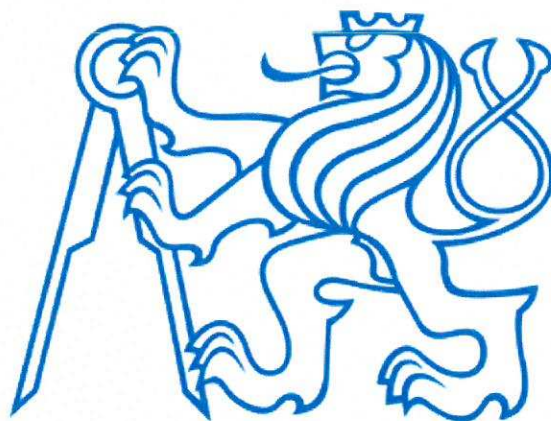


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

PRAHA 2019

Bc. DAVID RYCHNAVSKÝ



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

|   |                     |                             |
|---|---------------------|-----------------------------|
| Příjmení: <u>Rychnavský</u>   | Jméno: <u>David</u> | Osobní číslo: <u>412674</u> |
| Zadávající katedra: <u>Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, K134</u> |                     |                             |
| Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>                             |                     |                             |
| Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>                         |                     |                             |

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

|  |  |
|--|--|
| Název diplomové práce: <u>Konstrukce zastřešení stanice metra Nemocnice Krč</u>  |  |
| Název diplomové práce anglicky: <u>Roof structure of metro station Nemocnice Krč</u>   |  |
| Pokyny pro vypracování:<br>Návrh ocelové konstrukce zastřešení stanice metra čteně vybraných detailů. Výkresová dokumentace (dizpoziční výkresy, detaily). Technická zpráva. |  |
| Seznam doporučené literatury:<br>Návrh konstrukce bude proveden podle platných evropských norem, zejména EN 1991, EN 1993.   |  |
| Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Michal Jandera</u>   |  |
| Datum zadání diplomové práce: <u>21.2.2019</u>   | Termín odevzdání diplomové práce: <u>19.5.2019</u>           |
| <input checked="" type="checkbox"/> Podpis vedoucího práce   | <input checked="" type="checkbox"/> Podpis vedoucího katedry |

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.*

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| <u>21.2.2019</u>      |                     |
| Datum převzetí zadání | Podpis studenta(ky) |



# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Konstrukce zastřešení stanice metra Nemocnice Krč**

**Roof structure of metro station Nemocnice Krč**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Předmět: 134DPM

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Jandera, CSc.

Vypracoval: Bc. David Rychnavský

Datum: Květen 2019



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

---



**PROHLÁŠENÍ:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením pana doc. Ing. Michala Jandery, Ph.D. a všechny zdroje a prameny jsem uvedl v seznamu citované literatury

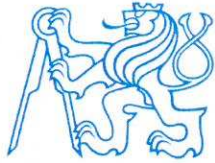
V Praze dne 19. května 2019

.....  
Bc. David Rychnavský



## PODĚKOVÁNÍ:

Chtěl bych velmi poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za odborný dohled, cenné rady a předání svých zkušeností, díky nimž se mi podařilo tuto práci vypracovat. Poděkování patří také paní doc. Ing. Martině Eliášové, CSc. za pomoc a rady při návrhu zasklení. Také děkuji panu Ing. Jaroslavu Čiperovi a společnosti METROPROJEKT Praha a.s. za poskytnutí podkladů, bez kterých by neměla práce reálné obrysy. Děkuji také své rodině a přítelkyni za podporu během tvorby a za pochopení při nedostatku volného času.



## ANOTACE

Cílem diplomové práce je návrh ocelové konstrukce zastřešení vestibulu stanice metra Nemocnice Krč v Praze. Jedná se o konstrukci o půdorysných rozměrech 17x23m a s výškou 6,5m. Práce je zaměřena zejména na statický návrh prvků za použití korozivzdorné oceli. V prvním kroku se určilo zatížení a provedl se předběžný návrh hlavních obloukových nosníků. Následně byl vypracován 3D model konstrukce a byla vybrána výhodnější varianta konstrukce vstupního portálu. Další krok se zabývá statickým návrhem všech hlavních nosných i portálových prvků včetně detailů. Na závěr byla vypracována výkresová dokumentace a technická zpráva.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Ocelová konstrukce, vestibul stanice metra, obloukový nosník, korozivzdorná ocel, vstupní portál

## ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to design steel structure of Nemocnice Krč subway station roof in Prague. It is a structure of plan dimensions 17x23m and 6,5m height. The work is focused on structural design of load-bearing elements using stainless steel. Firstly, the load was determined and the main arch beams preliminary designed. Developing a 3D model of the structure and choice of more favourable variant of the portal structure entrance followed. The next part dealt with structural design of all main roof and portal elements. The last part includes drawing documentation and a technical report.

## KEYWORDS

Steel construction, subway station roof, arch, stainless steel, portal entrance



## OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE:

1. Technická zpráva..... 7 A4
2. Statický výpočet.....106 A4 (bez příloh)
3. Výkresová dokumentace..... 1xA1, 2xA2





# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Konstrukce zastřešení stanice metra Nemocnice Krč**

**Roof structure of metro station Nemocnice Krč**

## **1. Technická zpráva**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Předmět: 134DPM

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

Vypracoval: Bc. David Rychnavský

Datum: Květen 2019

**Obsah:**

|     |  |   |
|-----|--|---|
| 1.  | Základní informace.....                              | 2 |
| 2.  | Popis nosné konstrukce .....                         | 2 |
| 3.  | Statické řešení .....                                | 3 |
| 4.  | Použité materiály .....                              | 3 |
| 5.  | Zatížení.....  | 4 |
| 6.  | Výroba ocelové konstrukce .....                      | 4 |
| 7.  | Montáž ocelové konstrukce.....                       | 5 |
| 8.  | Doprava .....  | 5 |
| 9.  | Skládování a manipulace s korozivzdornou ocelí ..... | 5 |
| 10. | Požární odolnost .....                               | 6 |
| 11. | Odolnost proti korozi .....                          | 6 |
| 12. | Použité normy .....                                  | 6 |
| 13. | Použitá literatura .....                             | 7 |
| 14. | Použitý Software .....                               | 7 |

## 1. Základní informace

Řešeným objektem je samostatně stojící budova vestibulu stanice metra Nemocnice Krč v Praze na trase D. Tato stanice metra bude jednou z osmi nových stanic v úseku Depo Písnice – Náměstí Míru. Nachází se na volném prostranství v těsném sousedství Thomayerovy nemocnice ve čtvrti Dolní Krč v Praze 4. Od nejbližší komunikace je stanice vzdálena 40 m. Celkové půdorysné rozměry konstrukce jsou 24,74 m x 17,2 m s nadzemní výškou 6,6 m. Obestavěný prostor činí 366 m<sup>2</sup>. Stavba je založena na výškové kótě +234,000 m.n.m. Ve vestibulu se nachází eskalátory, které vedou do samotné stanice metra. Dále je zde prostor pro buňku pro pracovníky DPP a také pro informační tabule.

## 2. Popis nosné konstrukce

Základní nosnou konstrukci vestibulu tvoří dvanáct příčných obloukových žeber, které jsou nazývány jako hlavní obloukové nosníky a označeny písmenem P (P1-P12). Jejich umístění je dáno geometrickým obrazcem – anuloidem. Nosníky jsou vůči sobě pootočený vždy o určitý úhel a každý nosník má jiné vzepětí. Výchozí nosník má označení P5 a je uložen kolmo na vodorovnou rovinu. Základním průřezem těchto nosníků je kruhová trubka TR 244,5x12,5 a TR 244,5x10,0. Každý nosník je uložen přes patní plech do základové konstrukce. Shora hlavních nosníků bude uloženo skleněné opláštění z tepelně zpevněného dvojskla s výztužnou mezivrstvou.

V příčném směru zajišťuje stabilitu soustava tzv. podélníků. Ty jsou v určité rozteči připojeny k hlavním nosníkům. Podélníky jsou přímé pruty rozdílné délky, kruhového průřezu TR 101,6x3,0, a svojí polohou kopírují tvar anuloidu. Značí se písmenem O. Konec těchto prutů je mechanicky upraven pro lepší připojení k hlavním nosníkům. Řada podélníků je na straně bez vstupního otvoru uložena do základové konstrukce přes společný patní plech s hlavním nosníkem, nebo je uložena samostatně. Systém hlavních obloukových nosníků a podélníků se nazývá „Hlavní nosná konstrukce“.

Dominantou vestibulu je vstupní portál, který je tvořen příčlím a dvěma sloupy. Příčle i sloup jsou ze svařovaných průřezů. Tvar těchto průřezů je přizpůsoben technickým požadavkům, kdy vnitřek příčle bude využit pro instalaci rolovací provětrávané mříže. Celý vstupní portál bude následně opláštěný broušeným plechem z korozivzdorné oceli. Nad tímto portálem je klenut další obloukový nosník zvaný „portálový“. Jeho průřez tvoří obdélníkový uzavřený profil 100x50x3,0 a je uložen do betonového základu přes patní plech. Prostor mezi tímto nosníkem a podlahou vyplňuje tzv. portálový výplet, který tvoří sloupek (také 100x50x3,0) uložený do betonového základu přes patní plech a shora je připojen k portálovému nosníku. Tyto sloupky slouží k uchycení skleněných tabulí, které budou tvořit opláštění výpletu. Prostor mezi dvěma sloupy vyplňují dekorační žaluzie z broušeného plechu (průřez FL 100x15), které částečně pomáhají zajistit stabilitu sloupků. Portálový nosník je v podélném směru zajištěn připojením k hlavní nosné konstrukci přes trnový spoj, který umožňuje svislý pohyb.

### 3. Statické řešení

Hlavní obloukové nosníky jsou kloubově připojeny do základového pasu přes patní plech a kotveny pomocí korozivzdorných kotev HILTI. Spojení oblouků a podélníků je uvažováno jako kloubové a zajišťuje stabilitu nosníků v podélném směru. Sloupy vstupního portálu, stejně jako jeho sloupky, jsou vetknuty do základové desky také přes patní plech a kotvy HILTI. Stabilitu v podélném směru portálového oblouku zajišťuje ukotvení sloupků přes trnový spoj do hlavní nosné konstrukce a uložení portálového oblouku do základové desky. Příčle je ke sloupu kloubově připojena přes šrouby 4xM16. Portálový oblouk je rozdělen na segmenty a pevně spojen se sloupky. Žaluzie jsou pomocí šroubů 2xM6 přes připojovací plech kotveny ke sloupkům. Horní řada sloupků je přes roznášecí plech za pomoci šroubů spojena s portálovou příčlí.

### 4. Použité materiály

Austenitická korozivzdorná ocel 1.4404:

- Hlavní obloukové nosníky TR 244,5x12,5 a TR 244,5x10,0
- Podélníky TR 101,6x3,0
- Obloukový portálový nosník uzavřeného průřezu 100x50x3,0 (Jekl)
- Portálový sloupek 100x50x3,0 (Jekl)
- Žaluziový výplet FL 100x15
- Čelní desky ve spojích  $t = 6$  mm

Všechny patní plechy  $t = 15$  mm z duplexní korozivzdorné oceli 1.4462.

Šrouby spojující korozivzdorné části a HILTI kotvy třídy A4.

Opláštění vstupního portálu z korozivzdorné oceli 1.4401.

Příčle a sloupy vstupního portálu S355JR.

Šrouby použité na spojení příčle a sloupu 8.8.

Základový pas z betonu navržen třídy C20/25. Po dohodě s technologem možno třídu navýšit.

## 5. Zatížení

### - Zatížení vlastní tíhou:

Počítáno pomocí softwaru

Následující hodnoty zatížení platí pro oblast: Praha

### - Zatížení sněhem:

I sněhová oblast – Základní charakteristické zatížení sněhem  $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ .

### - Zatížení větrem:

I větrná oblast – Základní rychlost větru  $v_{bo} = 22,5 \text{ m/s}$

Kategorie terénu II

### - Zatížení teplotou:

Maximální teplota ve stínu  $40 \text{ C}^\circ$

Minimální teplota ve stínu ( $-32 \text{ C}^\circ$ )

## 6. Výroba ocelové konstrukce

Pro určení třídy provedení ocelové konstrukce se postupuje dle ČSN EN 1990+A1  
Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce:

- Třída následků při selhání konstrukce: CC2
- Rizika spojená s provozem konstrukce: SC1
- Rizika spojená s prováděním svařované konstrukce: PC2

Výsledná třída provedení je tedy EXC2.

## 7. Montáž ocelové konstrukce

Základní montáž hlavní nosné konstrukce bude probíhat ve výrobní hale, kde se svaří jednotlivé segmenty konstrukce vestibulu zvané „žebříky“ za pomoci šablon. Po svaření segmentu bude provedeno měření a případné rovnání. Dalším krokem bude moření svařovaných oblastí, které se provede ve specializovaném zařízení. Následuje finální broušení viditelných ploch na požadovanou drsnost. Výrobní výkresy částí konstrukce zajistí dodavatel ocelové konstrukce. Na stavbě se umístí na určené místo nejprve delší žebřík, ke kterému se z druhé strany přisadí žebřík kratší. Při zdvihání žebříků musí být dodrženo správné vázání všech čtyř zdvihacích bodů. Obě části je potřeba provizorně zajistit pomocí lešení. Pořadí montáže segmentů je určeno jejich označením, tj. od 1 až po 8. V místě styku obou protilehlých žebříků se provede svar dle projektové dokumentace. Svar se poté zbrousí do roviny. Oba sousední žebříky se spojí volným podélníkem pomocí šroubového spoje. Otvory určené k provedení spoje se poté zavíčkují. Patní plechy se nejprve vypodloží a po finálním ustavení bude provedeno podlití.

Před usazením žebříků 7 a 8 se provede konstrukce vstupního portálu. Sloupy a příčle se svaří ve výrobní hale a opatří se antikorozním nátěrem. Sloupy portálu se na stavbě usadí na místo a připojí se k nim přes čelní desku portálová příčle. Konstrukce portálového výpletu bude také vyrobena ve výrobní hale a jeho jednotlivé části se usadí a svaří na stavbě. Sloupky portálového výpletu se připojí k horní pásnici příčle pomocí šroubového spoje. Po namontování nosné konstrukce se provede opláštění vstupního portálu na hliníkovou subkonstrukci, kterou se tato práce nezabývá.

Montáž proběhne za odpovídajícího počasí a za pomoci nejméně jednoho zdvihacího prostředku s nosností do 10 000 kg.

## 8. Doprava

Jednotlivé segmenty se dopraví na stavbu formou nadměrného nákladu. Dopravu zajistí dodavatel ocelové konstrukce.

## 9. Skladování a manipulace s korozivzdornou ocelí

Při skladování korozivzdorných částí je třeba zamezit kontaktu s uhlíkovou ocelí a železem. Povrch korozivzdorné oceli musí být při doručení bez jakékoli vady, zejména pak bez poškrábání. Při zdvihání je zakázáno používat jakékoli vázací prostředky z uhlíkové oceli, např. řetězy nebo háky.

## 10. Požární odolnost

Posudek na požární odolnost ocelové konstrukce nebyl součástí zadání této diplomové práce. Při reálném návrhu by bylo zapotřebí požární odolnost ověřit, případně navrhnout protipožární opatření.

## 11. Odolnost proti korozi

Korozní odolnost korozivzdorné oceli je dána pasivní vrstvou, při zajištění celistvosti této vrstvy není třeba dalších opatření. Antikorozní ochrana uhlíkové oceli se provede pomocí dvouvrstvého nátěru tloušťky 160  $\mu\text{m}$  (80  $\mu\text{m}$  pro základní nátěr a 80  $\mu\text{m}$  pro vrchní nátěr). Šrouby třídy 8.8 budou pozinkované.

## 12. Použité normy

Statický výpočet byl proveden v souladu s platnými normami ČSN EN.

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 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou

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

ČSN EN 1993-1-4 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-4: Doplňující pravidla pro korozivzdorné oceli

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

ČSN EN 10088-1 Korozivzdorné oceli – Část 1: Přehled korozivzdorných ocelí

ČSN EN 1090-2+A1 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce

DRAFT prEN 16612 – Glass in building – Determination of the lateral load resistance of glass panes by calculation

### 13. Použitá literatura

JANDERA, Michal, ŽIDLICKÝ, Břetislav a ŠORF Marek. *Příručka pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli*, 4. vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2017. 221 stran. ISBN 978185942 2359

SOKOL, Zdeněk, WALD, František. *Ocelové konstrukce: Tabulky*, 2. přepracované vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2010. 84 stran. ISBN 978-80-01-04655-5

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

JANDERA, Michal, ELIÁŠOVÁ, Martina a VRANÝ, Tomáš. *Ocelové konstrukce 2- Cvičení*, Praha, 2010. Fakulta stavební ČVUT v Praze: Česká technika, 2009. 149 s. ISBN 80-01-03331-7

### 14. Použitý Software

Program SCIA Engineer 18.1

Program AUTOCAD 2019 (R23.0)

Program Dlubal RFEM 5.18

Program HILTI Profis Anchor 2.8.2

Creo Parametric 4.0 M080

Program MS Word

Program MS Excel





## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Konstrukce zastřešení stanice metra Nemocnice Krč**

**Roof structure of metro station Nemocnice Krč**

## **2. Statický výpočet**

Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb  
Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Předmět: 134DPM  
Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

Vypracoval: Bc. David Rychnavský  
Datum: Květen 2019

**Obsah:**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | Úvod .....  | 3  |
| 2.    | Tvar konstrukce a hlavních nosníků, průřezové charakteristiky ..... | 3  |
| 2.1.  | Materiál .....  | 5  |
| 3.    | Zatížení .....  | 6  |
| 3.1.  | Zatížení konstrukcí .....   | 6  |
| 3.2.  | Zatížení sněhem .....   | 6  |
| 3.3.  | Zatížení větrem .....   | 8  |
| 3.4.  | Zatížení teplotou .....   | 13 |
| 4.    | Výpočet vnitřních sil .....   | 14 |
| 4.1.  | Zatěžovací stavy .....  | 14 |
| 4.2.  | Kombinace zatěžovacích stavů pro nosník .....                       | 18 |
| 4.3.  | Vnitřní síly a deformace .....                                      | 19 |
| 5.    | Předběžný návrh a posouzení průřezu .....                           | 22 |
| 5.1.  | Zatřídění průřezu .....   | 22 |
| 5.2.  | Posouzení průřezu hlavního nosníku .....                            | 22 |
| 6.    | Předběžný návrh zasklení .....                                      | 26 |
| 6.1.  | Konstrukční řešení .....  | 26 |
| 6.2.  | Zatížení skla .....   | 27 |
| 6.3.  | Kombinace zatěžovacích stavů pro skleněné tabule .....              | 27 |
| 6.4.  | Stanovení návrhové pevnosti skla .....                              | 28 |
| 6.5.  | Numerický model RFEM 5 .....  | 28 |
| 6.6.  | Posouzení .....   | 30 |
| 7.    | 3D model vestibulu metra .....                                      | 31 |
| 8.    | Posouzení hlavních konstrukčních prvků .....                        | 36 |
| 8.1.  | Hlavní obloukové nosníky P1, P2, P3, P4, P5, P6 .....               | 36 |
| 8.2.  | Hlavní obloukové nosníky P7, P8, P9, P10, P11, P12 .....            | 43 |
| 8.3.  | Podélníky .....   | 50 |
| 8.4.  | Svařovaný přípoj podélníku k hlavnímu nosníku .....                 | 52 |
| 8.5.  | Šroubový přípoj podélníku k hlavnímu nosníku .....                  | 55 |
| 8.6.  | Návrh a posouzení příčle vstupního portálu .....                    | 57 |
| 8.7.  | Návrh a posouzení sloupu vstupního portálu .....                    | 66 |
| 8.8.  | Posouzení spojení sloupu a příčle .....                             | 74 |
| 8.9.  | Posouzení portálového obloukového nosníku .....                     | 75 |
| 8.10. | Návrh a posouzení portálového sloupku .....                         | 83 |
| 8.11. | Návrh a posouzení patky obloukových nosníků .....                   | 89 |
| 8.12. | Návrh a posouzení patky portálového sloupu .....                    | 93 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.13. | Návrh a posouzení patky sloupku.....          | 97  |
| 8.14. | Návrh a posouzení svaru trnového spoje.....   | 98  |
| 8.15. | Posouzení žaluzie z korozivzdorné oceli ..... | 99  |
| 9.    | Závěr .....                                   | 102 |
| 10.   | Seznam obrázků .....                          | 103 |
| 11.   | Seznam použitých zdrojů .....                 | 105 |

PŘÍLOHA A – Posouzení kotvení hlavních nosníků

PŘÍLOHA B – Posouzení kotvení portálového sloupu

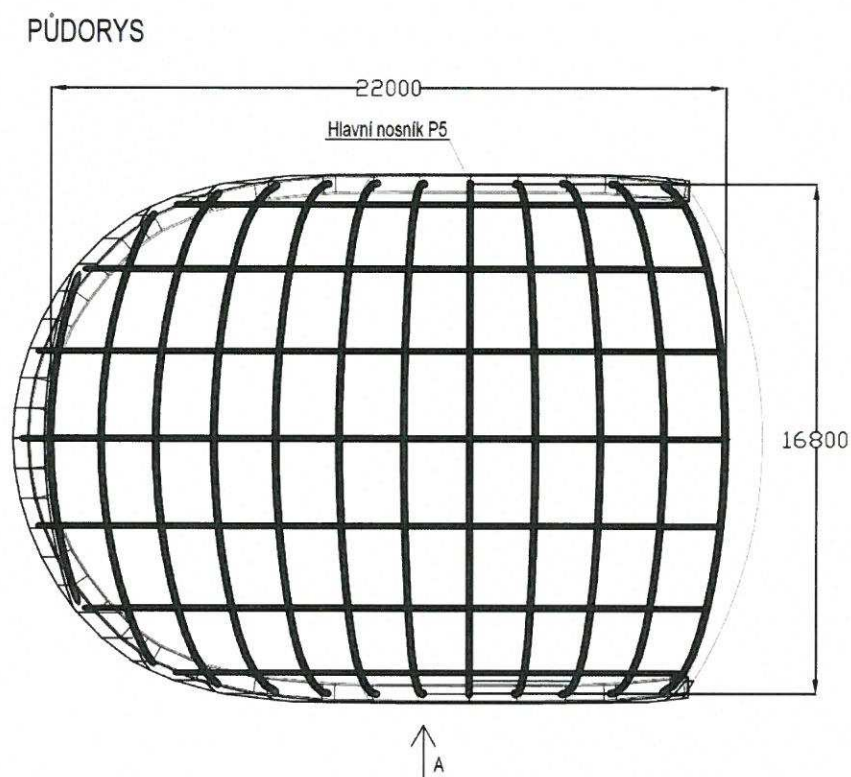
PŘÍLOHA C – Posouzení kotvení sloupků

## 1. Úvod

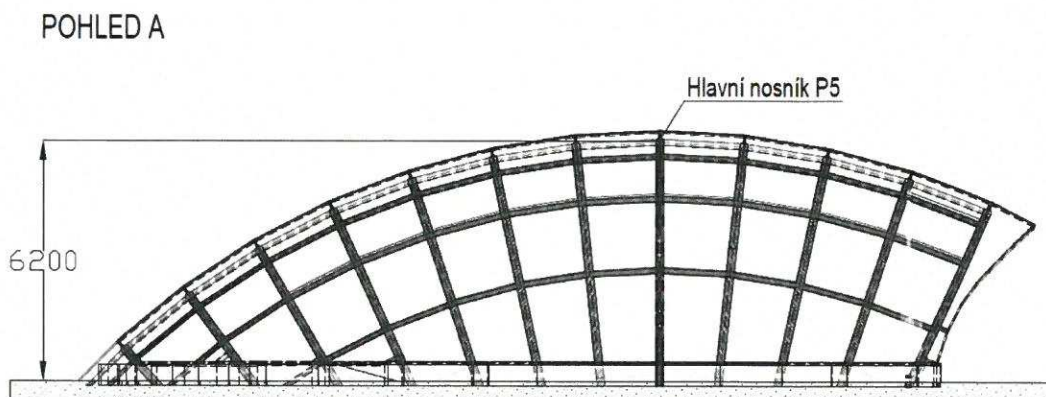
Předmětem této diplomové práce je navržení a posouzení konstrukce vestibulu stanice Nemocnice Krč metra D v Praze. V této práci bude brán zřetel na materiál, kdy většina hlavních nosných prvků bude z korozivzdorné oceli a v závěru bude provedena úvaha nad zvoleným materiálem, vhodnosti jeho využití vzhledem k použití a ceně standardní stavební oceli.

## 2. Tvar konstrukce a hlavních nosníků, průřezové charakteristiky

*Dispoziční řešení:*



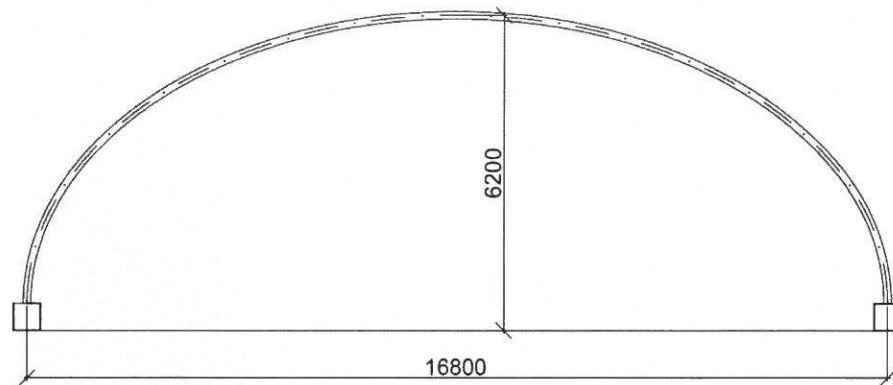
Obr. 2.1 – Půdorys konstrukce vestibulu



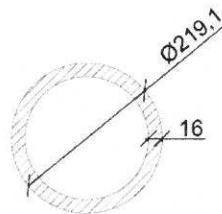
Obr. 2.2 – Boční pohled na konstrukci

Základním tvarem hlavních nosníků v příčném směru je elipsa. Nejprve provedu předběžný návrh hlavního oblouku s největším vzepětím a následně provedu celkovou 3D analýzu konstrukce.

PORTÁL P5



PRŮŘEZ PORTÁLEM:



Obr. 2.3 – Geometrie výchozího hlavního nosníku

|  |  |
|--|--|
| Plocha průřezu                               | $A = 10209 \text{ mm}^2$                   |
| Vzdálenost těžiště od dolních vláken průřezu | $z_T = e_d = 109,55 \text{ mm}$            |
| Vzdálenost těžiště od horních vláken průřezu | $z_T = e_h = 109,55 \text{ mm}$            |
| Moment setrvačnosti vzhledem k ose y (=z)    | $I_{y=z} = 5,297 \times 10^7 \text{ mm}^4$ |
| Plastický průřezový modul                    | $W_{pl} = 6,6136 \times 10^5 \text{ mm}^3$ |
| Poloměr setrvačnosti                         | $i_{y=z} = 72 \text{ mm}$                  |
| Zatěžovací šířka                             | $a = 2100 \text{ mm}$                      |

## 2.1. Materiál

Výběr materiálu bude proveden dle EN 1993-1-4 pro konstrukční použití austenitických a austeniticko-feritických tříd korozivzdorných ocelí.

### **Stanovení součinitele korozní odolnosti CRF:**

$$CRF = F_1 + F_2 + F_3$$

$F_1$  představuje riziko zasažení oceli posypovým solím (případně vystavení chloridům ze slané vody v případě přímořského prostředí).

Protože se konstrukce nachází 40m od silnice s posypovou solí, což je v rozmezí  $0,01 \text{ km} < S \leq 0,1 \text{ km}$ , pro které platí střední riziko expozice chloridy, beru:

$$F_1 = -3$$

$F_2$  reprezentuje riziko vystavení oxidu siřičitému.

Na základě dlouhodobých měření emisí oxidu siřičitého pro Prahu lze stanovit střední riziko expozice, pro které platí rozmezí průměrné koncentrace plynu  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

$$F_2 = -5$$

Hodnota  $F_3$  reprezentuje režim čištění nebo vystavení oplachu konstrukce. V našem případě konstrukce není vystavena dešti, režim čištění není stanoven, nebo bude méně častý než jednou za 3 měsíce a proto:

$$F_3 = -7$$

$$CRF = -3 - 5 - 7 = -15$$

### **Stanovení třídy odolnosti CRC:**

Hodnota součinitele CRF je na rozmezí III. a IV. třídy odolnosti. Vzhledem k povaze konstrukce a k dostupnosti materiálů daného průřezu budu vybírat z III. třídy korozní odolnosti.

### **Návrh:**

Korozivzdorná ocel: **AISI 316L / 1.4404**

$$f_y = 220 \text{ MPa}$$

$$f_u = 530 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ MPa}$$

Kde  $f_y$  je jmenovitá hodnota meze kluzu a  $f_u$  je jmenovitá mez pevnosti v tahu pro tuto korozivzdornou ocel dle EN 10088.

### 3. Zatížení

V této kapitole bude určeno stálé a proměnné zatížení konstrukce vestibulu dle platných evropských norem.

#### 3.1. Zatížení konstrukcí

| STÁLÉ  | $g_k$ (kN/m) | $\gamma$ (-) | $g_d$ (kN/m) |
|--|--------------|--------------|--------------|
| Vlastní tíha $g_0$   | 0,8          | 1,35         | 1,08         |
| Zatížení od pláště - Sklo (Odhad 20mm - $0,5\text{kN/m}^2$ ) | 1,05         | 1,35         | 1,4175       |
| Zatížení od pláště - Uchycení ( Odhad - $0,1\text{kN/m}^2$ ) | 0,21         | 1,35         | 0,2835       |

| PROMĚNNÉ   | $g_k$ (kN/m) | $\gamma$ (-) | $g_d$ (kN/m) |
|--|--------------|--------------|--------------|
| Zatížení technologií (Osvětlení - odhad $0,3\text{kN/m}^2$ ) | 0,63         | 1,5          | 0,945        |

#### 3.2. Zatížení sněhem

Umístění stavby: Praha

Pro danou lokalitu je dáno dle mapy sněhových oblastí zatížení sněhem pro I. sněhovou oblast  $S_k=0,56\text{kN/m}^2$ , jako nejnižší hodnotu uvažovanou pro výpočet je doporučeno brát:

$$S_k=0,7\text{kN/m}^2$$

**Součinitel expozice pro normální typ krajiny:**

$$C_e=1,0$$

**Tepelný součinitel:**

$$C_t=1,0$$

**Tvarový součinitel:**

Použiji tvarové součinitele pro válcové střechy bez sněžníků.

$$h=6,5\text{m (výška konstrukce včetně opláštění)}$$

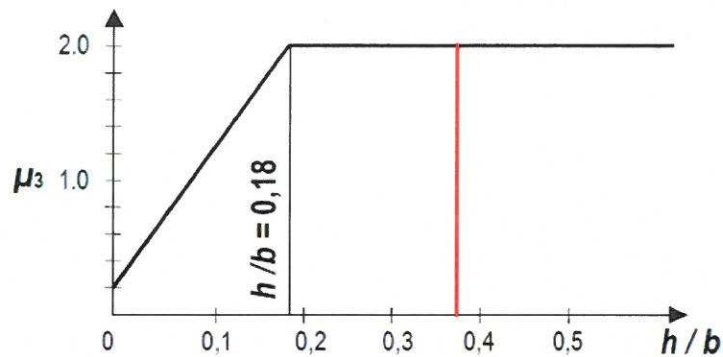
$$b=17\text{m (příčná šířka konstrukce včetně opláštění)}$$

Pro stanovení horní hodnoty  $\mu_3$  platí následující vztahy:

$$\text{pro } \beta > 60^\circ \mu_3 = 0$$

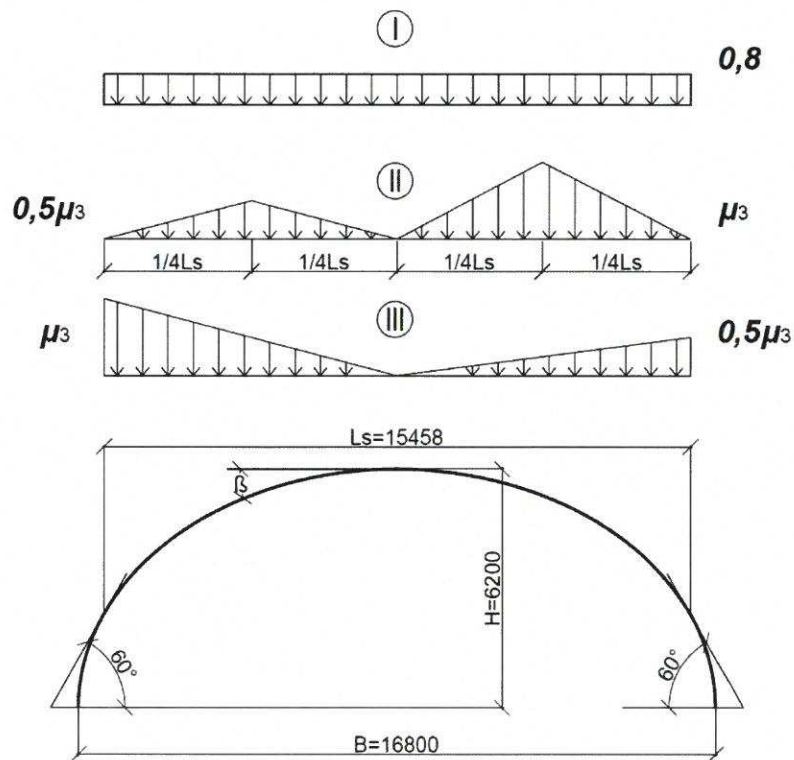
$$\text{pro } \beta \leq 60^\circ \mu_3 = 0,2 + 10h/b$$

Jelikož poměr  $h/b=0,3823$  je vyšší než 0,18, беру hodnotu  $\mu_3=2,0$ . (viz Obr. 3.1)



Obr.3.1 – Schéma pro určení tvarového součinitele

Uspořádání nenavátého sněhu na osu hlavního nosníku reprezentuje případ (I) a navátého sněhu případ (II). Jelikož je poměr  $h/b > 1/8$  budu uvažovat i druhý typ sněhové návěje (III) dle ČSN EN 1991-1-3 NA.2.19. (viz obr.3.2)



Obr. 3.2 – Schéma zatížení sněhem

#### Zatížení sněhem na střeše:

$$S_{(0,8)k} = 0,8 * C_e * C_t * S_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{(\mu_3)k} = \mu_3 * C_e * C_t * S_k = 2,0 * 1,0 * 1,0 * 0,7 = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{(\mu_3)d} = \gamma_q * S_{(\mu_3)k} = 1,5 * 1,4 = 2,1 \text{ kN/m}^2$$



Přepočítání na zatěžovací šířku:

$$S_{(0,8)k} = 0,8 * C_e * C_t * S_k * a = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,7 * 2,1 = 1,176 \text{ kN/m}$$

$$S_{(0,8)d} = \gamma_q * S_{(0,8)k} = 1,5 * 1,176 = 1,764 \text{ kN/m}$$

$$S_{(\mu_3)k} = \mu_3 * C_e * C_t * S_k * a = 2,0 * 1,0 * 1,0 * 0,7 * 2,1 = 2,94 \text{ kN/m}$$

$$S_{(\mu_3)d} = \gamma_q * S_{(\mu_3)k} = 1,5 * 2,94 = 4,41 \text{ kN/m}$$

Vypracováno dle ČSN EN 1991-1-3 - Zatížení konstrukcí  
Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem.

### 3.3. Zatížení větrem

Objekt se nachází v I. větrné oblasti, pro kterou je stanovena základní rychlost větru  
 $v_{b0} = 22,5 \text{ m/s}$ .

Spadá do II. kategorie terénu, což představuje krajinu s nízkou vegetací, jako je tráva nebo izolované překážky, parametry výšky tedy jsou:

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

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

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

**Výška objektu nad terénem:**

$$z = 6,5 \text{ m}$$

**Výpočet dynamického tlaku:**

$$v_b = C_{\text{dir}} * C_{\text{season}} * v_{b,0}$$

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

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

$$v_{b,0} = 22,5 \text{ m/s}$$

$$v_b = 22,5 \text{ m/s}$$

**Střední rychlost větru:**

$$v_{m(z)} = C_{r(z)} * C_{o(z)} * v_b = 0,9248 * 1,0 * 22,5 = 20,808 \text{ m/s}$$

$$C_{r(z)} = K_r * \ln(z/z_o) = 0,19 * \ln(6,5/0,05) = 0,9248$$

pro  $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$K_r = 0,19 * (z_o/z_{o,II})^{0,07} = 0,19 * (0,05/0,05)^{0,07} = 0,19$$

$$C_{o(z)} = 1,0$$

**Intenzita turbulence ve výšce z:**

$$I_{v(z)} = K_I / C_{o,z} * \ln(z/z_0) = 1,0 / 1,0 * \ln(6,5/0,05) = 0,2054$$

$$K_I = 1,0$$

**Maximální dynamický tlak:**

$$q_{p(z)} = [1+7 * I_{v(z)}] * 0,5 * \rho * v_m^2(z)$$

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

$$q_{p(z)} = [1+7 * 0,2054] * 0,5 * 1,25 * 20,808^2 = 0,6597 \text{ kN/m}^2$$

**Tlak větru na vnější povrchy:**

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

**Tlak větru na vnitřní povrchy:**

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi}$$

$$\text{kde } q_p(z_i) = q_p(z_e)$$

**Součinitel vnějšího tlaku na stěny:**

- A) Pro určení součinitelů pro podélný vítr zprava použijí schéma svislé stěny s pravoúhlým půdorysem.

$$e = \min(b, 2h) = \min(16,8, 2*6,5) = \min(16,8, 13)$$

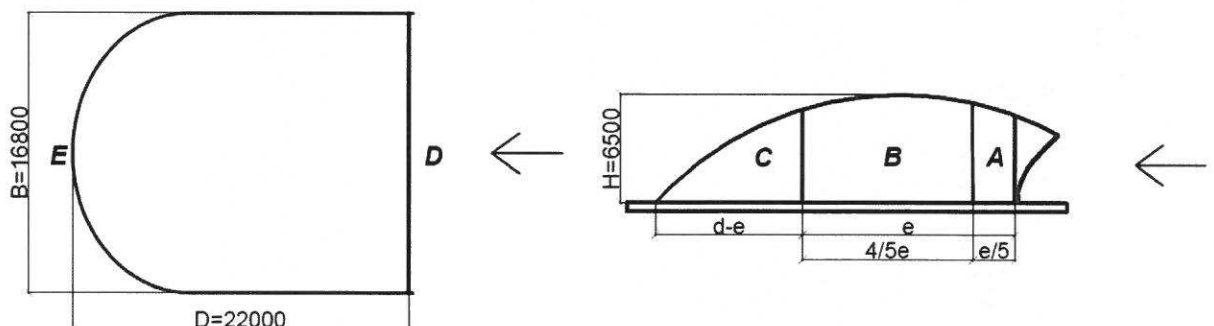
$$e = 13\text{m}$$

$$d-e = 22 - 13 = 9\text{ m}$$

$$e/5 = 13/5 = 2,6\text{m}$$

$$4/5e = 10,4\text{m}$$

Pro  $e \leq d$  platí:



Obr. 3.3 – Směr podélného větru

$h/d = 6,5/22 = 0,3$  (Pro mezilehlé hodnoty  $C_{pe,10}$  určeny lineární interpolací)

| OBLAST                     | A      | B     | C     | D    | E    |
|----------------------------|--------|-------|-------|------|------|
| $C_{pe,10}$                | -1,2   | -0,85 | -0,5  | 0,7  | -0,3 |
| $W_e$ [kN/m <sup>2</sup> ] | -0,792 | -0,56 | -0,33 | 0,46 | -0,2 |

B) Pro určení součinitelů pro podélný vítr zleva použijí schéma pro kopule s kruhovou základnou, viz stránka 7.

C) Pro příčný vítr jsou součinitelé následující:

$$e = \min(b, 2h) = \min(22, 2 \cdot 6,5) = \min(22, 13)$$

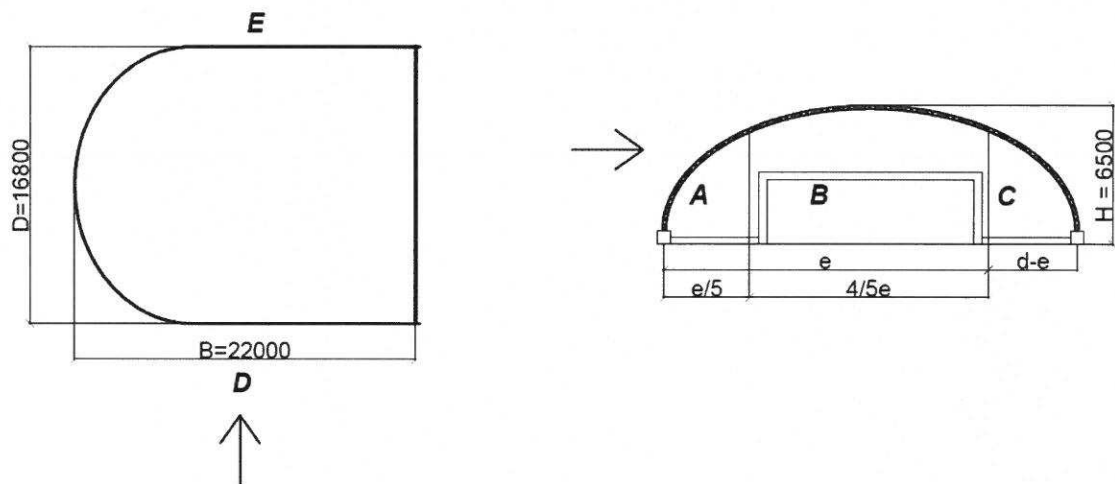
$$e = 13\text{m}$$

$$d - e = 16,8 - 13 = 3,8\text{ m}$$

$$e/5 = 13/5 = 2,6\text{m}$$

$$4/5e = 10,4\text{m}$$

Pro  $e \leq d$  platí:



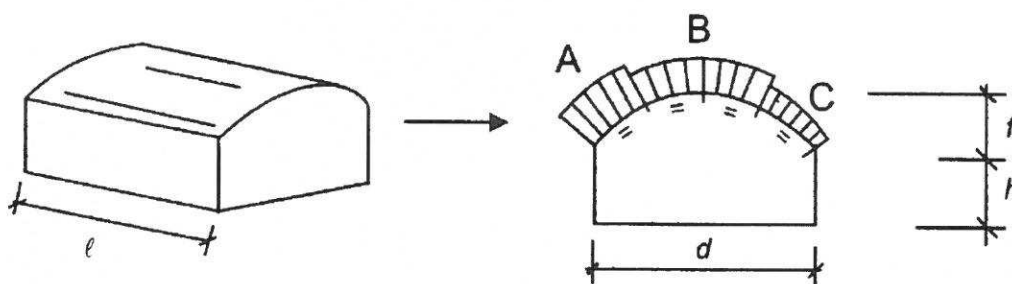
Obr. 3.4 – Směr příčného větru

$h/d = 6,5/16,8 = 0,39$

| OBLAST                     | A      | B      | C     | D    | E     |
|----------------------------|--------|--------|-------|------|-------|
| $C_{pe,10}$                | -1,2   | -0,9   | -0,5  | 0,71 | -0,32 |
| $W_e$ [kN/m <sup>2</sup> ] | -0,792 | -0,594 | -0,33 | 0,47 | -0,2  |

**Součinitele vnějšího tlaku pro střechu:**

- A) Příčný vítr – Pro tento typ zatížení budu uvažovat schéma pro válcové střechy nad pravouhlym půdorysem.



Obr. 3.5 – Schéma pro příčný vítr válcových střech

Referenční výška  $Z_e = h+f = 0 + 6,5 = 6,5$  m

$h = 0$

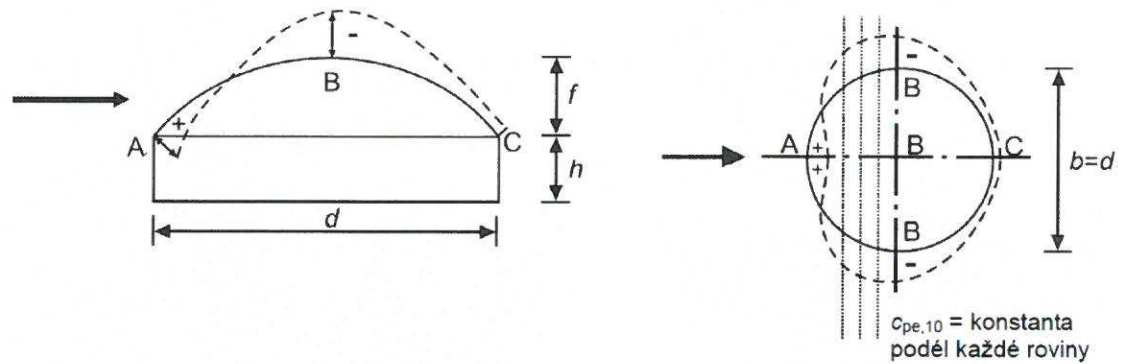
Poměr  $f/d = 6,5/16,8 = 0,387$

Součinitele se určí na základě těchto hodnot pomocí grafu pro válcové střechy.

Oblasti A a C působí na  $1/4 * d$ , v tomto případě je to  $1/4 * 16,8 = 4,2$ m, a oblast B na  $1/2 * 16,8 = 8,4$ m.

| OBLAST                     | A     | B      | C      |
|----------------------------|-------|--------|--------|
| $C_{pe,10}$                | 0,6   | -1,05  | -0,4   |
| $W_e$ [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,396 | -0,693 | -0,264 |

- B) Podélný vítr zleva – Použiji schéma pro kopule s kruhovou základnou



Obr. 3.6 – Schéma pro podélný vítr kopulí s kruhovou základnou

Protože  $h/d = 0$ , platí pro jednotlivé oblasti součinitel vnějšího tlaku:

| OBLAST                     | A     | B      | C |
|----------------------------|-------|--------|---|
| $c_{pe,10}$                | 0,61  | -0,95  | 0 |
| $W_e$ [kN/m <sup>2</sup> ] | 0,402 | -0,693 | 0 |

#### Součinitele vnitřních tlaků:

V konstrukci se vyskytuje vstupní portál o rozměrech  $B=8,0\text{m}$ ,  $H=2,5\text{m}$ , který bude v naprosté většině dne otevřen, a proto je nutné zahrnout do výpočtu současné působení vnitřního tlaku. Součinitel vnitřního tlaku budu uvažovat jako  $c_{pi} = c_{pe,10} * 0,9$ , kde  $c_{pe,10}$  je hodnota součinitele pro vnější tlak na stěnu se vstupním portálem v případě podélného větru zleva. Působením příčného větru bude konstrukce vystavena také podtlaku, který se určí také jako  $c_{pi} = c_{pe,10} * 0,9$ , zde bude  $c_{pe,10}$  bráno jako hodnota váženého průměru součinitelů působících na stěnu s portálem. V tomto případě je portál celý v oblasti B (viz. obr. 3.4), proto beru hodnotu pro tuto oblast.

$$c_{pi,tlak} = 0,7 * 0,9$$

$$W_i = q_p(z_i) * c_{pi} = 0,6597 * 0,7 * 0,9 = 0,4165 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pi,podtlak} = -0,9 * 0,9$$

$$W_i = q_p(z_i) * c_{pi} = 0,6597 * -0,9 * 0,9 = -0,53 \text{ kN/m}^2$$

Vítr vznikající komínovým efektem v prostorách metra je vzhledem k hodnotám vnějšího tlaku minimální, a proto ho lze zanedbat.

