



FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

**OCELOVÝ ZÁSOBNÍK**  
**STEEL SILO**  
**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.  
Autor: Bc. Mykyta Matiukhov

**Praha, 2024**

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

V Praze dne 03.01.2024

.....

Bc. Mykyta Matiukhov

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu panu prof. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za ochotu a čas, který mi věnoval během zpracování práce. Také bych chtěl poděkovat panu konzultantu Ing. Vojtěchu Vondrovicovi za odborné rady.

V Praze dne 03.01.2024


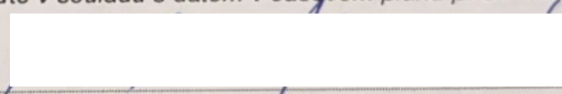
Bc. Mykyta Matiukhov

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

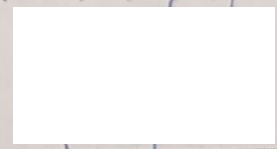
Příjmení: Matiukhov Jméno: Mykyta Osobní číslo: 484550  
 Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí  
 Studijní program: Stavební inženýrství  
 Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Ocelový zásobník  
 Název diplomové práce anglicky: Steel silo  
 Pokyny pro vypracování:  
 Návrh nosné ocelové konstrukce zásobníku. Součástí návrhu bude i podpurná konstrukce a vybrané detaily.  
 Stručná technická zpráva. Výkresová dokumentace (dispozice a navržené detaily).  
 Seznam doporučené literatury:  
 Návrh dle platných norem ČSN EN.  
 Jméno vedoucího diplomové práce: Michal Jandera  
 Datum zadání diplomové práce: 26.9.2023 Termín odevzdání DP v IS KOS: 8.1.2024  
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku  
  
 Podpis vedoucího práce  
  
 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat 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“.*

26.9.2023  
 Datum převzetí zadání  
  
 Podpis studenta(ky)

## Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na statické posouzení ocelového zásobníku a podpůrné konstrukce.

Navržený zásobník umožňuje uskladnění 480 tun popílku. Zásobník má vnitřní poloměr 2.85m a je centrický pro plnění a vyprazdňování. Konstrukce zásobníku je rozdělená na 6 segmentů vysokých 2m, 1 segment výšky 1m a výsypky. Vrchol zásobníku dosahuje výšky 21.725m. Výška komory zásobníku je 13m, výška výsypky je 2.675m.

Statický výpočet byl proveden podle platných norem ČSN EN. Pro určení vnitřních sil konstrukce byl vymodelován 3D-model v programu SCIA Engineer 22.0. Práce se skládá z technické zprávy, statického výpočtu, výkresové dokumentace a příloh.

## Klíčová slova:

Ocelový zásobník, nosník, sloup, diagonální ztužidlo, přípoj, kloubová patka.

## Abstract

The diploma thesis focuses on a structural design of a steel silo and its supporting structure.

The designed silo can store 480 tons of fly ash. The silo's inner radius is 2.85m and it is centric for filling and emptying. The design of the silo is divided into 6 2m high segments, 1 segment of 1m high and silo bottom. The top of the silo reaches a height of 21.725m. The height of silo chamber is 13m and the height of the hopper is 2.675m.

The structural design was carried out according to current standards ČSN EN. To determine the internal forces of the structure, a 3D-model was modelled in SCIA Engineer 22.0. The work consists of a technical report, static calculation, drawings and appendices.

## Keywords:

Steel silo, beam, column, diagonal bracing, connection, column base.



FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

# **OCELOVÝ ZÁSOBNÍK**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.  
Autor: Bc. Mykyta Matiukhov

**Praha, 2024**

# OBSAH

1. POPIS KONSTRUKCE.....	2
2. POPIS NOSNÉ KONSTRUKCE.....	2
3. ZATÍŽENÍ.....	2
4. POUŽITÉ MATERIALY.....	2
5. POUŽITÉ NORMY.....	2
6. VÝROBA OCELOVÉ KONSTRUKCE.....	3
7. MONTÁŽ OCELOVÉ KONSTRUKCE.....	3
8. OCHRANA PROTI KOROZI.....	3
9. OCHRANA PROTI POŽÁRU.....	3
10. POUŽITÉ PROGRAMY.....	3

## 1. POPIS KONSTRUKCE

Tématem této diplomové práce je návrh ocelového zásobníku. Stavba se nachází v Praze. Objekt je obdélníkového půdorysného tvaru o rozměru 5.626x5.566 m. Navržený zásobník umožňuje uskladnění 300m<sup>3</sup> popílku(480 tun).

## 2. POPIS NOSNÉ KONSTRUKCE

Nosná konstrukce ocelového zásobníku se skládá ze samotného zásobníku a podpůrné konstrukce. Zásobník má vnitřní poloměr 2.85m a po segmentech má stupňovanou tloušťku 8mm a 10mm (uvedené tloušťky plechu jsou s uvažovaným přírůstkem +2mm na otěr a korozi). Konstrukce zásobníku je rozdělena na 6 segmentů vysokých 2m, 1 segment výšky 1m a výsypky. Vrchol zásobníku dosahuje výšky 21.725m. Zásobník v místě napojení segmentů je vyztužen plechem po celému obvodu. Zásobník je uložen na podpůrnou konstrukci v 8 bodech. V místě napojení byla udělána uzavřená komora výšky 350mm. Víko zásobníku se skládá z podélných nosníků IPE 200 a příčných nosníků - úhelníků L40x40x5,0. Uprostřed víka byl udělán otvor pro centrické plnění. Výsypka zásobníku je tvořena plechem t=13mm a ve sklonu 45°. Otvor ve výsypce má průměr 350mm.

Podpůrná konstrukce má osovou výšku 8m a je tvořena sloupy HEB 360, vodorovnými nosníky HEB 550, diagonálami profilu CHS 139.7/5.0 a vodorovnými spojkami profilu CHS 88.9/5.0. První úroveň diagonál je do osově výšky 5m. Druhá úroveň je do 5m do 8m.

Zatížení od podélného a příčného větru přenáší stěnové ztužení. Je tvořeno trubkami CHS 139.7/5.0.

Konstrukce je založená kloubově na betonových patkách. Kotvení sloupů je zajištěno pomocí injektážního systému kotev M24 se smykovou zarážkou.

## 3. ZATÍŽENÍ

Zatížení od sněhu je spočítáno pro víko zásobníku. Charakteristická hodnota zatížení sněhem byla odečtena ze sněhové mapy ČR pro Prahu (I. oblast - s<sub>k</sub> = 0.7 kPa).

Pro zatížení větrem je uvažována základní rychlost větru dle mapy větrných oblastí na území ČR pro oblast II (Praha) a II. kategorie terénu.

Užitné zatížení je uvažováno  $1.0 \frac{kN}{m^2}$ .

Zatížení od nárazu vozidla bylo započteno jako 150 kN do obou směrů na sloup ve výšce 1.25m.

## 4. POUŽITÉ MATERIALY

Ocel: S355JR - Svislé nosné konstrukce, vodorovné nosné konstrukce, čelní desky

Beton: C25/30, XC2, CI 0,2 –D<sub>max</sub> 22 mm–S2 - Základové konstrukce

Šrouby: 8.8

Kotvení: FHB SB s FIS A 24x650

## 5. POUŽITÉ NORMY

ČSN EN 1991-1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem

ČSN EN 1991-1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem

ČSN EN 1991-4: Zatížení zásobníků a nádrží

ČSN EN 1993-1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1993-1-5: Boulení stěn

ČSN EN 1993-1-6: Pevnost a stabilita skořepinových konstrukcí

ČSN EN 1993-1-8: Navrhování styčnicků

ČSN EN 1993-4-1: Zásobníky



## 6. VÝROBA OCELOVÉ KONSTRUKCE

Konstrukce bude provedena dle třídy provedení EXC2.

U plechu namáhaných kolmo na jejich povrch by bylo nutné stanovit hodnotu  $Z_{Ed}$ .

## 7. MONTÁŽ OCELOVÉ KONSTRUKCE

Montáž ocelových konstrukcí bude provedena pomocí mobilního jeřábu. Nejprve se smontuje podpůrná konstrukce pak výsypka a pak zásobník po jednotlivých segmentech.

## 8. OCHRANA PROTI KOROZI

Veškeré ocelové konstrukce jsou v exteriéru , kde jsou vystaveny vnějším vlivům.

Protikorozní ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944 (1998):

- Stupeň korozní agresivity: C3 – střední (městské atmosféry s mírným znečištěním)
- Předpokládaná životnost: Vysoká(H) – více než 15 let
- Příprava povrchu: Sa 2 1/2 – Otryskávání – odstranění okují, rzi, nátěrů a cizích látek
- Zvolený nátěrový systém: ISO 12944-5/A2.02.
- Požadovaná tloušťka suchého povlaku vrchního nátěru: 120  $\mu\text{m}$
- Ocelové profily budou natřeny dílensky 1-2 x základním nátěrem a 1-2 x vrchním nátěrem.
- Veškeré šrouby jsou také chráněny zinkovou povrchovou úpravou.

## 9. OCHRANA PROTI POŽÁRU

Návrh požární bezpečnosti není součástí této práce.

## 10. POUŽITÉ PROGRAMY

Autodesk AutoCad 2022

SCIA Engineer 22.0

FIXPERIENCE

PTC Mathcad 8.0.0.0



FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

# **OCELOVÝ ZÁSOBNÍK**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

SHRNUTÍ Z P04C

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.  
Autor: Bc. Mykyta Matiukhov

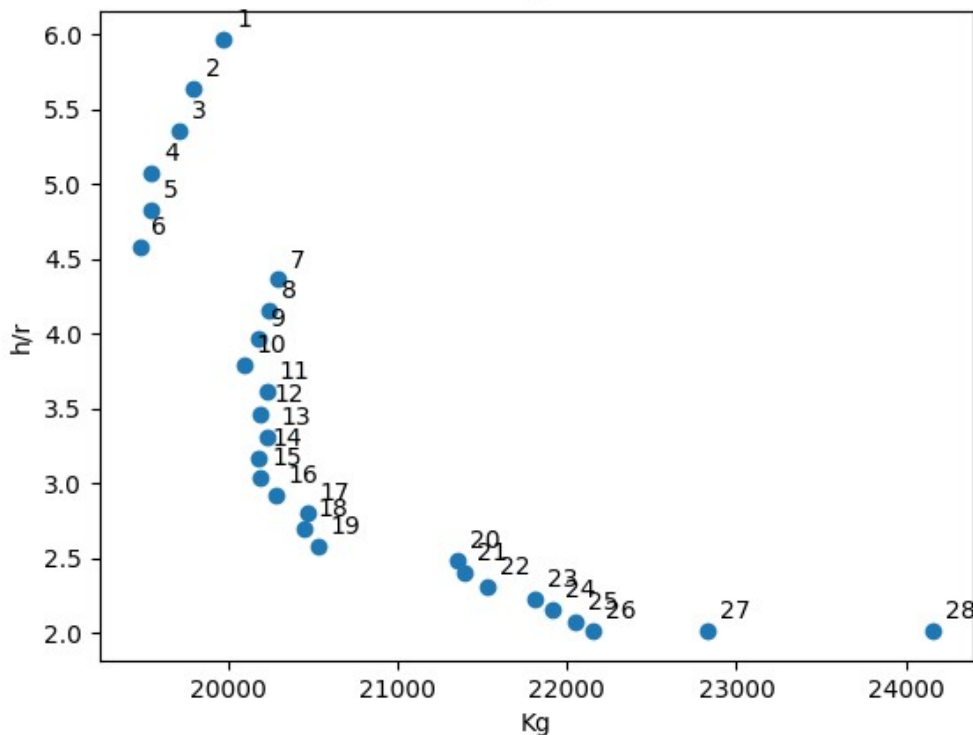
**Praha, 2024**

## Výsledky z projektu P04C

Během projektu byl napsán program pomocí programovacího jazyku Python, který umožňuje parametricky navrhnout ocelový zásobník. Jako vstupní data program potřebuje: objem materiálu (popílek), třídu oceli a okrajové podmínky pro komoru a výsypku (třída jakosti výroby, okrajové podmínky skořepin). Jako výsledek program uvádí: stupňovanou tloušťku stěny komory, tloušťku stěny výsypky, tloušťku plechu ve víku, podélné nosníky ve víku, příčné zesílení víka, celkovou hmotnost konstrukci komory, celkovou hmotnost konstrukci výsypky, celkovou hmotnost konstrukci víka a napětí v konstrukci.

Okrajové podmínky pro návrh:

- objem materiálu - 300m<sup>3</sup> až 315m<sup>3</sup>
- výška konstrukce zásobníku - 4m až 16m
- poloměr zásobníku - 1m až 4m



Na grafu na ose-y je zobrazeno poměr výšky k poloměru komory, na ose-x je zobrazena celková hmotnost konstrukce. Dole je uvedena tabulka s vypsányými jednotlivými hodnotami pro každou navrženou variantu.

Pozn.: přídavek je započítán do celkové hmotnosti každé varianty, ale není započítán do sloupce tloušťka v tabulce. Přídavek je +2mm.

Ve výsledku byla vybrána varianta č.6, protože že všech variant má nejmenší hmotnost a optimální poměr výšky ku poloměru zásobníku.

	r_zas [m]	h_zas [m]	t_plech_stena [m]	Vaha_komora [kg]
1	2.6	15.5	0.0065	16895.595
2	2.65	14.95	0.0065	16609.46
3	2.7	14.45	0.0065	16356.865
4	2.75	13.95	0.0065	16083.307
5	2.8	13.5	0.0065	15847.481
6	2.85	13.05	0.0065	15592.79
7	2.9	12.65	0.007	16284.73
8	2.95	12.25	0.007	16041.691
9	3	11.9	0.007	15847.481
10	3.05	11.55	0.007	15637.735
11	3.1	11.2	0.007	15412.452
12	3.15	10.9	0.007	15241.548
13	3.2	10.6	0.007	15057.327
14	3.25	10.3	0.007	14859.788
15	3.3	10.05	0.007	14722.177
16	3.35	9.8	0.007	14573.468
17	3.4	9.55	0.007	14413.662
18	3.45	9.3	0.007	14242.757
19	3.5	9.05	0.007	14060.756
20	3.55	8.85	0.0075	14721.252
21	3.6	8.65	0.0075	14591.224
22	3.65	8.45	0.0075	14451.825
23	3.7	8.25	0.0075	14303.055
24	3.75	8.1	0.0075	14232.77
25	3.8	7.9	0.0075	14066.428
26	3.85	7.75	0.0075	13980.914
27	3.9	7.85	0.0075	14345.226
28	3.95	7.95	0.008	15488.657

	h_vysypka [m]	t_plech_vysypka [m]	Vaha_vysypka [kg]
1	2.6	0.01	1333.694
2	2.65	0.01	1385.483
3	2.7	0.0105	1498.186
4	2.75	0.0105	1554.188
5	2.8	0.0105	1611.218
6	2.85	0.011	1736.046
7	2.9	0.011	1797.495
8	2.95	0.0115	1931.551
9	3	0.0115	1997.582
10	3.05	0.0115	2064.723
11	3.1	0.012	2211.972
12	3.15	0.012	2283.902
13	3.2	0.0125	2441.16
14	3.25	0.0125	2518.042
15	3.3	0.0125	2596.116
16	3.35	0.013	2767.637
17	3.4	0.013	2850.87
18	3.45	0.013	2935.335
19	3.5	0.0135	3121.735
20	3.55	0.0135	3211.565
21	3.6	0.0135	3302.668
22	3.65	0.014	3504.564
23	3.7	0.014	3601.237
24	3.75	0.014	3699.225
25	3.8	0.0145	3917.233
26	3.85	0.0145	4020.996
27	3.9	0.015	4251.15

	Vaha_viko [kg]	t_plech_viko [m]	nosnik_viko [m]	vyztuha_viko [m]
1	1747.59	0.006	IPE 180	L-40x40x5
2	1800.81	0.006	IPE 180	L-40x40x5
3	1854.76	0.006	IPE 180	L-40x40x5
4	1909.45	0.006	IPE 180	L-40x40x5
5	2093.26	0.006	IPE 200	L-40x40x5
6	2151.73	0.006	IPE 200	L-40x40x5
7	2210.93	0.006	IPE 200	L-40x40x5
8	2270.88	0.006	IPE 200	L-40x40x5
9	2331.56	0.006	IPE 200	L-40x40x5
10	2392.99	0.006	IPE 200	L-40x40x5
11	2605.18	0.006	IPE 220	L-40x40x5
12	2670.50	0.006	IPE 220	L-40x40x5
13	2736.57	0.006	IPE 220	L-40x40x5
14	2803.37	0.006	IPE 220	L-40x40x5
15	2870.91	0.006	IPE 220	L-40x40x5
16	2939.20	0.006	IPE 220	L-40x40x5
17	3203.08	0.006	IPE 240	L-40x40x5
18	3275.70	0.006	IPE 240	L-40x40x5
19	3349.07	0.006	IPE 240	L-40x40x5
20	3423.18	0.006	IPE 240	L-40x40x5
21	3498.03	0.006	IPE 240	L-40x40x5
22	3573.62	0.006	IPE 240	L-40x40x5
23	3904.41	0.006	IPE 270	L-40x40x5
24	3984.91	0.006	IPE 270	L-40x40x5
25	4066.16	0.006	IPE 270	L-40x40x5
26	4148.14	0.006	IPE 270	L-40x40x5
27	4230.87	0.006	IPE 270	L-40x40x5



FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

**OCELOVÝ ZÁSOBNÍK**  
**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
STATICKÝ VÝPOČET

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.  
Autor: Bc. Mykyta Matiukhov

