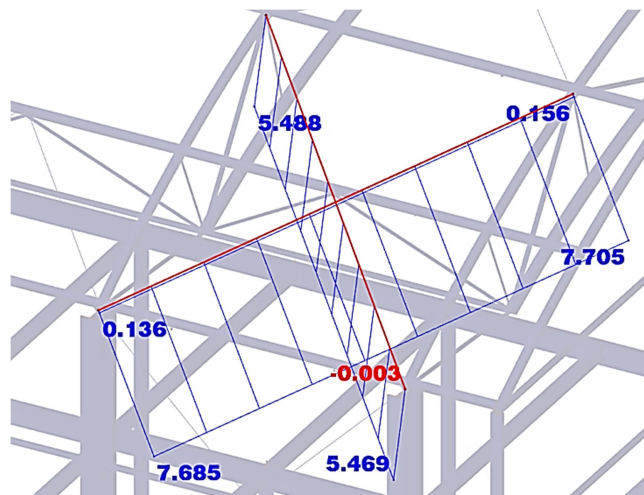
$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,03 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 17,857 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{13,204}{17,857} = 0,74 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení mezní štíhlosti:**

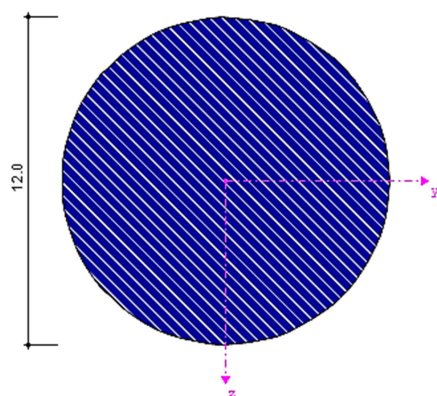
Pruty namáhané tahem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 400$

$$\lambda_{\text{max}} = \lambda_y = \lambda_z = 3766 > \lambda_{\text{lim}} = 400$$



PRŮŘEZ

RD 12 (ztužidlo 2.podlaží)

**Průřezové charakteristiky:**

$$A = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Materiálové charakteristiky:**

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

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

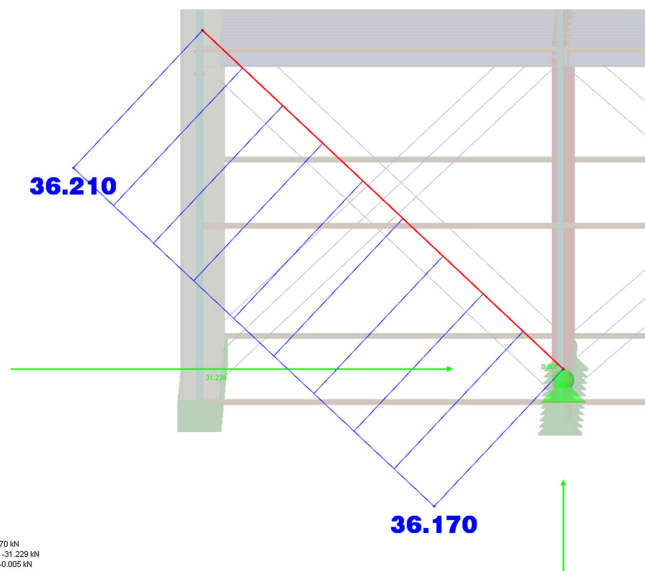
**Posouzení na tah:**

$$\text{max. } N_{t,Ed} = 36,21 \text{ kN}$$

hodnota z kombinace KZ 9..

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,13 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 40,115 \text{ kN}$$

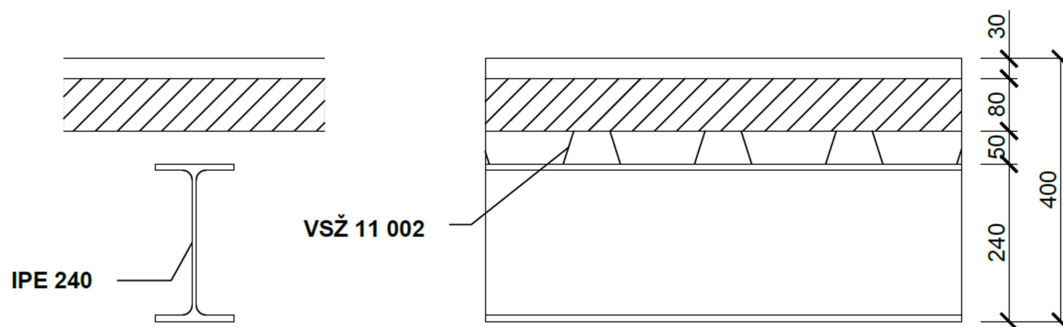
$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{36,21}{40,115} = 0,9 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



**Posouzení mezní štíhlosti:**

Pruty namáhané tahem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 400$

$$\lambda_{\text{max}} = \lambda_y = \lambda_z = 3500 > \lambda_{\text{lim}} = 400$$

**5.11 Spřažená stropnice****Materiálové charakteristiky**

OCEL:

$$f_y = 355 \text{ MPa}, f_u = 490 \text{ MPa}$$

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

BETON:

C 25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 31 \text{ GPa}$$

PLECH: VSŽ 11 002

$$h_p = 50 \text{ mm}; A = 0,11225 \text{ m}^2$$

**Zatížení**

a) stálé

| PRVEK          | gk                 | γf   | gd            |
|----------------|--------------------|------|---------------|
| IPE            | 0,307              | 1,35 | 0,414         |
| BETONOVÁ DESKA | 25 · 0,11225 · 2,5 | 1,35 | 9,471         |
| PODLAHA        | 24 · 0,03 · 2,5    | 1,35 | 2,430         |
|                | Σ 9,123 kN/m       |      | Σ 12,315 kN/m |

b) proměnné

$$qk = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$qk = 5 \cdot 2,5 = 12,5 \text{ kN/m}$$

$$qd = qk \cdot 1,5 = 12,5 \cdot 1,5 = 18,75 \text{ kN/m}$$

**Spolupůsobící šířka**

$$b_1 = b_2 = b = 2,5 \text{ m}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \frac{L}{8} = \frac{5560}{8} = 695 \text{ mm}$$

$$b_0 = 85 \text{ mm}$$

$$b_{eff} \leq b$$

$$b_{eff} \leq b_{e1} + b_{e2} + b_0 = 0,695 + 0,695 + 0,085 = 1,475 \text{ m} < b = 2,5 \text{ m}$$

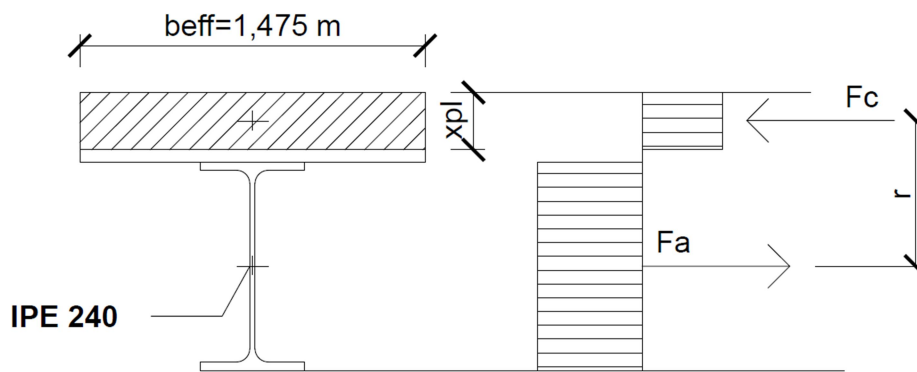
**Návrhová únosnost**

$$F_a = F_c$$

$$A_{IPE} \cdot f_{yd} = b_{eff} \cdot x_{pl} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$x_{pl} = \frac{A_{IPE} \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{0,00391 \cdot 355}{1,475 \cdot 0,85 \cdot 16,667} = 0,066 \text{ m}$$

$$x_{pl} = 0,066 \text{ m} < h = 0,08 \text{ m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



$$r = H - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h}{2} = 370 - \frac{66}{2} - 120 = 217 \text{ mm}$$

### Posouzení průhybu:

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

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (g_d + q_d) \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot (12,315 + 18,75) \cdot 5,560^2 = 120,041 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = A_{IPE} \cdot f_y \cdot r = 0,00391 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 0,217 = 301,207 \text{ kNm}$$

$$\frac{120,041}{301,207} = 0,4 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení MSP

a) 1.fáze

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{K1} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{7,323 \cdot 5,56^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 3,89 \cdot 10^{-5}} = 0,011 \text{ m}$$

$$\delta_1 = 0,011 \text{ m} \leq \frac{L}{250} = \frac{5,56}{250} = 0,02224 \text{ m}$$

$$\delta_1 = 11 \text{ mm} < 22,24 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

