

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
OCELOVÁ KONSTRUKCE AUTOSALONU S VÁLCOVOU  
STŘECHOU  
Steel structure of a car showroom with an arched roof

**Autor:** Daniel Novotný

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

Praha 2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Novotný Jméno: Daniel Osobní číslo: 423845  
Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Ocelová konstrukce autosalonu s válcovou střechou

Název bakalářské práce anglicky: Steel structure of a car showroom with an arched roof

Pokyny pro vypracování:

Návrh nosné konstrukce autosalonu - jejích hlavních prvků a vybraných detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys střechy, vybrané řezy či pohledy, navržené detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí EN 1991 a EN 1993.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Michal Jandera

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

20.2.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za jeho cenné rady a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

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

V Praze dne 22.5.2017

.....  
Daniel Novotný

## **Anotace**

Tématem bakalářské práce je statické a konstrukční řešení ocelové konstrukce autosalonu v Děčíně. Jedná se o jednopodlažní objekt s prosklenou fasádou a obloukovou střechou. Nejprve byly popsány možné konstrukční varianty a provedeno jejich ekonomické a statické zhodnocení. Následně byla vybrána nejvýhodnější z nich, a ta byla dále detailněji rozpracována. Byl proveden statický výpočet jednotlivých prvků obloukového příhradového vazníku, jeho podpůrných konstrukcí a ztužujících prvků budovy. Následoval návrh vybraných detailů a přípojí. Na závěr byla zpracována technická zpráva a výkresová dokumentace.

**Klíčová slova:** Oblouk, příhradový vazník, autosalon, ocel, přípoj

## **Abstract**

The topic of the bachelor thesis is design of car showroom steel structure in city Děčín. It is a one-storey building with a glass facade and an arched roof. Firstly, possible design variants were described and their economic and structural evaluation performed. Subsequently, the most suitable solution was selected, and designed in to the detail. Structural design of the arched truss, its supporting elements and bracing elements was performed. The design of selected details and connections followed. At the end, a technical report and drawing documentation were prepared.

**Keywords:** Arch, truss, car showroom, steel, connection

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



OCELOVÁ KONSTRUKCE AUTOSALONU S VÁLCOVOU  
STŘECHOU

A. TECHNICKÁ ZPRÁVA

Daniel Novotný

# Obsah

1.1	Popis konstrukce .....	8
1.2	Nosná konstrukce.....	8
1.3	Údaje o zatížení.....	8
1.4	Použité materiály .....	8
1.5	Použité normy .....	9
1.6	Výroba ocelové konstrukce.....	9
1.7	Montáž ocelové konstrukce.....	9
1.8	Protikorozní ochrana ocelové konstrukce .....	9
1.9	Protipožární ochrana ocelové konstrukce .....	9
1.10	Použitá literatura.....	10

# Technická zpráva

## 1.1 Popis konstrukce

Řešeným objektem je budova autosalonu ve městě Děčín v Ústeckém kraji. Budova je umístěna uprostřed městské zástavby v rovinatém terénu. Jedná se o jednopodlažní objekt halového typu o celkových půdorysných rozměrech 32 x 24 m. Objekt je zastřešen příhradovým obloukovým vazníkem, který tvoří válcový tvar střechy. Ve vrcholu střechy je umístěn válcový světlík z hliníkových profilů a polykarbonátu. Hlavní centrální část budovy o rozměrech 21 x 24 m je obestavěna prosklenou fasádou. Ostatní plocha budovy, v místech přesahů vazníků, je otevřená a tvoří krytá stání. Čelní stěna objektu je tvořena prosklenou fasádou a jeho zadní stěna přiléhá ke zděné budově o výšce 7,4m. Výška objektu ve vrcholu střechy je 7m.

## 1.2 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce se skládá z obloukového příhradového vazníku a sloupů, které dohromady tvoří rámovou vazbu. Objekt je tvořen celkem 5 vazbami, po vzdálenostech 6 m. Vazník je svařen z trubek a má zakřivený spodní i horní pás. Horní pás je z ocelové trubky TR152x6,3, spodní pás z TR194x6,3. Diagonály jsou ze 4 druhů trubek. Vazník je uložen jednak na 2 hlavní sloupy z profilů HEB 280, vzdálených od sebe 21 m, a další 2 šikmé sloupy z TR 76,1x2,0 podírající převísle okraje vazníku. Všechny sloupy jsou kloubově uloženy do základových patek. Přikotvení hlavních sloupů je řešeno dvěma kotevními šrouby přes patní plech.

Zastřešení je realizováno tenkostěnnými vaznicemi Z 300/3,0, uloženými na vazníky. Vaznice jsou navrženy jako spojité přes 4 pole. Na vaznice bude položen trapézový plech TR55/250, orientovaný ve směru spádu střechy. Tento plech je třeba zakroužit, aby kopíroval válcový tvar zastřešení. Následný střešní plášť se bude skládat z minerální vlny a krycího trapézového plechu přikotveného přes distanční profily.

Tuhost objektu v příčném směru je zajištěna rámovým působením mezi sloupy a vazníkem. Ztužení v podélném směru je zabezpečeno, jednak dvěma stěnovými ztužidly umístěnými v prvním poli, a dvěma příčnými ztužidly ve střešní rovině (na každém konci objektu jedno). Dále jsou ve třetinách rozpětí vazníku umístěna podélná svíslá ztužidla, která stabilizují spodní pás vazníku proti vybočení. Stabilizace horního pásu je zajištěna podélnými trubkami (spojkami) instalovanými mezi horními uzly vazníků. Zajištění sloupu proti vybočení je provedeno podélnými dolními spojkami navrženými v linii sloupů.

## 1.3 Údaje o zatížení

Při výpočtu byly použity následující hodnoty zatížení:

Zatížení větrem – větrná oblast II, kategorie terénu III, základní rychlost větru  $v_b = 25\text{m/s}$

Zatížení sněhem – sněhová oblast III, char. hodnota zatížení sněhem  $s_k = 1,5\text{kN/m}^2$

## 1.4 Použité materiály

Veškeré nosné konstrukce objektu (vazníky, ztužidla) jsou navrženy z oceli S355JR, pouze sloupy HEB 280 jsou z oceli S235JR.

Tenkostěnné vaznice jsou navrženy z oceli S350GD.

Pro trapézové plechy je použit materiál S320GD.



Šrouby jsou navrženy v pevnostní třídě 8.8.

Pro základové patky je použit beton C25/30.

## 1.5 Použité normy

Veškeré výpočty byly provedeny v souladu s platnými normami ČSN EN. Byly použity tyto normy:

- 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
- ČSN EN 1090-2 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce
- ČSN EN ISO 12944 Nátěrové hmoty – protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy

## 1.6 Výroba ocelové konstrukce

Třída provedení konstrukce byla stanovena dle ČSN EN 1090 – 2: Technické požadavky pro ocelové konstrukce. Byla stanovena třída následků CC2, kategorie použitelnosti SC1 a kategorie provádění PC2 (S355). Výsledná třída provedení byla určena jako EXC2. Požadavky na provádění viz. Příloha A výše uvedené normy.

## 1.7 Montáž ocelové konstrukce

Pro montáž objektu bude potřeba nejméně dvou zdvihacích prostředků. Nejprve se osadí hlavní sloupy. Jejich patní plechy se dočasně podloží, vyvrtají se otvory v patkách a provedou se lepené kotvy. Podlití bude realizováno až následovně. Po osazení sloupů se přistoupí k montáži vazníku, který se skládá ze 4 dílců. V prvním kroku se osadí hlavní střední dílce. Následuje usazení krajních dílů vazníku, jejich připevnění ke sloupům a vložení šikmých sloupů pod kraji vazníku. Během montáže vazeb je třeba provizorně zajistit jejich stabilitu. Po smontování prvních dvou vazeb se stabilita zajistí instalací diagonál stěnových ztužidel. Následující vazby budou ihned po montáži připevněny k předcházejícím vazbám horními spojkami. Po montáži všech vazeb se instalují zbylá ztužidla a pruty. K dotažení šroubů ztužidel dojde až po smontování celé konstrukce.

## 1.8 Protikorozní ochrana ocelové konstrukce

Podstatná část ocelové konstrukce se nachází v exteriéru, a tudíž bude vystavena povětrnostním vlivům. Protikorozní ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944. Stupeň korozní agresivity byl stanoven C2 – střední (městské atmosféry s mírným znečištěním). Předpokládaná životnost nátěru je střední M – 15 let. Pro šroubované spoje budou použity pozinkované šrouby. Stejně tak povrchová ochrana tenkostěnných vaznic je zajištěna pozinkováním.

## 1.9 Protipožární ochrana ocelové konstrukce

Posudek konstrukce na účinky požáru nebyl součástí zadání bakalářské práce. V případě nedostatečné požární odolnosti by bylo nutné navrhnout protipožární ochranu.

## 1.10 Použitá literatura

- [1] JANDERA, Michal, ELIÁŠOVÁ, Martina a VRANÝ, Tomáš. *Ocelové konstrukce 01-Cvičení*, 3. upravené vydání. Praha, 2015. Dostupné z: [http://ocel-drevo.cz/?page\\_id=4](http://ocel-drevo.cz/?page_id=4)
  - [2] STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce 1*, 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. 146 stran. ISBN 978-80-01-04800-9
  - [3] STUDNIČKA, Jiří, HOLICKÝ, Milan a MARKOVÁ, Jana. *Ocelové konstrukce 2: Zatížení*, 1. vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. 143 stran. ISBN 978-80-01-03768-3
  - [4] VRANÝ, Tomáš, WALD, František. *Ocelové konstrukce: Tabulky*, 1. vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2005. 53 stran. ISBN 80-01-03140-3
  - [5] ČSN EN 1991-1-3 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*
  - [6] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*
  - [7] ČSN EN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*
  - [8] ČSN EN 1993-1-8 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*
  - [9] ČSN EN 1090-2 *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce*
  - [10] ČSN EN ISO 12944 *Nátěrové hmoty – protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*
  - [11] *Tabulky únosností trapézových plechů ArcelorMittal - Arval*
  - [12] *Tenkostěnné profily pro vaznice a pažďíky. Pomůcka pro projektanty a odběratele – Kovové profily*. Dostupné z: <http://kovprof.cz/hlavni-stranka/vaznice-a-pazdiky/>
  - [13] *Technologický list obloukových světlíků Skytech*. Dostupné z: <http://www.bedoxsky.cz/svetliky/skytech-obloukove-svetliky.html>
  - [14] *Sloupko-příčková fasáda: Architektonická informační příručka – Aluprof*. Dostupné z: [http://www.aluprof.eu/cz/uploads/Architektonicka\\_informaeni\\_prirucka\\_2014\\_cz.pdf](http://www.aluprof.eu/cz/uploads/Architektonicka_informaeni_prirucka_2014_cz.pdf)
- Použitý software:
- [15] Program SCIA Engineer 16.0
  - [16] Program AutoCAD 2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



OCELOVÁ KONSTRUKCE AUTOSALONU S VÁLCOVOU  
STŘECHOU

## B. STATICKÝ VÝPOČET

Daniel Novotný

# Obsah

1	Úvod .....	4
2	Výpočet zatížení .....	6
2.1	Výpočet zatížení sněhem .....	6
2.2	Výpočet zatížení větrem.....	7
2.2.1	Tlak větru na vnější povrchy.....	8
2.2.2	Tlak větru na vnitřní povrchy .....	12
3	Konstrukční a statické řešení .....	12
3.1	Fasáda .....	12
3.2	Varianty střešního pláště .....	13
3.2.1	Předběžný návrh a posouzení variant .....	13
3.2.2	Vyhodnocení variant .....	17
3.3	Zatížení příčné vazby .....	18
3.3.1	Zatížení .....	18
3.4	Varianty příčné vazby .....	21
3.4.1	Návrh a posouzení variant .....	22
4	Podrobný výpočet příčné vazby .....	26
4.1	Globální analýza .....	26
4.1.1	Rámové imperfekce .....	26
4.1.2	Klasifikace rámu pomocí výpočetního programu .....	26
4.1.3	Výpočet vnitřních sil.....	27
4.2	Návrh sloupu .....	27
4.3	Návrh profilů vazníku .....	30
4.3.1	Spodní pás .....	30
4.3.2	Návrh tažených prutů.....	31
4.3.3	Návrh tlačných prvků .....	32
4.4	Návrh střešního ztužidla.....	33
4.4.1	Zatížení .....	33
4.4.2	Vnitřní síly.....	34
4.4.3	Diagonála D1 .....	35
4.4.4	Diagonála D2 .....	36
4.4.5	Spojka (svislice) .....	37
4.4.6	Posouzení horního pásu vazníku .....	38

4.5	Návrh stěnového ztužidla.....	38
4.5.1	Zatížení .....	38
4.5.2	Vnitřní síly.....	39
4.5.3	Diagonála.....	39
4.5.4	Spojka .....	40
4.5.5	Dolní spojka.....	40
4.5.6	Malá diagonála .....	43
4.5.7	Posouzení sloupu .....	44
4.6	Návrh sloupku čelní fasády .....	45
4.7	Návrh patky sloupu běžné vazby.....	48
4.7.1	Únosnost v tlaku.....	48
4.7.2	Únosnost ve smyku a ohybu .....	49
4.7.3	Svarový přípoj zarážky.....	49
4.7.4	Posouzení smykové zarážky ztužidlového sloupu .....	50
4.7.5	Návrh kotvení .....	52
4.7.6	Posouzení tahu v základové spáře .....	52
4.8	Detail připojení vazníku ke sloupu .....	53
4.8.1	Vnitřní síly horní přípoj.....	53
4.8.2	Horní přípoj pravý .....	53
4.8.3	Horní přípoj levý .....	56
4.8.4	Přípoj horní spojky .....	57
4.8.5	Vnitřní síly dolní přípoj .....	58
4.8.6	Dolní přípoj pravý .....	58
4.8.7	Dolní přípoj levý .....	61
4.8.8	Přípoj dolní spojky .....	61
4.8.9	Výztuhy mezi pásnice sloupu .....	63
4.9	Montážní spoje vazníku .....	63
4.9.1	Vnitřní síly.....	63
4.9.2	Dolní pás.....	63
4.9.3	Horní pás .....	65
4.9.4	Diagonála.....	67
4.10	Lokální únosnost styčnicků .....	68
4.10.1	Styčnick 1 .....	68
4.10.2	Styčnick 2 .....	69

# 1 Úvod

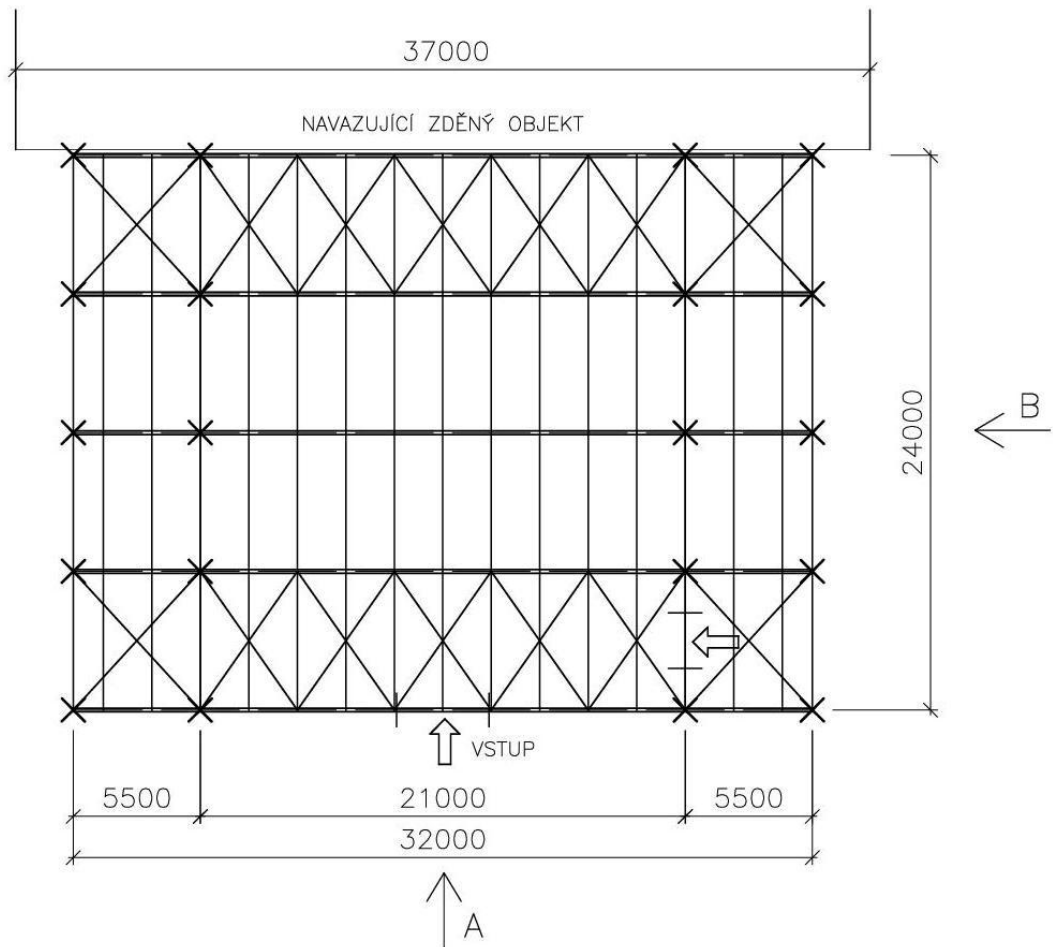
Cílem této bakalářské práce je návrh a posouzení nosné konstrukce autosalonu v Děčíně, jejich hlavní prvků a detailů.

## Popis konstrukce

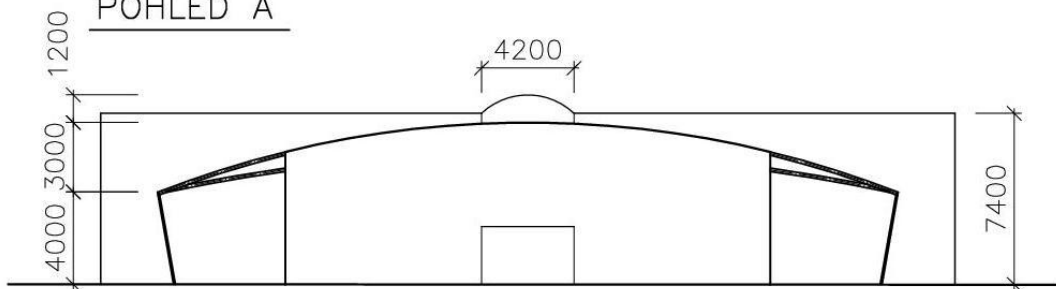
Objekt má celkové půdorysné rozměry 32 x 24 m. Jedná se o jednopodlažní budovu halového typu, která je zastřešená příhradovým obloukovým vazníkem. Vazník je uložen na dva centrální sloupy, které jsou od sebe osově vzdáleny 21m a dva krajní šikmé sloupy, podpírající převislé konce vazníku. Vnitřní centrální část budovy je zakryta proskleným stěnovým pláštěm. Prostor převislých částí vazníku a šikmých sloupů se nachází vně a je vystaven vlivu vnějšího prostředí. Ve vrcholu střechy je umístěn válcový světlík. Čelní stěna objektu je tvořena prosklenou fasádou, na opačné straně objektu přiléhá ke zděné budově o výšce 7,4 m. Výška budovy ve vrcholu střechy je 7 m.