**Praha, 2024**

# Obsah

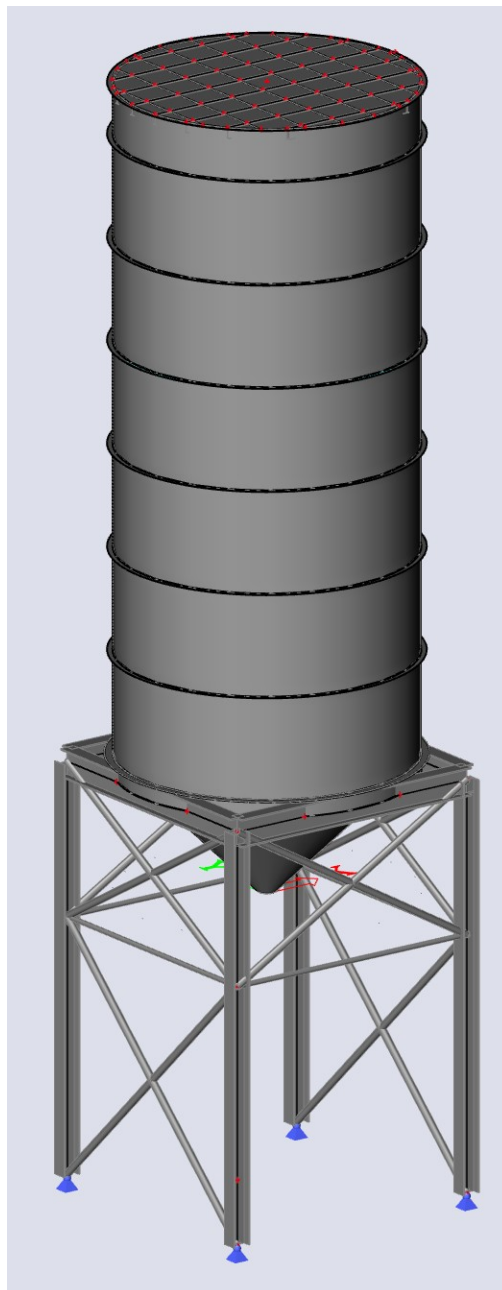
1. Úvod.....	1
2. Základní informace.....	2
3. Zatížení.....	4
4. Víko zásobníku.....	26
5. Výpočet membránových napětí v komoře zásobníku.....	31
6. Návrh a posouzení stěny komory zásobníku.....	37
7. Výpočet membránových napětí ve výsypce.....	43
8. Návrh a posouzení stěny výsypky.....	46
9. Vyztužení komory zásobníku.....	50
10. Návrh přechodového spoje.....	51
11. Návrh podpůrné konstrukce.....	57
12. Výsledky výpočtu ve SCIA Engineer.....	75
13. Kontrola příčného průhybu.....	97
14. Kontrola stability v základové spáře.....	98
15. Přípoje podpůrné konstrukce.....	99
15.1. Detail 1: 8-mi bodové uložení na podpůrnou konstrukci.....	99
15.2. Detail 2: připojení diagonál ke sloupu.....	103
15.3. Detail 3: patka sloupu se ztužidlem.....	112
15.3. Detail 4: přípoje vodorovných nosníků na sloup.....	119
16. Závěr.....	123



# Úvod

Tématem této diplomové práce je podrobný návrh ocelového zásobníku. Z projektu P04C byly zjištěny optimální hodnoty pro podrobnější návrh zásobníku: poloměr zásobníku, výšku výsypky a výšku komory zásobníku, tloušťku stěny komory, tloušťku stěny výsypky, tloušťku plechu ve víku, podélné nosníky ve víku, příčné zesílení víka, napětí v konstrukci.

Nejdříve jsou uvedené vstupní hodnoty pro statický výpočet: charakteristiky uskladňovaného materiálu, rozměry zásobníku. Pak je rozepsáno zatížení na konstrukci zásobníku. Potom je navrženo víko včetně nosníku pro zesílení. Pak je posouzeno napětí v kritických místech konstrukci komory zásobníku. Dále je rozepsáno zatížení ve výsypce zásobníku. Následně je posouzeno napětí ve výsypce. Potom jsou navrženy vodorovné výztuhy v komoře zásobníku. Dále je navržen a posouzen přechodový spoj. Potom jsou navrženy a posouzeny všechny prvky podpůrné konstrukce. Pak jsou porovnány výsledky dosažené pomocí ručního výpočtu a výsledky ze softwaru SCIA Engineer. Následně jsou navrženy a posouzeny vybrané detaily v konstrukci. V poslední části je zpracována výkresová dokumentace navržených prvků.



## 2. Základní informace

- Vlastnosti skladovaného materiálu - popílek:

Úhel tření horní

$$\Phi_{\text{vnitřní.tření.h}} := 40.6^\circ$$

Úhel tření dolní

$$\Phi_{\text{vnitřní.tření.d}} := 30.2^\circ$$

Úhel tření střední

$$\Phi_{\text{vnitřní.tření.avg}} := 35.0^\circ$$

Sypný úhel

$$\Phi_{\text{sypný}} := 41^\circ$$

Horní hodnota poměrného bočního tlaku

$$K_{m.h} := 0.552$$

Dolní hodnota poměrného bočního tlaku

$$K_{m.d} := 0.383$$

Horní hodnota součinitele tření o stěnu

$$\mu_h := 0.663$$

Dolní hodnota součinitele tření o stěnu

$$\mu_d := 0.579$$

Objemová tíha horní

$$\gamma_h := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Objemová tíha dolní

$$\gamma_d := 8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\text{op.material}} := 0.5$$

- Rozměry konstrukce

Celková výška konstrukce

$$h_{\text{celk}} := 21 \text{ m}$$

Vnitřní poloměr zásobníku

$$r_{\text{zas}} := 2.85 \text{ m}$$

Výška zásobníku

$$h_{\text{zas}} := 13 \text{ m}$$

Poloměr výsypky

$$r_{\text{vysypka}} := r_{\text{zas}} = 2.85 \text{ m}$$

Tloušťka plechu komory

$$t_{\text{plech.komora}} := 8 \text{ mm}$$

Přednastavené úhly výsypky s vodorovnou osou

$$\alpha := 45^\circ$$

Přednastavené úhly výsypky se svislou osou

$$\beta := 45^\circ$$

Průměr výpusti:

$$d_{\text{vypust.min}} := 2.6 \cdot (10 \text{ mm} + 80 \text{ mm}) \cdot \tan(45^\circ) = 234 \text{ mm}$$

Návrh:  $d_{\text{vypust}} := 350 \text{ mm}$

Výška zkos. výpusti

$$h_{\text{zkos.vypust}} := \frac{\frac{d_{\text{vypust}}}{2}}{\tan(\beta)} = 0.175 \text{ m}$$

Objem zkos. výpusti

$$V_{\text{zkos.vypust}} := \frac{1}{3} \cdot h_{\text{zkos.vypust}} \cdot \left(\frac{d_{\text{vypust}}}{2}\right)^2 = 0.002 \text{ m}^3$$

Výška výsypky

$$h_{\text{vysypka}} := \frac{r_{\text{zas}}}{\tan(\beta)} = 2.85 \text{ m}$$

Celková výška výsypky

$$h_{h.vysypka} := h_{\text{vysypka}} - h_{\text{zkos.vypust}} = 2.675 \text{ m}$$

- Vlastnosti zásobníku

Objem zásobníku

$$V_{\text{zas}} := 331.7 \text{ m}^3$$

Objem materiálu v zásobníku

$$V_{\text{material}} := 313.8 \text{ m}^3$$

Hmotnost materiálu

$$m_{\text{material}} := 480.3 \text{ ton}$$

Půdorysná plocha zásobníku

$$A_{\text{zas}} := \pi \cdot r_{\text{zas}}^2 = 25.518 \text{ m}^2$$

Vnitřní obvod zásobníku

$$O_{\text{vnitřní}} := 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{zas}} = 17.907 \text{ m}$$

Druh zásobníku dle štíhlosti:

$$\frac{h_{zas}}{2 \cdot r_{zas}} = 2.281 \quad - \text{ štíhlý zásobník } \left( \frac{h_{zas}}{2 \cdot r_{zas}} > 2 \right)$$

Zatřídění zásobníku dle zatížení:

$$100 \text{ ton} < m < 10000 \text{ ton}$$

- 2. třída

Třída oceli

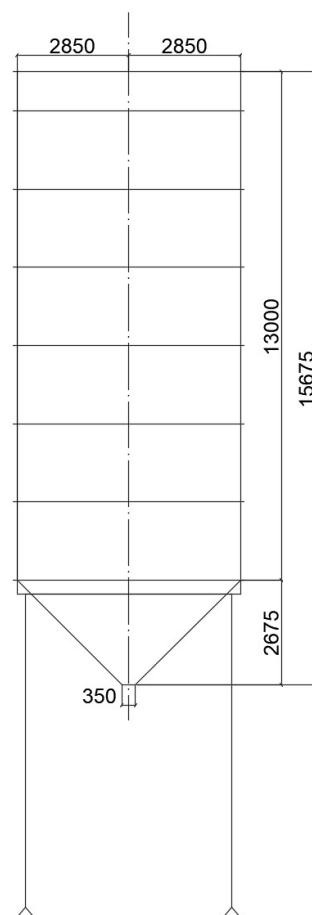
- S355,  $f_{yk} := 355 \text{ MPa}$

Youngův modul pružnosti

-  $E := 205 \text{ GPa}$

-  $\gamma_{M0} := 1.0$

-  $\gamma_{M1} := 1.1$



obr.1 - schéma zásobníku

### 3. Zatížení

- Zatížení sněhem

Sněhová oblast I.

Tvarový součinitel

Součinitel expozice

Součinitel expozice

$$s_k := 0.7 \text{ kPa}$$

$$\mu_i := 1.2$$

$$C_e := 1.0$$

$$C_t := 1.0$$

$$s := \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Zatížení větrem

Výchozí základní rychlost větru

Kategorie terénu II.

$$v_{b,0} := 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$z_0 := 0.05 \text{ m}; z_{\min} := 2.0 \text{ m}; z_{\max} := 200 \text{ m}$$

- Základní rychlost větru:

Součinitel směru větru

Součinitel ročního období

$$C_{\text{dir}} := 1.0$$

$$C_{\text{season}} := 1.0$$

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

Součinitel ortografie

Parametr drsnosti terénu:

$$k_r := 0.19 \left( \frac{h_{\text{celk}}}{z_0} \right)^{0.07} = 0.29$$

Součinitel drsnosti terénu:

$$C_{r,z} := k_r \cdot \ln \left( \frac{h_{\text{celk}}}{z_0} \right) = 1.752$$

$$C_{0,z} := 1.0$$

Střední rychlost větru:

$$v_{m,z} := C_{r,z} \cdot C_{0,z} \cdot v_b = 43.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Základní dynamický tlak větru

Měrná hmotnost vzduchu

$$\rho := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Základní dynamický tlak větru:

$$q_b := 0.5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0.391 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Maximální dynamický tlak větru:

Součinitel turbulence  $k_t := 1.0$

Intenzita turbulence

$$I_{v,z} := \frac{k_i}{C_{0,z} \cdot \ln\left(\frac{h_{\text{celk}}}{z_0}\right)} = 0.166$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$q_{p,z} := (1 + 7 \cdot I_{v,z}) \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_{m,z}^2 = 2.587 \frac{kN}{m^2}$$

- Součinitel vnějšího tlaku pro kruhové válce

Maximální rychlost větru

$$V_{ze} := \left(\frac{2 \cdot q_{p,z}}{\rho}\right)^{0.5} = 64.342 \frac{m}{s}$$

Kinematická viskozita vzduchu

$$\nu := 15 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

- Součinitel síly

Ekvivalentní drsnost - pozinkovaná ocel

$$k_{dr} := 0.0002 \text{ m}$$

Ekvivalentní drsnost ku průměru zásobníku

$$d_{r,d} := \frac{k_{dr}}{r_{zas} \cdot 2} = 3.509 \cdot 10^{-5}$$

Součinitel síly:

$$C_{f,0} := 1.2 + \left( \frac{0.18 \cdot \log(10 \cdot d_{r,d})}{1 + 0.4 \cdot \log\left(\frac{\left(\frac{r_{zas} \cdot 2 \cdot V_{ze}}{\nu}\right)}{10^6}\right)} \right) = 0.8$$

$$\psi_{\lambda, \text{glob}} := 0.65$$

$$C_f := C_{f,0} \cdot \psi_{\lambda, \text{glob}} = 0.52$$

- Užité zatížení

Kategorie H - střechy nepřístupné s výjimkou údržby a oprav  $q_k := 1.0 \frac{kN}{m^2}$

### 1. Lokální vítr

$$q_w := q_{p,z} \cdot C_f = 1.346 \frac{kN}{m^2}$$

$$\lambda_{\text{efekt.stihlost}} := \min\left(\frac{h_{zas}}{(2 \cdot r_{zas})}, 70\right) = 2.281$$

- Efektivní štíhlost

$$\phi := \frac{A}{A_c} = 1$$

- Součinitel plnosti

$$\psi_{\lambda} := 0.636$$

- Součinitel koncového efektu (obr. 7.36)

$$\psi_{\lambda a} := 1$$

- pro  $0 < a < a_{min}$

$$\psi_{\lambda a} := \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{n}{2} \cdot \frac{(a - a_{\min})}{(a_a - a_{\min})}\right)$$

- pro  $a_{\min} < a < a_a$

$$\psi_{\lambda a} := \psi_{\lambda}$$

- pro  $a_a < a < 180$

$$Re := \frac{2 \cdot r_{zas} \cdot V_{ze}}{v} = 2.445 \cdot 10^7$$

- Reynoldsovo číslo

- Typické hodnoty pro rozdělení tlaku na kruhových válkách bez vlivu proudění kolem volných konců (tab. 7.12)

$$a_{\min} := 79.27^\circ$$

- místo minimálního tlaku ve stupních

$$C_{p0,\min} := -1.84$$

- hodnota součinitele min. tlaku

$$a_A := 117.85^\circ$$

stupních

- poloha bodu oddělení proudu ve

$$C_{p0,h} := -0.71$$

- součinitel tlaku na závětrné straně válce

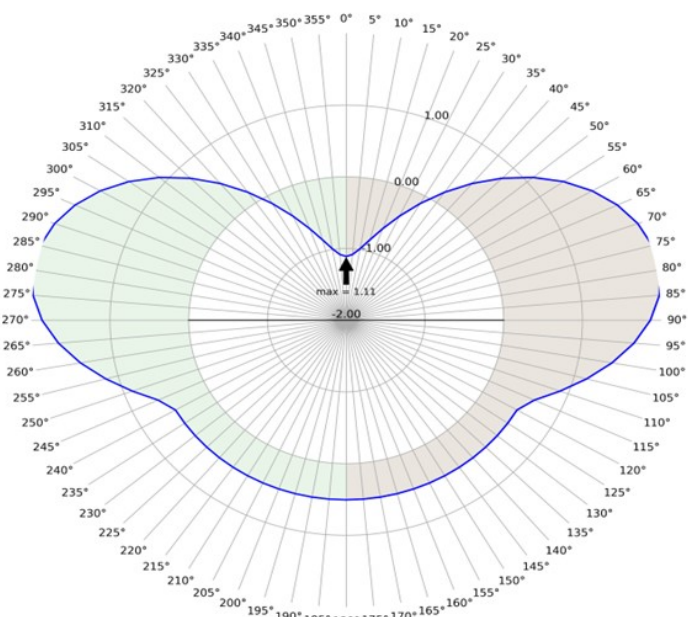
- Součinitel vnějšího tlaku  $C_{p0}$

$$C_{pe} := C_{p0} \cdot \psi_{\lambda a}$$

-  $C_{p0}$  - podle obr. 7.27

- Tlak větru působící na vnější povrch konstrukce

$$w_k := q_{p,z} \cdot C_{pe}$$



graf č.1 - schéma rozložení větru po oblouku

$\alpha$ [°]	$\psi\lambda$	$Cp0$	$Cpe$	$w_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
0	1	1	1	1.11
5	1	0.97	0.97	1.08
10	1	0.89	0.89	0.99
15	1	0.76	0.76	0.84
20	1	0.58	0.58	0.64
25	1	0.36	0.36	0.4
30	1	0.11	0.11	0.12
35	1	-0.16	-0.16	-0.18
40	1	-0.44	-0.44	-0.49
45	1	-0.72	-0.72	-0.8
50	1	-0.99	-0.99	-1.1
55	1	-1.23	-1.23	-1.37
60	1	-1.45	-1.45	-1.61
65	1	-1.62	-1.62	-1.8
70	1	-1.75	-1.75	-1.94
75	1	-1.82	-1.82	-2.02
80	1	-1.84	-1.84	-2.05
85	0.99	-1.81	-1.79	-1.99
90	0.97	-1.74	-1.68	-1.86
95	0.93	-1.62	-1.5	-1.67
100	0.88	-1.46	-1.29	-1.43
105	0.82	-1.28	-1.05	-1.16
110	0.75	-1.07	-0.8	-0.89
115	0.68	-0.85	-0.57	-0.64
120	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
125	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
130	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
135	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
140	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
145	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
150	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
155	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
160	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
165	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
170	0.64	-0.71	-0.45	-0.5
175	0.64	-0.71	-0.45	-0.5

tab.1 - rozložení větru po oblouku

$$w_{k,max} := 2.05 \frac{kN}{m^2}$$

- Zatížení náplní

- Souměrně zatížení svislých stěn při plnění

1. Maximální tlak kolmo na stěnu

Janssenova charakteristická hloubka,  $z_{0,\text{plnění}}$ :

$$z_{0,\text{plnění}} := \frac{1}{K_{m,h} \cdot \mu_d} \cdot \frac{A_{\text{zas}}}{\rho_{\text{vnitřní}}} = 4.459 \text{ m}$$