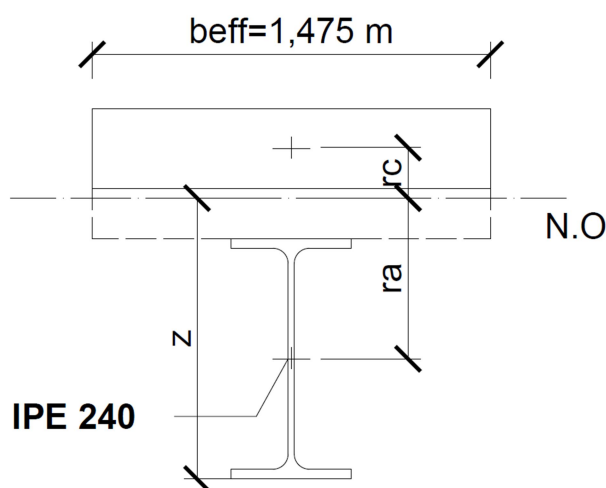


b) 2.fáze

**Ideální průřez**

$$E_{cmi} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30000}{2} = 15000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_{cmi}} = \frac{210000}{15000} = 14$$



$$h_d + h_{IPE} - \frac{h'}{2} = 0,13 + 0,24 - \frac{0,08}{2} = 0,33 \text{ m}$$

$$z = \frac{A_{IPE} \cdot \frac{h_{IPE}}{2} + \frac{b_{eff} \cdot h'}{n} \cdot h_c}{A_{IPE} + \frac{b_{eff} \cdot h'}{n}} = \frac{0,00391 \cdot \frac{0,24}{2} + \frac{1,475 \cdot 0,08}{14} \cdot 0,33}{0,00391 + \frac{1,475 \cdot 0,08}{14}} = 0,263 \text{ m}$$

$$ra = z - \frac{h_{IPE}}{2} = 0,263 - \frac{0,240}{2} = 0,143 \text{ m}$$

$$rc = hc - z = 0,330 - 0,263 = 0,067 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} I_{y,i} &= I_{IPE,y} + A_{IPE} \cdot ra^2 + \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot h'^3 + b_{eff} \cdot h' \cdot rc^2 \right) \\ &= 3,89 \cdot 10^{-5} + 0,00391 \cdot 0,143^2 + \frac{1}{14} \\ &\quad \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 1,475 \cdot 0,08^3 + 1,475 \cdot 0,08 \cdot 0,067^2 \right) = 1,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{K2} + q_k) \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{14,3 \cdot 5,56^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 1,62 \cdot 10^{-4}} = 0,005 \text{ m}$$

$$\delta_1 + \delta_2 = 0,011 + 0,005 = 0,016 \text{ m} < \frac{L}{250} = 0,02224 \text{ m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Návrh spřažení**

Spřažovací trny : SD1 ( S235J2+C450)

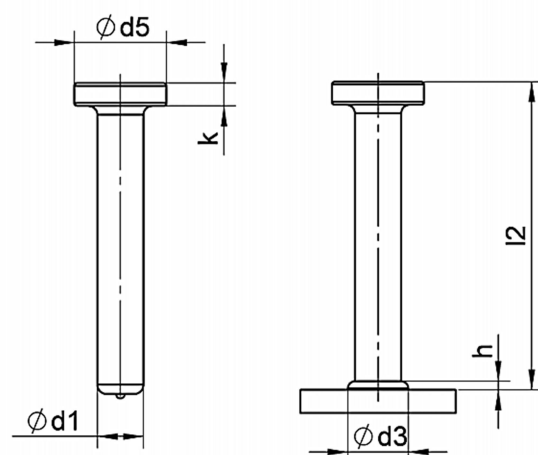
$$d_1 = 19 \text{ mm}$$

$$d_5 = 32 \text{ mm}$$

$$l_2 = 100 \text{ mm}$$

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

$$5.6. \quad f_u = 500 \text{ MPa}$$

**Návrhová únosnost 1 trnu**

$$P_{Rd} = \min = \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2}{\gamma_v \cdot 4} \\ \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} \end{array} \right\}$$

$$\alpha = 0,2 \cdot \left( \frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) = 0,2 \cdot \left( \frac{100}{19} + 1 \right) = 1,25$$

$$\text{pro } \frac{h_{sc}}{d} = \frac{100}{19} = 5,26 > 4 \rightarrow \alpha = 1,0$$

$$P_{Rd} = \min = \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,8 \cdot 500 \cdot \pi \cdot 19^2}{1,25 \cdot 4} \\ \frac{0,29 \cdot 1,0 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 31 \cdot 10^3}}{1,25} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 90,729 \text{ kN} \\ 73,730 \text{ kN} \end{array} \right\} = 73,730 \text{ kN}$$

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left( \frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{129}{50} \cdot \left( \frac{100}{50} - 1 \right) = 1,548 < 1,0$$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{2}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left( \frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{2}} \cdot \frac{129}{50} \cdot \left( \frac{100}{50} - 1 \right) = 1,277 < k_{t,MAX} = 0,7 \rightarrow k_t = 0,7$$

$$P_{Rd} = 73,730 \cdot 0,7 = 51,611 \text{ kN}$$

$$Vl_{pl} = A_{IPE} \cdot f_{yd} = 0,00391 \cdot 355 \cdot 10^6 = 1388,050 \text{ kN}$$

$$sl_{min} = 5 \cdot d = 5 \cdot 16 = 80 \text{ mm}$$

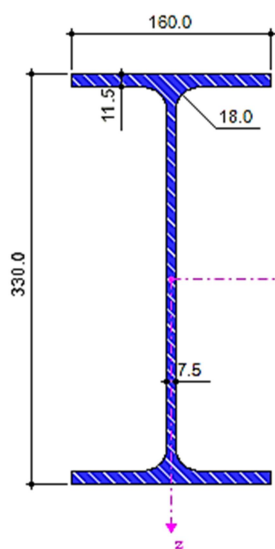
$$sl_{max} = \min \left\{ \frac{6 \cdot h_c}{800} \right\} = 480 \text{ mm} \rightarrow s_l = 200 \text{ mm}$$

$$n = \frac{L_v}{s_l} \cdot 2 = \frac{5560}{200} \cdot 2 = 56 \text{ ks} \geq \frac{V_{l,pl} \cdot 2}{P_{Rd}} = \frac{1388,050 \cdot 2}{51,611} = 54 \text{ ks} \rightarrow \text{NÁVRH: } 56 \text{ trnů}$$

## 5.12 Průvlak

PRŮŘEZ

IPE 330



### Zatížení

a) Vlastní tíha

$$\text{IPE 330} \quad g_k = 0,491 \text{ kN/m} \quad ; \quad g_d = 0,491 \cdot 1,35 = 0,663 \text{ kN/m}$$

b) reakce od stropnic

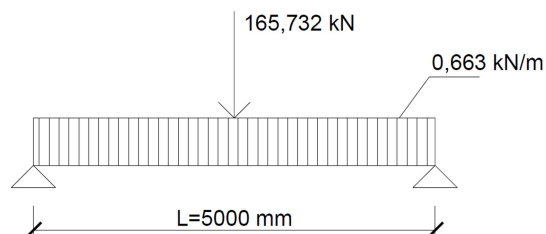
levá stropnice:  $l = 5110 \text{ mm}$ 

$$F_{DL} = (g_d + q_d) \cdot \frac{L}{2} = (12,315 + 18,75) \cdot \frac{5,110}{2} = 79,371 \text{ kN}$$

pravá stropnice:  $l = 5560 \text{ mm}$ 

$$F_{DP} = (g_d + q_d) \cdot \frac{L}{2} = (12,315 + 18,75) \cdot \frac{5,560}{2} = 86,361 \text{ kN}$$

$$F_D = F_{DL} + F_{DP} = 79,371 + 86,361 = 165,732 \text{ kN}$$



Reakce od vlastní tíhy a stropnic

$$R_a = \frac{L \cdot g_d + F_d}{2} = \frac{5,0 \cdot 0,663 + 165,732}{2} = 84,524 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 84,524 \cdot 2,5 - 0,663 \cdot 2,5 \cdot 1,25 = 209,238 \text{ kNm}$$

Posouzení

a) ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,04 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 285,420 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{209,238}{285,420} = 0,73 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

b) smyk

$$V_{Ed} = R = 84,524 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,871 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 793,459 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{84,524}{793,459} = 0,11 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

c) průhyb

$$\delta_{IPE} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_K \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,491 \cdot 5,0^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 1,177 \cdot 10^{-4}} = 0,2 \text{ mm}$$

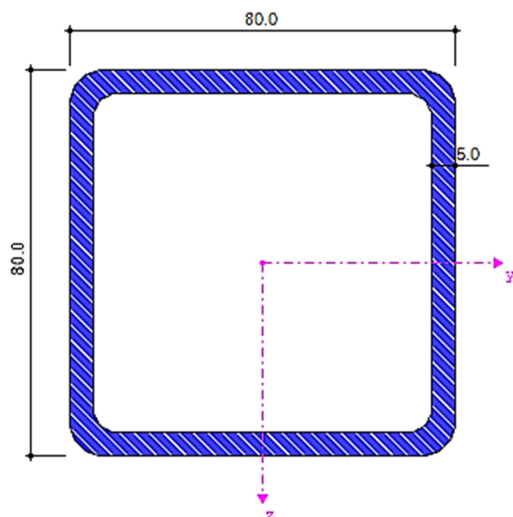
$$\delta_F = \frac{1}{48} \cdot \frac{F_K \cdot L^3}{E \cdot I_y} = \frac{1}{48} \cdot \frac{115,359 \cdot 5,0^3}{210 \cdot 10^6 \cdot 1,177 \cdot 10^{-4}} = 12,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{MAX} = 12,4 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{5000}{250} = 20 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 5.13 Posouzení dalších prvků na MSP a mezní štíhlost

#### Paždíky

PRŮŘEZ: Tr 4HR 80/80/5,0 (tvarovaný za tepla)



#### Posouzení na průhyb

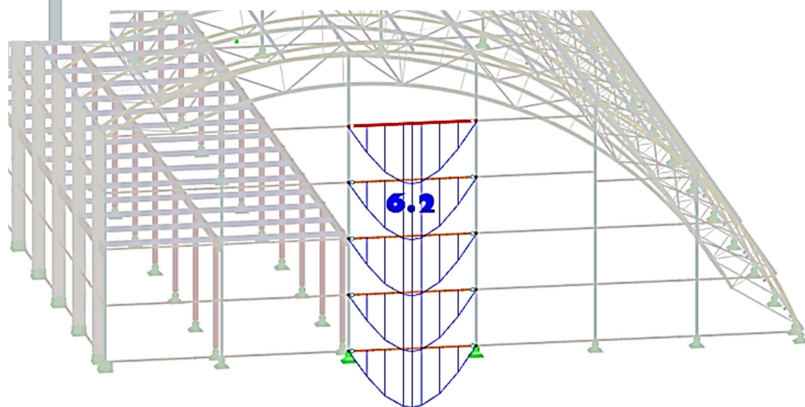
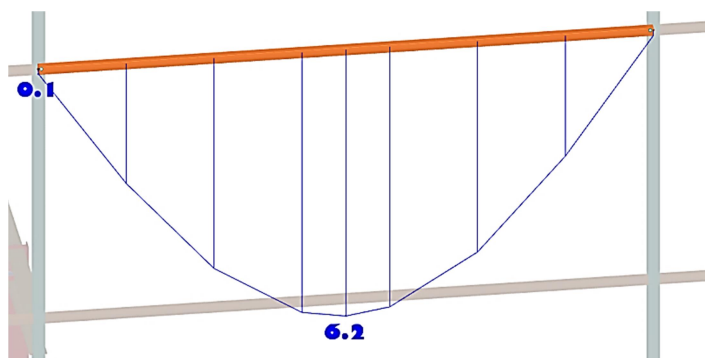
Paždík čelní štěny.