# Dispoziční řešení

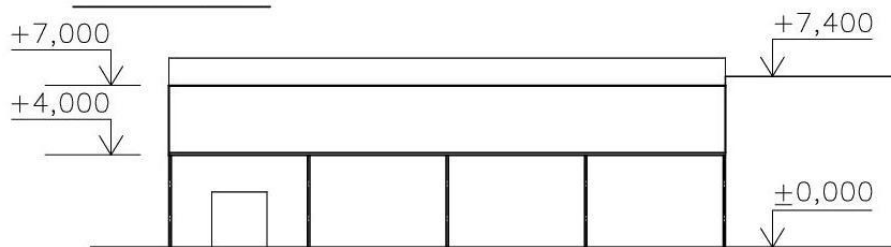
PŮDORYS



POHLED A



POHLED B



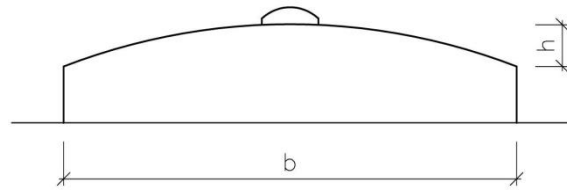
## 2 Výpočet zatížení

### 2.1 Výpočet zatížení sněhem

Válcová střecha –  $h = 3m$  ;  $b = 32m$

$$C_e = 1,0$$

$$C_t = 1,0$$



Charakteristická hodnota zatížení sněhem => oblast III. (Děčín) =>  $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$

#### Tvarový součinitel

Pro válcovou střechu bez sněžníků, kde  $\beta \leq 60^\circ$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot \frac{h}{b} = 0,2 + 10 \cdot \frac{3}{32} = 1,14$$

**Nenavátý sníh** – Obr. a)

$$\mu_3 = 0,8$$

$$s_1 = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

**Navátý sníh** – Obr. b)

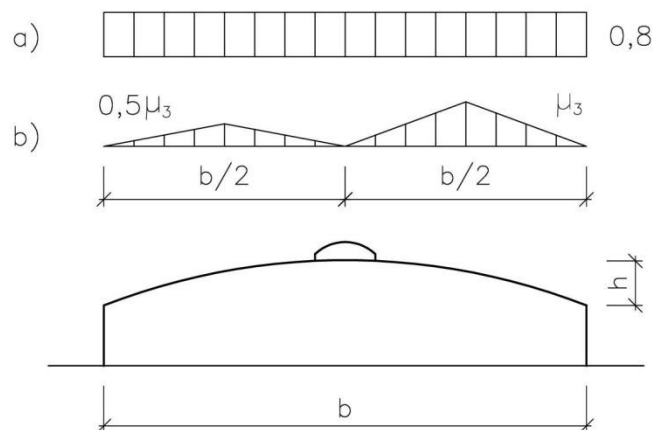
$$\mu_3 = 1,14$$

$$s_2 = \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,14 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,71 \text{ kN/m}^2$$

$$0,5\mu_3 = 0,57$$

$$s_3 = 0,5 \cdot \mu_3 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,57 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 0,86 \text{ kN/m}^2$$

Druhý typ navátí sněhu (návěje při vnějších stranách) podle ČSN EN 1991-1-3 NA.2.19 neuvažují neboť  $h/b < 1/8$



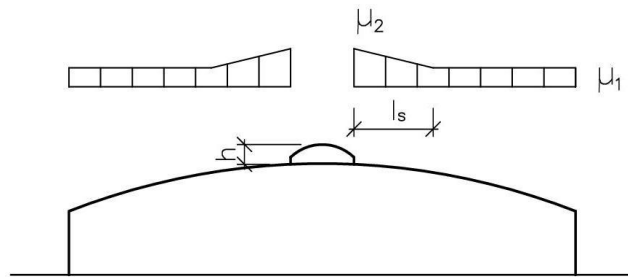
**Navátí sněhu u vrchního světlíku** – výška světlíku  $h = 1,2m$ , objemová tíha sněhu  $\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^2$ , jako  $\mu_4$  uvažují součinitel navátého sněhu

$$\mu_1 = 0,8 \quad \mu_2 = \frac{\gamma \cdot h}{s_k} = \frac{2,0 \cdot 1,2}{1,5} = 1,6 \quad \text{pro } 0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0 \Rightarrow \text{splněno}$$

$$l_s = 2h = 2 \cdot 1,2 = 2,4m \quad \text{pro } 5m \leq l_s \leq 15m \Rightarrow \text{uvažují } l_s = 5m$$



$$s_4 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,40 \text{ kN/m}^2$$



### Navátí sněhu v místě přechodu střechy na vyšší sousední budovu

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

kde  $\mu_s$  je součinitel zohledňující sesuv sněhu z horní střechy, pro plochou střechu je  $\mu_s = 0$  ( $\alpha < 15^\circ$ )

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma \cdot h}{s_k} \quad \text{kde } b_1 = 21 \text{ m}; b_2 = 24 \text{ m}; \text{ výška } h = 3,4 \text{ m je výška od spodního okraje válcové střechy po úroveň ploché střechy přiléhající budovy}$$

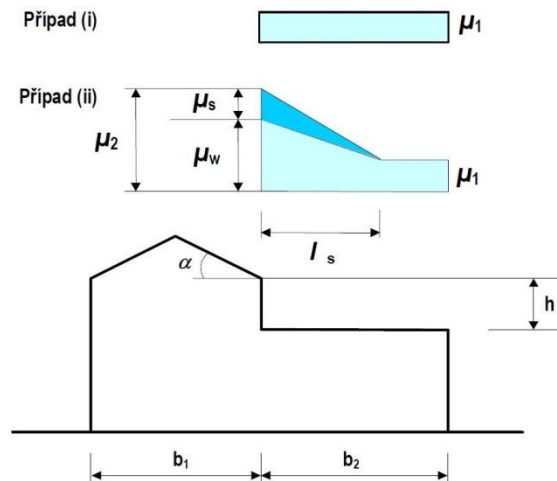
$$\mu_w = \frac{21 + 24}{2 \cdot 3,4} = 6,6 \leq \frac{2,0 \cdot 3,4}{1,5} = 4,5 \Rightarrow \text{není splněno}$$

a zároveň se doporučuje  $0,8 \leq \mu_w \leq 2,0 \Rightarrow$  proto beru  $\mu_w = 2,0$

$$l_s = 2h = 2 \cdot 3,4 = 6,8 \text{ m} \quad \text{pro } 5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m} \Rightarrow \text{splněno}$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 2,0 = 2,0$$

$$s_5 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$



## 2.2 Výpočet zatížení větrem

### Základní rychlost větru

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

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

oblast II. (Děčín)  $\Rightarrow v_{b,0} = 25\text{m/s}$

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

### **Střední rychlost větru**

Kategorie terénu III

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

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

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

$z = 7\text{m}$  (výška objektu)

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

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,22$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,22 \cdot \ln\left(\frac{7}{0,3}\right) = 0,69 \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max} = 5 < 7 < 200\text{m}$$

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

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,69 \cdot 1,0 \cdot 25 = 17,25\text{m/s}$$

Intenzita turbulence

$$I_v(z) = \left(\frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\frac{z}{z_0}}\right) = \left(\frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\frac{7}{0,3}}\right) = 0,32 \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max} = 5 < 7 < 200\text{m}$$

$$k_I = 1,0$$

### **Maximální dynamický tlak**

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,32] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 17,25^2 = 0,603 \text{ kN/m}^2$$

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

### **Tlak větru na povrchy**

Tlak větru na vnější povrchy

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

Tlak větru na vnitřní povrchy

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

#### **2.2.1 Tlak větru na vnější povrchy**

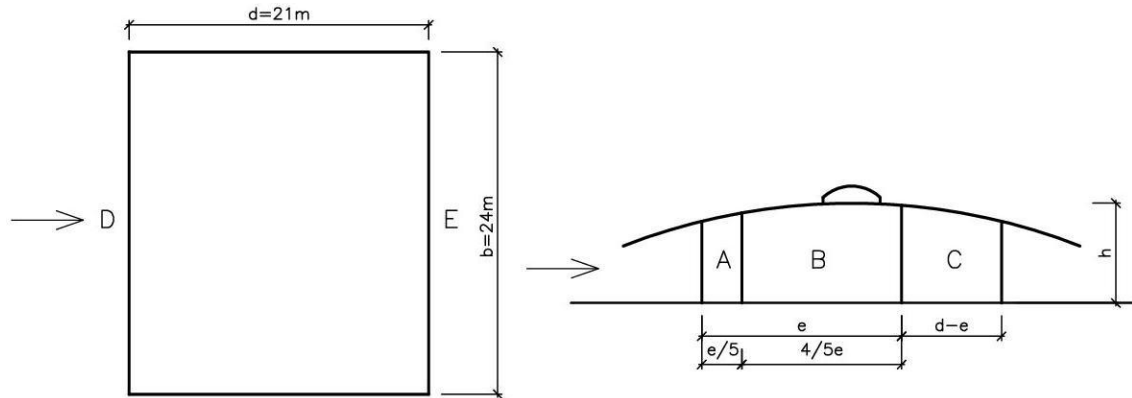
Výška  $h <$  šířka  $b$  pro podélnou i čelní stěnu  $\Rightarrow$  dynamický tlak je konstantní po celé výšce stěny  $z_e = h = 7\text{m}$

### Součinitel vnějšího tlaku pro stěny

#### A) Příčný vítr

$$e = \min(b, 2h) = \min(24, 2 \cdot 7) = 14m$$

$$e < d = 14 < 21m$$



$$e = 14m$$

$$d - e = 21 - 14 = 7m$$

$$\frac{e}{5} = \frac{14}{5} = 2,8m$$

$$\frac{4}{5}e = \frac{4}{5} \cdot 14 = 11,2m$$

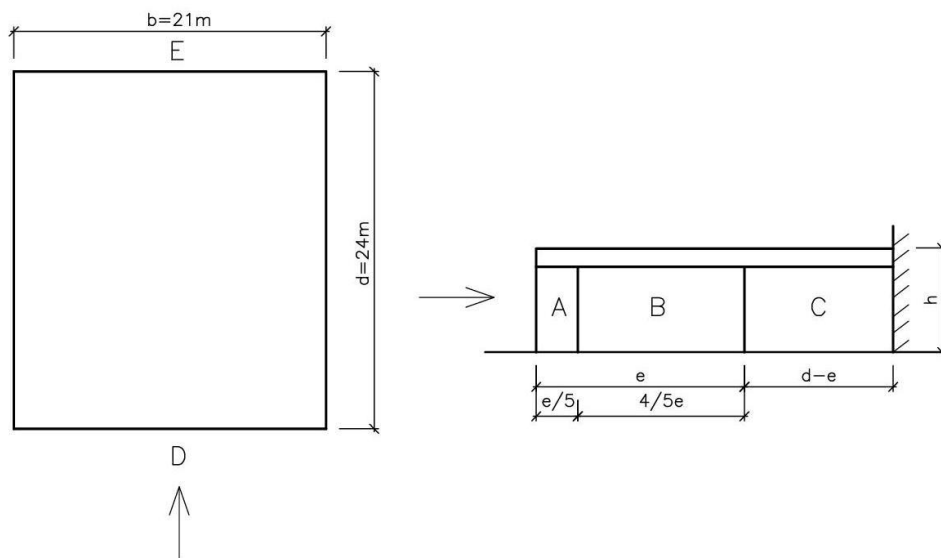
Součinitele  $c_{pe,10}$  určeny lineární interpolací

Oblast	A	B	C	D	E
$h/d$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
0,33	-1,200	-0,864	-0,500	0,711	-0,321
$w_e[kN/m^2]$	-0,724	-0,521	-0,302	0,429	-0,194

#### B) Podélný vítr

$$e = \min(b, 2h) = \min(21, 2 \cdot 7) = 14m$$

$$e < d = 14 < 24m$$



$$e = 14m$$

$$d - e = 24 - 14 = 10m$$

$$\frac{e}{5} = \frac{14}{5} = 2,8m$$

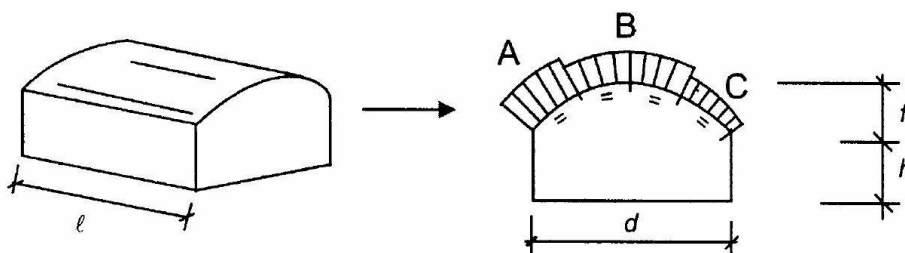
$$\frac{4}{5}e = \frac{4}{5} \cdot 14 = 11,2m$$

Oblast	A	B	C	D	E
$h/d$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
0,29	-1,200	-0,832	-0,500	0,703	-0,311
$w_e[kN/m^2]$	-0,724	-0,502	-0,302	0,424	-0,188

### Součinitel vnějšího tlaku pro střechu

#### A) Příčný vítr

$$h = 4m ; f = 3m ; d = 32m ; l = 24m$$



Šířka větrových oblastí je určena jako  $\frac{1}{4}$  délky oblouku pro oblasti A a C. Pro oblast B je šířka  $\frac{1}{2}$  délky oblouku

pro  $0 < \frac{h}{d} < 0,5 \Rightarrow 0 < 0,125 < 0,5 \Rightarrow$  součinitel  $c_{pe,10}$  se určí lineární interpolací

Oblast	A	B	C
f/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
0,094	-0,150	-0,800	-0,420
$w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,090	-0,482	-0,253

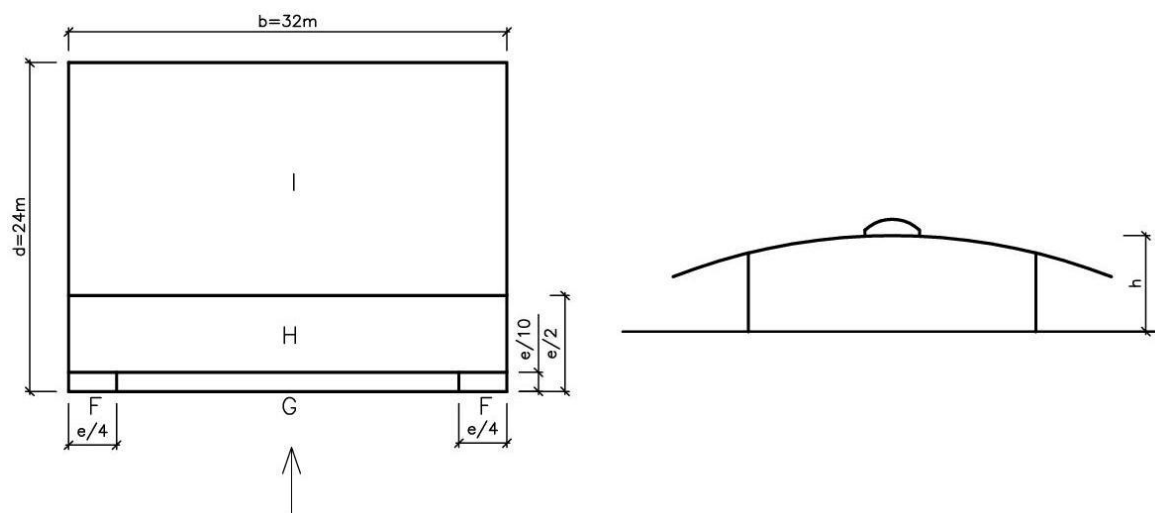
Při působení příčného větru je třeba zohlednit:

- *Vliv světlíku na střeše* – pro výpočet ho budu uvažovat jako malý objekt, o výšce rovné výšce světlíku, na který působí tlak větru se součinitelem  $c_{pe} = 0,7$  a sání se součinitelem  $c_{pe} = -0,3$  (odhad)
- *Tlak a sání na spodní povrch okrajových částí střechy* – při působení příčného větru je spodní povrch střechy na návětrné straně namáhán tlakem a na závětrné straně sáním. Pro výpočet se velikosti tlaku a sání budou uvažovat stejně jako na přilehlé svislé stěně.

### B) Podélný vítr

Jelikož postup pro určení součinitelů vnějšího tlaku pro válcové střechy zatížené větrem v podélném směru není v Eurokódu uveden, použiji pro výpočet schéma pro sedlovou střechu. Sklon střechy uvažuji  $\alpha = 10^\circ$ .

$$e = \min(b, 2h) = \min(32, 2 \cdot 7) = 14m$$



$$e = 14m$$

$$\frac{e}{2} = \frac{14}{2} = 7m$$

$$\frac{e}{10} = \frac{14}{10} = 1,4m$$

$$\frac{e}{4} = \frac{14}{4} = 3,5m$$

Oblast	F	G	H	I
$\alpha$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
10°	-1,450	-1,300	-0,650	-0,500
$w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,874	-0,784	-0,392	-0,302

### 2.2.2 Tlak větru na vnitřní povrchy

V objektu se nachází 2 vstupní otvory ve fasádě, které budu uvažovat pro výpočet. Hlavní vchod v čelní fasádě o rozměrech 4,0x2,5m ( $A = 10,0\text{m}^2$ ) a druhý otvor v boční stěně, o rozměrech 2,4x2,4m ( $A = 5,76\text{m}^2$ ). Protože plocha ani jednoho z těchto otvorů není 2x větší než plocha druhého, nebudu žádnou fasádu považovat za rozhodující. Pro výpočet použiji postup bez rozhodující fasády.

#### A) Příčný směr větru - zleva

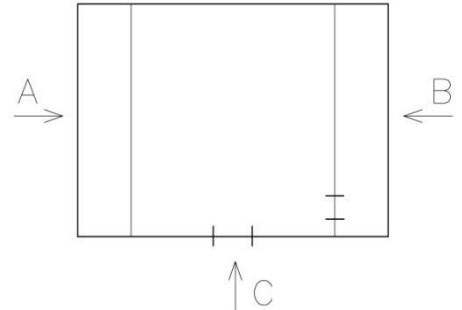
$$h = 7\text{m} \text{ (výška)}$$

$$d = 21\text{m} \text{ (hloubka stavby)} \quad \frac{h}{d} = \frac{7}{21} = 0,33$$

$$\text{Poměr otvorů } \mu = \frac{\text{plocha otvorů kde je } c_{pe} \text{ záporné}}{\text{plocha všech otvorů}} = \frac{15,76}{15,76} = 1,0$$

$$c_{pi,a} = -0,32 \text{ (odečteno z grafu)}$$

$$w_{i,a} = q_p(z_i) \cdot c_{pi,a} = 0,603 \cdot (-0,32) = -0,193\text{kN/m}^2$$



#### B) Příčný směr větru - zprava

$$h = 7\text{m} \text{ (výška)}$$

$$d = 21\text{m} \text{ (hloubka stavby)} \quad \frac{h}{d} = \frac{7}{21} = 0,33$$

$$\text{Poměr otvorů } \mu = \frac{\text{plocha otvorů kde je } c_{pe} \text{ záporné}}{\text{plocha všech otvorů}} = \frac{10}{15,76} = 0,63$$

$$c_{pi,b} = 0,03$$

$$w_{i,b} = q_p(z_i) \cdot c_{pi,b} = 0,603 \cdot 0,03 = 0,018\text{kN/m}^2$$

#### C) Podélný směr větru

$$h = 7\text{m}$$

$$d = 24\text{m} \quad \frac{h}{d} = \frac{7}{24} = 0,29$$

$$\text{Poměr otvorů } \mu = \frac{5,76}{15,76} = 0,37$$

$$c_{pi,c} = 0,28$$

$$w_{i,c} = q_p(z_i) \cdot c_{pi,c} = 0,603 \cdot 0,28 = 0,169\text{kN/m}^2$$

## 3 Konstrukční a statické řešení

### 3.1 Fasáda

Fasáda bude celoprosklená, tvořená sloupko-příčkovým systémem z ocelových a hliníkových profilů. Systém bude navržen jako samonosný se svislými sloupky. Sloupky budou dole uloženy na základy a nahoře opřeny do vazníku. Hlavní nosný systém objektu tedy nebude fasádou nijak zatěžován s výjimkou přenosu zatížení větrem.

## 3.2 Varianty střešního pláště

### 3.2.1 Předběžný návrh a posouzení variant

**Varianta I** – použití tenkostěnné vaznice. Uvažuji ji jako spojitý nosník. Spojitost nosníku je zajištěna jejich přesahem. Následný střešní plášť je tvořen nosným trapézovým plechem ve směru spádu (nutno ohýbat), minerální izolací a zaklopen opět trapézovým plechem.

Výhody:

- při použití příhradového vazníku pro hlavní vazbu, je zatížení vnášeno přímo do styčníků (rozmístění vaznic)
- větší vzdálenost příčných vazeb (možnost úspory jedné vazby)

Nevýhody:

- větší tloušťka střešního pláště
- nutnost ohýbání trapézových plechů

**Varianta II** – použití trapézového plechu. Plech jako hlavní nosný prvek. Pro výpočet ho uvažuji jako prostý nosník. Následný střešní plášť tvoří minerální izolace a zakrytí dalším trapézovým plechem.

Výhody:

- menší tloušťka střešního pláště
- snazší montáž (není nutno ohýbat)

Nevýhody:

- při použití příhradového vazníku pro hlavní vazbu, vnášení mimostyčnickového zatížení do horního pásu

#### **Vzdálenost příčných vazeb**

Celková délka budovy je 24m. Pokud zvolím, že použiji 4 příčné vazby, vzdálenost vazeb bude  $24 / 3 = 8\text{m}$ . Při použití 5 vazeb  $24 / 4 = 6\text{m}$  a pro 6 vazeb  $24 / 5 = 4,8\text{m}$ . Vzdálenost 8m je již pro použití trapézového plechu hraniční, stejně tak vaznice by vycházely příliš vysoké. Při použití rozpětí 4,8m lze snadno použít trapézový plech o nevelké výšce. Nevýhodou je ovšem větší počet příčných vazeb, jejichž výroba je ekonomicky nejnákladnější. Proto jako nejvýhodnější volím použití 5 vazeb ve vzdálenosti 6m.