Základní tlak,  $p_{h0,\text{plnění}}$ :

$$p_{h0,\text{plnění}} := \gamma_h \cdot K_{m,h} \cdot z_{0,\text{plnění}} = 36.917 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Základní tlak,  $h_{0,\text{plnění}}$ :

$$h_{0,\text{plnění}} := \frac{r_{\text{zas}}}{3} \cdot \tan(\varphi_{\text{sypný}}) = 0.826 \text{ m}$$

$$n_{\text{plnění}} := -\left(1 + \tan(\varphi_{\text{sypný}})\right) \cdot \left(1 - \frac{h_{0,\text{plnění}}}{z_{0,\text{plnění}}}\right) = -1.523$$

$$z_{v,\text{plnění}} := h_{0,\text{plnění}} - \left(\frac{1}{n_{\text{plnění}} + 1}\right) \left(z_{0,\text{plnění}} - h_{0,\text{plnění}} - \frac{(h_{\text{zas}} + z_{0,\text{plnění}} - 2 \cdot h_{0,\text{plnění}})^{(n_{\text{plnění}} + 1)}}{(z_{0,\text{plnění}} - h_{0,\text{plnění}})^{n_{\text{plnění}}}}\right) = 4.553 \text{ m}$$

$$Y_{r,\text{plnění}} := \left(1 - \left(\frac{h_{\text{zas}} - h_{0,\text{plnění}}}{z_{0,\text{plnění}} - h_{0,\text{plnění}} + 1}\right)^{n_{\text{plnění}}}\right) = 0.893$$

Vodorovný tlak:

$$p_{hf,\text{plnění}} := p_{h0,\text{plnění}} \cdot Y_{r,\text{plnění}} = 32.985 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Svislý tlak:

$$p_{vf,\text{plnění}} := \gamma_h \cdot z_{v,\text{plnění}} = 68.288 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tahová složka tření:

$$p_{wf,\text{plnění}} := \mu_d \cdot p_{hf,\text{plnění}} = 19.099 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

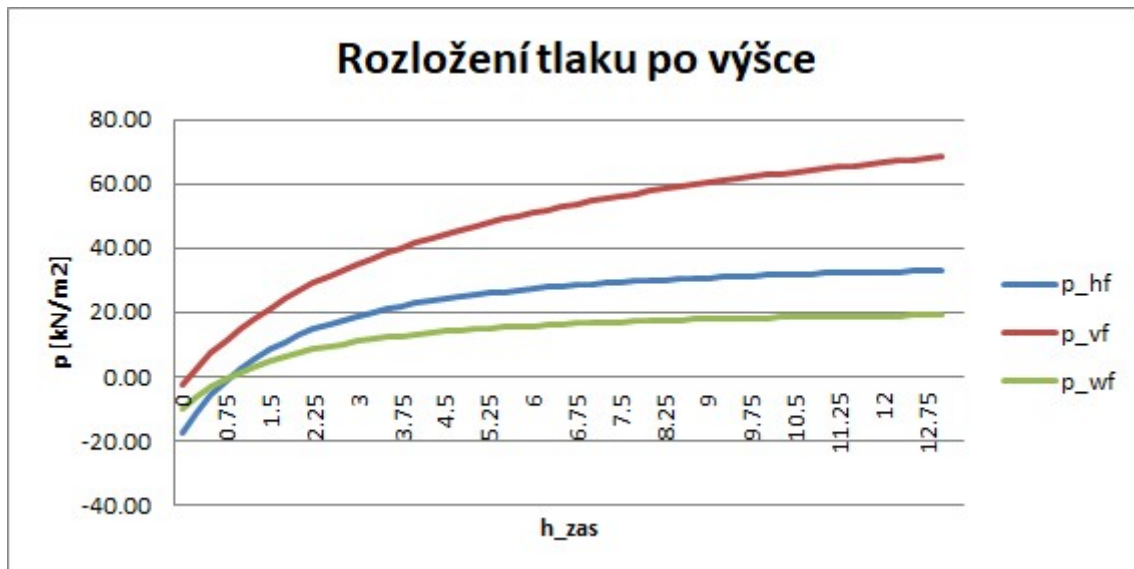
Výsledná síly:

$$n_{\text{zSk,plnění}} := \mu_d \cdot p_{h0,\text{plnění}} \cdot (h_{\text{zas}} - z_{v,\text{plnění}}) = 180.564 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

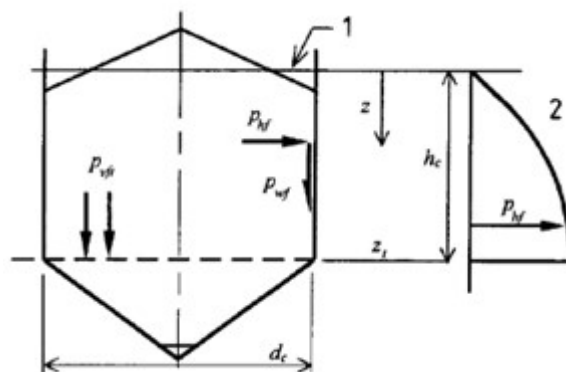


h_zas0 [m]	zv [m]	Yr [m]	p_hf [kN/m <sup>2</sup> ]	p_vf [kN/m <sup>2</sup> ]	p_wf [kN/m <sup>2</sup> ]	n_zSk [kN/m]
0	-0.18	-0.48	-17.77	-2.66	-10.29	3.79
0.25	0.17	-0.30	-11.10	2.54	-6.43	1.72
0.5	0.48	-0.15	-5.68	7.14	-3.29	0.52
0.75	0.75	-0.03	-1.21	11.23	-0.70	0.03
1	0.99	0.07	2.54	14.91	1.47	0.13
1.25	1.22	0.15	5.71	18.23	3.31	0.73
1.5	1.42	0.23	8.43	21.26	4.88	1.76
1.75	1.60	0.29	10.78	24.03	6.24	3.16
2	1.77	0.35	12.82	26.58	7.43	4.87
2.25	1.93	0.40	14.61	28.94	8.46	6.86
2.5	2.07	0.44	16.19	31.12	9.38	9.09
2.75	2.21	0.48	17.59	33.15	10.19	11.54
3	2.34	0.51	18.84	35.05	10.92	14.18
3.25	2.45	0.54	19.96	36.82	11.57	16.99
3.5	2.57	0.57	20.97	38.49	12.15	19.96
3.75	2.67	0.59	21.89	40.06	12.68	23.07
4	2.77	0.62	22.72	41.55	13.17	26.30
4.25	2.86	0.64	23.48	42.95	13.60	29.64
4.5	2.95	0.66	24.17	44.27	14.01	33.10
4.75	3.04	0.67	24.81	45.53	14.37	36.64
5	3.12	0.69	25.39	46.73	14.71	40.28
5.25	3.19	0.70	25.93	47.87	15.02	44.00
5.5	3.26	0.72	26.43	48.96	15.31	47.79
5.75	3.33	0.73	26.89	50.00	15.58	51.65
6	3.40	0.74	27.32	51.00	15.83	55.58
6.25	3.46	0.75	27.72	51.95	16.06	59.57
6.5	3.52	0.76	28.09	52.86	16.28	63.61
6.75	3.58	0.77	28.44	53.74	16.48	67.70
7	3.64	0.78	28.77	54.58	16.67	71.85
7.25	3.69	0.79	29.07	55.39	16.85	76.04
7.5	3.74	0.80	29.36	56.17	17.01	80.27
7.75	3.79	0.80	29.63	56.92	17.17	84.54
8	3.84	0.81	29.88	57.65	17.32	88.85
8.25	3.89	0.82	30.12	58.35	17.45	93.20
8.5	3.93	0.82	30.35	59.02	17.59	97.58
8.75	3.98	0.83	30.56	59.68	17.71	101.99
9	4.02	0.83	30.77	60.31	17.83	106.43
9.25	4.06	0.84	30.96	60.92	17.94	110.90
9.5	4.10	0.84	31.14	61.52	18.04	115.40
9.75	4.14	0.85	31.31	62.09	18.14	119.93
10	4.18	0.85	31.48	62.65	18.24	124.47
10.25	4.21	0.86	31.64	63.19	18.33	129.05
10.5	4.25	0.86	31.79	63.72	18.42	133.64
10.75	4.28	0.87	31.93	64.23	18.50	138.25
11	4.32	0.87	32.06	64.73	18.58	142.89
11.25	4.35	0.87	32.19	65.21	18.65	147.54
11.5	4.38	0.88	32.32	65.68	18.73	152.22
11.75	4.41	0.88	32.44	66.14	18.80	156.91
12	4.44	0.88	32.55	66.59	18.86	161.61
12.25	4.47	0.89	32.66	67.02	18.93	166.34
12.5	4.50	0.89	32.77	67.45	18.99	171.08
12.75	4.52	0.89	32.87	67.86	19.04	175.83
13	4.55	0.89	32.96	68.26	19.10	180.60

tab.2 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce ( $K_{m,h}=0.552$  ,  $\mu_d=0.579$  )



graf č.2 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce ( $K_{m,h}=0.552$  ,  $\mu_d=0.579$  )



obr.2 - schéma rozložení tlaku po výšce

## 2. Maximální svislé zatížení výsyvky

Jansenova charakteristická hloubka,  $z_{0,\text{plnění.sv}}$ :

$$z_{0,\text{plnění.sv}} := \frac{1}{K_{m,d} \cdot \mu_d} \cdot \frac{A_{\text{zas}}}{\sigma_{\text{vnitřní}}} = 6.426 \text{ m}$$

Základní tlak:

$$p_{h0,\text{plnění.sv}} := \gamma_h \cdot K_{m,d} \cdot z_{0,\text{plnění.sv}} = 36.917 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$h_{0,\text{plnění.sv}} := \frac{r_{\text{zas}}}{3} \cdot \tan(\varphi_{\text{sypný}}) = 0.826 \text{ m}$$

$$n_{\text{plnění.sv}} := -\left(1 + \tan(\varphi_{\text{sypný}})\right) \cdot \left(1 - \frac{h_{0,\text{plnění.sv}}}{z_{0,\text{plnění.sv}}}\right) = -1.629$$

$$z_{v,\text{plnění.sv}} := h_{0,\text{plnění.sv}} - \left(\frac{1}{n_{\text{plnění.sv}} + 1}\right) \left(z_{0,\text{plnění.sv}} - h_{0,\text{plnění.sv}} - \frac{(h_{\text{zas}} + z_{0,\text{plnění.sv}} - 2 \cdot h_{0,\text{plnění.sv}})^{(n_{\text{plnění.sv}} + 1)}}{(z_{0,\text{plnění.sv}} - h_{0,\text{plnění.sv}})^{n_{\text{plnění.sv}}}}\right) = 5.423 \text{ m}$$

$$Y_{r,\text{plnění.sv}} := \left(1 - \left(\frac{h_{\text{zas}} - h_{0,\text{plnění.sv}}}{z_{0,\text{plnění.sv}} - h_{0,\text{plnění.sv}} + 1}\right)^{n_{\text{plnění.sv}}}\right) = 0.848$$

Vodorovný tlak:

$$p_{hf,\text{plnění.sv}} := p_{h0,\text{plnění.sv}} \cdot Y_{r,\text{plnění.sv}} = 31.292 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Svislý tlak:

$$p_{vf,\text{plnění.sv}} := \gamma_h \cdot z_{v,\text{plnění.sv}} = 81.348 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tahová složka tření:

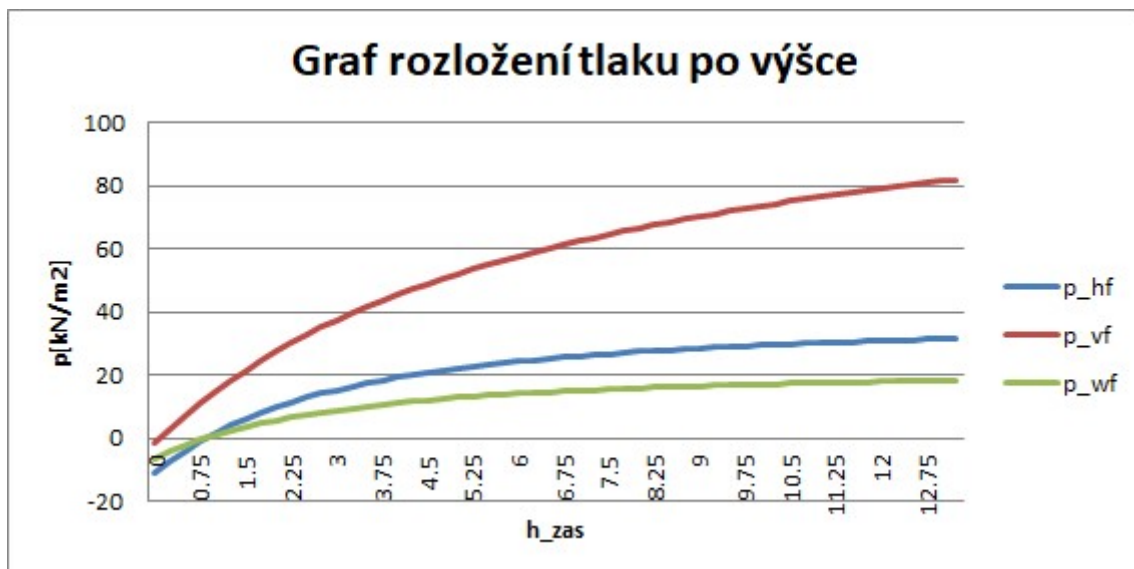
$$p_{wf,\text{plnění.sv}} := \mu_d \cdot p_{hf,\text{plnění.sv}} = 18.118 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Výsledná síla:

$$n_{zSk,\text{plnění.sv}} := \mu_d \cdot p_{h0,\text{plnění.sv}} \cdot (h_{\text{zas}} - z_{v,\text{plnění.sv}}) = 161.95 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

h_zas0 [m]	zv [m]	Yr [m]	p_hf [kN/m2]	p_vf [kN/m2]	p_wf [kN/m2]	n_zSk [kN/m]
0	-0.11	-0.30	-10.97	-1.71	-6.36	2.44
0.25	0.20	-0.19	-7.15	2.95	-4.14	1.14
0.5	0.48	-0.10	-3.79	7.26	-2.20	0.35
0.75	0.75	-0.02	-0.83	11.24	-0.48	0.02
1	1.00	0.05	1.80	14.94	1.04	0.09
1.25	1.23	0.11	4.14	18.38	2.40	0.53
1.5	1.44	0.17	6.24	21.60	3.62	1.28
1.75	1.64	0.22	8.14	24.62	4.71	2.32
2	1.83	0.27	9.85	27.45	5.71	3.63
2.25	2.01	0.31	11.40	30.12	6.61	5.17
2.5	2.18	0.35	12.81	32.64	7.42	6.93
2.75	2.33	0.38	14.10	35.02	8.17	8.88
3	2.49	0.41	15.29	37.28	8.86	11.01
3.25	2.63	0.44	16.37	39.42	9.49	13.30
3.5	2.76	0.47	17.37	41.45	10.07	15.75
3.75	2.89	0.50	18.30	43.39	10.60	18.33
4	3.02	0.52	19.16	45.23	11.10	21.04
4.25	3.13	0.54	19.95	46.99	11.56	23.88
4.5	3.25	0.56	20.69	48.68	11.99	26.82
4.75	3.35	0.58	21.38	50.29	12.39	29.87
5	3.46	0.60	22.02	51.83	12.76	33.01
5.25	3.55	0.61	22.62	53.32	13.11	36.24
5.5	3.65	0.63	23.18	54.74	13.43	39.56
5.75	3.74	0.64	23.71	56.10	13.74	42.96
6	3.83	0.66	24.20	57.42	14.02	46.43
6.25	3.91	0.67	24.67	58.68	14.29	49.97
6.5	3.99	0.68	25.11	59.90	14.55	53.57
6.75	4.07	0.69	25.52	61.08	14.79	57.24
7	4.15	0.70	25.91	62.22	15.01	60.97
7.25	4.22	0.71	26.28	63.31	15.23	64.75
7.5	4.29	0.72	26.63	64.37	15.43	68.58
7.75	4.36	0.73	26.96	65.40	15.62	72.46
8	4.43	0.74	27.28	66.39	15.80	76.39
8.25	4.49	0.75	27.57	67.36	15.98	80.36
8.5	4.55	0.76	27.86	68.29	16.14	84.38
8.75	4.61	0.76	28.13	69.19	16.30	88.43
9	4.67	0.77	28.39	70.07	16.45	92.53
9.25	4.73	0.78	28.63	70.92	16.59	96.66
9.5	4.78	0.78	28.87	71.75	16.73	100.82
9.75	4.84	0.79	29.09	72.55	16.86	105.02
10	4.89	0.79	29.30	73.33	16.98	109.25
10.25	4.94	0.80	29.51	74.09	17.10	113.51
10.5	4.99	0.81	29.71	74.83	17.21	117.80
10.75	5.04	0.81	29.89	75.56	17.32	122.12
11	5.08	0.82	30.07	76.26	17.43	126.46
11.25	5.13	0.82	30.25	76.94	17.53	130.83
11.5	5.17	0.82	30.41	77.61	17.62	135.22
11.75	5.22	0.83	30.57	78.26	17.71	139.64
12	5.26	0.83	30.72	78.89	17.80	144.08
12.25	5.30	0.84	30.87	79.51	17.89	148.54
12.5	5.34	0.84	31.01	80.12	17.97	153.02
12.75	5.38	0.84	31.15	80.71	18.05	157.52
13	5.42	0.85	31.28	81.28	18.12	162.04

tab.3 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce ( $K_{m,d}=0.383$  ,  $\mu_d=0.579$  )



graf č.3 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce ( $K_{m,d}=0.383$  ,  $\mu_d=0.579$  )