Vypracováno dle ČSN EN 1991-1-4 - Zatížení konstrukcí  
Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem.

### 3.4. Zatížení teplotou

Vzhledem k povaze konstrukce a použitých materiálů lze předpokládat, že zatížení teplotou bude představovat významnou část celkového namáhání a proto je nutné jej zahrnout do výpočtu.

#### **Rovnoměrná složka teploty $\Delta T_u$ :**

A) Pro letní období

$$\Delta T_u = T - T_o$$

kde  $T$  je průměrná teplota nosného prvku vlivem klimatických teplot. Uvažují prvky z jedné vrstvy a podmínky prostředí budou na obou stranách prvku obdobné, a proto  $T$  stanovím jako průměr teplot vnitřního  $T_{in}$  a vnějšího  $T_{out}$  prostředí. Výchozí teplotu nosného prvku  $T_o$  volím 10 °C.

$$T_{in} = 40 \text{ °C}$$

$$T_{out} = T_{max} + T_3 = 40 + 18 = 58 \text{ °C (Pro jasně světlý povrch konstrukce)}$$

$$T_{max} = 40 \text{ °C (Odečteno z mapy maximálních teplot ve stínu pro Prahu)}$$

$$T_3 = 18 \text{ °C (Pro prvky orientované na jih)}$$

$$T = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{40 + 58}{2} = 49 \text{ °C}$$

$$\Delta T_u = 49 - 10 = 39 \text{ °C}$$

B) Pro zimní období

$$T_{in} = T_{out}$$

$$T_{out} = T_{min} = -32 \text{ °C (Odečteno z mapy minimálních teplot pro Prahu)}$$

$$T = -32 \text{ °C}$$

$$\Delta T_u = -32 - 10 = -42 \text{ °C}$$

#### **Nerovnoměrná složka teploty $\Delta T_m$ :**

Nerovnoměrná složka teploty představuje rozdíl mezi teplotou na vrchní, osluněné straně konstrukce a spodní straně. Tuto hodnotu lze stanovit pro konkrétní projekt. Na základě pozorování již stojících konstrukcí v dané lokalitě beru nejnepříznivější rozdíl teplot  $\Delta T_m$ :

23 °C na osluněné straně

5 °C na straně neosluněné

$$\Delta T_m = 18 \text{ °C}$$

Do výpočtu budou vstupovat následující kombinace teplot:

- 1)  $\Delta T_u$  (léto)
- 2)  $\Delta T_u$  (zima)
- 3)  $\Delta T_u$  (léto) +  $\Delta T_m \cdot 0,75$
- 4)  $\Delta T_m$  +  $\Delta T_u$  (léto)  $\cdot 0,35$

Vypracováno dle ČSN EN 1991-1-5 - Zatížení konstrukcí  
Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou.

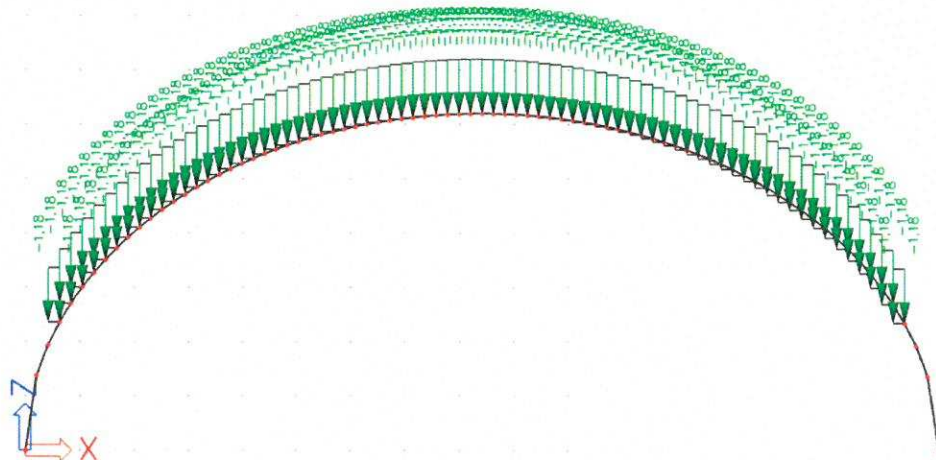
## 4. Výpočet vnitřních sil

Vnitřní síly byly vypočteny pomocí programu SCIA Engineer.

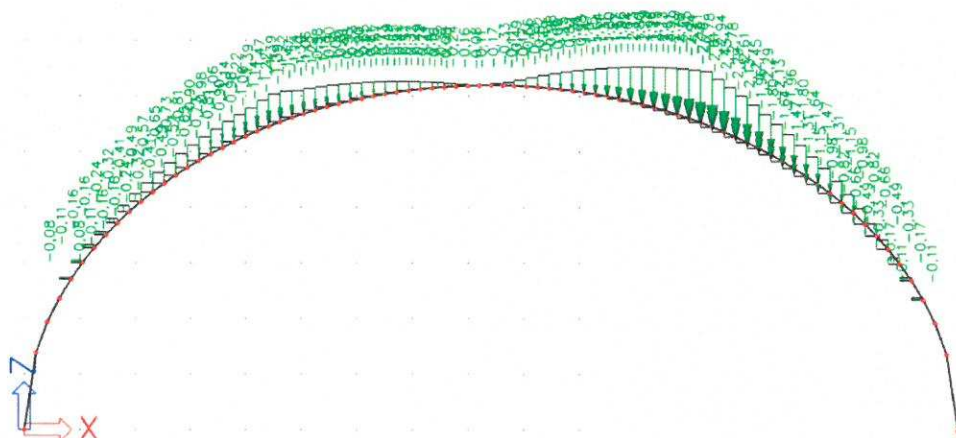
### 4.1. Zatěžovací stavy

#### Zatěžovací stavy

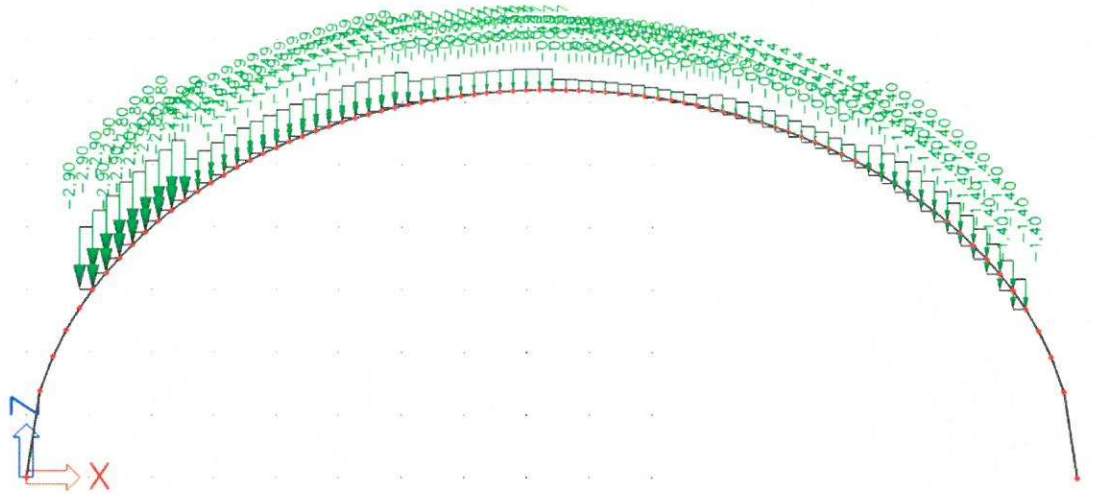
| Jméno | Popis               | Typ působení | Skupina zatížení | Typ zatížení | Spec     | Směr | Působení   | Řídící zat. stav |
|-------|---------------------|--------------|------------------|--------------|----------|------|------------|------------------|
| ZS1   | vlastní tíha        | Stálé        | SZ1              | Vlastní tíha |          | -Z   |            |                  |
| ZS2   | sklo                | Stálé        | SZ1              | Standard     |          |      |            |                  |
| ZS3   | technologie         | Proměnné     | SZ2              | Statické     | Standard |      | Dlouhodobé | Žádný            |
| ZS4   | sníh_konstantni_I   | Proměnné     | Sníh             | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS5   | sníh_navěj_II       | Proměnné     | Sníh             | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS6   | sníh_navěj_III      | Proměnné     | Sníh             | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS9   | vitr_přičný         | Proměnné     | Vítr             | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS10  | vitr_tlak           | Proměnné     | Vítr             | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS12  | teplota_rovn_leto   | Proměnné     | teplota          | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS13  | teplota_lineární    | Proměnné     | teplota          | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS14  | teplota_rovn_zima   | Proměnné     | teplota          | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS11  | vitr_podtlak        | Proměnné     | Vítr             | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS8   | vitr_podélný_zprava | Proměnné     | Vítr             | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |
| ZS7   | vitr_podélný_zleva  | Proměnné     | Vítr             | Statické     | Standard |      | Krátkodobé | Žádný            |



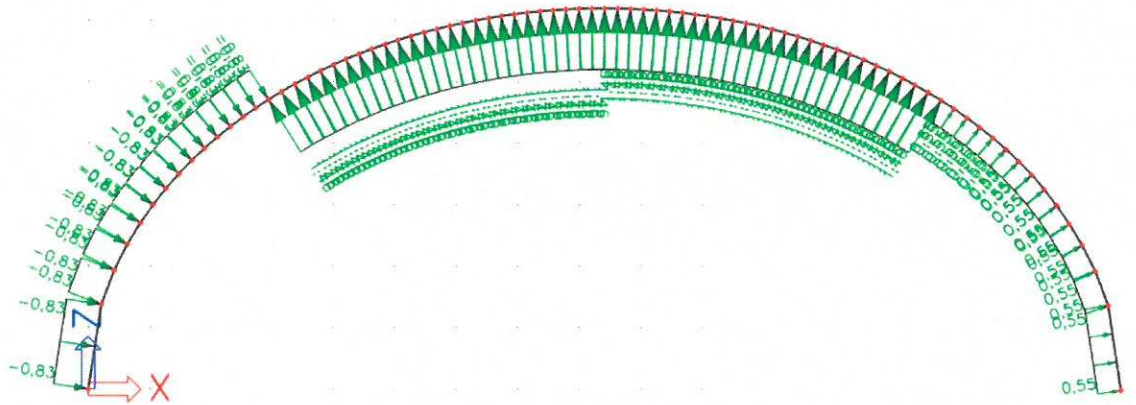
Obr. 4.1 – ZS sníh\_I



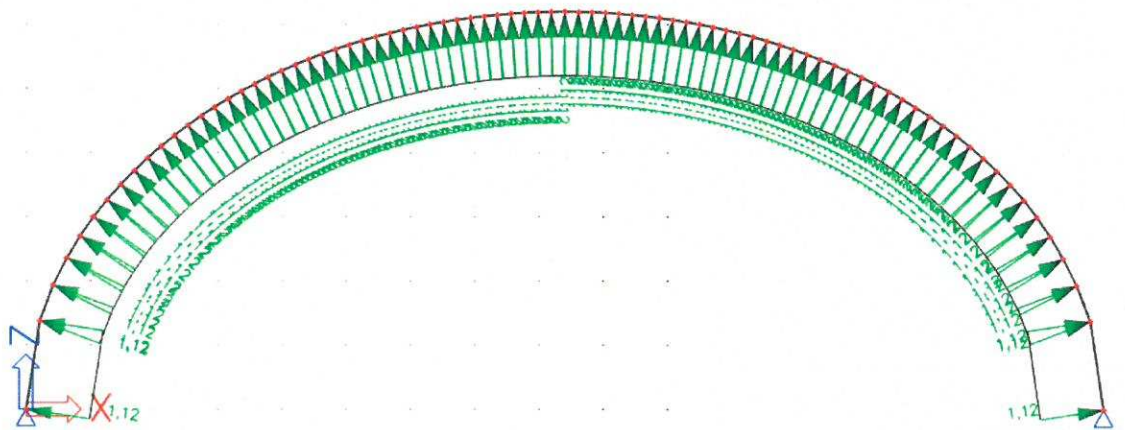
Obr. 4.2 – ZS sníh\_II



Obr. 4.3 – ZS sníh\_III

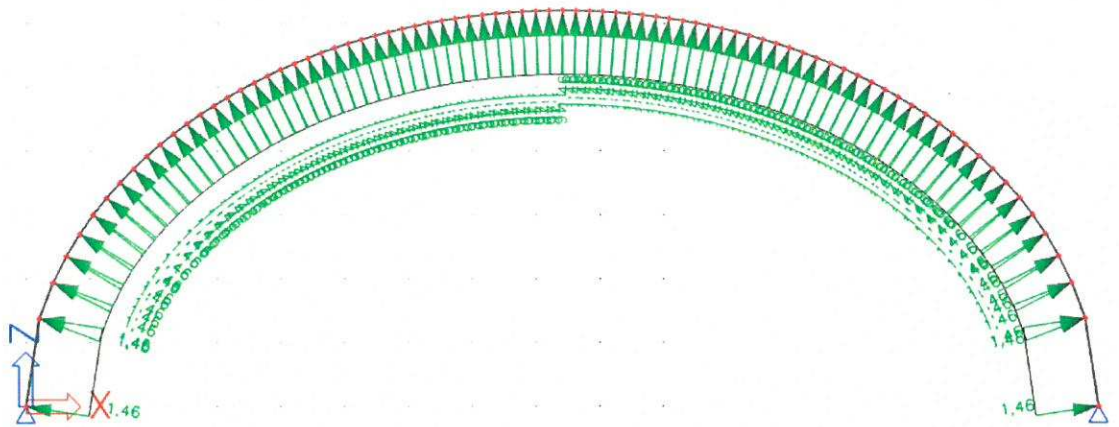


Obr. 4.4 – ZS vítr\_příčný (1)

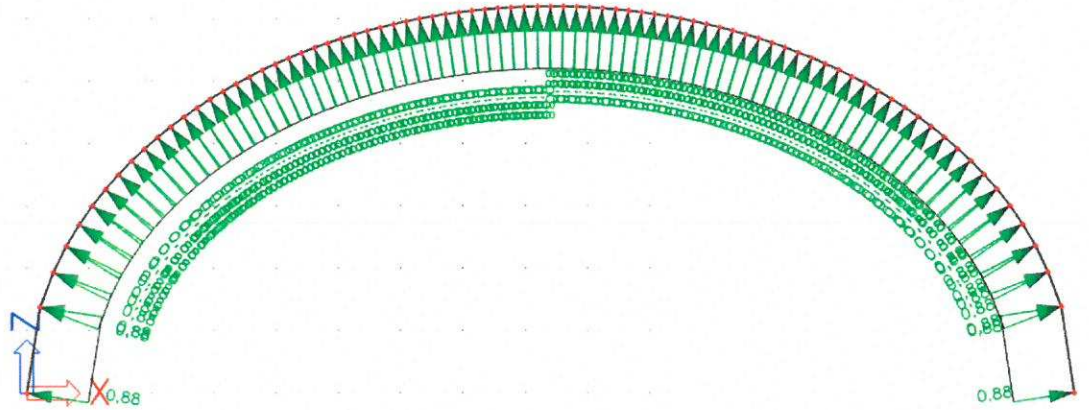


Obr. 4.5 – ZS vítr\_podélný zprava (2)

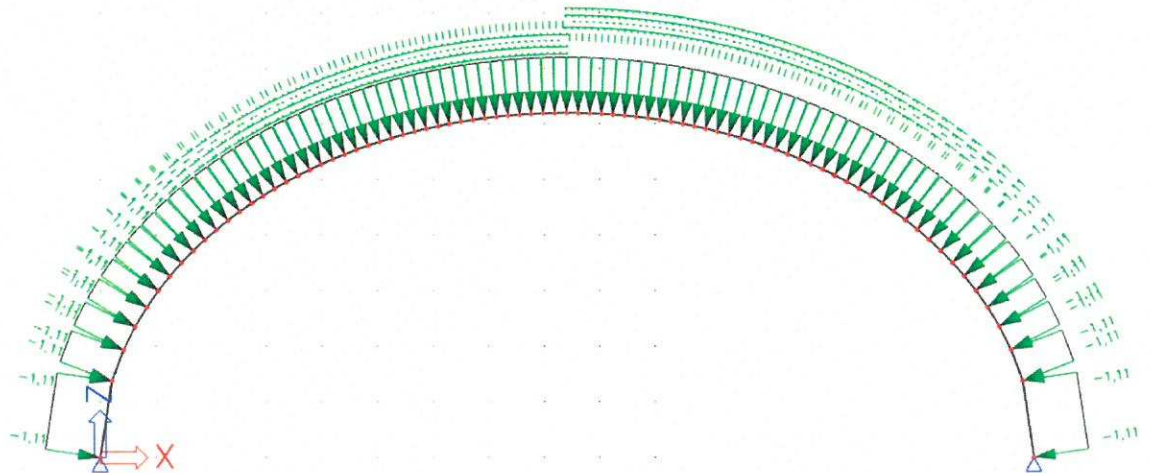




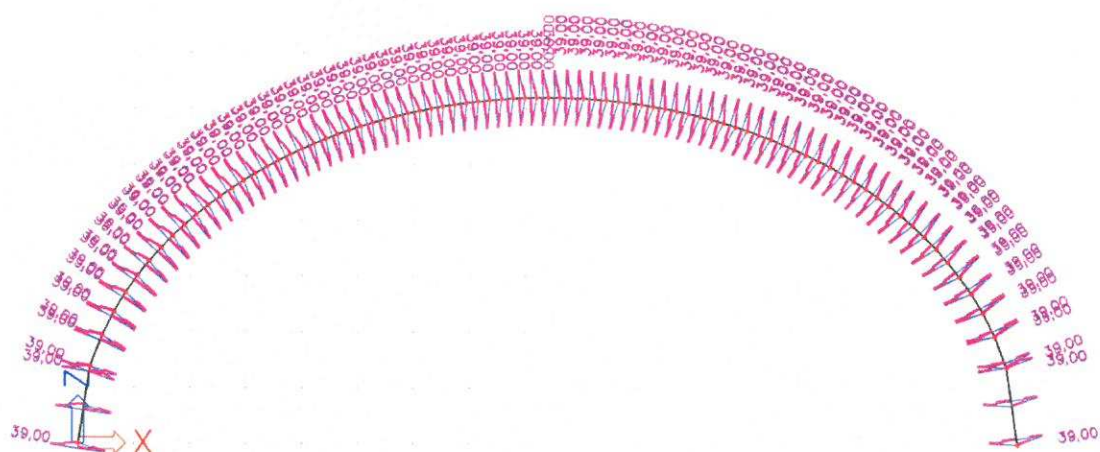
Obr. 4.6 – ZS vítr\_podélný zleva (3)



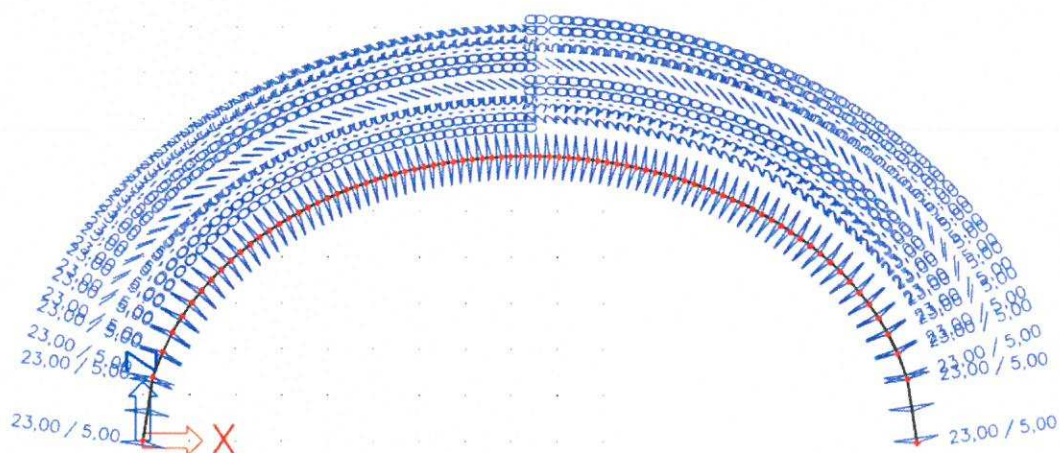
Obr. 4.7 – ZS vítr\_vnitřní\_tlak (4)



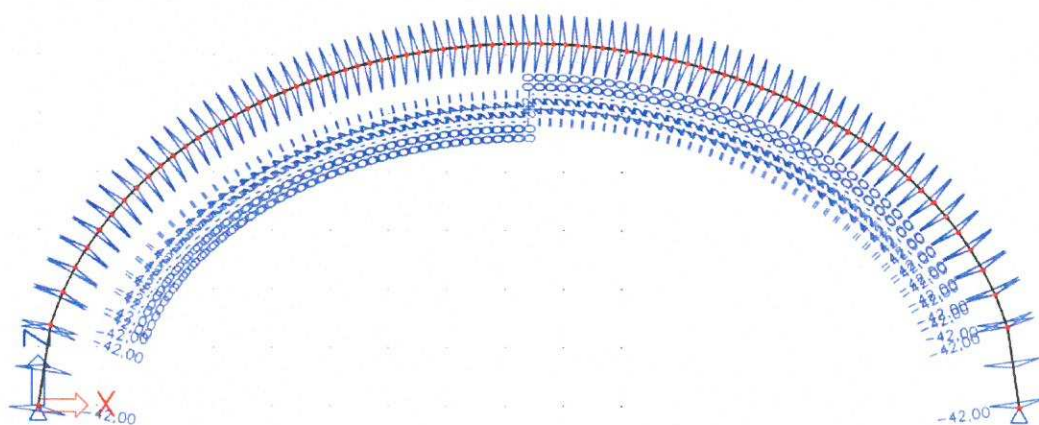
Obr. 4.8 – ZS vítr\_vnitřní\_podtlak (5)



Obr. 4.9 – ZS teplota\_letu (1)



Obr. 4.10 – ZS teplota\_lineární (2)



Obr. 4.11 – ZS teplota\_zima (3)

## 4.2. Kombinace zatěžovacích stavů pro nosník

- 1) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Sníh I \*  $\gamma_Q$  + Teplota (3)
- 2) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Sníh II \*  $\gamma_Q$  + Teplota (3)
- 3) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Sníh III \*  $\gamma_Q$  + Teplota (3)
- 4) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Sníh I \*  $\gamma_Q$  + Vítr (1) \*  $\gamma_Q$  \*  $\psi_0$  + Vítr (5) \*  $\gamma_Q$  \*  $\psi_0$
- 5) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Sníh II \*  $\gamma_Q$  + Vítr (1) \*  $\gamma_Q$  \*  $\psi_0$  + Vítr (5) \*  $\gamma_Q$  \*  $\psi_0$
- 6) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Sníh III \*  $\gamma_Q$  + Vítr (1) \*  $\gamma_Q$  \*  $\psi_0$  + Vítr (5) \*  $\gamma_Q$  \*  $\psi_0$
- 7) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Sníh I \*  $\gamma_Q$  \*  $\psi_0$  + Vítr (2) \*  $\gamma_Q$  + Vítr (4) \*  $\gamma_Q$
- 8) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Sníh II \*  $\gamma_Q$  \*  $\psi_0$  + Vítr (2) \*  $\gamma_Q$  + Vítr (4) \*  $\gamma_Q$
- 9) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Sníh III \*  $\gamma_Q$  \*  $\psi_0$  + Vítr (2) \*  $\gamma_Q$  + Vítr (4) \*  $\gamma_Q$
- 10) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Vítr (1). \*  $\gamma_Q$  + Vítr (5). \*  $\gamma_Q$  + Teplota (1)
- 11) Stálé \*  $\gamma_G$  + Tech. \*  $\gamma_Q$  + Vítr (1) \*  $\gamma_Q$  + Vítr (5) \*  $\gamma_Q$  + Teplota (1) + Teplota (2) \*  $\omega_m$
- 12) Stálé \*  $\gamma_G$  + Tech. \*  $\gamma_Q$  + Vítr (1) \*  $\gamma_Q$  + Vítr (5) \*  $\gamma_Q$  + Teplota (1) \*  $\omega_u$  + Teplota (2)
- 13) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Teplota (1)
- 14) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Teplota (3)
- 15) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Teplota (1) + Teplota (2) \*  $\omega_m$
- 16) Stálé \*  $\gamma_G$  + Technologie \*  $\gamma_Q$  + Teplota (1) \*  $\omega_u$  + Teplota (2)
- 17) Stálé<sub>min</sub> + Vítr podélný zprava (2) \*  $\gamma_Q$  + Vítr vnitřní tlak (4) \*  $\gamma_Q$
- 18) Stálé<sub>min</sub> + Vítr příčný \*  $\gamma_Q$  + Vítr vnitřní podtlak (5) \*  $\gamma_Q$
- 19) Stálé<sub>min</sub> + Vítr podélný zleva \*  $\gamma_Q$  (3)

### **Pro MSÚ platí:**

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

$$\text{pro sníh } \psi_0 = 0,7$$

$$\text{pro vítr } \psi_0 = 0,6$$

$$\omega_m = 0,75$$

$$\omega_u = 0,35$$

### **Pro MSP platí:**

$$\gamma_G = 1,0$$

$$\gamma_Q = 1,0$$

$$\text{pro sníh } \psi_0 = 0,7$$

$$\text{pro vítr } \psi_0 = 0,6$$

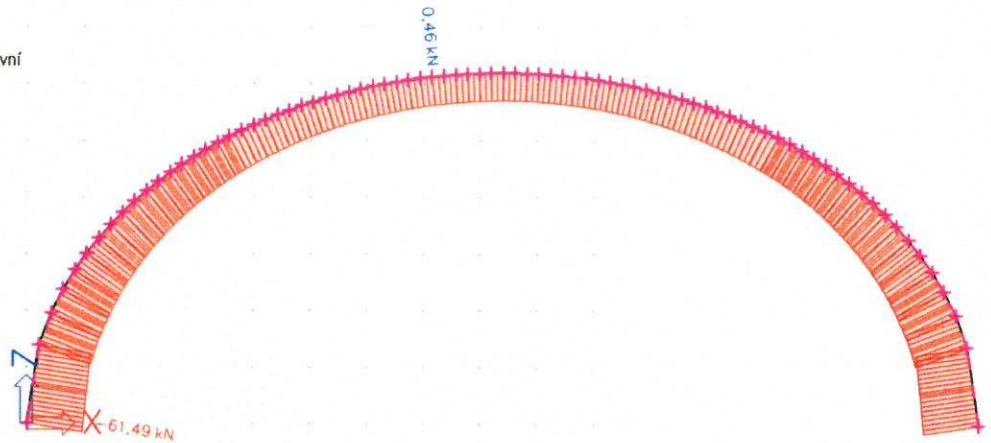
$$\omega_m = 0,75$$

$$\omega_u = 0,35$$

### 4.3. Vnitřní síly a deformace

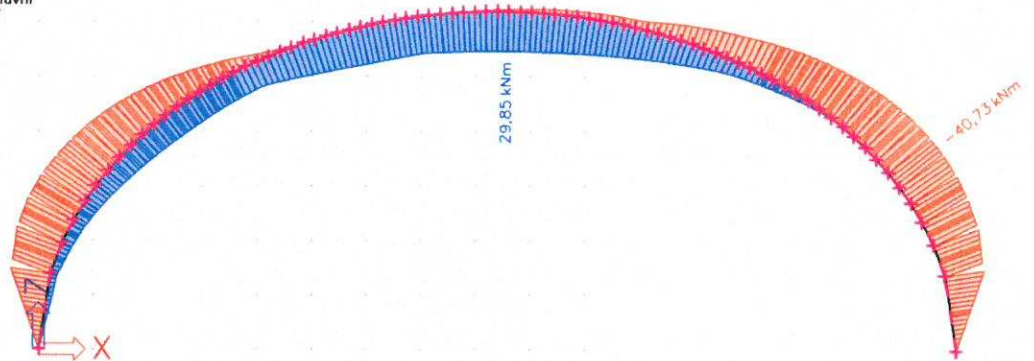
#### 1D vnitřní síly

Hodnoty: N  
Lineární výpočet  
Třída: Všechny MSU  
Souřadný systém: Hlavní  
Extrém 1D: Globální  
Výběr: B1..B80



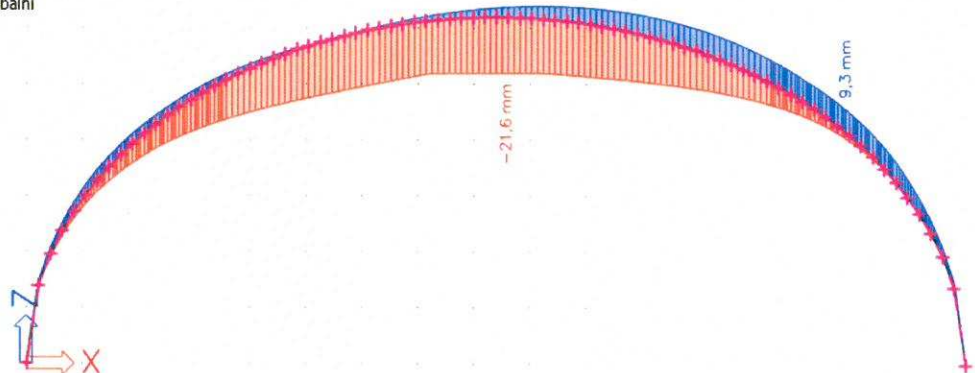
#### 1D vnitřní síly

Hodnoty:  $M_y$   
Lineární výpočet  
Třída: Všechny MSU  
Souřadný systém: Hlavní  
Extrém 1D: Globální  
Výběr: B1..B80



#### 1D deformace

Hodnoty:  $u_z$   
Lineární výpočet  
Třída: Všechny MSP  
Souřadný systém: Globální  
Extrém 1D: Globální  
Výběr: B1..B80



**1D deformace**Hodnoty:  $u_x$ 

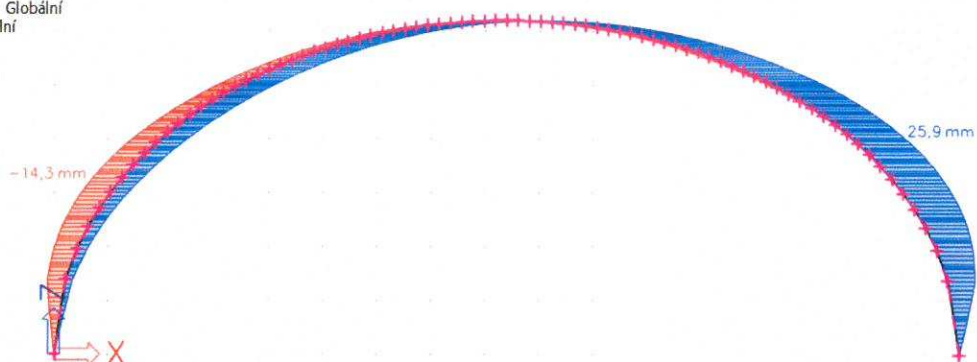
Lineární výpočet

Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1..B81

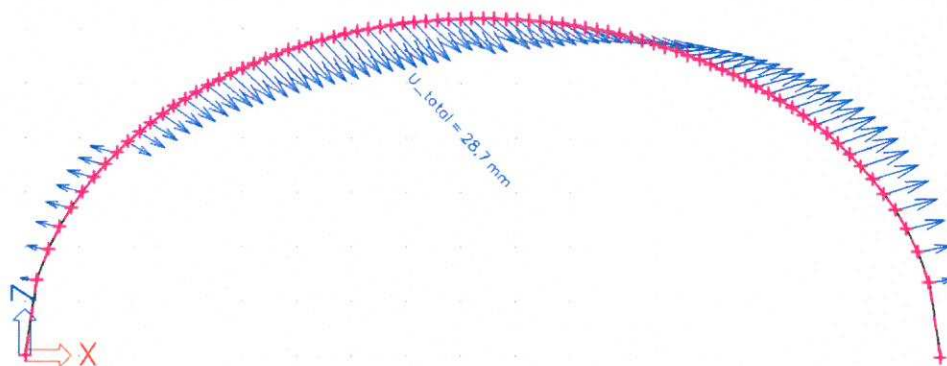
**Přemístění uzlů**Hodnoty:  $U_{total}$ 

Lineární výpočet

Třída: Všechny MSP

Extrém: Globální

Výběr: N1..N81

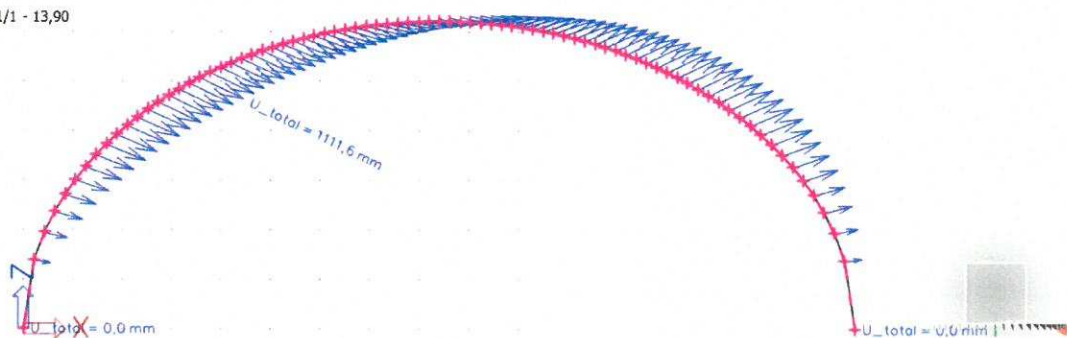
**Přemístění uzlů**Hodnoty:  $U_{total}$ 

Stabilitní výpočet. Tvary vybočení jsou normované tak, aby se maximální složka přemístění každého uzlu rovnala 1 m.

Stabilitní kombinace: S1/1 - 13,90

Extrém: Globální

Výběr: N1..N81



## Přemístění uzlů

Stabilitní výpočet. Tvary vybočení jsou normované tak, aby se maximální složka přemístění každého uzlu rovnala 1 m.

Stabilitní kombinace: S1/1 - 13,90

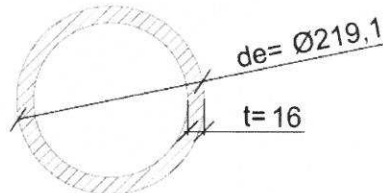
Extrém: Globální

Výběr: N1..N81

| Jméno | Stav         | $U_x$<br>[mm] | $U_z$<br>[mm] | $\Phi_y$<br>[mrad] | $U_{total}$<br>[mm] |
|-------|--------------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|
| N64   | S1/1 - 13,90 | <b>1000,0</b> | <b>-485,3</b> | 0,3                | <b>1111,6</b>       |
| N18   | S1/1 - 13,90 | 999,7         | <b>485,7</b>  | 0,6                | 1111,5              |
| N41   | S1/1 - 13,90 | 917,8         | 0,7           | <b>-150,8</b>      | 917,8               |
| N81   | S1/1 - 13,90 | <b>0,0</b>    | 0,0           | <b>291,9</b>       | 0,0                 |

## 5. Předběžný návrh a posouzení průřezu

### 5.1. Zatřídění průřezu



Pro ohýbaný průřez platí:

$$\frac{de}{t} \leq 50 \times \varepsilon^2$$

$$\frac{219,1}{16} \leq 50 \times 1,01^2 = 13,69 < 51$$

⇒ Třída průřezu 1

kde:

$$\varepsilon = \left( \frac{235}{f_y} \times \frac{E}{210\,000} \right)^{0,5} = \left( \frac{235}{220} \times \frac{200\,000}{220\,000} \right)^{0,5} = 1,01$$

### 5.2. Posouzení průřezu hlavního nosníku

**MSP:**

Svislý průhyb:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{300} \geq \delta_{max}$$

$$\delta_{lim} = \frac{16800}{300} = 56 \text{ mm} \geq \delta_{max} = 21,6 \text{ mm}$$

⇒ Vyhovuje

Vodorovný průhyb ve vrcholu:

$$\delta_{lim} = \frac{H_v}{300} \geq \delta_{max}$$

$$\delta_{lim,v} = \frac{6200}{300} = 20,67 \text{ mm} \geq \delta_{max,v} = 15,6 \text{ mm}$$

⇒ Vyhovuje

Vodorovný průhyb na polovině nosníku:

$$\delta_{lim,p} = \frac{L}{2} \cdot \frac{\rho}{300} \geq \delta_{max,p}$$

kde  $\frac{L}{2} \cdot \rho$  je délka křivky poloviny nosníku.

$$\delta_{lim,p} = \frac{11521}{300} = 38,4 \text{ mm} \geq \delta_{max,p} = 25,9 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

**MSÚ:**

Maximální vnitřní síly:

$$N_{ed,max} = -61,49 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = -54,52 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 40,43 \text{ kNm}$$

Prostý tlak:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{10209 \cdot 220 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 2041,8 \text{ kN} > N_{ed,max} = 61,49 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Prostý ohyb:

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{6,6136 \times 10^5 \cdot 220}{1,1} = 132,27 \text{ kNm} > M_{ed} = 40,43 \text{ kNm}$$

⇒ **Vyhovuje**

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení v rovině nosníku pomocí software:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + K_y \cdot \frac{M_{ed}}{W_{pl} \cdot f_y} \leq 1,0$$

Kritická délka tlačенého prutu:

$$\alpha_{cr} = 13,9$$

$$L_{cr} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{\alpha_{cr} \cdot N_{ed}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3 \cdot 5,297 \cdot 10^7}{13,9 \cdot 54 \cdot 520}} = 11,746 \text{ m}$$

Stanovení pružné kritické síly prutu:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 5,297 \cdot 10^7}{11 \cdot 746^2} \cdot 10^{-3} = 757,84 \text{ kN}$$



Stanovení poměrné štíhlosti prutu:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{10209 \cdot 220}{753,84 \cdot 10^3}} = 1,726$$

Pro stanovení součinitele vzpěrnosti uvažují součinitel imperfekce  $\alpha = 0,49$  a  $\bar{\lambda}_0 = 0,2$  [JANDERA, Michal, ŽIDLICKÝ, Břetislav a ŠORF Marek. *Příručka pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli*, 4. vydání - tabulka 6.1] - pro rovinný vzpěr austenitických a austeniticko-feritických ocelí a pro kruhové průřezy za studena tvarované.

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,49(1,726 - 0,2) + 1,726^2) = 2,363$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} = \frac{1}{2,363 + [2,363^2 - 1,726^2]^{0,5}} = 0,2515$$

Součinitel interakce pro kruhové uzavřené průřezy:

$$k_y = 1 + D_1(\bar{\lambda}_y - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}},$$

kde  $D_1 = 2,5$ ,  $D_2 = 0,3$ ,  $D_3 = 1,3$  [JANDERA, Michal, ŽIDLICKÝ, Břetislav a ŠORF Marek. *Příručka pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli*, 4. vydání - tabulka 6.6] – pro austenitické trubky kruhového průřezu.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{0,2515 \cdot 10209 \cdot 220 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 513,51 \text{ kN}$$

$$k_y = 1 + 2,5(1,726 - 0,3) \frac{54,52}{513,51} \leq 1 + 2,5(1,3 - 0,3) \frac{54,52}{513,51}$$

$$k_y = 1,378 \leq 1,235$$

$$\Rightarrow \underline{k_y = 1,235}$$

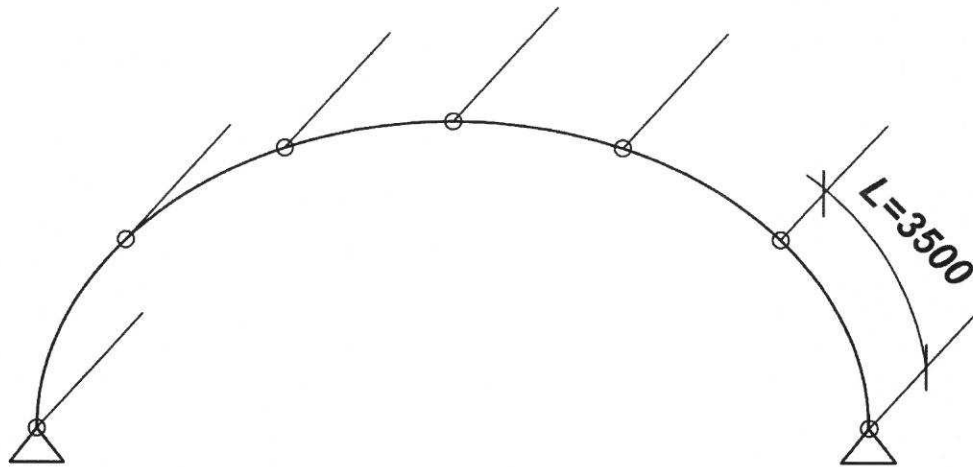
$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + K_y \cdot \frac{M_{ed}}{W_{pl} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{54,53}{0,2515 \cdot 10209 \cdot 220 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} + 1,235 \cdot \frac{40,43}{6,6136 \cdot 10^5 \cdot 220 \cdot 10^{-6} \cdot 1,1} \leq 1,0$$

$$0,106 + 0,378 = 0,484 \leq 1,0$$

$$\Rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení z roviny nosníku – ruční výpočet:



Obr. 5.1 – Schéma pro vybočení z roviny

$$L_{cr,z} = L = 3500 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \pi \sqrt{\frac{200000}{220}} = 94,72$$

Stanovení poměrné štíhlosti:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3500}{72} * \frac{1}{94,72} = 0,513$$

⇒ Křivka vzpěrné pevnosti pro bezešvé uzavřené trubky:  $\chi_z = 0,85$

Součinitel interakce pro kruhové uzavřené průřezy:

$$k_z = 1 + D_1(\bar{\lambda}_z - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}}$$

$$k_z = 1 + 2,5(0,513 - 0,3) \frac{54,52}{513,51} \leq 1 + 2,5(1,3 - 0,3) \frac{54,52}{513,51}$$

$$k_z = 1,056 \leq 1,265$$

⇒  **$k_z = 1,056$**

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * A * f_y} + K_z * \frac{M_{ed}}{W_{pl} * f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{54,53}{0,85 * 10209 * 220 * 10^{-3} * 1,1} + 1,056 * \frac{40,43}{6,6136 * 10^5 * 220 * 10^{-6} * 1,1} \leq 1,0$$

$$0,0314 + 0,323 = 0,354 \leq 1,0$$

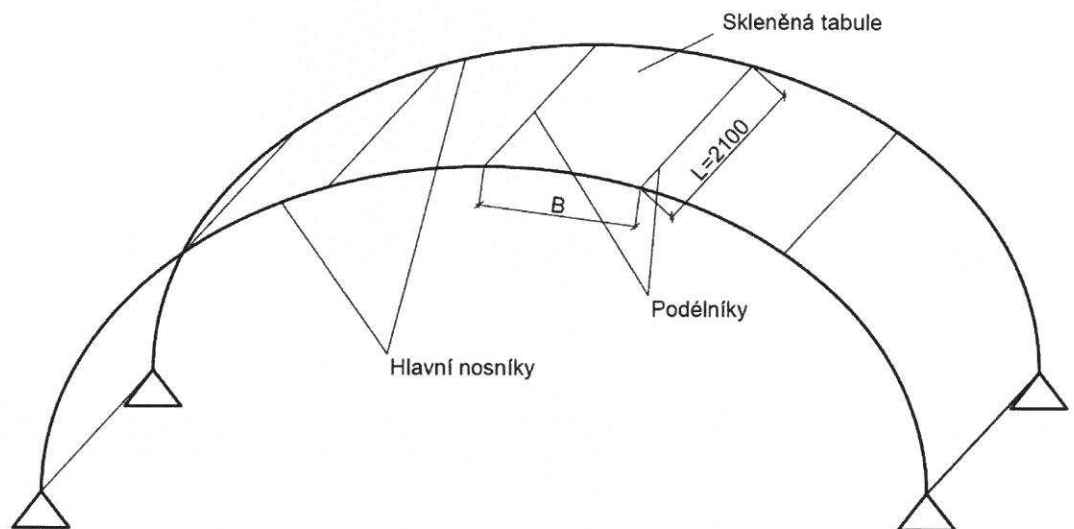
⇒ **Vyhovuje**

## 6. Předběžný návrh zasklení

Bude proveden předběžný návrh zasklení vestibulu stanice metra. Posouzení provedeno dle zásad evropských norem ČSN EN a prEN 16612 a také pomocí numerického modelu RFEM 5 (modul RF Glass) od Ing. Software Dlubal.

### 6.1. Konstrukční řešení

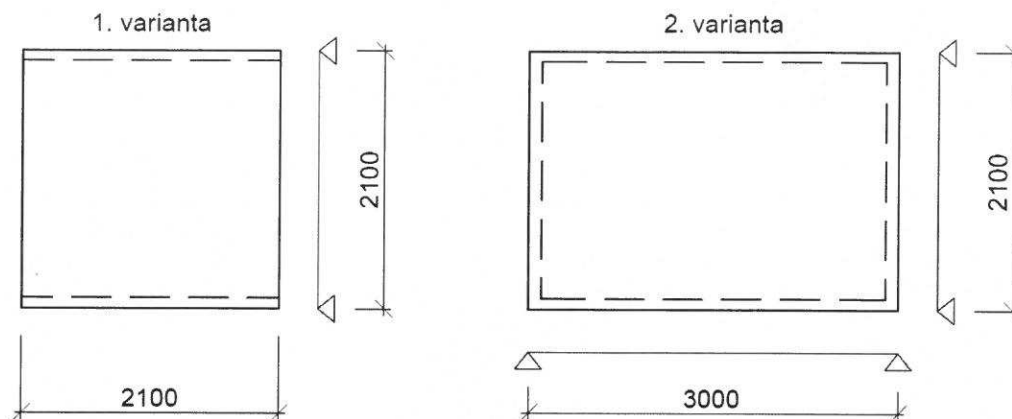
Zasklení se realizuje pomocí desek z vrstveného skla. Ze statického hlediska budu uvažovat dvě varianty podepření. V prvním případě půjde o prosté uložení desky na dvou protějších stranách. Druhá varianta bude deska po obvodě podepřená, kdy jako podpory využiji podélníky. Na závěr budou obě varianty porovnány a bude vybrána příznivější varianta, vzhledem ke konstrukčním požadavkům konstrukce. Uložení desek je řešeno pomocí lepeného spoje, který zajišťuje spolehlivý přenos sil a zároveň brání přímému kontaktu mezi sklem a ocelí. Spáry mezi tabulemi se vyplní strukturálním silikonem.