#### **Varianta I**

##### **Návrh trapézového plechu na vaznici**

Vzdálenost vaznic 2,1 m, spojitý nosník o 3 polích, uvažuji plech na vrcholu střechy – vliv navátí sněhu u světlíku  $\mu_2 = 2,0 \Rightarrow s_5 = 3,0\text{kN/m}^2$

### Zatížení:

STÁLE [kN/m <sup>2</sup> ]	g <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	γ <sub>G</sub> [-]	g <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Trap. plech (odhad)	0,06	1,35	0,08
Min. vlna tl.0,2m 0,2 . 1,0	0,20	1,35	0,27
Trap. plech (odhad)	0,10	1,35	0,14
Celkem	0,36	1,35	0,49
PROMĚNNÉ [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	γ <sub>Q</sub> [-]	q <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Sníh	3,00	1,50	4,50
Celkové	(g+q) <sub>k</sub> =3,36		(g+q) <sub>d</sub> =4,99

**Návrh:** Trapézový plech ARVAL HACIERCO 55/250, pozitivní poloha

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$t = 0,75 \text{ mm}$$

$$m = 7,18 \text{ kg/m}^2$$

### Posouzení:

a) MSÚ

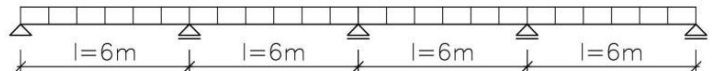
$$(g_d + q_d) = 4,99 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 6,25 \text{ kN/m}^2$$

b) MSP – pro L/200

$$(g_k + q_k) = 3,36 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 5,39 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{navržený plech TR55/250 vyhovuje}$$

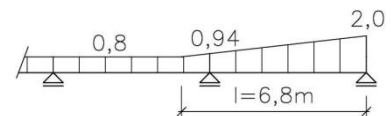
### Návrh tenkostěnné vaznice

Spojitý nosník o 4 polích, rozpětí 6 m,  
ZŠ = 2,1m



Tvarový součinitel pro zatížení sněhem beru jako průměr  
z posledního pole (vliv navátí)

$$\mu_2 = \frac{0,94+2,0}{2} = 1,47 \Rightarrow \mu_2 \cong 1,5$$



$$s_6 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,25 \text{ kN/m}^2$$

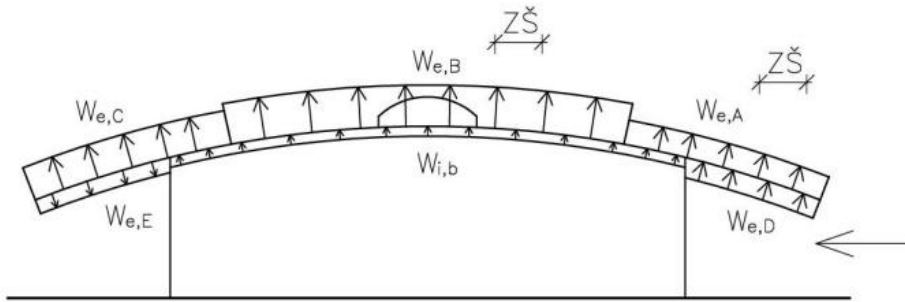
### Zatížení:

STÁLE [kN/m]	g <sub>k</sub> [kN/m]	γ <sub>G</sub> [-]	g <sub>d</sub> [kN/m]
Střešní plášť 0,36 . 2,1	0,76	1,35	1,03
Vlastní tíha (odhad)	0,12	1,35	0,16
Celkem	0,88	1,35	1,19
PROMĚNNÉ [kN/m]	q <sub>k</sub> [kN/m]	γ <sub>Q</sub> [-]	q <sub>d</sub> [kN/m]
Sníh 2,25 . 2,1	4,73	1,50	7,10
Celkové	(g+q) <sub>k</sub> =5,61		(g+q) <sub>d</sub> =8,29



Určení maximálního sání větru na střeše

Příčný vítr:



a) uvažována oblast B (největší sání větru) + vnitřní přetlak

$$w_{e,k} = w_{e,B} \cdot Z\check{S} = -0,482 \cdot 2,1 = -1,012 \text{ kN/m}$$

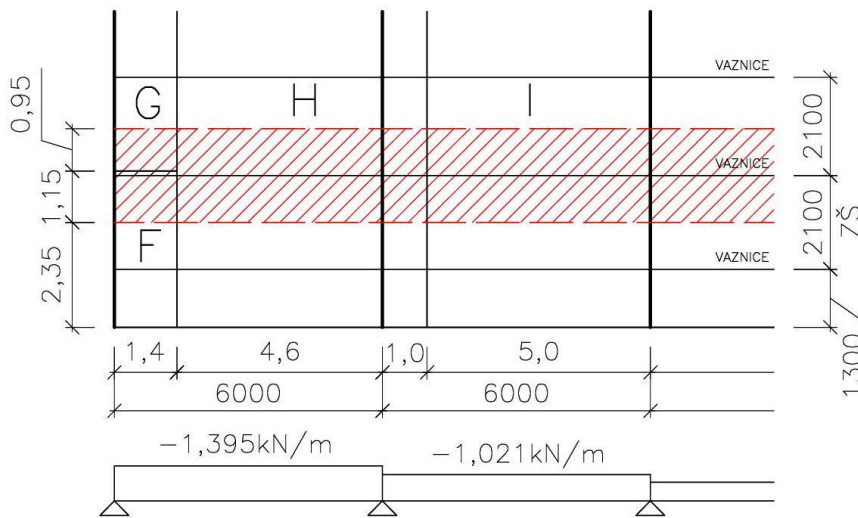
$$w_{i,k} = w_{i,b} \cdot Z\check{S} = -0,018 \cdot 2,1 = -0,038 \text{ kN/m}$$

$$w_k = w_{e,k} + w_{i,k} = -1,050 \text{ kN/m}$$

b) uvažována oblast A + vnější tlak na spodní povrch střechy

$$w_k = w_{e,A} \cdot Z\check{S} + w_{e,D} \cdot Z\check{S} = -0,090 \cdot 2,1 - 0,429 \cdot 2,1 = -1,090 \text{ kN/m}$$

Podélný vítr:



Krajní pole:

$$w_{e,k1} = \frac{1}{L} \cdot \Sigma(w_e \cdot A) = -\frac{1}{6} \cdot (w_{e,F} \cdot 1,4 \cdot 1,15 + w_{e,G} \cdot 1,4 \cdot 0,95 + w_{e,H} \cdot 4,6 \cdot 2,1)$$

$$= -\frac{1}{6} \cdot (0,874 \cdot 1,4 \cdot 1,15 + 0,784 \cdot 1,4 \cdot 0,95 + 0,392 \cdot 4,6 \cdot 2,1) = -1,040 \text{ kN/m}$$

$$w_{i,k1} = w_i \cdot Z\check{S} = w_{i,c} \cdot 2,1 = -0,169 \cdot 2,1 = -0,355 \text{ kN/m}$$

$$w_{k1} = w_{e,k1} + w_{i,k1} = -1,395 \text{ kN/m}$$

2.pole:

$$w_{e,k2} = \frac{Z\check{S}}{L} \cdot \Sigma(w_e \cdot L) = -\frac{2,1}{6} \cdot (w_{e,H} \cdot 1,0 + w_{e,I} \cdot 5,0) = -\frac{2,1}{6} \cdot (0,392 \cdot 1,0 + 0,302 \cdot 5,0)$$

$$= -0,666 \text{ kN/m}$$

$$w_{i,k2} = w_{i,k1} = -0,355 \text{ kN/m}$$

$$w_{k2} = w_{e,k2} + w_{i,k2} = -1,021 \text{ kN/m}$$

$$\text{Max. sání} \Rightarrow w_k = -1,395 \text{ kN/m}$$

**Kombinace zatěžovacích stavů (ZS):**

1) Stálé + sníh

$$q_{Ed} = (g_d + q_d) = 8,29 \text{ kN/m}$$

2) Minimální stálé (pouze TR plech+vaznice) + sání větru

$$q_{Ed} = g_k \cdot \gamma_0 + w_k \cdot \gamma_Q = (0,1 \cdot 2,1 + 0,12) \cdot 1,0 - 1,395 \cdot 1,5 = -1,763 \text{ kN/m}$$

**Návrh:** Vaznice Z300/3,0  $m = 11,33 \text{ kg/m}$

$$f_y = 350 \text{ MPa}$$

**Posouzení:**

a) MSÚ

$$1.\text{ZS. } q_{Ed} = 8,29 \text{ kN/m} < q_{Rd} = 8,29 \text{ kN/m}$$

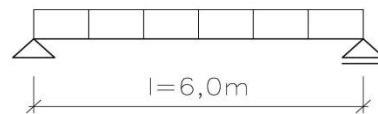
$$2.\text{ZS. } q_{Ed} = -1,76 \text{ kN/m} < q_{Rd} = -5,58 \text{ kN/m}$$

b) MSP – pro L/200

$$q_{Ek} = 5,61 \text{ kN/m} < q_{Rk} = 11,50 \text{ kN/m} \Rightarrow \text{navržená vaznice Z300/3,0 vyhovuje}$$

**Varianta II**

Plech navrhuji jako prostý nosník.



**Zatížení:**

STÁLE [kN/m <sup>2</sup> ]	g <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	γ <sub>G</sub> [-]	g <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Trap. plech	0,06	1,35	0,08
Min. vlna tl.0,2m 0,2 . 1,0	0,20	1,35	0,27
Trap. plech (odhad)	0,20	1,35	0,27
Celkem	0,46	1,35	0,62
PROMĚNNÉ [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	γ <sub>Q</sub> [-]	q <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Sníh	2,10	1,50	3,15
Celkové	(g+q) <sub>k</sub> =2,56		(g+q) <sub>d</sub> =3,77

**Návrh:** Trapézový plech ARVAL 160/250 HL, pozitivní poloha

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$t = 1,25 \text{ mm}$$

$$m = 19,63 \text{ kg/m}^2$$

**Posouzení:**

a) MSÚ

$$(g_d + q_d) = 3,77 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 7,52 \text{ kN/m}^2$$

b) MSP – pro L/200

$$(g_k + q_k) = 2,56 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 3,02 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{navržený plech TR160/250 vyhovuje}$$

### 3.2.2 Vyhodnocení variant

Plocha střechy  $A = 32 \cdot 24 = 768 \text{ m}^2$

#### Varianta I

$$\text{TR 55/250} \quad 7,18 \text{ kg/m}^2 \quad 7,18 \cdot 768 = 5515 \text{ kg}$$

Vaznice

$$\text{Z300/3,0} \quad 11,33 \text{ kg/m} \quad 11,33 \cdot 24 \cdot 16 = 4351 \text{ kg}$$

$$\text{Celková hmotnost: } \boxed{9866 \text{ kg}}$$

#### Varianta II

$$\text{TR 160/250} \quad 19,63 \text{ kg/m}^2 \quad 19,63 \cdot 768 = 15\,076 \text{ kg}$$

$$\text{Celková hmotnost: } \boxed{15\,076 \text{ kg}}$$

Z ekonomického hlediska je **Varianta I** výhodnější, proto jsem zvolil ji.

### 3.3 Zatížení příčné vazby

#### 3.3.1 Zatížení

Pro návrh a posouzení byla vybrána nejvíce exponovaná vazba (2. od kraje budovy). Protože tenkostěnná vaznice je navržena jako spojitý nosník o čtyřech polích, na který působí spojitě zatížení, velikosti reakcí v jeho jednotlivých podporách se liší. Proto bude zatížení přenásobeno součinitelem  $k = 1,143$ , který zohledňuje velikost reakce ve druhé podpoře.

Pro zjednodušení je plošné zatížení rozmístěno spojitě na horní pás vazníku (není rozpočítáno na síly působící do styčniců). Zatěžovací šířka vazby je 6 m.

#### Zatěžovací stavy

Číslo	ZS
1.	Stálé
2.	Sníh rovnoměrný
3.	Sníh navátý 1 zleva
4.	Sníh navátý 1 zprava
5.	Sníh navátý 2
6.	Vítr příčný
7.	Vítr podélný
8.	Příčný přetlak
9.	Příčný podtlak
10.	Podélný přetlak

#### 1. Stálé – viz. Příloha 1.1

$$\text{Spojitě } g = g_k \cdot Z\check{S} \cdot k = 0,36 \cdot 6 \cdot 1,143 = 2,469 \text{ kN/m}$$

$$\text{Síla do styčniců od vl. tíhy vaznice } F_1 = g_{vl} \cdot Z\check{S} = 0,114 \cdot 6 = 0,684 \text{ kN}$$

Síla od světlíku (odhadem)

$$\text{Polykarbonátová deska } 0,02 \text{ kN/m}^2, \text{ délka oblouku } 4,6 \text{ m} = 0,02 \cdot 4,6 = 0,092 \text{ kN/m}$$

$$\text{Hliníkový profil } 0,01 \text{ kN/m}, \text{ délka profilu } 4,6 \text{ m}, 6 \text{ profilů} = 0,01 \cdot 4,6 \cdot 6 = 0,276 \text{ kN}$$

$$\text{délka profilu } 6,0 \text{ m}, 2 \text{ profily} = 0,01 \cdot 6 \cdot 2 = 0,12 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{0,092 \cdot 6 + 0,276 + 0,12}{2} = 0,474 \text{ kN} \quad \Rightarrow F_2 = 0,5 \text{ kN}$$

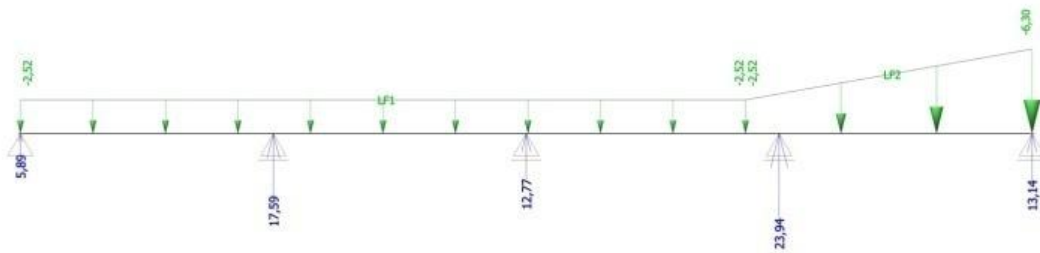
#### 2. Sníh rovnoměrný – viz. Příloha 1.2

Vliv navátí sněhu v místě přechodu na vyšší budovu, učeno v programu [15]

$$s = s_1 \cdot Z\check{S}_{vaznice} = 1,2 \cdot 2,1 = 2,52 \text{ kN/m}$$

$$s = s_5 \cdot Z\check{S}_{vaznice} = 3,0 \cdot 2,1 = 6,30 \text{ kN/m}$$

$$\text{Reakce } D = 23,94 \text{ kN} \Rightarrow \text{spojitě } s = \frac{D}{Z\check{S}_{vaznice}} = \frac{23,94}{2,1} = 11,40 \text{ kN/m}$$



### 3. Sníh navátý 1 zleva – viz. Příloha 1.3

$$\text{Spojité } s = s_2 \cdot Z\check{S} \cdot k = 1,71 \cdot 6 \cdot 1,143 = 11,727 \text{ kN/m}$$

$$s = s_3 \cdot Z\check{S} \cdot k = 0,86 \cdot 6 \cdot 1,143 = 5,898 \text{ kN/m}$$

### 4. Sníh navátý 1 zprava – viz. Příloha 1.4

$$\text{Spojité } s = 11,727 \text{ kN/m}$$

$$s = 5,898 \text{ kN/m}$$

### 5. Sníh navátý 2 – viz. Příloha 1.5

$$\text{Spojité } s = s_1 \cdot Z\check{S} \cdot k = 1,2 \cdot 6 \cdot 1,143 = 8,229 \text{ kN/m}$$

$$s = s_4 \cdot Z\check{S} \cdot k = 2,4 \cdot 6 \cdot 1,143 = 16,459 \text{ kN/m}$$

### 6. Vítr příčný – viz. Příloha 1.6

$$w_1 = w_{e,A} \cdot Z\check{S} = 0,090 \cdot 6 = 0,54 \text{ kN/m}$$

$$w_2 = w_{e,B} \cdot Z\check{S} = 0,482 \cdot 6 = 2,892 \text{ kN/m}$$

$$w_3 = w_{e,C} \cdot Z\check{S} = 0,253 \cdot 6 = 1,518 \text{ kN/m}$$

$$\text{Síla od fasády návětrná strana } F_1 = w_{e,D} \cdot Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} = 0,429 \cdot 6 \cdot \frac{5,7}{2} = 7,336 \text{ kN}$$

$$\text{Síla od fasády závětrná strana } F_2 = w_{e,E} \cdot Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} = 0,194 \cdot 6 \cdot \frac{5,7}{2} = 3,318 \text{ kN}$$

$$\text{Přesah střechy návětrná strana } w_4 = w_1 + w_{e,D} \cdot Z\check{S} = 0,54 + 0,429 \cdot 6 = 3,114 \text{ kN/m}$$

$$\text{Přesah střechy závětrná strana } w_5 = w_3 - w_{e,E} \cdot Z\check{S} = 1,518 - 0,194 \cdot 6 = 0,354 \text{ kN/m}$$

Horní světlík - reakce určeny v programu [15]

$$w_6 = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \cdot Z\check{S} = 0,603 \cdot 0,7 \cdot 6 = 2,533 \text{ kN/m}$$

$$w_7 = 0,603 \cdot 0,3 \cdot 6 = 1,086 \text{ kN/m}$$

$$\text{Reakce } H_1 = 2,59 \text{ kN}, H_2 = 1,75 \text{ kN}, V = 0,62 \text{ kN}$$



### 7. Vítr podélný – viz. Příloha 1.7

Vítr na střeše  $w_1 = w_{e,H} \cdot 4 + w_{e,I} \cdot 2 = 0,392 \cdot 4 + 0,302 \cdot 2 = 2,172 \text{ kN/m}$

Síla od fasády  $F_1 = w_{e,B} \cdot Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} = 0,502 \cdot 6 \cdot \frac{5,7}{2} = 8,584 \text{ kN}$

### 8. Příčný přetlak – viz. Příloha 1.8

Vítr na spodní povrch střechy  $w_i = w_{i,b} \cdot Z\check{S} = 0,018 \cdot 6 = 0,108 \text{ kN/m}$

Síla od fasády  $F_1 = w_{i,b} \cdot Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} = 0,018 \cdot 6 \cdot \frac{5,7}{2} = 0,308 \text{ kN}$

### 9. Příčný podtlak – viz. Příloha 1.9

$w_i = w_{i,a} \cdot Z\check{S} = 0,193 \cdot 6 = 1,158 \text{ kN/m}$

$F_1 = w_{i,a} \cdot Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} = 0,193 \cdot 6 \cdot \frac{5,7}{2} = 3,300 \text{ kN}$

### 10. Podélný přetlak – viz. Příloha 1.10

$w_i = w_{i,c} \cdot Z\check{S} = 0,169 \cdot 6 = 1,014 \text{ kN/m}$

$F_1 = w_{i,c} \cdot Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} = 0,169 \cdot 6 \cdot \frac{5,7}{2} = 2,890 \text{ kN}$

## **Kombinace zatěžovacích stavů (KZS)**

### **Kombinace pro MSÚ**

Pro kombinace 1 – 11 je  $\gamma_G = 1,35$ ,  $\gamma_Q = 1,5$

Pro kombinace 12 – 14 je  $\gamma_G = 1,0$ ,  $\gamma_Q = 1,5$

Kombinační součinitele pro vítr  $\psi_0 = 0,6$ , pro sníh  $\psi_0 = 0,5$

1. Stálé + Sníh rovnoměrný
2. Stálé + Sníh navátý 1 zleva
3. Stálé + Sníh navátý 2
4. Stálé + Sníh rovnoměrný +  $\psi_0$  . Vítr příčný +  $\psi_0$  . Příčný podtlak
5. Stálé + Sníh navátý 1 zleva +  $\psi_0$  . Vítr příčný +  $\psi_0$  . Příčný podtlak
6. Stálé + Sníh navátý 1 zprava +  $\psi_0$  . Vítr příčný +  $\psi_0$  . Příčný podtlak
7. Stálé + Sníh navátý 2 +  $\psi_0$  . Vítr příčný +  $\psi_0$  . Příčný podtlak
8. Stálé + Vítr příčný + Příčný podtlak +  $\psi_0$  . Sníh rovnoměrný
9. Stálé + Vítr příčný + Příčný podtlak +  $\psi_0$  . Sníh navátý 1 zleva
10. Stálé + Vítr příčný + Příčný podtlak +  $\psi_0$  . Sníh navátý 1 zprava
11. Stálé + Vítr příčný + Příčný podtlak +  $\psi_0$  . Sníh navátý 2
12. Stálé<sub>min</sub> + Vítr příčný
13. Stálé<sub>min</sub> + Vítr příčný + Příčný přetlak
14. Stálé<sub>min</sub> + Vítr podélný + Podélný podtlak

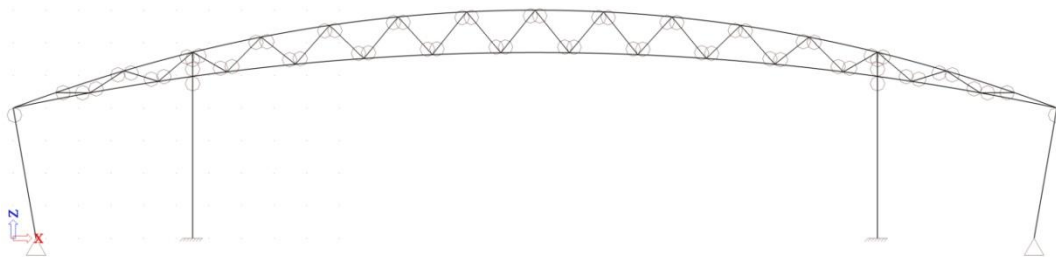
### **Kombinace pro MSP**

Stejně jako předcházející za použití součinitelů  $\gamma_G = 1,0$ ,  $\gamma_Q = 1,0$

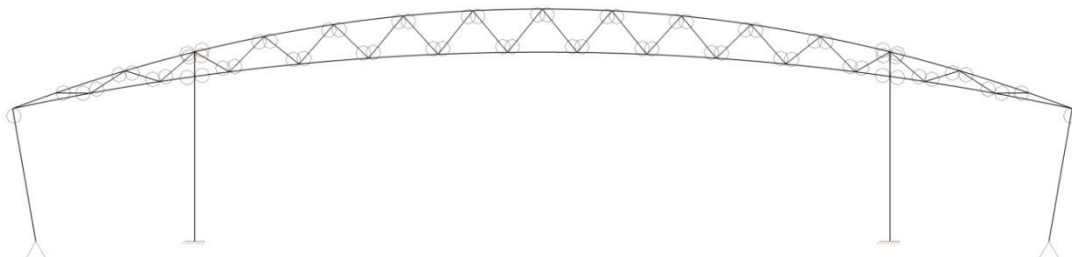
## **3.4 Varianty příčné vazby**

K posouzení byly vybrány 3 varianty statického působení příčné vazby

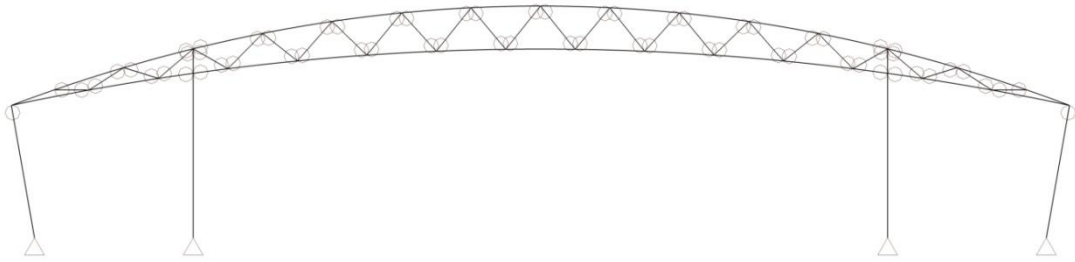
**Varianta I** – vetknuté sloupy, kloubově uložený příhradový vazník



**Varianta II** – vetknuté sloupy, sloupy s vazníkem tvoří rám

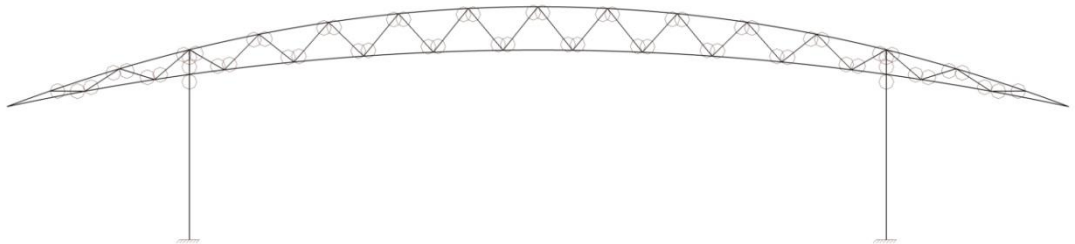


**Varianta III** – kloubově uložené sloupy, sloupy s vazníkem tvoří rám

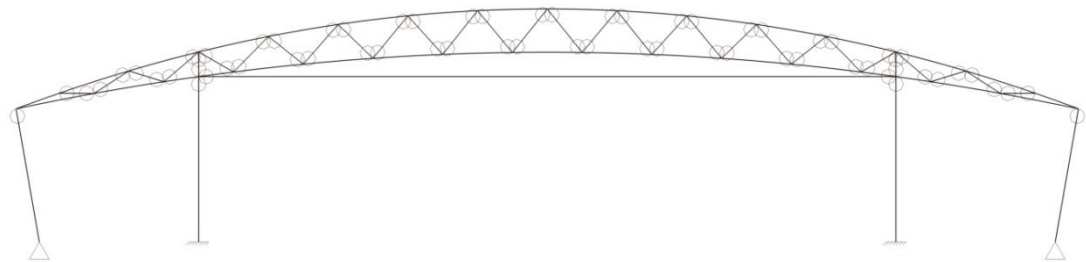


Dále byly ještě posouzeny 2 modifikace Varianty I

**Varianta IV** – odejmuty krajní kyvné pruty



**Varianta V** – umístěno táhlo mezi vrcholy sloupů



### 3.4.1 Návrh a posouzení variant

Následující statické výpočty jsou pouze předběžné, detailní posouzení bude provedeno u vybrané varianty.