### 3. Maximální tahová složka tření

Janssenova charakteristická hloubka,  $z_{0,\text{plnění.tah}}$ :

$$z_{0,\text{plnění.tah}} := \frac{1}{K_{m,h} \cdot \mu_h} \cdot \frac{A_{\text{zas}}}{\sigma_{\text{vnitřní}}} = 3.894 \text{ m}$$

Základní tlak:

$$p_{h0,\text{plnění.tah}} := \gamma_h \cdot K_{m,h} \cdot z_{0,\text{plnění.tah}} = 32.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$h_{0,\text{plnění.tah}} := \frac{r_{\text{zas}}}{3} \cdot \tan(\varphi_{\text{sypný}}) = 0.826 \text{ m}$$

$$n_{\text{plnění.tah}} := - \left( 1 + \tan\left(\varphi_{\text{sypný}} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right) \cdot \left( 1 - \frac{h_{0,\text{plnění.tah}}}{z_{0,\text{plnění.tah}}} \right) = -0.798$$

$$z_{v,\text{plnění.tah}} := h_{0,\text{plnění.tah}} - \left( \frac{1}{n_{\text{plnění.tah}} + 1} \right) \left( z_{0,\text{plnění.tah}} - h_{0,\text{plnění.tah}} - \frac{(h_{\text{zas}} + z_{0,\text{plnění.tah}} - 2 \cdot h_{0,\text{plnění.tah}})^{(n_{\text{plnění.tah}} + 1)}}{(z_{0,\text{plnění.tah}} - h_{0,\text{plnění.tah}})^{n_{\text{plnění.tah}}}} \right) = 6.635 \text{ m}$$

$$Y_{r,\text{plnění.tah}} := \left( 1 - \left( \frac{h_{\text{zas}} - h_{0,\text{plnění.tah}}}{z_{0,\text{plnění.tah}} - h_{0,\text{plnění.tah}}} + 1 \right)^{n_{\text{plnění.tah}}} \right) = 0.722$$

Vodorovný tlak:

$$p_{hf,\text{plnění.tah}} := p_{h0,\text{plnění.tah}} \cdot Y_{r,\text{plnění.tah}} = 23.266 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Svislý tlak:

$$p_{vf,\text{plnění.tah}} := \gamma_h \cdot z_{v,\text{plnění.tah}} = 99.521 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tahová složka tření:

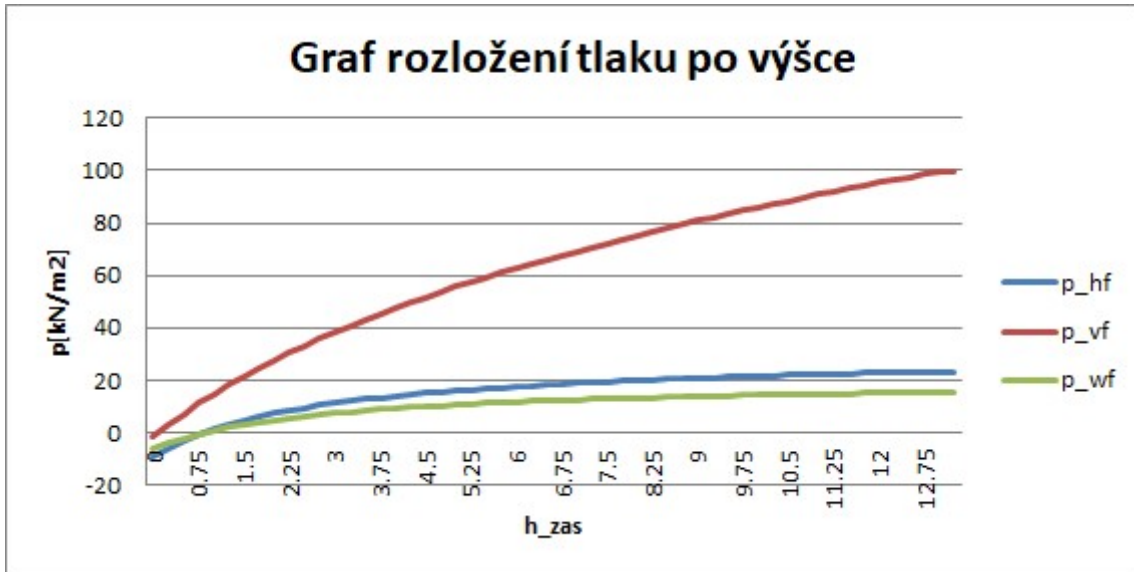
$$p_{wf,\text{plnění.tah}} := \mu_h \cdot p_{hf,\text{plnění.tah}} = 15.425 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Výsledná síla:

$$n_{zSk,\text{plnění.tah}} := \mu_h \cdot p_{h0,\text{plnění.tah}} \cdot (h_{\text{zas}} - z_{v,\text{plnění.tah}}) = 136.057 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

h_zas0 [m]	zv [m]	Yr [m]	p_hf [kN/m2]	p_vf [kN/m2]	p_wf [kN/m2]	n_zSk [kN/m]
0	-0.11	-0.28	-9.15	-1.59	-6.07	2.27
0.25	0.20	-0.18	-5.81	3.02	-3.85	1.04
0.5	0.49	-0.09	-3.02	7.28	-2.00	0.32
0.75	0.75	-0.02	-0.65	11.24	-0.43	0.02
1	1.00	0.04	1.39	14.94	0.92	0.08
1.25	1.23	0.10	3.17	18.43	2.10	0.46
1.5	1.45	0.15	4.73	21.72	3.14	1.12
1.75	1.66	0.19	6.12	24.84	4.06	2.02
2	1.85	0.23	7.35	27.81	4.88	3.14
2.25	2.04	0.26	8.47	30.64	5.62	4.45
2.5	2.22	0.29	9.48	33.35	6.29	5.94
2.75	2.40	0.32	10.40	35.95	6.90	7.59
3	2.56	0.35	11.24	38.45	7.45	9.39
3.25	2.72	0.37	12.01	40.85	7.97	11.32
3.5	2.88	0.39	12.72	43.17	8.44	13.37
3.75	3.03	0.41	13.37	45.41	8.87	15.53
4	3.17	0.43	13.98	47.58	9.28	17.80
4.25	3.31	0.45	14.55	49.68	9.65	20.17
4.5	3.45	0.47	15.08	51.71	10.00	22.63
4.75	3.58	0.48	15.57	53.69	10.33	25.17
5	3.71	0.49	16.04	55.61	10.64	27.79
5.25	3.83	0.51	16.48	57.48	10.93	30.49
5.5	3.95	0.52	16.89	59.30	11.20	33.25
5.75	4.07	0.53	17.27	61.07	11.46	36.09
6	4.19	0.54	17.64	62.80	11.70	38.98
6.25	4.30	0.56	17.99	64.49	11.93	41.94
6.5	4.41	0.57	18.32	66.13	12.15	44.95
6.75	4.52	0.58	18.63	67.75	12.36	48.01
7	4.62	0.58	18.93	69.32	12.56	51.13
7.25	4.72	0.59	19.21	70.87	12.75	54.29
7.5	4.83	0.60	19.48	72.38	12.93	57.50
7.75	4.92	0.61	19.74	73.86	13.10	60.75
8	5.02	0.62	19.99	75.31	13.26	64.05
8.25	5.12	0.62	20.23	76.73	13.42	67.38
8.5	5.21	0.63	20.45	78.13	13.57	70.76
8.75	5.30	0.64	20.67	79.50	13.71	74.17
9	5.39	0.64	20.88	80.84	13.85	77.61
9.25	5.48	0.65	21.08	82.16	13.98	81.09
9.5	5.56	0.66	21.27	83.46	14.11	84.60
9.75	5.65	0.66	21.46	84.74	14.23	88.15
10	5.73	0.67	21.63	86.00	14.35	91.72
10.25	5.82	0.67	21.81	87.23	14.47	95.32
10.5	5.90	0.68	21.97	88.45	14.58	98.95
10.75	5.98	0.68	22.13	89.65	14.68	102.61
11	6.06	0.69	22.29	90.83	14.79	106.29
11.25	6.13	0.69	22.44	91.99	14.89	110.00
11.5	6.21	0.70	22.58	93.13	14.98	113.74
11.75	6.28	0.70	22.72	94.26	15.07	117.49
12	6.36	0.71	22.86	95.37	15.16	121.27
12.25	6.43	0.71	22.99	96.47	15.25	125.07
12.5	6.50	0.71	23.12	97.55	15.34	128.90
12.75	6.57	0.72	23.24	98.62	15.42	132.74
13	6.64	0.72	23.36	99.67	15.50	136.61

tab.4 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce ( $K_{m,h}=0.552$  ,  $\mu_h=0.663$  )



graf č.4 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce ( $K_{m,h}=0.552$  ,  $\mu_h=0.663$  )



- Souměrně zatížení svislých stěn při vyprazdňování

Součinitel pro úpravu štíhlostního poměru: - třída zásobníku - 2, typ zásobníku - štíhlý

$$C_{s.vypr} := \frac{h_{zas}}{2 \cdot r_{zas}} - 1 = 1.281$$

$$C_{h.vypr} := 1.15$$

$$C_{w.vypr} := 1.1$$

### 1. Maximální tlak kolmo na stěnu

Vodorovný tlak:

$$P_{hf.plnění} = 32.985 \frac{kN}{m^2}$$

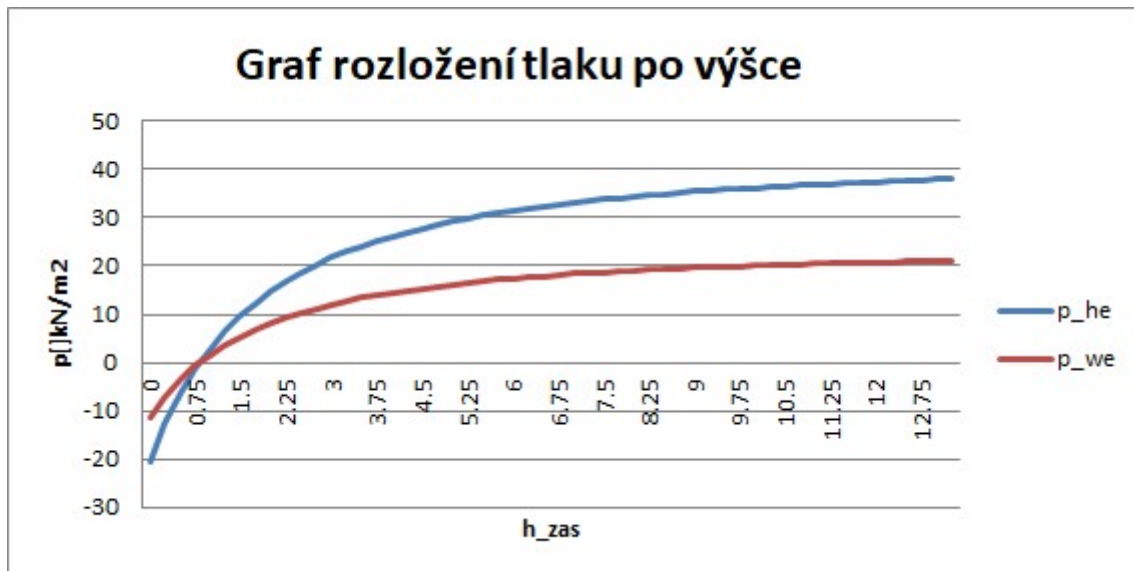
$$P_{he.vypr.tlak} := P_{hf.plnění} \cdot C_{h.vypr} = 37.933 \frac{kN}{m^2}$$

Tahová složka tření:

$$P_{we.vypr.tlak} := P_{wf.plnění} \cdot C_{w.vypr} = 21.008 \frac{kN}{m^2}$$

Výsledná síla:

$$n_{zSk.vypr.tlak} := C_{w.vypr} \cdot \mu_d \cdot P_{h0.plnění} \cdot (h_{zas} - z_{v.plnění}) = 198.621 \frac{kN}{m}$$



graf č.5 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce (vyprazdňování)

h_zas0 [m]	p_he [kN/m2]	p_we [kN/m2]	n_zSk [kN/m]
0	-20.43	-11.32	4.17
0.25	-12.77	-7.08	1.89
0.5	-6.53	-3.62	0.57
0.75	-1.39	-0.77	0.03
1	2.92	1.62	0.14
1.25	6.57	3.64	0.81
1.5	9.69	5.37	1.94
1.75	12.39	6.87	3.48
2	14.74	8.17	5.36
2.25	16.80	9.31	7.55
2.5	18.61	10.32	10.00
2.75	20.23	11.21	12.70
3	21.67	12.01	15.60
3.25	22.96	12.72	18.69
3.5	24.12	13.37	21.96
3.75	25.17	13.95	25.37
4	26.13	14.48	28.93
4.25	27.00	14.96	32.61
4.5	27.80	15.41	36.41
4.75	28.53	15.81	40.31
5	29.20	16.18	44.31
5.25	29.82	16.53	48.40
5.5	30.39	16.85	52.57
5.75	30.92	17.14	56.82
6	31.42	17.41	61.14
6.25	31.88	17.67	65.52
6.5	32.31	17.91	69.97
6.75	32.71	18.13	74.48
7	33.08	18.33	79.03
7.25	33.43	18.53	83.64
7.5	33.76	18.71	88.30
7.75	34.07	18.88	93.00
8	34.37	19.05	97.74
8.25	34.64	19.20	102.52
8.5	34.90	19.34	107.34
8.75	35.15	19.48	112.19
9	35.38	19.61	117.08
9.25	35.60	19.73	122.00
9.5	35.81	19.85	126.94
9.75	36.01	19.96	131.92
10	36.20	20.06	136.92
10.25	36.38	20.16	141.95
10.5	36.55	20.26	147.00
10.75	36.72	20.35	152.08
11	36.87	20.44	157.18
11.25	37.02	20.52	162.30
11.5	37.17	20.60	167.44
11.75	37.30	20.68	172.60
12	37.44	20.75	177.78
12.25	37.56	20.82	182.97
12.5	37.68	20.88	188.19
12.75	37.80	20.95	193.41
13	37.91	21.01	198.66

tab.5 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce (vyprazdňování - tlak)

## 2. Maximální tahová složka tření

Vodorovný tlak:

$$P_{he.vypr.tah} := P_{hf.plnění.tah} \cdot C_{h.vypr} = 26.755 \frac{kN}{m^2}$$

Tahová složka tření:

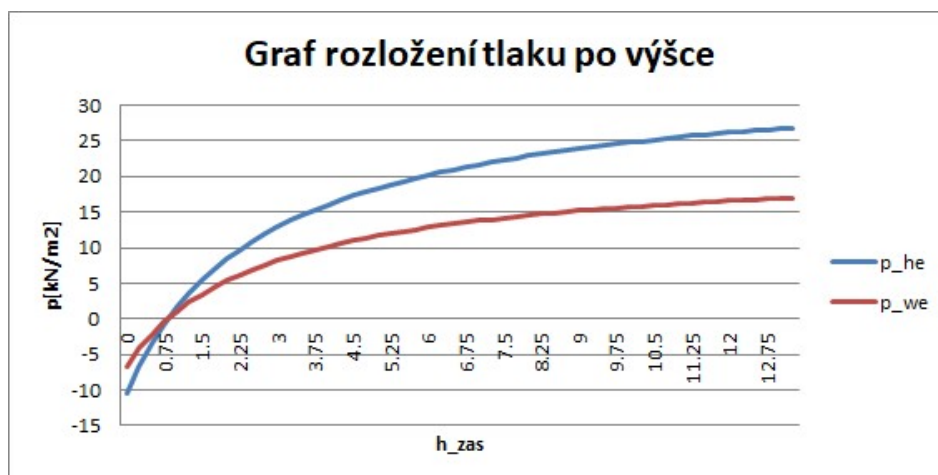
$$P_{we.vypr.tah} := P_{wf.plnění.tah} \cdot C_{w.vypr} = 16.968 \frac{kN}{m^2}$$