Obr. 6.1 – Zjednodušené axonometrické schéma zasklení



Obr. 6.2 – Příčný řez skleněnou tabulí



Obr. 6.3 – varianty podepření

## 6.2. Zatížení skla

- 1) ZS1 - Zatížení vlastní tíhou
- 2) ZS2 - Zatížení sněhem – Budu uvažovat nejnepříznivější konstantní plošné zatížení sněhovou návějí  $S_k = 1,4 \text{ kN/m}^2$ .
- 3) ZS3 - Zatížení kladným větrem  $V_{kk} = 0,402 \text{ kN/m}^2$ .
- 4) ZS4 - Zatížení záporným větrem – беру jako součet největšího vnitřního a vnějšího tlaku větru na skleněnou tabuli  $V_{kz} = -0,792 - 0,4165 = -1,2085 \text{ kN/m}^2$
- 5) ZS5 - Zatížení provozní – Zatížení od lokálního břemene o hodnotě  $Q_k = 2 \text{ kN}$ , které působí na ploše  $50 \times 50 \text{ mm}$ , toto zatížení umístím do středu tabule tak, aby vyvolalo maximální účinek.

## 6.3. Kombinace zatěžovacích stavů pro skleněné tabule

### MSÚ:

- 1)  $KZS1 - ZS1 * \gamma G^a + ZS2 * \gamma Q^a + ZS3 * \gamma Q^a * \psi_1$
- 2)  $KZS2 - ZS1 * \gamma G^a + ZS4 * \gamma Q^a$
- 3)  $KZS3 - ZS1 * \gamma G^a + ZS5 * \gamma Q^a$

Kombinační součinitel pro klimatické zatížení  $\psi_1 = 0,3$

**MSP:** Tytéž zatěžovací stavy, jen součinitele spolehlivosti = 1,0.

Jelikož vlastnosti fólie SenrtyGlas SGP 5000, stejně jako ostatních fólií, jsou velmi odlišné při různých teplotách a délce trvání zatížení, především pak modulu pružnosti a smykového modulu, pro každou kombinaci použiji různé hodnoty výpočtových parametrů této mezivrstvy a to:

- 1) Pro KZS1 SenrtyGlas SGP 5000 do  $0^\circ\text{C}$  ( $E = 178,8 \text{ MPa}$ ,  $G = 60 \text{ MPa}$ )
- 2) Pro KZS2 SenrtyGlas SGP 5000 do  $22^\circ\text{C}$  ( $E = 298 \text{ MPa}$ ,  $G = 100 \text{ MPa}$ )
- 3) Pro KZS3 SenrtyGlas SGP 5000 do  $50^\circ\text{C}$  ( $E = 11,92 \text{ MPa}$ ,  $G = 4 \text{ MPa}$ )

## 6.4. Stanovení návrhové pevnosti skla

Charakteristická pevnost plaveného skla:  $f_{g,k} = 45 \text{ MPa}$

Charakteristická pevnost tepelně zpevněného skla:  $f_{b,k} = 70 \text{ MPa}$

$$f_{g,d} = \frac{k_{mod} * k_{sp} * f_{g,k}}{\gamma_{M,A}} + \frac{k_v * (f_{b,k} - f_{g,k})}{\gamma_{M,v}}$$

Kde modifikační součinitel  $K_{mod} = 0,45$  (dle prEN 16612 2017-08), který zohledňuje délku trvání dominantního zatížení, v tomto případě půjde pravděpodobně o zatížení sněhem.

Součinitel materiálu pro plavené sklo  $\gamma_{M,A} = 1,8$

Součinitel materiálu pro tepelně upravené sklo  $\gamma_{M,v} = 1,2 - 1,5$ , jelikož skladba obsahuje sklo s pevností 70 MPa, beru střední hranici  $\gamma_{M,v} = 1,35$

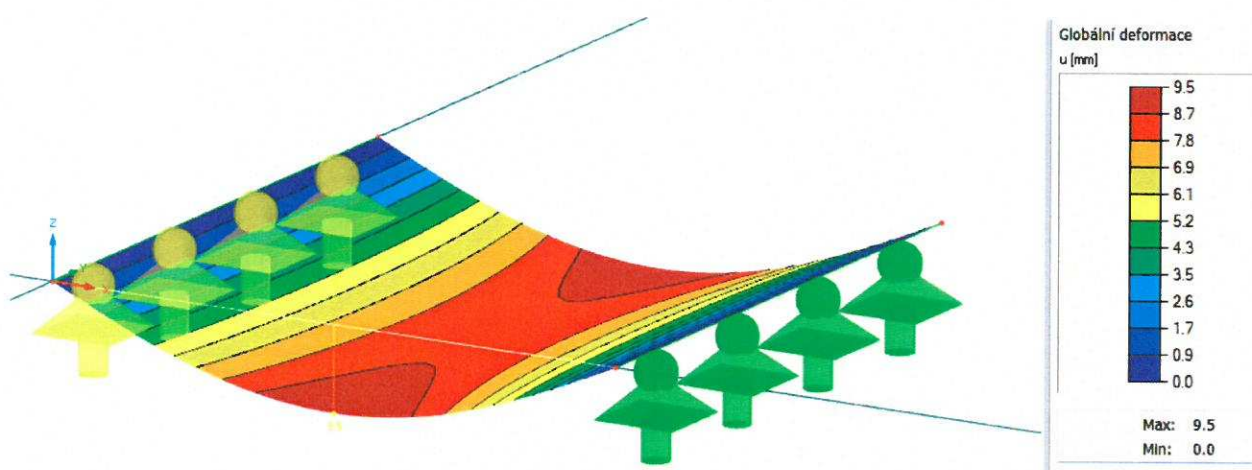
Součinitel zohledňující polohu při výrobě  $k_v = 1,0$

Součinitel zohledňující povrchovou úpravu skla – bez úpravy  $k_{sp} = 1,0$

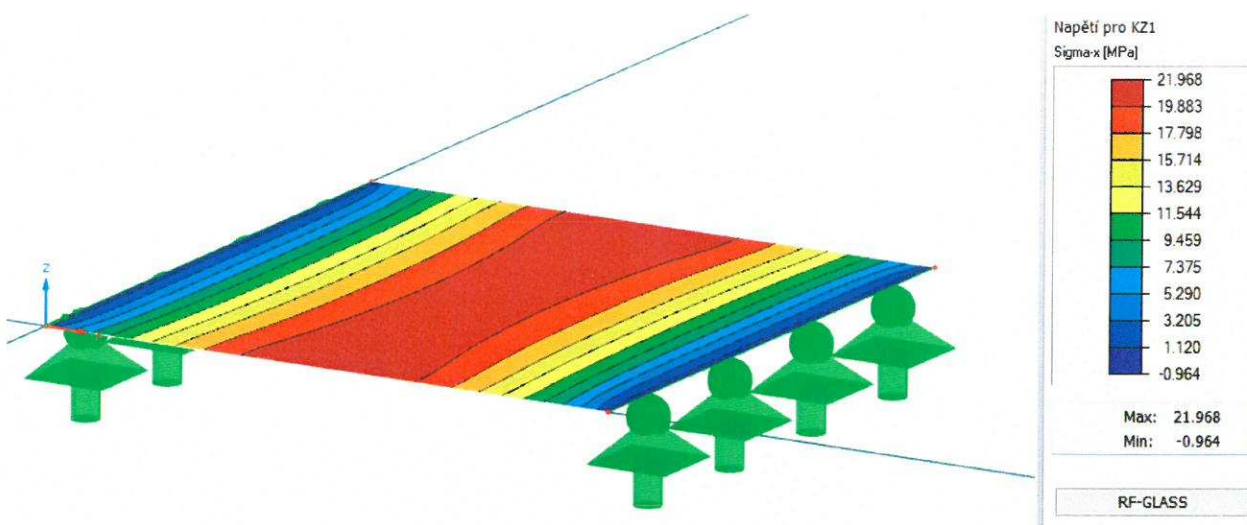
$$f_{g,d} = \frac{0,45 * 1,0 * 45}{1,8} + \frac{1,0 * (70 - 45)}{1,35} = 29,765 \text{ MPa}$$

## 6.5. Numerický model RFEM 5

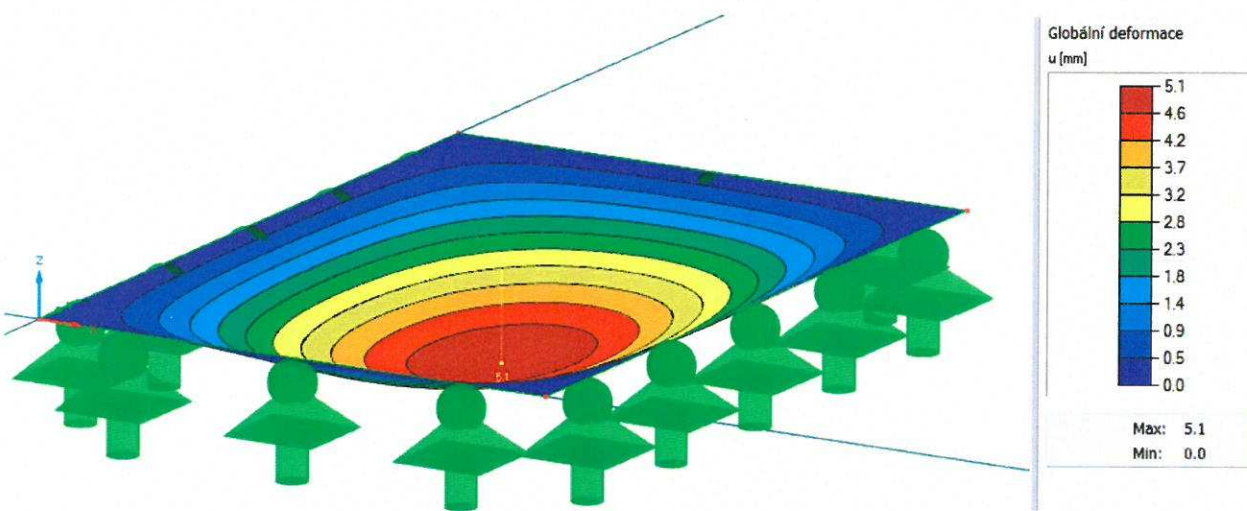
Rozhodující pro posouzení je zatížení sněhem v kombinaci s kladným větrem s výsledky:



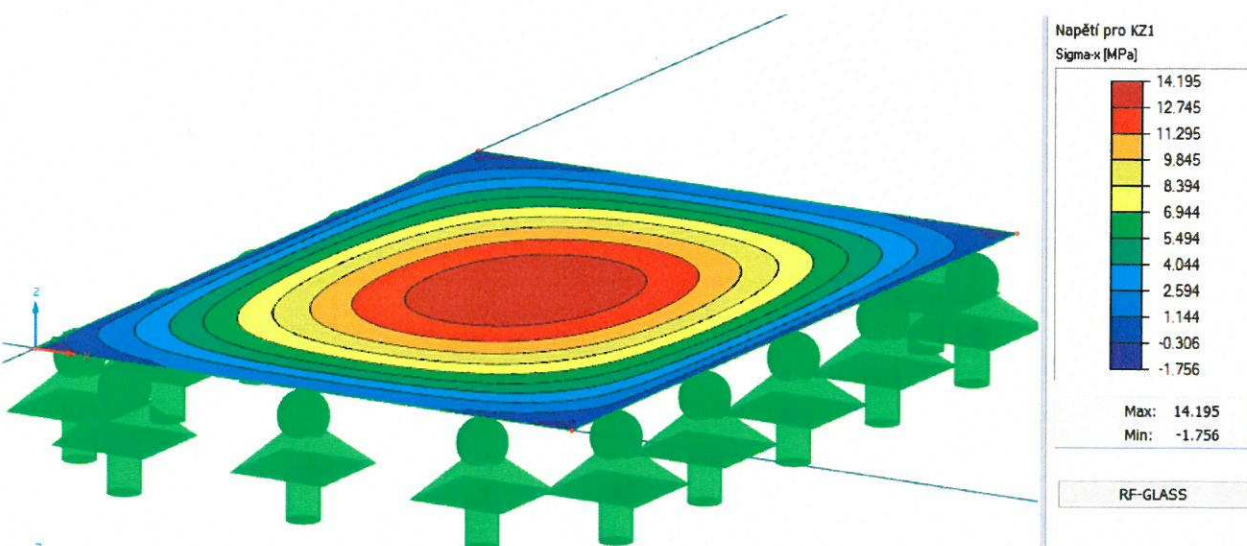
Obr. 6.4 – 1.varianta – max. Uz (1.KZS)



Obr. 6.5 – 1.varianta –  $\sigma_{max}$  (1.KZS)



Obr. 6.6 – 2.varianta –  $U_z$  (1.KZS)



Obr. 6.7 – 2.varianta –  $\sigma_{max}$  (1.KZS)

## 6.6. Posouzení

**MSP - průhyb:**

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{200} = 10,5 \text{ mm} \geq \delta_{\text{max}} = 9,5 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

**MSÚ - Napětí:**

$$f_{g,d} = 29,765 \text{ MPa} \geq \sigma_{\text{max}} = 21,97 \text{ MPa}$$

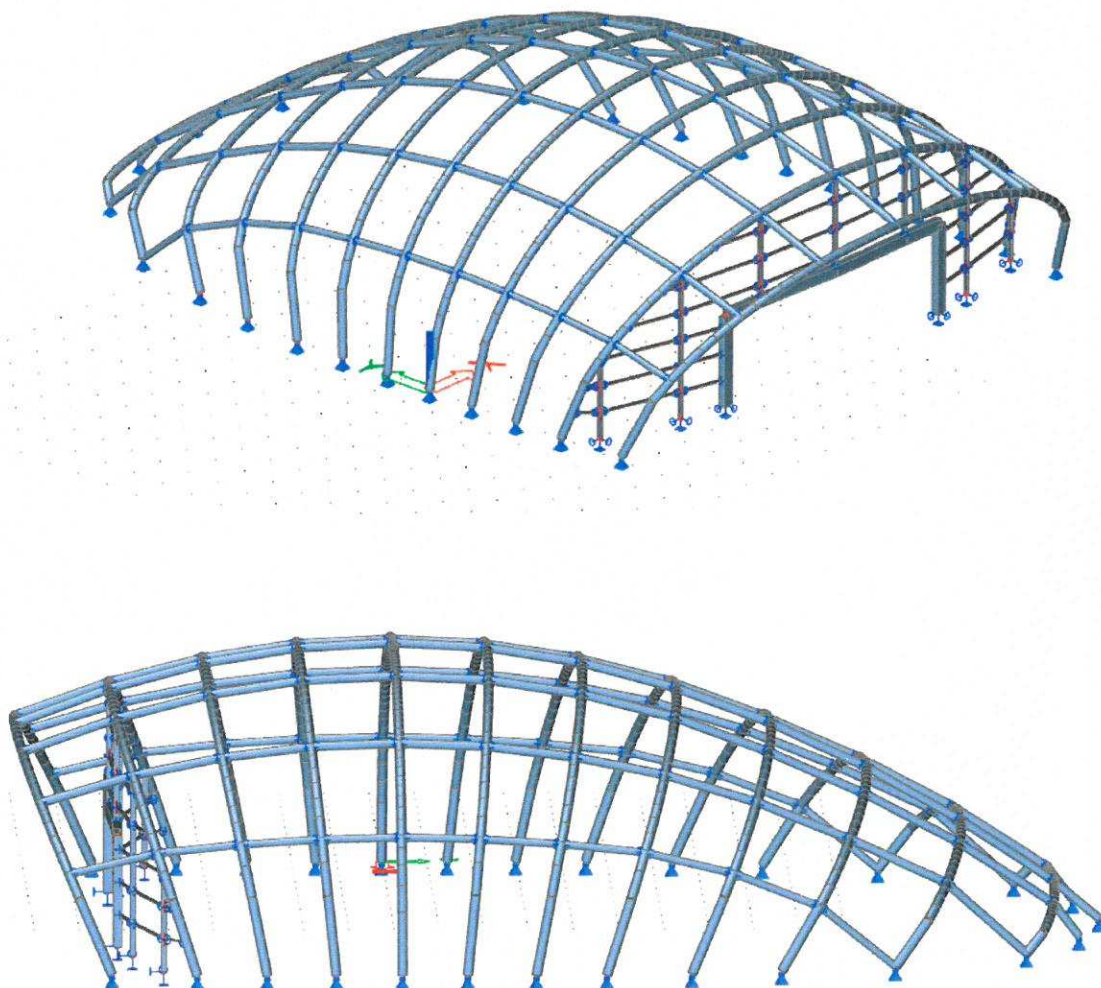
⇒ **Vyhovuje**

Jelikož požadavkům vyhovuje jednodušší varianta na provádění, tj. prosté uložení desek po dvou stranách, vybírám tuto variantu.

## 7. 3D model vestibulu metra

Konstrukce vestibulu se skládá z příčných obloukových žebér kruhového průřezu, které jsou vůči sobě vždy a určitý úhel pootočený. Úhel pootočení je vždy takový, aby kopíroval tvar anuloidu. V podélném směru zajišťuje stabilitu systém prutů rovněž kruhového průřezu. Dále se v konstrukci nachází vstupní portál, jehož sloupky jsou ze svařovaných H nosníků a příčle bude ze svařence je tvaru písmene  $\pi$ . Vstupní portál dále tvoří sloupky obdélníkového průřezu z korozivzdorné oceli a příčné pruty z broušených plechů tvořící žaluzie, ze stejného materiálu.

Nejdůležitější část návrhu konstrukce vestibulu metra je napojení vstupního portálu na hlavní obloukovou konstrukci. V prvním případě budu uvažovat konstrukci přímo napojenou, tj. přímo se podílející na nosné funkci konstrukce. Svislé sloupky budou spojeny s obloukem P2 a portál bude půdorysně zahnut do oblouku. Ve druhé variantě budu uvažovat samostatnou nosnou funkci portálu. Ten se bude skládat ze samostatného obloukového nosníku, který bude s hlavní nosnou konstrukcí spojen pouze za účelem zajištění podélné stability portálu. V tomto případě nebude portál nijak zakroucen a jeho rovina bude rovnoběžná se svislou rovinou největšího hlavního nosníku P5.



Obr. 7.1 – 1. varianta - axonometrie



**Vnitřní síly k první variantě:****1D vnitřní síly**Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

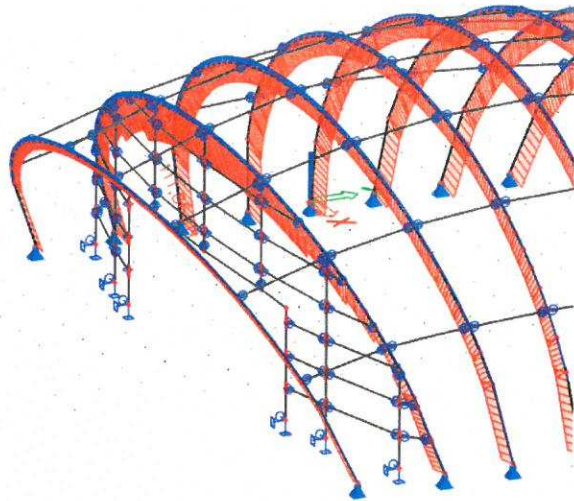
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS1 - CHS219.1/16.0



$$N_{\max} = 111,6 \text{ kN}$$

**1D vnitřní síly**Hodnoty: **M<sub>y</sub>**

Lineární výpočet

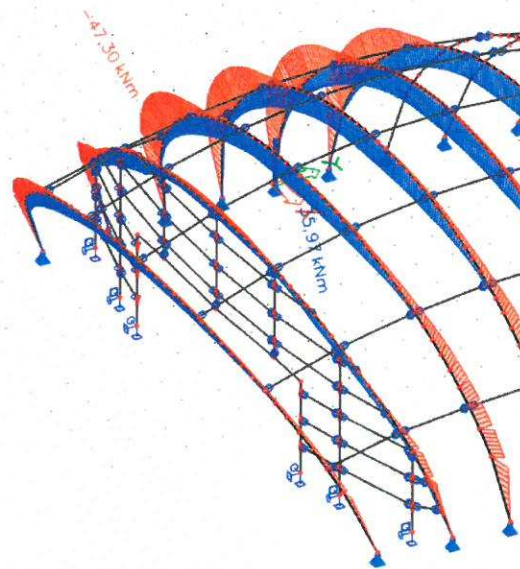
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B41..B80, B426..B450,  
B1297..B1321, B1347..B1371,  
B1397..B1421, B1427..B1431,

Filtr: Průřez = CS1 - CHS219.1/16.0

**1D vnitřní síly**Hodnoty: **M<sub>y</sub>**

Lineární výpočet

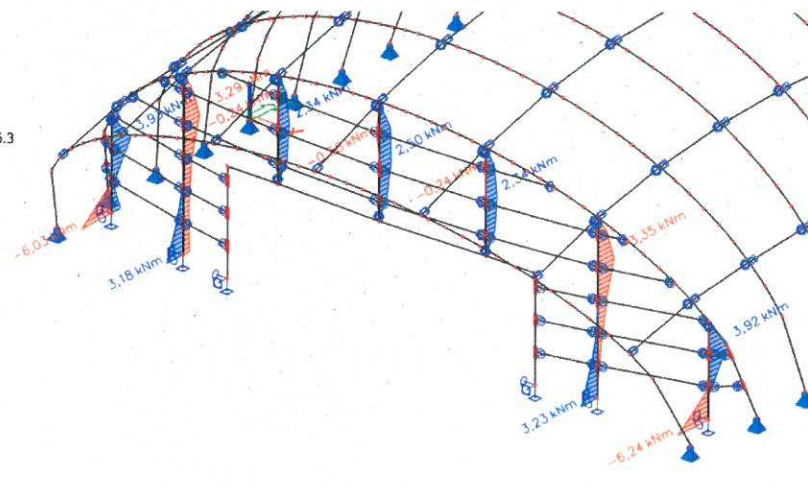
Třída: Všechny MSU

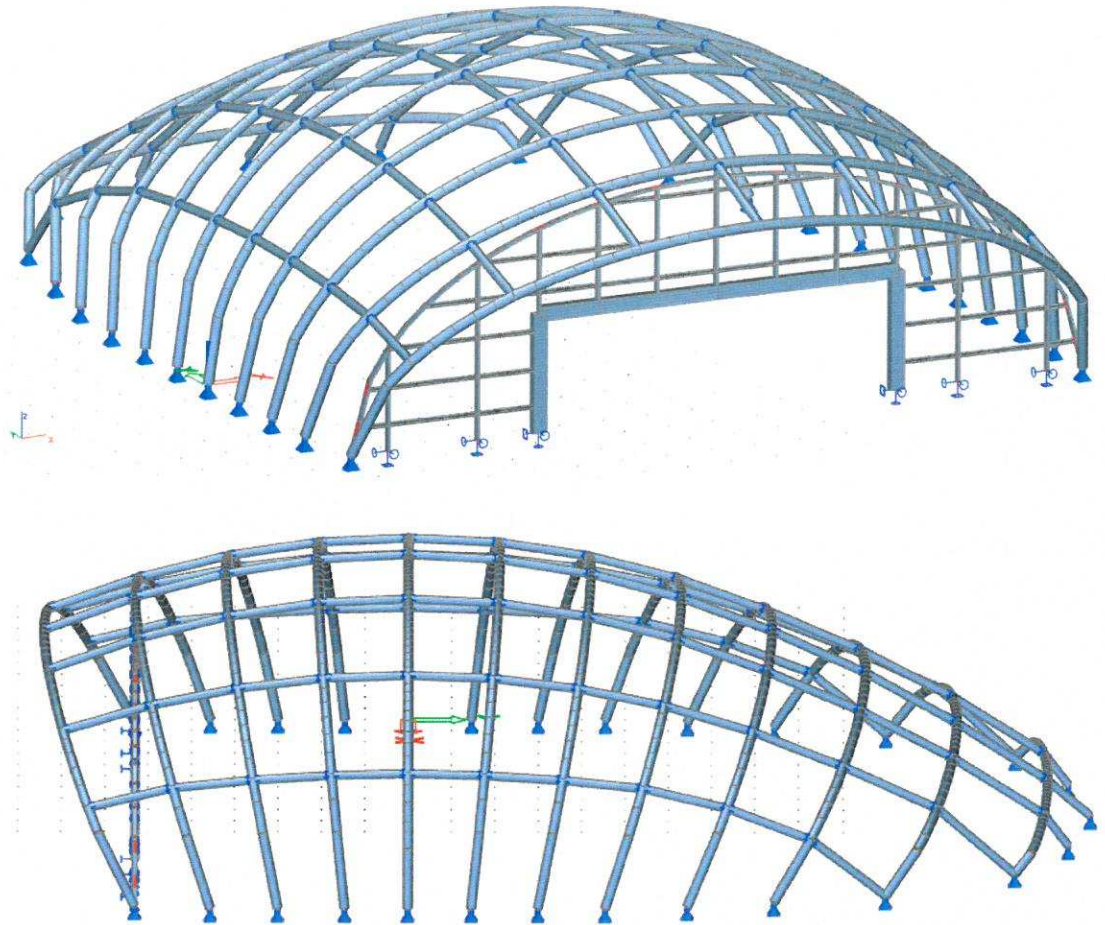
Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS6 - RHS120/60/6.3

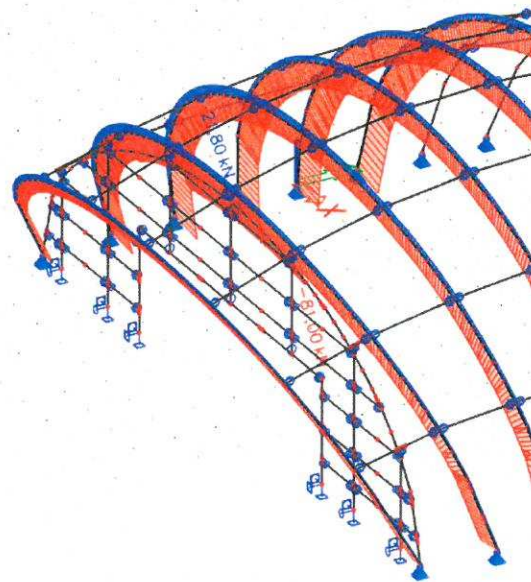




Obr. 7.2 – 2. varianta – axonometrie

**Vnitřní síly k druhé variantě:**

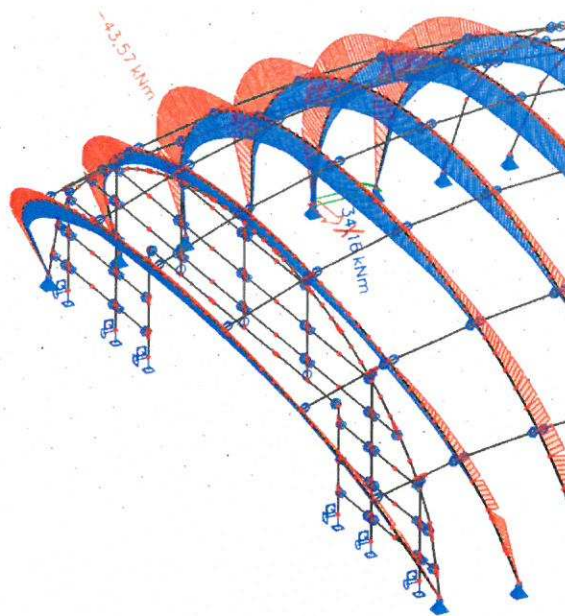
**1D vnitřní síly**  
 Hodnoty: N  
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: Vše  
 Filtr: Průřez = CS1 - CHS219.1/16.0



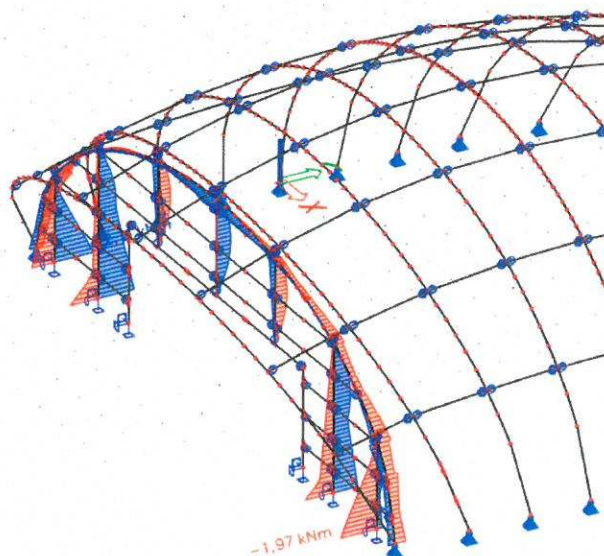
$$N_{\max} = 81,0 \text{ kN}$$

**1D vnitřní síly**

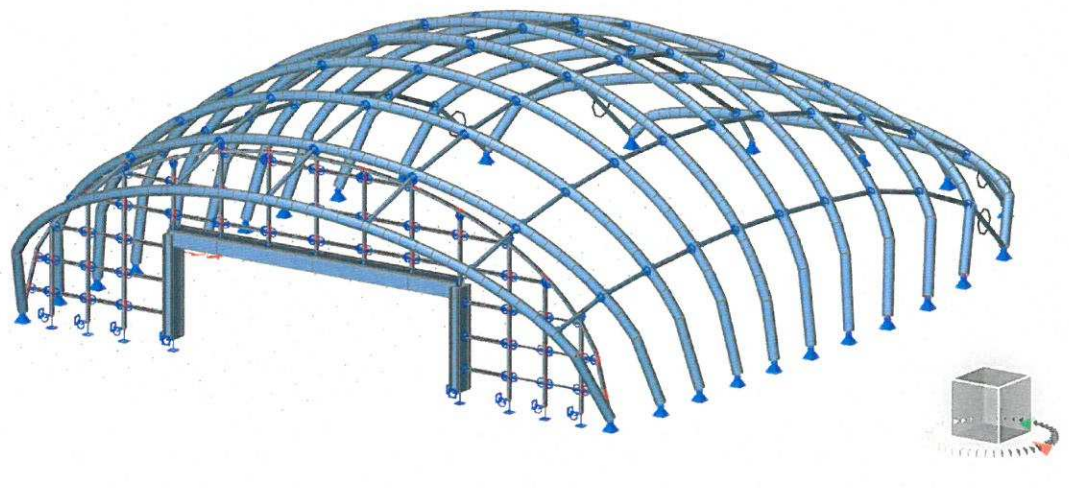
Hodnoty:  $M_y$   
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: Vše  
 Filtr: Průřez = CS1 - CHS219.1/16.0

**1D vnitřní síly**

Hodnoty:  $M_y$   
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: Vše  
 Filtr: Průřez = CS6 - RHS120/60/6.3



Z hlediska rozložení vnitřních sil vychází lépe druhá varianta – vytvoření samostatného obloukového nosníku pro vstupní portál. To umožňuje přidat další sloupky pro snížení rozpětí žaluzií. Tato varianta je výhodná také z hlediska opláštění sklem, kdy bude možno využít rovné tabule skla. Z hlediska výroby bude druhá varianta náročnější na provedení, nicméně v dalším postupu bude zpracována druhá varianta provedení vstupního portálu.



Obr. 7.3 – Finální podoba 3D modelu

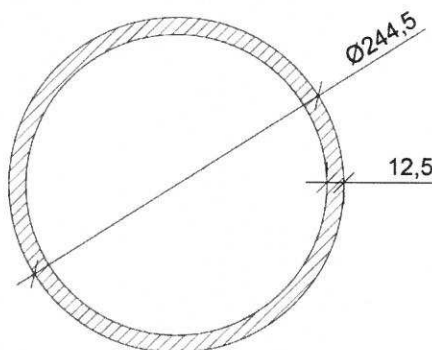
## 8. Posouzení hlavních konstrukčních prvků

Vzhledem ke tvaru konstrukce a výsledku vnitřních sil provedu určitou optimalizaci návrhu. U zadních nosníků vychází menší vnitřní síly, proto u této poloviny konstrukce budu zmenšovat odpovídajícím způsobem průřez. Lze předpokládat, že konstrukci by šlo optimalizovat i podrobněji, vedlo by to ovšem na stejný postup posuzování, takže optimalizaci provedu pouze jednou.

### 8.1. Hlavní obloukové nosníky P1, P2, P3, P4, P5, P6

Na základě výsledků z předběžného návrhu průřezu budu upravovat průřez hlavního nosníku. V tomto posouzení vyšlo najevo, že rozhodující namáhání bude ohybový moment, proto hledám průřez s větším průřezovým modulem. Naopak využití únosnosti průřezu normálovou silou je malé, což dovoluje snížit průřezovou plochu, čímž se také sníží hmotnost a pravděpodobně i velikost průhybu konstrukce. V případě potřeby je možné snadno měnit tloušťku stěny u odlišně namáhaných nosníků, což by bylo u předchozího případu problematické.

**Nový návrh:**



Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu

$$A = 9110 \text{ mm}^2$$

Vzdálenost těžiště od dolních vláken průřezu

$$z_T = e_d = 122,25 \text{ mm}$$

Vzdálenost těžiště od horních vláken průřezu

$$z_T = e_h = 122,25 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti vzhledem k ose y (=z)

$$I_{y=z} = 6,147 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

Plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 6,6283 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Poloměr setrvačnosti

$$i_{y=z} = 82 \text{ mm}$$

Materiál:

$$1.4404$$

**Zatřídění průřezu:**

- Pro ohýbaný průřez platí:

$$\frac{de}{t} \leq 50 \times \varepsilon^2$$

$$\frac{244,5}{12,5} \leq 50 \times 1,01^2 = 19,56 < 51$$

⇒ **Třída průřezu 1**

kde:

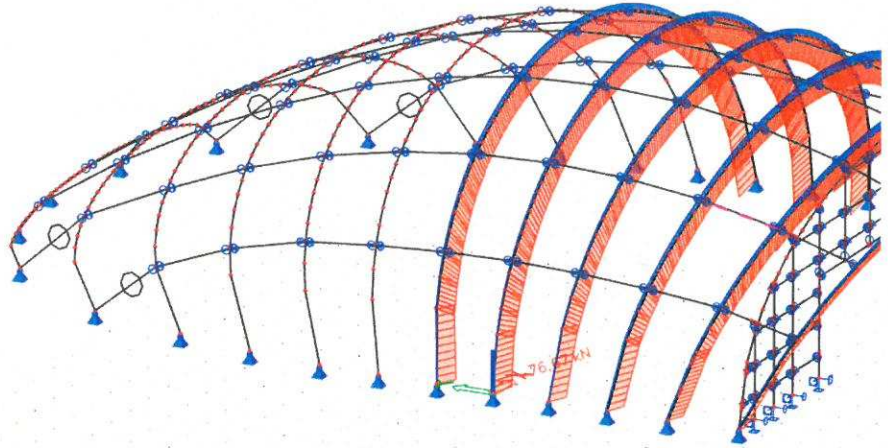
$$\varepsilon = \left( \frac{235}{f_y} \times \frac{E}{210\,000} \right)^{0,5} = \left( \frac{235}{220} \times \frac{200\,000}{220\,000} \right)^{0,5} = 1,01$$

**MSÚ:**

Rozhodující vnitřní síly v extrémně zatížených místech:

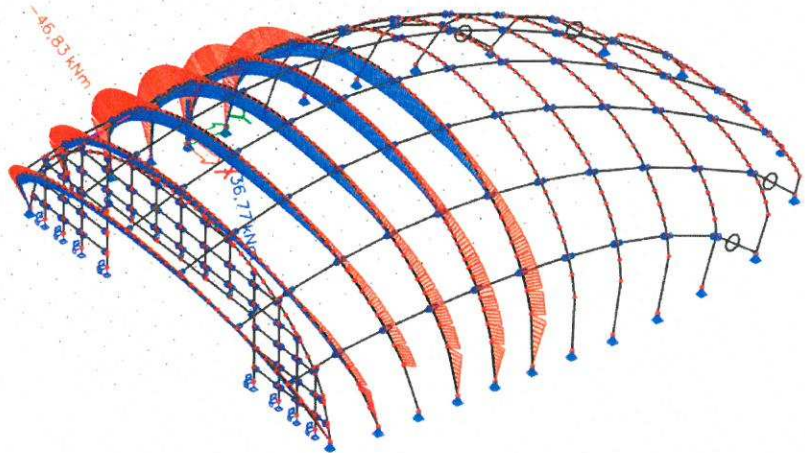
**1D vnitřní síly**

Hodnoty: **N**  
Lineární výpočet  
Třída: Všechny MSU  
Souřadný systém: Hlavní  
Extrém 1D: Globální  
Výběr: Vše  
Filtr: Průřez = CS1 - CHS244.5/12.5



**1D vnitřní síly**

Hodnoty: **M<sub>y</sub>**  
Lineární výpočet  
Třída: Všechny MSU  
Souřadný systém: Hlavní  
Extrém 1D: Globální  
Výběr: Vše  
Filtr: Průřez = CS1 - CHS244.5/12.5



Jako rozhodující návrhovou kombinaci beru:

$$N_{ed} = -76,69 \text{ kN}$$

$$M_{ed,y} = 46,83 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,z} = 24,01 \text{ kNm}$$

$$V_{ed,z} = 26,54 \text{ kN}$$

Smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\sqrt{3} \gamma_{m,0}} \geq V_{ed,z}$$

$A_v$  je smyková plocha a pro kruhové průřezy s konstantní tloušťkou stěny se stanoví jako:

$$A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 * 9110}{\pi} = 5799,6 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{5799,6 * 220}{\sqrt{3} * 1,1} = 669,7 \text{ kN} \geq V_{ed,z} = 26,54 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Jelikož  $0,5 * V_{pl,Rd} \geq V_{ed,z}$ , jde o malý smyk => není třeba posuzovat interakci ohybového momentu a smyku.

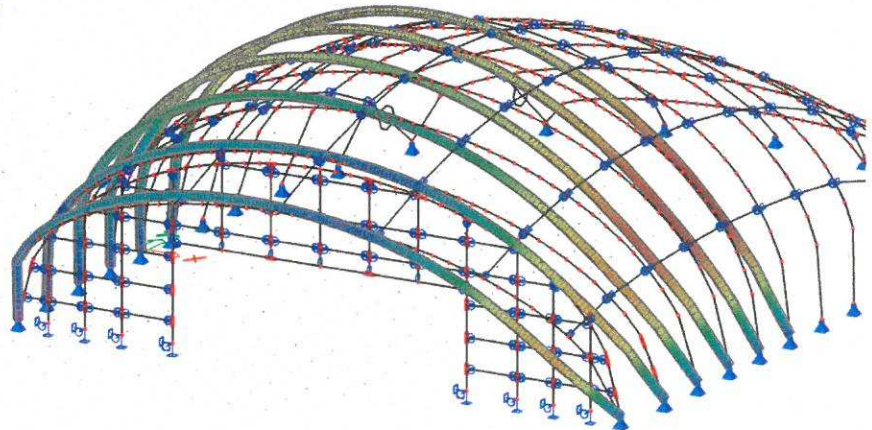
Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení v rovině nosníku pomocí software:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * A * f_y \gamma_{m,0}} + K_y * \frac{M_{ed,y}}{W_{pl,y} * f_y \gamma_{m,0}} + K_z * \frac{M_{ed,z}}{W_{pl,z} * f_y \gamma_{m,0}} \leq 1,0$$

Kritická délka tláčeného prutu:

#### 3D přemístění

Hodnoty:  $U_{total}$   
Stabilitní výpočet. Tvary vybočení jsou normované tak, aby se maximální složka přemístění každého uzlu rovnala 1 m.  
Stabilitní kombinace: S6/2 - 14,38  
Výběr: Vše  
Filtr: Průřez = CS1 - CHS244.5/12.5  
Polooha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: Globální



$$\alpha_{cr} = 14,38 \text{ (dle rozhodující kombinace zatížení)}$$

$$L_{cr} = \pi * \sqrt{\frac{E * I_y}{\alpha_{cr} * N_{ed}}} = \pi * \sqrt{\frac{200 * 10^9 * 6,147 * 10^{-5}}{14,38 * 76\,690}} = 10,49 \text{ m}$$

Stanovení pružné kritické síly prutu:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 200 * 10^9 * 6,147 * 10^{-5}}{10,49^2} = 1102,66 \text{ kN}$$

Stanovení poměrné štíhlosti prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9110 * 220}{1102,66 * 10^3}} = 1,348$$

Pro stanovení součinitele vzpěrnosti uvažují součinitel imperfekce  $\alpha = 0,49$  a  $\bar{\lambda}_0 = 0,2$  (viz předběžné posouzení – str. 34)

$$\phi = 0,5 * (1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_y^2) = 0,5 * (1 + 0,49(1,348 - 0,2) + 1,348^2) = 1,68$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}_y^{-2}]^{0,5}} = \frac{1}{1,68 + [1,68^2 - 1,348^2]^{0,5}} = 0,372$$

Součinitele interakce pro kruhové uzavřené průřezy:

$$k_y = 1 + D_1(\bar{\lambda}_y - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}},$$

kde  $D_1 = 2,5$ ,  $D_2 = 0,3$ ,  $D_3 = 1,3$  (viz předběžné posouzení – str. 34)

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{0,372 * 9110 * 220 * 10^{-3}}{1,1} = 674,14 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z * A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{0,88 * 9110 * 220 * 10^{-3}}{1,1} = 1603 \text{ kN}$$

$$k_y = 1 + 2,5(1,342 - 0,3) \frac{76,89}{674,14} \leq 1 + 2,5(1,3 - 0,3) \frac{76,89}{674,14}$$

$$k_y = 1,297 \leq 1,285$$

$$\Rightarrow \underline{\mathbf{k_y = 1,285}}$$

$$k_z = 1 + D_1(\bar{\lambda}_z - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}}$$

$\bar{\lambda}_z$  a  $\chi_z$  - viz následující strana

$$k_z = 1 + 2,5(0,45 - 0,3) \frac{76,89}{674,14} \leq 1 + 2,5(1,3 - 0,3) \frac{76,89}{674,14}$$

$$k_z = 1,043 \leq 1,28$$

$$\Rightarrow \underline{\mathbf{k_z = 1,043}}$$

$$\frac{76,69}{0,372 * 9110 * 220 * 10^{-3} * 1,1} + 1,285 * \frac{46,83}{6,6283 * 10^5 * 220 * 10^{-6} * 1,1} +$$

$$+ 1,043 * \frac{24,01}{6,6283 * 10^5 * 220 * 10^{-6} * 1,1} \leq 1,0$$



$$0,114 + 0,454 + 0,189 = 0,757 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení v rovině nosníku bez součinitelů:

$$\frac{N_{ed}}{A * f_y} + \frac{M_{ed,y}}{W_{pl} * f_y} + \frac{M_{ed,z}}{W_{pl} * f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{76,69}{9110 * 220 * 10^{-3} * 1,1} + \frac{46,83}{6,6283 * 10^5 * 220 * 10^{-6} * 1,1} + \frac{24,01}{6,6283 * 10^5 * 220 * 10^{-6} * 1,1} \leq 1,0$$

$$0,043 + 0,3534 + 0,181 = 0,577 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení z roviny nosníku:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * A * f_y} + K_y * \frac{M_{ed,y}}{W_{pl} * f_y} + K_z * \frac{M_{ed,z}}{W_{pl} * f_y} \leq 1,0$$

$$L_{cr,z} = L = 3500 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \pi \sqrt{\frac{200000}{220}} = 94,72$$

Stanovení poměrné štíhlosti:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3500}{82} * \frac{1}{94,72} = 0,45$$

⇒ Křivka vzpěrné pevnosti pro bezešvé uzavřené trubky:  $\chi_z = 0,88$

$$\frac{76,89}{0,88 * 9110 * 220 * 10^{-3} * 1,1} + 1,285 * \frac{46,85}{6,6283 * 10^5 * 220 * 10^{-6} * 1,1} + 1,043 * \frac{24,01}{6,6283 * 10^5 * 220 * 10^{-6} * 1,1} \leq 1,0$$

$$0,048 + 0,454 + 0,189 = 0,691 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

**MSP:**

Protože ve 3D modelu jsou konstrukční prvky modelovány s konstrukční ocelí S235, pro mezní stav použitelnosti použiji hodnoty průhybů ze softwaru násobené poměrem modulu pružnosti pro konstrukční ocel a sečnového modulu pružnosti pro ocel korozivzdornou. Sečnový modul pružnosti se mění v závislosti na velikosti napětí v prutu a stanoví se následovně:

$$E_s = \frac{(E_{s1} + E_{s2})}{2}$$

kde:

$E_{s1}$  = Sečnový modul pružnosti pro napětí v tažené části průřezu

$E_{s2}$  = Sečnový modul pružnosti pro napětí v tlačené části průřezu

Sečnový modul pružnosti v tahu:

$$E_{s1} = \frac{E}{1 + 0,002 * \frac{E}{\sigma_{1,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{1,Ed,ser}}{f_y} \right)^n}$$

$$\sigma_{1,Ed,ser} = 63,2 \text{ MPa}$$

- návrhové tahové napětí pro MSP

$$n = 7$$

- pro austenitickou ocel

$$E = 200 \text{ MPa}$$

- pro korozivzdornou ocel

$$E_{s1} = \frac{200 * 10^3}{1 + 0,002 * \frac{200 * 10^3}{63,2} \left( \frac{63,2}{220} \right)^7} = 199,6 \text{ GPa}$$

Sečnový modul pružnosti v tlaku:

$$E_{s2} = \frac{E}{1 + 0,002 * \frac{E}{\sigma_{2,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{2,Ed,ser}}{f_y} \right)^n}$$

$$\sigma_{2,Ed,ser} = 71,6 \text{ MPa}$$

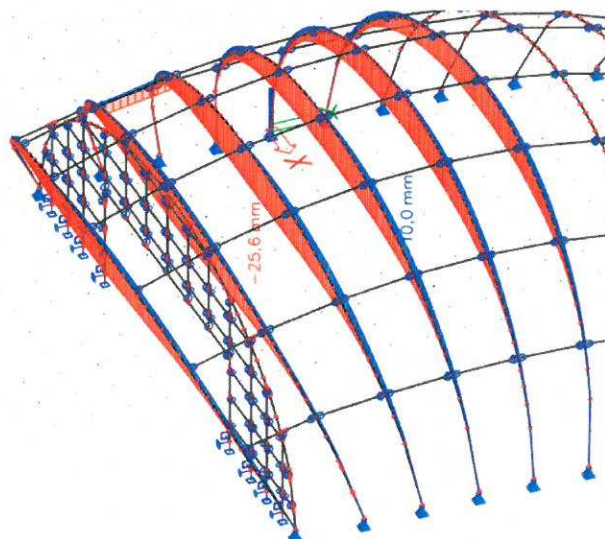
- návrhové tlakové napětí pro MSP

$$E_{s2} = \frac{200 * 10^3}{1 + 0,002 * \frac{200 * 10^3}{71,6} \left( \frac{71,6}{220} \right)^7} = 199,1 \text{ GPa}$$

$$E_s = \frac{(199,6 + 199,1)}{2} = 199,35 \text{ MPa}$$

Svislý průhyb:

**1D deformace**  
Hodnoty:  $u_z$   
Lineární výpočet  
Třída: Všechny MSP  
Souřadný systém: Globální  
Extrém 1D: Globální  
Výběr: Vše  
Filtr: Průřez = CS1 - CHS244.5/12.5



$$\delta_{\text{lim},z} = \frac{L}{300} = \frac{16\,800}{300} = 56 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{max},z} = 25,6 * \frac{E}{E_s} = 25,6 * \frac{210}{199,35} = 26,97 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim},z} = 56 \geq \delta_{\text{max},z} = 26,97 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

Vodorovná deformace:

**1D deformace**

Hodnoty:  $u_x$

Lineární výpočet

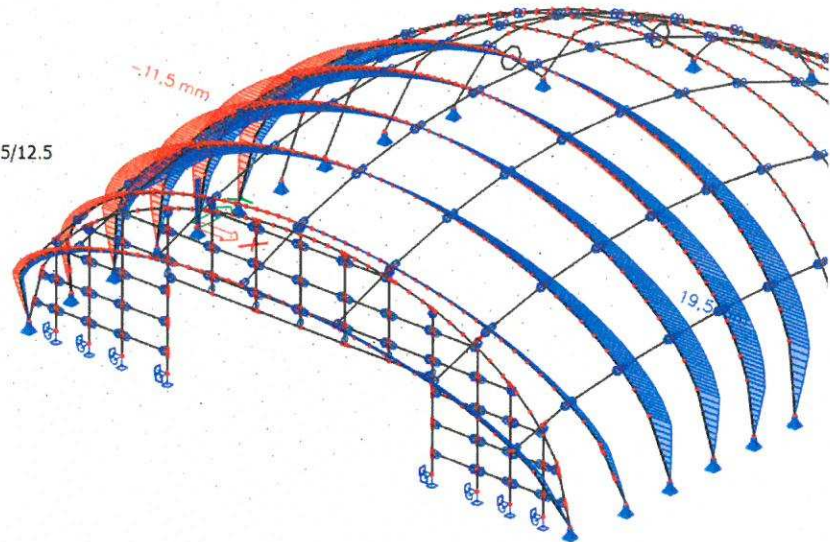
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS1 - CHS244.5/12.5



Maximální vodorovný posun vrcholu ve směru x je 12,1 mm.