#### ***Předběžný návrh sloupu***

Použití dvou svařených U profilů – uzavřený průřez  $\chi_{LT} = 1,0$

Zjednodušený výpočet, vzpěrná délka sloupu brána  $2L$ , pro zjednodušení  $k_{yy} = 1,0$ ,  $k_{yz} = 1,0$

Návrh proveden formou tabulky.



### Varianta I

Profil	<b>2xU220</b>	$M_{Ed}$ [kNm]	$N_{Ed}$ [kN]	$L_{cr,y}$ [mm]	$L_{cr,z}$ [mm]	$\lambda_y$	$\lambda_z$
A [mm <sup>2</sup> ]	7480,0	78,68	353,17	9940	4970	117,2	81,5
L[mm]	4970,0	$\bar{\lambda}_y$	$\bar{\lambda}_z$	b/t <sub>f</sub> <30	$\chi_y$	$\chi_z$	$\chi_{LT}$
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	584000,0			křivka c			
$i_y$ [mm]	84,8	1,540	1,071	12,8	0,30	0,50	1,0
$i_z$ [mm]	61,0	$k_{yy}$	$k_{yz}$	$N_{Ed}/$	$M_{y,Ed}/$	$\Sigma$	
b[mm]	160,0			$\chi_y \cdot N_{Rk}$	$\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}$		
$t_f$ [mm]	12,5	1,0	1,0	0,44	0,38	<b>0,82</b>	<1,0
$\lambda_1$	76,1			$N_{Ed}/$	$M_{y,Ed}/$	$\Sigma$	
				$\chi_z \cdot N_{Rk}$	$\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}$		
				0,27	0,38	<b>0,65</b>	<1,0

Z důvodu nevyhovujícího vodorovného průhybu ( $\delta_H = 25,9mm > \delta_{H,max} = 16,6mm$ ) je profil zvětšen na **2xU300**.

### Varianta II

Profil	<b>2xU220</b>	$M_{Ed}$ [kNm]	$N_{Ed}$ [kN]	$L_{cr,y}$ [mm]	$L_{cr,z}$ [mm]	$\lambda_y$	$\lambda_z$
A [mm <sup>2</sup> ]	7480,0	78,05	356,39	9940	4970	117,2	81,5
L[mm]	4970,0	$\bar{\lambda}_y$	$\bar{\lambda}_z$	b/t <sub>f</sub> <30	$\chi_y$	$\chi_z$	$\chi_{LT}$
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	584000,0			křivka c			
$i_y$ [mm]	84,8	1,540	1,071	12,8	0,30	0,50	1,0
$i_z$ [mm]	61,0	$k_{yy}$	$k_{yz}$	$N_{Ed}/$	$M_{y,Ed}/$	$\Sigma$	
b[mm]	160,0			$\chi_y \cdot N_{Rk}$	$\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}$		
$t_f$ [mm]	12,5	1,0	1,0	0,45	0,38	<b>0,82</b>	<1,0
$\lambda_1$	76,1			$N_{Ed}/$	$M_{y,Ed}/$	$\Sigma$	
				$\chi_z \cdot N_{Rk}$	$\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}$		
				0,27	0,38	<b>0,64</b>	<1,0

Profil **2xU220** vyhovuje.

### Varianta III

Profil	<b>2xU240</b>	$M_{Ed}$ kNm	$N_{Ed}$ kN	$L_{cr,y}$ mm	$L_{cr,z}$ mm	$\lambda_y$	$\lambda_z$
A [mm <sup>2</sup> ]	8460,0	147,33	353,58	9940	4970	107,7	74,0
L[mm]	4970,0	$\bar{\lambda}_z$	$\bar{\lambda}_z$	b/t <sub>f</sub> <30	$\chi_y$	$\chi_z$	$\chi_{LT}$
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	716000,0			křivka c			
$i_y$ [mm]	92,3	1,415	0,972	13,1	0,35	0,56	1,0
$i_z$ [mm]	67,2	$k_{yy}$	$k_{yz}$	$N_{Ed}/$	$M_{y,Ed}/$	$\Sigma$	
b[mm]	170,0			$\chi_y \cdot N_{Rk}$	$\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}$		
$t_f$ [mm]	13,0	1,0	1,0	0,34	0,58	<b>0,92</b>	<1,0
$\lambda_1$	76,1			$N_{Ed}/$	$M_{y,Ed}/$	$\Sigma$	
				$\chi_z \cdot N_{Rk}$	$\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}$		
				0,21	0,58	<b>0,79</b>	<1,0

Z důvodu nevyhovujícího vodorovného průhybu ( $\delta_H = 23,8mm > \delta_{H,max} = 16,6mm$ ) je profil zvětšen na **2xU300**.

## Návrh profilů vazníku

Trubky jsou posouzeny pouze na vzpěrný tlak, ten je brán jako rozhodující.

Vnitřní síly viz. Přílohy 2.1 – 2.6

**Varianta I**

Prut	$N_{ed}$ [kN]	Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	i [mm]	$L_{teor.}$ [mm]	$L_{cr}/L$	$L_{cr}$ [mm]	$\lambda$	$\bar{\lambda}$	$\chi$	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
Dolní pas	462,20	TR159x6,3	3022	54	5590	1	5590	103,5	1,360	0,438	469,891	0,98 <1,0
Horní pas	566,23	TR108x6,3	2013	36	2100	0,9	1890	52,5	0,690	0,852	608,852	0,93 <1,0
Diagonála	335,62	TR88,9x4,0	1068	30,1	1497	0,75	1123	37,3	0,490	0,927	351,463	0,95 <1,0
Vzpěra	11,96	TR48,3x3,2	453	16	4060	1	4060	253,8	3,334	0,084	13,508	0,89 <1,0

**Varianta II**

Prut	$N_{ed}$ [kN]	Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	i [mm]	$L_{teor.}$ [mm]	$L_{cr}/L$	$L_{cr}$ [mm]	$\lambda$	$\bar{\lambda}$	$\chi$	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
Dolní pas	444,06	TR159x6,3	3022	54	5590	1	5590	103,5	1,360	0,438	469,891	0,95 <1,0
Horní pas	540,91	TR108x6,3	2013	36	2100	0,9	1890	52,5	0,690	0,852	608,852	0,89 <1,0
Diagonála	348,39	TR102x4,0	1232	34,7	1497	0,75	1123	32,4	0,425	0,946	413,743	0,84 <1,0
Vzpěra	12,49	TR48,3x3,2	453	16	4060	1	4060	253,8	3,334	0,084	13,508	0,92 <1,0

**Varianta III**

Prut	$N_{ed}$ [kN]	Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	i [mm]	$L_{teor.}$ [mm]	$L_{cr}/L$	$L_{cr}$ [mm]	$\lambda$	$\bar{\lambda}$	$\chi$	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
Dolní pas	400,70	TR159x6,3	3022	54	5590	1	5590	103,5	1,360	0,438	469,891	0,85 <1,0
Horní pas	517,88	TR102x6,3	1894	33,9	2100	0,9	1890	55,8	0,733	0,832	559,412	0,93 <1,0
Diagonála	353,51	TR102x4,0	1232	34,7	1497	0,75	1123	32,4	0,425	0,946	413,743	0,85 <1,0
Vzpěra	13,19	TR60,3x3,2	574	20,2	4060	1	4060	201,0	2,641	0,132	26,898	0,49 <1,0

## MSP

$$\text{Svislý průhyb} \quad \delta_{V,max} \leq \frac{l}{250} = \frac{21000}{250} = 84\text{mm}$$

$$\text{Vodorovný průhyb} \quad \delta_{H,max} \leq \frac{H}{300} = \frac{4970}{300} = 16,6\text{mm}$$

### Vyhodnocení variant

	$\delta_v$ [mm]	$\delta_H$ [mm]	Celková hmotnost [kg]
<b>Varianta I</b>	62,0	11,1	2574
<b>Varianta II</b>	56,6	11,2	2348
<b>Varianta III</b>	55,1	16,5	2722
<b>Varianta IV</b>	66,0	12,6	2544
<b>Varianta V</b>	46,9	9,7	2835

U Varianty IV došlo odejmutím kyvných prutů, pouze k redistribuci normálových sil, jejich velikost tím nebyla příliš ovlivněna. Tuto variantu nepoužiji, neboť krajní sloupy jsou součástí architektonického zadání.

U Varianty V nedošlo přidáním táhla k významné změně chování konstrukce, spíše se zvětšila její hmotnost. Pro efektivní využití táhla je vzepětí oblouku příliš malé.

Ze zbylých tří variant jsem zvolit **Variantu III**, která neobsahuje konstrukčně složitou a ekonomicky nákladnou vetknutou patku.

## 4 Podrobný výpočet příčné vazby

### 4.1 Globální analýza

#### 4.1.1 Rámové imperfekce

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{5,7}} = 0,83 \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \Rightarrow \alpha_h = 0,83$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,866$$

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,83 \cdot 0,866 = 3,594 \cdot 10^{-3}$$

#### 4.1.2 Klasifikace rámu pomocí výpočetního programu

V programu [15] byly vytvořeny stabilitní kombinace (stejně jako předcházející CO1 – CO11) a proveden stabilitní výpočet. Nejnižší  $\alpha_{cr}$ , při kterém dojde k vybočení rámu, je pro CO1

$$\alpha_{cr} = 6,87$$

$$\alpha_{cr} < 10 \quad \Rightarrow \text{pro výpočet musím uvažovat účinky 2. řádu}$$

### 4.1.3 Výpočet vnitřních sil

Následně byly vytvořeny nelineární kombinace (stejně jako předcházející)

Pro MSÚ - CO1 – CO14 se součiniteli  $\gamma_G = 1,35$ ,  $\gamma_Q = 1,5$

Pro MSP – CO1 – CO14 se součiniteli  $\gamma_G = 1,0$ ,  $\gamma_Q = 1,0$

a do každé kombinace byla zavedena imperfekce pomocí náklonu sloupů  $\Phi = 3,594 \cdot 10^{-3}$  a proveden nelineární výpočet. Na výsledné vnitřní síly bude konstrukce dimenzována.

## 4.2 Návrh sloupu

**Vnitřní síly:** viz. Příloha 2.7 – 2.8

$$N_{Ed} = 340,87kN$$

$$M_{Ed} = 164,45kNm$$

**Návrh:** Profil HEB 240

Ocel S235  $f_{yd} = 235MPa$ ,  $G = 80\,700MPa$

$$A = 10600mm^2$$

$$I_y = 112,6 \cdot 10^6mm^4$$

$$I_z = 39,23 \cdot 10^6mm^4$$

$$i_y = 103,1mm$$

$$i_z = 60,8mm$$

$$W_{pl,y} = 1053 \cdot 10^3mm^3$$

$$I_t = 1027 \cdot 10^3mm^4$$

$$I_w = 486,9 \cdot 10^9mm^6$$

$$L = 4970mm \text{ (po spodní pás vazníku)}$$

$$m = 83,2kg/m$$

Třída průřezu

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

$$\text{Tlak: } \frac{d}{t_w} = \frac{164}{10} = 16,4 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33 \quad \Rightarrow \text{třída 1}$$

$$\text{Ohyb: } \frac{d}{t_w} = \frac{164}{10} = 16,4 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72 \quad \Rightarrow \text{třída 1}$$

**Posouzení MSÚ:**

$$L_{cr,y} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 4970 = 4970mm$$

$$L_{cr,z} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 4970 = 4970 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4970}{103,1} = 48,21$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4970}{60,8} = 81,74$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{48,21}{93,9} = 0,513 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi_y = 0,878$$

$$\overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{81,74}{93,9} = 0,871 \quad \Rightarrow \text{křivka c} \quad \Rightarrow \chi_z = 0,618$$

### Výpočet kritického momentu

$$k_z = 1,0 \text{ (kloubové uložení)}$$

$$k_w = 1,0 \text{ (není bráněno deplací)}$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 4970} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 486,9 \cdot 10^9}{80700 \cdot 1027 \cdot 10^3}} = 0,702$$

$$\text{Trojúhelníkový průběh momentu} \quad C_{1,0} = 1,77$$

$$C_{1,1} = 1,85$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{wt} = 1,77 + (1,85 - 1,77) \cdot 0,702 = 1,83 \leq C_{1,1} = 1,85$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,77}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,702^2} = 2,163$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,163 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 39,23 \cdot 10^6 \cdot 80700 \cdot 1027 \cdot 10^3}}{4970} =$$

$$= 1129,772 \text{ kNm}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1053 \cdot 10^3 \cdot 235}{1129,772 \cdot 10^6}} = 0,468$$

$$\text{Součinitel klopení – válcovaný průřez} \quad \frac{h}{b} = \frac{240}{240} = 1 < 2 \quad \Rightarrow \text{křivka a}$$

$$\chi_{LT} = 0,933$$

### Interakce tlaku a ohybu

Součinitele  $C_{my}$  a  $C_{mLT}$  určeny pro lineární průběh momentu a  $\psi = 0$  kde  $(-1 \leq \psi \leq 1)$

$$C_{my} = 0,9 \text{ (vybočení s posuvem styčniců)}$$

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

Interakční součinitel

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

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot \left( 1 + (0,513 - 0,2) \cdot \frac{340,87 \cdot 10^3}{0,878 \cdot 2491 \cdot 10^3 / 1,0} \right) \\ 0,9 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{340,87 \cdot 10^3}{0,878 \cdot 2491 \cdot 10^3 / 1,0} \right) \end{array} \right\} = \min \{0,944, 1,013\} = 0,944$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,871}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{340,87 \cdot 10^3}{0,618 \cdot 2491 \cdot 10^3 / 1,0} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{340,87 \cdot 10^3}{0,618 \cdot 2491 \cdot 10^3 / 1,0} \end{array} \right\} = \max \{0,945, 0,937\} = 0,945$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 10600 \cdot 235 = 2491 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1053 \cdot 10^3 \cdot 235 = 247,455 \text{ kNm}$$

**Podmínky spolehlivosti**

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

$$\frac{340,87 \cdot 10^3}{0,878 \cdot 2491 \cdot 10^3} + 0,944 \cdot \frac{164,45 \cdot 10^6}{0,933 \cdot 247,455 \cdot 10^6} \leq 1,0$$

$$0,15 + 0,67 = 0,82 < 1,0$$

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

$$\frac{340,87 \cdot 10^3}{0,618 \cdot 2491 \cdot 10^3} + 0,945 \cdot \frac{164,45 \cdot 10^6}{0,933 \cdot 247,455 \cdot 10^6} \leq 1,0$$

$$0,22 + 0,67 = 0,89 < 1,0$$

⇒ sloup průřezu HEB 240 vyhovuje

### Posouzení MSP:

Navržený sloup nevyhoví z hlediska vodorovného průhybu, jak ukazuje následující tabulka

Profil sloupu	$\delta_H$	$\delta_{H,max}$
HEB 240	23,6	16,6
HEB 260	19,3	
HEB 280	16,2	

Z tabulky je zřejmé, že rozhodující pro návrh sloupu je MSP. Jako vyhovující se jeví až profil HEB 280.  
 $\Rightarrow$  navrhují profil sloupu HEB 280

## 4.3 Návrh profilů vazníku

### 4.3.1 Spodní pás

$$N_{Ed,tlak} = 647,63kN$$

$$N_{Ed,tah} = 498,37kN$$

$$L = 5279mm \quad L_{cr} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 5279 = 5279mm \quad \text{odhad } \chi = 0,5$$

$$A_{potřebná} \geq \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot f_{yd}} = \frac{647,63 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 355} = 3649mm^2$$

$$\text{Návrh: TR194x6,3} \quad \text{Ocel S355} \quad f_{yd} = 355MPa$$

$$A = 3715mm^2$$

$$i = 66,4mm$$

Třída průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{d}{t} = \frac{194}{6,3} = 30,8 \quad \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \Rightarrow \text{třída 1}$$

### Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5279}{66,4} = 79,50$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,1$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{79,50}{76,1} = 1,045 \quad \Rightarrow \text{křivka b (válcované za studena)} \quad \Rightarrow \chi = 0,569$$

$$\text{Tlak: } N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,569 \cdot 3715 \cdot 355 = 750,411kN$$

$$\frac{N_{ed,tlak}}{N_{b,Rd}} = \frac{647,63}{750,411} = 0,86 < 1,0$$

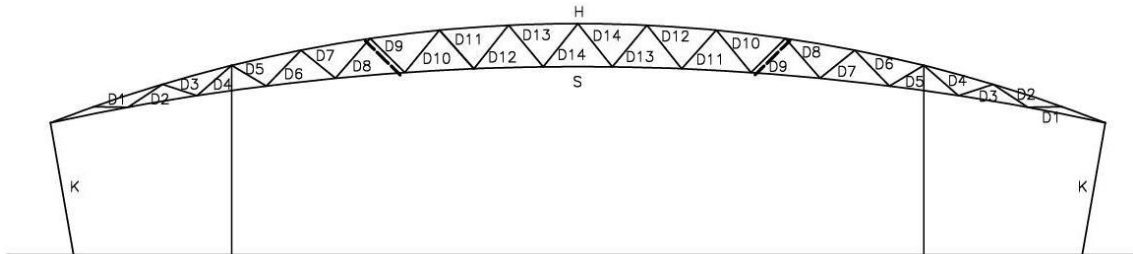


$$\text{Tah: } N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} = 3715 \cdot 355 = 1318,825 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed,tah}}{N_{t,Rd}} = \frac{498,370}{1318,825} = 0,38 < 1,0 \quad \Rightarrow \text{navržená TR194x6,3 vyhovuje}$$

Návrh a posouzení dalších prvků je proveden ve formě tabulky

Vnitřní síly viz. Příloha 2.9 – 2.11



#### 4.3.2 Návrh tažených prutů

Prut	$N_{Ed,tah}$ [kN]	Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	$f_{yd}$ [MPa]	$N_{t,Rd}$ [kN]	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	
S	498,37	TR194x6,3	3715	355	1318,825	0,38	<1,0
H	323,15	TR140x6,3	2646	355	939,330	0,34	<1,0
D1	7,40	TR48,3x5	680	355	241,400	0,03	<1,0
D2	49,51	TR48,3x5	680	355	241,400	0,21	<1,0
D3	9,69	TR48,3x5	680	355	241,400	0,04	<1,0
D4	118,96	TR48,3x3,2	453	355	160,815	0,74	<1,0
D5	377,38	TR82,5x5	1217	355	432,035	0,87	<1,0
D6	40,17	TR82,5x5	1217	355	432,035	0,09	<1,0
D7	191,61	TR48,3x5	680	355	241,400	0,79	<1,0
D8	32,34	TR82,5x5	1217	355	432,035	0,07	<1,0
D9	123,11	TR48,3x3,2	453	355	160,815	0,77	<1,0
D10	21,73	TR48,3x5	680	355	241,400	0,09	<1,0
D11	66,09	TR48,3x3,2	453	355	160,815	0,41	<1,0
D12	17,65	TR48,3x3,2	453	355	160,815	0,11	<1,0
D13	27,67	TR48,3x3,2	453	355	160,815	0,17	<1,0
D14	22,26	TR48,3x3,2	453	355	160,815	0,14	<1,0
K	6,70	TR76,1x2	466	355	165,430	0,04	<1,0