Výsledná síla:

$$n_{zSk.vypr.tah} := C_{w.vypr} \cdot \mu_h \cdot P_{h0.plnění.tah} \cdot (h_{zas} - z_{v.plnění.tah}) = 149.663 \frac{kN}{m}$$

h_zas0 [m]	p_he [kN/m <sup>2</sup> ]	p_we [kN/m <sup>2</sup> ]	n_zSk [kN/m]	h_zas0 [m]	p_he [kN/m <sup>2</sup> ]	p_we [kN/m <sup>2</sup> ]	n_zSk [kN/m]
0	-10.54	-6.69	2.50	6.5	20.99	13.32	49.30
0.25	-6.69	-4.24	1.15	6.75	21.34	13.54	52.66
0.5	-3.47	-2.20	0.35	7	21.68	13.76	56.07
0.75	-0.75	-0.47	0.02	7.25	22.01	13.97	59.54
1	1.60	1.01	0.09	7.5	22.32	14.16	63.05
1.25	3.64	2.31	0.51	7.75	22.61	14.35	66.62
1.5	5.43	3.45	1.23	8	22.89	14.53	70.23
1.75	7.02	4.46	2.22	8.25	23.16	14.70	73.88
2	8.44	5.36	3.45	8.5	23.42	14.86	77.57
2.25	9.72	6.17	4.89	8.75	23.67	15.02	81.31
2.5	10.88	6.90	6.53	9	23.91	15.17	85.08
2.75	11.93	7.57	8.34	9.25	24.14	15.32	88.89
3	12.89	8.18	10.31	9.5	24.36	15.46	92.74
3.25	13.77	8.74	12.43	9.75	24.57	15.59	96.62
3.5	14.59	9.26	14.68	10	24.77	15.72	100.54
3.75	15.34	9.73	17.05	10.25	24.97	15.84	104.48
4	16.03	10.17	19.54	10.5	25.16	15.96	108.46
4.25	16.68	10.59	22.13	10.75	25.34	16.08	112.46
4.5	17.29	10.97	24.83	11	25.52	16.19	116.50
4.75	17.85	11.33	27.62	11.25	25.69	16.30	120.56
5	18.38	11.67	30.49	11.5	25.85	16.41	124.65
5.25	18.88	11.98	33.45	11.75	26.01	16.51	128.76
5.5	19.35	12.28	36.48	12	26.17	16.61	132.90
5.75	19.80	12.56	39.59	12.25	26.32	16.70	137.06
6	20.21	12.83	42.76	12.5	26.46	16.79	141.25
6.25	20.61	13.08	46.00	12.75	26.61	16.88	145.46
				13	26.74	16.97	149.69

tab.6 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce (vyprazdňování - tah)



graf č.6 - rozložení jednotlivých tlaku po výšce (vyprazdňování - tah)

- Místní zatížení při plnění

Výpočet pro zásobník štíhlý 2. třídy

Maximální výstřednost vrcholu materiálu

$$e_f := 0 \text{ m}$$

$$E_{\text{místní}} := 2 \cdot \frac{e_f}{2 \cdot r_{\text{zas}}} = 0$$

$$C_{\text{pf.místní.plnění}} := 0.21 \cdot C_{\text{op.material}} \cdot \left(1 + 2 \cdot E_{\text{místní}}^2\right) \cdot \left(1 - e^{-1.5 \cdot \left(\frac{h_{\text{zas}}}{2 \cdot r_{\text{zas}}} - 1\right)}\right) = 0.09$$

$$Z_{0,\text{plnění}} < 0.5 \cdot h_{\text{zas}} \Rightarrow Z_{\text{místní.plnění}} := Z_{0,\text{plnění}} = 4.459 \text{ m}$$

$$Y_{j,z} := 1 - e^{-\left(\frac{Z_{\text{místní.plnění}}}{Z_{0,\text{plnění}}}\right)} = 0.632$$

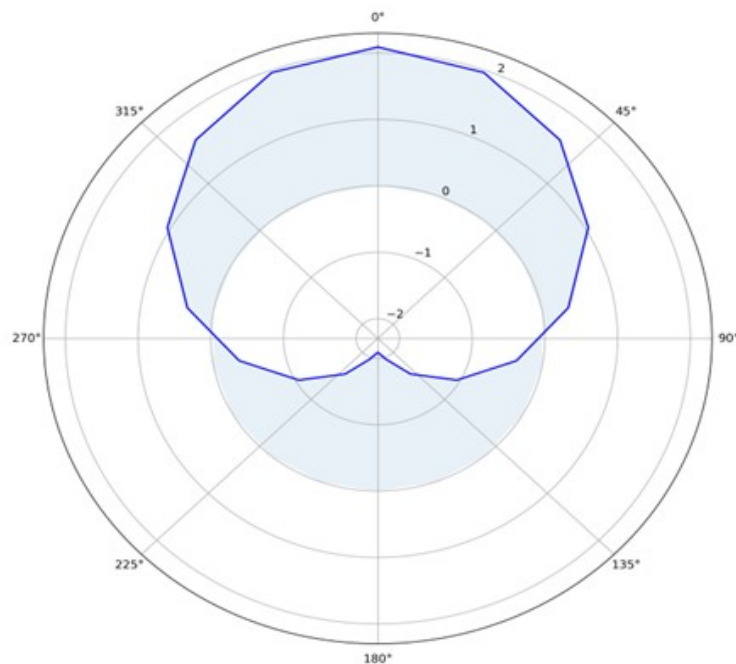
$$P_{\text{hf.místní.plnění}} := P_{h0,\text{plnění}} \cdot Y_{j,z} = 23.336 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$S_{\text{místní.plnění}} := \frac{n \cdot 2 \cdot r_{\text{zas}}}{16} = 1.119 \text{ m}$$

$$P_{\text{pf.místní.plnění}} := C_{\text{pf.místní.plnění}} \cdot P_{\text{hf.místní.plnění}} = 2.091 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$F_{\text{pf.místní.plnění}} := \frac{n}{2} \cdot S_{\text{místní.plnění}} \cdot 2 \cdot r_{\text{zas}} \cdot P_{\text{pf.místní.plnění}} = 20.958 \text{ kN}$$

Úhel	p_pfs [kN/m <sup>2</sup> ]
0	2.09
20	1.96
40	1.6
60	1.04
80	0.36
100	-0.36
120	-1.04
140	-1.6
160	-1.96
180	-2.09
200	-1.96
220	-1.6
240	-1.04
260	-0.36
280	0.36
300	1.04
320	1.6
340	1.96
360	2.09



graf č.6 - Místní zatížení při plnění

tab.6 - místní  
zatížení při plnění

- Místní zatížení při vyprazdňování

$$C_{pe,místní,vypr} := 0.42 \cdot C_{op,material} \cdot (1 + 2 \cdot E_{místní}^2) \cdot \left(1 - e^{-1.5 \cdot \left(\frac{h_{zas}}{2 \cdot r_{zas}} - 1\right)}\right) = 0.179$$

$$s_{místní,vypr} := \frac{n \cdot 2 \cdot r_{zas}}{16} = 1.119 \text{ m}$$

$$Y_{r,plnění} := \left(1 - \left(\frac{z_{místní,plnění} - h_{0,plnění}}{z_{0,plnění} - h_{0,plnění}} + 1\right)^{n_{plnění}}\right) = 0.652 \quad z_{0,plnění} = 4.459 \text{ m}$$

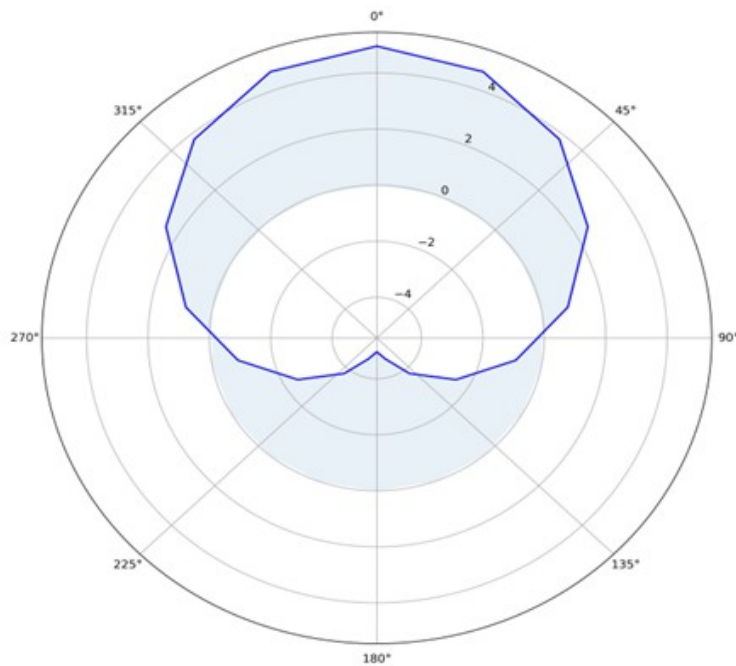
$$P_{hf,místní,vypr} := p_{h0,plnění} \cdot Y_{r,plnění} = 24.072 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{he,místní,vypr} := P_{hf,místní,vypr} \cdot C_{h,vypr} = 27.683 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{pe,místní,vypr} := C_{pe,místní,vypr} \cdot P_{he,místní,vypr} = 4.962 \frac{kN}{m^2}$$

$$F_{pe,místní,vypr} := \frac{n}{2} \cdot s_{místní,vypr} \cdot 2 \cdot r_{zas} \cdot p_{pe,místní,vypr} = 49.723 \text{ kN}$$

Úhel	p_pes [kN/m <sup>2</sup> ]
0	4.96
20	4.66
40	3.8
60	2.48
80	0.86
100	-0.86
120	-2.48
140	-3.8
160	-4.66
180	-4.96
200	-4.66
220	-3.8
240	-2.48
260	-0.86
280	0.86
300	2.48
320	3.8
340	4.66
360	4.96



graf č.7 - Místní zatížení při vyprazdňování

tab.7 - místní  
zatížení při  
vyprazdňování

- Náhradní rovnoměrné zvýšení tlaku při místním zatížení při plnění a vyprazdňování

Pro zásobníky třídy 2 lze nahradit rovnoměrným přírůstkem souměrného zatížení

$$p_{hf.u} := p_{hf.plnění} \cdot (1 + 0.5 \cdot C_{pf.místní.plnění}) = 34.463 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{wf.u} := p_{wf.plnění.tah} \cdot (1 + C_{pf.místní.plnění}) = 16.808 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{he.u} := p_{he.vypr.tlak} \cdot (1 + 0.5 \cdot C_{pe.místní.vypr}) = 41.333 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{we.u} := p_{we.vypr.tah} \cdot (1 + C_{pe.místní.vypr}) = 20.009 \frac{kN}{m^2}$$

h_zas0 [m]	p_hf_u [kN/m <sup>2</sup> ]	p_wf_u [kN/m <sup>2</sup> ]	p_he_u [kN/m <sup>2</sup> ]	p_we_u [kN/m <sup>2</sup> ]	n_zSk_vypr_tah
0	-18.56	-6.63	-22.26	-7.89	2.95
0.25	-11.6	-4.2	-13.91	-5.01	1.35
0.5	-5.94	-2.18	-7.12	-2.6	0.41
0.75	-1.26	-0.47	-1.51	-0.56	0.02
1	2.66	1	3.18	1.2	0.11
1.25	5.97	2.29	7.16	2.72	0.60
1.5	8.81	3.42	10.56	4.07	1.45
1.75	11.26	4.41	13.5	5.26	2.62
2	13.39	5.31	16.06	6.32	4.07
2.25	15.26	6.11	18.3	7.28	5.77
2.5	16.91	6.84	20.28	8.14	7.70
2.75	18.38	7.5	22.04	8.93	9.83
3	19.68	8.1	23.61	9.65	12.15
3.25	20.86	8.66	25.01	10.31	14.65
3.5	21.91	9.17	26.28	10.91	17.30
3.75	22.87	9.64	27.43	11.48	20.10
4	23.74	10.08	28.47	12	23.04
4.25	24.53	10.49	29.42	12.48	26.10
4.5	25.25	10.87	30.29	12.94	29.27
4.75	25.92	11.22	31.08	13.36	32.56
5	26.53	11.56	31.82	13.76	35.95
5.25	27.09	11.87	32.49	14.13	39.43
5.5	27.61	12.16	33.12	14.48	43.01
5.75	28.1	12.44	33.7	14.81	46.67
6	28.54	12.71	34.23	15.13	50.41
6.25	28.96	12.96	34.73	15.42	54.23
6.5	29.35	13.19	35.2	15.7	58.12
6.75	29.71	13.42	35.64	15.97	62.08
7	30.05	13.63	36.05	16.23	66.11
7.25	30.37	13.83	36.43	16.47	70.19
7.5	30.67	14.03	36.79	16.7	74.34
7.75	30.96	14.21	37.13	16.92	78.54
8	31.22	14.39	37.44	17.13	82.80
8.25	31.47	14.56	37.75	17.33	87.10
8.5	31.71	14.72	38.03	17.53	91.46
8.75	31.93	14.88	38.3	17.71	95.86
9	32.14	15.03	38.55	17.89	100.31
9.25	32.35	15.17	38.79	18.06	104.81
9.5	32.54	15.31	39.02	18.23	109.34
9.75	32.72	15.44	39.24	18.38	113.92
10	32.89	15.57	39.45	18.54	118.53
10.25	33.05	15.69	39.64	18.68	123.18
10.5	33.21	15.81	39.83	18.83	127.87
10.75	33.36	15.93	40.01	18.96	132.59
11	33.5	16.04	40.18	19.09	137.35
11.25	33.64	16.15	40.34	19.22	142.14
11.5	33.77	16.25	40.5	19.35	146.96
11.75	33.89	16.35	40.65	19.47	151.81
12	34.01	16.45	40.79	19.58	156.69
12.25	34.12	16.54	40.93	19.69	161.60
12.5	34.23	16.63	41.06	19.8	166.53
12.75	34.34	16.72	41.18	19.91	171.50
13	34.44	16.81	41.3	20.01	176.49

tab.8 - náhradní rovnoměrné zatížení při plnění a vyprazdňování

## - Zatížení výsypky

### 1. Souměrné zatížení výsypky při plnění

Empirický součinitel

$$b_{\text{vysypka}} := 0.2$$

Součinitel tvaru pro kuželové výsypky

$$S_{\text{vysypka}} := 2$$

Součinitel zvětšující zatížení

$$C_{b,\text{vysypka}} := 1.0$$

Součinitel účinného tření:

$$\mu_{\text{heff}} := \frac{1 - K_{m,h}}{2 \cdot \tan(\beta)} = 0.224$$

Parametr  $F_{t,\text{vysypka}}$ :

$$F_{t,\text{vysypka}} := 1 - \left( \frac{b_{\text{vysypka}}}{1 + \frac{\tan(\beta)}{\mu_{\text{heff}}}} \right) = 0.963$$

Parametr  $n_{\text{vysypka}}$ :

$$n_{\text{vysypka}} := S_{\text{vysypka}} \cdot (1 - b_{\text{vysypka}}) \cdot \mu_{\text{heff}} \cdot \frac{1}{\tan(\beta)} = 0.358$$

$$p_{\text{vft,vysypka}} := C_{b,\text{vysypka}} \cdot p_{\text{vf,plnění,sv}} = 81.348 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$n_{\text{vypust}} := S_{\text{vysypka}} \cdot \left( \frac{F_{t,\text{vysypka}} \cdot \mu_{\text{heff}}}{\tan(\beta)} + F_{t,\text{vysypka}} \right) - 2 = 0.358$$

$$x_{i,\text{vypust}} := h_{\text{zkos,vypust}} = 0.175 \text{ m}$$

Střední svislé napětí:

$$p_{v,\text{vysypka}} := \left( \frac{Y_h \cdot h_{h,\text{vysypka}}}{n_{\text{vypust}} - 1} \right) \cdot \left( \frac{x_{i,\text{vypust}}}{h_{h,\text{vysypka}}} - \left( \frac{x_{i,\text{vypust}}}{h_{h,\text{vysypka}}} \right)^{n_{\text{vypust}}} \right) + p_{\text{vft,vysypka}} \cdot \left( \frac{x_{i,\text{vypust}}}{h_{h,\text{vysypka}}} \right)^{n_{\text{vypust}}} = 50.056 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Normálový tlak:

$$p_{\text{nf,vysypka}} := F_{t,\text{vysypka}} \cdot p_{v,\text{vysypka}} = 48.223 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tahová složka tření:

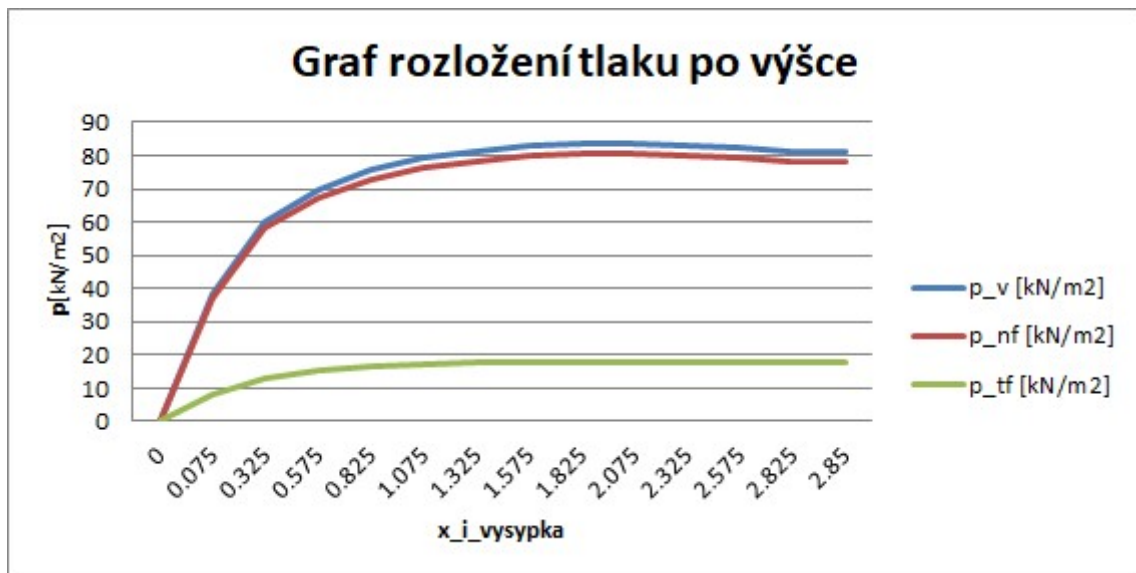
$$p_{\text{tf,vysypka}} := F_{t,\text{vysypka}} \cdot \mu_{\text{heff}} \cdot p_{v,\text{vysypka}} = 10.802 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Výsypka je mělká - zatížení od plnění = zatížení od vyprazdňování