**1D deformace**

Hodnoty:  $u_y$

Lineární výpočet

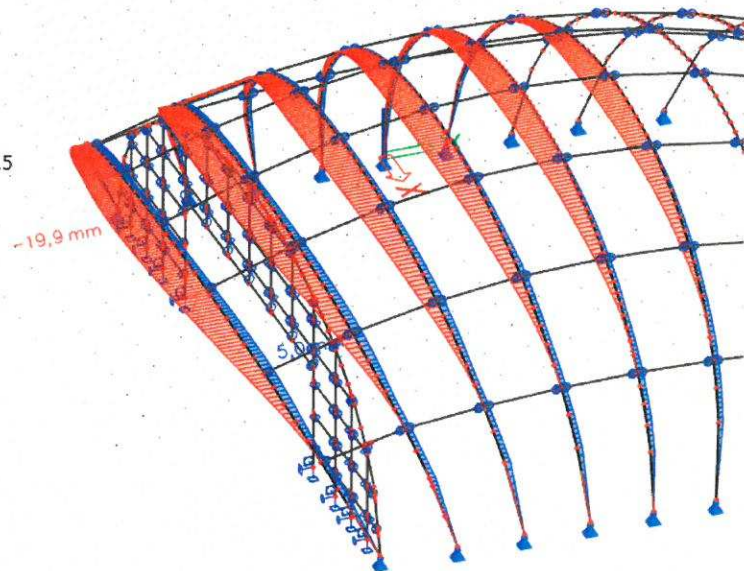
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS1 - CHS244.5/12.5



Posun vrcholu ve směru x:

$$\delta_{\text{lim},x1} = \frac{H}{300} = \frac{6085}{300} = 20,28 \text{ mm (H je výška vrcholu u nejvíce deformovaného nosníku)}$$

$$\delta_{\text{max},x1} = 12,1 * \frac{E}{E_s} = 12,1 * \frac{210}{199,35} = 12,855 \text{ mm (posun vrcholu ve směru x)}$$

$$\delta_{\text{lim},x1} = 20,28 \geq \delta_{\text{max},x1} = 12,855 \text{ mm}$$

Celkový posun nosníku ve směru x:

$$\delta_{\text{lim},x2} = \frac{\frac{L}{2}}{300} = \frac{22565}{300} = 37,6 \text{ mm } \left(\frac{L}{2} \text{ je polovina délky křivky nosníku}\right)$$

$$\delta_{\text{max},x2} = 19,5 * \frac{E}{E_s} = 19,5 * \frac{210}{199,35} = 20,54 \text{ mm (posun nosníku ve směru x)}$$

$$\delta_{\text{lim},x2} = 37,6 \geq \delta_{\text{max},x2} = 20,54 \text{ mm}$$

Posun nosníku ve směru y:

$$\delta_{\text{lim},y} = \frac{L}{300} = \frac{16670}{300} = 55,56 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{max},y} = 19,9 * \frac{E}{E_s} = 19,9 * \frac{210}{199,35} = 20,96 \text{ mm (posun vrcholu ve směru x)}$$

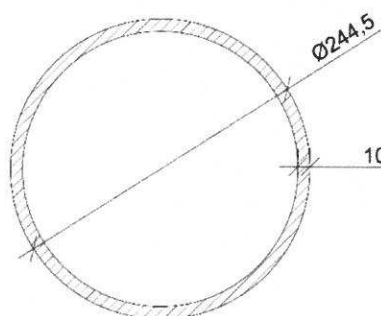
$$\delta_{\text{lim},y} = 55,56 \geq \delta_{\text{max},y} = 20,96 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

## 8.2. Hlavní obloukové nosníky P7, P8, P9, P10, P11, P12

Pro více položené obloukové nosníky snížím tloušťku stěny trubky o jednu třídu, vzhledem k menším vnitřním silám.

**Nový návrh:**



Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu

$$A = 7370 \text{ mm}^2$$

Vzdálenost těžiště od dolních vláken průřezu

$$z_T = e_d = 122,25 \text{ mm}$$

Vzdálenost těžiště od horních vláken průřezu

$$z_T = e_h = 122,25 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti vzhledem k ose y (=z)

$$I_{y=z} = 5,073 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

Plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 5,415 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Poloměr setrvačnosti

$$i_{y=z} = 83 \text{ mm}$$

Materiál:

$$1.4404$$

### Zatřídění průřezu:

- Pro ohýbaný průřez platí:

$$\frac{de}{t} \leq 50 \times \varepsilon^2$$

$$\frac{244,5}{10,0} \leq 50 \times 1,01^2 = 24,45 < 51$$

⇒ Třída průřezu 1

kde:

$$\varepsilon = \left( \frac{235}{f_y} \times \frac{E}{210\,000} \right)^{0,5} = \left( \frac{235}{220} \times \frac{200\,000}{220\,000} \right)^{0,5} = 1,01$$

### MSÚ:

#### 1D vnitřní síly

Hodnoty:  $M_y$

Lineární výpočet

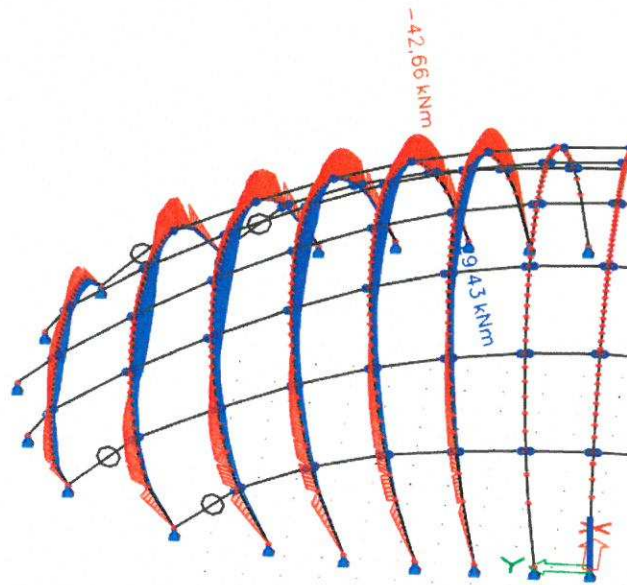
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS8 - CHS244.5/10.0



**1D vnitřní síly**Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

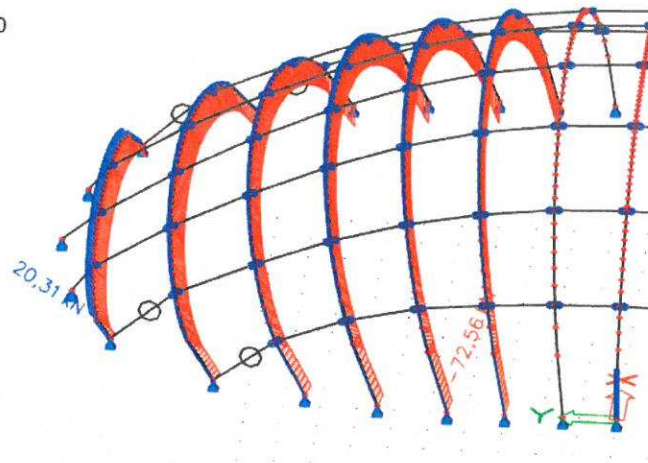
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS8 - CHS244.5/10.0



Vnitřní síly v extrémně zatíženém místě:

$$N_{ed} = -72,56 \text{ kN}$$

$$M_{ed,y} = 42,66 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,z} = 8,31 \text{ kNm}$$

$$V_{ed,z} = 28,81 \text{ kN}$$

Smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{m,0}} \geq V_{ed,z}$$

$$A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 * 7370}{\pi} = 4691 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{4691 * 220}{\sqrt{3} * 1,1} = 541,67 \text{ kN} \geq V_{ed,z} = 28,81 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Jelikož  $0,5 * V_{pl,Rd} \geq V_{ed,z}$ , jde o malý smyk => není třeba posuzovat interakci ohybového momentu a smyku.

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení v rovině nosníku pomocí software:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * A * f_y} + K_y * \frac{M_{ed,y}}{W_{pl} * f_y} + K_z * \frac{M_{ed,z}}{W_{pl} * f_y} \leq 1,0$$

Kritická délka tláčeného prutu: (Beru stejnou hodnotu jako v předcházejícím výpočtu)

$$\alpha_{cr} = 14,48$$

$$L_{cr} = \pi * \sqrt{\frac{E * I_y}{\alpha_{cr} * N_{ed}}} = \pi * \sqrt{\frac{200 * 10^9 * 5,073 * 10^{-5}}{14,48 * 72 560}} = 9,75 \text{ m}$$

Stanovení pružné kritické síly prutu:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 200 * 10^9 * 5,073 \times 10^{-5}}{9,75^2} = 1052,5 \text{ kN}$$

Stanovení poměrné štíhlosti prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{7370 * 220}{1052,5 * 10^3}} = 1,241$$

$$\phi = 0,5 * (1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_y^2) = 0,5 * (1 + 0,49(1,241 - 0,2) + 1,241^2) = 1,525$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}_y^{-2}]^{0,5}} = \frac{1}{1,525 + [1,525^2 - 1,241^2]^{0,5}} = 0,415$$

Součinitele interakce pro kruhové uzavřené průřezy:

$$k_y = 1 + D_1(\bar{\lambda}_y - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}},$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{0,415 * 7370 * 220 * 10^{-3}}{1,1} = 611,71 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z * A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{0,88 * 7370 * 220 * 10^{-3}}{1,1} = 1297,12 \text{ kN}$$

$$k_y = 1 + 2,5(1,241 - 0,3) \frac{72,56}{611,71} \leq 1 + 2,5(1,3 - 0,3) \frac{72,56}{611,71}$$

$$k_y = 1,28 \leq 1,297$$

$$\Rightarrow \underline{k_y = 1,28}$$

$$k_z = 1 + D_1(\bar{\lambda}_z - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}}$$

$\bar{\lambda}_z$  a  $\chi_z$  - viz následující strana

$$k_z = 1 + 2,5(0,45 - 0,3) \frac{72,69}{611,71} \leq 1 + 2,5(1,3 - 0,3) \frac{72,69}{611,71}$$

$$k_z = 1,045 \leq 1,297$$

$$\Rightarrow \underline{k_z = 1,045}$$

$$\frac{72,56}{0,415 * 7370 * 220 * 10^{-3}} + 1,28 * \frac{42,66}{5,073 * 10^5 * 220 * 10^{-6}} +$$

$$+ 1,045 * \frac{8,31}{5,073 * 10^5 * 220 * 10^{-6}} \leq 1,0$$

$$0,12 + 0,537 + 0,086 = 0,743 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení v rovině nosníku bez součinitelů:

$$\frac{N_{ed}}{A * f_y} + \frac{M_{ed,y}}{W_{pl} * f_y} + \frac{M_{ed,z}}{W_{pl} * f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{72,56}{7370 * 220 * 10^{-3}} + \frac{42,66}{5,073 * 10^5 * 220 * 10^{-6}} + \frac{8,31}{5,073 * 10^5 * 220 * 10^{-6}} \leq 1,0$$

$$0,049 + 0,42 + 0,082 = 0,551 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení z roviny nosníku:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * A * f_y} + K_y * \frac{M_{ed,y}}{W_{pl} * f_y} + K_z * \frac{M_{ed,z}}{W_{pl} * f_y} \leq 1,0$$

$$L_{cr,z} = L = 3500 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \pi \sqrt{\frac{200000}{220}} = 94,72$$

Stanovení poměrné štíhlosti:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3500}{83} * \frac{1}{94,72} = 0,45$$

⇒ Křivka vzpěrné pevnosti pro bezešvé uzavřené trubky:  $\chi_z = 0,88$



$$\frac{72,69}{0,88 * 7370 * 220 * 10^{-3} * 1,1} + 1,28 * \frac{42,58}{5,073 * 10^5 * 220 * 10^{-6} * 1,1} +$$

$$+ 1,045 * \frac{8,31}{5,073 * 10^5 * 220 * 10^{-6} * 1,1} \leq 1,$$

$$0,056 + 0,537 + 0,086 = 0,679 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

### MSP:

Sečnový modul pružnosti v tahu:

$$\sigma_{1,Ed,ser} = 68,4 \text{ MPa}$$

- návrhové tahové napětí pro MSP

$$n = 7$$

- pro austenitickou ocel

$$E = 200 \text{ MPa}$$

- pro korozivzdornou ocel

$$E_{s1} = \frac{200 * 10^3}{1 + 0,002 * \frac{200 * 10^3}{68,4} \left(\frac{68,4}{220}\right)^7} = 199,67 \text{ GPa}$$

Sečnový modul pružnosti v tlaku:

$$\sigma_{2,Ed,ser} = 78,4 \text{ MPa}$$

- návrhové tlakové napětí pro MSP

$$E_{s2} = \frac{200 * 10^3}{1 + 0,002 * \frac{200 * 10^3}{78,4} \left(\frac{78,4}{220}\right)^7} = 199,25 \text{ GPa}$$

$$E_s = \frac{(199,67 + 199,25)}{2} = 199,46 \text{ MPa}$$

Svislý průhyb:

### 1D deformace

Hodnoty:  $u_z$

Lineární výpočet

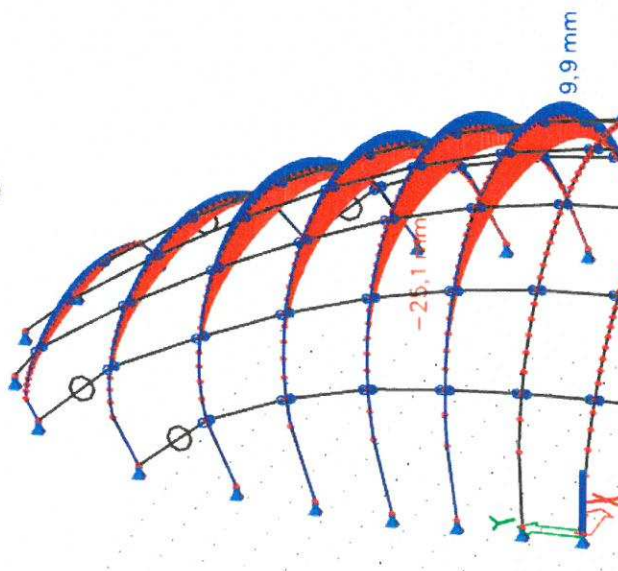
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS8 - CHS244.5/10.0



$$\delta_{\text{lim},z} = \frac{L}{300} = \frac{16\,800}{300} = 56 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{max},z} = 25,1 * \frac{E}{E_s} = 25,1 * \frac{210}{199,46} = 26,42 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim},z} = 56 \geq \delta_{\text{max},z} = 26,42 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

Vodorovný průhyb:

#### 1D deformace

Hodnoty:  $u_x$

Lineární výpočet

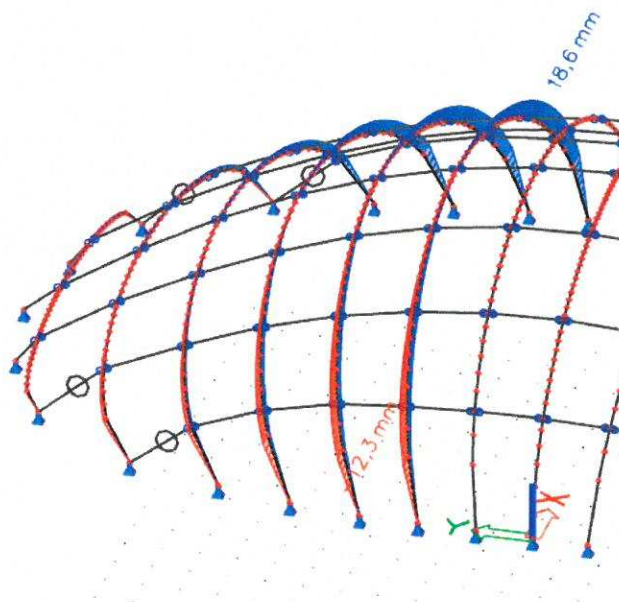
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS8 - CHS244.5/10.0



#### 1D deformace

Hodnoty:  $u_y$

Lineární výpočet

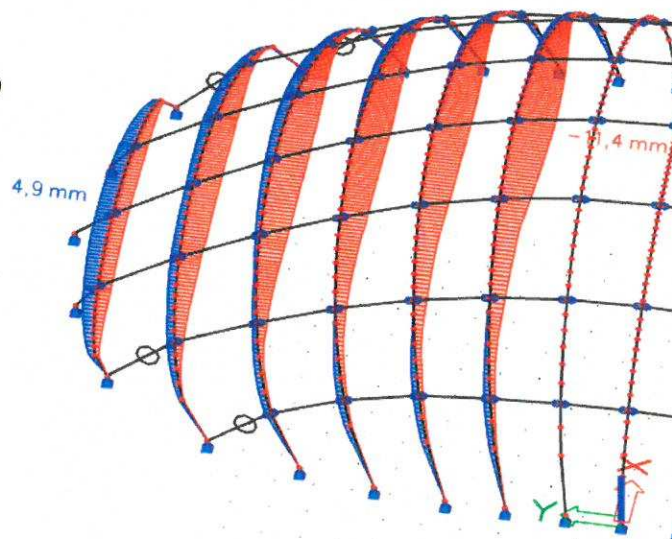
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS8 - CHS244.5/10.0



Posun vrcholu ve směru x:

$$\delta_{\text{lim},x1} = \frac{H}{300} = \frac{5582}{300} = 18,61 \text{ mm (H je výška vrcholu u nejvíce deformovaného nosníku)}$$

$$\delta_{\text{max},x1} = 11,2 * \frac{E}{E_s} = 11,2 * \frac{210}{199,46} = 11,79 \text{ mm (posun vrcholu ve směru x)}$$

$$\delta_{\text{lim},x1} = 18,61 \geq \delta_{\text{max},x1} = 11,79 \text{ mm}$$

Celkový posun nosníku ve směru x:

$$\delta_{\text{lim},x2} = \frac{\frac{L \cap}{2}}{300} = \frac{\frac{21902}{2}}{300} = 36,5 \text{ mm } (\frac{L \cap}{2} \text{ je polovina délky křivky nosníku)}$$

$$\delta_{\text{max},x2} = 18,6 * \frac{E}{E_s} = 18,6 * \frac{210}{199,46} = 19,59 \text{ mm (posun nosníku ve směru x)}$$

$$\delta_{\text{lim},x2} = 36,5 \geq \delta_{\text{max},x2} = 19,59 \text{ mm}$$

Posun nosníku ve směru y:

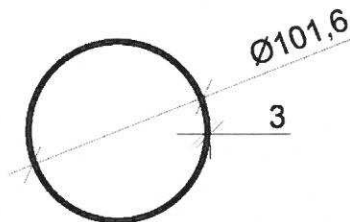
$$\delta_{\text{lim},y} = \frac{L}{300} = \frac{16800}{300} = 56 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{max},y} = 11,4 * \frac{E}{E_s} = 11,4 * \frac{210}{199,46} = 12,0 \text{ mm (posun vrcholu ve směru x)}$$

$$\delta_{\text{lim},y} = 56 \geq \delta_{\text{max},y} = 12,0 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

### 8.3. Podélníky



#### **Průřezové charakteristiky:**

Plocha průřezu

Vzdálenost těžiště od dolních vláken průřezu

Vzdálenost těžiště od horních vláken průřezu

Moment setrvačnosti vzhledem k ose y (=z)

Plastický průřezový modul

Poloměr setrvačnosti

Materiál:

$$A = 929 \text{ mm}^2$$

$$z_T = e_d = 50,8 \text{ mm}$$

$$z_T = e_h = 50,8 \text{ mm}$$

$$I_{y=z} = 1,13 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl} = 2,87 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i_{y=z} = 35 \text{ mm}$$

$$1.4404$$

**Zatřídění průřezu:**

Pro tlacený průřez platí:

$$\frac{de}{t} \leq 50 \times \varepsilon^2$$

$$\frac{101,6}{3} \leq 50 \times 1,01^2 = 33,87 < 51$$

⇒ Třída průřezu 1

kde:

$$\varepsilon = \left( \frac{235}{f_y} \times \frac{E}{210\,000} \right)^{0,5} = \left( \frac{235}{220} \times \frac{200\,000}{220\,000} \right)^{0,5} = 1,01$$

**MSÚ – Vzpěrný tlak:****1D vnitřní síly**Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

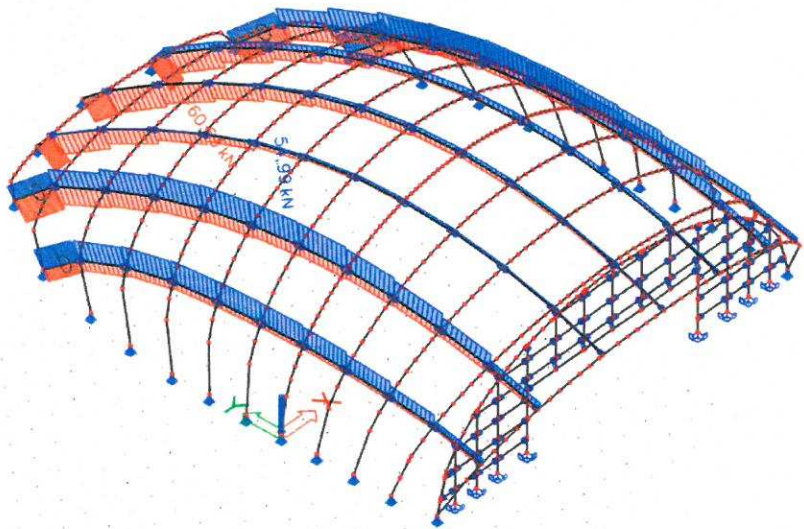
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS4 - CHSCF101.6/3.0



Normálová síla v extrémně zatíženém místě:

$$N_{ed} = -60,63 \text{ kN}$$

Kritické délky:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 2100 \text{ mm}$$

Stanovení pružné kritické síly prutu:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 1,13 \times 10^6}{2100^2} \cdot 10^{-3} = 505,7 \text{ kN}$$

Stanovení poměrné štíhlosti prutu:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{929 \cdot 220}{505,7 \cdot 10^3}} = 0,636$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,49(0,636 - 0,2) + 0,636^2) = 0,809$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi = \frac{1}{\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} = \frac{1}{0,809 + [0,809^2 - 0,636^2]^{0,5}} = 0,76$$

Posouzení:

$$\frac{N_{ed}}{\chi * A * f_y} \leq 1,0$$

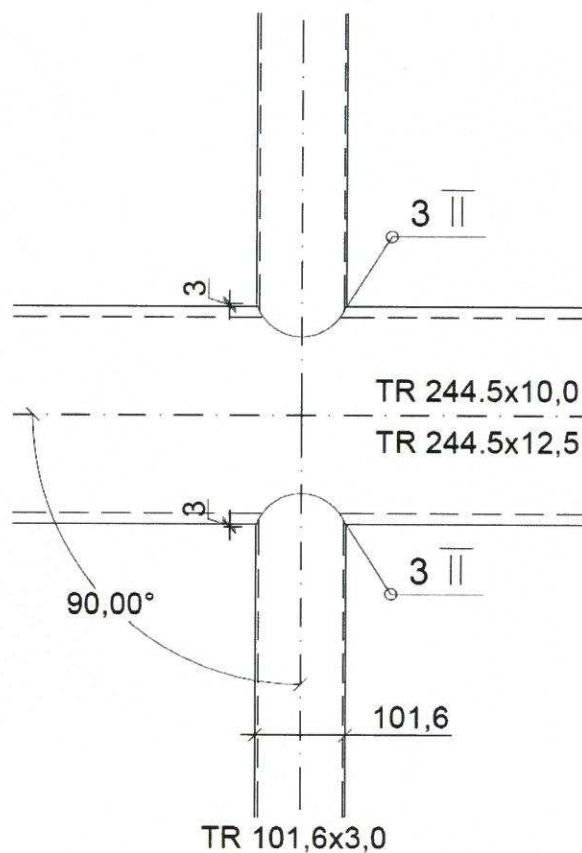
$$\frac{60,63}{1,1} \leq 1,0$$

$$\frac{60,63}{0,76 * 929 * 220 * 10^{-3}} \leq 1,0$$

$$0,43 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

#### 8.4. Svařovaný přípoj podélníku k hlavnímu nosníku



Obr. 8.1 – Spoj podélník – nosník (1)

Svarový spoj bude typu X

Největší tahová síla namáhající spoj:

$$F_{T,ed} = 54,99 \text{ kN}$$

Jmenovitá mez pevnosti nejslabší spojované části:

$$f_u = 530 \text{ MPa}$$

Účinná tloušťka svaru:

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \Rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

Délka svaru:

$$L_w = \pi * d = \pi * 101,6 = 319,1 \text{ mm}$$

Plocha svaru:

$$A_w = L_w * a = 319,1 * 3 = 957,5 \text{ mm}^2$$

Napětí:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{T,Ed}}{A_w * \sqrt{2}} = \frac{54990}{957,5 * \sqrt{2}} = 40,676 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m,2}}$$

Kde:

$\beta_w = 1,0$  – korelační součinitel pro korozivzdornou ocel

$$\sqrt{40,676^2 + 3 * 40,676^2} \leq \frac{530}{1,0 * 1,25}$$

$$81,35 \text{ MPa} \leq 424 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m,2}}$$

$$40,676 \text{ MPa} \leq 424 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**

### **Posouzení stěn prutů pro X spoj:**

Extrémní normálová síla ve spoji:

$$N_{1,Ed} = -60,63 \text{ kN}$$

Podmínky platnosti:

$$D_1 = 101,6 \text{ mm}$$

$$D_0 = 244,5 \text{ mm}$$

$$t_1 = 3,0 \text{ mm}$$

$$t_0 = 10,0 \text{ mm}$$

$$A_0 = 7370 \text{ mm}$$

$$0,2 \leq \frac{D_1}{D_0} \leq 1,0 = 0,2 \leq 0,415 \leq 1,0$$

$$10 \leq \frac{D_0}{t_0} \leq 40 = 10 \leq 24,45 \leq 40$$

$$10 \leq \frac{D_1}{t_1} \leq 40 = 10 \leq 33,87 \leq 40$$

⇒ **Platí**

Porušení povrchu pásu osovou silou:

$$\gamma = \frac{D_0}{2 \cdot t_0} = \frac{244,5}{2 \cdot 10,0} = 12,225$$

$$\beta = \frac{D_1}{D_0} = \frac{101,6}{244,5} = 0,4155$$

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{pl}} = \frac{76,69 \cdot 10^3}{7370} + \frac{46,83}{5,415 \cdot 10^{-4}} = 10,42 + 86,52 = 96,94 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_y}}{\gamma_{m,5}} = \frac{\frac{96,94}{220}}{1,0} = 0,441$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot (n_p + n_p^2) = 1 - 0,3 \cdot (0,441 + 0,441^2) = 0,809 \leq 1,0$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot \frac{5,2}{(1 - 0,81 \cdot \beta)}}{\gamma_{m,5}}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{0,809 \cdot 220 \cdot 10^2}{1,0} \cdot \frac{5,2}{(1 - 0,81 \cdot 0,4155)}}{1,0} = 139,4 \text{ kN}$$

Podmínky platnosti:

$$N_{1,Rd} = 139,4 \text{ kN} \leq N_{1,Ed} = 60,63 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Prolomení pásu smykem:

Protože  $d_1 \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 101,6 \leq 244,5 - 2 \cdot 10 = 224,5$  platí, pak:

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \cdot \sin \theta_1^2}}{\gamma_{m,5}}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{220}{\sqrt{3}} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 101,6 \cdot \frac{1 + 1}{2 \cdot 1^2}}{1,0} = 405,42 \text{ kN}$$

Podmínky platnosti:

$$N_{1,Rd} = 405,42 \text{ kN} \leq N_{1,Ed} = 60,71 \text{ kN}$$

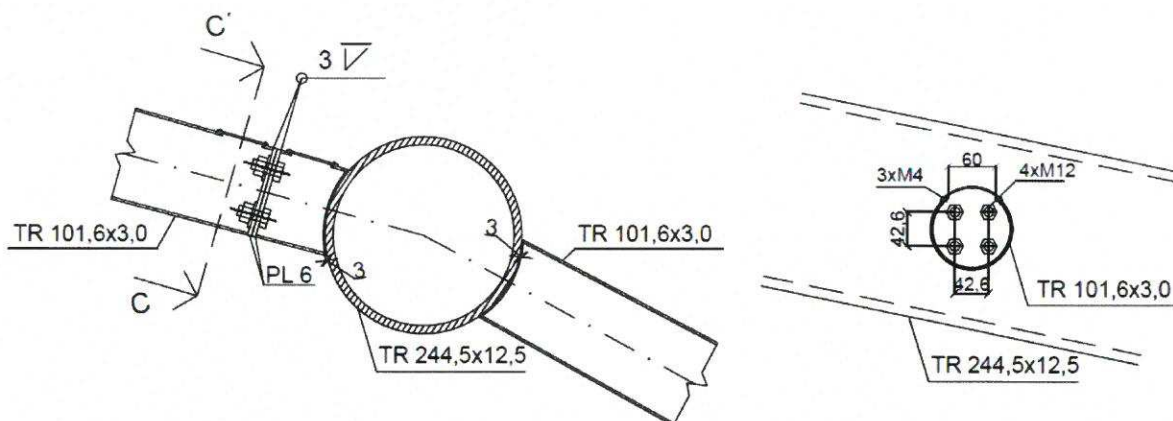
⇒ **Vyhovuje**

### 8.5. Šroubový přípoj podélníku k hlavnímu nosníku

Spoj bude proveden pomocí čtyř šroubů přes kruhové čelní desky ( $t = 6\text{mm}$ ).

Největší tahová síla namáhající spoj:

$$F_{T,ed} = 54,99 \text{ kN}$$



Obr. 8.2 – Spoj podélník – nosník (2)

Šrouby: Návrh - 4xM12, A4-70, ISO 4017

$$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$d_0 = 13 \text{ mm}$$

$$f_{ub} = 700 \text{ Mpa}$$

$$f_{pf} = 450 \text{ Mpa}$$

**Únosnost šroubu v tahu:**

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{m,2}} = \frac{0,9 * 84,3 * 700}{1,25} = 42,49 \text{ kN}$$

**Únosnost náhradního T profilu:**

$$m = 20,8 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25m) = \min(20,8; 26) = 20,8 \text{ mm}$$

$$e = 20,8 \text{ mm}$$

$$p = 42,4 \text{ mm}$$

$$t_p = 6 \text{ mm}$$



Účinná délka pro kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = \min(2\pi m; \pi m + 2e_1) = \min(130,69; 106,95) = 106,95 \text{ mm}$$

Účinná délka pro nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = \min(4m + 1,25e; 2m + 0,625e + e_1; p)$$

$$l_{eff,nc} = \min(4 * 20,8 + 1,25 * 20,8; 2 * 20,8 + 0,625 * 20,8 + 20,8; 42,4)$$

$$l_{eff,nc} = \min(109,2; 54,6; 42,4)$$

$$l_{eff,nc} = 42,4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,2} = \min(l_{eff,nc}; l_{eff,cp}) = \min(42,4; 106,95) = 42,4 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 * l_{eff,1} * f_y * t_p^2}{\gamma_{m,0}} = \frac{0,25 * 42,4 * 220 * 6^2}{1,1} = 76,32 * 10^3 \text{ Nmm}$$

První způsob porušení náhradního T profilu:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 76,32 * 10^3}{20,8} = 14,68 \text{ kN}$$

Druhý způsob porušení náhradního T profilu:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 76,32 * 10^3 + 20,8 * 4 * 42,49 * 10^3}{20,8 + 20,8} = 88,65 \text{ kN}$$

Třetí způsob porušení náhradního T profilu:

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 4 * 42,49 = 169,96 \text{ kN}$$

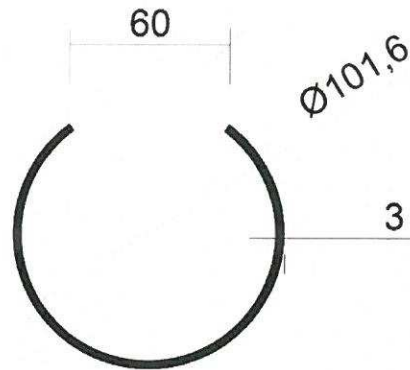
**Posouzení:**

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(14,68; 88,65; 169,96) = 14,68 \text{ kN}$$

$$4 * F_{T,Rd} = 4 * 14,68 = 58,72 \text{ kN} \geq F_{T,Ed} = 55,08 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Tímto způsobem se spojí jednotlivé svařené části ocelové konstrukce vestibulu, tzv. žebříky. Tento spoj je daleko náročnější na provedení než svarový spoj. Výhoda tohoto spoje spočívá v zavedení určité dilatace a umožnění pohybu konstrukce při teplotních změnách. Dále se tímto způsobem zásadně omezit svařování na stavbě, které by ovlivnilo celkový vzhled konstrukce.

**Posouzení únosnosti oslabeného průřezu podélníku:**

Obr. 8.3 – Oslabený průřez podélníku

$$\frac{N_{ed}}{\chi * A_{eff} * f_y} \leq 1,0$$

$$\gamma_{m,0}$$

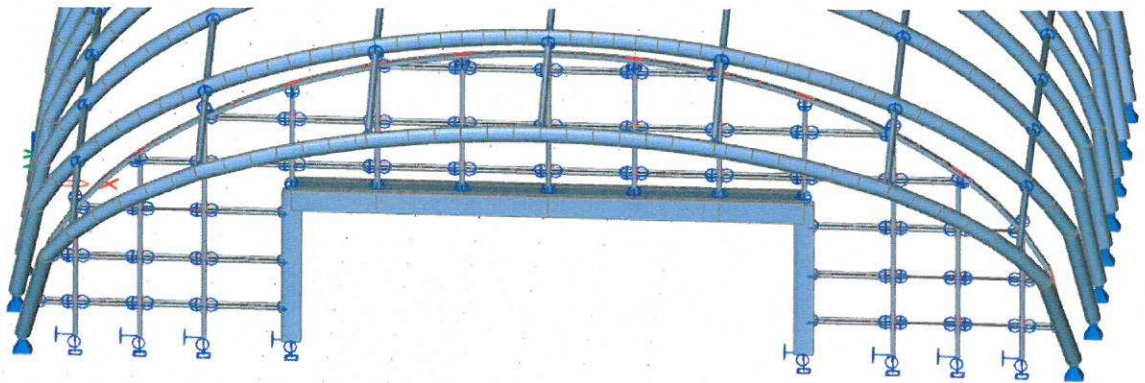
$A_{eff} = 741,17 \text{ mm}^2$  – Průřezová plocha oslabeného průřezu

$$\frac{60,63}{0,76 * 741,17 * 220 * 10^{-3}} \leq 1,0$$

$$1,1$$

$$0,548 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

**8.6. Návrh a posouzení příčle vstupního portálu**

Obr. 8.4 – 3D pohled na vstupní portál

Portálová příčle bude tvořena ze svařovaného průřezu. Její úkol bude nejen nosný, ale musí umožnit instalaci venkovní stahovací rolety, která se umístí do průřezu. Zatížení bude rozděleno na montážní a provozní stav, jelikož na únosnosti a průhybu se podílí oblouk nad portálem.

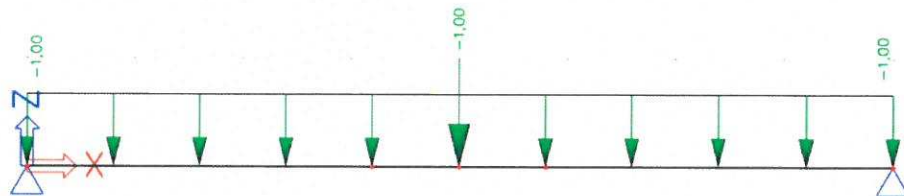
**Montážní zatížení vstupního portálu:**

1.ZS – Vlastní tíha přičle

2.ZS – Užiténé zatížení při montáži (nepodepřený nosník) –  $1 \text{ kN/m} + 1 \text{ kN}$ 

Příslušná kombinace:

$$\text{KZS-P}_0 = g_0 * 1,35 + g_{\text{prov}} * 1,5$$



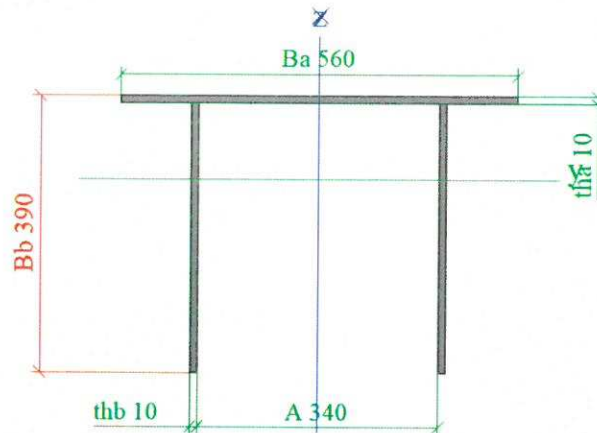
Obr. 8.5 – Schéma montážního zatížení

**Provozní zatížení vstupního portálu:**1.ZS – Vlastní tíha přičle + vlastní tíha sloupků -  $g_0$ 2.ZS – Zatížení od skleněného pláště  $g_{\text{st}} = g_{\text{sklo}} * a_p = 0,5 * 1,34 = 0,665 \text{ kN/m}$ 3.ZS – Zatížení od opláštění plechem z korozivzdorné oceli –  $g_{\text{ob}} = 0,456 \text{ kN/m}$ 4.ZS – Zatížení od tlaku větru  $q_w = w_d * a_p = 0,47 * 1,34 = 0,612 \text{ kN/m}$ 5.ZS – Zatížení od rolety  $g_r = 0,2 \text{ kN/m}$ 6.ZS – Zatížení technologií  $g_{\text{te}} = 0,3 \text{ kN/m}$ kde  $a_p$  je největší zatěžovací plocha sloupků.

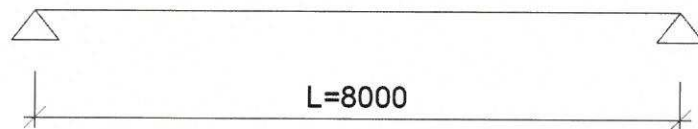
Příslušná kombinace:

$$\text{KZS-P}_{\text{ortal}} = g_0 * 1,35 + g_{\text{st}} * 1,35 + g_{\text{ob}} * 1,35 + g_r * 1,35 + q_w * 1,5 + g_{\text{te}} * 1,5$$

Geometrie nosníku:



Obr. 8.6 – Schéma portálové příčle



Obr. 8.7 – Rozpětí portálové příčle

**Klasifikace svařeného průřezu:** (s uvažováním účinné tloušťky svaru  $a = 4\text{mm}$ )

Pásnice – vnitřní tlačena část:

$$\text{Pro S355 vychází } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c}{t} = \frac{340 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4}{10} = 32,87 \leq 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 0,81 = 34,02$$

⇒ **Pásnice třídy 3**

Stojina – ohýbaná část:

$$\frac{c}{t} = \frac{380 - \sqrt{2} \cdot 4}{10} = 37,43 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

⇒ **Stojina třídy 1**

Přečnávající část v tlaku:

$$\frac{c}{t} = \frac{100 - \sqrt{2} \cdot 4}{10} = 9,4 \leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,34$$

⇒ **Přečnávající část třídy 3**

⇒ **Celý průřez je tedy třídy 3**

**Průřezové charakteristiky:**

|  |                       |            |
|--|-----------------------|------------|
| Jméno                                      | CS9                   |            |
| Typ  | TTw                   |            |
| Detailní                                   | 560; 10; 390; 10; 340 |            |
| Materiál                                   | S 355 J2 (EN 10025-2) |            |
| Výroba                                     | svařovaný             |            |
| Posudek rovinného vzpěru y-y               | c                     |            |
| Posudek rovinného vzpěru z-z               | c                     |            |
| Klopení                                    | Výchozí               |            |
| Použit 2D MKP výpočet                      | x                     |            |
|  |                       |            |
| A [m <sup>2</sup> ]                        | 1,3200e-02            |            |
| A y, z [m <sup>2</sup> ]                   | 4,1381e-03            | 6,8259e-03 |
| I y, z [m <sup>4</sup> ]                   | 2,1410e-04            | 3,7916e-04 |
| I w [m <sup>6</sup> ], t [m <sup>4</sup> ] | 6,2591e-06            | 4,4333e-07 |
| Wel y, z [m <sup>3</sup> ]                 | 7,8504e-04            | 1,3541e-03 |
| Wpl y, z [m <sup>3</sup> ]                 | 1,4220e-03            | 2,1140e-03 |
| d y, z [mm]                                | 0                     | 230        |
| c YUSS, ZUSS [mm]                          | 280                   | 273        |
| α [deg]                                    | 0,00                  |            |
| A L, D [m <sup>2</sup> /m]                 | 2,6600e+00            | 2,6600e+00 |
| Mply +, - [Nm]                             | 5,05e+05              | 5,05e+05   |
| Mplz +, - [Nm]                             | 7,50e+05              | 7,50e+05   |

**Montážní stádium:****MSÚ :****1D vnitřní síly**Hodnoty:  $M_y$ 

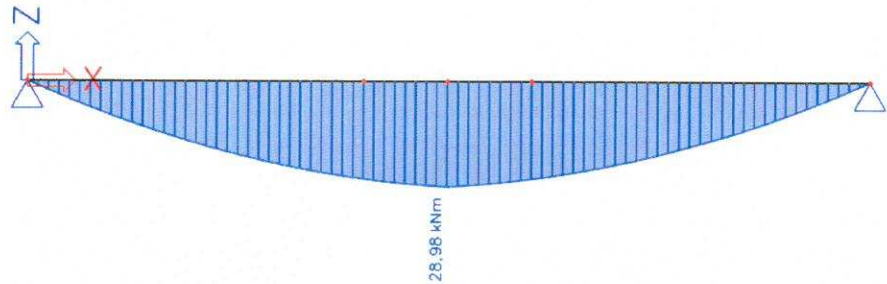
Lineární výpočet

Kombinace: MSu

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

**1D vnitřní síly**Hodnoty:  $V_z$ 

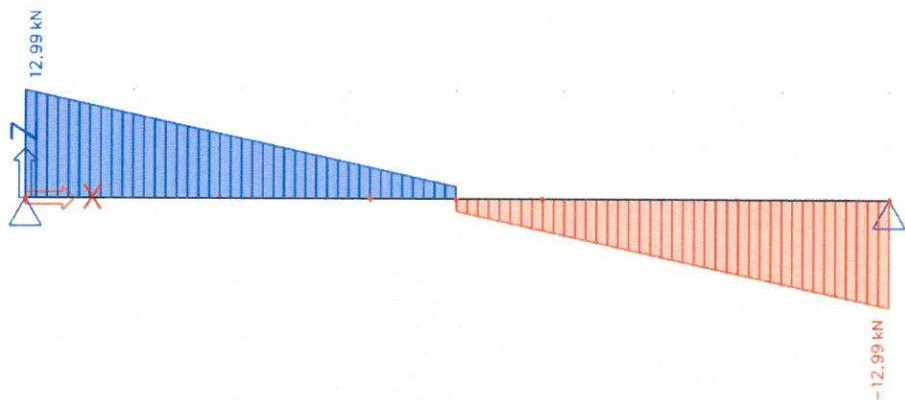
Lineární výpočet

Kombinace: MSu

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše



$$M_{ed,y} = 28,98 \text{ kNm}$$

$$V_{ed,z} = 13,0 \text{ kN}$$

Smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \gamma_{m,0}} \geq V_{ed,z}$$

$A_v$  je v tomto případě plocha stojin.

$$A_v = 380 \cdot 10 \cdot 2 = 7600 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{7600 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,15} = 1354,5 \text{ kN} \geq V_{ed,z} = 13,0 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Jelikož  $0,5 \cdot V_{pl,Rd} \geq V_{ed,z}$ , jde o malý smyk ⇒ není třeba posuzovat interakci ohybového momentu a smyku.