Kombinace zatížení KZ 109.

$$\omega = 6,2 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = \frac{5590}{250} = 22,36 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = 22,36 \text{ mm} > \omega = 6,2 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



#### Posouzení mezní štíhlosti:

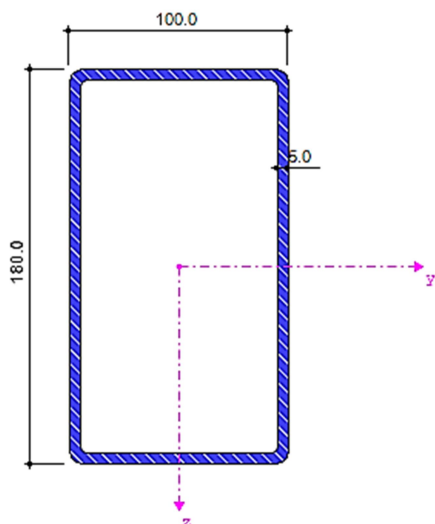
Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = \lambda_z = 183,340 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow$$

VYHOVUJE

**Čelní sloupy**

PRŮŘEZ: Tr OBD 180/100/5,0 (tvarovaný za tepla)

**Posouzení na průhyb**

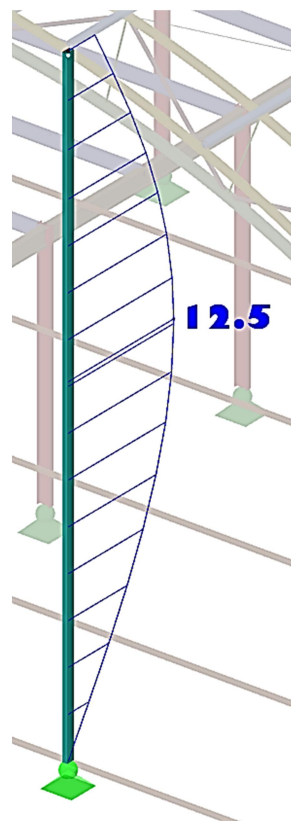
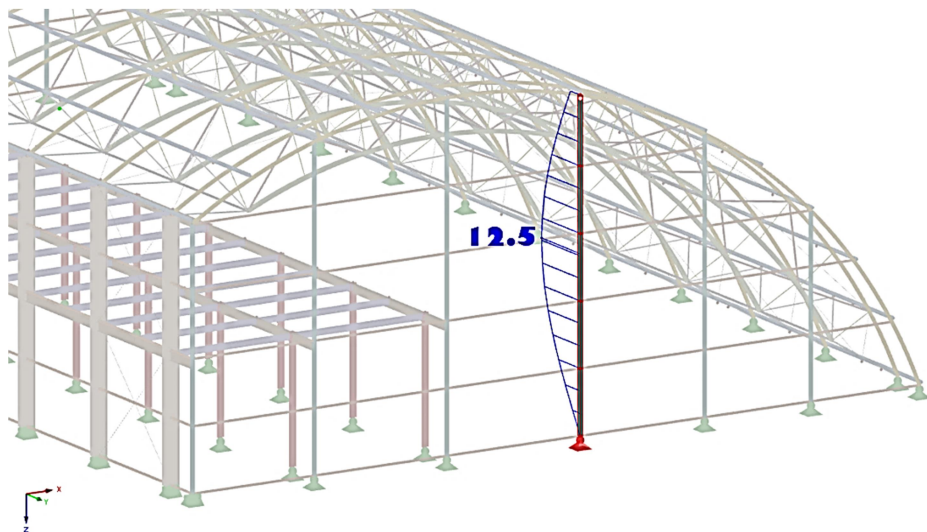
Sloup pod vaznicí 7.

Kombinace zatížení KZ 168.

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

$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{12636}{300} = 42,12 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = 42,12 \text{ mm} > \omega = 12,5 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení mezní štíhlosti:**

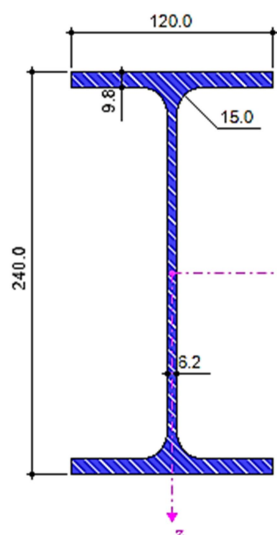
Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$

$$\lambda_y = 192,287 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\lambda_z = 63,514 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Vnitřní sloupy**

PRŮŘEZ: IPE 240

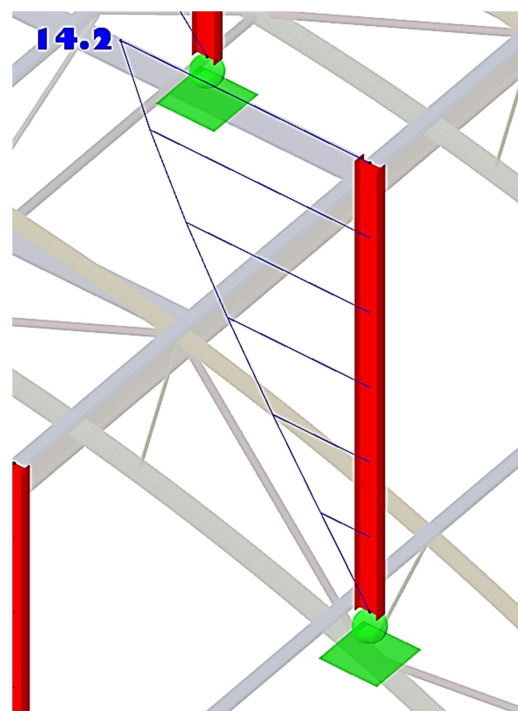
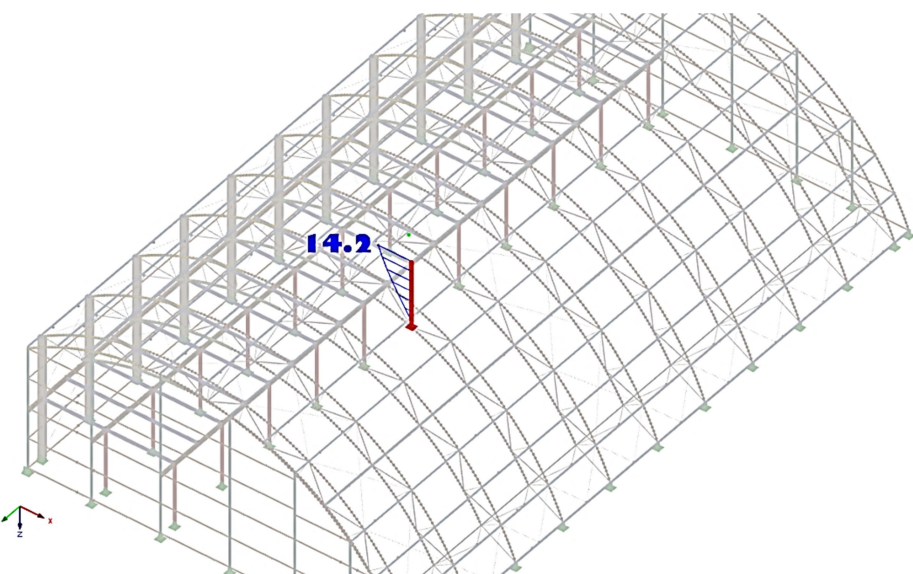
**Posouzení na průhyb**

Kombinace zatížení KZ 112.

$$\omega = 14,2 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{12636}{300} = 42,12 \text{ mm}$$

$$\omega_{\text{lim}} = 42,12 \text{ mm} > \omega = 12,5 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

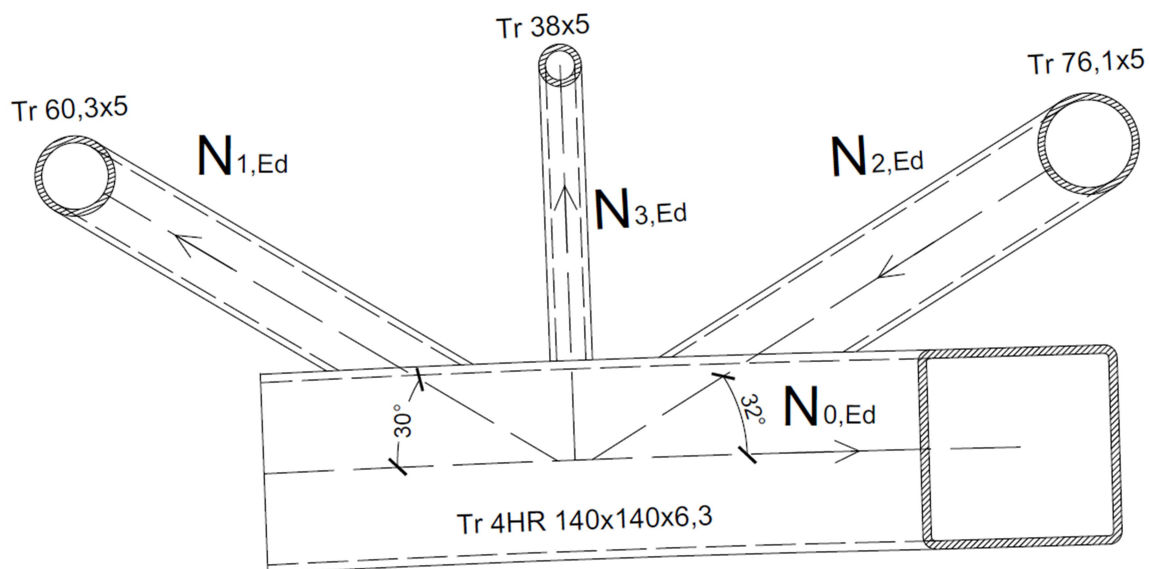
**Posouzení mezní štíhlosti:**Pruty namáhané tlakem  $\rightarrow \lambda_{\text{lim}} = 200$ 

$$\lambda_y = 50,128 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\lambda_z = 185,702 < \lambda_{\text{lim}} = 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 6 Posouzení spojů

### 6.1 Připojení diagonál a svislice k dolnímu pásu



#### Vnitřní síly:

$N_{0,Ed} = 173,752 \text{ kN}$  hodnoty z kombinace KZ 10.