### 4.3.3 Návrh tlačných prvků

Návrh tlačných prutů

Prut	$N_{Ed,tlak}$ [kN]	Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	i [mm]	$L_{teor.}$ [mm]	$L_{cr}/L$	$L_{cr}$ [mm]	$\lambda$	$\bar{\lambda}$	$\chi$	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed}/N_{b,Rd}$
S	647,63	TR194x6,3	3715	66,4	5279	1	5279	79,5	1,045	0,569	750,411	0,86 <1,0
Sb *	52,15	TR194x6,3	3715	66,4	10508	1	10508	158,3	2,080	0,208	274,316	0,19 <1,0
H	509,76	TR140x6,3	2646	47,3	4202	0,9	3782	80,0	1,051	0,566	531,661	0,96 <1,0
D1	104,71	TR48,3x5	680	15,4	1047	0,75	785	51,0	0,670	0,800	193,120	0,54 <1,0
D2	1,36	TR48,3x5	680	15,4	1248	0,75	936	60,8	0,799	0,724	174,774	0,01 <1,0
D3	142,87	TR48,3x5	680	15,4	1100	0,75	825	53,6	0,704	0,784	189,258	0,75 <1,0
D4	7,04	TR48,3x3,2	453	16	1379	0,75	1034	64,6	0,849	0,693	111,445	0,06 <1,0
D5	40,72	TR82,5x5	1217	27,5	1209	0,75	907	33,0	0,433	0,913	394,448	0,10 <1,0
D6	355,52	TR82,5x5	1217	27,5	1497	0,75	1123	40,8	0,536	0,868	375,006	0,95 <1,0
D7	28,10	TR48,3x5	680	15,4	1339	0,75	1004	65,2	0,857	0,690	166,566	0,17 <1,0
D8	196,28	TR82,5x5	1217	27,5	1590	0,75	1193	43,4	0,570	0,852	368,094	0,53 <1,0
D9	20,13	TR48,3x3,2	453	16	1462	0,75	1097	68,5	0,901	0,661	106,299	0,19 <1,0
D10	111,62	TR48,3x5	680	15,4	1653	0,75	1240	80,5	1,058	0,560	135,184	0,83 <1,0
D11	17,09	TR48,3x3,2	453	16	1564	0,75	1173	73,3	0,963	0,621	99,866	0,17 <1,0
D12	53,11	TR48,3x3,2	453	16	1683	0,75	1262	78,9	1,037	0,514	82,659	0,64 <1,0
D13	14,44	TR48,3x3,2	453	16	1636	0,75	1227	76,7	1,008	0,592	95,202	0,15 <1,0
D14	11,76	TR48,3x3,2	453	16	1677	0,75	1258	78,6	1,033	0,576	92,629	0,13 <1,0
K	13,76	TR76,1x2	466	26	4061	1	4061	156,2	2,052	0,201	33,251	0,41 <1,0

\*Pozn. posouzení spodního pásu mezi svislými ztužidly

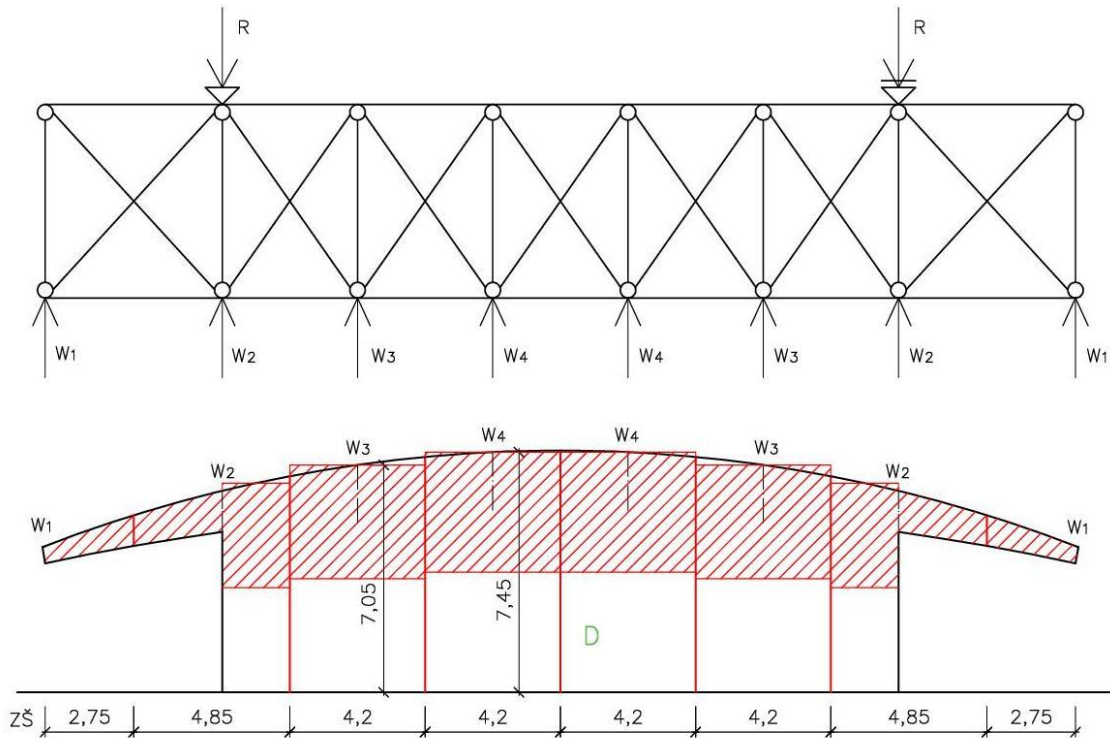
## 4.4 Návrh střešního ztužidla

Ve střeše jsou navržena 2 ztužidla, na každém konci objektu jedno. Zatížení větrem na štítovou stěnu je pro výpočet přisouzeno pouze krajnímu ztužidlu u štítové stěny. Druhé ztužidlo bude navrženo shodně.

### 4.4.1 Zatížení

Ztužidlo bude zatíženo reakcemi od sloupků fasády. Pro působení větru je plocha přesahujících krajních částí střechy (příhradovina) uvažována jako plná.

#### 1.ZS – podélný vítr



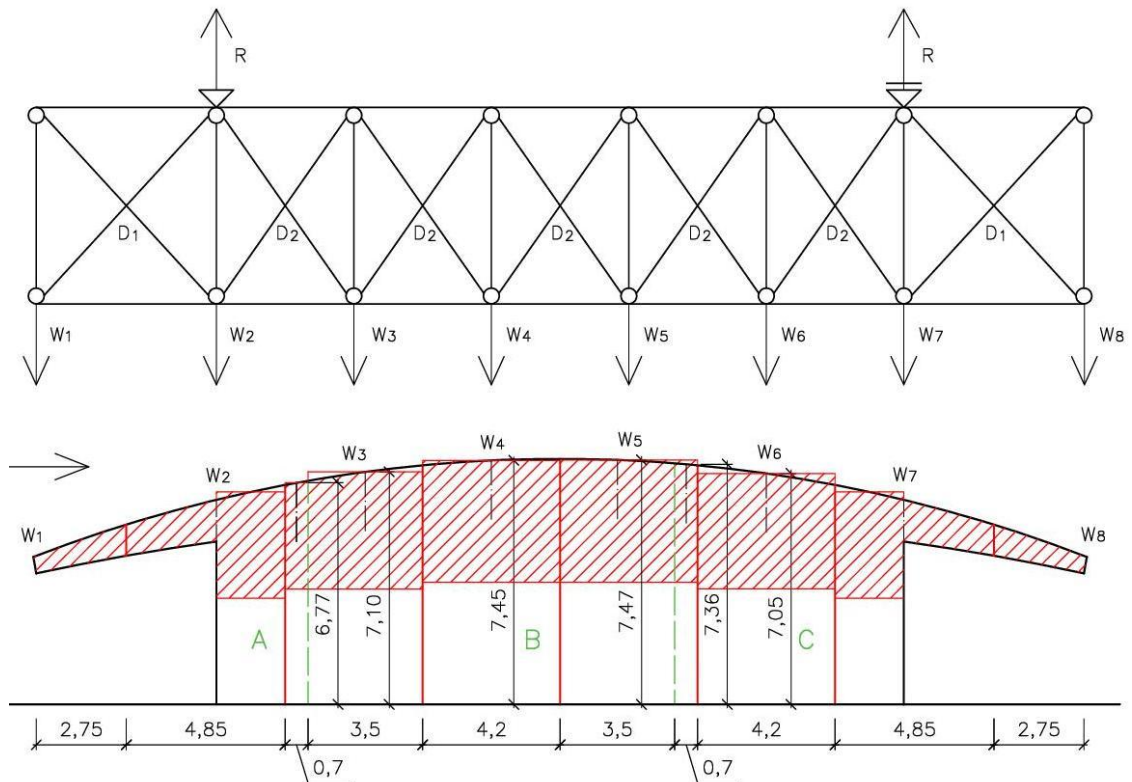
$$W_{1,d} = A \cdot w_{e,D} \cdot \gamma_Q = 2,09 \cdot 0,424 \cdot 1,5 = 1,329 \text{ kN} \quad (\text{plocha určena v programu [16]})$$

$$W_{2,d} = A \cdot w_{e,D} \cdot \gamma_Q = 9,89 \cdot 0,424 \cdot 1,5 = 6,290 \text{ kN} \quad (\text{plocha určena v programu [16]})$$

$$W_{3,d} = Z\check{s} \cdot \frac{H}{2} \cdot w_{e,D} \cdot \gamma_Q = 4,2 \cdot \frac{7,05}{2} \cdot 0,424 \cdot 1,5 = 9,416 \text{ kN}$$

$$W_{4,d} = 4,2 \cdot \frac{7,45}{2} \cdot 0,424 \cdot 1,5 = 9,951 \text{ kN}$$

## 2.ZS – příčný vítr



$$W_{1,d} = A \cdot w_{e,A} \cdot \gamma_Q = 2,09 \cdot 0,724 \cdot 1,5 = 2,270 \text{ kN}$$

$$W_{2,d} = A \cdot w_{e,A} \cdot \gamma_Q = 9,89 \cdot 0,724 \cdot 1,5 = 10,741 \text{ kN}$$

$$W_{3,d} = \left( Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} \cdot w_{e,A} + Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} \cdot w_{e,B} \right) \cdot \gamma_Q = \left( 0,7 \cdot \frac{6,77}{2} \cdot 0,724 + 3,5 \cdot \frac{7,10}{2} \cdot 0,521 \right) \cdot 1,5 = 12,284 \text{ kN}$$

$$W_{4,d} = Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} \cdot w_{e,B} \cdot \gamma_Q = 4,2 \cdot \frac{7,45}{2} \cdot 0,521 \cdot 1,5 = 12,227 \text{ kN}$$

$$W_{5,d} = \left( Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} \cdot w_{e,B} + Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} \cdot w_{e,C} \right) \cdot \gamma_Q = \left( 3,5 \cdot \frac{7,47}{2} \cdot 0,521 + 0,7 \cdot \frac{7,36}{2} \cdot 0,302 \right) \cdot 1,5 = 11,384 \text{ kN}$$

$$W_{6,d} = Z\check{S} \cdot \frac{H}{2} \cdot w_{e,C} \cdot \gamma_Q = 4,2 \cdot \frac{7,05}{2} \cdot 0,302 \cdot 1,5 = 6,707 \text{ kN}$$

$$W_{7,d} = A \cdot w_{e,C} \cdot \gamma_Q = 9,89 \cdot 0,302 \cdot 1,5 = 4,480 \text{ kN}$$

$$W_{8,d} = A \cdot w_{e,C} \cdot \gamma_Q = 2,09 \cdot 0,302 \cdot 1,5 = 0,947 \text{ kN}$$

### 4.4.2 Vnitřní síly

Viz. Přílohy 2.12 – 2.13

Diagonála D1 Tlačená diagonála není stabilizována

$$N_{c,Ed} = 3,78kN$$

$$N_{t,Ed,max} = 5,66kN$$

Diagonála D2 Tlačená je stabilizována taženou Tlačená není stabilizována

$$N_{c,Ed} = 15,78kN \text{ (tlak)}$$

$$N_{c,Ed} = 1,77kN$$

$$N_{t,Ed} = 7,81kN \text{ (tah v kolmé diagonále)}$$

$$N_{t,Ed,max} = 19,81kN \text{ (max. tahová síla)}$$

Spojka  $N_{c,Ed} = 11,22kN$

$$N_{t,Ed} = 15,93kN$$

Pás  $N_{c,Ed} = 22,92kN$

Reakce  $R_1 = 26,99kN \text{ (1.ZS)}$

$$R_2 = 36,42kN \text{ (2.ZS)}$$

#### 4.4.3 Diagonála D1

**Tlačená diagonála není stabilizována**

$$N_{c,Ed} = 3,78kN$$

$$N_{t,Ed,max} = 5,66kN$$

$$L = \frac{8139}{\cos 17^\circ} = 8511mm \quad L_{cr} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 8511 = 8511mm$$

Návrh z podmínky mezní štíhlosti  $\lambda \leq 250$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} \Rightarrow i \leq \frac{L_{cr}}{\lambda} = \frac{8511}{250} = 34,04mm$$

**Návrh:** TR102x4,0 Ocel S355  $f_{yd} = 355MPa$

$$A = 1232mm^2$$

$$i = 34,7mm$$

$$\frac{d}{t} = \frac{102}{4} = 25,5 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \Rightarrow \text{třída 1}$$

**Posouzení:**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{8511}{34,7} = 245,27 < 250$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{245,27}{76,1} = 3,223 \Rightarrow \text{křivka b (válcované za studena)} \Rightarrow \chi = 0,087$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,087 \cdot 1232 \cdot 355 = 38,050kN$$

$$N_{c,Ed} = 3,780kN < N_{b,Rd} = 38,050kN \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} = 1232 \cdot 355 = 437,360kN$$

$$N_{t,Ed,max} = 5,66kN < N_{t,Rd} = 437,360kN \quad \Rightarrow \text{navržená TR102x4,0 vyhovuje}$$

#### 4.4.4 Diagonála D2

**Tlačená diagonála není stabilizována**

$$N_{c,Ed} = 1,77kN$$

$$L = 7324mm \quad L_{cr} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 7324 = 7324mm$$

$$\lambda \leq 250$$

$$i \leq \frac{L_{cr}}{\lambda} = \frac{7324}{250} = 29,30mm$$

**Návrh:** TR89x4,0 Ocel S355

$$A = 1068mm^2$$

$$i = 30,1mm$$

$$\frac{d}{t} = \frac{89}{4} = 22,3 \quad \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \Rightarrow \text{třída 1}$$

**Posouzení:**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{7324}{30,1} = 243,32 < 250$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{243,32}{76,1} = 3,197 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi = 0,088$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,088 \cdot 1068 \cdot 355 = 33,364kN$$

$$N_{c,Ed} = 1,770kN < N_{b,Rd} = 33,364kN \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Tlačená diagonála je stabilizována taženou**

$$N_{c,Ed} = 15,78kN$$

$$N_{t,Ed} = 7,81kN \text{ (tah v kolmé diagonále)}$$

$$N_{t,Ed,max} = 19,81kN$$

$$L = \frac{7324}{\cos 11^\circ} = 7461mm$$

$$L_{cr} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = 7461 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{7,81 \cdot 7324}{15,78 \cdot 7324}} = 5916mm$$

$$L_{cr} = 5916mm \geq \frac{L}{2} = 3730mm$$

### **Posouzení:**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5916}{30,1} = 196,54 < 250$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{196,54}{76,1} = 2,583 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi = 0,132$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,132 \cdot 1068 \cdot 355 = 50,046 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 15,780 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 50,046 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} = 1068 \cdot 355 = 379,140 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,max} = 19,810 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 379,140 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{navržená TR89x4,0 vyhovuje}$$

### **4.4.5 Spojka (svislice)**

$$N_{c,Ed} = 11,22 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 15,93 \text{ kN}$$

$$L = 6000 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 6000 = 6000 \text{ mm}$$

$$\lambda \leq 250$$

$$i \leq \frac{L_{cr}}{\lambda} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

**Návrh:** TR82,5x4,0 Ocel S355

$$A = 986 \text{ mm}^2$$

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

$$\frac{d}{t} = \frac{82,5}{4} = 20,6 \quad \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \Rightarrow \text{třída 1}$$

### **Posouzení:**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6000}{27,8} = 215,83 < 250$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{215,83}{76,1} = 2,836 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi = 0,110$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,110 \cdot 986 \cdot 355 = 38,503 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 11,220 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 38,503 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} = 986 \cdot 355 = 350,030 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 15,930 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 350,030 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{navržená TR82,5x4,0 vyhovuje}$$

#### 4.4.6 Posouzení horního pásu vazníku

Při zatížení budovy větrem vzniká vlivem působení ztužidla v horním pásu vazníku přídavná normálová síla. Tuto sílu přičtu k normálové síle v prutu vazníku a trubku horního pásu znovu posoudím.

$$N_{c,Ed} = 22,92kN$$

$$N_{Ed} = N_{Ed} + \psi_0 \cdot N_c = 509,76 + 0,6 \cdot 22,92 = 523,512kN$$

**Posouzení:** viz. 4.3.3

$$N_{b,Rd} = 531,661kN \text{ (TR140x6,3)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{523,512}{531,661} = 0,98 < 1,0$$

Využití trubky horního pásu na 98% je hraniční, vzhledem k jeho zakřivení a zanedbání ohybových momentů pro výpočet. Proto navrhuji nový, větší profil TR152x6,3.

**Nový návrh:** TR152x6,3       $A = 2884mm^2$

$$i = 51,6mm$$

$$L = 4202mm$$

$$L_{cr} = 0,9 \cdot L = 0,9 \cdot 4202 = 3782mm$$

**Posouzení:**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3782}{51,6} = 73,29$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{73,29}{76,1} = 0,963 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi = 0,621$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,621 \cdot 2884 \cdot 355 = 635,792kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{523,512}{635,792} = 0,82 < 1,0 \quad \Rightarrow \text{navržená TR152x6,3 vyhovuje}$$

## 4.5 Návrh stěnového ztužidla

### 4.5.1 Zatížení

**Síla od rámových imperfekcí**

Největší normálová síla ve sloupu  $N_{Ed} = 340,87kN$  (CO1)

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{5,7}} = 0,83 \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \quad \Rightarrow \alpha_h = 0,83$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{5}\right)} = 0,775 \quad m = 5$$

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,83 \cdot 0,775 = 3,216 \cdot 10^{-3}$$



$$H_{\Phi} = 5 \cdot N_{Ed} \cdot \Phi = 5 \cdot 340,87 \cdot 3,216 \cdot 10^{-3} = 5,481 \text{ kN}$$

### Vodorovná síla

#### 1.ZS – Podélný vítr

$$H = R_1 + H_{\Phi} = 26,99 + 5,481 = 32,471 \text{ kN}$$

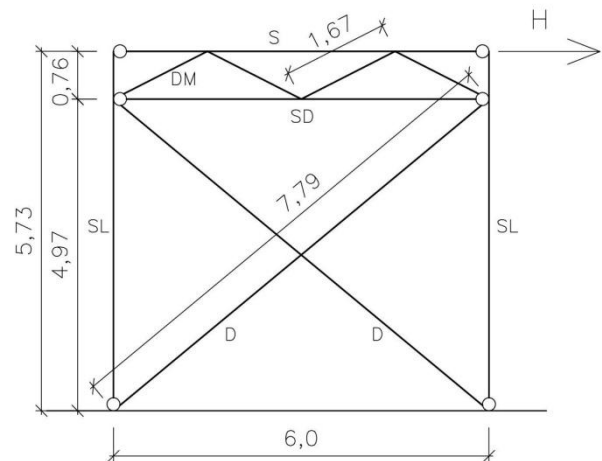
#### 2.ZS – Příčný vítr

$$H = -R_2 - H_{\Phi} = -36,42 - 5,481 = -41,901 \text{ kN}$$

### 4.5.2 Vnitřní síly

Viz. Příloha 2.14 – 2.15

Diagonála D	$N_{c,Ed} = 28,21 \text{ kN}$
	$N_{t,Ed} = 27,12 \text{ kN}$
	(tah v kolmé diagonále)
	$N_{t,Ed,max} = 27,12 \text{ kN}$
Spojka S	$N_{c,Ed} = 36,63 \text{ kN}$
	$N_{t,Ed} = 28,39 \text{ kN}$
Malá diagonála DM	$N_{c,Ed} = 9,80 \text{ kN}$
	$N_{t,Ed} = 9,77 \text{ kN}$
Dolní spojka SD	$N_{c,Ed} = 12,15 \text{ kN}$
	$N_{t,Ed} = 9,41 \text{ kN}$
Sloup SL	$N_{c,Ed} = 21,86 \text{ kN}$



### 4.5.3 Diagonála

Tlačená diagonála je stabilizována taženou

$$N_{c,Ed} = 28,21 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = N_{t,Ed,max} = 27,12 \text{ kN}$$

$$L = 7791 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = 7791 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{27,12 \cdot 7791}{28,21 \cdot 7791}} = 4115 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = 4115 \text{ mm} \geq \frac{L}{2} = 3896 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = 4115 \text{ mm}$$

$$A_{potřebná} \geq \frac{N_{c,Ed}}{\chi \cdot f_{yd}} = \frac{28,21 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 355} = 265 \text{ mm}^2$$

$$\chi = 0,3 \text{ (odhad)}$$

$$i \leq \frac{L_{cr}}{\lambda} = \frac{4115}{250} = 16,46 \text{ mm}$$

**Návrh:** TR60,3x4,0 Ocel S355  $f_{yd} = 355 \text{ MPa}$

$$A = 707 \text{ mm}^2$$

$$i = 20,0 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{60,3}{4} = 15,1 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \Rightarrow \text{třída 1}$$

**Posouzení:**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4115}{20,0} = 205,75$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{205,75}{76,1} = 2,704 \Rightarrow \text{křivka b} \Rightarrow \chi = 0,121$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,121 \cdot 707 \cdot 355 = 30,369 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 28,210 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 30,369 \text{ kN} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} = 707 \cdot 355 = 250,985 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,max} = 27,12 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 250,985 \text{ kN} \Rightarrow \text{navržená TR60,3x4,0 vyhovuje}$$

#### 4.5.4 Spojka

Viz. 4.4.5

$$N_{c,Ed} = 36,63 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed} = 28,39 \text{ kN}$$

**Návrh:** TR82,5x4

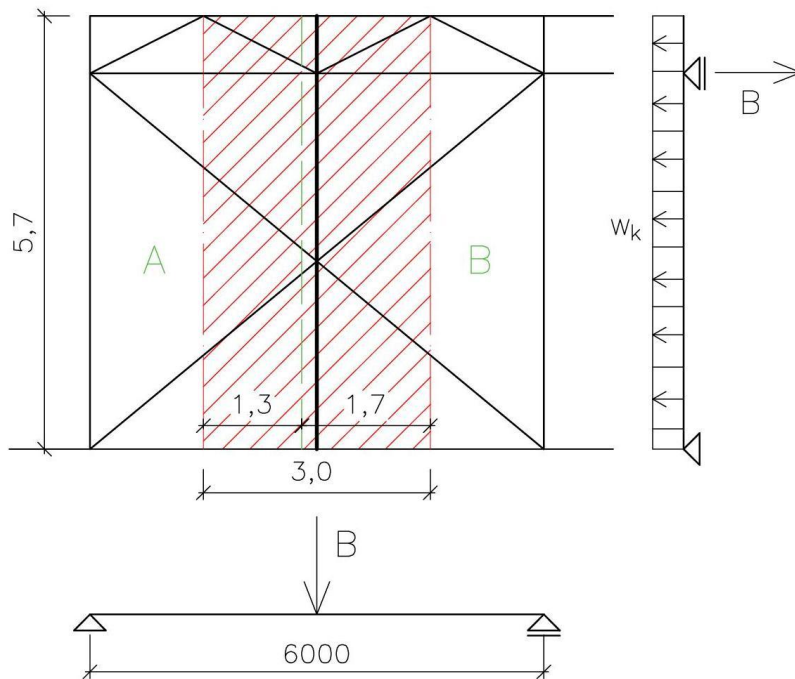
**Posouzení:**

$$N_{c,Ed} = 36,630 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 38,503 \text{ kN} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$N_{t,Ed} = 28,390 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 350,030 \text{ kN} \Rightarrow \text{navržená TR82,5x4,0 vyhovuje}$$

#### 4.5.5 Dolní spojka

Do toho profilu je v polovině rozpětí z boku opřen sloupek fasády. Profil bude navržen na kombinaci normálové síly a ohybu.