Ohyb s vlivem ztráty stability klopením:

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} = 3,1134 * \frac{\pi * \sqrt{210000 * 3,7916 * 10^8 * 81000 * 4,433 * 10^5}}{8000}$$

$$M_{cr} = 2067,31 \text{ kNm}$$

bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} * \left[ \sqrt{1 + k_{\omega t}^2 + (C_2 * \zeta_g - C_3 * \zeta_j)^2} - (C_2 * \zeta_g - C_3 * \zeta_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} * \left[ \sqrt{1 + 2,375^2 + (0,5 * 2,09 - 0,38 * 3,204)^2} - (0,5 * 2,09 - 0,38 * 3,204) \right]$$

$$\mu_{cr} = 3,1134$$

parametr kroucení:

$$k_{\omega t} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_{\omega}}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 8000} * \sqrt{\frac{210000 * 6,2519 * 10^{12}}{81000 * 4,433 * 10^5}} = 2,375$$

parametr působivosti zatížení vzhledem ke středu smyku:

$$\zeta_g = \frac{\pi * z_g}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 113}{1,0 * 8000} * \sqrt{\frac{210000 * 3,7916 * 10^8}{81000 * 4,433 * 10^5}} = 2,09$$

parametr nesymetrie průřezu:

$$\zeta_j = \frac{\pi * z_j}{k_z * L} * \sqrt{\frac{E * I_z}{G * I_t}} = \frac{\pi * 173,25}{1,0 * 8000} * \sqrt{\frac{210000 * 3,7916 * 10^8}{81000 * 4,433 * 10^5}} = 3,204$$

příčemž:

$$z_g = z_s - z_a = 230 - 117 = 113 \text{ mm}$$

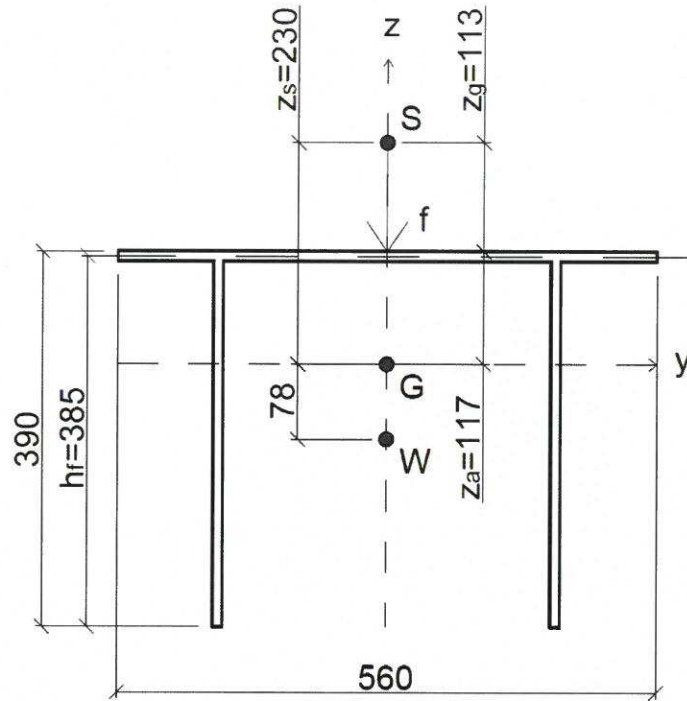
$$z_j = 0,45 * \psi_f * h_f$$

$$z_j = 0,45 * 1,0 * 385 = 173,25 \text{ mm}$$

$$\psi_f = 1,0$$

$k_z = k_w = 1,0$ , pro parabolický průběh momentu a oboustranné kloubové uložení.

$$C_1 = 1,13, \quad C_2 = 0,5, \quad C_3 = 0,38$$



Obr. 8.8 – Schéma pro výpočet součinitele klopení

Stanovení poměrné štíhlosti v klopení:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7,85 * 10^5 * 355}{2067,31 * 10^6}} = 0,368$$

Pro stanovení součinitele imperfekce uvažují křivku klopení d – průřezy otevřené, svařované, jiné než standartní, a proto  $\alpha_{LT} = 0,76$ ,  $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,5 * (1 + 0,76(0,368 - 0,4) + 0,368^2)$$

$$\phi_{LT} = 0,555$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2]^{0,5}} = \frac{1}{0,555 + [0,555^2 - 0,368^2]^{0,5}} = 1,0 \quad (\text{Nosník neklopí})$$

Posouzení:

$$M_{B,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{el,y} * f_y}{\gamma_{m,1}} = 1,0 * \frac{7,85 * 10^5 * 355}{1,15} = 242,33 \text{ kNm} \geq M_{ed} = 28,98 \text{ kNm}$$

⇒ **Vyhovuje**



**MSP:****1D deformace**Hodnoty:  $U_{total}$ 

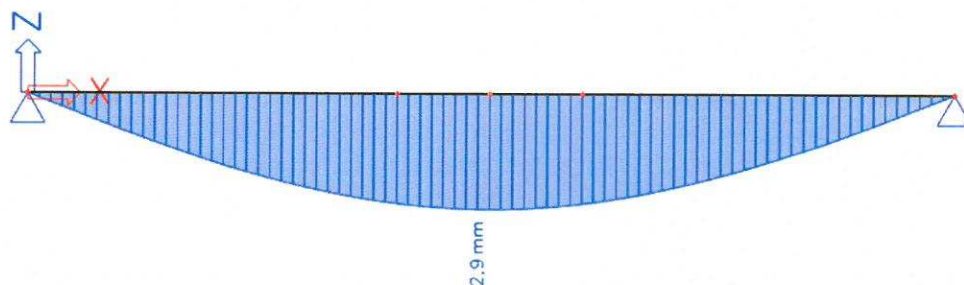
Lineární výpočet

Kombinace: MSp1

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

**Svislý průhyb:**

Kvůli technickým požadavkům na provoz stahovací rolety byl předepsán limit pro svislý průhyb jako 1/500 rozpětí.

$$\delta_{lim} = \frac{L}{500} = \frac{8000}{500} = 16,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = 2,9 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 16,0 \geq \delta_{max} = 2,9 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

**Provozní stádium:****MSÚ:****1D vnitřní síly**Hodnoty:  $M_y$ 

Lineární výpočet

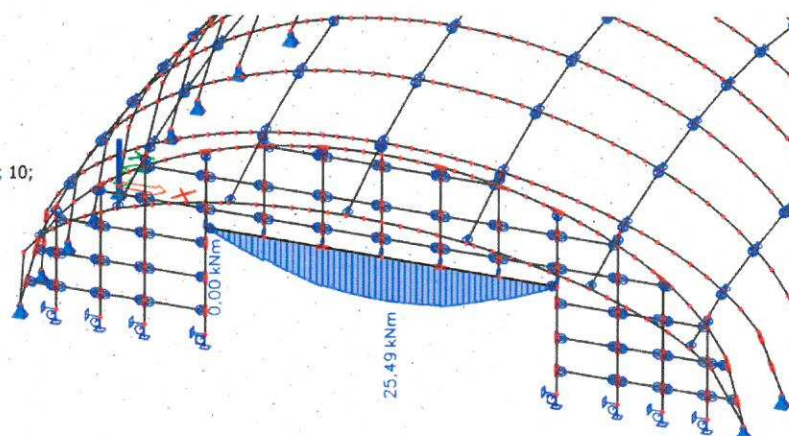
Kombinace: msu-portal

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

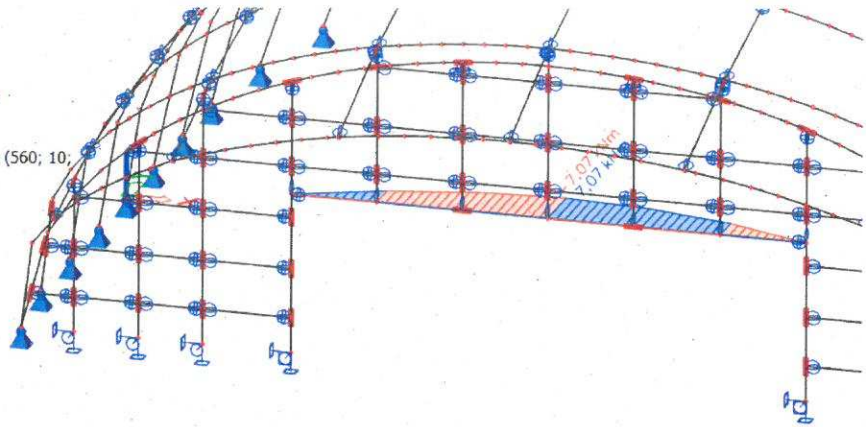
Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS9 - TTW (560; 10; 390; 10; 340)



**1D vnitřní síly**

Hodnoty:  $M_z$   
 Lineární výpočet  
 Kombinace: msu-portal  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: Vše  
 Filtr: Průřez = CS9 - TTW (560; 10;  
 390; 10; 340)



Posouzení:

$$\frac{M_{ed,y}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{ed,z}}{W_{el,z} * f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{25,49}{7,85 * 10^5 * 355 * 10^{-6}} + \frac{7,07}{1,35 * 10^6 * 355 * 10^{-6}} \leq 1,0$$

$$0,105 + 0,017 \leq 1,0$$

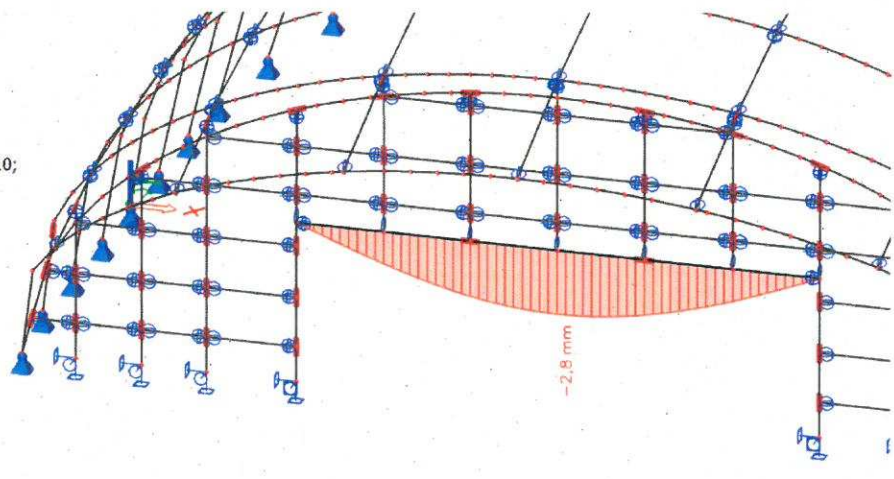
$$0,13 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

Příčle je velmi předimenzovaná. Je to z důvodu geometrických požadavků. Využití průřezu by šlo ještě zvýšit návrhem průřezu 4. třídy, kdy by byla nižší tloušťka stěn průřezu. Jelikož se jedná o jediný kus v konstrukci, úspora by nebyla veliká. Proto nechávám tloušťku stěny 10 mm. Také z hlediska výroby bude výhodnější větší tloušťka stěny, dojde k menším deformacím kvůli svařování.

**MSP:****1D deformace**

Hodnoty:  $u_z$   
 Lineární výpočet  
 Kombinace: msp-portal  
 Souřadný systém: Globální  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: Vše  
 Filtr: Průřez = CS9 - TTW (560; 10;  
 390; 10; 340)



**1D deformace**Hodnoty:  $u_y$ 

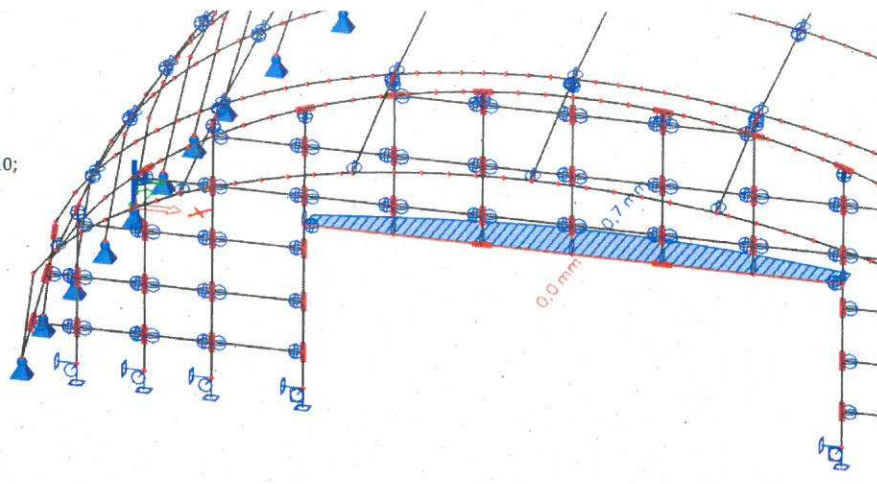
Lineární výpočet

Kombinace: msp-portal

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

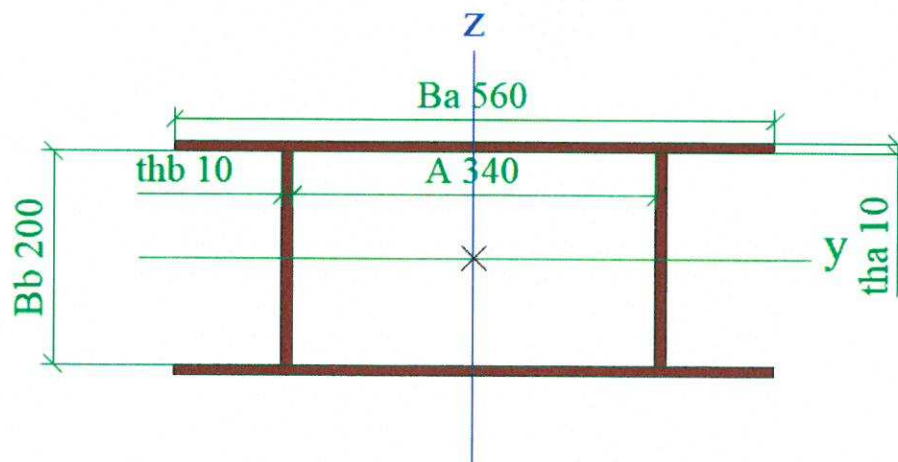
Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS9 - TTW (560; 10;  
390; 10; 340)

Hodnoty průhybů v provozním stavu jsou nižší než ve stavu montážním, proto je zřejmé, že vyhoví požadavkům.

**8.7. Návrh a posouzení sloupu vstupního portálu**

Geometrie sloupu:



Obr. 8.9 – Geometrie portálového sloupu

**Klasifikace svařeného průřezu:** (s uvažováním účinné tloušťky svaru  $a = 4\text{ mm}$ )

Pásnice – vnitřní tlačená část:

$$\text{Pro S355 vychází } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c}{t} = \frac{340 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4}{10} = 32,87 \leq 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 0,81 = 34,02$$

⇒ Pásnice třídy 3

Stojina – část namáhaná M+N:

Protože  $\alpha > 0,5$ ,  $\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$

$$\frac{c}{t} = \frac{200 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4}{10} = 18,87 \leq \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,76 - 1} = 36,12$$

⇒ Stojina třídy 1

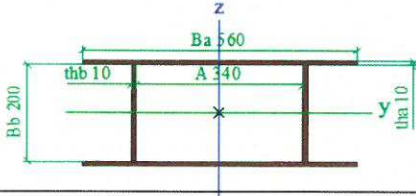
Přečnávající část v tlaku:

$$\frac{c}{t} = \frac{100 - \sqrt{2} \cdot 4}{10} = 9,4 \leq 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,34$$

⇒ Přečnávající část třídy 3

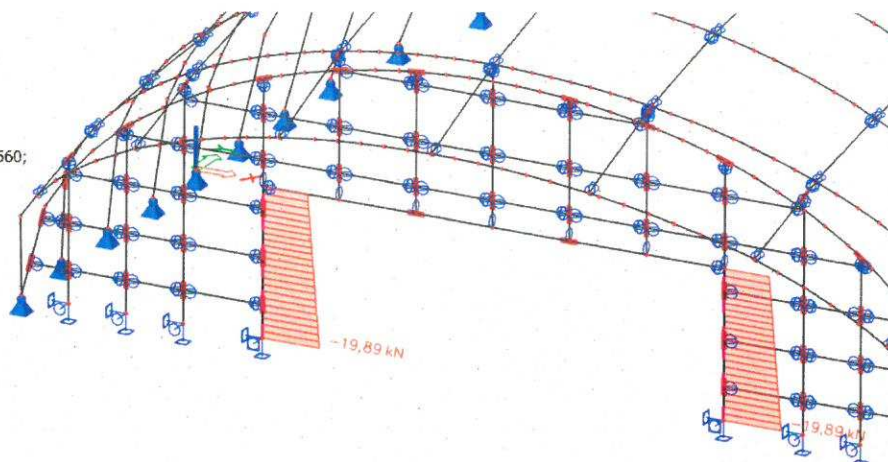
⇒ Celý průřez je tedy třídy 3

**Průřezové charakteristiky:**

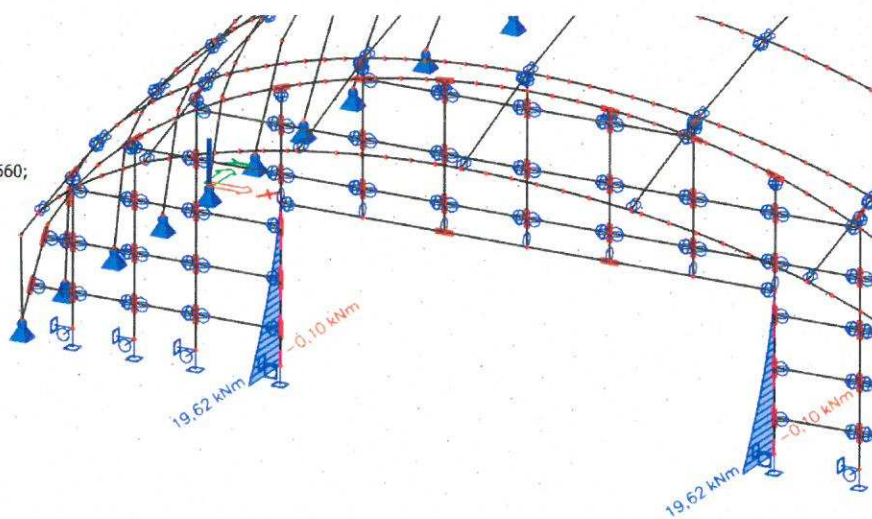
|  |                       |            |
|--|-----------------------|------------|
| Jméno  | CS10                  |            |
| Typ  | Komora fl             |            |
| Detailní   | 560; 10; 200; 10; 340 |            |
| Materiál   | S 355 J2 (EN 10025-2) |            |
| Výroba   | svařovaný             |            |
| Posudek rovinného vzpěru y-y   | b                     |            |
| Posudek rovinného vzpěru z-z   | b                     |            |
| Klopení  | Výchozí               |            |
| Použit 2D MKP výpočet  | x                     |            |
|  |                       |            |
| A [m <sup>2</sup> ]  | 1,5200e-02            |            |
| A y, z [m <sup>2</sup> ]   | 9,0237e-03            | 4,4100e-03 |
| I y, z [m <sup>4</sup> ]   | 1,3691e-04            | 4,1523e-04 |
| I w [m <sup>6</sup> ], t [m <sup>4</sup> ]   | 1,2487e-07            | 1,9345e-04 |
| Wel y, z [m <sup>3</sup> ]   | 1,2446e-03            | 1,4830e-03 |
| Wpl y, z [m <sup>3</sup> ]   | 1,3760e-03            | 2,2680e-03 |
| d y, z [mm]  | 0                     | 0          |
| c YUSS, ZUSS [mm]  | 280                   | 110        |
| α [deg]  | 0,00                  |            |
| A L, D [m <sup>2</sup> /m]   | 1,9600e+00            | 3,0400e+00 |
| Mplz +, - [Nm]   | 4,88e+05              | 4,88e+05   |
| Mplz +, - [Nm]   | 8,05e+05              | 8,05e+05   |

**MSÚ :****1D vnitřní síly**

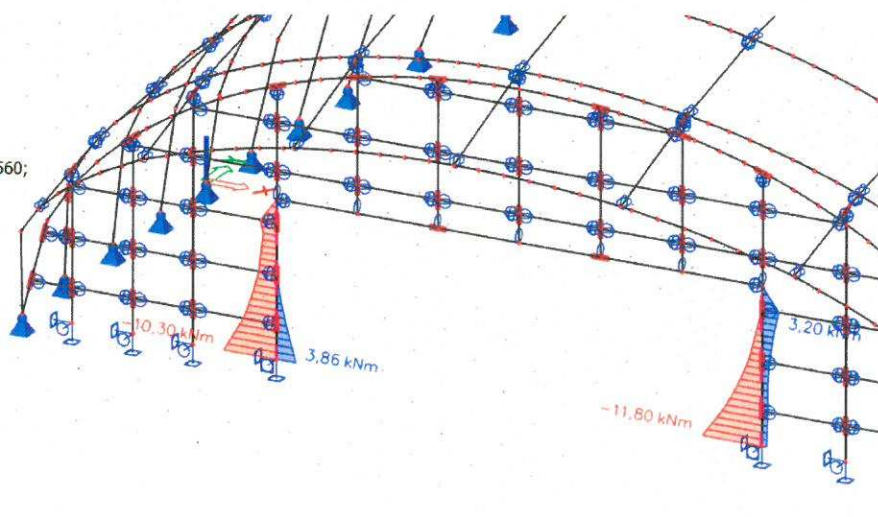
Hodnoty: **N**  
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Dílec  
 Výběr: B1832, B1833  
 Filtr: Průřez = CS10 - Komora fl (560;  
 10; 200; 10; 340)

**1D vnitřní síly**

Hodnoty: **M<sub>z</sub>**  
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Dílec  
 Výběr: B1832, B1833  
 Filtr: Průřez = CS10 - Komora fl (560;  
 10; 200; 10; 340)

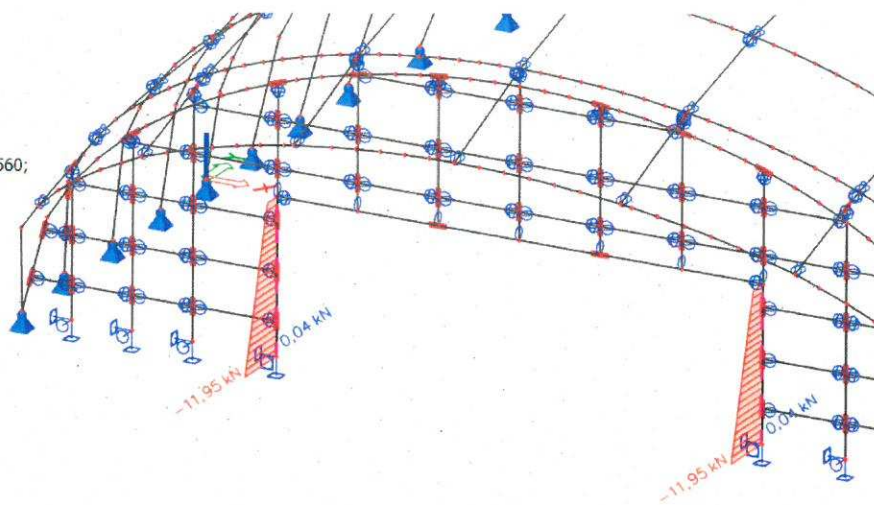
**1D vnitřní síly**

Hodnoty: **M<sub>y</sub>**  
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Dílec  
 Výběr: B1832, B1833  
 Filtr: Průřez = CS10 - Komora fl (560;  
 10; 200; 10; 340)



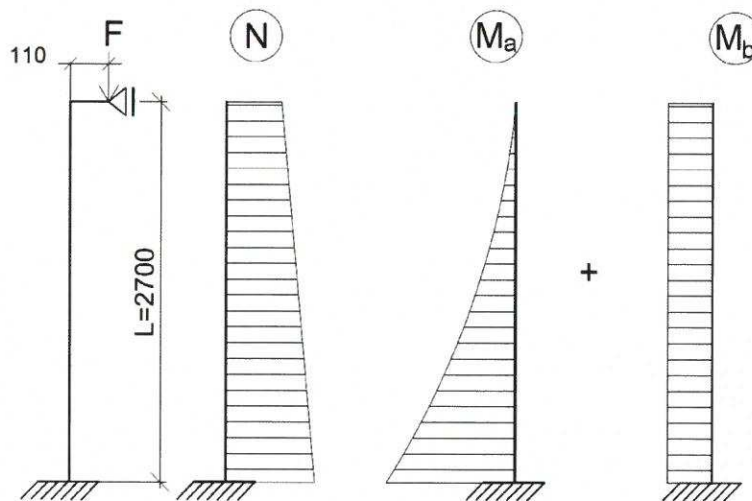
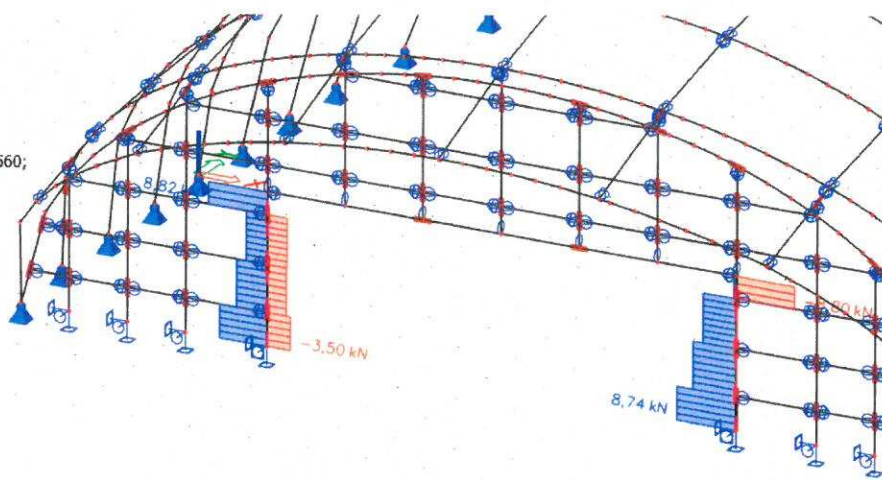
**1D vnitřní síly**

Hodnoty:  $V_y$   
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Dílec  
 Výběr: B1832, B1833  
 Filtr: Průřez = CS10 - Komora fl (560;  
 10; 200; 10; 340)



**1D vnitřní síly**

Hodnoty:  $V_z$   
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Dílec  
 Výběr: B1832, B1833  
 Filtr: Průřez = CS10 - Komora fl (560;  
 10; 200; 10; 340)



Obr. 8.10 – Schéma portálového sloupu (Ohybový moment  $M_y$ )

$$F = V_{z,\text{příčle}} = 13,0 \text{ kN}$$

Připojením příčle na sloup vznikne přídavný moment od posouvající síly působící na excentricitě, což představuje vzdálenost od střednice sloupu ke spoji s příčlí.

$$N_{ed} = 19,89 \text{ kN}$$

$$M_{ed,y} = M_a + M_b = 1,67 + V_{z,\text{příčle}} * e = 10,3 + 13,0 * \frac{0,22}{2} = 11,83 \text{ kNm (viz obr.8.10)}$$

$$M_{ed,z} = 19,62 \text{ kNm}$$

Smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\sqrt{3} \gamma_{m,0}} \geq V_{ed}$$

$$A_{v,z} = 200 * 10 * 2 = 4000 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,y} = 560 * 10 * 2 = 11200 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{4000 * 355}{\sqrt{3} * 1,15} = 712,9 \text{ kN} \geq V_{ed,z} = 8,74 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd,y} = \frac{11200 * 355}{\sqrt{3} * 1,15} = 1996 \text{ kN} \geq V_{ed,y} = 11,95 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Prostý tlak:

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{15200 * 355 * 10^{-3}}{1,15} = 4692 \text{ kN} > N_{ed} = 19,89 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Prostý ohyb:

$$M_{Rd,y} = \frac{W_{el,y} * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{1,2446 * 10^6 * 355}{1,15} = 384,2 \text{ kNm} > M_{ed,y} = 11,83 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,z} = \frac{W_{el,z} * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{1,483 * 10^6 * 355}{1,15} = 457,8 \text{ kNm} > M_{ed,z} = 19,62 \text{ kNm}$$

⇒ **Vyhovuje**

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení v rovině nosníku a z roviny:

Žaluzie z plechů nebudou uvažovat jako podpory pro jejich malou tuhost oproti sloupu. Vzpěrnou délku uvažují bezpečně jako celou délku nosníku. Protože  $\frac{h}{t_w} = \frac{220}{10} = 22 < 30$ , beru křivku vzpěrnosti c. Klopení sloupu neuvažují.

Kritické délky:

$$L_{cr,y} = L = 2700 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 2 * L = 2 * 2700 = 5400 \text{ mm}$$

Stanovení štíhlosti prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2700}{95} = 28,42$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5400}{165} = 32,73$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{28,42}{75,91} = 0,375 - \text{křivka vzpěrnosti } c \Rightarrow \chi_y = 0,908$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{32,73}{75,91} = 0,44 - \text{křivka vzpěrnosti } c \Rightarrow \chi_z = 0,876$$

kde:

$$\lambda_1 = 93,3 * \varepsilon = 93,3 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,3 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 75,91$$

Interakce tlaku a ohybu – Ve směru ohybového momentu  $M_y$  budu uvažovat dva stavy. Lineární (zjednodušeně) a konstantní průběh  $M_y$  (viz Obr. 8.10). Pro výpočet interakčního součinitele pak vyberu horší variantu.

$$\psi = 0, \quad \text{platí: } -1,0 \leq \psi \leq 1,0.$$

$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 + 0,4 * 0 = 0,6 \geq 0,9$$

$$C_{m,y} = 0,9 - \text{pro vybočení s posuvem styčnic}$$

$$\psi_2 = 1,0 \quad \text{platí: } -1,0 \leq \psi \leq 1,0.$$

$$C_{m,y,2} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 + 0,4 * 1,0 = 1,0 \geq 0,4$$

$$C_{m,y} = \max(C_{m,y,1}, C_{m,y,2}) = 1,0$$

Pro pravoúhlé duté průřezy a pružnostní návrh platí:

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{m,y} * \left( 1 + 0,6 * \bar{\lambda}_y * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{A * f_y}{\gamma_{m,0}}} \right) \\ C_{m,y} * \left( 1 + 0,6 * \frac{N_{ed}}{\chi_y * \frac{A * f_y}{\gamma_{m,0}}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 * \left( 1 + 0,6 * 0,375 * \frac{19,89}{0,908 * 4692} \right) \\ 1,0 * \left( 1 + 0,6 * \frac{19,89}{0,908 * 4692} \right) \end{array} \right\} = \begin{cases} 1,001 \\ 1,003 \end{cases}$$

$$k_{yy} = 1,001$$

$$k_{zy} = 0,8 * k_{yy} = 0,8 * 1,001 = 0,8$$



Interakce tlaku a ohybu – pro lineární průběh momentu a rovnoměrné zatížení (Pro  $M_z$ ):

$$\psi = 0, \quad \text{platí: } -1,0 \leq \psi \leq 1,0.$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 + 0,4 * 0 = 0,6 \geq 0,9$$

$$C_{mz} = 0,9 - \text{pro vybočení s posuvem styčniců}$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{mz} * \left( 1 + 0,6 * \bar{\lambda}_z * \frac{N_{ed}}{\chi_z * \frac{A * f_y}{\gamma_{m,0}}} \right) \\ C_{mz} * \left( 1 + 0,6 * \frac{N_{ed}}{\chi_z * \frac{A * f_y}{\gamma_{m,0}}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 * \left( 1 + 0,6 * 0,44 * \frac{19,89}{0,876 * 4692} \right) \\ 0,9 * \left( 1 + 0,6 * \frac{19,89}{0,876 * 4692} \right) \end{array} \right\} = \begin{cases} 0,901 \\ 0,903 \end{cases}$$

$$k_{zz} = 0,901 = k_{yz}$$

Posouzení interakce M+N:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * A * f_y} + K_{yy} * \frac{M_{ed,y}}{W_{el,y} * f_y} + K_{yz} * \frac{M_{ed,z}}{W_{el,z} * f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{19,89}{0,908 * 4692} + 1,001 * \frac{11,83}{384,2} + 0,901 * \frac{19,62}{457,8} \leq 1,0$$

$$0,005 + 0,03 + 0,04 = 0,075 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * A * f_y} + K_{zy} * \frac{M_{ed,y}}{W_{el,y} * f_y} + K_{zz} * \frac{M_{ed,z}}{W_{el,z} * f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{19,89}{0,879 * 4692} + 0,8 * \frac{11,83}{384,2} + 0,901 * \frac{19,62}{457,8} \leq 1,0$$

$$0,005 + 0,024 + 0,04 = 0,069 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

Posouzení interakce M+N bez součinitelů:

$$\frac{N_{ed}}{A * f_y} + \frac{M_{ed,y}}{W_{el,y} * f_y} + \frac{M_{ed,z}}{W_{el,z} * f_y} \leq 1,0$$

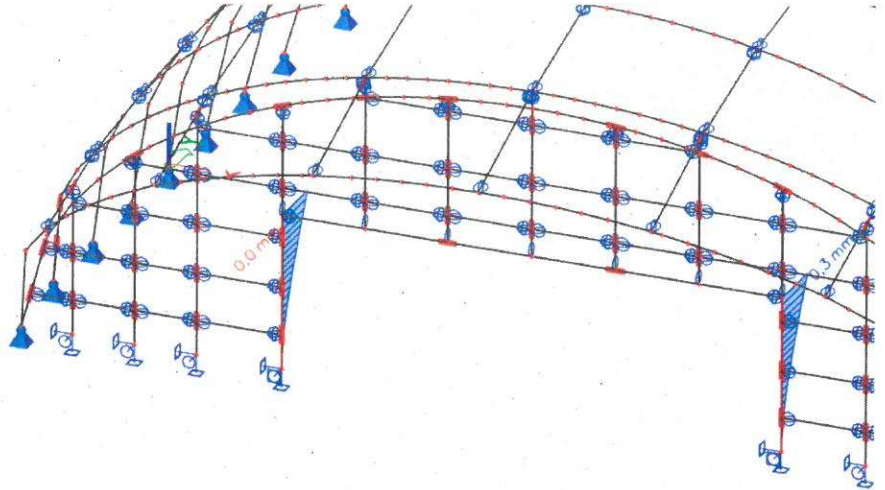
$$\frac{19,69}{4692} + \frac{11,83}{384,2} + \frac{19,62}{457,8} \leq 1,0$$

$$0,004 + 0,031 + 0,043 = 0,078 \leq 1,0$$

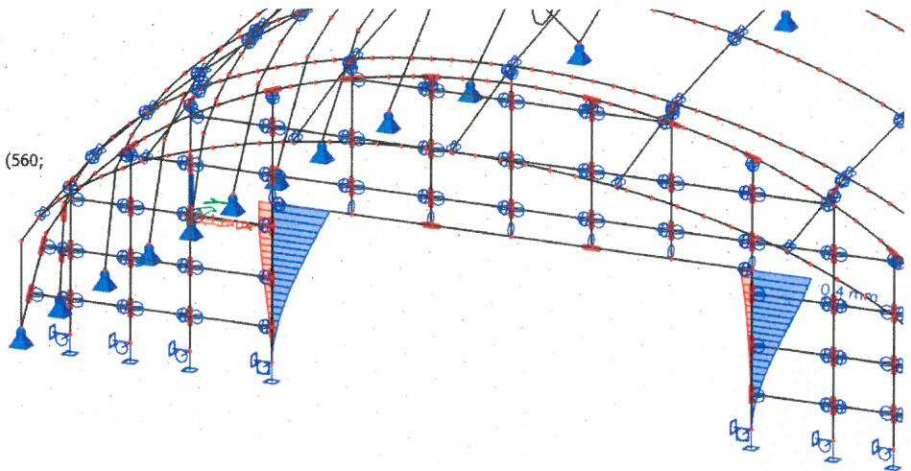
⇒ **Vyhovuje**

**MSP:****1D deformace**

Hodnoty:  $u_y$   
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSP  
 Souřadný systém: Globální  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: Vše  
 Filtr: Průřez = CS10 - Komora fl (560;  
 10; 200; 10; 340)

**1D deformace**

Hodnoty:  $u_x$   
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSP  
 Souřadný systém: Globální  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: Vše  
 Filtr: Průřez = CS10 - Komora fl (560;  
 10; 200; 10; 340)



$$\delta_{lim} = \frac{H}{500} = \frac{2700}{500} = 5,4 \text{ mm}$$

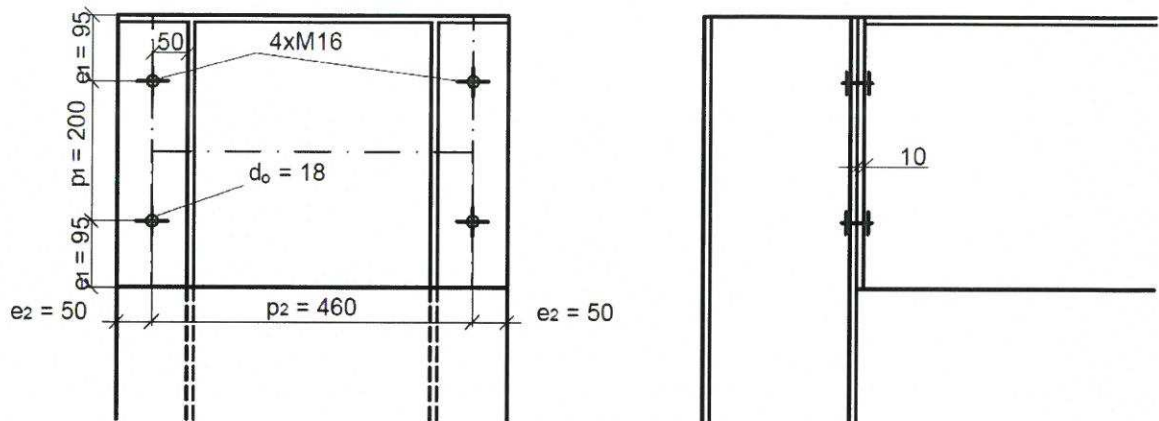
$$\delta_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 5,4 \geq \delta_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

### 8.8. Posouzení spojení sloupu a příčle

Příčle bude napojena na sloup na obou koncích šroubovým spojem přes styčnickový plech



Obr. 8.11 – Schéma připoje příčle ke sloupu

Šrouby: Návrh - 4xM16, 8.8, ISO 4017

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

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

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

$$f_{ub} = 800 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 490 \text{ Mpa}$$

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

Únosnost ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub} \cdot n}{\gamma_{m,2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800 \cdot 1,0}{1,25} = 60,28 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{m,2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 10}{1,25} = 156,8 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ \frac{95}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0 \right\} = \min \{1,75; 1,63; 1,0\}$$

$$\alpha_b = 1,0$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{50}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 6,08\}$$

$$k_1 = 2,5$$

$$F_{Rd} = 4 * \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 4 * \min(60,28; 156,8)$$

$$F_{Rd} = 241,12 \text{ kN}$$

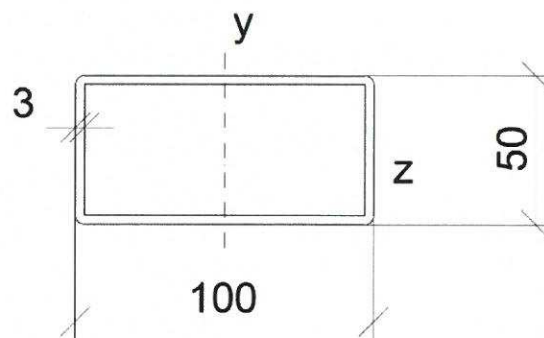
$$F_{Rd} = 241,12 \text{ kN} \leq F_{ed} = V_{z,příčle} = 13,0 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

### 8.9. Posouzení portálového obloukového nosníku

Nosník bude s hlavní nosnou konstrukcí spojen přes trn, který umožní pohyb ve svislém směru. To bude mít za následek, že hlavní nosná konstrukce bude přenášet zatížení na portálový oblouk jen minimálně.

**Návrh průřezu: HTR 100x50x3,0**



**Průřezové charakteristiky:**

|   |   |            |
|---|---|------------|
| Jméno   | CS6   |            |
| Typ   | RHS100/50/3.0   |            |
| Zdroj hodnot  | British Standard / BS 5950 part 1 : 1990 & EN 10210-2 |            |
| Materiál  | 1.4404  |            |
| Výroba  | válcovaný   |            |
| Posudek rovinného vzpěru y-y                          | a   |            |
| Posudek rovinného vzpěru z-z                          | a   |            |
| Klopení   | Výchozí   |            |
| Použití 2D MKP výpočet                                | *   |            |
|   |   |            |
| A [m <sup>2</sup> ]                                   | 8,5400e-04  |            |
| A <sub>y, z</sub> [m <sup>2</sup> ]                   | 2,8275e-04  | 5,6551e-04 |
| I <sub>y, z</sub> [m <sup>4</sup> ]                   | 1,1000e-06  | 3,6800e-07 |
| I <sub>w</sub> [m <sup>6</sup> ], t [m <sup>4</sup> ] | 4,6875e-10  | 8,8400e-07 |
| W <sub>el y, z</sub> [m <sup>3</sup> ]                | 2,1900e-05  | 1,4700e-05 |
| W <sub>pl y, z</sub> [m <sup>3</sup> ]                | 2,7029e-05  | 1,6622e-05 |
| d <sub>y, z</sub> [mm]                                | 0   | 0          |
| c <sub>YUSS, ZUSS</sub> [mm]                          | 25  | 50         |
| α [deg]   | 0,00  |            |
| A <sub>L, D</sub> [m <sup>2</sup> /m]                 | 2,9200e-01  | 5,6565e-01 |
| M <sub>ply +, -</sub> [Nm]                            | 6,35e+03  | 6,35e+03   |
| M <sub>plz +, -</sub> [Nm]                            | 3,91e+03  | 3,91e+03   |

Celý průřez je třídy 1 – viz ocelářské tabulky.

**MSÚ:****1D vnitřní síly**Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1, B1925..B1963

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0

**1D vnitřní síly**Hodnoty: **M<sub>y</sub>**

Lineární výpočet

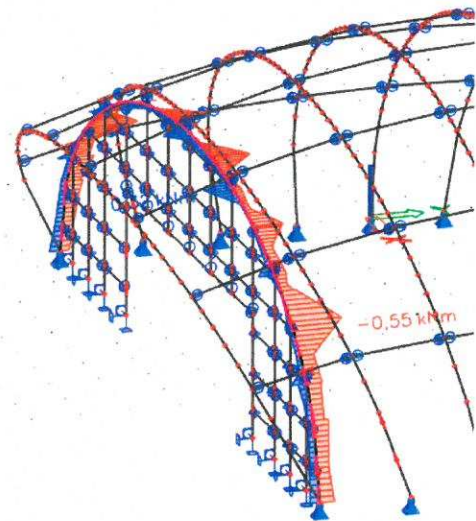
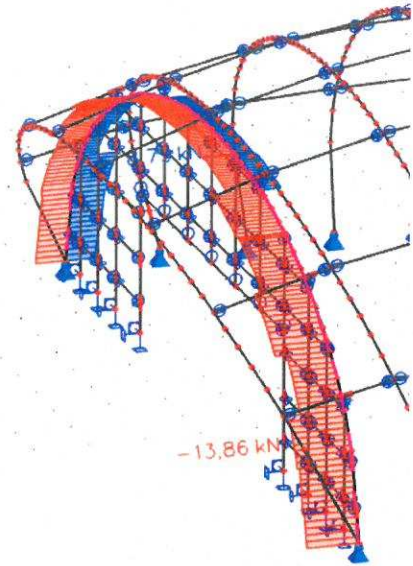
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

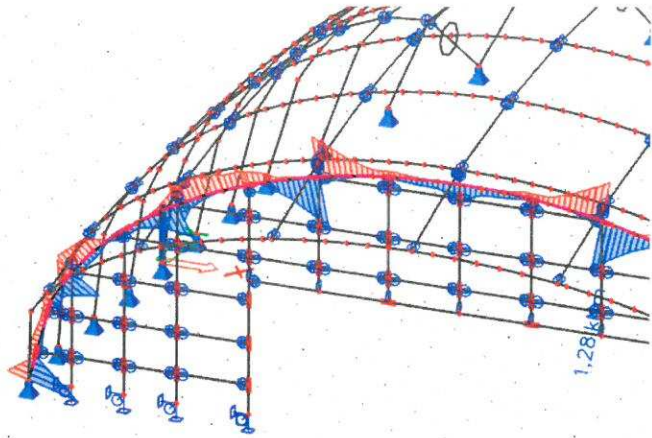
Výběr: B1, B1925..B1963

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0

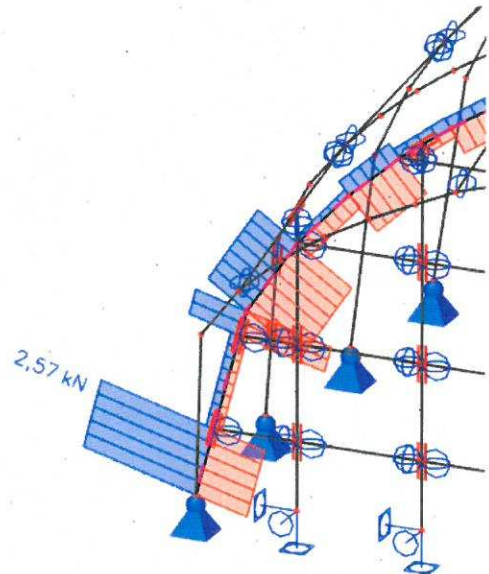


**1D vnitřní síly**

Hodnoty:  $M_z$   
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: B1, B1925..B1963  
 Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0

**1D vnitřní síly**

Hodnoty:  $V_y$   
 Lineární výpočet  
 Třída: Všechny MSU  
 Souřadný systém: Hlavní  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: B1, B1925..B1963  
 Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0



Vnitřní síly na oblouku:

$$N_{ed} = -13,86 \text{ kN}$$

$$M_{ed,y} = 0,55 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,z} = 1,28 \text{ kNm}$$

$$V_{ed,y} = 2,57 \text{ kN}$$

Smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \gamma_{m,0}} \geq V_{ed,z}$$

$A_v$  je smyková plocha – v tomto případě je to plocha kratších stran nosníku:

$$A_v = 44 \cdot 3 \cdot 2 = 264 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{264 \cdot 220 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 30,48 \text{ kN} \geq V_{ed,z} = 2,57 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Prostý tlak:

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{854 * 220 * 10^{-3}}{1,1} = 170,8 \text{ kN} > N_{ed} = 13,86 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Prostý ohyb:

$$M_{Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{2,703 * 10^4 * 220 * 10^{-6}}{1,1} = 5,406 \text{ kNm} > M_{ed} = 0,55 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,z} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{1,662 * 10^4 * 220 * 10^{-6}}{1,1} = 3,324 \text{ kNm} > M_{ed} = 1,28 \text{ kNm}$$

⇒ **Vyhovuje**

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti:

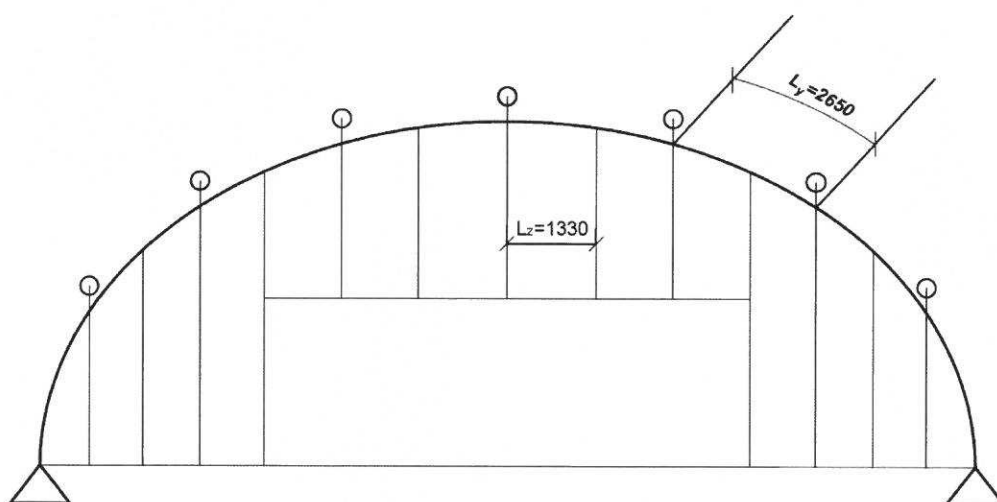
$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * A * f_y} + K_y * \frac{M_{ed,y}}{W_{pl,y} * f_y} + K_z * \frac{M_{ed,z}}{W_{pl,z} * f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * A * f_y} + K_y * \frac{M_{ed,y}}{W_{pl,y} * f_y} + K_z * \frac{M_{ed,z}}{W_{pl,z} * f_y} \leq 1,0$$

Kritické délky:

$$L_{cr,y} = L_y = 2650 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L_z = 1330 \text{ mm}$$



Obr. 8.12 – Schéma kritických délek

Stanovení štíhlosti prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2650}{36} = 76,61$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1330}{21} = 63,33$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{76,61}{96,43} = 0,795$$

– křivka vzpěrnosti pro HTR za studena tvářené austenitické oceli  $\Rightarrow \chi_y = 0,69$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{63,33}{96,43} = 0,657$$

– křivka vzpěrnosti pro HTR za studena tvářené austenitické oceli  $\Rightarrow \chi_z = 0,76$

kde:

$$\lambda_1 = 93,3 * \varepsilon = 93,3 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,3 * \sqrt{\frac{235}{220}} = 96,43$$

Součinitele interakce pro čtyřhranné uzavřené průřezy a austenitickou ocel:

$$k_y = 1 + D_1(\bar{\lambda}_y - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,y}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,y}},$$

kde  $D_1 = 2,0$ ,  $D_2 = 0,3$ ,  $D_3 = 1,3$  [JANDERA, Michal, ŽIDLICKÝ, Břetislav a ŠORF Marek. Příručka pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli, 4. vydání - tabulka 6.6] – pro austenitické trubky čtverhranného průřezu.