$N_{1,Ed} = 108,604 \text{ kN}$  styčnick na vazníku F

$N_{2,Ed} = -100,324 \text{ kN}$

$N_{3,Ed} = 20,039 \text{ kN}$

#### Rozměry:

$t_0 = 6,3 \text{ mm}; t_1 = t_2 = t_3 = 5 \text{ mm}$

$b_0 = h_0 = 150 \text{ mm}; d_1 = 60,3 \text{ mm}; d_2 = 76,1 \text{ mm}; d_3 = 38 \text{ mm}$

$\theta_1 = 30^\circ; \theta_2 = 33^\circ; \theta_3 = 90^\circ$



**Posouzení svaru diagonály 1 na dolní pás:**

$$a_{min} = 3mm \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 mm$$

$$\rightarrow a = 3mm$$

$$L = \pi \cdot d_1 = \pi \cdot 60,3 = 189,4 mm$$

$$A = L \cdot a = 189,2 \cdot 3 = 567,6 mm^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{108,604 \cdot 10^3 \cdot \sin 30^\circ}{567,6 \cdot \sqrt{2}} = 67,649 MPa$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A/2} = \frac{108,604 \cdot 10^3 \cdot \sin 33^\circ}{283,8} = 191,339 MPa$$

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

$$\sqrt{67,649^2 + 3 \cdot 67,649^2 + 3 \cdot 191,339^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$357,963 MPa < 435,56 MPa \rightarrow VYHOVUJE$$

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

$$67,649 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$67,649 MPa < 352,8 MPa \rightarrow VYHOVUJE$$

**Posouzení svaru diagonály 2 na dolní pás:**

$$a_{min} = 3mm \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 mm$$

$$\rightarrow a = 3mm$$

$$L = \pi \cdot d_2 = \pi \cdot 76,1 = 239,075 mm$$

$$A = L \cdot a = 239,075 \cdot 3 = 717,226 mm^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_1}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{100,324 \cdot 10^3 \cdot \sin 32^\circ}{717,226 \cdot \sqrt{2}} = 52,414 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{2,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A/2} = \frac{100,324 \cdot 10^3 \cdot \sin 32^\circ}{358,613} = 148,248 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{52,414^2 + 3 \cdot 52,414^2 + 3 \cdot 148,248^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$277,347 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$52,414 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$52,414 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení svaru svislice na dolní pás:

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm}$$

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

$$L = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 38 = 119,381 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 119,381 \cdot 3 = 358,142 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{3,Ed}}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{20,039 \cdot 10^3}{358,142 \cdot \sqrt{2}} = 39,565 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

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

$$\sqrt{39,565^2 + 3 \cdot 39,565^2 + 3 \cdot 0} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$79,130 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$39,565 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$39,565 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Rozsah platnosti

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{60,3}{140} = 0,431 \geq 0,35$$

$$\frac{d_2}{b_0} = \frac{76,1}{140} = 0,545 \geq 0,35$$

$$\frac{d_3}{b_0} = \frac{38}{140} = 0,271 \geq 0,25$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{60,3}{5} = 12,06 \leq 35$$

$$\frac{d_2}{t_2} = \frac{76,1}{5} = 15,22 \leq 35$$

$$\frac{d_3}{t_3} = \frac{38}{5} = 7,6 \leq 35$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{140}{6,3} = 22,222 \leq 35$$

$$\geq 10$$

$$\geq 15$$

$$\frac{g}{b_0} \geq 0,5(1 - \beta) \text{ ale } \leq 1,5(1 - \beta)$$

$$0,5 \left( 1 - \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} \right) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1,5 \left( 1 - \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} \right)$$

$$0,5 \left( 1 - \frac{60,3 + 76,1 + 38}{3 \cdot 140} \right) \leq \frac{50}{140} \leq 1,5 \left( 1 - \frac{60,3 + 76,1 + 38}{3 \cdot 140} \right)$$

$$0,29 \leq 0,36 \leq 0,88$$

$$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2 \cdot d_1} \leq 1,3 \rightarrow 0,6 \leq 1,1 \leq 1,3 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Odolnost proti porušení povrchu dolního pásu

$$\beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot d_0} = \frac{60,3 + 76,1 + 38}{3 \cdot 140} = 0,415$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{140}{2 \cdot 6,3} = 11,111$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{173,752}{3,33 \cdot 10^{-3}} + 0 = 52,178 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y,0}} = \frac{52,178}{355} = 0,147$$

$$k_n = 1,0 \rightarrow TAH$$

### Diagonály

$$N_{i,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot \gamma^{0,5} \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_i} \cdot \left( \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{\gamma_{M5}} \rightarrow \text{styčníky K a N s mezerou}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot 11,111^{0,5} \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 6,3^2}{\sin 30} \cdot \left( \frac{60,3 + 76,1 + 38}{3 \cdot 140} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{1,0} = 272,642 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 108,604 \text{ kN} \leq N_{1,Rd} = 272,642 \text{ kN}$$

$$108,604 \text{ MPa} < 272,642 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot 11,111^{0,5} \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 6,3^2}{\sin 32} \cdot \left( \frac{60,3 + 76,1 + 38}{3 \cdot 140} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{1,0} = 257,249 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 100,324 \text{ kN} \leq N_{2,Rd} = 257,249 \text{ kN}$$

$$100,324 \text{ MPa} < 257,249 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Svislice

$$N_{3,Rd} = \frac{\frac{k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2 \cdot \beta}{\sin \theta_i} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{\gamma_{M5}} \rightarrow \text{styčníky } T, Y, X$$

$$N_{3,Rd} = \frac{\frac{1,0 \cdot 355 \cdot 6,3^2}{(1 - 0,415)1,0} \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,415}{1,0} + 4\sqrt{1 - 0,415} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{1,0} = 72,338 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = 20,039 \text{ kN} \leq N_{3,Rd} = 72,338 \text{ kN}$$

$$20,039 \text{ MPa} < 72,338 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení

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

$$108,604 \cdot \sin 30 + 20,039 \cdot \sin 90 \leq 272,642 \cdot \sin 30$$

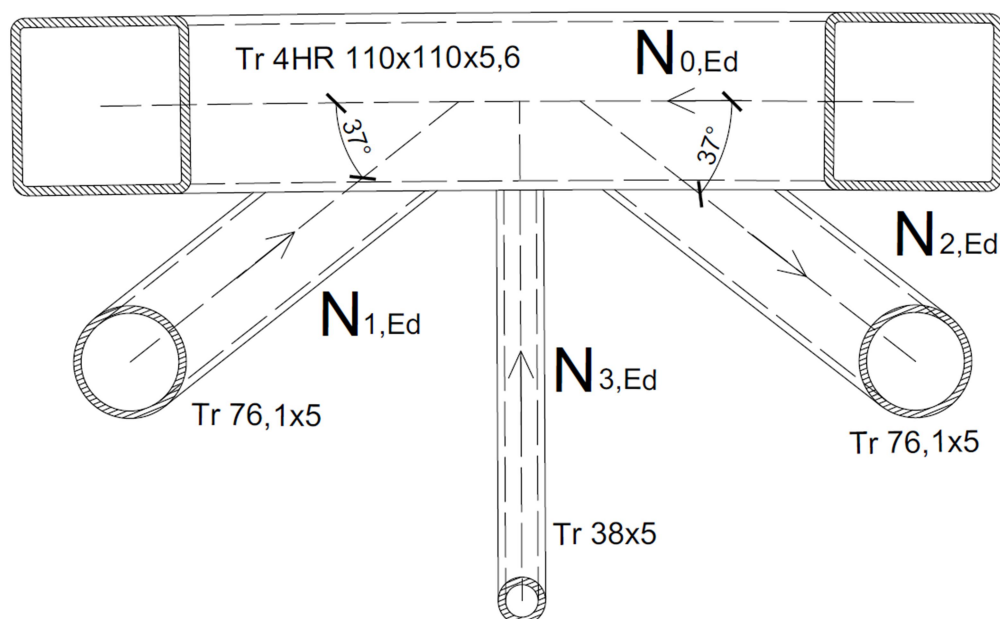
$$74,341 \text{ MPa} < 136,321 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$100,324 \cdot \sin 32 \leq 257,249 \cdot \sin 32$$

$$53,164 \text{ MPa} < 136,321 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 6.2 Připojení diagonál a svislice k hornímu pásu



### Vnitřní síly:

$$N_{0,Ed} = -305,020 \text{ kN}$$

hodnoty z kombinace KZ 9

$$N_{1,Ed} = 87,048 \text{ kN}$$

stýčník vazníku F

$$N_{2,Ed} = -71,387 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = 14,734 \text{ kN}$$

### Rozměry:

$$t_0 = 6,3 \text{ mm}; t_1 = t_2 = t_3 = 5 \text{ mm}$$

$$b_0 = h_0 = 120 \text{ mm}; d_1 = 76,1 \text{ mm}; d_2 = 76,1 \text{ mm}; d_3 = 38 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = \theta_2 = 37^\circ; \theta_3 = 90^\circ$$

**Posouzení svaru diagonály 1 na dolní pás:**

$$a_{min} = 3mm \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 mm$$

$$\rightarrow a = 3mm$$

$$L = \pi \cdot d_1 = \pi \cdot 76,1 = 239,075 mm$$

$$A = L \cdot a = 239,075 \cdot 3 = 717,226 mm^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{87,048 \cdot 10^3 \cdot \sin 37^\circ}{717,226 \cdot \sqrt{2}} = 51,648 MPa$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A/2} = \frac{87,048 \cdot 10^3 \cdot \sin 37^\circ}{358,613} = 146,082 MPa$$