### **Vnitřní síly:**

$$N_{c,Ed} = 12,15 \text{ kN}$$

Zatížení od sání větru (příčný vítr)

$$w_k = (w_{e,A} \cdot Z\check{S} \cdot 1,0 + w_{e,B} \cdot Z\check{S} \cdot 1,0) = (0,724 \cdot 1,3 \cdot 1,0 + 0,502 \cdot 1,7 \cdot 1,0) = 1,795 \text{ kN/m}$$

Reakce B

$$B_k = \frac{1,795 \cdot 5,7 \cdot \frac{5,7}{2}}{4,97} = 5,867 \text{ kN}$$

$$B_d = B_k \cdot \gamma_Q = 5,867 \cdot 1,5 = 8,799 \text{ kN}$$

Maximální moment

$$M_{Ed} = \frac{B_d \cdot L}{4} = \frac{8,799 \cdot 6}{4} = 13,199 \text{ kNm}$$

Rozhodující je průhyb (skleněná fasáda). Potřebný moment setrvačnosti z podmínky průhybu  $L/300$ .

$$I_y = \frac{B_k \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot L/300} = \frac{5,867 \cdot 10^3 \cdot 6000^3}{48 \cdot 210000 \cdot 6000/300} = 6,286 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

**Návrh:** Profil 150x100x5      Ocel S355

$$A = 2370 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 7,39 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 55,8 \text{ mm}$$

$$i_z = 40,7 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 119 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$L = 6000 \text{ mm}$$

$$m = 18,60 \text{ kg/m}$$

Třída průřezu pro S355

Ohyb: třída 1

Tlak: třída 2

### **Posouzení MSÚ:**

$$L_{cr,y} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 6000 = 6000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 3000 = 3000 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6000}{55,8} = 107,53$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3000}{40,7} = 73,71 \quad \lambda_1 = 76,1$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{107,53}{76,1} = 1,413 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi_y = 0,378$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{73,21}{76,1} = 0,969 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi_z = 0,616$$

### **Interakce tlaku a ohybu**

Součinitel  $C_{my}$  určen pro lineární průběh momentu a soustředěné zatížení, kdy:

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{13,199} = 0 \quad \text{kde } (0 \leq \alpha_h \leq 1)$$

$$\psi = 0 \quad \text{kde } (-1 \leq \psi \leq 1)$$

$$C_{my} = 0,90 + 0,10 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,10 \cdot 0 = 0,9$$

Interakční součinitele

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

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot \left( 1 + (1,413 - 0,2) \cdot \frac{12,15 \cdot 10^3}{0,378 \cdot 841,35 \cdot 10^3 / 1,0} \right) \\ 0,9 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{12,15 \cdot 10^3}{0,378 \cdot 841,35 \cdot 10^3 / 1,0} \right) \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,94 \\ 0,93 \end{array} \right\} = 0,93$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,93 = 0,56$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2370 \cdot 355 = 841,350kN$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 119 \cdot 10^3 \cdot 355 = 42,245kNm$$

### Podmínky spolehlivosti

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

$$\frac{12,15 \cdot 10^3}{0,378 \cdot 841,35 \cdot 10^3} + 0,93 \cdot \frac{13,199 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 42,245 \cdot 10^6} \leq 1,0$$

$$0,04 + 0,29 = 0,33 < 1,0$$

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

$$\frac{12,15 \cdot 10^3}{0,616 \cdot 841,35 \cdot 10^3} + 0,56 \cdot \frac{13,199 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 42,245 \cdot 10^6} \leq 1,0$$

$$0,02 + 0,17 = 0,19 < 1,0$$

⇒ vyhovuje

### Posouzení MSP:

$$\delta_2 = \frac{F_k \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5,867 \cdot 10^3 \cdot 6000^3}{48 \cdot 210000 \cdot 7,39 \cdot 10^6} = 17,0mm < \delta_{max} = \frac{L}{300} = \frac{6000}{300} = 20mm$$

⇒ navržený profil 150x100x5,0 vyhovuje

### 4.5.6 Malá diagonála

$$N_{c,Ed} = 10,35kN$$

$$N_{t,Ed} = 10,40kN$$

$$L = 1672mm$$

$$L_{cr} = 0,75 \cdot L = 0,75 \cdot 1672 = 1254mm$$

$$i \leq \frac{L_{cr}}{\lambda} = \frac{1254}{250} = 5mm$$

Návrh: TR38x3,2 Ocel S355

$$A = 350mm^2$$

$$i = 12,4mm$$

$$\frac{d}{t} = \frac{38}{3,2} = 11,9 \quad \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \Rightarrow \text{třída 1}$$

**Posouzení:**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{1254}{12,4} = 101,13$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{101,13}{76,1} = 1,329 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi = 0,413$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,413 \cdot 350 \cdot 355 = 51,315 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 10,350 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 51,315 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} = 350 \cdot 355 = 124,250 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,max} = 10,400 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 124,250 \text{ kN} \quad \Rightarrow \underline{\text{navržená TR38x3,2 vyhovuje}}$$

**4.5.7 Posouzení sloupu**

Vlivem zatížení ztužidla větrem, vzniká ve sloupu přídavná normálová síla. Tuto sílu přičtu k dříve vypočtené normálové síle a sloup znovu posoudím.

$$N_{c,Ed} = 21,86 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed} + \psi_0 \cdot N_c = 340,87 + 0,6 \cdot 21,86 = 353,986 \text{ kN}$$

**Posouzení únosnosti pro HEB 240** (změna součinitele  $k_{yy}$ ,  $k_{yz}$  zanedbána)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{353,986 \cdot 10^3}{0,878 \cdot 2491 \cdot 10^3} + 0,944 \cdot \frac{164,45 \cdot 10^6}{0,933 \cdot 247,455 \cdot 10^6} =$$

$$0,16 + 0,67 = 0,83 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} = \frac{353,986 \cdot 10^3}{0,618 \cdot 2491 \cdot 10^3} + 0,945 \cdot \frac{164,45 \cdot 10^6}{0,933 \cdot 247,455 \cdot 10^6} =$$

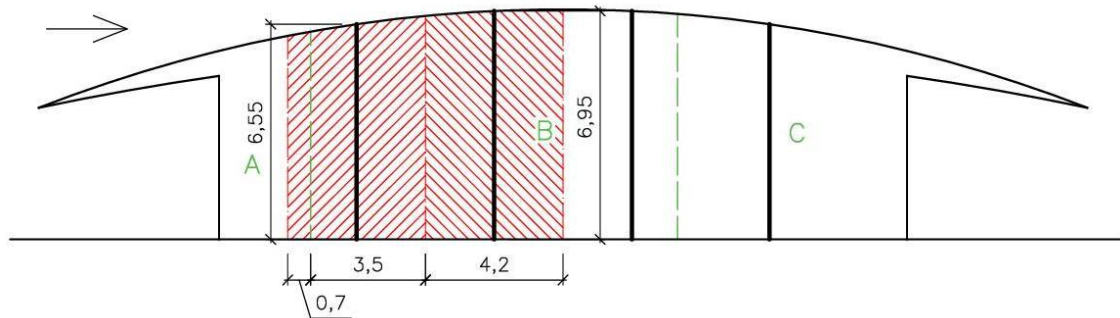
$$0,23 + 0,67 = 0,90 < 1,0$$

Využití profilu vzrostlo pouze o 1% (viz.4.2). V předcházejícím výpočtu byl profil z důvodu vodorovného průhybu ještě navýšen na **HEB 280**.

$\Rightarrow$  sloup HEB 280 tedy vyhovuje

## 4.6 Návrh sloupku čelní fasády

Uvažován nejvyšší sloupek ve středu fasády + posouzen i krajní sloupek



### Vnitřní síly:

Hmotnost skla tl. 16mm (2x8mm)  $g_{k,skla} = 0,4kN/m^2$

Odhad vlastní tíhy profilu  $g_{vl,profil} = 0,3kN/m$

$$N_{Ed} = (g_{k,skla} \cdot Z\check{S} \cdot H + g_{vl,profil} \cdot H) \cdot \gamma_G = (0,4 \cdot 4,2 \cdot 6,95 + 0,3 \cdot 6,95) \cdot 1,35 \cong 18,60kN$$

Zatížení od sání větru (příčný vítr oblast B)

$$w_k = w_{e,B} \cdot Z\check{S} \cdot 1,0 = 0,521 \cdot 4,2 \cdot 1,0 = 2,188kN/m$$

$$w_d = w_k \cdot \gamma_Q = 2,188 \cdot 1,5 = 3,282kN/m$$

Maximální moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot w_d \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 3,282 \cdot 6,95^2 = 19,816kNm$$

Rozhodující je průhyb (skleněná fasáda). Potřebný moment setrvačnosti z podmínky průhybu  $L/300$ .

$$I_y = \frac{5 \cdot w_k \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot L/300} = \frac{5 \cdot 2,188 \cdot 6950^4}{384 \cdot 210000 \cdot 6950/300} = 13,663 \cdot 10^6 mm^4$$

**Návrh:** Profil 200x100x6,3 Ocel S355

$$A = 3580mm^2$$

$$I_y = 18,3 \cdot 10^6 mm^4$$

$$i_y = 71,5mm$$

$$i_z = 41,4mm$$

$$W_{pl,y} = 228 \cdot 10^3 mm^3$$

$$L = 6950mm$$

$$m = 28,10kg/m$$

Třída průřezu pro S355

Ohyb: třída 1

Tlak: třída 2

### Posouzení MSÚ:

$$L_{cr,y} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 6950 = 6950 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 6950 = 6950 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6950}{71,5} = 97,20$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6950}{41,4} = 167,87$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{97,20}{76,1} = 1,277 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi_y = 0,439$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{167,87}{76,1} = 2,206 \quad \Rightarrow \text{křivka b} \quad \Rightarrow \chi_z = 0,176$$

### **Interakce tlaku a ohybu**

Součinitel  $C_{my}$  určen pro lineární průběh momentu a soustředěné zatížení, kdy:

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = 0 \quad \text{kde } (0 \leq \alpha_h \leq 1)$$

$$\psi = 0 \quad \text{kde } (-1 \leq \psi \leq 1)$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

Interakční součinitele

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\} =$$
$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left( 1 + (1,277 - 0,2) \cdot \frac{18,6 \cdot 10^3}{0,439 \cdot 1270,9 \cdot 10^3 / 1,0} \right) \\ 0,95 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{18,6 \cdot 10^3}{0,439 \cdot 1270,9 \cdot 10^3 / 1,0} \right) \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,98 \\ 0,97 \end{array} \right\} = 0,97$$

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

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3580 \cdot 355 = 1270,900 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 228 \cdot 10^3 \cdot 355 = 80,940 \text{ kNm}$$



### Podmínky spolehlivosti

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

$$\frac{18,6 \cdot 10^3}{\frac{0,439 \cdot 1270,9 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,97 \cdot \frac{19,816 \cdot 10^6}{\frac{1,0 \cdot 80,94 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,03 + 0,24 = 0,27 < 1,0$$

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

$$\frac{18,6 \cdot 10^3}{\frac{0,176 \cdot 1270,9 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,58 \cdot \frac{19,816 \cdot 10^6}{\frac{1,0 \cdot 80,94 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,08 + 0,14 = 0,22 < 1,0$$

⇒ vyhovuje

### Posouzení MSP:

$$\delta_2 = \frac{5 \cdot w_k \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 2,188 \cdot 6950^4}{384 \cdot 210000 \cdot 18,3 \cdot 10^6} = 17,3 \text{ mm} < \delta_{max} = \frac{L}{300} = \frac{6950}{300} = 23,2 \text{ mm}$$

⇒ vyhovuje

### Posouzení MSP pro krajní sloupek: (oblast větru A a B)

$$w_k = w_{e,A} \cdot Z\check{S} \cdot 1,0 + w_{e,B} \cdot Z\check{S} \cdot 1,0 = 0,724 \cdot 0,7 \cdot 1,0 + 0,521 \cdot 3,5 \cdot 1,0 = 2,330 \text{ kN/m}$$

$$\delta_2 = \frac{5 \cdot w_k \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 2,33 \cdot 6550^4}{384 \cdot 210000 \cdot 18,3 \cdot 10^6} = 14,5 \text{ mm} < \delta_{max} = \frac{L}{300} = \frac{6550}{300} = 21,8 \text{ mm}$$

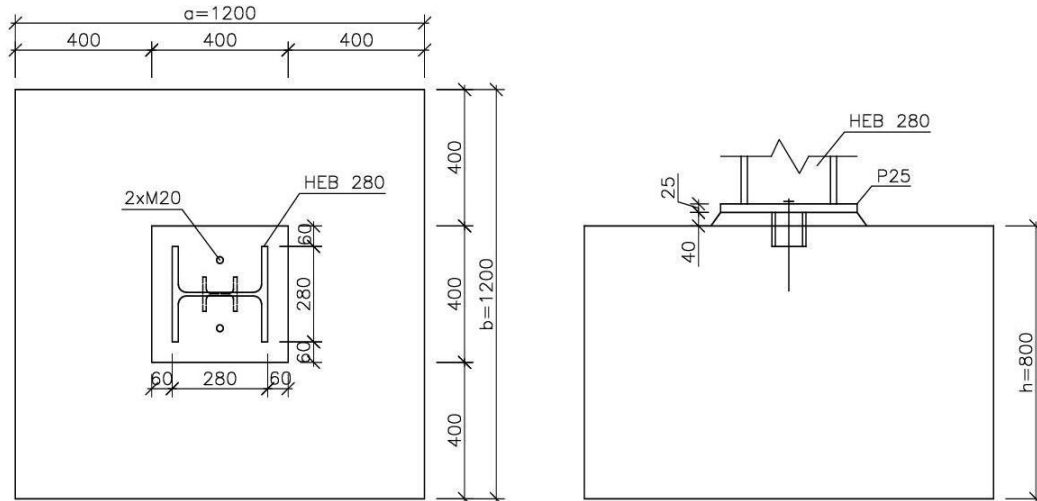
⇒ navržený profil 200x100x6,3 vyhovuje

## 4.7 Návrh patky sloupu běžné vazby

### 4.7.1 Únosnost v tlaku

$N_{Ed} = 343,14kN$  (CO1) viz. Příloha 2.16

$V_{Ed} = 24,02kN$  (CO12) viz. Příloha 2.17



Rozměry patky byly určeny pro únosnost zeminy  $R_d = 300kPa$  (odhad)

$$A_{eff} = \frac{N_{Ed} + G_0}{R_d} = \frac{343,14 + 0,1 \cdot 343,14}{300} = 1,26m^2 \quad b = \sqrt{A_{eff}} = \sqrt{1,26} = 1,12m \Rightarrow b = 1,2m$$

$$a_c = 1200mm, b_c = 1200mm, h = 800mm$$

Výška podlití 40mm, tloušťka patního plechu  $t_p = 25mm$ , beton patky C25/30

Rozměr patního plechu  $a = 400mm, b = 400mm$

$$a_1 = \min(a_c, a + h, 3 \cdot a) = \min(1200, 400 + 800, 3 \cdot 400) = 1200mm$$

$$b_1 = a_1 = 1200mm$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1200 \cdot 1200}{400 \cdot 400}} = 3$$

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{3 \cdot 25}{1,5} = 33,33MPa$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 25 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 33,33}} = 38,3mm$$

$$A_{eff} = 82049mm^2 \text{ (určeno v programu [16])}$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 82049 \cdot 33,33 \cdot 10^{-3} = 2734,693kN > N_{Ed} = 343,14kN$$

⇒ vyhovuje

#### 4.7.2 Únosnost ve smyku a ohybu

Při nejneprůzračnější kombinaci (CO12) vznikne ve sloupu tahová síla, proto bude navržena smyková zarážka.

**Návrh smykové zarážky:** HEB100 Ocel S235

$$A_{vz} = 901 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 104,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

třída 1

#### Posouzení:

$$h > \frac{V_{Ed}}{b \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{24,02 \cdot 10^3}{100 \frac{25}{1,5}} = 14,4 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{návrh } h = 60 \text{ mm}$$

Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{901 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 122,245 \text{ kN} > V_{Ed} = 24,02 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Rd} = 0,5 \cdot 122,245 = 61,123 \text{ kN} > V_{Ed} = 24,02 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{malý smyk}$$

Ohyb

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 104,2 \cdot 10^3 \cdot 235 = 24,487 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 24,02 \cdot 10^3 \cdot \left(40 + \frac{60}{2}\right) = 1,681 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 24,487 \text{ kNm}$$

$\Rightarrow$  zarážka HEB100 vyhovuje

#### 4.7.3 Svarový přípoj zarážky

Tloušťka svaru  $a = 5 \text{ mm}$

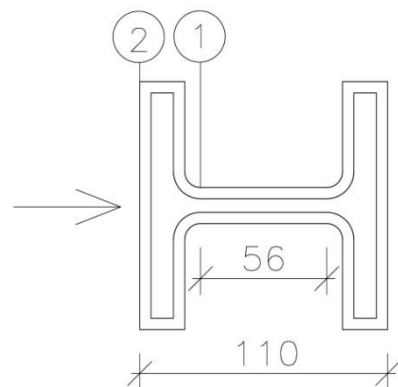
Moment setrvačnosti svarového obrazce

$$I_w = 3,036 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Posouzení v bodě 1

$$\tau_{ll} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_w} = \frac{24,02 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 56} = 42,893 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot e}{z_1 \cdot I_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{24,02 \cdot 10^3 \cdot \left(40 + \frac{60}{2}\right)}{\frac{56}{2} \cdot \frac{3,036 \cdot 10^6}{56}} = 10,965 \text{ MPa}$$



$$\beta_w = 0,8 \text{ (S235)}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{10,965^2 + 3 \cdot (10,965^2 + 42,893^2)} = 77,462 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = 77,462 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 10,965 \text{MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{MPa}$$

Posouzení v bodě 2

$$\tau_{ll} = 0 \text{MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{24,02 \cdot 10^3 \cdot \left(40 + \frac{60}{2}\right)}{\frac{3,036 \cdot 10^6}{\frac{110}{2}}} = 21,539 \text{MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{21,539^2 + 3 \cdot (21,539^2 + 0^2)} = 43,078 \text{MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = 43,078 \text{MPa} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 21,539 \text{MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{MPa}$$

⇒ svar zarážky vyhovuje

#### 4.7.4 Posouzení smykové zarážky ztužidlového sloupu

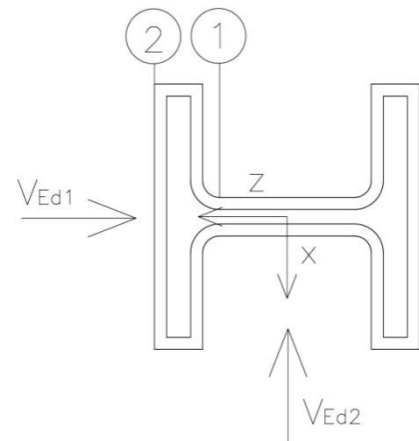
$V_{Ed1} = 27,46 \text{kN}$  (síla z rámové vazby CO4)

$V_{Ed2} = 21,80 \text{kN}$  (síla od ztužidla)

Profil HEB 100  $A_{vy} = 2 \cdot 10 \cdot 100 = 2000 \text{mm}^2$

(plocha pásnic)

$W_{pl,z} = 51,4 \cdot 10^3 \text{mm}^3$



#### Únosnost ve smyku a ohybu

Smyk

$$V_{Rd1} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{901 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 122,245 \text{kN} > V_{Ed1} = 27,46 \text{kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Rd1} = 0,5 \cdot 122,245 = 61,123 \text{kN} > V_{Ed1} = 27,46 \text{kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

$$V_{Rd2} = \frac{A_{vy} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2000 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 271,355 \text{kN} > V_{Ed2} = 21,80 \text{kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Rd2} = 0,5 \cdot 271,355 = 135,677 \text{kN} > V_{Ed2} = 21,80 \text{kN} \Rightarrow \text{malý smyk}$$