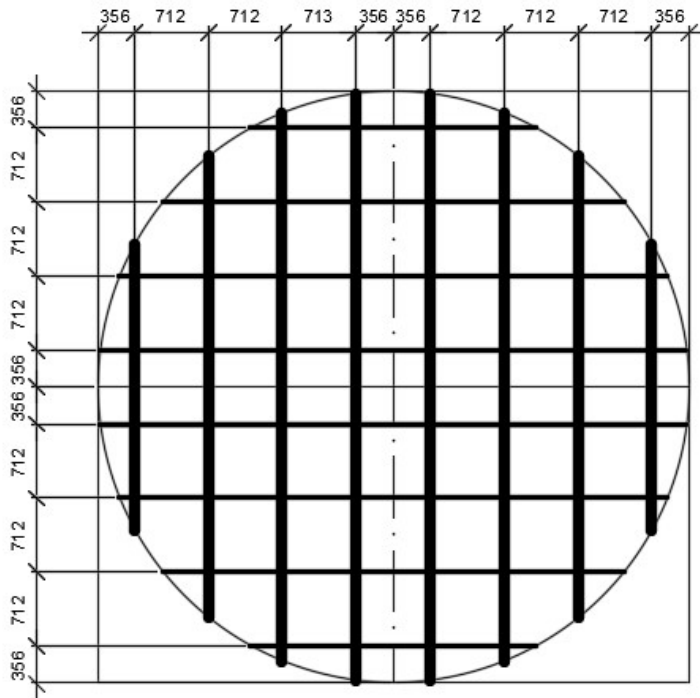
x_i [m]	p_v [kN/m <sup>2</sup> ]	p_nf [kN/m <sup>2</sup> ]	p_tf [kN/m <sup>2</sup> ]
0	0	0	0
0.075	38.41	37.00	8.29
0.325	60.33	58.12	13.02
0.575	69.90	67.34	15.08
0.825	75.57	72.80	16.31
1.075	79.16	76.26	17.08
1.325	81.43	78.45	17.57
1.575	82.77	79.74	17.86
1.825	83.41	80.36	18.00
2.075	83.50	80.44	18.02
2.325	83.15	80.11	17.94
2.575	82.43	79.41	17.79
2.825	81.40	78.42	17.57

tab.9 - souměrné zatížení od naplní výsypky po výšce



graf č.8 - souměrné zatížení od naplní výsypky po výšce

## 4. Víko zásobníku



obr.3 - schéma víka zásobníku

Popis schémata:

Vodorovný směr:

- Úhelník délky max. 712mm

Svislý směr:

- Nosník délky max. 5660mm



obr.4 - schéma pnutí nosníku ve víku

$$s_{\text{zat}} := 0.7125 \text{ m}$$

- Sníh

$$s = 0.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Vítr

$$q_{p,z} = 2.587 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$C_{pe,10,I} := 0.2$$

$$C_{pe,10,G} := -1.2$$

- Součinitel tlaku větru

- Součinitel sání větru

$$w_{e,\text{sání}} := C_{pe,10,G} \cdot q_{p,z} = -3.105 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_{e,\text{tlak}} := C_{pe,10,I} \cdot q_{p,z} = 0.517 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Užité zatížení

$$q_{k,\text{užitné}} := 2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Podtlak

$$f_{k,\text{podtlak}} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Stálé zatížení

$$t_{\text{plech.viko}} := 0.006 \text{ m}$$

$$g_{\text{k.viko}} := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot t_{\text{plech.viko}} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} = 0.462 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$f_{\text{k.viko}} := g_{\text{k.viko}} + f_{\text{k.podtlak}} + q_{\text{k.užitné}} + 0.5 \cdot s + 0.6 \cdot w_{\text{e.tlak}} = 5.692 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$f_{\text{d.viko}} := 1.35 \cdot g_{\text{k.viko}} + 1.5 \cdot (f_{\text{k.podtlak}} + q_{\text{k.užitné}} + 0.5 \cdot s + 0.6 \cdot w_{\text{e.tlak}}) = 8.469 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Posouzení plechu

- deska 0.7125x0.7125 - b/a = 1

- aplikace teorii velkých průhybů - předpoklad  $w > 0.5 \cdot t_{\text{plech.viko}}$

$$Q_{\text{viko}} := \frac{f_{\text{d.viko}} \cdot s_{\text{zat}}^4}{E \cdot t_{\text{plech.viko}}^4} = 8.215$$

- Parametr pro součinitele "k" z tab.1

$$k_w := 0.0396$$

- součinitel pro průhyb desky

$$k_{\sigma.\text{bx}} := 0.2431$$

- součinitel pro ohybové napětí desky

$$k_{\sigma.\text{mx}} := 0.0302$$

- součinitel pro membránové napětí

$$q_{\text{Ed.viko}} := f_{\text{k.podtlak}} + q_{\text{k.užitné}} + 0.5 \cdot s + 0.6 \cdot w_{\text{e.tlak}} = 5.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_{\text{max.viko}} := k_w \cdot \frac{f_{\text{d.viko}} \cdot s_{\text{zat}}^4}{E \cdot t_{\text{plech.viko}}^3} = 1.952 \text{ mm}$$

- průhyb od veškerého zatížení

$$w_{\text{q.viko}} := k_w \cdot \frac{q_{\text{Ed.viko}} \cdot s_{\text{zat}}^4}{E \cdot t_{\text{plech.viko}}^3} = 1.206 \text{ mm}$$

- průhyb od proměnného zatížení

$$w_{\text{lim.viko}} := \frac{s_{\text{zat}}}{200} = 3.563 \text{ mm}$$

- limitní průhyb

$$w_{\text{q.viko}} = 1.206 \text{ mm} < w_{\text{lim.viko}} = 3.563 \text{ mm}$$

- OK

- Napětí

$$\sigma_{\text{bx.Ed}} := k_{\sigma.\text{bx}} \cdot \frac{q_{\text{Ed.viko}} \cdot s_{\text{zat}}^2}{t_{\text{plech.viko}}^2} = 17.931 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{mx.Ed}} := k_{\sigma.\text{mx}} \cdot \frac{q_{\text{Ed.viko}} \cdot s_{\text{zat}}^2}{t_{\text{plech.viko}}^2} = 2.227 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x := -\sigma_{\text{bx.Ed}} + \sigma_{\text{mx.Ed}} = -15.703 \text{ MPa} < f_{\text{yk}} = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y := \sigma_{\text{bx.Ed}} + \sigma_{\text{mx.Ed}} = 20.158 \text{ MPa} < f_{\text{yk}} = 355 \text{ MPa} \quad - \text{OK}$$

- Návrh a posouzení nosníku ve víku - návrh IPE 200

$$G_{\text{IPE200}} := 22.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$l_{\text{nosník.max}} := 5.668 \text{ m}$$

$$g_{\text{k.nosník}} := G_{\text{IPE200}} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} = 0.22 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_{\text{nosník.k.víko}} := f_{\text{k.víko}} \cdot s_{\text{zat}} + g_{\text{k.nosník}} = 4.275 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_{\text{nosník.d.víko}} := f_{\text{d.víko}} \cdot s_{\text{zat}} + g_{\text{k.nosník}} \cdot 1.35 = 6.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{Ed}} := \frac{1}{8} \cdot f_{\text{nosník.d.víko}} \cdot l_{\text{nosník.max}}^2 = 25.422 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{\text{Ed}} := \frac{1}{2} \cdot f_{\text{nosník.d.víko}} \cdot l_{\text{nosník.max}} = 17.94 \text{ kN}$$

$$W_{\text{pl.y.IPE200}} := 220.6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_{\text{y.IPE200}} := 19.43 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A_{\text{vz.IPE200}} := 1.4 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

- Posouzení

$$M_{\text{pl.Rd}} := W_{\text{pl.y.IPE200}} \cdot \frac{f_{\text{yk}}}{Y_{\text{M0}}} = 78.313 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_{\text{Ed}} = 25.422 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad - \text{OK}$$

$$V_{\text{pl.Rd}} := A_{\text{vz.IPE200}} \cdot \frac{f_{\text{yk}}}{\frac{\sqrt{3}}{Y_{\text{M0}}}} = 286.943 \text{ kN} > V_{\text{Ed}} = 17.94 \text{ kN} \quad - \text{OK}$$

$$0.5 \cdot V_{\text{pl.Rd}} > V_{\text{Ed}} \quad - \text{malý smyk}$$

- Klopení

- zatížení - max sání

$$Y_{\text{f}} := 1.0$$

$$Y_{\text{prom}} := 1.5$$

$$f_{\text{d.b.nosník}} := (g_{\text{k.víko}} \cdot s_{\text{zat}} + g_{\text{k.nosník}}) \cdot Y_{\text{f}} - w_{\text{e.sání}} \cdot s_{\text{zat}} \cdot Y_{\text{prom}} = 3.867 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{Ed.b}} := \frac{1}{8} \cdot f_{\text{d.b.nosník}} \cdot l_{\text{nosník.max}}^2 = 15.528 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_{\text{w.nosník}} := 1.0$$

$$I_{\text{w.IPE200}} := 12.99 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$k_{\text{z.nosník}} := 1.0$$

$$I_{\text{t.IPE200}} := 69.8 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$G_{\text{smyk}} := 81 \text{ GPa}$$

$$k_{\text{wt.nosník}} := \frac{\pi}{k_{\text{w.nosník}} \cdot l_{\text{nosník.max}}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\text{w.IPE200}}}{G_{\text{smyk}} \cdot I_{\text{t.IPE200}}}} = 0.38$$

$$C_{1,0} := 1.13$$

$$C_{1,1} := 1.13$$

$$C_1 := C_{1,0} + (C_{1,0} - C_{1,1}) = 1.13 \quad \leq C_{1,1} = 1.13 \quad - \text{OK}$$

$$\mu_{\text{cr.nosník}} := \frac{C_1}{k_{z.\text{nosník}}} \cdot \sqrt{1 + k_{\text{wt.nosník}}^2} = 1.209$$

$$I_{z.\text{IPE200}} := 1424 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$M_{\text{cr.nosník}} := \mu_{\text{cr.nosník}} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_{z.\text{IPE200}} \cdot G_{\text{smyk}} \cdot I_{t.\text{IPE200}}}}{l_{\text{nosník.max}}} = 860.887 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\lambda_{\text{pruh.nosník}} := \sqrt{\frac{W_{\text{pl.y.IPE200}} \cdot f_{\text{yk}}}{M_{\text{cr.nosník}}}} = 0.302$$

$$h/b = 140 / 73 = 1.91 - \alpha_{\text{LT}} := 0.21$$

$$\Phi_{\text{LT}} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{\text{LT}} \cdot (\lambda_{\text{pruh.nosník}} - 0.2) + \lambda_{\text{pruh.nosník}}^2) = 0.556$$

$$\chi_{\text{LT}} := \frac{1}{\Phi_{\text{LT}} + \sqrt{\Phi_{\text{LT}}^2 - \lambda_{\text{pruh.nosník}}^2}} = 0.977$$

$$M_{\text{b.Rd.nosník}} := \chi_{\text{LT}} \cdot W_{\text{pl.y.IPE200}} \cdot \frac{f_{\text{yk}}}{Y_{\text{M1}}} = 69.564 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{\text{Ed.b}} = 15.528 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad - \text{OK}$$

- Posouzení na MSP

$$w_{\text{max.nosník}} := \frac{5}{384} \cdot \frac{f_{\text{nosník.k.víko}} \cdot l_{\text{nosník.max}}^4}{E \cdot I_{y.\text{IPE200}}} = 14.424 \text{ mm}$$

$$w_{\text{lim.nosník}} := \frac{l_{\text{nosník.max}}}{300} = 18.893 \text{ mm} > w_{\text{max.nosník}} = 14.424 \text{ mm} \quad - \text{OK}$$

Nosník IPE200 VYHOVUJE

- Návrh a posouzení vyztužení víka - Návrh L40x40x5

$$\gamma_G := 1.35$$

$$g_{k.L.viko} := \frac{3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{1000} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} = (2.94 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_{k.L.viko} := f_{k.viko} \cdot s_{zat} \cdot \frac{1}{2} + g_{k.L.viko} = 2.028 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_{d.L.viko} := f_{d.viko} \cdot s_{zat} \cdot \frac{1}{2} + g_{k.L.viko} \cdot \gamma_G = 3.017 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed.L.viko} := \frac{1}{8} \cdot f_{d.L.viko} \cdot s_{zat}^2 + \frac{1}{8} \cdot g_{k.L.viko} \cdot s_{zat}^2 = 0.191 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Posouzení MSU

$$W_{el.y.L.viko} := 1540 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd.L.viko} := W_{el.y.L.viko} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 0.547 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_{Ed.L.viko} = 0.191 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad - \text{OK}$$

- Posouzení MSP

$$l_{L.viko} := s_{zat} = 712.5 \text{ mm}$$

$$I_{y.L.viko} := 54300 \text{ mm}^4$$

$$w_{max.L.viko} := \frac{5}{384} \cdot \frac{f_{k.L.viko} \cdot l_{L.viko}^4}{E \cdot I_{y.L.viko}} + \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{k.L.viko} \cdot l_{L.viko}^4}{E \cdot I_{y.L.viko}} = 0.611 \text{ mm}$$

$$w_{lim.L.viko} := \frac{l_{L.viko}}{300} = 2.375 \text{ mm} > w_{max.L.viko} = 0.611 \text{ mm} \quad - \text{OK}$$

L40x40x5 - VYHOVUJE

## 5. Výpočet membránových napětí - proveden pro místo těsně nad přechodovým prstencem

- Rovnoměrné osově zatížení

Objemová hmotnost oceli

$$\rho_{\text{ocel}} := 78.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Zatížení od víka

$$F_{\text{x.viko}} := 2152 \text{ kg} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} = 21.09 \text{ kN}$$

Tloušťka základního plechu

$$t_{\text{základ}} := 0.008 \text{ m}$$

Tloušťka přídatku plechu

$$t_{\text{přídavek}} := 0.002 \text{ m}$$

Tloušťka plechu stěny

$$t_{\text{stěna}} := t_{\text{základ}} + t_{\text{přídavek}} = 10 \text{ mm}$$

Součinitel bezpečnosti pro stálé zatížení

$$\gamma_G := 1.35$$

Součinitel bezpečnosti pro proměnné zatížení

$$\gamma_Q := 1.5$$

Vnitřní poloměr komory

$$r_{\text{in}} := r_{\text{zas}} = 2.85 \text{ m}$$

Vnější poloměr komory

$$r_{\text{out}} := r_{\text{zas}} + t_{\text{stěna}} = 2.86 \text{ m}$$

Vlastní tíha zásobníku:

$$A_{\text{stěna}} := \pi \cdot r_{\text{out}}^2 - \pi \cdot r_{\text{in}}^2 = 0.179 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{x.zas}} := A_{\text{stěna}} \cdot h_{\text{zas}} \cdot \rho_{\text{ocel}} = 183.062 \text{ kN}$$

$$F_{\text{vl.tíha}} := F_{\text{x.zas}} + F_{\text{x.viko}} = 204.152 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{x.k.zas}} := \frac{F_{\text{vl.tíha}}}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{in}} \cdot t_{\text{stěna}}} = 1.14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{x.d.zas}} := \sigma_{\text{x.k.zas}} \cdot \gamma_G = 1.539 \text{ MPa}$$

Napětí od globálního větru:

$$F_{\text{w.glob.v}} := q_{\text{p.z}} \cdot h_{\text{zas}} \cdot r_{\text{in}} \cdot 2 \cdot C_f = 99.718 \text{ kN}$$

$$M_{\text{w.glob.v}} := 0.5 \cdot F_{\text{w.glob.v}} \cdot h_{\text{zas}} = 648.166 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{\text{x.k.glob.v}} := \frac{M_{\text{w.glob.v}}}{\pi \cdot r_{\text{in}}^2 \cdot t_{\text{stěna}}} = 2.54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{x.d.glob.v}} := \sigma_{\text{x.k.glob.v}} \cdot \gamma_Q = 3.81 \text{ MPa}$$

Napětí od sněhu

$$F_{\text{x.sníh}} := s \cdot A_{\text{zas}} = 21.435 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{x.k.sníh}} := \frac{F_{\text{x.sníh}}}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{in}} \cdot t_{\text{stěna}}} = 0.12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{x.d.sníh}} := \sigma_{\text{x.k.sníh}} \cdot \gamma_Q = 0.18 \text{ MPa}$$

Napětí od užitečného zatížení

$$q_{\text{k.užitné}} = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$F_{\text{x.užitné}} := q_{\text{k.užitné}} \cdot A_{\text{zas}} = 51.035 \text{ kN}$$

$$\sigma_{x.k.užitné} := \frac{F_{x.užitné}}{2 \cdot n \cdot r_{in} \cdot t_{stěna}} = 0.285 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x.d.užitné} := \sigma_{x.k.užitné} \cdot \gamma_Q = 0.428 \text{ MPa}$$

Napětí od podtlaku

$$q_{\text{podtlak}} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- uvažovaný podtlak

$$F_{x.k.podtlak} := q_{\text{podtlak}} \cdot A_{\text{zas}} = 63.794 \text{ kN}$$

$$\sigma_{x.k.podtlak} := \frac{F_{x.k.podtlak}}{2 \cdot n \cdot r_{in} \cdot t_{stěna}} = 0.356 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x.d.podtlak} := \sigma_{x.k.podtlak} \cdot \gamma_Q = 0.534 \text{ MPa}$$