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

$$\sqrt{51,648^2 + 3 \cdot 51,648^2 + 3 \cdot 146,082^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$273,295 MPa < 435,56 MPa \rightarrow VYHOVUJE$$

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

$$51,648 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$51,648 MPa < 352,8 MPa \rightarrow VYHOVUJE$$

**Posouzení svaru diagonály 2 na dolní pás:**

$$a_{min} = 3mm \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 mm$$

$$\rightarrow a = 3mm$$

$$L = \pi \cdot d_2 = \pi \cdot 76,1 = 239,075 mm$$

$$A = L \cdot a = 239,075 \cdot 3 = 717,226 mm^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_1}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{71,387 \cdot 10^3 \cdot \sin 37^\circ}{717,226 \cdot \sqrt{2}} = 42,356 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{2,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A/2} = \frac{71,387 \cdot 10^3 \cdot \sin 37^\circ}{358,613} = 119,800 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{42,356^2 + 3 \cdot 42,356^2 + 3 \cdot 119,800^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$224,126 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$42,356 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$42,356 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení svaru svislice na dolní pás:

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm}$$

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

$$L = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 38 = 119,381 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 119,381 \cdot 3 = 358,142 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{3,Ed}}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{14,734 \cdot 10^3}{358,142 \cdot \sqrt{2}} = 29,09 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

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

$$\sqrt{29,09^2 + 3 \cdot 29,09^2 + 3 \cdot 0} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$



$$58,18 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$29,09 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$29,09 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Rozsah platnosti

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{76,1}{110} = 0,692 \geq 0,35$$

$$\frac{d_2}{b_0} = \frac{76,1}{110} = 0,692 \geq 0,35$$

$$\frac{d_3}{b_0} = \frac{38}{110} = 0,345 \geq 0,25$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{76,1}{5} = 15,22 \leq 35$$

$$\frac{d_2}{t_2} = \frac{76,1}{5} = 15,22 \leq 35$$

$$\frac{d_3}{t_3} = \frac{38}{5} = 7,6 \leq 35$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{110}{5,6} = 19,64 \leq 35$$

$$\geq 10$$

$$\geq 15$$

$$\frac{g}{b_0} \geq 0,5(1 - \beta) \text{ ale } \leq 1,5(1 - \beta)$$

$$0,5 \left( 1 - \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} \right) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1,5 \left( 1 - \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} \right)$$

$$0,5 \left( 1 - \frac{2 \cdot 76,1 + 38}{3 \cdot 110} \right) \leq \frac{40}{110} \leq 1,5 \left( 1 - \frac{2 \cdot 76,1 + 38}{3 \cdot 110} \right)$$

$$0,21 \leq 0,36 \leq 0,635$$

$$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2 \cdot d_1} \leq 1,3 \rightarrow 0,6 \leq 1,0 \leq 1,3 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Odolnost proti porušení povrchu dolního pásu

$$\beta = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot d_0} = \frac{2 \cdot 76,1 + 38}{3 \cdot 110} = 0,576$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{110}{2 \cdot 5,6} = 9,821$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{305,020}{2,3 \cdot 10^{-3}} + \frac{8,363}{0,755 \cdot 10^{-4}} = 243,385 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y,0}} = \frac{243,385}{355} = 0,686$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,686}{0,576} = 0,824 \leq 1,0 \rightarrow \text{TLAK}$$

### Diagonály

$$N_{i,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot \gamma^{0,5} \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_i} \cdot \left( \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot b_0} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{\gamma_{M5}} \rightarrow \text{styčníky K a N s mezerou}$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot 9,821^{0,5} \cdot 0,824 \cdot 355 \cdot 5,6^2}{\sin 37} \cdot \left( \frac{2 \cdot 76,1 + 38}{3 \cdot 110} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{1,0} = 192,452 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 87,048 \text{ kN} \leq N_{1,Rd} = 192,452 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 71,387 \text{ kN} \leq N_{1,Rd} = 192,452 \text{ kN}$$

$$87,048 \text{ MPa} < 192,452 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$71,387 \text{ MPa} < 192,452 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Svislice**

$$N_{3,Rd} = \frac{\frac{k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2 \cdot \beta}{\sin \theta_i} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{\gamma_{M5}} \rightarrow \text{styčníky } T, Y, X$$

$$N_{3,Rd} = \frac{\frac{0,824 \cdot 355 \cdot 5,6^2}{(1 - 0,576)1,0} \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,576}{1,0} + 4\sqrt{1 - 0,576} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{1,0} = 63,834 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = 14,734 \text{ kN} \leq N_{3,Rd} = 68,834 \text{ kN}$$

$$14,734 \text{ MPa} < 68,834 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení**

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

$$87,048 \cdot \sin 37 + 14,734 \cdot \sin 90 \leq 192,452 \cdot \sin 37$$

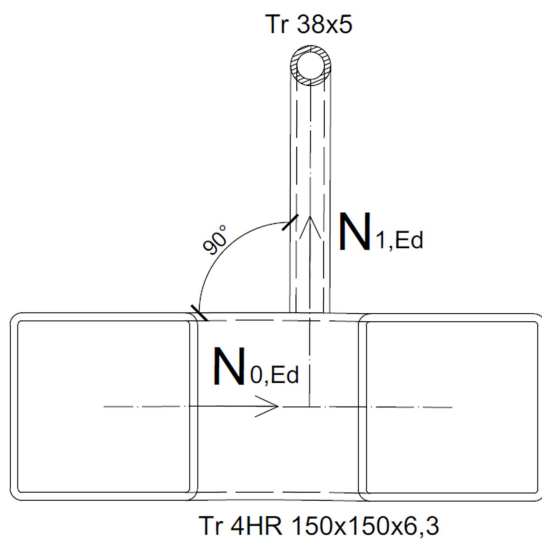
$$67,121 \text{ MPa} < 115,821 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$71,387 \cdot \sin 37 \leq 192,452 \cdot \sin 37$$

$$42,962 \text{ MPa} < 115,821 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 6.3 Připojení svislice k dolnímu pásu



**Vnitřní síly:**

$$N_{0,Ed} = 288,315 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 40,448 \text{ kN}$$

styčník vazníku F

hodnoty z kombinace KZ 9

**Rozměry:**

$$t_0 = 6,3 \text{ mm}; t_1 = 5 \text{ mm}$$

$$b_0 = h_0 = 150 \text{ mm}; d_1 = 38 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 90^\circ$$

**Posouzení svaru svislice na dolní pás:**

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm}$$

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

$$L = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 38 = 119,381 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 119,381 \cdot 3 = 358,142 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed}}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{40,448 \cdot 10^3}{358,142 \cdot \sqrt{2}} = 79,860 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

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

$$\sqrt{79,860^2 + 3 \cdot 79,860^2 + 3 \cdot 0} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$159,720 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$159,720 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$159,720 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Rozsah platnosti

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{38}{150} = 0,253 \geq 0,25$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{38}{5} = 7,6 \leq 35$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{150}{6,3} = 23,81 \leq 35$$

$$\geq 10$$

### Odolnost proti porušení povrchu dolního pásu

$$\beta = \eta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{38}{150} = 0,253$$

$$k_n = 1,0 \rightarrow TAH$$

### Svislice

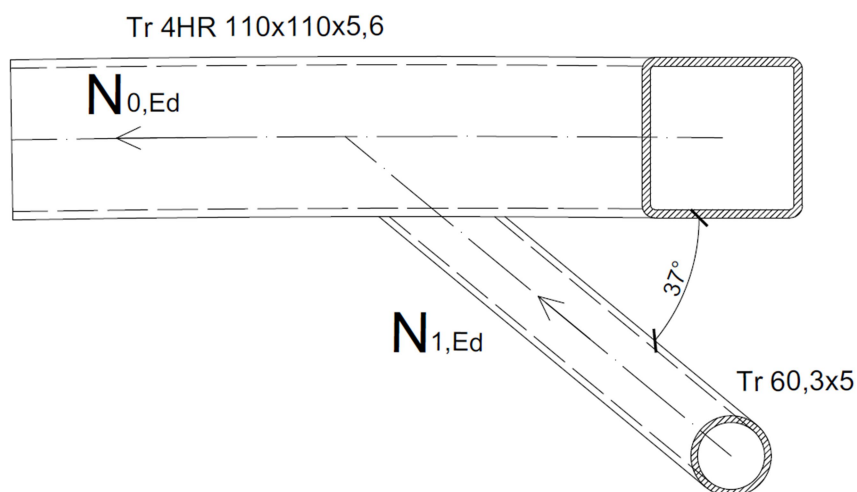
$$N_{1,Rd} = \frac{k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \left( \frac{2 \cdot \beta}{\sin \theta_i} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{\gamma_{M5}} \rightarrow \text{styčníky } T, Y, X$$

$$N_{1,Rd} = \frac{1,0 \cdot 355 \cdot 6,3^2}{(1 - 0,253)1,0} \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,253}{1,0} + 4\sqrt{1 - 0,253} \right) \cdot \frac{\pi}{4} = 58,711 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 40,448 \text{ kN} \leq N_{1,Rd} = 58,711 \text{ kN}$$

$$40,448 \text{ MPa} < 58,711 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### 6.4 Připojení krajní diagonály k hornímu pásu



##### Vnitřní síly:

$$N_{0,Ed} = -197,232 \text{ kN}$$

hodnoty z kombinace KZ 10

$$N_{1,Ed} = 109,204 \text{ kN}$$

styčnick vazníku D

##### Rozměry:

$$t_0 = 5,6 \text{ mm}; t_1 = 5 \text{ mm}$$

$$b_0 = h_0 = 110 \text{ mm}; d_1 = 38 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 39^\circ$$