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{0,69 * 854 * 220 * 10^{-3}}{1,1} = 117,85 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z * A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{0,76 * 854 * 220 * 10^{-3}}{1,1} = 129,81 \text{ kN}$$

$$k_y = 1 + 2,0(0,795 - 0,3) \frac{13,86}{117,85} \leq 1 + 2,0(1,3 - 0,3) \frac{13,86}{117,85}$$

$$k_y = 1,116 \leq 1,235$$

$$\Rightarrow \underline{\mathbf{k_y = 1,116}}$$

$$k_z = 1 + D_1(\bar{\lambda}_z - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd,min}}$$

$$k_z = 1 + 2,0(0,657 - 0,3) \frac{13,86}{117,85} \leq 1 + 2,0(1,3 - 0,3) \frac{13,86}{117,85}$$

$$k_z = 1,084 \leq 1,235$$

$$\Rightarrow \underline{\mathbf{k_z = 1,084}}$$



$$\frac{13,86}{0,69 * 854 * 220 * 10^{-3}} + 1,116 * \frac{0,55}{2,703 * 10^4 * 220 * 10^{-6}} +$$

$$+ 1,084 * \frac{1,28}{1,662 * 10^4 * 220 * 10^{-6}} \leq 1,0$$

$$0,118 + 0,114 + 0,418 = 0,65 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

Je zřejmé, že posouzení pro vybočení nosníku v rovině také vyhoví, protože  $\chi_y < \chi_z$ .

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení v rovině nosníku bez součinitelů:

$$\frac{N_{ed}}{A * f_y} + \frac{M_{ed,y}}{W_{pl,y} * f_y} + \frac{M_{ed,z}}{W_{pl,z} * f_y} \leq 1,0$$

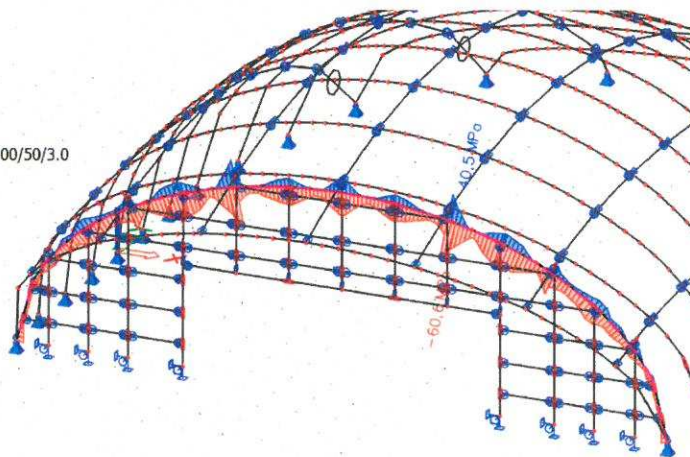
$$\frac{13,86}{854 * 220 * 10^{-3}} + \frac{0,55}{2,703 * 10^4 * 220 * 10^{-6}} + \frac{1,28}{1,662 * 10^4 * 220 * 10^{-6}} \leq 1,0$$

$$0,08 + 0,102 + 0,385 = 0,567 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

**MSP:**

**1D napětí**  
Hodnoty:  $\sigma_x$   
Lineární výpočet  
Kombinace: msp-portal  
Souřadný systém: Hlavní  
Extrém 1D: Globální  
Výběr: B1, B1925..B1963  
Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0



$$E_s = \frac{(E_{s1} + E_{s2})}{2}$$

Sečnový modul pružnosti v tahu:

$$E_{s1} = \frac{E}{1 + 0,002 * \frac{E}{\sigma_{1,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{1,Ed,ser}}{f_y} \right)^n}$$

$$\sigma_{1,Ed,ser} = 40,5 \text{ MPa}$$

$$n = 7$$

$$E = 200 \text{ MPa}$$

- návrhové tahové napětí pro MSP

- pro austenitickou ocel

- pro korozivzdornou ocel

$$E_{s1} = \frac{200 \cdot 10^3}{1 + 0,002 \cdot \frac{200 \cdot 10^3}{40,5} \left(\frac{40,5}{220}\right)^7} = 199,98 \text{ GPa}$$

Sečnový modul pružnosti v tlaku:

$$E_{s2} = \frac{E}{1 + 0,002 \cdot \frac{E}{\sigma_{2,Ed,ser}} \left(\frac{\sigma_{2,Ed,ser}}{f_y}\right)^n}$$

$$\sigma_{2,Ed,ser} = 60,6 \text{ MPa}$$

- návrhové tlakové napětí pro MSP

$$E_{s2} = \frac{200 \cdot 10^3}{1 + 0,002 \cdot \frac{200 \cdot 10^3}{60,6} \left(\frac{60,6}{220}\right)^7} = 199,8 \text{ GPa}$$

$$E_s = \frac{(199,98 + 199,8)}{2} = 199,89 \text{ MPa}$$

Svislý průhyb:

**1D deformace**

Hodnoty:  $u_z$

Lineární výpočet

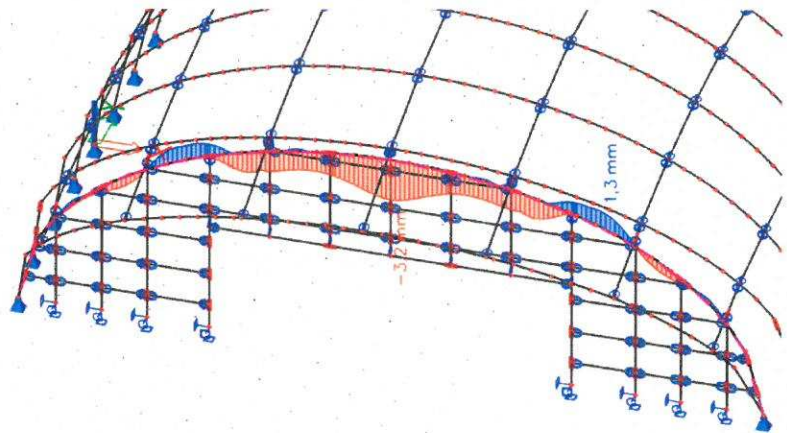
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1, B1925, B1963

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0



$$\delta_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{8000}{300} = 26,6 \text{ mm}, \quad \text{kde } L \text{ je maximální délka prohýbané části, tj. nad příčlí}$$

$$\delta_{max} = 3,2 \cdot \frac{E}{E_s} = 3,2 \cdot \frac{210}{199,89} = 3,36 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = 26,6 \geq \delta_{max} = 3,36 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

Vodorovný průhyb:

**1D deformace**Hodnoty:  $u_y$ 

Lineární výpočet

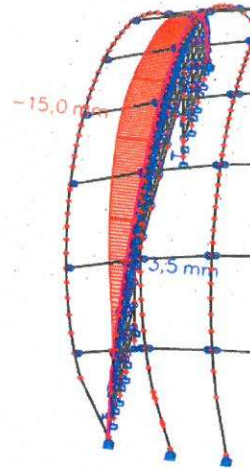
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1, B1925..B1963

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0

**1D deformace**Hodnoty:  $u_x$ 

Lineární výpočet

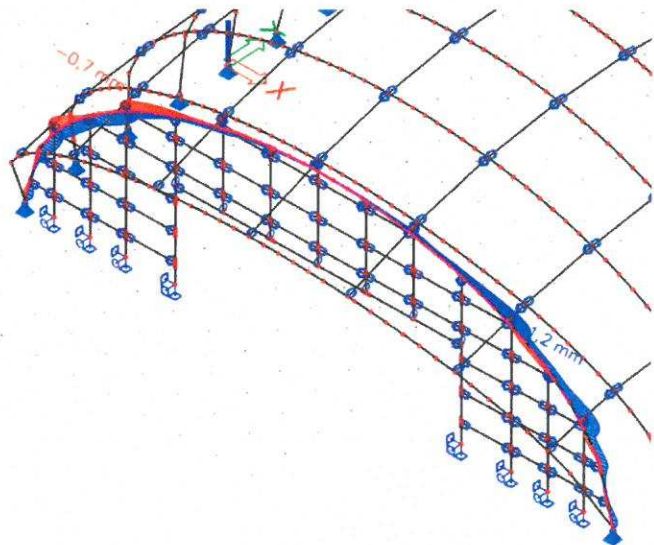
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1, B1925..B1963

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0



$$\delta_{\text{lim},x} = \frac{L_x}{300} = \frac{2650}{300} = 8,83 \text{ mm} \quad (L_x \text{ je délka křivky oblouku mezi dvěma podélníky})$$

$$\delta_{\text{max},x} = 1,2 * \frac{E}{E_s} = 1,2 * \frac{210}{199,89} = 1,26 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim},x} = 8,83 \text{ mm} \geq \delta_{\text{max},x} = 1,26 \text{ mm}$$

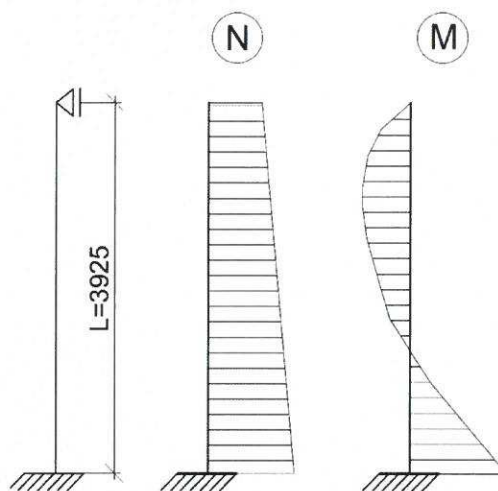
$$\delta_{\text{lim},y} = \frac{L_y}{300} = \frac{16050}{300} = 53,5 \text{ mm} \quad (L_y \text{ je rozpětí obloukového nosníku})$$

$$\delta_{\text{max},y} = 15 * \frac{E}{E_s} = 15 * \frac{210}{199,89} = 15,76 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim},y} = 53,5 \text{ mm} \geq \delta_{\text{max},y} = 15,76 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

## 8.10. Návrh a posouzení portálového sloupku



Obr. 8.13 – Schéma portálového sloupku (moment  $M_y$ )

### MSÚ :

#### 1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

Lineární výpočet

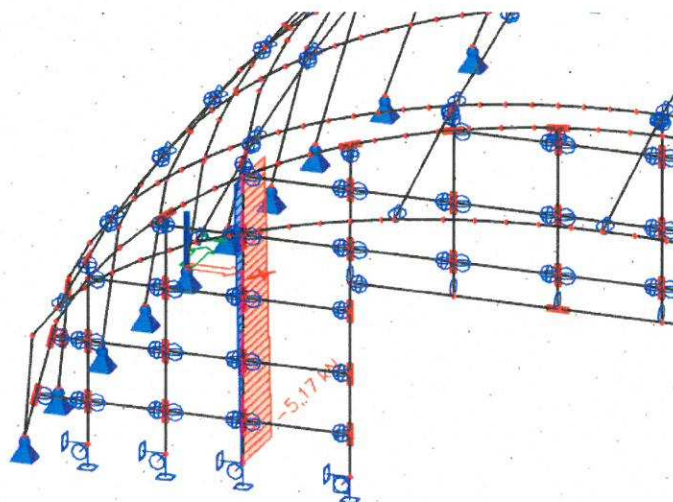
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1971, B1972

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0



**1D vnitřní síly**Hodnoty:  $M_y$ 

Lineární výpočet

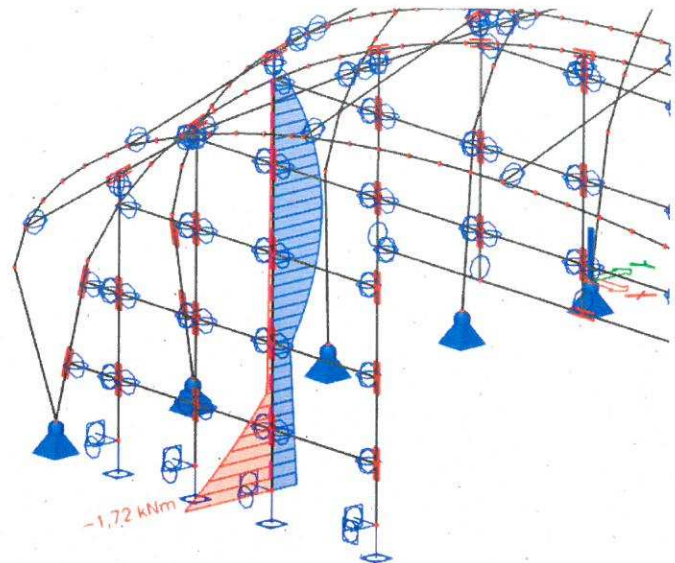
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1971, B1972

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0

**1D vnitřní síly**Hodnoty:  $M_z$ 

Lineární výpočet

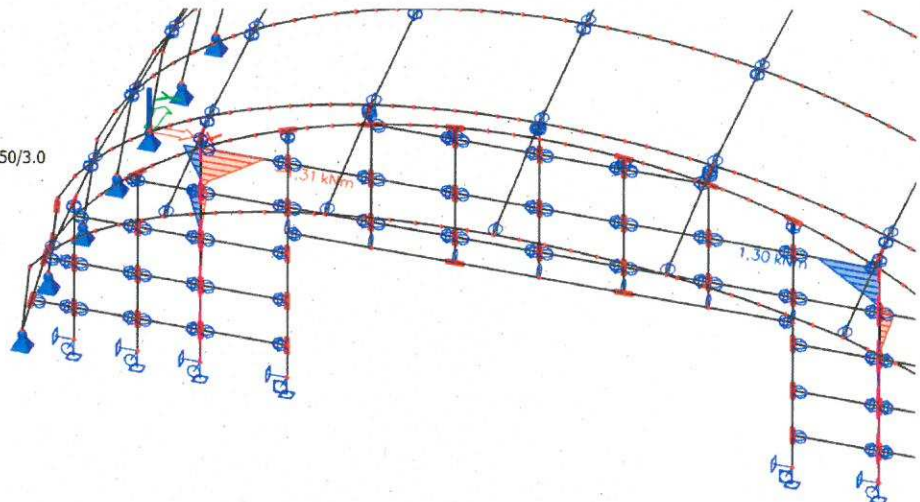
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1971, B1972

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0

**1D vnitřní síly**Hodnoty:  $V_z$ 

Lineární výpočet

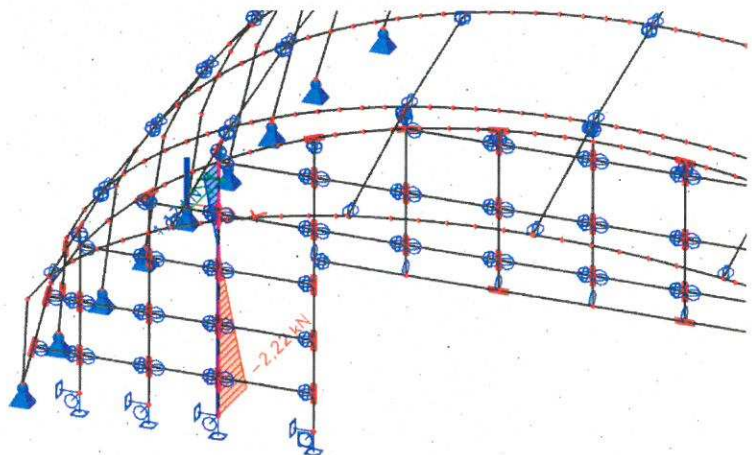
Třída: Všechny MSU

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: B1971, B1972

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0



Smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\sqrt{3} \gamma_{m,0}} \geq V_{ed,z}$$

$$A_v = 94 * 3 * 2 = 543 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{564 * 220 * 10^{-3}}{\sqrt{3} * 1,1} = 65,12 \text{ kN} \geq V_{ed,z} = 2,22 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Prostý tlak:

$$N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{854 * 220 * 10^{-3}}{1,1} = 170,8 \text{ kN} > N_{ed} = 5,17 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Prostý ohyb:

$$M_{Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{2,703 * 10^4 * 220 * 10^{-6}}{1,1} = 5,406 \text{ kNm} > M_{ed,y} = 1,72 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,z} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{1,662 * 10^4 * 220 * 10^{-6}}{1,1} = 3,324 \text{ kNm} > M_{ed,z} = 1,31 \text{ kNm}$$

⇒ **Vyhovuje**

Kombinace ohybového momentu a normálové síly s vlivem štíhlosti pro vybočení v rovině sloupku (vybočení z roviny neuvažují pro dostatečné příčné podepření podél sloupku):

Kritická délka:

$$L_{cr,y} = 0,7 * L = 0,7 * 3925 = 2\,748 \text{ mm}$$

Stanovení štíhlosti prutu:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2748}{36} = 76,33$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{76,33}{96,43} = 0,792$$

kde:

$$\lambda_1 = 93,3 * \varepsilon = 93,3 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,3 * \sqrt{\frac{235}{220}} = 96,43$$

– křivka vzpěrnosti pro HTR za studena tvářené austenitické oceli ⇒  $\chi_y = 0,69$

Součinitele interakce pro čtyřhranné uzavřené průřezy:

$$k_y = 1 + D_1(\bar{\lambda}_y - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}},$$

kde  $D_1 = 2,0$ ;  $D_2 = 0,3$ ;  $D_3 = 1,3$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{m,0}} = \frac{0,69 * 854 * 220 * 10^{-3}}{1,1} = 117,85 \text{ kN}$$

$$k_y = 1 + 2,0(0,792 - 0,3) \frac{5,08}{117,85} \leq 1 + 2,0(1,3 - 0,3) \frac{5,08}{117,85}$$

$$k_y = 1,043 \leq 1,09$$

$$\Rightarrow \underline{k_y = 1,043}$$

$$\Rightarrow \underline{k_z = 1,0 \text{ (Odhad)}}$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * A * f_y} + K_y * \frac{M_{ed,y}}{W_{pl,y} * f_y} + K_z * \frac{M_{ed,z}}{W_{pl,z} * f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{5,08}{0,69 * 854 * 220 * 10^{-3}} + 1,043 * \frac{1,72}{2,703x10^4 * 220 * 10^{-6}} +$$

$$+ 1,0 * \frac{1,31}{1,662x10^4 * 220 * 10^{-6}} \leq 1,0$$

$$0,043 + 0,332 + 0,394 = 0,769 \leq 1,0$$

$$\Rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Posouzení interakce M+N bez součinitelů:

$$\frac{N_{ed}}{A * f_y} + \frac{M_{ed,y}}{W_{pl,y} * f_y} + \frac{M_{ed,z}}{W_{pl,z} * f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{5,17}{854 * 220 * 10^{-3}} + \frac{1,72}{2,703x10^4 * 220 * 10^{-6}} + \frac{1,31}{1,662x10^4 * 220 * 10^{-6}} \leq 1,0$$

$$0,03 + 0,32 + 0,394 = 0,744 \leq 1,0$$

$$\Rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

Sloupek portálu je využit na cca 77% své únosnosti.

**MSP:****1D napětí**Hodnoty:  $\sigma_x$ 

Lineární výpočet

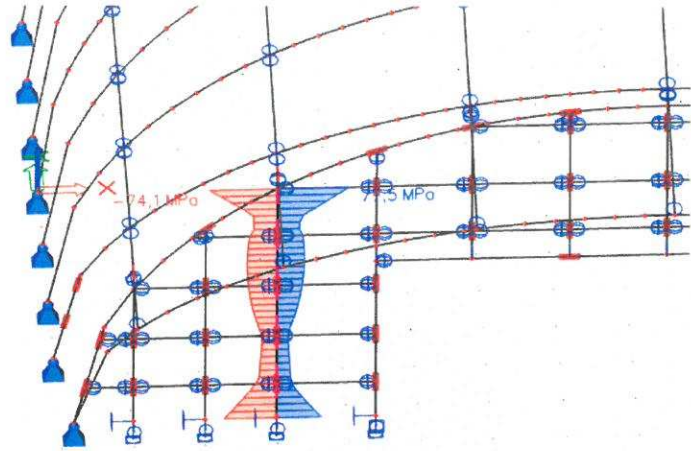
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1971, B1972

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0



$$E_{s1} = \frac{E}{1 + 0,002 * \frac{E}{\sigma_{1,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{1,Ed,ser}}{f_y} \right)^n}$$

$$\sigma_{1,Ed,ser} = 77,5 \text{ MPa}$$

- návrhové tahové napětí pro MSP

$$E_{s1} = \frac{200 * 10^3}{1 + 0,002 * \frac{200 * 10^3}{77,5} \left( \frac{77,5}{220} \right)^7} = 199,3 \text{ GPa}$$

$$E_{s2} = \frac{E}{1 + 0,002 * \frac{E}{\sigma_{2,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{2,Ed,ser}}{f_y} \right)^n}$$

$$\sigma_{2,Ed,ser} = 74,1 \text{ MPa}$$

- návrhové tlakové napětí pro MSP

$$E_{s2} = \frac{200 * 10^3}{1 + 0,002 * \frac{200 * 10^3}{74,1} \left( \frac{74,1}{220} \right)^7} = 199,5 \text{ GPa}$$

$$E_s = \frac{(199,3 + 199,5)}{2} = 199,4 \text{ MPa}$$



Vodorovný průhyb:

**1D deformace**Hodnoty:  $u_y$ 

Lineární výpočet

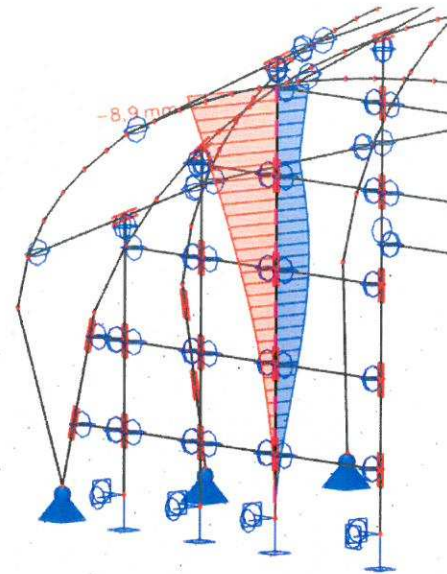
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1971, B1972

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0

**1D deformace**Hodnoty:  $u_x$ 

Lineární výpočet

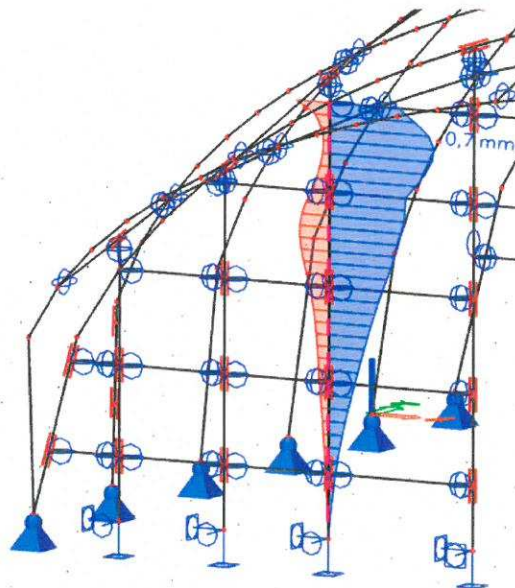
Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1971, B1972

Filtr: Průřez = CS6 - RHS100/50/3.0



$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{300} = \frac{3925}{300} = 13,08 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{max}} = 8,9 * \frac{E}{E_s} = 8,9 * \frac{210}{199,4} = 9,373 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = 13,08 \geq \delta_{\text{max}} = 9,373 \text{ mm}$$

⇒ **Vyhovuje**

### 8.11. Návrh a posouzení patky obloukových nosníků

Patka je uvažována jako kloubová a je namáhána kombinací normálové a posouvající síly. V kloubových podporách nevzniká tah.



Obr. 8.14 – Maximální svislá reakce v podpoře

Výšku podlití uvažuji jako 0,1 násobek menšího rozměru patky, tedy:

$$h_p = 0,1 * a = 0,1 * 400 = 40 \text{ mm}$$

Navrhuji kotevní šrouby 4xM20, A4-80

Součinitel vlivu podlití uvažuji  $\beta_j = \frac{2}{3}$ , protože pevnost malty  $f_{md} \geq 0,2 * f_{cd}$

Beton C20/25

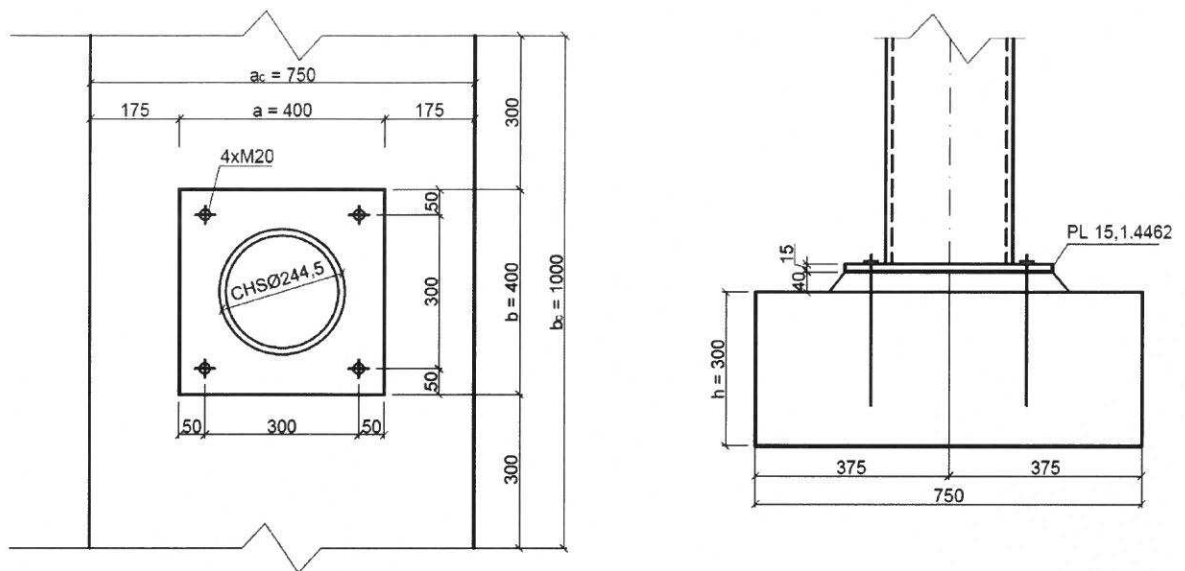
$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

Tloušťku patního plechu navrhuji  $t_p = 15 \text{ mm}$

Materiál patního plechu volím z duplexní korozivzdorné oceli 1.4462 pro její lepší mechanické vlastnosti a také odolnost proti vlivům prostředí.

$$f_y = 460 \text{ MPa}$$

**Únosnost v tlaku:**

Obr. 8.15 – geometrie patky

Započítatelné rozměry betonové patky:

$$a_1 = \min(a_c; 3 * a; a + h) = (750; 1200; 700) = 700 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(b_c; 3 * b; b + h) = (1000; 1200; 1300) = 1000 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a * b}} = \sqrt{\frac{700 * 1000}{400 * 400}} = 2,09$$

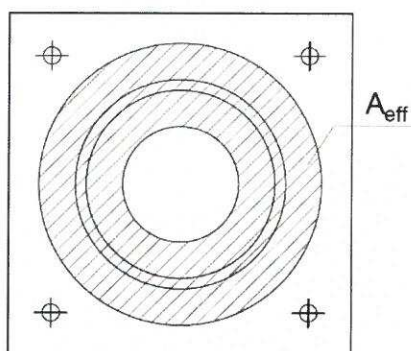
Návrhová pevnost betonu:

$$f_{jd} = \beta_j * \frac{k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{2,09 * 25}{1,5} = 23,2 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky:

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * f_{jd}}} = 15 * \sqrt{\frac{460}{3 * 23,2}} = 38,56 \text{ mm}$$

Účinná plocha patní desky:



$$A_{eff} = 70\,829 \text{ mm}^2 \text{ (určeno pomocí software)}$$

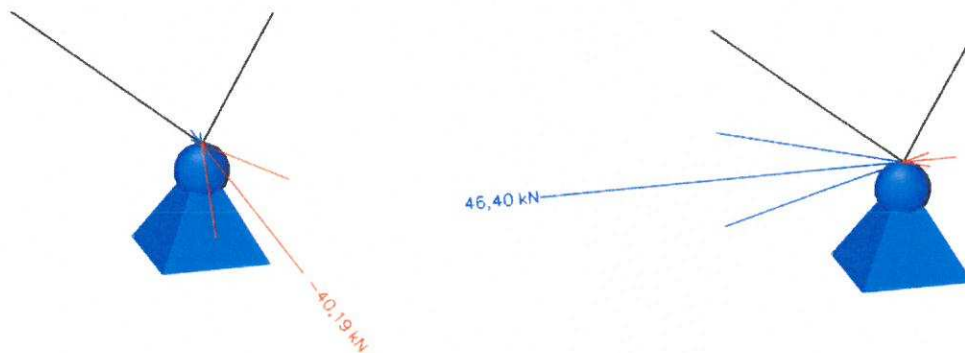
Posouzení:

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 70\,829 * 18,57 * 10^{-3} = 1315,29 \text{ kN} \geq N_{ed} = 71,66 \text{ kN}$$

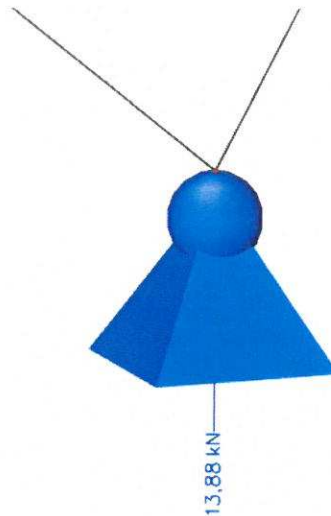
⇒ **Vyhovuje**

**Přenos vodorovných sil do betonové patky:**

Rozhodující kombinace zatížení bude ta, kdy působí největší posouvající síly za současného minimálního působení síly normálové.



Obr. 8.16 – Vodorovné reakce  $R_x$ ,  $R_y$



Obr. 8.17 – Minimální normálové síla

Pro tření mezi patním plechem a betonem uvažují součinitel tření  $\mu = 0,2$ .

Smyková únosnost v důsledku tření:

$$V_{R,d}' = 0,2 * N_{min} = 0,2 * 13,88 \geq V_{ed} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{40,19^2 + 46,4^2}$$

$$V_{R,d}' = 2,776 \text{ kN} \geq V_{ed} = 61,38 \text{ kN}$$

⇒ **Nevyhovuje**

Samotné tření nestačí pro přenos vodorovné síly.

Vzhledem k velkým smykovým silám zvětšují průměr kotev na M24.

**Návrh a posouzení kotev pomocí software:**

Kotva HIT-V-R M24, A4

Návrhová únosnost skupiny kotev ve smyku:

$$V_{R,d}'' = 193,07 \text{ kN} \geq V_{ed} = 61,38 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Kompletní posouzení viz příloha A.

**Návrh svaru nosníku s patním plechem:**

Protože zatížení všech nejzatíženějších patek je podobné, použiju pro návrh svaru bezpečně výše uvedené reakce.

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$L_w = \pi * d = \pi * 244,5 = 768,12 \text{ mm}$$

Napětí ve svaru od normálové síly:

$$\sigma_{we} = \frac{N_{ed}}{A_{we}} = \frac{71,66 * 10^3}{4 * 768,12} = 23,32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{23,32}{\sqrt{2}} = 16,49 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od posouvající síly:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_{we}} = \frac{61,38 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 4 \cdot 768,12} = 39,96 \text{ MPa}$$

**Posouzení:**

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m,2}},$$

kde  $f_u$  je jmenovitá mez pevnosti nejslabší spojované části, tedy obloukového nosníku.

$$\sqrt{16,49^2 + 3 \cdot (16,49^2 + 39,96^2)} \leq \frac{530}{1,0 \cdot 1,25}$$

$$76,67 \text{ MPa} \leq 424 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**

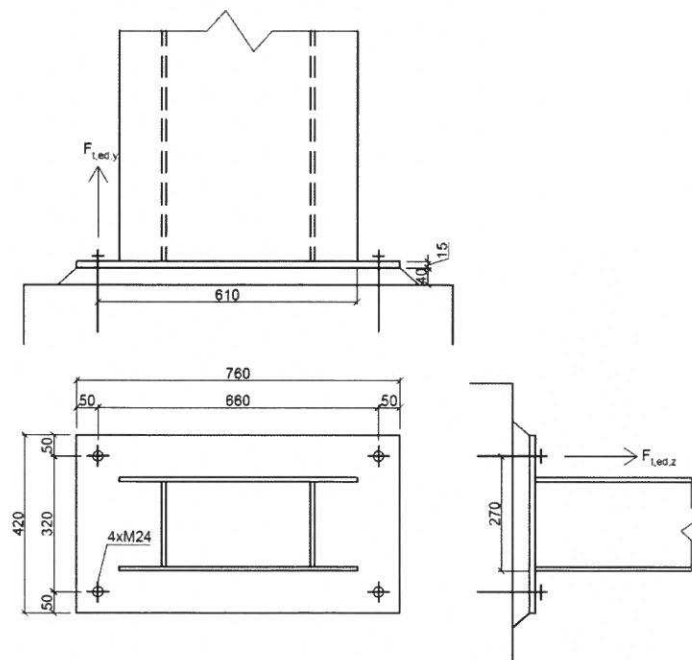
A zároveň:

$$\sigma_{\perp} = 16,49 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{m,2}} = \frac{0,9 \cdot 530}{1,25} = 381,6 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**

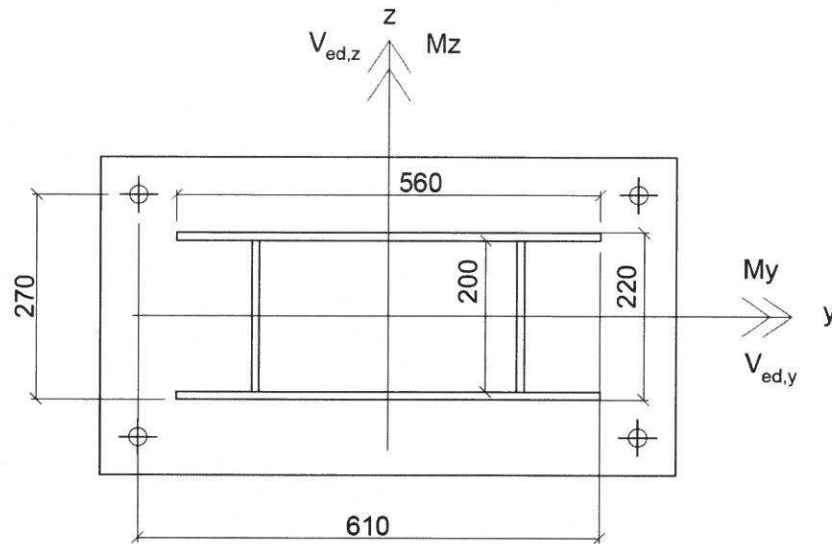
## 8.12. Návrh a posouzení patky portálového sloupu

Tato patka bude navržena jako vetknutá a proto musí přenést ohybové momenty v obou směrech.



Obr. 8.18 – Geometrie patky sloupu

Vzhledem k malé normálové síle a na základě předchozího výpočtu považuji tlakovou únosnost následujících patek za vyhovující.



Obr. 8.19 – Schéma patky sloupu

Ohybové momenty viz str. 68.

#### Návrh a posouzení kotev pomocí software:

Kotva HIT-V-R M24, A4

⇒ **Vyhovuje**

Posouzení na všechny způsoby namáhání viz příloha B – Uvažuji pro posouzení jen vnitřní obdélníkový průřez sloupu bez přečnívajících částí.

#### Návrh a posouzení svaru:

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$L_{w,1} = 560 + 2 * 100 = 760 \text{ mm}$$

$$L_{w,2} = 200 \text{ mm}$$

$$V_{ed,y} = 11,95 \text{ kN}$$

$$V_{ed,z} = 8,74 \text{ kN}$$

- **Ve směru y:**

$$I_{w,1} = 5,421 * 10^7 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{M_{ed,z}}{\frac{I_{w,1}}{z_l}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{19,38 * 10^6}{\frac{5,421 * 10^7}{\frac{560}{2}}} = 70,78 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_{we}} = \frac{11,95 * 10^3}{2 * 4 * (560 + 2 * 100)} = 1,97 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m,2}},$$

$$\sqrt{70,78^2 + 3 * (70,78^2 + 1,97^2)} \leq \frac{530}{1,0 * 1,25}$$

$$141,6 \text{ MPa} \leq 424 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**

A zároveň:

$$\sigma_{\perp} = 70,78 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{m,2}} = \frac{0,9 * 530}{1,25} = 381,6 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**

- **Ve směru z:**

$$I_{w,2} = 5,33 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{M_{ed,y}}{\frac{I_{w,2}}{z_d}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{11,83 * 10^6}{\frac{5,33 * 10^6}{\frac{200}{2}}} = 156,94 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_{we}} = \frac{8,74 * 10^3}{2 * 4 * 200} = 5,46 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m,2}},$$

$$\sqrt{156,94^2 + 3 * (156,94^2 + 5,46^2)} \leq \frac{530}{1,0 * 1,25}$$

$$314,02 \text{ MPa} \leq 424 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**

A zároveň:

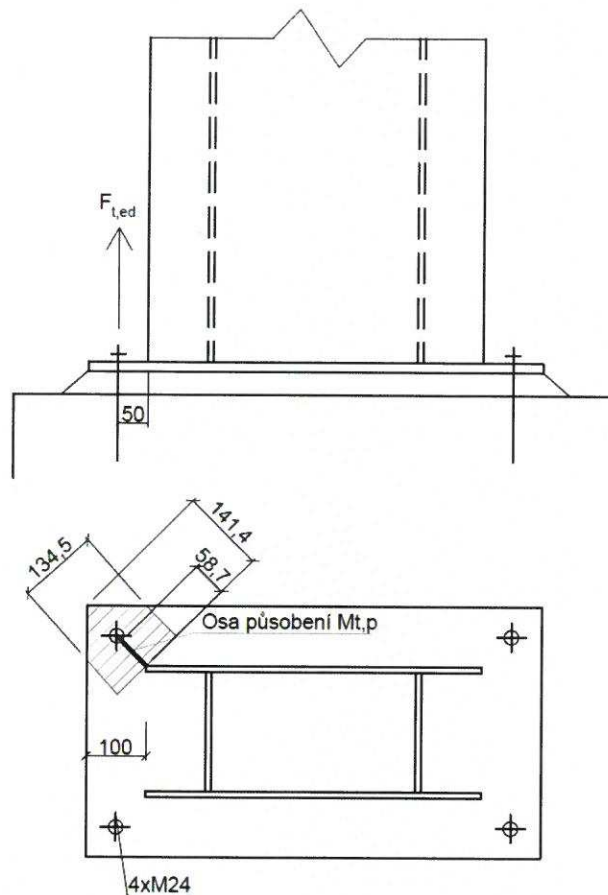
$$\sigma_{\perp} = 156,94 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{m,2}} = \frac{0,9 * 530}{1,25} = 381,6 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**



**Orientační posouzení únosnosti při páčení patního plechu**

Pro posouzení páčení plechu potřebuji získat tahovou sílu  $F_{t,ed}$  vyvolanou oběma momenty  $M_z$  a  $M_y$ . Průřezový modul beru orientačně s přihlédnutím k ploše, která působí proti páčení.



Obr. 8.20 – Průřezová plocha plechu

$$F_{t,ed,y} = \frac{1}{2} * \frac{M_{ed,y}}{e_1} = \frac{1}{2} * \frac{11,83}{0,27} = 21,905 \text{ kN}$$

$$F_{t,ed,z} = \frac{1}{2} * \frac{M_{ed,z}}{e_2} = \frac{1}{2} * \frac{19,38}{0,61} = 15,885 \text{ kN}$$

$$F_{t,ed} = F_{t,ed,y} + F_{t,ed,z} = 21,905 + 15,885 = 37,79 \text{ kN}$$

$$M_{t,p,ed} = F_{t,ed} * e = 37,79 * 0,0587 = 2,218 \text{ kNm}$$

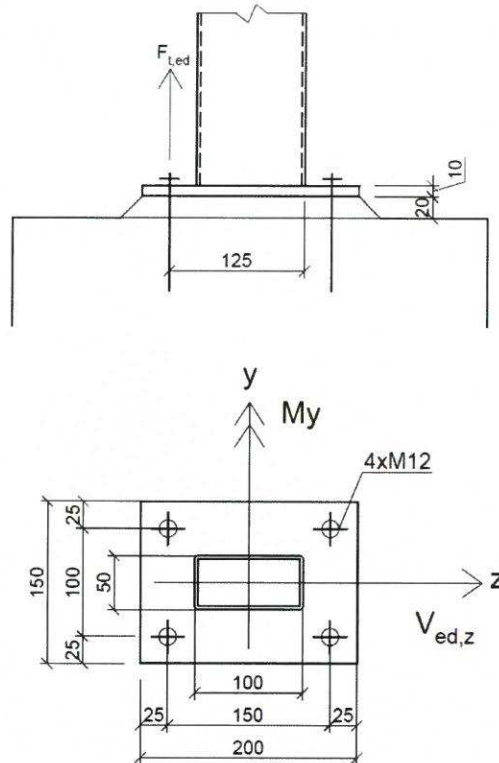
$$W_p = \frac{1}{6} * b * t^2 = \frac{1}{6} * 0,1345 * 0,015^2 = 5,044 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{t,p,Rd} = W_p * f_y = 5,044 * 10^{-6} * 460 * 10^6 = 2,32 \text{ kNm}$$

$$M_{t,p,Rd} = 2,32 \text{ kNm} \geq M_{t,p,ed} = 2,218 \text{ kNm}$$

⇒ **Vyhovuje**

### 8.13. Návrh a posouzení patky sloupku



Obr. 8.21 – Schéma patky sloupku

Ohybové momenty viz str. 84.

$$F_{ed} = \frac{1}{2} * \frac{M_{ed,y}}{e} = \frac{1}{2} * \frac{1,72}{0,125} = 6,86 \text{ kN}$$

#### Návrh a posouzení kotev:

Kotva HIT-V-R M12, A4

⇒ **Vyhovuje**

Posouzení na všechny způsoby namáhání viz příloha C.

#### Návrh a posouzení svaru:

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$L_{w,1} = 100 \text{ mm}$$

$$V_{ed,z} = 2,22 \text{ kN}$$

- **Ve směru z:**

$$I_w = 3,75 * 10^5 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{M_{ed,y}}{\frac{I_w}{z_l}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{1,72 * 10^6}{\frac{3,75 * 10^5}{\frac{100}{2}}} = 162,16 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_{we}} = \frac{2,22 * 10^3}{2 * 3 * 100} = 3,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m,2}}$$

$$\sqrt{162,16^2 + 3 * (162,16^2 + 3,7^2)} \leq \frac{530}{1,0 * 1,25}$$

$$324,38 \text{ MPa} \leq 424 \text{ MPa}$$

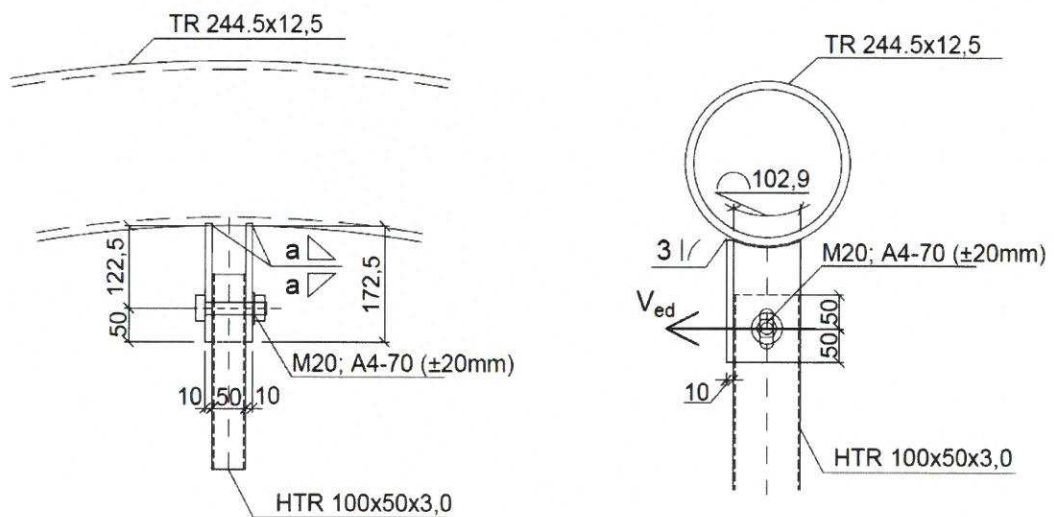
⇒ **Vyhovuje**

A zároveň:

$$\sigma_{\perp} = 162,16 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{m,2}} = \frac{0,9 * 530}{1,25} = 381,6 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**

#### 8.14. Návrh a posouzení svaru trnového spoje



Obr. 8.22 – Detail trnu

Svar bude navržen na posouvající sílu od reakce sloupku od větru a moment na rameni této síly k ose svaru.