Zatížení naplní - souměrné: max. tření při vyprazdňování

$$n_{zSk.vypr.tah} = 149.663 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- viz tab. 6

$$F_{x.vypr.tah} := 2 \cdot n \cdot r_{in} \cdot n_{zSk.vypr.tah} = (2.68 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\sigma_{x.k.vypr.tah} := \frac{F_{x.vypr.tah}}{2 \cdot n \cdot r_{in} \cdot t_{stěna}} = 14.966 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x.d.vypr.tah} := \sigma_{x.k.vypr.tah} \cdot \gamma_Q = 22.449 \text{ MPa}$$

Zatížení naplní - místní: max. tření při vyprazdňování

$$n_{zSk.u.vypr.tah} := 176.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- viz tab. 8

$$F_{x.we.u} := 2 \cdot n \cdot r_{in} \cdot n_{zSk.u.vypr.tah} = (3.16 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\sigma_{x.k.naplň.míst} := \frac{F_{x.we.u}}{2 \cdot n \cdot r_{in} \cdot t_{stěna}} = 17.649 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x.d.naplň.míst} := \sigma_{x.k.naplň.míst} \cdot \gamma_Q = 26.474 \text{ MPa}$$



- Rovnoměrný vnitřní tlak

Napětí od lokálního větru:

Zatížení lokálním větrem - ekvivalentní rovnoměrný vnější tlak - D.1.3.2. - EN 1993-1-6

$$w_{k,max} = 0.002 \text{ MPa}$$

$$C_{\theta,lok} := 1$$

$$\omega_{lok} := \frac{(2 \cdot \pi \cdot r_{zas})}{\sqrt{(r_{zas} \cdot t_{stěna})}} = 106.072$$

$$k_{w,lok} := 0.46 \cdot \left( 1 + 0.1 \frac{(C_{\theta,lok} \cdot r_{zas})}{\sqrt{(\omega_{lok} \cdot t_{stěna})}} \right) = 0.587 \quad - \quad k_{w,návrh} := 0.65$$

$$q_{ekv} := k_{w,návrh} \cdot w_{k,max} = 0.001 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta,k,lok,vitr} := q_{ekv} \cdot \frac{r_{zas}}{t_{stěna}} = 0.38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta,d,lok,vitr} := \sigma_{\theta,k,lok,vitr} \cdot \gamma_Q = 0.57 \text{ MPa}$$

Napětí od souměrného zatížení - vyprazdňování

$$p_{he,vypr.tlak} = 37.933 \frac{kN}{m^2} \quad - \text{ viz tab. 5}$$

$$\sigma_{\theta,k,napl.n.soum} := p_{he,vypr.tlak} \cdot \frac{r_{zas}}{t_{stěna}} = 10.811 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta,d,napl.n.soum} := \sigma_{\theta,k,napl.n.soum} \cdot \gamma_Q = 16.216 \text{ MPa}$$

Napětí od místního zatížení - vyprazdňování

$$p_{he,u} = 41.333 \frac{kN}{m^2} \quad - \text{ viz tab. 8}$$

$$\sigma_{\theta,k,napl.místní} := p_{he,u} \cdot \frac{r_{zas}}{t_{stěna}} = 11.78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta,d,napl.místní} := \sigma_{\theta,k,napl.místní} \cdot \gamma_Q = 17.67 \text{ MPa}$$

- Zatížení smykem

Napětí od globálního větru

$$V_{w, glob} := 2 \cdot h_{zas} \cdot r_{zas} \cdot C_f \cdot q_{p,z} = 99.718 \text{ kN}$$

$$I_{valce} := \frac{1}{4} \cdot n \cdot r_{out}^4 - \frac{1}{4} \cdot n \cdot r_{in}^4 = 0.731 \text{ m}^4$$

$$S_{max} := \left( n \cdot r_{out}^2 - n \cdot r_{in}^2 \right) \cdot \frac{2 \cdot r_{out}}{n} = 0.327 \text{ m}^3$$

$$T_{k, glob} := \frac{V_{w, glob} \cdot S_{max}}{2 \cdot I_{valce} \cdot t_{stěna}} = 2.227 \text{ MPa}$$

- Přípravná informace ke příslušným napětím

$$p_{he.u.we.max} := 41.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad - \text{ viz tab. 8}$$

$$\sigma_{\Theta,k,max} := p_{he.u.we.max} \cdot \frac{r_{zas}}{t_{stěna}} = 11.771 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\Theta,d,max} := \sigma_{\Theta,k,max} \cdot \gamma_Q = 17.656 \text{ MPa}$$

$$p_{we.u.he.max} := 20.01 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad - \text{ viz tab. 8}$$

$$\sigma_{x,k,max} := p_{we.u.he.max} \cdot \frac{r_{zas}}{t_{stěna}} = 5.703 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,d,max} := \sigma_{x,k,max} \cdot \gamma_Q = 8.554 \text{ MPa}$$

- Kombinace zatížení

## 1. Kombinace zatížení od maximálního svislého napětí při vyprazdňování

Směr -  $x$  (meridiální - svislá souřadnice)

$$\sigma_{x,d.1} = 1.35 * \text{Stálé zat.} + 1.5 * \text{Zat. od náplně} + 0.5 * 1.5 * \text{Zat. od sněhu} + 1.5 * 0.6 * \text{Zat. od globálního větru} + 1.5 * 0.7 * \text{Užitné zat.} + 1.5 * 0.6 * \text{Zat. od podtlaku}$$

Směr -  $\theta$  (obvodová souřadnice)

$$\sigma_{\theta,d.1} = 1.5 * \text{Zat. od náplně při max. ve směru } X - 1.5 * 0.6 * \text{Zat. lokálního větru} - 1.5 * 0.5 * \text{Zat. od podtlaku}$$

Směr -  $T$  (normála plochy)

$$T_{d.1} = 1.5 * \text{Zat. od globálního větru}$$

$$\sigma_{x,d.1} := -(1.35 \cdot \sigma_{x,k,zas} + 1.5 \cdot \sigma_{x,k,naplň.míst} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot \sigma_{x,k,sněh} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \sigma_{x,k,glob.v} + 1.5 \cdot \sigma_{x,k,užitné} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot \sigma_{x,k,podtlak}) = -31.08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta,d.1} := 1.5 \cdot \sigma_{\theta,k,max} - 1.5 \cdot 0.6 \cdot \sigma_{\theta,k,lok.vítr} - 1.5 \cdot 0.5 \cdot \sigma_{x,k,podtlak} = 17.047 \text{ MPa}$$

$$T_{d.1} := 1.5 \cdot T_{k,glob} = 3.341 \text{ MPa}$$

## 2. Kombinace zatížení od maximálního napětí kolmo na stěnu při vyprazdňování

Směr -  $x$  (meridiální - svislá souřadnice)

$$\sigma_{x,d.2} = 1.35 * \text{Stálé zat.} + 1.5 * \text{Zat. od náplně při max. ve směru } \theta + 0.5 * 1.5 * \text{Zat. od sněhu} + 1.5 * \text{Zat. od globálního větru} + 1.5 * \text{Užitné zat.}$$

Směr -  $\theta$  (obvodová souřadnice)

$$\sigma_{\theta,d.2} = 1.5 * \text{Zat. od náplně}$$

Směr -  $T$  (normála plochy)

$$T_{d.2} = 1.5 * \text{Zat. od globálního větru}$$

$$\sigma_{x,d.2} := (1.35 \cdot \sigma_{x,k,zas} + 1.5 \cdot \sigma_{x,k,max} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot \sigma_{x,k,sněh} + 1.5 \cdot \sigma_{x,k,glob.v} + 1.5 \cdot \sigma_{x,k,užitné}) = -14.42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta,d.2} := 1.5 \cdot \sigma_{\theta,k,naplň.místní} = 17.67 \text{ MPa}$$

$$T_{d.2} := 1.5 \cdot T_{k,glob} = 3.341 \text{ MPa}$$

### 3. Kombinace zatížení bez náplně, s větrem

Směr -  $x$  (meridiální - svislá souřadnice)

$$\sigma_{x,d.3} = 1.0 \cdot \text{Stálé zat.} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot \text{Zat. od sněhu} + 1.5 \cdot \text{Zat. od globálního větru} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot \text{Užitné zat.} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \text{Zat. od podtlaku}$$

Směr -  $\theta$  (obvodová souřadnice)

$$\sigma_{\theta,d.3} = 1.5 \cdot \text{Zat. lokálního větru} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \text{Zat. od podtlaku}$$

Směr -  $T$  (normála plochy)

$$T_{d.2} = 1.5 \cdot \text{Zat. od globálního větru}$$

$$\sigma_{x,d.3} := -\left(1.0 \cdot \sigma_{x,k,zas} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot \sigma_{x,k,snih} + 1.5 \cdot \sigma_{x,k,glob.v} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot \sigma_{x,k,užitné} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot \sigma_{x,k,podtlak}\right) = -5.61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta,d.3} := 1.5 \cdot \sigma_{\theta,k,lok.vitr} = 0.57 \text{ MPa}$$

$$T_{d.3} := 1.5 \cdot T_{k,glob} = 3.341 \text{ MPa}$$

## 6. Návrh a posouzení stěny komory zásobníku

Výpočet membránových napětí byl proveden pro  $t_{\text{základ}} = 8 \text{ mm} + t_{\text{přídavek}} = 2 \text{ mm}$

Posudek se provádí bez přídavku.

Vzdálenosti mezi vodorovnými výztuhami  $l_{\text{prstenec}} := 2 \text{ m}$

- Posouzení boulení v osovém tlaku

Podmínka boulení:

$$\frac{r_{\text{zas}}}{t_{\text{základ}}} \leq 0.03 \cdot \frac{E}{f_{yk}} \quad - \text{ podmínka pro posouzení}$$

$$\frac{r_{\text{zas}}}{t_{\text{základ}}} = 356.25 > 0.03 \cdot \frac{E}{f_{yk}} = 17.324 \quad - \text{ podmínka není splněná - nutno posoudit}$$

$$\omega_b := \frac{l_{\text{prstenec}}}{r_{\text{zas}}} \cdot \sqrt{\frac{r_{\text{zas}}}{t_{\text{základ}}}} = 13.245 \quad - \text{ délkový parametr}$$

$$\text{když } 1.7 \leq \omega_b < 0.5 \cdot \frac{r_{\text{zas}}}{t_{\text{základ}}}$$

$$1.7 < \omega_b = 13.245 < 0.5 \cdot \frac{r_{\text{zas}}}{t_{\text{základ}}} = 178.125 \quad - \text{ Střední válec - } C_x := 1$$

Parametry pro boulení v osovém tlaku:

$$Q_{\text{výroba}} := 40 \quad - \text{ třída jakosti výroby 3 - speciální}$$

$$\Delta W_k := \frac{1}{Q_{\text{výroba}}} \cdot \sqrt{\frac{r_{\text{zas}}}{t_{\text{základ}}}} \cdot t_{\text{základ}} = 3.775 \text{ mm} \quad - \text{ charakteristická amplituda imperfekce}$$

$$\alpha_x := \frac{0.62}{1 + 1.91 \cdot \left(\frac{\Delta W_k}{t_{\text{základ}}}\right)^{1.44}} = 0.376 \quad - \text{ osový součinitel v pružném stavu}$$

$$\lambda_{x,0} := 0.2$$

$$\beta_{\text{plast}} := 0.6$$

$$\nu_{\text{exp}} := 1$$

- osová poměrná štíhlost při stlačení
- součinitel rozsahu plastické oblasti
- interakční exponent

$$\sigma_{x,R,cr} := 0.605 \cdot E \cdot C_x \cdot \frac{t_{\text{základ}}}{r_{\text{zas}}} = 348.14 \text{ MPa} \quad - \text{ pružné kritické osové napětí}$$

$$\lambda_x := \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{x,R,cr}}} = 1.01$$

- poměrná štíhlost skořepiny pro směr x

$$\lambda_{x,p} := \sqrt{\frac{\alpha_x}{1 - \beta_{\text{plast}}}} = 0.97$$

- mezní relativní štíhlost v plastické

oblasti

- Výpočet vzpěrnosti

$$\text{když } \lambda_{x,0} < \lambda_x \leq \lambda_{\theta,p} \quad - \quad \chi_{vzp,x} := 1 - \beta_{\text{plast}} \cdot \left( \frac{\lambda_x - \lambda_{x,0}}{\lambda_{x,p} - \lambda_{x,0}} \right) = 0.369$$

$$\sigma_{x,Rk} := \chi_{vzp,x} \cdot f_{yk} = 130.966 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Rd} := \frac{\sigma_{x,Rk}}{\gamma_{M1}} = 119.06 \text{ MPa}$$

- Posouzení boulení v obvodovém tlaku

Podmínka boulení:

$$\frac{r_{zas}}{t_{základ}} \leq 0.21 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \quad - \text{podmínka pro posouzení}$$

$$\frac{r_{zas}}{t_{základ}} = 356.25 > 0.21 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = 5.046 \quad - \text{podmínka není splněná - nutno posoudit}$$

když  $\frac{\omega_b}{C_\theta} < 20$  - krátký válec

$C_\theta := 1$  - předpoklad

$$\frac{\omega_b}{C_\theta} = 13.245 < 20 \quad - \text{krátký válec}$$

$\omega_b = 13.245$  - viz osový tlak

$$C_{\theta,s} := 1 + \frac{3}{\omega_b^{1.35}} = 1.092$$

$$\sigma_{\theta,R.cr} := 0.92 \cdot E \cdot \frac{C_{\theta,s}}{\omega_b} \cdot \frac{t_{základ}}{r_{zas}} = 43.634 \text{ MPa}$$

$\alpha_\theta := 0.75$  - BC2-BC2

$\lambda_{\theta,0} := 0.4$

$$\lambda_\theta := \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{\theta,R.cr}}} = 2.852$$

$$\lambda_{\theta,p} := \sqrt{\frac{\alpha_\theta}{1 - \beta_{plast}}} = 1.369$$

- Výpočet vzpěrnosti

$$\text{když } \lambda_\theta > \lambda_{\theta,p} \quad - \quad X_{vzp,\theta} := \frac{\alpha_\theta}{\lambda_\theta^2} = 0.092$$

$$\sigma_{\theta,Rk} := X_{vzp,\theta} \cdot f_{yk} = 32.725 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta,Rd} := \frac{\sigma_{\theta,Rk}}{Y_{M1}} = 29.75 \text{ MPa}$$

- Posouzení boulení způsobené smykem

Podmínka boulení:

$$\frac{r_{zas}}{t_{základ}} \leq 0.16 \cdot \left( \frac{E}{f_{yk}} \right)^{0.67} \quad - \text{podmínka pro posouzení}$$

$$\frac{r_{zas}}{t_{základ}} = 356.25 > 0.16 \cdot \left( \frac{E}{f_{yk}} \right)^{0.67} = 11.333 \quad - \text{podmínka není splněná - nutno posoudit}$$

$$\text{když } 10 < \omega_b \leq 8.7 \cdot \frac{r_{zas}}{t_{základ}} \quad - \text{střední válec}$$

$$10 < \omega_b = 13.245 \leq 8.7 \cdot \frac{r_{zas}}{t_{základ}} = 3099.375 \quad - \text{střední válec}$$

$$C_T := 1$$

$$\sigma_{T,R.cr} := 0.75 \cdot E \cdot C_T \cdot \sqrt{\frac{1}{\omega_b} \cdot \frac{t_{základ}}{r_{zas}}} = 118.585 \text{ MPa}$$

$$\alpha_T := 0.75 \quad - \text{BC2-BC2}$$

$$\lambda_{T,0} := 0.4$$

$$\lambda_T := \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \sigma_{T,R.cr}}} = 1.315$$

$$\lambda_{T,p} := \sqrt{\frac{\alpha_T}{1 - \beta_{plast}}} = 1.369$$

- Výpočet vzpěrnosti

$$\text{když } \lambda_{T,0} < \lambda_T \leq \lambda_{T,p} \quad - \quad \chi_{vzp.T} := 1 - \beta_{plast} \cdot \left( \frac{\lambda_T - \lambda_{T,0}}{\lambda_{T,p} - \lambda_{T,0}} \right)^{\nu_{exp}} = 0.434$$

$$T_{Rk} := \chi_{vzp.T} \cdot \frac{f_{yk}}{\sqrt{3}} = 88.914 \text{ MPa}$$

$$T_{Rd} := \frac{T_{Rk}}{Y_{M1}} = 80.831 \text{ MPa}$$



- Posouzení komory zásobníku:  $t_{\text{základ}} = 8 \text{ mm}$

- Posouzení 1. kombinace zatížení:

$ \sigma_{x,d.1}  = 31.083 \text{ MPa}$	$< \sigma_{x,Rd} = 119.06 \text{ MPa}$	využití	$\frac{ \sigma_{x,d.1} }{\sigma_{x,Rd}} = 0.261 < 1$	-	OK
$\sigma_{\theta,d.1} = 17.047 \text{ MPa}$	$< \sigma_{\theta,Rd} = 29.75 \text{ MPa}$	využití	$\frac{ \sigma_{\theta,d.1} }{\sigma_{\theta,Rd}} = 0.573 < 1$	-	OK
$T_{d.1} = 3.341 \text{ MPa}$	$< T_{Rd} = 80.831 \text{ MPa}$	využití	$\frac{ T_{d.1} }{T_{Rd}} = 0.041 < 1$	-	OK

- Posouzení 2. kombinace zatížení:

$ \sigma_{x,d.2}  = 14.421 \text{ MPa}$	$< \sigma_{x,Rd} = 119.06 \text{ MPa}$	využití	$\frac{ \sigma_{x,d.2} }{\sigma_{x,Rd}} = 0.121 < 1$	-	OK
$\sigma_{\theta,d.2} = 17.67 \text{ MPa}$	$< \sigma_{\theta,Rd} = 29.75 \text{ MPa}$	využití	$\frac{ \sigma_{\theta,d.2} }{\sigma_{\theta,Rd}} = 0.594 < 1$	-	OK
$T_{d.2} = 3.341 \text{ MPa}$	$< T_{Rd} = 80.831 \text{ MPa}$	využití	$\frac{ T_{d.2} }{T_{Rd}} = 0.041 < 1$	-	OK