##### Posouzení svaru krajní diagonály na horní pás:

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm}$$

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

$$L = \pi \cdot d_1 = \pi \cdot 60,3 = 189,438 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 189,438 \cdot 4 = 757,752 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1}{A \cdot \sqrt{2}} = \frac{109,204 \cdot 10^3 \cdot \sin 37^\circ}{757,752 \cdot \sqrt{2}} = 61,328 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A/2} = \frac{109,204 \cdot 10^3 \cdot \sin 37^\circ}{378,876} = 173,462 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{61,328^2 + 3 \cdot 61,328^2 + 3 \cdot 173,462^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$324,518 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$61,328 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$61,328 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Rozsah platnosti

$$\frac{d_1}{b_0} = \frac{60,3}{110} = 0,548 \geq 0,25$$

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{60,3}{5} = 12,06 \leq 35$$

$$\frac{b_0}{t_0} = \frac{110}{5,6} = 19,643 \leq 35$$

$$\geq 10$$

**Odolnost proti porušení povrchu dolního pásu**

$$\beta = \eta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{60,3}{110} = 0,548$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{197,232}{2,3 \cdot 10^{-3}} + 0 = 85,753 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y,0}} = \frac{85,753}{355} = 0,242$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 0,242}{0,548} = 1,12 \leq 1,0 \rightarrow \text{TLAK}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2 \cdot \beta}{\sin \theta_i} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{\gamma_{M5}} \rightarrow \text{styčníky } T, Y, X$$

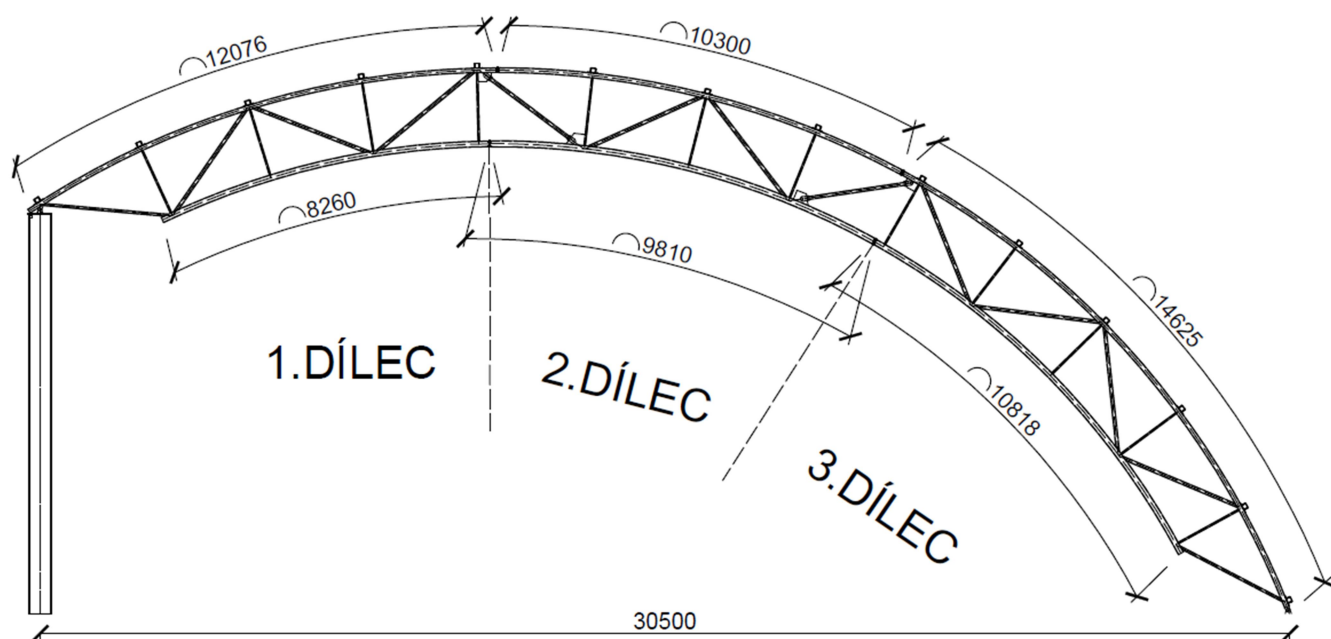
$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{1,0 \cdot 355 \cdot 5,6^2}{(1 - 0,548) \sin 37} \cdot \left( \frac{2 \cdot 0,548}{\sin 37} + 4\sqrt{1 - 0,548} \right) \cdot \frac{\pi}{4}}{1,0} = 144,980 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 109,204 \text{ kN} \leq N_{1,Rd} = 144,98 \text{ kN}$$

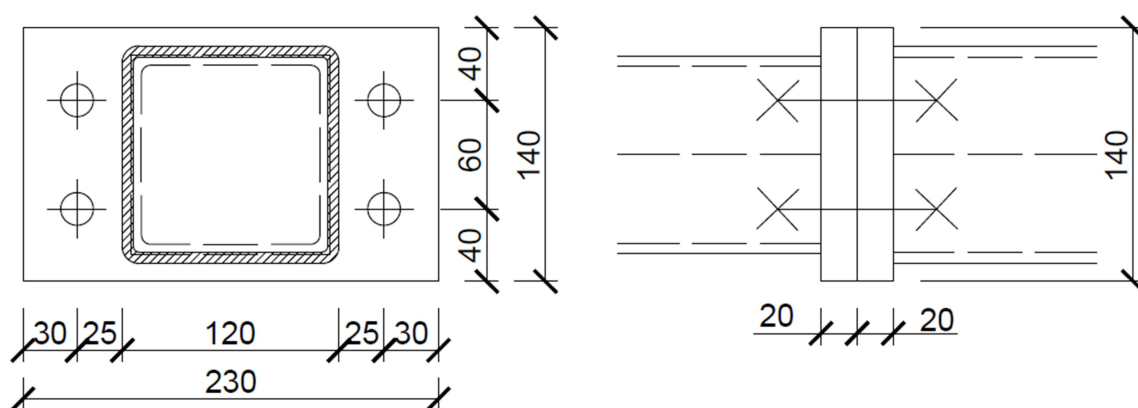
$$109,204 \text{ MPa} < 144,980 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



## 7 Posouzení montážních spojů



### 7.1 Montážní spoj horního pásu



**NÁVRH:** 4x M16 8.8

**Rozměry a materiálové charakteristiky:**

$d = 16 \text{ mm}$

$f_u = 490 \text{ MPa}$

$d_0 = 18 \text{ mm}$

$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

$$d_m = 25,85 \text{ mm}$$

$$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

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

$$A = 201,1 \text{ mm}^2$$

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

**Vnitřní síly:**

$$N_{Ed} = 182,138 \text{ kN}$$

$$M_{y, Ed} = 3,186 \text{ kNm}$$

$$V_{z, Ed} = 8,585 \text{ kN}$$

**Rozteče:**

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \rightarrow p_1 = 170 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \rightarrow p_2 = 60 \text{ mm}$$

**Posouzení na smyk**

a) posouzení na střih

$$\text{síla na jeden šroub} \quad F_{V,1,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{8,585}{4} = 2,146 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 201,1}{1,25} = 77,222 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{2,146}{77,222} = 0,03 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(4,5; 2,96; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left( \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_2}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,556; 0,86; 1,63; 1) = 0,556$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,556 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 20}{1,25} = 174,362 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{2,146}{174,362} = 0,012 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na tah

$$F_{t',1,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{182,138}{4} = 45,535 \text{ kN}$$

vliv páčení

$$a = 30 \text{ mm}; b = 25 \text{ mm}; r = 60 \text{ mm}$$

$$t_E = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{25 \cdot 16^2}{30}} = 25,7 > t = 20 \text{ mm} \rightarrow \text{vliv součinitele páčení}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \left( \frac{te^3 - t^3}{d^2} \right) = 1 + 0,005 \left( \frac{25,7^3 - 20^3}{16^2} \right) = 1,175$$

$$F_{1,M} = M_{y,Ed} \cdot \frac{r}{\sum r^2} = 3,186 \cdot \frac{60}{2 \cdot 60^2} = 26,55 \text{ kN} \rightarrow 1 \text{ šroub } 13,276 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Ed} = \gamma_p \cdot (F_{t',1,Ed} + F_{1,M}) = 1,175 \cdot (45,535 + 13,276) = 69,102 \text{ kN}$$

a) posouzení na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 157}{1,25} = 90,432 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{69,102}{90,432} = 0,76 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na protlačení

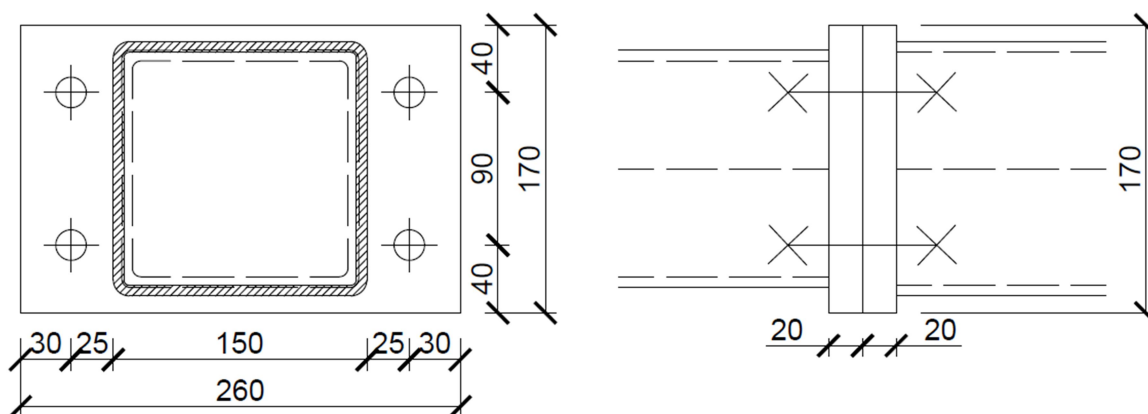
$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 25,85 \cdot 20 \cdot 490 \cdot \pi}{1,25} = 382,013 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{69,102}{382,013} = 0,18 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Kombinace smyku a tahu

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{2,146}{77,222} + \frac{69,102}{1,4 \cdot 90,432} = 0,57 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 7.2 Montážní spoj dolního pásu