##### Návrh a posouzení svaru:

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$L_w = 102,9 \text{ mm}$$

$$V_{ed} = 2,25 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = V_{ed} * e = 2,25 * 0,1225 = 0,276 \text{ kNm}$$

$$I_w = 5,45 * 10^5 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{M_{ed,y}}{\frac{I_w}{z_k}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{0,276 * 10^6}{\frac{5,45 * 10^5}{\frac{102,9}{2}}} = 18,42 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{A_{we}} = \frac{2,25 * 10^3}{4 * 3 * 102,9} = 1,822 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{m,2}},$$

$$\sqrt{18,42^2 + 3 * (18,42^2 + 1,822^2)} \leq \frac{530}{1,0 * 1,25}$$

$$32,36 \text{ MPa} \leq 424 \text{ MPa}$$

A zároveň:

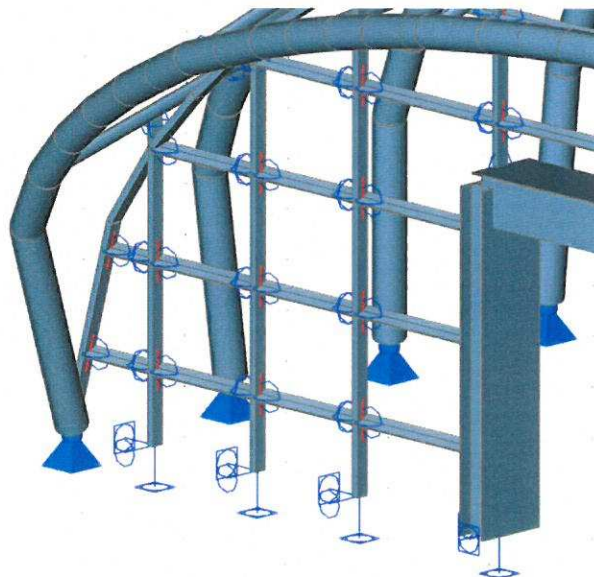
$$\sigma_{\perp} = 18,42 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{m,2}} = \frac{0,9 * 530}{1,25} = 381,6 \text{ MPa}$$

⇒ **Vyhovuje**

Svar víčka spojující dva protilehlé plechy trnu bude pouze konstrukční  $a_w = 3 \text{ mm}$ .

## 8.15. Posouzení žaluzie z korozivzdorné oceli

Žaluzie bude navržena na ohybový moment, který může vzniknout při zatížení od opírajících se lidí. Protože jde spíše o estetickou záležitost, nebude kladen důraz na průhyb od tohoto zatížení. Pouze bude ověřeno, že průhyb od vlastní tíhy nebude větší než 2 mm. Posouvající síla bude důležitá při návrhu spojení se sloupkem. Žaluzie není ve vodorovné poloze, ale je natočena o 30° oproti vodorovné rovině. Pro ověření návrhu nebudu toho natočení uvažovat. Jde o konzervativní zjednodušení.



Obr. 8.23 – 3D pohled na žaluziový výplet

**Zatížení portálové žaluzie:**

1.ZS – Vlastní tíha

2.ZS – Zatížení od opírajících se lidí – 1,0 kN/m (hodnota ekvivalentní k zatížení zábradlí veřejných staveb)

**MSÚ:****1D vnitřní síly**Hodnoty:  $M_y$ 

Lineární výpočet

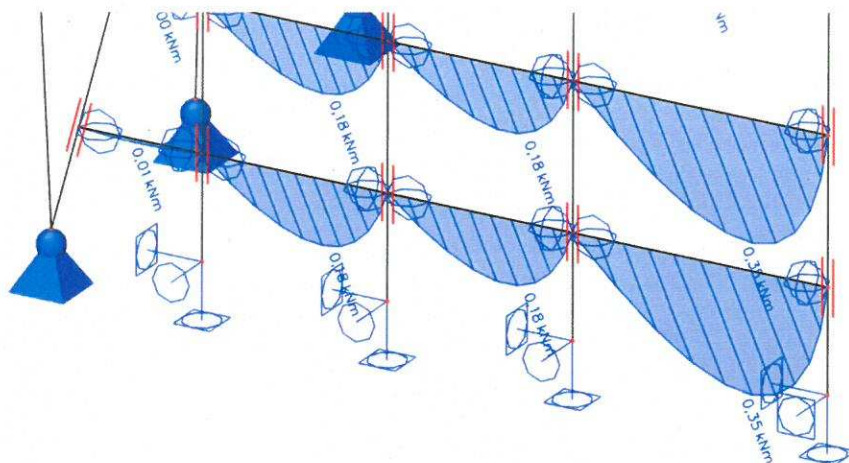
Kombinace: msu-zaluzie

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = CS7 - FL100x15

**1D vnitřní síly**Hodnoty:  $V_z$ 

Lineární výpočet

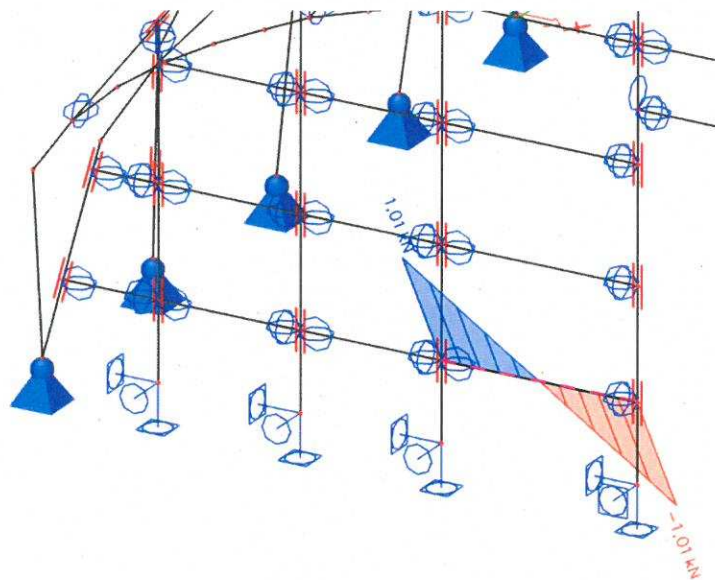
Kombinace: msu-zaluzie

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: B1979

Filtr: Průřez = CS7 - FL100x15



Smyk:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\sqrt{3} \gamma_{m,0}} \geq V_{ed,z}$$

$$A_v = 100 * 7 = 700 \text{ mm}^2 \text{ (plocha po vyfrézování drážky pro spoj)}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{700 * 220 * 10^{-3}}{\sqrt{3} * 1,1} = 80,8 \text{ kN} \geq V_{ed} = 1,01 \text{ kN}$$

⇒ **Vyhovuje**

Prostý ohyb:

$$\frac{M_{ed,y}}{W_{pl,y} * f_y} \leq 1,0$$

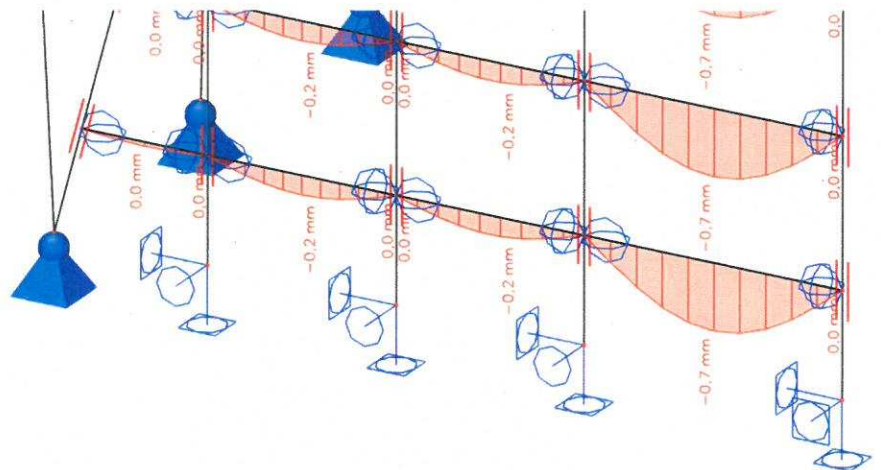
$$\frac{0,35}{\frac{5,62 * 10^3 * 220 * 10^{-6}}{1,1}} \leq 1,0$$

$$0,311 \leq 1,0$$

⇒ **Vyhovuje**

**MSP:**

**1D deformace**  
Hodnoty:  $u_z$   
Lineární výpočet  
Zatěžovací stav: ZS1  
Souřadný systém: Globální  
Extrém 1D: Dílec  
Výběr: Vše  
Filtr: Průřez = CS7 - FL100x15



Protože je průhyb od vlastní tíhy  $u = 0,7 \text{ mm} \leq 2,0 \text{ mm}$ , což je hranice, kdy by průhyb mohl být viditelný pouhým okem, považuji ho za vyhovující.

## 9. Závěr

Byl proveden návrh a statický výpočet jednotlivých prvků konstrukce vestibulu metra. Využití korozivzdorné oceli jako hlavního stavebního materiálu přestává být projektantům ve světě cizí. A myslím, že je to jenom ku prospěchu, zejména u konstrukcí jako jsou právě vestibuly metra nebo přístřešky a další konstrukce, které jsou vidět a které dotváří celkový dojem prostředí, ve kterém se nachází. Zvláště kombinace korozivzdorné oceli a skleněného opláštění vytváří až luxusní dojem. Nevýhodou stále zůstává cena těchto konstrukcí, kterou jenom navyšuje pečlivá a náročná práce při jejich opracování a manipulaci. V České republice jsou více než jinde projektanti limitováni cenovými požadavky, proto v reálu, i vzhledem k náročnosti této konstrukce, by byla zřejmě využita standardní uhlíková ocel. Nicméně možná estetická dokonalost těchto konstrukcí je velmi silný argument, proč je využívat stále více. Jako inspirace mi posloužila nově budovaná stanice metra Liverpool street station v Londýně, kde je také využita austenitická korozivzdorná ocel.

## 10. Seznam obrázků

Obr. 2.1 – Půdorys konstrukce vestibulu

Obr. 2.2 – Boční pohled na konstrukci

Obr. 2.3 – Geometrie výchozího hlavního nosníku

Obr. 3.1 – Schéma pro určení tvarového součinitele

Obr. 3.2 – Schéma zatížení sněhem

Obr. 3.3 – Směr podélného větru

Obr. 3.4 – Směr příčného větru

Obr. 3.5 – Schéma pro příčný vítr válcových střech

Obr. 3.6 – Schéma pro podélný vítr kopulí s kruhovou základnou

Obr. 4.1 – ZS sních\_I

Obr. 4.2 – ZS sních\_II

Obr. 4.3 – ZS sních\_III

Obr. 4.4 – ZS vítr\_příčný (1)

Obr. 4.5 – ZS vítr\_podélný zprava (2)

Obr. 4.6 – ZS vítr\_podélný zleva (3)

Obr. 4.7 – ZS vítr\_vnitřní\_tlak (4)

Obr. 4.8 – ZS vítr\_vnitřní\_podtlak (5)

Obr. 4.9 – ZS teplota\_leto (1)

Obr. 4.10 – ZS teplota\_lineární (2)

Obr. 4.11 – ZS teplota\_zima (3)

Obr. 5.1 – Schéma pro vybočení z roviny

Obr. 6.1 – Zjednodušené axonometrické schéma zasklení

Obr. 6.2 – Příčný řez skleněnou tabulí

Obr. 6.3 – varianty podepření

Obr. 6.4 – 1.varianta – max. Uz (1.KZS)

Obr. 6.5 – 1.varianta –  $\sigma_{max}$  (1.KZS)

Obr. 6.6 – 2.varianta – Uz (1.KZS)



- Obr. 6.7 – 2.varianta –  $\sigma_{max}$  (1.KZS)
- Obr. 7.1 – 1. varianta - axonometrie
- Obr. 7.2 – 2. varianta – axonometrie
- Obr. 7.3 – Finální podoba 3D modelu
- Obr. 8.1 – Spoj podélník – nosník (1)
- Obr. 8.2 – Spoj podélník – nosník (2)
- Obr. 8.3 – Oslabený průřez podélníku
- Obr. 8.4 – 3D pohled na vstupní portál
- Obr. 8.5 – Schéma montážního zatížení
- Obr. 8.6 – Schéma portálové příčle
- Obr. 8.7 – Schéma portálové příčle
- Obr. 8.8 – Schéma pro výpočet součinitele klopení
- Obr. 8.9 – Geometrie portálového sloupu
- Obr. 8.10 – Schéma portálového sloupu (Ohybový moment  $M_y$ )
- Obr. 8.11 – Schéma připoje příčle ke sloupu
- Obr. 8.12 – Schéma kritických délek
- Obr. 8.13 – Schéma portálového sloupku (moment  $M_y$ )
- Obr. 8.14 – Maximální svislá reakce v podpoře
- Obr. 8.15 – geometrie patky
- Obr. 8.16 – Vodorovné reakce  $R_x$ ,  $R_y$
- Obr. 8.17 – Minimální normálové síla
- Obr. 8.18 – Geometrie patky sloupu
- Obr. 8.19 – Schéma patky sloupu
- Obr. 8.20 – Průřezová plocha plechu
- Obr. 8.21 – Schéma patky sloupku
- Obr. 8.22 – Detail trnu
- Obr. 8.23 – 3D pohled na žaluziový výplet

## 11. Seznam použitých zdrojů

### Normy:

- [1] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [2] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [3] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
- [4] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] ČSN EN 1993-1-4 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-4: Doplnující pravidla pro korozivzdorné oceli
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
- [7] ČSN EN 10088-1 Korozivzdorné oceli – Část 1: Přehled korozivzdorných ocelí
- [8] ČSN EN 1090-2+A1 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce
- [9] DRAFT prEN 16612 – Glass in building – Determination of the lateral load resistance of glass

### Literatura:

- [10] JANDERA, Michal, ŽIDLICKÝ, Břetislav a ŠORF Marek. *Příručka pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli*, 4. vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2017. 221 stran. ISBN 978185942 2359
- [11] SOKOL, Zdeněk, WALD, František. *Ocelové konstrukce: Tabulky*, 2. přepracované vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2010. 84 stran. ISBN 978-80-01-04655-5
- [12] 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
- [13] JANDERA, Michal, ELIÁŠOVÁ, Martina a VRANÝ, Tomáš. *Ocelové konstrukce 2- Cvičení*, Praha, 2010. Fakulta stavební ČVUT v Praze: Česká technika, 2009. 149 s. ISBN 80-01-03331-7

**Webové stránky:**

- [14] <http://ocel.wz.cz/priklady/>
- [15] <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2014/CSY/?guid=GUID-5AF7656A-FE2A-44EC-B410-782FD047BF15>
- [16] <http://homel.vsb.cz/~ros11/Ocelove%20a%20drevene%20kce/14%20Hala%20-%20patky%20a%20kotveni%20sloupu.pdf>
- [17] <http://www.konstrukce.cz/clanek/navrhovani-konstrukci-ze-skla-podle-evropskych-norem/>
- [18] <http://www.konstrukce.cz/clanek/den-ocelovych-konstrukci-stance-strizkov/>
- [19] <http://www.isosklo.cz/>



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

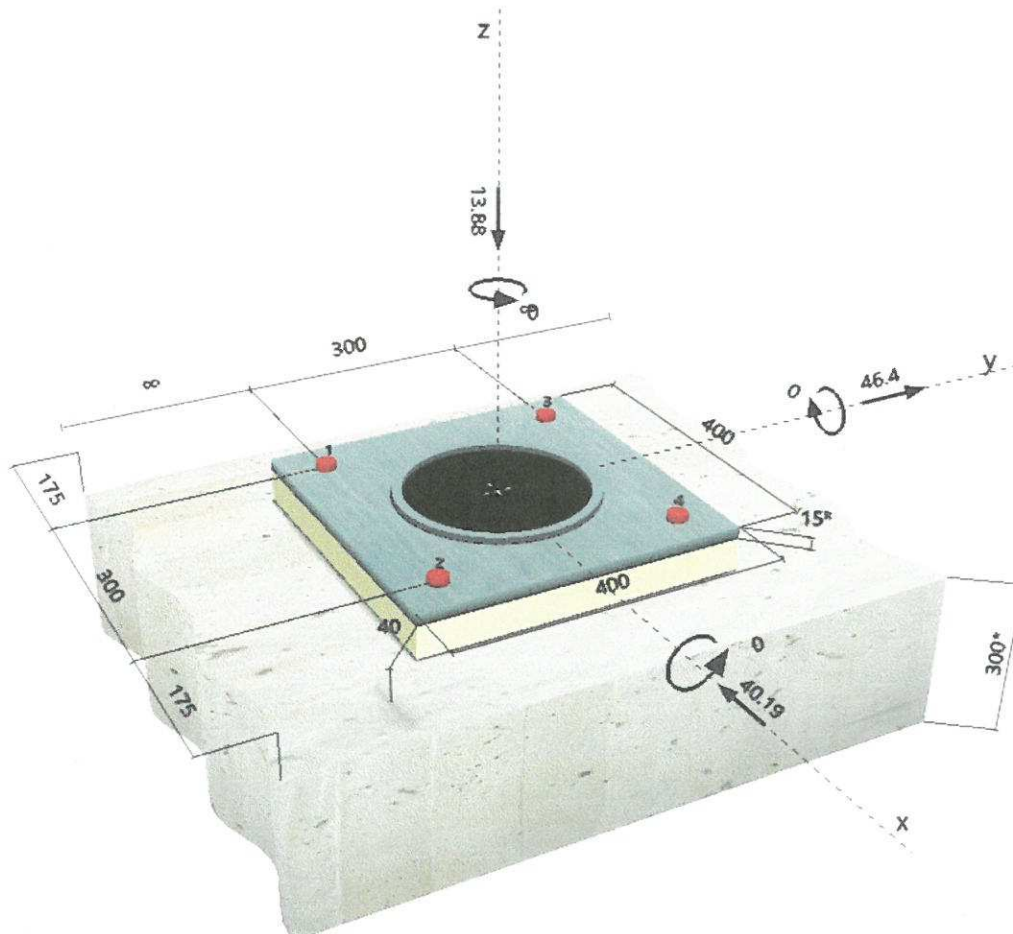
---

## **PŘÍLOHA A – Posouzení kotvení hlavních nosníků**

**Specifier's comments:**
**1 Input data**

|                              |  |   |
|------------------------------|--|---|
| <b>Anchor type and size:</b> | <b>HIT-RE 500 V3 + HIT-V-R M24</b>   |  |
| Effective embedment depth:   | $h_{ef, opti} = 199 \text{ mm}$ ( $h_{ef, limit} = 244 \text{ mm}$ )   |   |
| Material:                    | A4   |   |
| Approval No.:                | ETA 16/0143  |   |
| Issued   Valid:              | 12/07/2017   -   |   |
| Proof:                       | Design method ETAG BOND (EOTA TR 029)  |   |
| Stand-off installation:      | without clamping (anchor); restraint level (baseplate): 2.00; $e_b = 40 \text{ mm}$ ; $t = 15 \text{ mm}$                                      |   |
| Baseplate:                   | Hilti Grout: , multipurpose, $f_{c, Grout} = 30.00 \text{ N/mm}^2$   |   |
| Profile:                     | $l_x \times l_y \times t = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ ; (Recommended plate thickness: not calculated)          |   |
| Base material:               | Pipe; ( $L \times W \times T$ ) = 245 mm x 245 mm x 13 mm  |   |
| <b>Installation:</b>         | cracked concrete, C20/25, $f_{c, cube} = 25.00 \text{ N/mm}^2$ ; $h = 300 \text{ mm}$ , Temp. short/long: 40/24 °C                             |   |
| Reinforcement:               | <b>hammer drilled hole, Installation condition: Dry</b>  |   |
|                              | No reinforcement or Reinforcement spacing $\geq 150 \text{ mm}$ (any $\emptyset$ ) or $\geq 100 \text{ mm}$ ( $\emptyset \leq 10 \text{ mm}$ ) |   |
|                              | no longitudinal edge reinforcement   |   |

<sup>R</sup> - The anchor calculation is based on a rigid baseplate assumption.

**Geometry [mm] & Loading [kN, kNm]**


## 2 Load case/Resulting anchor forces

Load case: Design loads

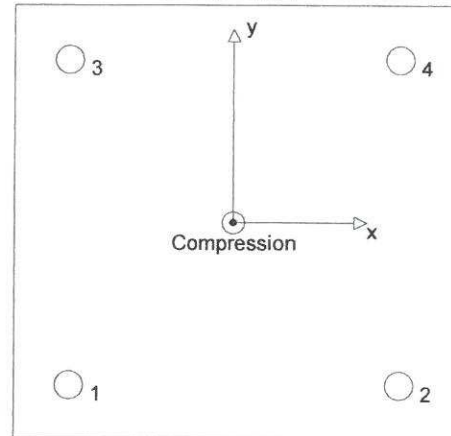
### Anchor reactions [kN]

Tension force: (+Tension, -Compression)

| Anchor | Tension force | Shear force | Shear force x | Shear force y |
|--------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| 1      | 0.000         | 15.346      | -10.048       | 11.600        |
| 2      | 0.000         | 15.346      | -10.048       | 11.600        |
| 3      | 0.000         | 15.346      | -10.048       | 11.600        |
| 4      | 0.000         | 15.346      | -10.048       | 11.600        |

max. concrete compressive strain: 0.00 [%]  
 max. concrete compressive stress: 0.09 [N/mm<sup>2</sup>]  
 resulting tension force in (x/y)=(0/0): 0.000 [kN]  
 resulting compression force in (x/y)=(0/0): 13.880 [kN]

Anchor forces are calculated based on the assumption of a rigid baseplate.



## 3 Tension load (EOTA TR 029, Section 5.2.2)

|  | Load [kN] | Capacity [kN] | Utilisation $\beta_N$ [%] | Status |
|--|-----------|---------------|---------------------------|--------|
| Steel failure*                           | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |
| Combined pullout-concrete cone failure** | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |
| Concrete cone failure**                  | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |
| Splitting failure**                      | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |

\* most unfavourable anchor    \*\*anchor group (anchors in tension)

#### 4 Shear load (EOTA TR 029, Section 5.2.3)

|   | Load [kN] | Capacity [kN] | Utilisation $\beta_v$ [%] | Status |
|---|-----------|---------------|---------------------------|--------|
| Steel failure (without lever arm)*      | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |
| Steel failure (with lever arm)*         | 15.346    | 16.932        | 91                        | OK     |
| Pryout failure**                        | 61.386    | 193.073       | 32                        | OK     |
| Concrete edge failure in direction x-** | 46.406    | 46.456        | 100                       | OK     |

\* most unfavourable anchor \*\*anchor group (relevant anchors)

##### 4.1 Steel failure (with lever arm)

| $l$ [mm]                                    | $\alpha_M$              |                    |   |  |
|---|-------------------------|--------------------|---|--|
| 60  | 2.00                    |                    |   |  |
| $N_{Sd} / N_{Rd,s}$                         | $1 - N_{Sd} / N_{Rd,s}$ | $M_{Rk,s}^0$ [kNm] | $M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Sd} / N_{Rd,s})$ [kNm] |  |
| 0.000                                       | 1.000                   | 0.786              | 0.786   |  |
| $V_{Rk,s}^M = \alpha_M * M_{Rk,s} / l$ [kN] | $\gamma_{Ms,b,v}$       | $V_{Rd,s}^M$ [kN]  | $V_{Sd}$ [kN]   |  |
| 26.413                                      | 1.560                   | 16.932             | 15.346  |  |

##### 4.2 Pryout failure (concrete cone relevant)

| $A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ] | $A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ] | $c_{cr,N}$ [mm]  | $s_{cr,N}$ [mm] | k-factor     | $k_1$         |
|------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|--------------|---------------|
| 583 050                      | 356 409                        | 299              | 597             | 2.000        | 7.200         |
| $e_{c1,v}$ [mm]              | $\psi_{ec1,N}$                 | $e_{c2,v}$ [mm]  | $\psi_{ec2,N}$  | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ |
| 0                            | 1.000                          | 0                | 1.000           | 0.876        | 1.000         |
| $N_{Rk,c}^0$ [kN]            | $\gamma_{M,c,p}$               | $V_{Rd,cp}$ [kN] | $V_{Sd}$ [kN]   |              |               |
| 101.061                      | 1.500                          | 193.073          | 61.386          |              |               |

##### 4.3 Concrete edge failure in direction x-

| $h_{ef}$ [mm]     | $d_{nom}$ [mm]               | $k_1$                          | $\alpha$       | $\beta$       |               |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| 199               | 24.0                         | 1.700                          | 0.107          | 0.067         |               |
| $c_1$ [mm]        | $A_{c,v}$ [mm <sup>2</sup> ] | $A_{c,v}^0$ [mm <sup>2</sup> ] |                |               |               |
| 175               | 216 563                      | 137 813                        |                |               |               |
| $\psi_{s,v}$      | $\psi_{h,v}$                 | $\psi_{\alpha,v}$              | $e_{c,v}$ [mm] | $\psi_{ec,v}$ | $\psi_{re,v}$ |
| 1.000             | 1.000                        | 1.125                          | 0              | 1.000         | 1.000         |
| $V_{Rk,c}^0$ [kN] | $\gamma_{M,c}$               | $V_{Rd,c}$ [kN]                | $V_{Sd}$ [kN]  |               |               |
| 39.415            | 1.500                        | 46.456                         | 46.406         |               |               |

#### 5 Displacements (highest loaded anchor)

Short term loading:

|          |               |               |              |
|----------|---------------|---------------|--------------|
| $N_{Sk}$ | = 0.000 [kN]  | $\delta_N$    | = 0.000 [mm] |
| $V_{Sk}$ | = 17.187 [kN] | $\delta_v$    | = 0.516 [mm] |
|          |               | $\delta_{NV}$ | = 0.516 [mm] |

Long term loading:

|          |               |               |              |
|----------|---------------|---------------|--------------|
| $N_{Sk}$ | = 0.000 [kN]  | $\delta_N$    | = 0.000 [mm] |
| $V_{Sk}$ | = 17.187 [kN] | $\delta_v$    | = 0.859 [mm] |
|          |               | $\delta_{NV}$ | = 0.859 [mm] |

Comments: Tension displacements are valid with half of the required installation torque moment for uncracked concrete! Shear displacements are valid without friction between the concrete and the baseplate! The gap due to the drilled hole and clearance hole tolerances are not included in this calculation!

The acceptable anchor displacements depend on the fastened construction and must be defined by the designer!

Company:  
Specifier:  
Address:  
Phone | Fax:  
E-Mail:

Page: 4  
Project:  
Fastening Point:  
Date: 17/05/2019

## 6 Warnings

- The anchor design methods in PROFIS Anchor require rigid baseplates per current regulations (ETAG 001/Annex C, EOTA TR029, etc.). This means load re-distribution on the anchors due to elastic deformations of the baseplate are not considered - the baseplate is assumed to be sufficiently stiff, in order not to be deformed when subjected to the design loading. PROFIS Anchor calculates the minimum required baseplate thickness with FEM to limit the stress of the baseplate based on the assumptions explained above. The proof if the rigid baseplate assumption is valid is not carried out by PROFIS Anchor. Input data and results must be checked for agreement with the existing conditions and for plausibility!
- Checking the transfer of loads into the base material is required in accordance with EOTA TR 029, Section 7!
- The design is only valid if the clearance hole in the fixture is not larger than the value given in Table 4.1 of EOTA TR029! For larger diameters of the clearance hole see Chapter 1.1. of EOTA TR029!
- The accessory list in this report is for the information of the user only. In any case, the instructions for use provided with the product have to be followed to ensure a proper installation.
- Characteristic bond resistances depend on short- and long-term temperatures.
- Please contact Hilti to check feasibility of HIT-V rod supply.
- Edge reinforcement is not required to avoid splitting failure

**Fastening meets the design criteria!**



## 7 Installation data

Baseplate, steel: -  
 Profile: Pipe; (L x W x T) = 245 mm x 245 mm x 13 mm  
 Hole diameter in the fixture:  $d_f = 26$  mm  
 Plate thickness (input): 15 mm  
 Recommended plate thickness: not calculated  
 Drilling method: Hammer drilled  
 Cleaning: Compressed air cleaning of the drilled hole according to instructions for use is required

Anchor type and size: HIT-RE 500 V3 + HIT-V-R M24  
 Installation torque: 0.200 kNm  
 Hole diameter in the base material: 28 mm  
 Hole depth in the base material: 199 mm  
 Minimum thickness of the base material: 255 mm

### 7.1 Recommended accessories

#### Drilling

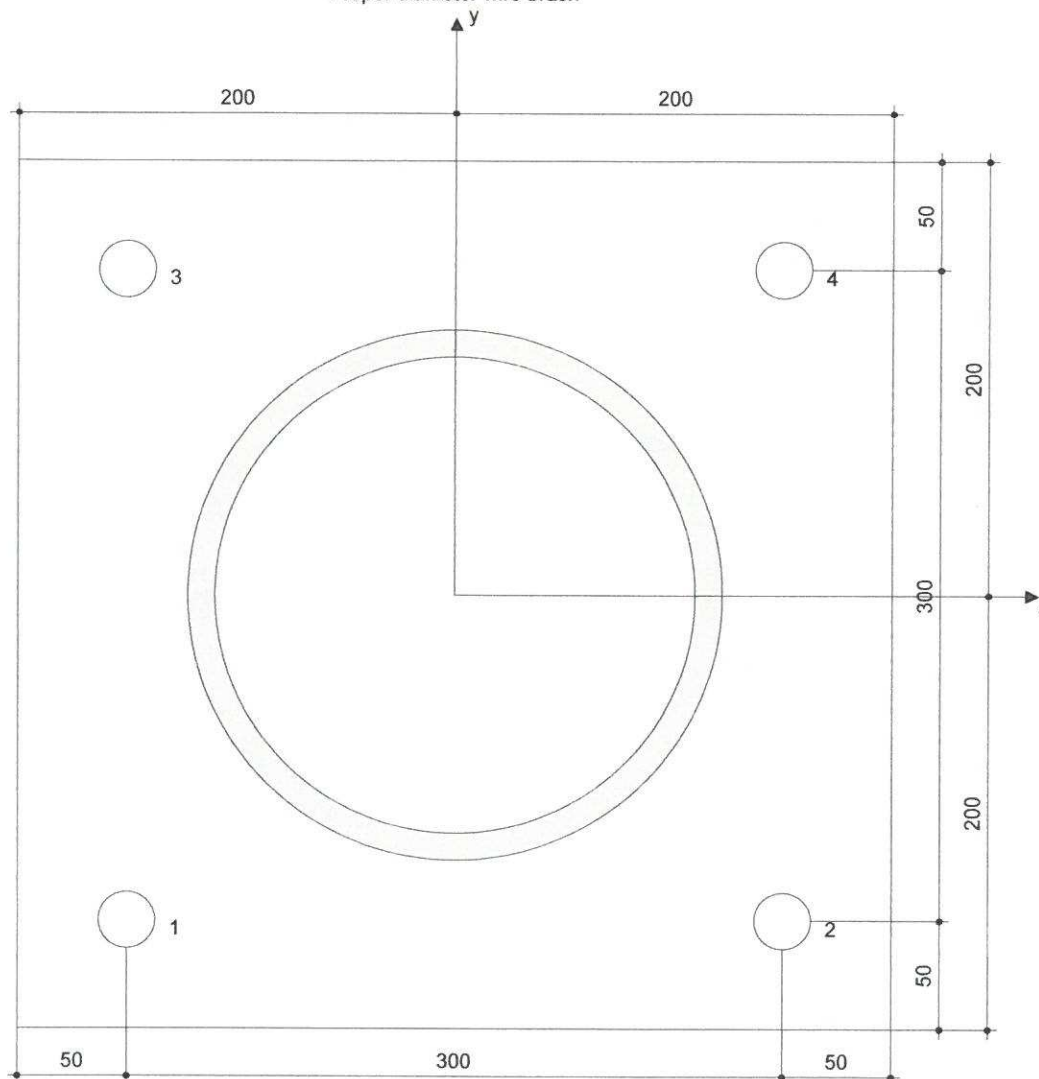
- Suitable Rotary Hammer
- Properly sized drill bit

#### Cleaning

- Compressed air with required accessories to blow from the bottom of the hole
- Proper diameter wire brush

#### Setting

- Dispenser including cassette and mixer
- Torque wrench



Coordinates Anchor [mm]

| Anchor | x    | y    | C-x | C+x | C-y | C+y |
|--------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| 1      | -150 | -150 | 175 | 475 | -   | -   |
| 2      | 150  | -150 | 475 | 175 | -   | -   |
| 3      | -150 | 150  | 175 | 475 | -   | -   |
| 4      | 150  | 150  | 475 | 175 | -   | -   |

[www.hilti.com](http://www.hilti.com)

Company:  
Specifier:  
Address:  
Phone | Fax: |  
E-Mail:

Page: 6  
Project:  
Fastening Point:  
Date: 17/05/2019


## 8 Remarks; Your Cooperation Duties

- Any and all information and data contained in the Software concern solely the use of Hilti products and are based on the principles, formulas and security regulations in accordance with Hilti's technical directions and operating, mounting and assembly instructions, etc., that must be strictly complied with by the user. All figures contained therein are average figures, and therefore use-specific tests are to be conducted prior to using the relevant Hilti product. The results of the calculations carried out by means of the Software are based essentially on the data you put in. Therefore, you bear the sole responsibility for the absence of errors, the completeness and the relevance of the data to be put in by you. Moreover, you bear sole responsibility for having the results of the calculation checked and cleared by an expert, particularly with regard to compliance with applicable norms and permits, prior to using them for your specific facility. The Software serves only as an aid to interpret norms and permits without any guarantee as to the absence of errors, the correctness and the relevance of the results or suitability for a specific application.
- You must take all necessary and reasonable steps to prevent or limit damage caused by the Software. In particular, you must arrange for the regular backup of programs and data and, if applicable, carry out the updates of the Software offered by Hilti on a regular basis. If you do not use the AutoUpdate function of the Software, you must ensure that you are using the current and thus up-to-date version of the Software in each case by carrying out manual updates via the Hilti Website. Hilti will not be liable for consequences, such as the recovery of lost or damaged data or programs, arising from a culpable breach of duty by you.

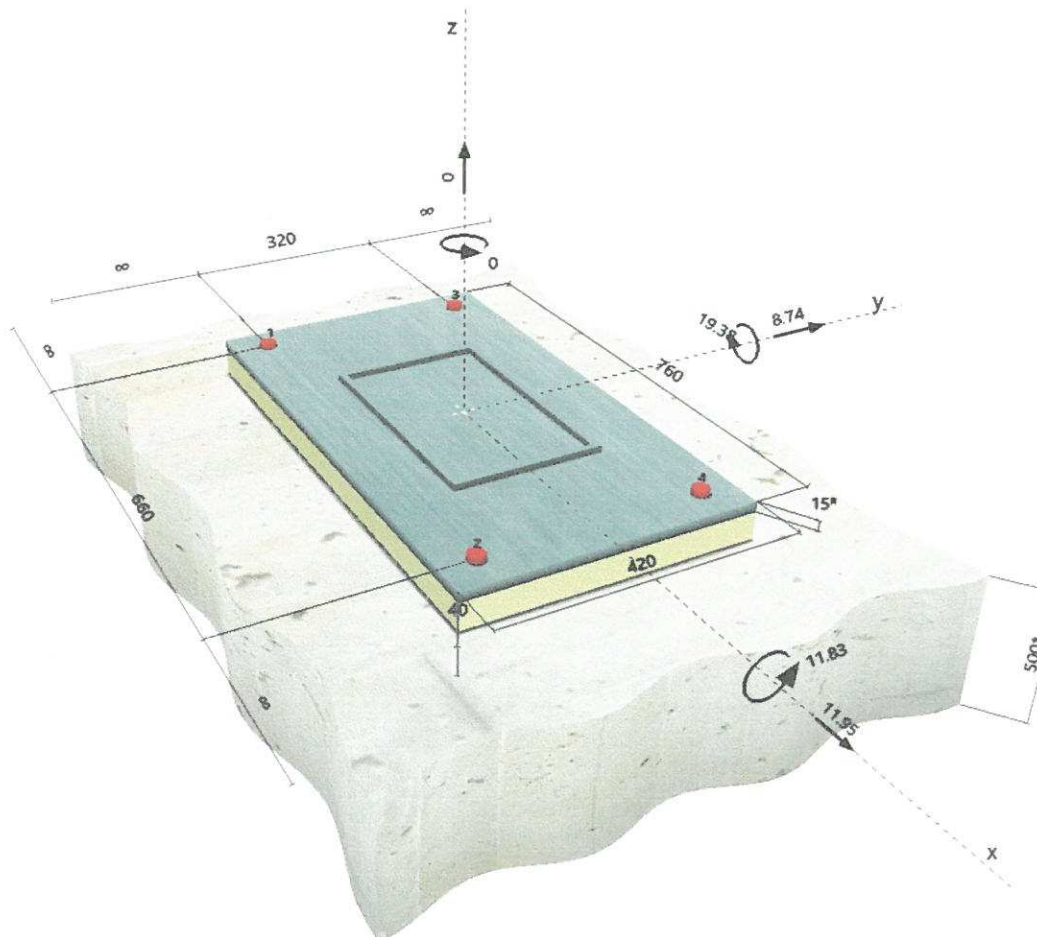


**PŘÍLOHA B – Posouzení kotvení portálového sloupu**

**Specifier's comments:**
**1 Input data**

|                              |  |  |
|------------------------------|--|--|
| <b>Anchor type and size:</b> | <b>HIT-RE 500 V3 + HIT-V-R M24</b>   |  |
| Effective embedment depth:   | $h_{ef, opti} = 100 \text{ mm}$ ( $h_{ef, limit} = 444 \text{ mm}$ )   |  |
| Material:                    | A4   |  |
| Approval No.:                | ETA 16/0143  |  |
| Issued   Valid:              | 12/07/2017   -   |  |
| Proof:                       | Design method ETAG BOND (EOTA TR 029)  |  |
| Stand-off installation:      | without clamping (anchor); restraint level (baseplate): 2.00; $e_b = 40 \text{ mm}$ ; $t = 15 \text{ mm}$<br>Hilti Grout: , multipurpose, $f_{c, Grout} = 30.00 \text{ N/mm}^2$      |  |
| Baseplate:                   | $l_x \times l_y \times t = 760 \text{ mm} \times 420 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ ; (Recommended plate thickness: not calculated)  |  |
| Profile:                     | Rectangular hollow; (L x W x T) = 360 mm x 220 mm x 10 mm  |  |
| Base material:               | cracked concrete, C20/25, $f_{c, cube} = 25.00 \text{ N/mm}^2$ ; $h = 500 \text{ mm}$ , Temp. short/long: 40/24 °C   |  |
| <b>Installation:</b>         | <b>hammer drilled hole, Installation condition: Dry</b>  |  |
| Reinforcement:               | No reinforcement or Reinforcement spacing $\geq 150 \text{ mm}$ (any $\emptyset$ ) or $\geq 100 \text{ mm}$ ( $\emptyset \leq 10 \text{ mm}$ )<br>no longitudinal edge reinforcement |  |

<sup>R</sup> - The anchor calculation is based on a rigid baseplate assumption.

**Geometry [mm] & Loading [kN, kNm]**


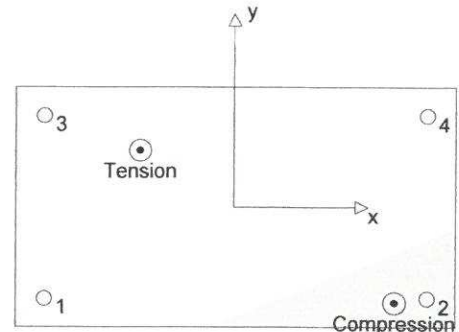
## 2 Load case/Resulting anchor forces

Load case: Design loads

### Anchor reactions [kN]

Tension force: (+Tension, -Compression)

| Anchor | Tension force | Shear force | Shear force x | Shear force y |
|--------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| 1      | 8.403         | 3.701       | 2.988         | 2.185         |
| 2      | 0.000         | 3.701       | 2.988         | 2.185         |
| 3      | 24.721        | 3.701       | 2.988         | 2.185         |
| 4      | 11.214        | 3.701       | 2.988         | 2.185         |


max. concrete compressive strain: 0.12 [%]  
max. concrete compressive stress: 3.69 [N/mm<sup>2</sup>]  
resulting tension force in (x/y)=(-163/99): 44.339 [kN]  
resulting compression force in (x/y)=(274/-167): 44.339 [kN]

Anchor forces are calculated based on the assumption of a rigid baseplate.

## 3 Tension load (EOTA TR 029, Section 5.2.2)

|  | Load [kN] | Capacity [kN] | Utilisation $\beta_N$ [%] | Status |
|--|-----------|---------------|---------------------------|--------|
| Steel failure*                           | 24.721    | 132.139       | 19                        | OK     |
| Combined pullout-concrete cone failure** | 44.339    | 80.709        | 55                        | OK     |
| Concrete cone failure**                  | 44.339    | 48.170        | 93                        | OK     |
| Splitting failure**                      | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |

\* most unfavourable anchor \*\*anchor group (anchors in tension)

### 3.1 Steel failure

| $N_{Rk,s}$ [kN] | $\gamma_{M,s}$ | $N_{Rd,s}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |
|-----------------|----------------|-----------------|---------------|
| 247.100         | 1.870          | 132.139         | 24.721        |

### 3.2 Combined pullout-concrete cone failure

| $A_{p,N}$ [mm <sup>2</sup> ] | $A_{p,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]      | $\tau_{Rk,ucr,25}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $s_{cr,Np}$ [mm] | $c_{cr,Np}$ [mm] | $c_{min}$ [mm] |
|------------------------------|-------------------------------------|---|------------------|------------------|----------------|
| 270 000                      | 90 000                              | 15.00                                   | 300              | 150              | $\infty$       |
| $\psi_c$                     | $\tau_{Rk,cr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | k                                       | $\psi_{g,Np}^0$  | $\psi_{g,Np}$    |                |
| 1.000                        | 8.00                                | 2.300                                   | 1.000            | 1.000            |                |
| $e_{c1,N}$ [mm]              | $\psi_{ec1,Np}$                     | $e_{c2,N}$ [mm]                         | $\psi_{ec2,Np}$  | $\psi_{s,Np}$    | $\psi_{re,Np}$ |
| 53                           | 0.861                               | 46                                      | 0.777            | 1.000            | 1.000          |
| $N_{Rk,p}^0$ [kN]            | $N_{Rk,p}$ [kN]                     | $\gamma_{M,p}$                          | $N_{Rd,p}$ [kN]  | $N_{Sd}$ [kN]    |                |
| 60.319                       | 121.064                             | 1.500                                   | 80.709           | 44.339           |                |

### 3.3 Concrete cone failure

| $A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ] | $A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ] | $c_{cr,N}$ [mm] | $s_{cr,N}$ [mm] |               |               |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| 270 000                      | 90 000                         | 150             | 300             |               |               |
| $e_{c1,N}$ [mm]              | $\psi_{ec1,N}$                 | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$  | $\psi_{s,N}$  | $\psi_{re,N}$ |
| 53                           | 0.861                          | 46              | 0.777           | 1.000         | 1.000         |
| k <sub>1</sub>               | $N_{Rk,c}^0$ [kN]              | $\gamma_{M,c}$  | $N_{Rd,c}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |               |
| 7.200                        | 36.000                         | 1.500           | 48.170          | 44.339        |               |

#### 4 Shear load (EOTA TR 029, Section 5.2.3)

|                                       | Load [kN] | Capacity [kN] | Utilisation $\beta_v$ [%] | Status |
|---------------------------------------|-----------|---------------|---------------------------|--------|
| Steel failure (without lever arm)*    | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |
| Steel failure (with lever arm)*       | 3.701     | 13.764        | 27                        | OK     |
| Pryout failure**                      | 14.805    | 192.000       | 8                         | OK     |
| Concrete edge failure in direction ** | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |

\* most unfavourable anchor \*\*anchor group (relevant anchors)

##### 4.1 Steel failure (with lever arm)

| $l$ [mm]                                    | $\alpha_M$              |                    |   |  |
|---|-------------------------|--------------------|---|--|
| 60  | 2.00                    |                    |   |  |
| $N_{Sd} / N_{Rd,s}$                         | $1 - N_{Sd} / N_{Rd,s}$ | $M_{RK,s}^0$ [kNm] | $M_{RK,s} = M_{RK,s}^0 (1 - N_{Sd} / N_{Rd,s})$ [kNm] |  |
| 0.187                                       | 0.813                   | 0.786              | 0.639   |  |
| $V_{RK,s}^M = \alpha_M * M_{RK,s} / l$ [kN] | $\gamma_{Ms,b,v}$       | $V_{Rd,s}^M$ [kN]  | $V_{Sd}$ [kN]   |  |
| 21.472                                      | 1.560                   | 13.764             | 3.701   |  |

##### 4.2 Pryout failure (concrete cone relevant)

| $A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ] | $A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ] | $c_{cr,N}$ [mm]  | $s_{cr,N}$ [mm] | k-factor     | $k_1$         |
|------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|--------------|---------------|
| 360 000                      | 90 000                         | 150              | 300             | 2.000        | 7.200         |
| $e_{c1,v}$ [mm]              | $\psi_{ec1,N}$                 | $e_{c2,v}$ [mm]  | $\psi_{ec2,N}$  | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ |
| 0                            | 1.000                          | 0                | 1.000           | 1.000        | 1.000         |
| $N_{RK,c}^0$ [kN]            | $\gamma_{M,c,p}$               | $V_{Rd,cp}$ [kN] | $V_{Sd}$ [kN]   |              |               |
| 36.000                       | 1.500                          | 192.000          | 14.805          |              |               |

#### 5 Combined tension and shear loads (EOTA TR 029, Section 5.2.4)

| $\beta_N$ | $\beta_v$ | $\alpha$ | Utilisation $\beta_{N,v}$ [%] | Status |
|-----------|-----------|----------|-------------------------------|--------|
| 0.920     | 0.269     | 1.000    | 100                           | OK     |

$$(\beta_N + \beta_v) / 1.2 \leq 1.0$$

#### 6 Displacements (highest loaded anchor)

Short term loading:

|                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| $N_{Sk}$ = 18.312 [kN] | $\delta_N$ = 0.316 [mm]    |
| $V_{Sk}$ = 2.742 [kN]  | $\delta_v$ = 0.082 [mm]    |
|                        | $\delta_{NV}$ = 0.326 [mm] |

Long term loading:

|                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| $N_{Sk}$ = 18.312 [kN] | $\delta_N$ = 0.389 [mm]    |
| $V_{Sk}$ = 2.742 [kN]  | $\delta_v$ = 0.137 [mm]    |
|                        | $\delta_{NV}$ = 0.412 [mm] |

Comments: Tension displacements are valid with half of the required installation torque moment for uncracked concrete! Shear displacements are valid without friction between the concrete and the baseplate! The gap due to the drilled hole and clearance hole tolerances are not included in this calculation!

The acceptable anchor displacements depend on the fastened construction and must be defined by the designer!