Ohyb

$$M_{pl,Rd1} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 104,2 \cdot 10^3 \cdot 235 = 24,487 \text{kNm}$$

$$M_{Ed1} = V_{Ed1} \cdot e = 27,46 \cdot 10^3 \cdot \left(40 + \frac{60}{2}\right) = 1,922 \text{kNm} < M_{pl,Rd1} = 24,487 \text{kNm}$$

$$M_{pl,Rd2} = W_{pl,z} \cdot f_{yd} = 51,4 \cdot 10^3 \cdot 235 = 12,079kNm$$

$$M_{Ed2} = V_{Ed2} \cdot e = 21,8 \cdot 10^3 \cdot \left(40 + \frac{60}{2}\right) = 1,526kNm < M_{pl,Rd2} = 12,079kNm$$

$$\left(\frac{M_{Ed1}}{M_{pl,Rd1}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed2}}{M_{pl,Rd2}}\right)^\beta \leq 1,0 \quad \alpha = 1,0 ; \beta = 1,0 \text{ (konzervativně)}$$

$$\left(\frac{1,922}{24,487}\right)^1 + \left(\frac{1,526}{12,079}\right)^1 \leq 1,0$$

$$0,2 \leq 1,0$$

⇒ zarážka HEB100 vyhovuje

### **Svarový přípoj zarážky**

#### **a) Ve směru z**

$$I_{w1} = 3,036 \cdot 10^6 mm^4$$

Posouzení v bodě 1

$$\tau_{ll} = \frac{V_{Ed1}}{2 \cdot a \cdot l_w} = \frac{27,46 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 56} = 49,036MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed1} \cdot e}{\frac{I_{w1}}{z_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{27,46 \cdot 10^3 \cdot \left(40 + \frac{60}{2}\right)}{\frac{3,036 \cdot 10^6}{\frac{56}{2}}} = 17,728MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{17,728^2 + 3 \cdot (17,728^2 + 49,036^2)} = 92,036MPa \leq 360MPa$$

$$\sigma_{\perp} = 17,728MPa \leq 259,2MPa$$

Posouzení v bodě 2

$$\tau_{ll} = 0MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed1} \cdot e}{\frac{I_{w1}}{z_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{27,46 \cdot 10^3 \cdot \left(40 + \frac{60}{2}\right)}{\frac{3,036 \cdot 10^6}{\frac{110}{2}}} = 34,822MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{34,822^2 + 3 \cdot (34,822^2 + 0^2)} = 69,644MPa \leq 360MPa$$

$$\sigma = 34,822MPa \leq 259,2MPa$$

⇒ vyhovuje

#### **b) Ve směru x**

$$I_{w2} = 1,669 \cdot 10^6 mm^4$$

Posouzení v bodě 2

$$\tau_{ll} = \frac{V_{Ed2}}{4 \cdot a \cdot d} = \frac{21,8 \cdot 10^3}{4 \cdot 5 \cdot 100} = 10,900MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed2} \cdot e}{I_{w2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{21,8 \cdot 10^3 \cdot \left(40 + \frac{60}{2}\right)}{\frac{1,669 \cdot 10^6}{\frac{110}{2}}} = 35,559 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{35,559^2 + 3 \cdot (35,559^2 + 10,900^2)} = 73,581 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 35,559 \text{ MPa} \leq 259,2 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

### c) Vzájemné působení

V bodě 2

$$\sqrt{(\sigma_{\perp z} + \sigma_{\perp x})^2 + 3 \cdot [(\tau_{\perp z} + \tau_{\perp x})^2 + \tau_{ll}^2]} =$$

$$= \sqrt{(34,822 + 35,559)^2 + 3 \cdot [(34,822 + 35,559)^2 + 10,900^2]} = 142,141 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp x} + \sigma_{\perp z} = 34,822 + 35,559 = 70,441 \text{ MPa} \leq 259,2 \text{ MPa}$$

$\Rightarrow$  svar zarážky vyhovuje

### 4.7.5 Návrh kotvení

Navržená lepená kotva 2xM20 – ocel S235 , hloubka kotvení 250mm (min.190mm)

Návrhová únosnost kotvy  $F_{Rd,t} = 53,98 \text{ kN}$  viz. Příloha 3

Max. tahová síla  $N_{Ed,t} = 15,52 \text{ (CO13)} + 39,86 \text{ (reakce od ztužidla 2. ZS)} = 55,38 \text{ kN}$

viz. Příloha 2.18

$$N_{Ed,t} = 55,38 \text{ kN} < F_{Rd,t} = 2 \cdot 53,98 = 107,96 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{kotva 2xM20 vyhovuje}$$

### 4.7.6 Posouzení tahu v základové spáře

Byla uvažována nejnepriznivější kombinace (CO13) se součinitelem stálého zatížení  $\gamma_G = 0,9$

$N_{Ed,t} = 20,04 \text{ (CO13)} + 39,86 \text{ (reakce od ztužidla 2. ZS)} = 59,9 \text{ kN}$  viz. Příloha 2.19

Tíha základové patky  $F_{pat} = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 25 = 28,8 \text{ kN}$

$N_{Ed,t} = 59,9 \text{ kN} > F_{pat} = 28,8 \text{ kN} \Rightarrow$  nevyhovuje  $\Rightarrow$  možným řešením by bylo zvětšit rozměry patky. Tento postup je pouze informativní, neboť základové poměry nebyly součástí zadání.

Patka o rozměrech 1,6 x 1,6 x 1,2m

$$F_{pat} = 1,6 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 25 = 76,8 \text{ kN}$$

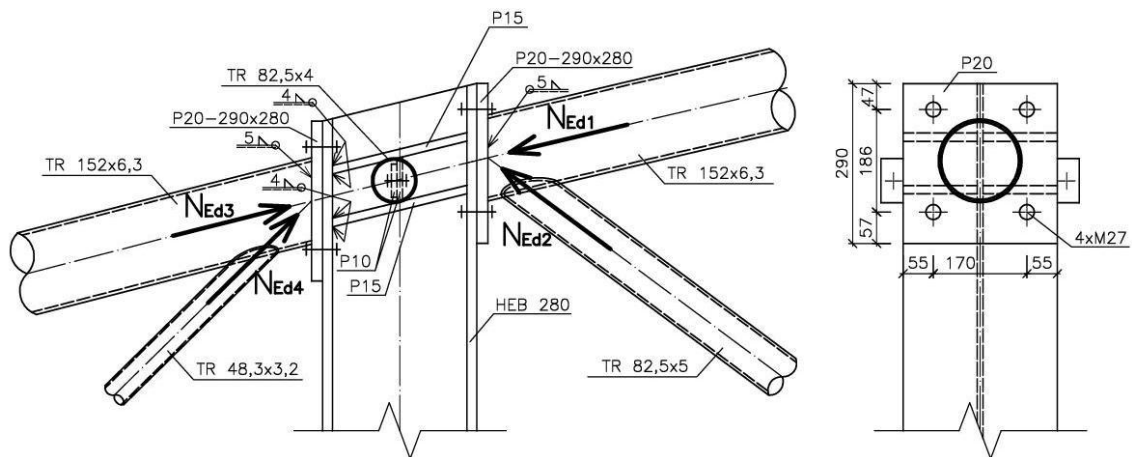
$$N_{Ed,t} = 59,9 \text{ kN} < F_{pat} = 76,8 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

## 4.8 Detail připojení vazníku ke sloupu

### 4.8.1 Vnitřní síly horní přípoj

Osově síly v prutech – viz. Příloha 2.20 – 2.24

Prut	Tlak $N_{Ed,c}$	Tah $N_{Ed,t}$
	[kN]	[kN]
1	77,92 (CO13)	238,65 (CO1)
2	42,05 (CO13)	375,67 (CO1)
3	26,41 (CO14)	335,30 (CO1)
4	1,60 (CO14)	109,56 (CO1)



Síly v přípoji

				[kN]	
1 - 2	Tlak	Vodorovný	$77,92 \cdot \cos 12^\circ + 42,05 \cdot \cos 36^\circ$	110,24	
		Svislý	$77,92 \cdot \sin 12^\circ - 42,05 \cdot \sin 36^\circ$	8,52	
	Tah	Vodorovný	$238,65 \cdot \cos 12^\circ + 375,67 \cdot \cos 36^\circ$	537,36	
		Svislý	$-238,65 \cdot \sin 12^\circ + 375,67 \cdot \sin 36^\circ$	171,20	
				Tlak max.	<b>110,24</b>
				Tah max.	<b>537,36</b>
				Smyk max.	<b>171,20</b>
3 - 4	Tlak	Vodorovný	$26,41 \cdot \cos 15^\circ + 1,06 \cdot \cos 44^\circ$	26,66	
		Svislý	$26,41 \cdot \sin 15^\circ + 1,06 \cdot \sin 44^\circ$	7,95	
	Tah	Vodorovný	$335,30 \cdot \cos 15^\circ + 109,56 \cdot \cos 44^\circ$	402,69	
		Svislý	$335,30 \cdot \sin 15^\circ + 109,56 \cdot \sin 44^\circ$	162,89	
				Tlak max.	<b>26,66</b>
				Tah max.	<b>402,69</b>
				Smyk max.	<b>162,89</b>

### 4.8.2 Horní přípoj pravý

#### Šrouby

Šrouby 8.8  $f_{ub} = 800\text{MPa}$   $f_{yb} = 640\text{MPa}$   $f_u = 360\text{MPa}$

**Návrh:** 4xM27 8.8  $A_s = 459\text{mm}^2$

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

$$d_0 = 30\text{mm}$$

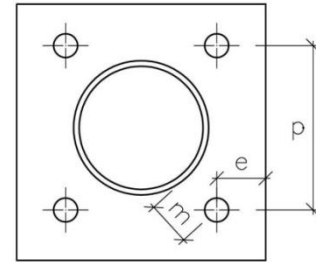
**Posouzení:**

**Únosnost šroubů v tahu**

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 459 \cdot 800}{1,25} = 264,384\text{kN}$$

Únosnost pásnice náhradního T profilu

$$m = 50\text{mm}, e_1 = e = 55\text{mm}, p = 186\text{mm}$$



Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = \min(2\pi m; \pi m + 2e_1) = \min(2\pi \cdot 50; \pi \cdot 50 + 2 \cdot 55) = \\ = \min(314,16; 272,79) = 272,79\text{mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = \min(4m + 1,25e; 2m + 0,625e + e_1; p) = \\ = \min(4 \cdot 50 + 1,25 \cdot 55; 2 \cdot 50 + 0,625 \cdot 55 + 55; 186) = \min(268,75; 189,38; 186) = \\ = 186\text{mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 186\text{mm} \quad l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 186\text{mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 186 \cdot 18^2 \cdot 235}{1,0} = 3,540 \cdot 10^6\text{Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 186 \cdot 18^2 \cdot 235}{1,0} = 3,540 \cdot 10^6\text{Nmm}$$

1.způsob

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 3,540 \cdot 10^6}{50} = 283,200\text{kN}$$

2.způsob

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 3,540 \cdot 10^6 + 55 \cdot 2 \cdot 264,384 \cdot 10^3}{50 + 55} = 344,402\text{kN}$$



3.způsob

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot 264,384 = 528,768kN$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(283,200; 344,402; 528,768) = 283,200kN$$

$$F_{t,Ed} = 537,36kN < 2 \cdot F_{T,Rd} = 2 \cdot 283,200 = 566,400kN \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Únosnost ve stříhu**

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub} \cdot n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 459 \cdot 800 \cdot 1,0}{1,25} = 176,256kN$$

**Únosnost v otláčení**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,55 \cdot 360 \cdot 27 \cdot 18}{1,25} = 192,456kN$$

$$t = \min(t_f, t_d) = \min(18, 20) = 18mm$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{50}{3 \cdot 30}; \frac{800}{360}; 1,0\right) = \min(0,55; 2,22; 1,0) = 0,55$$

$$k_1 = \min\left(2,5; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right) = \min\left(2,5; 2,8 \frac{55}{30} - 1,7\right) = 2,5$$

$$V_{Rd} = 4 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 4 \cdot \min(176,256; 192,456) = 4 \cdot 176,256 = 705,024kN$$

$$V_{Ed} = 171,20kN < V_{Rd} = 705,024kN \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Kombinace stříhu a tahu**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{171,20}{705,024} + \frac{537,36}{1,4 \cdot 566,400} \leq 1,0$$

$$0,24 + 0,68 = 0,92 \leq 1,0$$

$\Rightarrow$  šrouby 4xM27 vyhovují

**Svar trubky pásu k čelní desce**

Svar má tvar elipsy o délce hlavní osy  $c = 156mm$  a vedlejší osy  $d = 152mm$ , svar 5mm

$$\text{Délka elipsy } l \approx \pi \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot (c + d) - \sqrt{\frac{c \cdot d}{2}}\right) = \pi \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot (156 + 152) - \frac{1}{2} \sqrt{156 \cdot 152}\right) = 484mm$$

$$c = \frac{d}{\cos 12^\circ} = \frac{152}{\cos 12^\circ} = 156mm$$

$$\tau_{ll} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_w} = \frac{171,20 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 152} = 112,632MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed,t}}{a \cdot l} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{537,36 \cdot 10^3}{5 \cdot 484} = 157,013MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{157,013^2 + 3 \cdot (157,013^2 + 112,632^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = 369,689 \text{MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 157,013 \text{MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{MPa} \quad \Rightarrow \text{svar vyhovuje}$$

### 4.8.3 Horní přípoj levý

#### Šrouby

**Návrh:** 4xM27 8.8

**Posouzení:** viz předcházející

#### Únosnost v tahu

$$F_{t,Ed} = 402,690 \text{kN} < 2 \cdot F_{T,Rd} = 566,400 \text{kN} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### Únosnost ve střihu

$$V_{Ed} = 162,890 \text{kN} < V_{Rd} = 705,024 \text{kN} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### Kombinace střihu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{162,89}{705,024} + \frac{402,69}{1,4 \cdot 566,400} \leq 1,0$$

$$0,23 + 0,51 = 0,74 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{šrouby 4xM27 vyhovují}$$

#### Svar trubky pásu k čelní desce

Svar 5mm

$$\tau_{ll} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_w} = \frac{162,89 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 152} = 107,165 \text{MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed,t}}{a \cdot l} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{402,69 \cdot 10^3}{5 \cdot 484} = 117,663 \text{MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{117,663^2 + 3 \cdot (117,663^2 + 107,165^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = 299,719 \text{MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 117,663 \text{MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{MPa} \quad \Rightarrow \text{svar vyhovuje}$$

#### 4.8.4 Přípoj horní spojky

$$N_{Ed} = 36,63kN$$

##### Šrouby

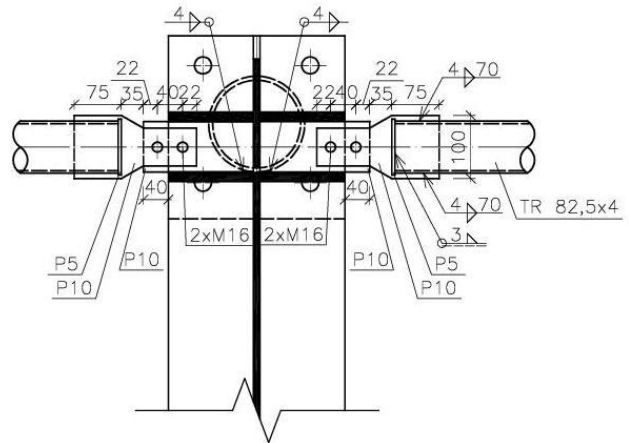
**Návrh:** 2xM16 8.8  $A_s = 157mm^2$

$$d = 16mm$$

$$d_0 = 18mm$$

$$e_1 = 22mm$$

$$e_2 = 30mm$$



##### Posouzení:

##### Únosnost ve stříhu

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

##### Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,41 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 10}{1,25} = 64,288kN$$

$$t = 10mm$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{22}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = \min(0,41; 1,63; 1,0) = 0,41$$

$$k_1 = \min\left(2,5; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right) = \min\left(2,5; 2,8 \frac{30}{18} - 1,7\right) = 2,5$$

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(60,288; 64,288) = 2 \cdot 60,288 = 120,576kN$$

$$V_{Ed} = 36,63kN < V_{Rd} = 120,576kN$$

⇒ šrouby 2xM16 vyhovují

##### Svar přípojného plechu a trubky

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,5MPa$$

$$F_{w,Rd} = 4 \cdot a \cdot L_w \cdot f_{vw,d} = 4 \cdot 4 \cdot 70 \cdot 251,5 = 281,680kN$$

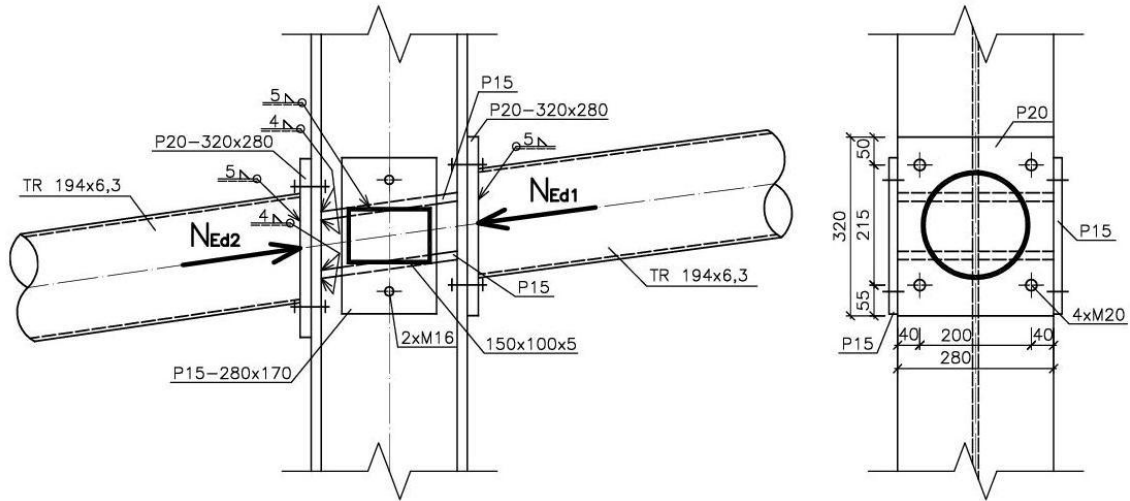
$$F_{t,Ed} = 68,230kN < F_{w,Rd} = 281,680kN$$

⇒ svar vyhovuje

#### 4.8.5 Vnitřní síly dolní přípoj

Osově síly v prutech – viz. Příloha 2.20 – 2.24

Prut	Tlak $N_{Ed,c}$	Tah $N_{Ed,t}$
	[kN]	[kN]
1	605,31 (CO1)	123,46 (CO13)
2	407,04 (CO1)	31,86 (CO14)



Síly v přípoji

			[kN]	
1	Tlak	Vodorovný	$605,31 \cdot \cos 7^\circ$	600,80
		Svislý	$605,31 \cdot \sin 7^\circ$	73,77
	Tah	Vodorovný	$123,46 \cdot \cos 7^\circ$	122,54
		Svislý	$123,46 \cdot \sin 7^\circ$	15,05
	Tlak max.			<b>600,80</b>
	Tah max.			<b>122,54</b>
	Smyk max.			<b>73,77</b>
2	Tlak	Vodorovný	$407,04 \cdot \cos 8^\circ$	403,08
		Svislý	$407,04 \cdot \sin 8^\circ$	56,65
	Tah	Vodorovný	$31,86 \cdot \cos 8^\circ$	31,55
		Svislý	$31,86 \cdot \sin 8^\circ$	4,43
	Tlak max.			<b>403,08</b>
	Tah max.			<b>31,55</b>
	Smyk max.			<b>56,65</b>

#### 4.8.6 Dolní přípoj pravý

Šrouby

Šrouby 8.8  $f_{ub} = 800MPa$   $f_{yb} = 640MPa$   $f_u = 360MPa$

**Návrh:** 4xM20 8.8  $A_s = 245\text{mm}^2$

$$d = 20\text{mm}$$

$$d_0 = 22\text{mm}$$

**Posouzení:**

**Únosnost šroubů v tahu**

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 800}{1,25} = 141,120\text{kN}$$

Únosnost pásnice náhradního T profilu

$$m = 50\text{mm}, e_1 = e = 40\text{mm}, p = 215\text{mm}$$

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = \min(2\pi m; \pi m + 2e_1) = \min(2\pi \cdot 50; \pi \cdot 50 + 2 \cdot 40) = \\ = \min(251,33; 205,664) = 205,664\text{mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = \min(4m + 1,25e; 2m + 0,625e + e_1; p) = \\ = \min(4 \cdot 50 + 1,25 \cdot 40; 2 \cdot 50 + 0,625 \cdot 40 + 40; 215) = \min(250; 165; 215) = 165\text{mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 165\text{mm} \quad l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 165\text{mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 165 \cdot 18^2 \cdot 235}{1,0} = 3,141 \cdot 10^6\text{Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 165 \cdot 18^2 \cdot 235}{1,0} = 3,141 \cdot 10^6\text{Nmm}$$

1.způsob

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 3,141 \cdot 10^6}{50} = 251,280\text{kN}$$

2.způsob

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 3,141 \cdot 10^6 + 40 \cdot 2 \cdot 141,120 \cdot 10^3}{50 + 40} = 195,240\text{kN}$$

3.způsob

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot 141,120 = 282,240\text{kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(251,280; 195,240; 282,240) = 195,240\text{kN}$$

$$F_{t,Ed} = 122,54kN < 2 \cdot F_{T,Rd} = 2 \cdot 195,240 = 390,480kN \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Únosnost ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub} \cdot n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 245 \cdot 800 \cdot 1,0}{1,25} = 94,080kN$$

### Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,76 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 18}{1,25} = 196,992kN$$

$$t = \min(t_f, t_d) = \min(18, 20) = 18mm$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{50}{3 \cdot 22}; \frac{800}{360}; 1,0\right) = \min(0,76; 2,22; 1,0) = 0,76$$

$$k_1 = \min\left(2,5; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right) = \min\left(2,5; 2,8 \frac{40}{22} - 1,7\right) = 2,5$$

$$V_{Rd} = 4 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 4 \cdot \min(94,080; 196,992) = 4 \cdot 94,080 = 376,320kN$$

$$V_{Ed} = 73,77kN < V_{Rd} = 376,320kN \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Kombinace střihu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{73,77}{376,32} + \frac{122,54}{1,4 \cdot 390,48} \leq 1,0$$

$$0,20 + 0,22 = 0,42 \leq 1,0$$

$\Rightarrow$  šrouby 4xM20 vyhovují

### Svar trubky pásu k čelní desce

Svar 5mm

$$\text{Délka } l = \pi \cdot d = \pi \cdot 194 = 609mm$$

$$\tau_{ll} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_w} = \frac{73,77 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 194} = 38,026MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed,t}}{a \cdot l} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{122,54 \cdot 10^3}{5 \cdot 609} = 28,456MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{28,456^2 + 3 \cdot (28,456^2 + 38,026^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = 87,045MPa \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6MPa$$

$$\sigma_{\perp} = 28,456MPa \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8MPa \quad \Rightarrow \text{svar vyhovuje}$$