**NÁVRH:** 4x M16 8.8

### Rozměry a materiálové charakteristiky:

d = 16 mm

$f_u = 490 \text{ MPa}$

$d_0 = 18 \text{ mm}$

$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

$d_m = 25,85 \text{ mm}$

$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

t = 20 mm

$$A = 201,1 \text{ mm}^2$$

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

**Vnitřní síly:**

$$N_{Ed} = 247,136 \text{ kN}$$

$$M_{y, Ed} = 1,155 \text{ kNm}$$

$$V_{z, Ed} = 11,979 \text{ kN}$$

**Rozteče:**

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \rightarrow p_1 = 200 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \rightarrow p_2 = 90 \text{ mm}$$

**Posouzení na smyk**

c) posouzení na střih

$$\text{síla na jeden šroub} \quad F_{v,1,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{11,979}{4} = 2,995 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 201,1}{1,25} = 77,222 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{2,995}{77,222} = 0,04 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

d) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(4,52; 5,3; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left( \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_2}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,556; 1,67; 1,63; 1) = 0,556$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,556 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 20}{1,25} = 174,362 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{2,995}{174,362} = 0,02 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na tah

$$F_{t',1,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{247,136}{4} = 61,784 \text{ kN}$$

vliv páčení

$$a = 30 \text{ mm}; b = 25 \text{ mm}; r = 90 \text{ mm}$$

$$t_E = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{25 \cdot 16^2}{30}} = 25,7 > t = 20 \text{ mm} \rightarrow \text{vliv součinitele páčení}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \left( \frac{te^3 - t^3}{d^2} \right) = 1 + 0,005 \left( \frac{25,7^3 - 20^3}{16^2} \right) = 1,175$$

$$F_{1,M} = M_{y,Ed} \cdot \frac{r}{\sum r^2} = 1,155 \cdot \frac{90}{2 \cdot 90^2} = 6,417 \text{ kN} \rightarrow 1 \text{ šoub } 3,209 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Ed} = \gamma_p \cdot (F_{t',1,Ed} + F_{1,M}) = 1,175 \cdot (61,784 + 3,209) = 76,367 \text{ kN}$$

### c) posouzení na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 157}{1,25} = 90,432 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{76,367}{90,432} = 0,84 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### d) posouzení na protřžení

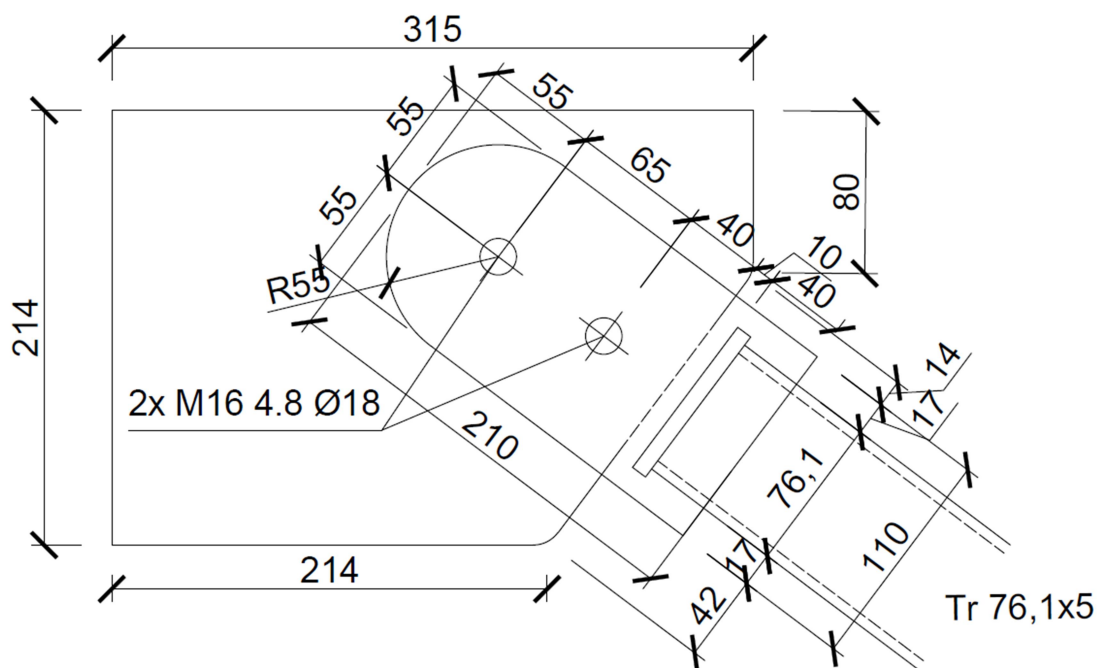
$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot d_m \cdot t \cdot f_u \cdot \pi}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 25,85 \cdot 20 \cdot 490 \cdot \pi}{1,25} = 382,013 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{76,367}{382,013} = 0,2 < 1,0 \rightarrow VYHOVUJE$$

## Kombinace smyku a tahu

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{2,995}{77,222} + \frac{76,367}{1,4 \cdot 90,432} = 0,64 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 7.3 Montážní spoj diagonály vazníku



**NÁVRH: 2x M16 4.8.**

### Rozměry a materiálové charakteristiky:

$d = 16 \text{ mm}$

$$f_u = 490 \text{ MPa}$$
$$d_0 = 18 \text{ mm}$$
$$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$$
$$d_m = 25,85 \text{ mm}$$
$$f_{yb} = 320 \text{ MPa}$$

$t = 8 \text{ mm}$

$$A = 201,1 \text{ mm}^2$$
$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

**Vnitřní síly:**

$$N_{Ed} = 48,702 \text{ kN}$$

**Rozteče:**

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \rightarrow e_2 = 55 \text{ mm}$$

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

**Posouzení na smyk**

a) posouzení na střih

$$\text{síla na jeden šroub} \quad F_{v,1,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{48,702}{2} = 24,351 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 201,1}{1,25} = 38,611 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{24,351}{38,611} = 0,63 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(6,86; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left( \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_2}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,74; -; 0,816; 1) = 0,74$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 8}{1,25} = 92,826 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{24,351}{92,826} = 0,26 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení na oslabení:**

$$A_{net} = A_p - d_0 \cdot t = 110 \cdot 8 - 18 \cdot 8 = 736 \text{ mm}^2$$

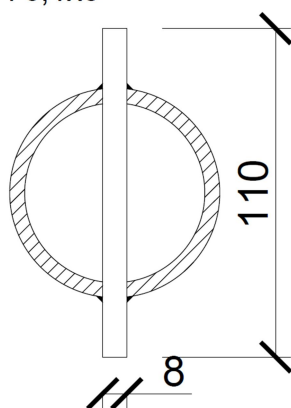


$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 736 \cdot 490}{1,25} = 259,661 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{48,702}{259,661} = 0,19 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení svaru diagonála – styčnickový plech

Tr 76,1x5



$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

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

$$L = 40 - 2 \cdot a = 40 - 2 \cdot 3 = 34 \text{ mm}$$

$$A = 4 \cdot L \cdot a = 4 \cdot 34 \cdot 3 = 408 \text{ mm}$$

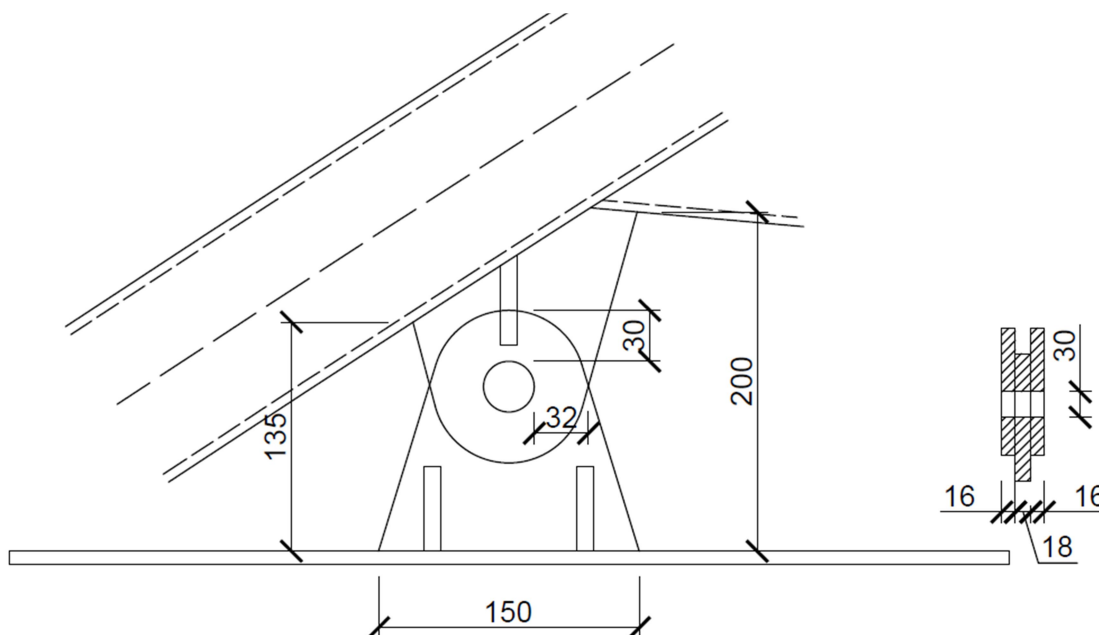
$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{48,702 \cdot 10^3}{408} = 119,368 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot 0^2 + 3 \cdot 119,368^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$206,751 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 7.4 Připojení vazníku na sloup



NÁVRH: ČEP M28 8.8

$$N_{Ed} = 195,825 \text{ kN}$$

$$d = 28 \text{ mm}; d_0 = 30 \text{ mm}; A = 615,752 \text{ mm}^2; W_{el} = 2,551 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3;$$

$$t = 18 \text{ mm}; t_1 = 16 \text{ mm}; f_{ub} = 800 \text{ MPa}; f_{yb} = 640 \text{ MPa}$$