[www.hilti.com](http://www.hilti.com)

Company:

Specifier:

Address:

Phone | Fax:

E-Mail:

Page:

Project:

Fastening Point:

Date:

4

17/05/2019

## 7 Warnings

- The anchor design methods in PROFIS Anchor require rigid baseplates per current regulations (ETAG 001/Annex C, EOTA TR029, etc.). This means load re-distribution on the anchors due to elastic deformations of the baseplate are not considered - the baseplate is assumed to be sufficiently stiff, in order not to be deformed when subjected to the design loading. PROFIS Anchor calculates the minimum required baseplate thickness with FEM to limit the stress of the baseplate based on the assumptions explained above. The proof if the rigid baseplate assumption is valid is not carried out by PROFIS Anchor. Input data and results must be checked for agreement with the existing conditions and for plausibility!
- Checking the transfer of loads into the base material is required in accordance with EOTA TR 029, Section 7!
- The design is only valid if the clearance hole in the fixture is not larger than the value given in Table 4.1 of EOTA TR029! For larger diameters of the clearance hole see Chapter 1.1. of EOTA TR029!
- The accessory list in this report is for the information of the user only. In any case, the instructions for use provided with the product have to be followed to ensure a proper installation.
- Characteristic bond resistances depend on short- and long-term temperatures.
- Please contact Hilti to check feasibility of HIT-V rod supply.
- Edge reinforcement is not required to avoid splitting failure

**Fastening meets the design criteria!**

## 8 Installation data

|   |   |
|---|---|
| Baseplate, steel: -   | Anchor type and size: HIT-RE 500 V3 + HIT-V-R M24 |
| Profile: Rectangular hollow; (L x W x T) = 360 mm x 220 mm x 10 mm                                  | Installation torque: 0.200 kNm                    |
| Hole diameter in the fixture: $d_f = 26$ mm   | Hole diameter in the base material: 28 mm         |
| Plate thickness (input): 15 mm  | Hole depth in the base material: 100 mm           |
| Recommended plate thickness: not calculated   | Minimum thickness of the base material: 156 mm    |
| Drilling method: Hammer drilled   |   |
| Cleaning: Compressed air cleaning of the drilled hole according to instructions for use is required |   |

### 8.1 Recommended accessories

#### Drilling

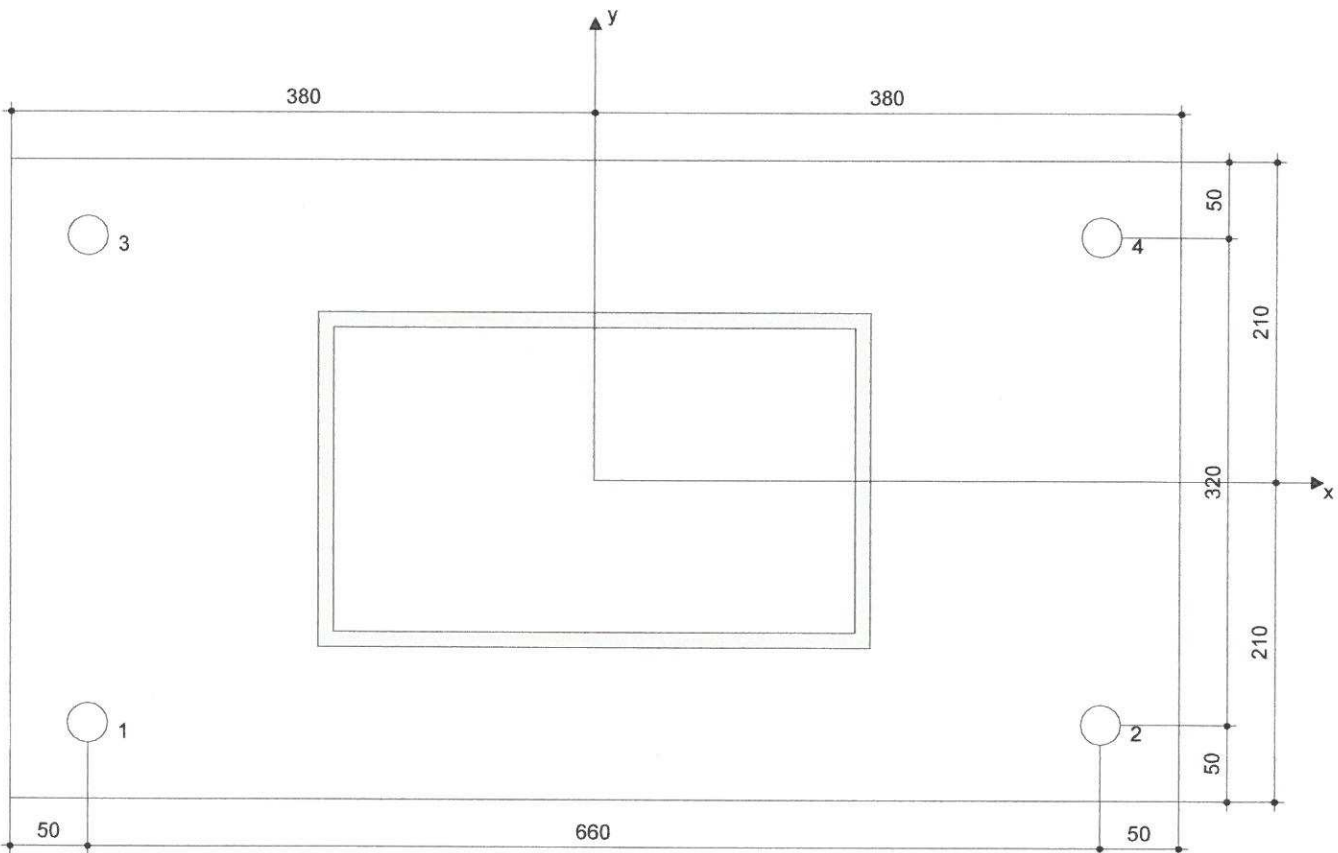
- Suitable Rotary Hammer
- Properly sized drill bit

#### Cleaning

- Compressed air with required accessories to blow from the bottom of the hole
- Proper diameter wire brush

#### Setting

- Dispenser including cassette and mixer
- Torque wrench



#### Coordinates Anchor [mm]

| Anchor | x    | y    | C <sub>-x</sub> | C <sub>+x</sub> | C <sub>-y</sub> | C <sub>+y</sub> |
|--------|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1      | -330 | -160 | -               | -               | -               | -               |
| 2      | 330  | -160 | -               | -               | -               | -               |
| 3      | -330 | 160  | -               | -               | -               | -               |
| 4      | 330  | 160  | -               | -               | -               | -               |



Company:

Specifier:

Address:

Phone | Fax:

E-Mail:

Page:

Project:

Fastening Point:

Date:

6

17/05/2019

---

## 9 Remarks; Your Cooperation Duties

- Any and all information and data contained in the Software concern solely the use of Hilti products and are based on the principles, formulas and security regulations in accordance with Hilti's technical directions and operating, mounting and assembly instructions, etc., that must be strictly complied with by the user. All figures contained therein are average figures, and therefore use-specific tests are to be conducted prior to using the relevant Hilti product. The results of the calculations carried out by means of the Software are based essentially on the data you put in. Therefore, you bear the sole responsibility for the absence of errors, the completeness and the relevance of the data to be put in by you. Moreover, you bear sole responsibility for having the results of the calculation checked and cleared by an expert, particularly with regard to compliance with applicable norms and permits, prior to using them for your specific facility. The Software serves only as an aid to interpret norms and permits without any guarantee as to the absence of errors, the correctness and the relevance of the results or suitability for a specific application.
- You must take all necessary and reasonable steps to prevent or limit damage caused by the Software. In particular, you must arrange for the regular backup of programs and data and, if applicable, carry out the updates of the Software offered by Hilti on a regular basis. If you do not use the AutoUpdate function of the Software, you must ensure that you are using the current and thus up-to-date version of the Software in each case by carrying out manual updates via the Hilti Website. Hilti will not be liable for consequences, such as the recovery of lost or damaged data or programs, arising from a culpable breach of duty by you.

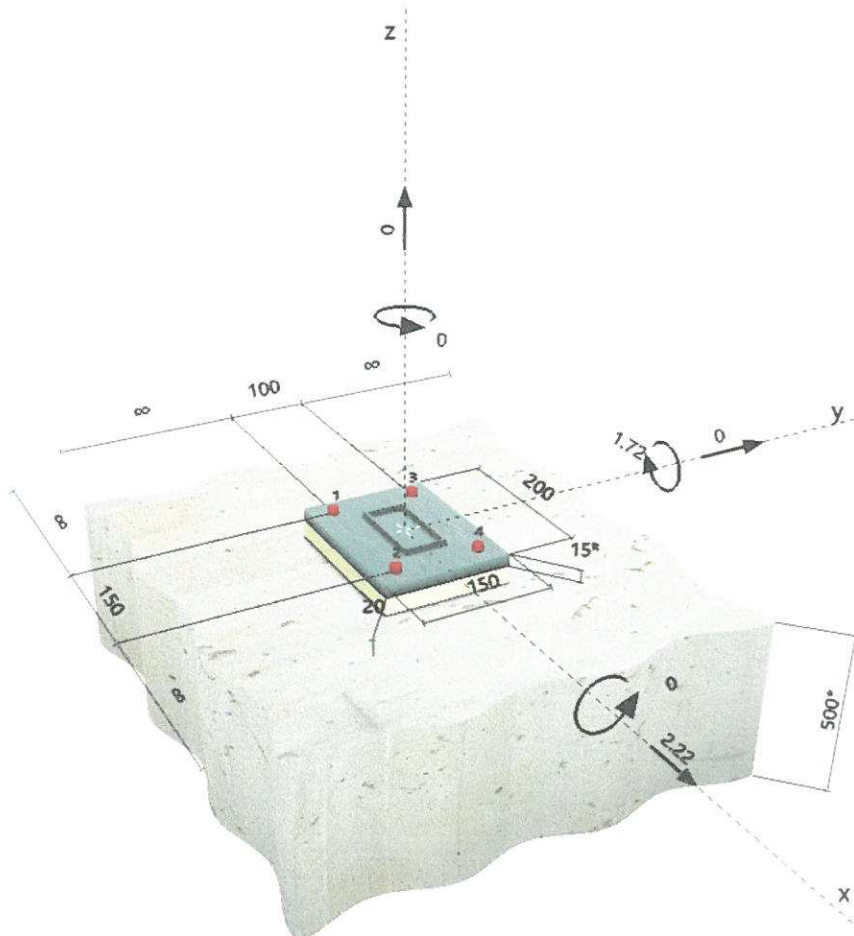


## **PŘÍLOHA C – Posouzení kotvení sloupku**

**Specifier's comments:**
**1 Input data**

|                              |   |  |
|------------------------------|---|--|
| <b>Anchor type and size:</b> | <b>HIT-RE 500 V3 + HIT-V-R M12</b>  |  |
| Effective embedment depth:   | $h_{ef, opti} = 70 \text{ mm}$ ( $h_{ef, limit} = 240 \text{ mm}$ )   |  |
| Material:                    | A4  |  |
| Approval No.:                | ETA 16/0143   |  |
| Issued   Valid:              | 12/07/2017   -  |  |
| Proof:                       | Design method ETAG BOND (EOTA TR 029)   |  |
| Stand-off installation:      | without clamping (anchor); restraint level (baseplate): 2.00; $e_b = 20 \text{ mm}$ ; $t = 15 \text{ mm}$   |  |
| Baseplate:                   | Hilti Grout: , multipurpose, $f_{c, Grout} = 30.00 \text{ N/mm}^2$  |  |
| Profile:                     | $l_x \times l_y \times t = 200 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ ; (Recommended plate thickness: not calculated)   |  |
| Base material:               | Rectangular hollow; (L x W x T) = 100 mm x 50 mm x 3 mm   |  |
| Installation:                | cracked concrete, C20/25, $f_{c, cube} = 25.00 \text{ N/mm}^2$ ; $h = 500 \text{ mm}$ , Temp. short/long: 40/24 °C  |  |
| Reinforcement:               | <b>hammer drilled hole, Installation condition: Dry</b><br>No reinforcement or Reinforcement spacing $\geq 150 \text{ mm}$ (any $\emptyset$ ) or $\geq 100 \text{ mm}$ ( $\emptyset \leq 10 \text{ mm}$ )<br>no longitudinal edge reinforcement |  |

<sup>R</sup> - The anchor calculation is based on a rigid baseplate assumption.

**Geometry [mm] & Loading [kN, kNm]**


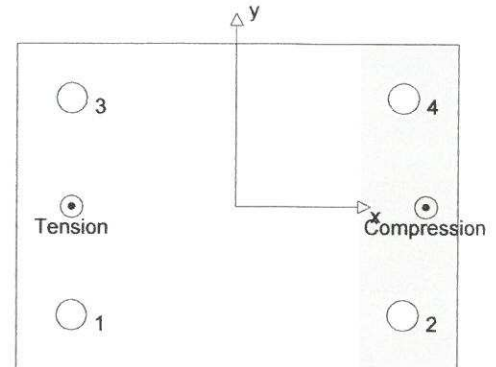
## 2 Load case/Resulting anchor forces

Load case: Design loads

### Anchor reactions [kN]

Tension force: (+Tension, -Compression)

| Anchor | Tension force | Shear force | Shear force x | Shear force y |
|--------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| 1      | 5.367         | 0.555       | 0.555         | 0.000         |
| 2      | 0.000         | 0.555       | 0.555         | 0.000         |
| 3      | 5.367         | 0.555       | 0.555         | 0.000         |
| 4      | 0.000         | 0.555       | 0.555         | 0.000         |


max. concrete compressive strain: 0.11 [%]  
max. concrete compressive stress: 3.23 [N/mm<sup>2</sup>]  
resulting tension force in (x/y)=(-75/0): 10.734 [kN]  
resulting compression force in (x/y)=(85/0): 10.734 [kN]

Anchor forces are calculated based on the assumption of a rigid baseplate.

## 3 Tension load (EOTA TR 029, Section 5.2.2)

|  | Load [kN] | Capacity [kN] | Utilisation $\beta_N$ [%] | Status |
|--|-----------|---------------|---------------------------|--------|
| Steel failure*                           | 5.367     | 31.551        | 18                        | OK     |
| Combined pullout-concrete cone failure** | 10.734    | 20.783        | 52                        | OK     |
| Concrete cone failure**                  | 10.734    | 20.749        | 52                        | OK     |
| Splitting failure**                      | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |

\* most unfavourable anchor \*\* anchor group (anchors in tension)

### 3.1 Steel failure

| $N_{Rk,s}$ [kN] | $\gamma_{M,s}$ | $N_{Rd,s}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |
|-----------------|----------------|-----------------|---------------|
| 59.000          | 1.870          | 31.551          | 5.367         |

### 3.2 Combined pullout-concrete cone failure

| $A_{p,N}$ [mm <sup>2</sup> ] | $A_{p,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ]      | $\tau_{Rk,ucr,25}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $s_{cr,Np}$ [mm] | $c_{cr,Np}$ [mm] | $c_{min}$ [mm] |
|------------------------------|-------------------------------------|---|------------------|------------------|----------------|
| 65 100                       | 44 100                              | 17.00                                   | 210              | 105              | $\infty$       |
| $\psi_c$                     | $\tau_{Rk,cr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | k                                       | $\psi_{g,Np}^0$  | $\psi_{g,Np}$    |                |
| 1.000                        | 8.00                                | 2.300                                   | 1.001            | 1.000            |                |
| $e_{c1,N}$ [mm]              | $\psi_{ec1,Np}$                     | $e_{c2,N}$ [mm]                         | $\psi_{ec2,Np}$  | $\psi_{s,Np}$    | $\psi_{re,Np}$ |
| 0                            | 1.000                               | 0                                       | 1.000            | 1.000            | 1.000          |
| $N_{Rk,p}^0$ [kN]            | $N_{Rk,p}$ [kN]                     | $\gamma_{M,p}$                          | $N_{Rd,p}$ [kN]  | $N_{Sd}$ [kN]    |                |
| 21.112                       | 31.175                              | 1.500                                   | 20.783           | 10.734           |                |

### 3.3 Concrete cone failure

| $A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ] | $A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ] | $c_{cr,N}$ [mm] | $s_{cr,N}$ [mm] |               |               |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| 65 100                       | 44 100                         | 105             | 210             |               |               |
| $e_{c1,N}$ [mm]              | $\psi_{ec1,N}$                 | $e_{c2,N}$ [mm] | $\psi_{ec2,N}$  | $\psi_{s,N}$  | $\psi_{re,N}$ |
| 0                            | 1.000                          | 0               | 1.000           | 1.000         | 1.000         |
| $k_1$                        | $N_{Rk,c}^0$ [kN]              | $\gamma_{M,c}$  | $N_{Rd,c}$ [kN] | $N_{Sd}$ [kN] |               |
| 7.200                        | 21.084                         | 1.500           | 20.749          | 10.734        |               |

#### 4 Shear load (EOTA TR 029, Section 5.2.3)

|                                       | Load [kN] | Capacity [kN] | Utilisation $\beta_v$ [%] | Status |
|---------------------------------------|-----------|---------------|---------------------------|--------|
| Steel failure (without lever arm)*    | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |
| Steel failure (with lever arm)*       | 0.555     | 2.912         | 20                        | OK     |
| Pryout failure**                      | 2.220     | 71.140        | 4                         | OK     |
| Concrete edge failure in direction ** | N/A       | N/A           | N/A                       | N/A    |

\* most unfavourable anchor \*\*anchor group (relevant anchors)

#### 4.1 Steel failure (with lever arm)

|   |                         |                    |   |  |  |
|---|-------------------------|--------------------|---|--|--|
| $l$ [mm]                                    | $\alpha_M$              |                    |   |  |  |
| 34  | 2.00                    |                    |   |  |  |
| $N_{Sd} / N_{Rd,s}$                         | $1 - N_{Sd} / N_{Rd,s}$ | $M_{RK,s}^0$ [kNm] | $M_{RK,s} = M_{RK,s}^0 (1 - N_{Sd} / N_{Rd,s})$ [kNm] |  |  |
| 0.170                                       | 0.830                   | 0.092              | 0.076   |  |  |
| $V_{RK,s}^M = \alpha_M * M_{RK,s} / l$ [kN] | $\gamma_{Ms,b,v}$       | $V_{Rd,s}^M$ [kN]  | $V_{Sd}$ [kN]   |  |  |
| 4.543                                       | 1.560                   | 2.912              | 0.555   |  |  |

#### 4.2 Pryout failure (concrete cone relevant)

|                              |                                |                  |                 |              |               |
|------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|--------------|---------------|
| $A_{c,N}$ [mm <sup>2</sup> ] | $A_{c,N}^0$ [mm <sup>2</sup> ] | $c_{cr,N}$ [mm]  | $s_{cr,N}$ [mm] | k-factor     | $k_1$         |
| 111 600                      | 44 100                         | 105              | 210             | 2.000        | 7.200         |
| $e_{c1,v}$ [mm]              | $\psi_{ec1,N}$                 | $e_{c2,v}$ [mm]  | $\psi_{ec2,N}$  | $\psi_{s,N}$ | $\psi_{re,N}$ |
| 0                            | 1.000                          | 0                | 1.000           | 1.000        | 1.000         |
| $N_{RK,c}^0$ [kN]            | $\gamma_{M,c,p}$               | $V_{Rd,cp}$ [kN] | $V_{Sd}$ [kN]   |              |               |
| 21.084                       | 1.500                          | 71.140           | 2.220           |              |               |

#### 5 Combined tension and shear loads (EOTA TR 029, Section 5.2.4)

| $\beta_N$ | $\beta_v$ | $\alpha$ | Utilisation $\beta_{N,v}$ [%] | Status |
|-----------|-----------|----------|-------------------------------|--------|
| 0.517     | 0.191     | 1.500    | 46                            | OK     |

$$\beta_N^{\alpha} + \beta_v^{\alpha} \leq 1.0$$

#### 6 Displacements (highest loaded anchor)

Short term loading:

$$N_{Sk} = 3.975 \text{ [kN]} \quad \delta_N = 0.075 \text{ [mm]}$$

$$V_{Sk} = 0.411 \text{ [kN]} \quad \delta_v = 0.021 \text{ [mm]}$$

$$\delta_{Nv} = 0.078 \text{ [mm]}$$

Long term loading:

$$N_{Sk} = 3.975 \text{ [kN]} \quad \delta_N = 0.211 \text{ [mm]}$$

$$V_{Sk} = 0.411 \text{ [kN]} \quad \delta_v = 0.033 \text{ [mm]}$$

$$\delta_{Nv} = 0.213 \text{ [mm]}$$

Comments: Tension displacements are valid with half of the required installation torque moment for uncracked concrete! Shear displacements are valid without friction between the concrete and the baseplate! The gap due to the drilled hole and clearance hole tolerances are not included in this calculation!

The acceptable anchor displacements depend on the fastened construction and must be defined by the designer!

## 7 Warnings

- The anchor design methods in PROFIS Anchor require rigid baseplates per current regulations (ETAG 001/Annex C, EOTA TR029, etc.). This means load re-distribution on the anchors due to elastic deformations of the baseplate are not considered - the baseplate is assumed to be sufficiently stiff, in order not to be deformed when subjected to the design loading. PROFIS Anchor calculates the minimum required baseplate thickness with FEM to limit the stress of the baseplate based on the assumptions explained above. The proof if the rigid baseplate assumption is valid is not carried out by PROFIS Anchor. Input data and results must be checked for agreement with the existing conditions and for plausibility!
- Checking the transfer of loads into the base material is required in accordance with EOTA TR 029, Section 7!
- The design is only valid if the clearance hole in the fixture is not larger than the value given in Table 4.1 of EOTA TR029! For larger diameters of the clearance hole see Chapter 1.1. of EOTA TR029!
- The accessory list in this report is for the information of the user only. In any case, the instructions for use provided with the product have to be followed to ensure a proper installation.
- Characteristic bond resistances depend on short- and long-term temperatures.
- Please contact Hilti to check feasibility of HIT-V rod supply.
- Edge reinforcement is not required to avoid splitting failure

**Fastening meets the design criteria!**

## 8 Installation data

Baseplate, steel: -  
 Profile: Rectangular hollow; (L x W x T) = 100 mm x 50 mm x 3 mm  
 Hole diameter in the fixture:  $d_f = 14$  mm  
 Plate thickness (input): 15 mm  
 Recommended plate thickness: not calculated  
 Drilling method: Hammer drilled  
 Cleaning: Compressed air cleaning of the drilled hole according to instructions for use is required

Anchor type and size: HIT-RE 500 V3 + HIT-V-R M12  
 Installation torque: 0.040 kNm  
 Hole diameter in the base material: 14 mm  
 Hole depth in the base material: 70 mm  
 Minimum thickness of the base material: 100 mm

### 8.1 Recommended accessories

#### Drilling

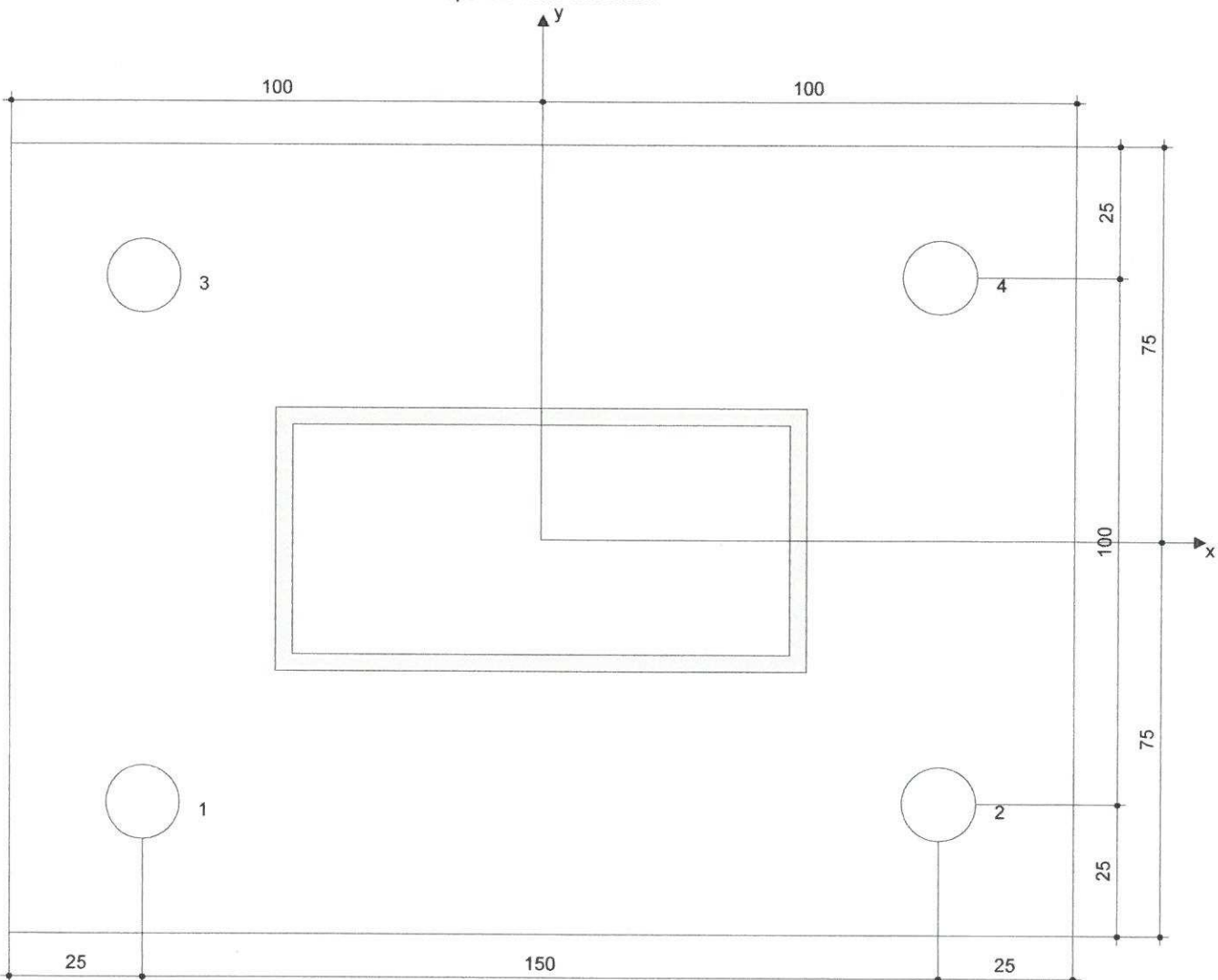
- Suitable Rotary Hammer
- Properly sized drill bit

#### Cleaning

- Compressed air with required accessories to blow from the bottom of the hole
- Proper diameter wire brush

#### Setting

- Dispenser including cassette and mixer
- Torque wrench



#### Coordinates Anchor [mm]

| Anchor | x   | y   | C <sub>-x</sub> | C <sub>++x</sub> | C <sub>-y</sub> | C <sub>++y</sub> |
|--------|-----|-----|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| 1      | -75 | -50 | -               | -                | -               | -                |
| 2      | 75  | -50 | -               | -                | -               | -                |
| 3      | -75 | 50  | -               | -                | -               | -                |
| 4      | 75  | 50  | -               | -                | -               | -                |

[www.hilti.com](http://www.hilti.com)

Company:

Specifier:

Address:

Phone | Fax:

E-Mail:

Page:

Project:

Fastening Point:

Date:

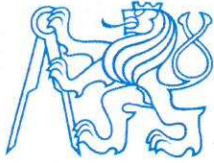
6

17/05/2019

## 9 Remarks; Your Cooperation Duties

- Any and all information and data contained in the Software concern solely the use of Hilti products and are based on the principles, formulas and security regulations in accordance with Hilti's technical directions and operating, mounting and assembly instructions, etc., that must be strictly complied with by the user. All figures contained therein are average figures, and therefore use-specific tests are to be conducted prior to using the relevant Hilti product. The results of the calculations carried out by means of the Software are based essentially on the data you put in. Therefore, you bear the sole responsibility for the absence of errors, the completeness and the relevance of the data to be put in by you. Moreover, you bear sole responsibility for having the results of the calculation checked and cleared by an expert, particularly with regard to compliance with applicable norms and permits, prior to using them for your specific facility. The Software serves only as an aid to interpret norms and permits without any guarantee as to the absence of errors, the correctness and the relevance of the results or suitability for a specific application.
- You must take all necessary and reasonable steps to prevent or limit damage caused by the Software. In particular, you must arrange for the regular backup of programs and data and, if applicable, carry out the updates of the Software offered by Hilti on a regular basis. If you do not use the AutoUpdate function of the Software, you must ensure that you are using the current and thus up-to-date version of the Software in each case by carrying out manual updates via the Hilti Website. Hilti will not be liable for consequences, such as the recovery of lost or damaged data or programs, arising from a culpable breach of duty by you.





## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Konstrukce zastřešení stanice metra Nemocnice Krč**

**Roof structure of metro station Nemocnice Krč**

### **3. Výkresová dokumentace**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Předmět: 134DPM

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

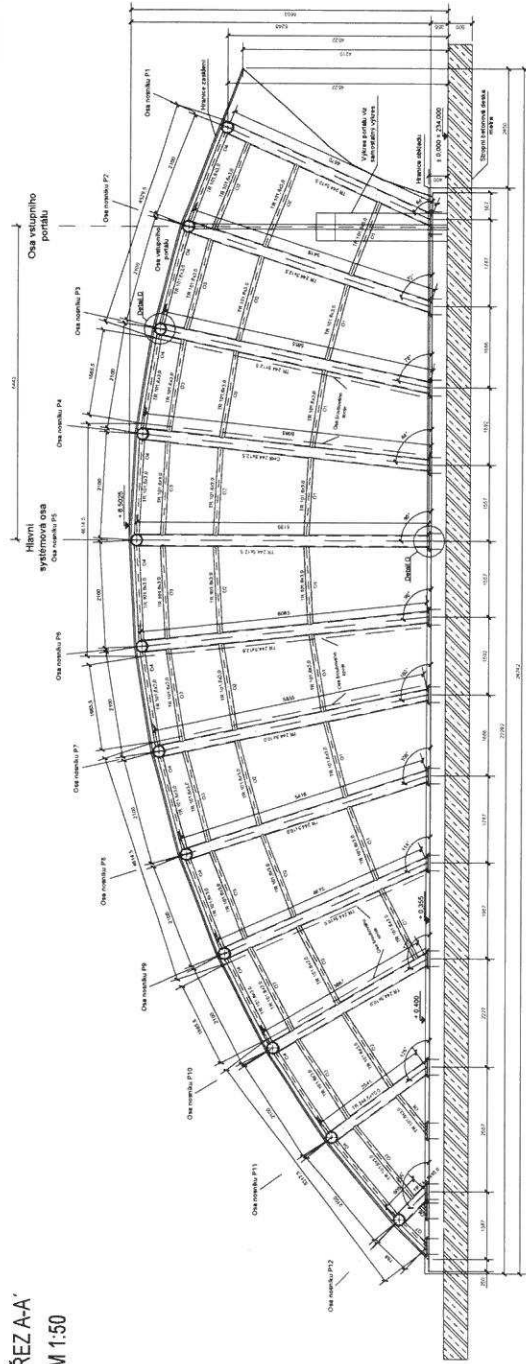
Vypracoval: Bc. David Rychnavský

Datum: Květen 2019

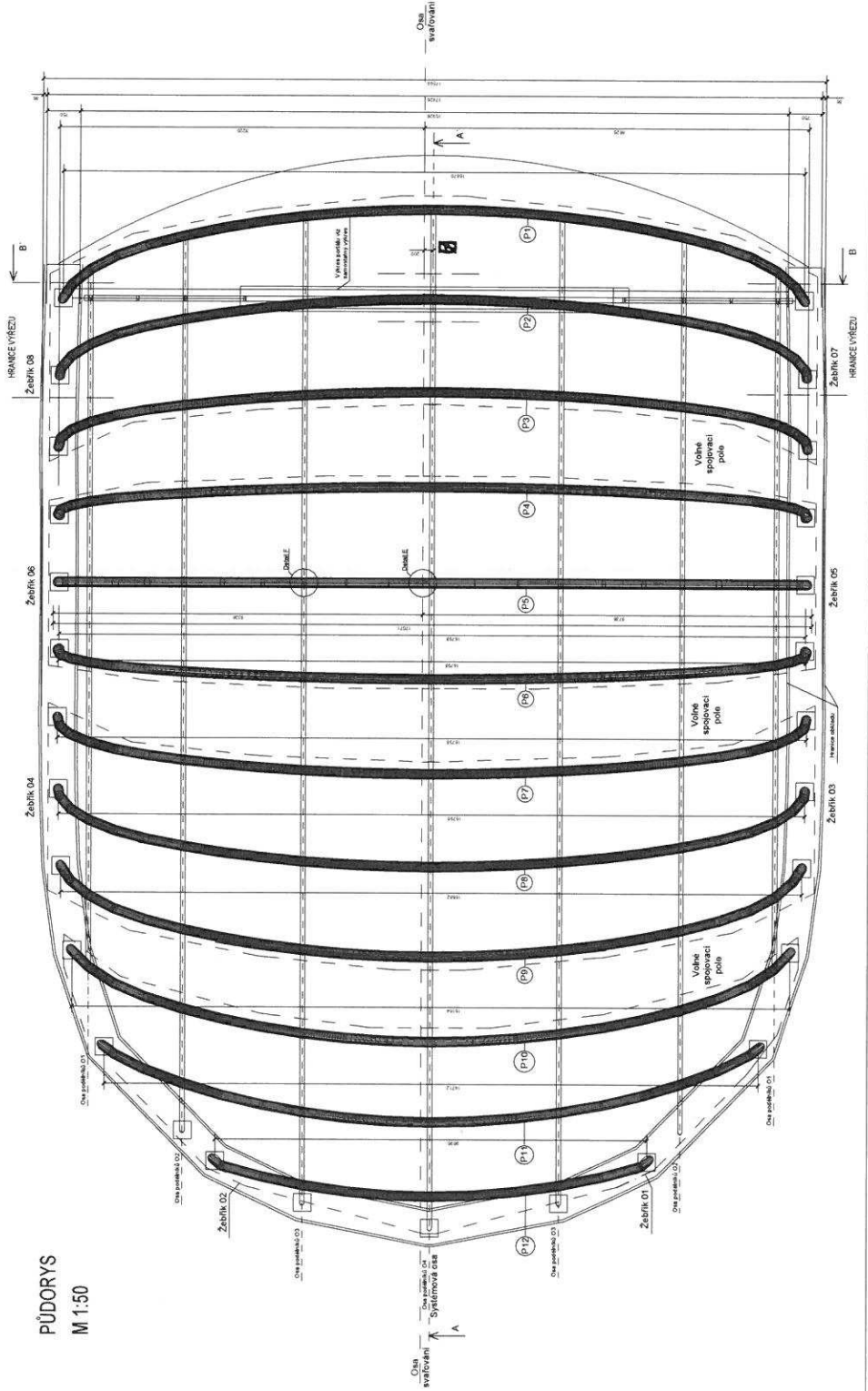
**Obsah:**

1. Dispoziční výkres (A1)
2. Dispoziční výkres portálu (A2)
3. Detaily (A2)

**ŘEZ A-A'**  
M 1:50



**PŮDORYS**  
M 1:50

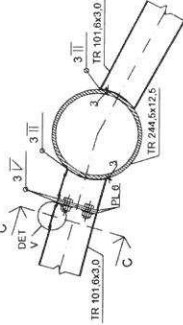


| LEGENDA MATERIÁLŮ A PRVKŮ |               |                 |                  |       |          |
|---------------------------|---------------|-----------------|------------------|-------|----------|
| OZNAČENÍ                  | PRVEK         | ROZMĚRY         | DELKA POLOTOVÁŘU | POČET | MATERIÁL |
| P1                        | Hlavní nosník | 16670 / 4670 mm | 20,582 m         | 1     | 1.4404   |
| P2                        | Hlavní nosník | 16798 / 5416 mm | 21,332 m         | 1     | 1.4404   |
| P3                        | Hlavní nosník | 16798 / 5655 mm | 21,922 m         | 1     | 1.4404   |
| P4                        | Hlavní nosník | 16798 / 6085 mm | 22,585 m         | 1     | 1.4404   |
| P5                        | Hlavní nosník | 16798 / 6189 mm | 23,042 m         | 1     | 1.4404   |
| P6                        | Hlavní nosník | 16798 / 6685 mm | 22,585 m         | 1     | 1.4404   |
| P7                        | Hlavní nosník | 16798 / 6865 mm | 21,922 m         | 1     | 1.4404   |
| P8                        | Hlavní nosník | 16798 / 6416 mm | 21,332 m         | 1     | 1.4404   |
| P9                        | Hlavní nosník | 16670 / 4670 mm | 20,582 m         | 1     | 1.4404   |
| P10                       | Hlavní nosník | 16164 / 3907 mm | 10,089 m         | 1     | 1.4404   |
| P11                       | Hlavní nosník | 14712 / 2541 mm | 16,455 m         | 1     | 1.4404   |
| P12                       | Hlavní nosník | 8636 / 955 mm   | 10,096 m         | 1     | 1.4404   |
| O1                        | Podstělník    | 1,553 m         | 1,682 m          | 18    | 1.4404   |
| O2                        | Podstělník    | 1,795 m         | 1,795 m          | 20    | 1.4404   |
| O3                        | Podstělník    | 1,795 m         | 1,795 m          | 22    | 1.4404   |
| O4                        | Podstělník    | 1,855 m         | 1,855 m          | 11    | 1.4404   |
| O5                        | Podstělník    | 0,929 m         | 0,929 m          | 2     | 1.4404   |
| O6                        | Podstělník    | 0,155 m         | 0,155 m          | 2     | 1.4404   |
| O7                        | Podstělník    | 0,655 m         | 0,655 m          | 1     | 1.4404   |

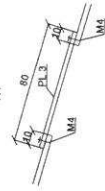
**ŘEZ C-C'**  
1:5



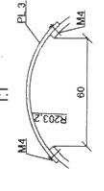
**DETAIL D**  
1:5



**DETAIL V**  
1:1

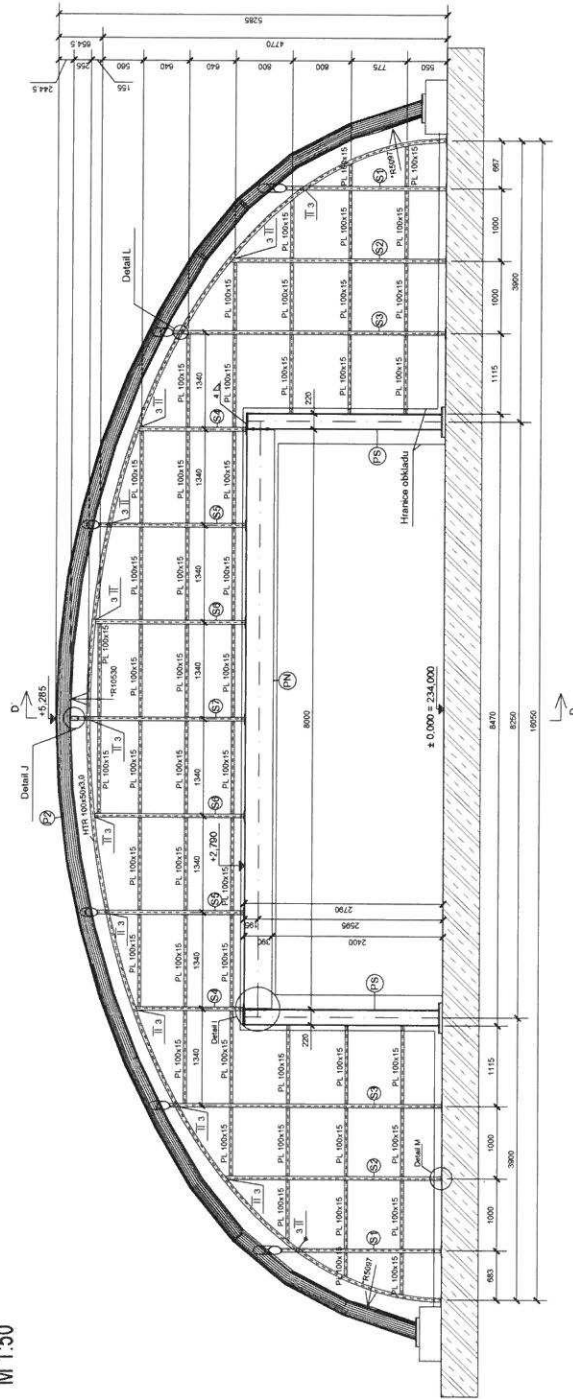


**DETAIL W**  
1:1

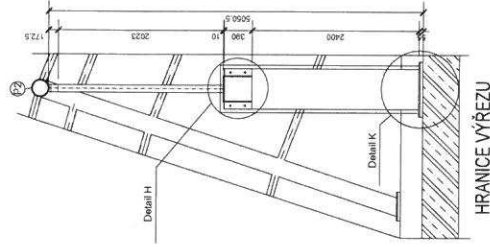


**MATERIÁL:**  
 Hlavní nosník - 1.4404  
 Hlavní trávy HTR 100/30/0 - 1.4404  
 Zábrka - 1.4404  
 Páti plechy - 1.4402  
 Páti - S355JR  
 Šrouby - S355JR  
 Srovnávací kotva - A4-70  
 Srovnávací ušnice - 4.8.8 posk.  
 Beton C20/25

ŘEZ B-B' - VÝŘEZ  
M 1:50



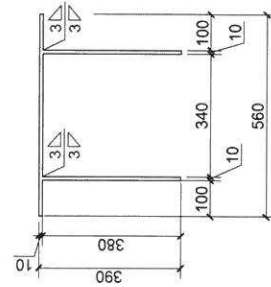
ŘEZ D-D'  
M 1:50



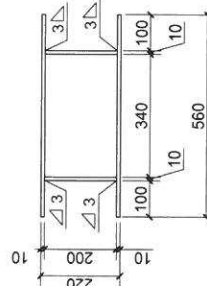
HRANICE VÝŘEZU

| LEGENDA MATERIÁLŮ A PRVKŮ |         |               |               |       |          |
|---------------------------|---------|---------------|---------------|-------|----------|
| OZNAČENÍ                  | PRVEK   | PRŮŘEZ        | DELKA CELKOVÁ | POČET | MATERIÁL |
| S                         | Sloupek | HTR100x50x3.0 | 31,106 m      | 13    | 1.4404   |
| PN                        | Příčle  | 560x390       | 8,0 m         | 1     | S355JR   |
| PS                        | Sloup   | 560x220       | 2,78 m        | 2     | S355JR   |

PRŮŘEZ PN  
M 1:5



PRŮŘEZ PS  
M 1:5

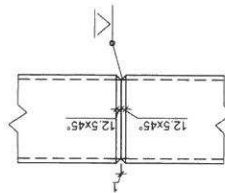


**MATERIÁLY:**  
 Trubky TR 02445 - 1.4404  
 Hranaté trubky HTR 100x50x3.0 - 1.4404  
 Žaluzie - 1.4404  
 Patiní plechy - 1.4462  
 Příčle - S355JR  
 Sloupy - S355JR  
 Šrouby do korozivzdorné oceli - A4-70  
 Šrouby do uhlíkové oceli - 8.8 pozink.  
 Beton C20/25

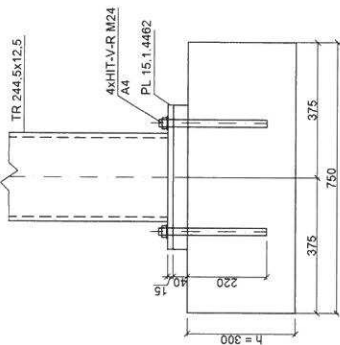
- Orientační poloměry na části oblouku pro nastavení ohybacího stroje
- Všechny neoznačené svary jsou 3 II

|   |  |            |                                 |
|---|--|------------|---------------------------------|
| Předmět:<br>Diplomová práce                 | Vedoucí práce:<br>doc. Ing. Michal Jandera | Praha 2019 | Fakulta stavební<br><b>ČVUT</b> |
| Zpracovatel:<br>bc. David Rychmanovský      | Mřížka:<br>1:100                           |            |                                 |
| Název výkresu:<br>Dispoziční výkres portálu | Číslo výkresu:<br>2                        |            |                                 |

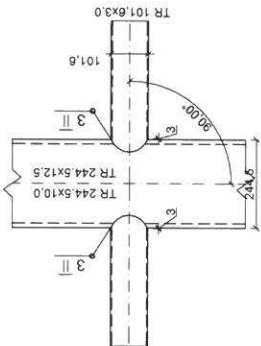
DETAIL E



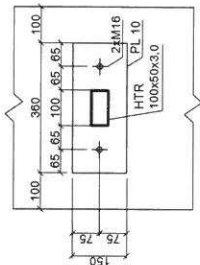
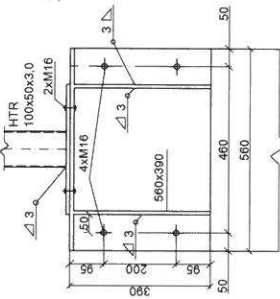
DETAIL G



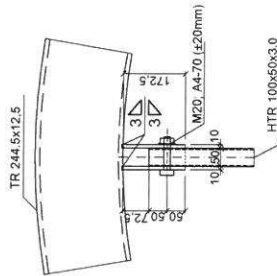
DETAIL F



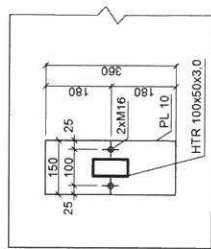
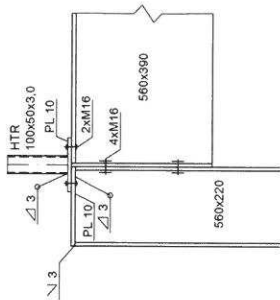
DETAIL H



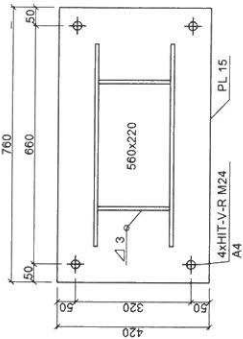
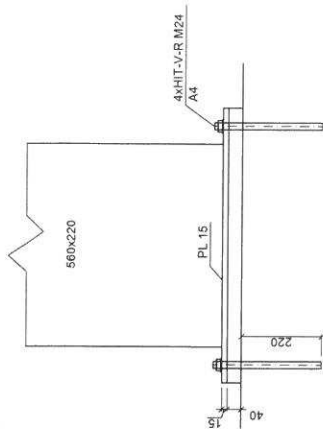
DETAIL J



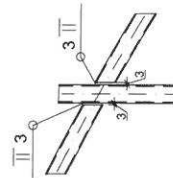
DETAIL I



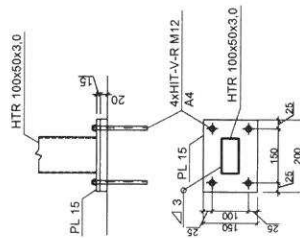
DETAIL K



DETAIL L



DETAIL M



**MATERIÁLY:**  
 Trubky TR Ø244.5 - 1.4404  
 Hranaté trubky HTR 100x50x3.0 - 1.4404  
 Žaluzie - 1.4404  
 Pátní plechy - 1.4462

Přídele - S355JR  
 Sloupy - S355JR

Šrouby do korozivzdorné oceli - A4-70  
 Šrouby do uhlíkové oceli - 8.8 pozink.

Beton C20/25

|                 |                          |                  |
|-----------------|--------------------------|------------------|
| Firma:          | Vedoucí práce:           | Fakulta stavební |
| Diplobová práce | doc. Ing. Michal Jandera | Praha 2019       |
| Zpracoval:      | bc. David Rychnavský     |                  |
| Název výkresu:  | <b>Detaily</b>           |                  |
| Metrička:       | 1:10                     |                  |
| Číslo výkresu:  | 3                        |                  |