#### 4.8.7 Dolní přípoj levý

##### Šrouby

Návrh: 4xM20 8.8

Posouzení: viz předcházející

##### Únosnost v tahu

$$F_{t,Ed} = 31,550kN < 2 \cdot F_{T,Rd} = 390,480kN \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

##### Únosnost ve stříhu

$$V_{Ed} = 56,650kN < V_{Rd} = 376,320kN \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

##### Kombinace stříhu a tahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{56,65}{376,32} + \frac{31,55}{1,4 \cdot 390,48} \leq 1,0$$

$$0,15 + 0,06 = 0,21 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{šrouby 4xM20 vyhovují}$$

##### Svar trubky pásu k čelní desce

$$\tau_{ll} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_w} = \frac{56,65 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 194} = 29,201MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed,t}}{a \cdot l} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{31,55 \cdot 10^3}{5 \cdot 609} = 7,327MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{7,327^2 + 3 \cdot (7,327^2 + 29,201^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = 52,658MPa \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6MPa$$

$$\sigma_{\perp} = 7,327MPa \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8MPa \quad \Rightarrow \text{svar vyhovuje}$$

#### 4.8.8 Přípoj dolní spojky

$$N_{t,Ed} = 9,41kN$$

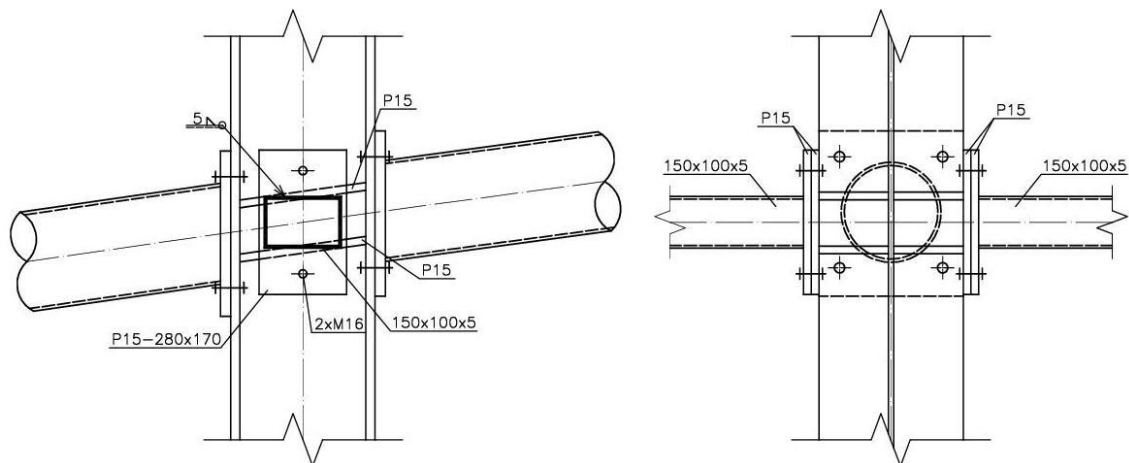
##### Šrouby

$$\text{Šrouby 8.8} \quad f_{ub} = 800MPa \quad f_{yb} = 640MPa \quad f_u = 490MPa$$

Návrh: 2xM16 8.8  $A_s = 157mm^2$

$$d = 16mm$$

$$d_0 = 18mm$$



### Posouzení:

#### Únosnost šroubů v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 90,432 \text{ kN}$$

Únosnost T profilu

$$m = 50 \text{ mm}, e_1 = e = 40 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,2} = 170 \text{ mm (celá šířka desky)}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 170 \cdot 15^2 \cdot 355}{1,0} = 3,395 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 170 \cdot 15^2 \cdot 355}{1,0} = 3,395 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

1.způsob

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 3,395 \cdot 10^6}{50} = 271,600 \text{ kN}$$

2.způsob

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 3,395 \cdot 10^6 + 40 \cdot 2 \cdot 90,432 \cdot 10^3}{50 + 40} = 155,828 \text{ kN}$$

3.způsob

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot 90,432 = 180,864 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(271,600; 155,828; 180,864) = 155,828 \text{ kN}$$

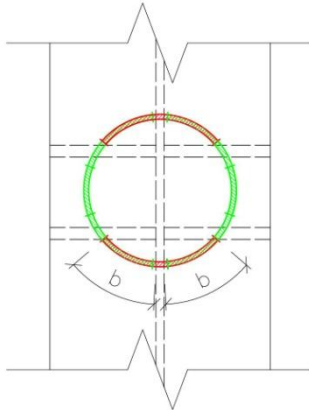
$$F_{t,Ed} = 9,41 \text{ kN} < F_{T,Rd} = 155,828 \text{ kN} \Rightarrow \underline{\text{šrouby 4xM16 vyhovují}}$$



#### 4.8.9 Výztuhy mezi pásnice sloupu

Pro trubky dolního i horního pasu byla stanovena roznášecí šířka  $b$  a graficky jsem ověřil, že se tlaková síla z trubky roznese do pásnice sloupu a vložených výztuh přes celou plochu trubky.

$$b = 15 \cdot \varepsilon \cdot t = 15 \cdot 0,81 \cdot 6,3 = 76,5\text{mm}$$

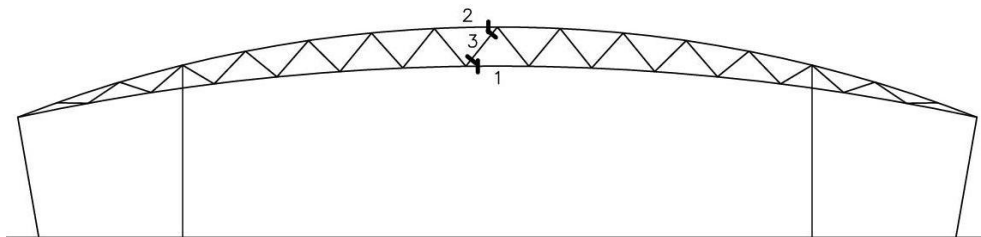


### 4.9 Montážní spoje vazníku

#### 4.9.1 Vnitřní síly

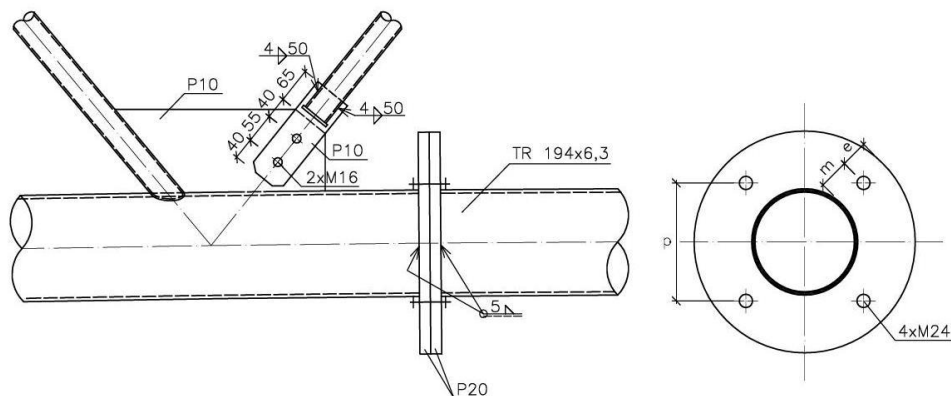
Viz. Přílohy 2.20 – 2.24

Prut	Tlak $N_{Ed,c}$ [kN]	Tah $N_{Ed,t}$ [kN]
1	52,65 (CO13)	513,24 (CO1)
2	530,87 (CO1)	68,23 (CO14)
3	11,66 (CO4)	22,29 (CO6)



#### 4.9.2 Dolní pás

Styk bude proveden pomocí kruhových čelních desek se čtyřmi šrouby.



## Šrouby

Šrouby 8.8  $f_{ub} = 800\text{MPa}$   $f_{yb} = 640\text{MPa}$   $f_u = 490\text{MPa}$

**Návrh:** 4xM24 8.8  $A_s = 353\text{mm}^2$

$$d = 24\text{mm}$$

$$d_0 = 26\text{mm}$$

## Posouzení:

### Únosnost šroubů v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} = 203,328\text{kN}$$

Únosnost náhradního T profilu

$$m = 55\text{mm}, e_1 = e = 50\text{mm}, p = 215\text{mm}$$

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = \min(2\pi m; \pi m + 2e_1) = \min(2\pi \cdot 55; \pi \cdot 55 + 2 \cdot 50) = \\ = \min(345,58; 272,79) = 272,79\text{mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = \min(4m + 1,25e; 2m + 0,625e + e_1; p) = \\ = \min(4 \cdot 55 + 1,25 \cdot 50; 2 \cdot 55 + 0,625 \cdot 50 + 50; 215) = \min(282,5; 191,25; 215) = \\ = 191,25\text{mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 191,25\text{mm} \quad l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 191,25\text{mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 191,25 \cdot 20^2 \cdot 355}{1,0} = 6,789 \cdot 10^6\text{Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 191,25 \cdot 20^2 \cdot 355}{1,0} = 6,789 \cdot 10^6\text{Nmm}$$

1.způsob

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 6,789 \cdot 10^6}{55} = 493,745\text{kN}$$

2.způsob

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 6,789 \cdot 10^6 + 50 \cdot 2 \cdot 203,328 \cdot 10^3}{55 + 50} = 322,960\text{kN}$$

3.způsob

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,328 = 406,656kN$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(493,745; 322,960; 406,656) = 322,960kN$$

$$F_{t,Ed} = 513,24kN < 2 \cdot F_{T,Rd} = 2 \cdot 322,960 = 645,920kN \quad \Rightarrow \text{šrouby 4xM24 vyhovují}$$

### **Svar trubky pásu k čelní desce**

Svar 5mm, délka  $l = 609mm$

$$\tau_{ll} = 0MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed,t}}{a \cdot l} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{513,24 \cdot 10^3}{5 \cdot 609} = 119,184MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{119,184^2 + 3 \cdot (119,184^2 + 0^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = 238,368MPa \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6MPa$$

$$\sigma_{\perp} = 119,184MPa \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8MPa \quad \Rightarrow \text{svar vyhovuje}$$

### **4.9.3 Horní pas**

Styk bude proveden pomocí kruhových čelních desek se čtyřmi šrouby.

#### **Šrouby**

$$\text{Šrouby 8.8} \quad f_{ub} = 800MPa \quad f_{yb} = 640MPa \quad f_u = 490MPa$$

$$\text{Návrh: 4xM12 8.8} \quad A_s = 84,3mm^2$$

$$d = 12mm$$

$$d_0 = 13mm$$

#### **Posouzení:**

#### **Únosnost šroubů v tahu**

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 84,3 \cdot 800}{1,25} = 48,556kN$$

Únosnost náhradního T profilu

$$m = 30mm, e_1 = e = 25mm, p = 150mm$$

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = \min(2\pi m; \pi m + 2e_1) = \min(2\pi \cdot 30; \pi \cdot 30 + 2 \cdot 25) =$$

$$= \min(188,5; 144,25) = 144,25mm$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = \min(4m + 1,25e; 2m + 0,625e + e_1; p) = \\ = \min(4 \cdot 30 + 1,25 \cdot 25; 2 \cdot 30 + 0,625 \cdot 25 + 25; 150) = \min(151,25; 100,63; 150) = \\ = 100,63mm$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 100,63mm \quad l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 100,63mm$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 100,63 \cdot 20^2 \cdot 355}{1,0} = 3,572 \cdot 10^6 Nmm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 100,63 \cdot 20^2 \cdot 355}{1,0} = 3,572 \cdot 10^6 Nmm$$

1.způsob

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 3,572 \cdot 10^6}{30} = 476,267kN$$

2.způsob

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 3,572 \cdot 10^6 + 25 \cdot 2 \cdot 48,556 \cdot 10^3}{30 + 25} = 174,032kN$$

3.způsob

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot 48,556 = 97,112kN$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(476,267; 174,032; 97,112) = 97,112kN$$

$$F_{t,Ed} = 68,230kN < 2 \cdot F_{T,Rd} = 2 \cdot 97,112 = 194,224kN \quad \Rightarrow \text{šrouby 4xM12 vyhovují}$$

**Svar trubky pásu k čelní desce**

$$\text{Svar 5mm, délka } l = \pi \cdot d = \pi \cdot 152 = 477mm$$

$$\tau_{ll} = 0MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed,t}}{a \cdot l} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{68,23 \cdot 10^3}{5 \cdot 477} = 20,229MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = \sqrt{20,229^2 + 3 \cdot (20,229^2 + 0^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{ll}^2)} = 40,458MPa \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6MPa$$

$$\sigma_{\perp} = 20,229MPa \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8MPa \quad \Rightarrow \text{svar vyhovuje}$$

#### 4.9.4 Diagonála

Diagonála je řešena jako vložený prut, na obou koncích připevněný přes styčnickové plechy pomocí dvou šroubů. Viz obrázek v kap. 4.9.2.

##### Šrouby

$$\text{Návrh: } 2 \times M16 \text{ 8.8} \quad A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_2 = 35 \text{ mm}$$

##### Únosnost ve stříhu

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

##### Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 10}{1,25} = 116,032 \text{ kN}$$

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

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = \min(0,74; 1,63; 1,0) = 0,74$$

$$k_1 = \min\left(2,5; 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right) = \min\left(2,5; 2,8 \frac{35}{18} - 1,7\right) = 2,5$$

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(60,288; 116,032) = 2 \cdot 60,288 = 120,576 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 22,29 \text{ kN} < V_{Rd} = 120,576 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{šrouby } 2 \times M16 \text{ vyhovují}$$

##### Svar přípojného plechu a trubky

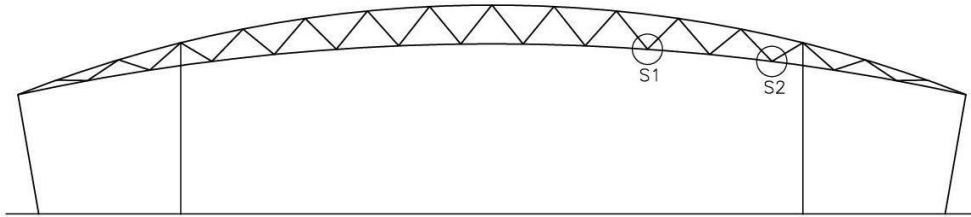
$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,5 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot L_w \cdot f_{vw,d} = 2 \cdot 4 \cdot 50 \cdot 251,5 = 120,720 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 22,29 \text{ kN} < F_{w,Rd} = 120,720 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{svar vyhovuje}$$

## 4.10 Lokální únosnost styčnicků

Pro posouzení byly vybrány 2 nejvíce namáhané styčníky. Diagonály D5+D6 a D9+D10.



### 4.10.1 Styčník 1

$N_{1,Ed} = 111,62kN$  viz. Příloha 2.11

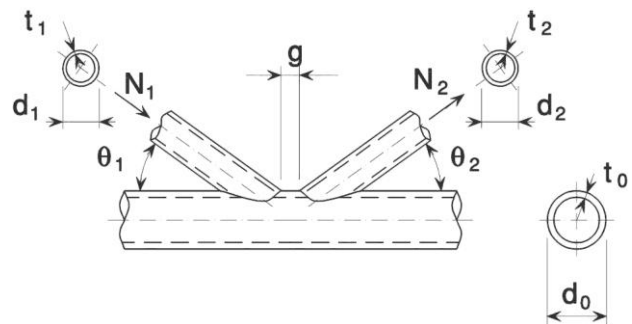
$N_{2,Ed} = 123,11kN$

$d_1 = 48,3mm$ ,  $t_1 = 5mm$

$d_2 = 48,3mm$ ,  $t_2 = 3,2mm$

$d_0 = 194mm$ ,  $t_0 = 6,3mm$

$g = 112mm$   $\theta_1 = 48^\circ$ ,  $\theta_2 = 48^\circ$



#### Podmínky

$$0,2 \leq d_1/d_0 \leq 1,0 \quad 0,2 \leq \frac{48,3}{194} = 0,25 \leq 1,0$$

$$10 \leq d_0/t_0 \leq 50 \quad 10 \leq \frac{194}{6,3} = 30,79 \leq 50$$

$$10 \leq d_1/t_1 \leq 50 \quad 10 \leq \frac{48,3}{5} = 9,66 \leq 50$$

$$10 \leq d_2/t_2 \leq 50 \quad 10 \leq \frac{48,3}{3,2} = 15,09 \leq 50$$

$$g \geq t_1 + t_2 \quad 112mm \geq 5 + 3,2 = 8,2mm$$

$$\theta_1 = \theta_2 = 48^\circ \geq 30^\circ$$

#### Porušení povrchu pásu

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} = \frac{-261,44 \cdot 10^3}{3715} = -70,355MPa$$

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed}}{f_y/\gamma_{M5}} = \frac{-70,335}{355/1,0} = -0,198$$

Pro  $n_p = -0,198 < 0$  (tažený spodní pás)  $\Rightarrow k_p = 1,0$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{194}{2 \cdot 6,3} = 15,39$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left( 1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5 \cdot g}{t_0 - 1,33}\right)} \right) = 15,39^{0,2} \cdot \left( 1 + \frac{0,024 \cdot 15,39^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5 \cdot 112}{6,3 - 1,33}\right)} \right) = 1,73$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left( 1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0} \right) \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} =$$

$$= \frac{1,73 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 6,3^2}{\sin 48^\circ} \cdot \left( 1,8 + 10,2 \cdot \frac{48,3}{194} \right) \cdot \frac{1}{1,0} = 142,337 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 123,11 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 142,337 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### Porušení prolomením smykem

$$d_1 \leq d_0 - 2 \cdot t_0 \quad 48,3 \text{ mm} \leq 194 - 2 \cdot 6,3 = 181,4 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin^2 \theta_1} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 6,3 \cdot \pi \cdot 48,3 \cdot \frac{1 + \sin 48^\circ}{2 \cdot \sin^2 48^\circ} \cdot \frac{1}{1} = 309,215 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 123,11 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 309,215 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{únosnost styčnicku vyhovuje}$$

#### 4.10.2 Styčník 2

$$N_{1,Ed} = 355,52 \text{ kN viz. Příloha 2.11}$$

$$N_{2,Ed} = 377,38 \text{ kN}$$

$$d_1 = 82,5 \text{ mm}, t_1 = 5 \text{ mm}$$

$$d_2 = 82,5 \text{ mm}, t_2 = 5 \text{ mm}$$

$$d_0 = 194 \text{ mm}, t_0 = 6,3 \text{ mm}$$

$$g = 113 \text{ mm} \quad \theta_1 = 40^\circ, \theta_2 = 40^\circ$$

#### Podmínky

$$0,2 \leq d_1/d_0 \leq 1,0 \quad 0,2 \leq \frac{82,5}{194} = 0,43 \leq 1,0$$

$$10 \leq d_0/t_0 \leq 50 \quad 10 \leq \frac{194}{6,3} = 30,79 \leq 50$$

$$10 \leq d_1/t_1 \leq 50 \quad 10 \leq \frac{82,5}{5} = 16,5 \leq 50$$

$$10 \leq d_2/t_2 \leq 50 \quad 10 \leq \frac{82,5}{5} = 16,5 \leq 50$$

$$g \geq t_1 + t_2 \quad 113 \text{ mm} \geq 5 + 5 = 10 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = \theta_2 = 40^\circ \geq 30^\circ$$

#### Porušení povrchu pásu

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} = \frac{16,22 \cdot 10^3}{3715} = 4,366 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_{p,Ed}}{f_y/\gamma_{M5}} = \frac{4,366}{355/1,0} = 0,012$$

Pro  $n_p = 0,012 \geq 0$  (tlačený spodní pás – zde již přechází do tlaku)

$$\Rightarrow k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,012 \cdot (1 + 0,012) = 0,99 \quad k_p \leq 1,0$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{194}{2 \cdot 6,3} = 15,39$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left( 1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5 \cdot g}{t_0 - 1,33}\right)} \right) = 15,39^{0,2} \cdot \left( 1 + \frac{0,024 \cdot 15,39^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5 \cdot 113}{6,3 - 1,33}\right)} \right) = 1,73$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left( 1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0} \right) \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} =$$

$$= \frac{1,73 \cdot 0,99 \cdot 355 \cdot 6,3^2}{\sin 40^\circ} \cdot \left( 1,8 + 10,2 \cdot \frac{82,5}{194} \right) \cdot \frac{1}{1,0} = 230,422 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 377,38 \text{ kN} > N_{1,Rd} = 230,422 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{únosnost styčnicku nevyhovuje}$$

Nutno zvětšit profil nejvíce namáhaných diagonál - D5, D6

Nový profil TR 152x4,0

$$g = 3 \text{ mm}$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left( 1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5 \cdot g}{t_0 - 1,33}\right)} \right) = 15,39^{0,2} \cdot \left( 1 + \frac{0,024 \cdot 15,39^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5 \cdot 3}{6,3 - 1,33}\right)} \right) = 2,20$$

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \left( 1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0} \right) \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} =$$

$$= \frac{2,20 \cdot 0,99 \cdot 355 \cdot 6,3^2}{\sin 40^\circ} \cdot \left( 1,8 + 10,2 \cdot \frac{152}{194} \right) \cdot \frac{1}{1,0} = 467,477 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 377,38 \text{ kN} \leq N_{1,Rd} = 467,477 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Porušení prolomením smykem

$$d_1 \leq d_0 - 2 \cdot t_0 \quad 152 \text{ mm} \leq 194 - 2 \cdot 6,3 = 181,4 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin^2 \theta_1} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = \frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 6,3 \cdot \pi \cdot 152 \cdot \frac{1 + \sin 40^\circ}{2 \cdot \sin^2 40^\circ} \cdot \frac{1}{1} = 1225,795 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 377,38 \text{ kN} \leq N_{1,Rd} = 1225,795 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{únosnost styčnicku vyhovuje}$$