**Rozteče:**

$$a > \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{195,825 \cdot 1,0}{2 \cdot 18 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{2 \cdot 30}{3} = 20 \text{ mm}$$

$$c > \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{195,825 \cdot 1,0}{2 \cdot 18 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{30}{3} = 10 \text{ mm}$$

**Posouzení na střiž:**

$n = 2 \dots$  počet střižů

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 615,752}{1,0} = 472,898 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{195,825}{472,898} = 0,41 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Únosnost plechu v otláčení:**

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot f_y \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,5 \cdot 355 \cdot 28 \cdot 18}{1,0} = 268,380 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{195,825}{268,380} = 0,73 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Únosnost čepu v ohybu:**

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{8} \cdot (d + 4 \cdot (d_0 - d) + 2 \cdot t_1) =$$
$$= \frac{195,825}{8} \cdot (28 + 4 \cdot (30 - 28) + 2 \cdot 16) = 1,518 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 2,1551 \cdot 10^{-6} \cdot 640 \cdot 10^6}{1,0} = 2,069 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1,518}{2,069} = 0,73 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

**Kombinace střihu a ohybu:**

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 = (0,73)^2 + (0,41)^2 = 0,70 \leq 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## **8 Kotvení**

### **8.1 Návrh nosného kotvení hlavních sloupů**

**Vnitřní síly**

$$N_{Ed} = 153,043 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 695,128 \text{ kNm}$$

**Materiálové charakteristiky:**

Ocel S355  $f_y=355 \text{ MPa}$

Beton C25/30  $f_{ck}=25 \text{ MPa} \rightarrow f_{cd}= 16,67 \text{ MPa}$

**Stanovení účinků zatížení**

$$c = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{695,128}{153,043} = 4,542 \text{ m}$$

$$\frac{c}{d} = \frac{4,542}{1,5} = 3,028 \Rightarrow \xi = 0,333$$

$$x = \xi \cdot d = 0,333 \cdot 1500 = 499,5 \text{ mm}$$

$$c_0 = c + \frac{d}{2} - a = 4542 + \frac{1500}{2} - 150 = 5142 \text{ mm}$$

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 1500 - 150 - \frac{500}{3} = 1183 \text{ mm}$$

$$T_b = \frac{N_{Ed} \cdot c_0}{r} = \frac{153,043 \cdot 5142}{1183} = 665,2 \text{ kN}$$

$$Z = T_b - N_{Ed} = 665,2 - 153,043 = 512,17 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 \cdot T_b}{x \cdot b_p} = \frac{2 \cdot 665,2}{500 \cdot 600} = 4,435 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 16,67 \text{ MPa} \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{Z}{2} \cdot 1,20 = \frac{512,17}{2} \cdot 1,20 = 307,302 \text{ kN}$$

**Návrh kotevních šroubů**

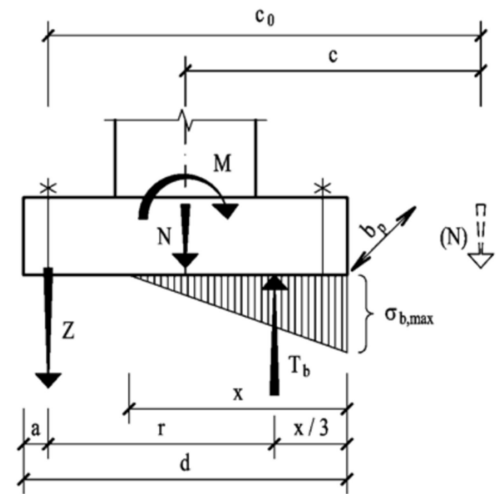
2 x  $\Phi$  24 mm, pevnost 8.8

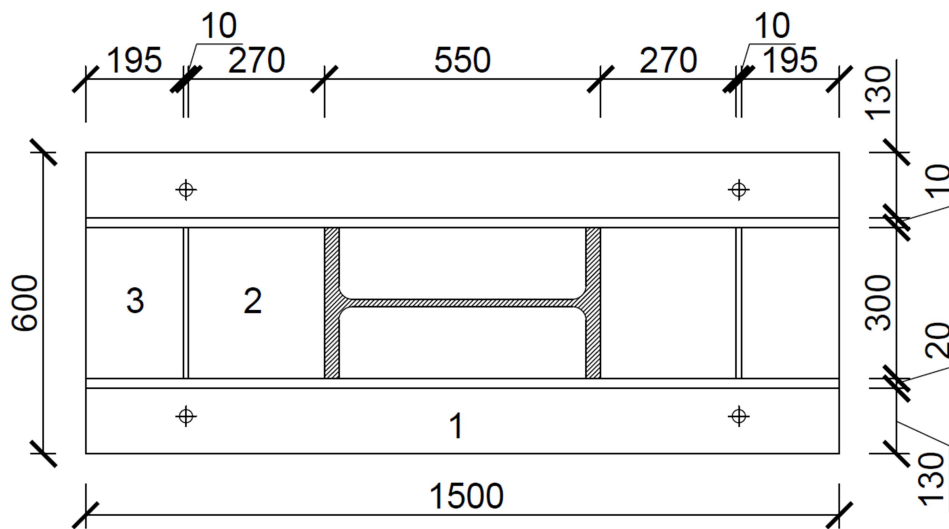
$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}; A_s = 353 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Ed,1} = \frac{F_{t,Rd}}{n} = \frac{307,302}{2} = 153,651 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd,1} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} = 203,328 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd,1}} = \frac{153,651}{203,328} = 0,76 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



**Návrh patního plechu****Pro volný okraj: 1**

$$m_{Sd} = \frac{1}{2} \cdot p_{Sd} \cdot c^2 \leq m_{Rd} = \frac{t_p^2 \cdot f_y}{6 \cdot \gamma_{M0}}$$

$$t_p \geq e \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \gamma_{M0} \cdot p_{Sd}}{f_y}}$$

$$t_p \geq 130 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 1,0 \cdot 4,435}{355}} = 25,2 \text{ mm}$$

**Po obvodě podepřený: 2**

$$n = \frac{b}{a} = \frac{300}{270} \Rightarrow \alpha_1 = 0,056; \alpha_2 = 0,049$$

$$m_{a,Sd} = \alpha_1 \cdot p_{Sd} \cdot a^2 = 0,056 \cdot 4,435 \cdot 270^2 = 18,105 \text{ kNm}$$

$$m_{b,Sd} = \alpha_2 \cdot p_{Sd} \cdot a^2 = 0,049 \cdot 4,435 \cdot 270^2 = 5,842 \text{ kNm}$$

$$m_{Rd} = \frac{t_p^2 \cdot f_y}{6 \cdot \gamma_{M0}} = m_{a,Sd}$$

$$t_p = \sqrt{\frac{6 \cdot m_{a,Sd} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 18,105 \cdot 1,0}{355}} = 17,5 \text{ mm}$$

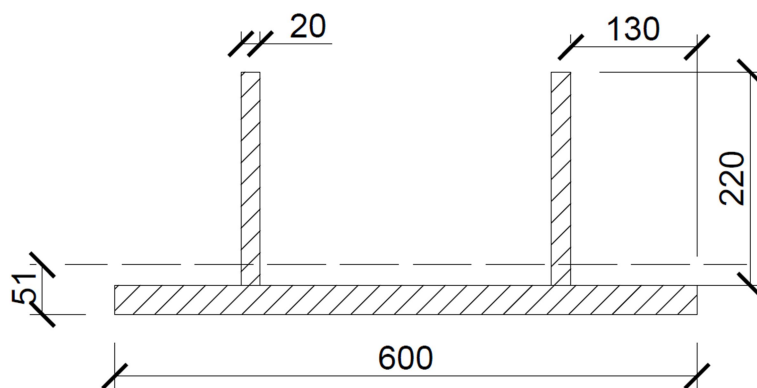
**Podepřený ze 3 stran: 3**

$$m = \frac{d}{c} = \frac{195}{300} = 0,65 \Rightarrow \beta = 0,081$$

$$m_{sd} = \beta \cdot p_{sd} \cdot c^2 = 0,081 \cdot 4,435 \cdot 300^2 = 32,331 \text{ kNm}$$

$$t_p = \sqrt{\frac{6 \cdot m_{sd} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 32,331 \cdot 1,0}{355}} = 2 \text{ mm}$$

**VOLÍM TLOUŠŤKU PATNÍHO PLECHU  $t_p = 30 \text{ mm}$**

**Posouzení průřezu patky:**

$$e = \frac{1}{2}(d - h_p) = \frac{1}{2} \cdot (1500 - 550) = 475 \text{ mm}$$

$$b_p = 600 \text{ mm}$$

$$q_1 = \sigma_{b,max} \cdot b_p = 4,435 \cdot 600 = 2661 \text{ N/mm}$$

$$q_2 = q_1 \cdot \frac{x - e}{x} = 2661 \cdot \frac{500 - 475}{500} = 133,05 \text{ N/mm}$$

$$M_{sd} = Mb = \frac{1}{3} q_1 e^2 + \frac{1}{6} q_2 e^2 = \frac{1}{3} \cdot 2661 \cdot 475^2 + \frac{1}{6} \cdot 133,05 \cdot 475^2 = 205,133 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = Vb = \frac{1}{2} q_1 e + \frac{1}{2} q_2 e = \frac{1}{2} \cdot 2661 \cdot 475 + \frac{1}{2} \cdot 133,05 \cdot 475 = 663,587 \text{ kNm}$$

Vnitřní síly od tahů kotevních šroubů

$$M_z = Z \cdot (e - a) = 512,17 \cdot (475 - 200) = 140,847 \text{ kNm}$$

$$V_z = Z = 512,17 \text{ kN}$$

## Průřezové charakteristiky

$$A_v = 8800 \text{ mm}^2$$

$$W_{el} = 1,182 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

## Podmínky spolehlivosti

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,182 \cdot 10^6 \cdot 355}{1,0} = 419,610 \text{ kNm} > M_{sd} = 205,133 \text{ kNm}$$

$\rightarrow \text{VYHOVUJE}$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{8800 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1803,6 \text{ kN} > V_{sd} = 663,587 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kotvení všech sloupů a vazníků je navrženo v programu Hilti Profis Anchor. Výstupní protokol z programu viz.přílohy.