- Posouzení 3. kombinace zatížení:

$ \sigma_{x,d.3}  = 5.606 \text{ MPa}$	$< \sigma_{x,Rd} = 119.06 \text{ MPa}$	využití	$\frac{ \sigma_{x,d.3} }{\sigma_{x,Rd}} = 0.047 < 1$	-	OK
$\sigma_{\theta,d.3} = 0.57 \text{ MPa}$	$< \sigma_{\theta,Rd} = 29.75 \text{ MPa}$	využití	$\frac{ \sigma_{\theta,d.3} }{\sigma_{\theta,Rd}} = 0.019 < 1$	-	OK
$T_{d.3} = 3.341 \text{ MPa}$	$< T_{Rd} = 80.831 \text{ MPa}$	využití	$\frac{ T_{d.3} }{T_{Rd}} = 0.041 < 1$	-	OK

- Posouzení kombinace osového tlaku, obvodového tlaku a smyku (ČSN EN 1993-1-6, 8.5.3)

- Interakční parametry boulení:

$$k_x := 1.25 + 0.75 \cdot \chi_{vzp,x} = 1.527$$

$$k_\theta := 1.25 + 0.75 \cdot \chi_{vzp,\theta} = 1.319$$

$$k_\tau := 1.75 + 0.25 \cdot \chi_{vzp,\tau} = 1.858$$

$$k_{i,k} := (\chi_{vzp,x} \cdot \chi_{vzp,\theta})^2 = 0.001$$

- Pro posouzení byla vybrána kombinace č.1 jak na základě největší účinnosti:

$$\left( \frac{|\sigma_{x,d.1}|}{\sigma_{x,Rd}} \right)^{k_x} - k_{i,k} \cdot \left( \frac{|\sigma_{x,d.1}|}{\sigma_{x,Rd}} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{\theta,d.1}}{\sigma_{\theta,Rd}} \right) + \left( \frac{\sigma_{\theta,d.1}}{\sigma_{\theta,Rd}} \right)^{k_\theta} + \left( \frac{T_{d.1}}{T_{Rd}} \right)^{k_\tau} = 0.611 < 1 \quad - \text{VYHOVUJE}$$

- Misesová podmínka

$$\sqrt{\sigma_{x,d.1}^2 + \sigma_{\theta,d.1}^2 - \sigma_{x,d.1} \cdot \sigma_{\theta,d.1} + 3 \cdot T_{d.1}^2} = 42.663 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa} \quad - \text{VYHOVUJE}$$

$t_{základ} = 8 \text{ mm}$  - VYHOVUJE

## 7. Výpočet membránových napětí výsyvky

$$t_{\text{základ.výs}} := 11 \text{ mm}$$

$$t_{\text{přídavek}} = 2 \text{ mm}$$

$$t_{\text{výsyvka}} := t_{\text{základ.výs}} + t_{\text{přídavek}} = 13 \text{ mm}$$

- Napětí od vlastní tíhy

$$o_{\text{vnitřní}} = 17.907 \text{ m}$$

$$d_{\text{vypust}} = 0.35 \text{ m}$$

$$l_{\text{výs.výpust}} := d_{\text{vypust}} \cdot n = 1.1 \text{ m}$$

$$P_{z.\text{výsyvka}} := \rho_{\text{ocel}} \cdot \frac{(o_{\text{vnitřní}} + l_{\text{výs.výpust}})}{2} \cdot t_{\text{výsyvka}} = 9.698 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{z.\text{výsyvka}} := 2 \cdot n \cdot r_{\text{zas}} \cdot P_{z.\text{výsyvka}} = 173.665 \text{ kN}$$

$$\sigma_{x.k.\text{výsyvka}} := \frac{-F_{z.\text{výsyvka}}}{2 \cdot n \cdot r_{\text{zas}} \cdot t_{\text{výsyvka}} \cdot \cos(\beta)} = -1.055 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x.d.\text{výsyvka}} := \sigma_{x.k.\text{výsyvka}} \cdot \gamma_G = -1.424 \text{ MPa}$$

- Zatížení náplně - plnění = vyprazdňování - počítáno těsně k bodu přechodu na komoru

$$x_{i.\text{výsyvka}} := 2.85 \text{ m}$$

$$r_{i.\text{výsyvka}} := 2.85 \text{ m}$$

$$p_{\text{nf.výsyvka}} := 78.31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad - \text{ viz str.24}$$

$$\sigma_{x.k.\text{náplň}} := -p_{\text{nf.výsyvka}} \cdot \frac{r_{i.\text{výsyvka}}}{2 \cdot t_{\text{výsyvka}} \cdot \cos(\beta)} \cdot \left( \left( \frac{d_{\text{vypust}}}{2} \right)^2 - r_{i.\text{výsyvka}}^2 \right) = 12.094 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x.d.\text{náplň}} := \sigma_{x.k.\text{náplň}} \cdot \gamma_Q = 18.141 \text{ MPa}$$

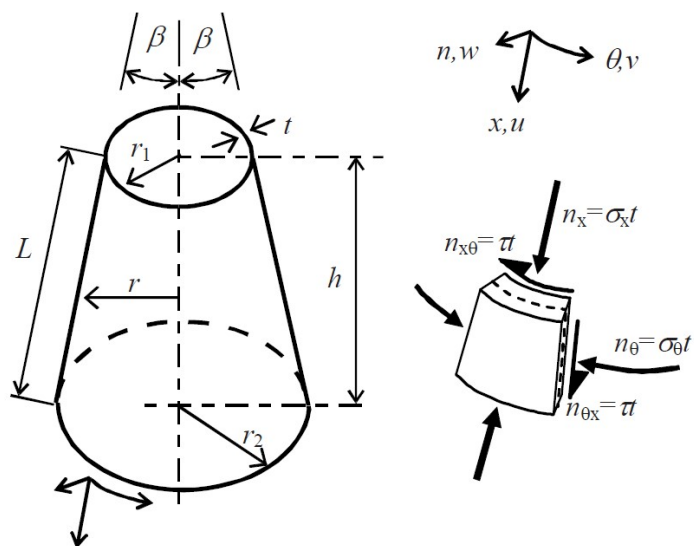
$$\sigma_{\theta.k.\text{náplň}} := p_{\text{nf.výsyvka}} \cdot \frac{r_{i.\text{výsyvka}}}{t_{\text{výsyvka}} \cdot \cos(\beta)} = 24.279 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta.d.\text{náplň}} := \sigma_{\theta.k.\text{náplň}} \cdot \gamma_Q = 36.419 \text{ MPa}$$

Ostatní hodnoty byly spočítány stejným způsobem. Výsledky viz tab. následující stránka.

$x_i$ [m]	$r_i$ [m]	$p_{nf}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_x$ .k.náplň[MPa]	$\sigma_\theta$ .k.náplň[MPa]
0	0	0	0	0
0.075	0.075	37.00	0.00	0.26
0.325	0.325	58.12	0.84	1.78
0.575	0.575	67.34	1.79	3.65
0.825	0.825	72.80	2.81	5.66
1.075	1.075	76.26	3.85	7.73
1.325	1.325	78.45	4.88	9.80
1.575	1.575	79.74	5.91	11.84
1.825	1.825	80.36	6.90	13.83
2.075	2.075	80.44	7.86	15.74
2.325	2.325	80.11	8.77	17.56
2.575	2.575	79.41	9.63	19.28
2.825	2.825	78.42	10.44	20.89
2.85	2.85	78.31	10.51	21.07

tab. 10 - Souměrné zatížení při plnění a vyprazdňování



obr.5 - Normové zobrazení výsyvky

- Napětí od tření

$$p_{\text{tf.výsypka}} := 17.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$L_{\text{krok}} := 0.25 \text{ m} \cdot \cos(\beta) = 176.777 \text{ mm}$$

$$P_{\text{x.výsypka}} := p_{\text{tf.výsypka}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{i.výsypka}} \cdot L_{\text{krok}} = 55.524 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{x.k.náplň.tř}} := \frac{P_{\text{x.výsypka}}}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{i.výsypka}} \cdot t_{\text{výsypka}} \cdot \cos(\beta)} = 0.337 \text{ MPa}$$

$$\Sigma P_{\text{x.výsypka}} := 393.36 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{x.k.náplň.tř.c}} := \frac{\Sigma P_{\text{x.výsypka}}}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{i.výsypka}} \cdot t_{\text{výsypka}} \cdot \cos(\beta)} = 2.39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{x.d.náplň.tř.c}} := \sigma_{\text{x.k.náplň.tř.c}} \cdot \gamma_Q = 3.584 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{x.d.celkem}} := \sigma_{\text{x.k.náplň}} \cdot \gamma_Q + \sigma_{\text{x.d.náplň.tř.c}} + |\sigma_{\text{x.d.výsypka}}| = 23.149 \text{ MPa}$$

Ostatní hodnoty byly spočítány stejným způsobem. Výsledky viz tab. dole.

x <sub>i</sub> [m]	r <sub>i</sub> [m]	p <sub>tf</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>x.k.náplň.tř</sub> [MPa]	P <sub>x.výsypka</sub> [kN]
0	0	0	0	0
0.075	0.075	8.29	0.14	0.69
0.325	0.325	13.02	0.22	4.70
0.575	0.575	15.08	0.25	9.63
0.825	0.825	16.31	0.27	14.94
1.075	1.075	17.08	0.28	20.40
1.325	1.325	17.57	0.29	25.86
1.575	1.575	17.86	0.30	31.25
1.825	1.825	18.00	0.30	36.49
2.075	2.075	18.02	0.30	41.53
2.325	2.325	17.94	0.30	46.34
2.575	2.575	17.79	0.30	50.88
2.825	2.825	17.57	0.29	55.12
2.85	2.85	17.54	0.29	55.53
			ΣP	393.36

tab. 11 - Souměrné zatížení od tření

## 8. Návrh a posouzení výsyvky

- Náhrada kužele ekvivalentním válcem

- pro osový tlak:

$$r_{e.oc} := \frac{r_{zas} + \frac{d_{vypust}}{2}}{2 \cdot \cos(\beta)} = 2.139 \text{ m}$$

- poloměr ekvivalentního válce

- pro obvodový tlak:

$$r_{e.obc} := \frac{r_{zas} + \frac{d_{vypust}}{2}}{2 \cdot \cos(\beta)} = 2.139 \text{ m}$$

- poloměr ekvivalentního válce

- pro smyk:

$$l_e := r_{zas} = 2.85 \text{ m}$$

$$p_g := \sqrt{\frac{r_{zas} + \frac{d_{vypust}}{2}}{d_{vypust}}} = 2.94$$

$$r_{e.smyk} := \left(1 + p_g - \frac{1}{p_g}\right) \cdot \frac{d_{vypust}}{2} \cdot \cos(\beta) = 0.445 \text{ m}$$

- rozepsat kapitulu

- Boulení v osovém tlaku

Podmínka boulení:

$$\frac{r_{e.oc}}{t_{základ.výs}} \leq 0.03 \cdot \frac{E}{f_{yk}} \quad \text{- podmínka pro posouzení}$$

$$\frac{r_{e.oc}}{t_{základ.výs}} = 194.454 > 0.03 \cdot \frac{E}{f_{yk}} = 17.324 \quad \text{- podmínka není splněná - nutno posoudit}$$

$$l_{e.merid} := \frac{r_{zas}}{\sin(\beta)} - \frac{\frac{d_{vypust}}{2}}{\sin(\beta)} = 3.783 \text{ m}$$

$$\omega_{b.výsypka} := \frac{l_{e.merid}}{\sqrt{r_{e.oc} \cdot t_{základ.výs}}} = 24.663 \quad \text{- délkový součinitel}$$

$$\text{když } 1.7 < \omega_{b.výsypka} \leq 0.5 \cdot \frac{r_{zas}}{t_{základ.výs}} \quad \text{- střední válec}$$

$$1.7 < \omega_{b.výsypka} = 24.663 <= 0.5 \cdot \frac{r_{zas}}{t_{základ.výs}} = 129.545 \quad \text{- střední válec}$$

$$C_{x.výsypka} := 1$$

Parametry pro boulení v osovém tlaku:

$$Q_{výroba.výsypka} := 40$$

$$\Delta w_{k.výsypka} := \frac{1}{Q_{výroba.výsypka}} \cdot \sqrt{\frac{r_{zas}}{t_{základ}}} \cdot t_{základ} = 3.775 \text{ mm}$$

$$a_{x.výsypka} := \frac{0.62}{1 + 1.91 \cdot \left( \frac{\Delta w_{k.výsypka}}{t_{základ.výs}} \right)^{1.44}} = 0.44$$

$$\lambda_{x,0} := 0.2$$

$$\beta_{plast} := 0.6$$

$$v_{exp} := 1$$

$$\sigma_{x.R.cr.výs} := 0.605 \cdot E \cdot C_{x.výsypka} \cdot \frac{t_{základ.výs}}{r_{e.oc}} = 637.81 \text{ MPa}$$

$$\lambda_x := \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{x.R.cr.výs}}} = 0.746$$

$$\lambda_{x,p} := \sqrt{\frac{a_{x.výsypka}}{1 - \beta_{plast}}} = 1.049$$

oblasti

- Výpočet vzpěrnosti

$$\text{když } \lambda_{x,0} < \lambda_x \leq \lambda_{\theta,p} \quad - \quad \chi_{vzp.x.výs} := 1 - \beta_{plast} \cdot \left( \frac{\lambda_x - \lambda_{x,0}}{\lambda_{x,p} - \lambda_{x,0}} \right) = 0.614$$

$$\sigma_{x.Rk.výs} := \chi_{vzp.x.výs} \cdot f_{yk} = 217.954 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x.Rd.výs} := \frac{\sigma_{x.Rk.výs}}{Y_{M1}} = 198.14 \text{ MPa}$$

- třída jakosti výroby 3 - speciální

- charakteristická amplituda imperfekce

- osový součinitel v pružném stavu

- osová poměrná štíhlost při stlačení

- součinitel rozsahu plastické oblasti

- interakční exponent

- pružné kritické osové napětí

- poměrná štíhlost skořepiny pro směr x

- mezní relativní štíhlost v plastické

- Posouzení boulení v obvodovém tlaku výsypky

Podmínka boulení:

$$\frac{r_{e.obc}}{t_{základ.výs}} \leq 0.21 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} \quad - \text{podmínka pro posouzení}$$

$$\frac{r_{e.obc}}{t_{základ.výs}} = 194.454 > 0.21 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = 5.046 \quad - \text{podmínka není splněná - nutno posoudit}$$

$$\text{když } 20 < \frac{\omega_{b.výsypka}}{C_{\theta}} \leq 1.63 \cdot \frac{r_{e.merid}}{t_{základ.výs}} \quad - \text{střední válec}$$

$C_{\theta} := 1$  - předpoklad

$$20 < \frac{\omega_{b.výsypka}}{C_{\theta}} = 24.663 \leq 1.63 \cdot \frac{r_{e.obc}}{t_{základ.výs}} = 316.961 \quad - \text{střední válec}$$

$$\omega_{b.výsypka} = 24.663 \quad - \text{viz osový tlak}$$

$$\sigma_{\theta.R.cr.výs} := 0.92 \cdot E \cdot \frac{C_{\theta}}{\omega_{b.výsypka}} \cdot \frac{t_{základ.výs}}{r_{e.obc}} = 39.327 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{\theta} := 0.75 \quad - \text{BC2-BC2}$$

$$\lambda_{\theta,0} := 0.4$$

$$\lambda_{\theta} := \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{\theta.R.cr.výs}}} = 3.004$$

$$\lambda_{\theta,p} := \sqrt{\frac{\alpha_{\theta}}{1 - \beta_{plast}}} = 1.369$$

- Výpočet vzpěrnosti

$$\text{když } \lambda_{\theta} > \lambda_{\theta,p} \quad - \quad \chi_{vzp.\theta.výs} := \frac{\alpha_{\theta}}{\lambda_{\theta}^2} = 0.083$$

$$\sigma_{\theta.Rk.výs} := \chi_{vzp.\theta.výs} \cdot f_{yk} = 29.495 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\theta.Rd.výs} := \frac{\sigma_{\theta.Rk.výs}}{Y_{M1}} = 26.814 \text{ MPa}$$



- Posouzení boulení způsobené smykem

Podmínka boulení:

$$\frac{r_{e.smyk}}{t_{základ.výs}} \leq 0.16 \cdot \left( \frac{E}{f_{yk}} \right)^{0.67} \quad - \text{ podmínka pro posouzení}$$

$$\frac{r_{e.smyk}}{t_{základ.výs}} = 40.495 > 0.16 \cdot \left( \frac{E}{f_{yk}} \right)^{0.67} = 11.333 \quad - \text{ podmínka není splněná - nutno posoudit}$$

$$\text{když } 10 < \omega_{b.výsypka} \leq 8.7 \cdot \frac{r_{e.merid.smyk}}{t_{základ.výs}} \quad - \text{ střední válec}$$

$$10 < \omega_{b.výsypka} = 24.663 \leq 8.7 \cdot \frac{r_{e.smyk}}{t_{základ.výs}} = 352.305 \quad - \text{ střední válec}$$

$$C_{T.výs} := 1$$

$$\sigma_{T.R.cr.výs} := 0.75 \cdot E \cdot C_{T.výs} \cdot \sqrt{\frac{1}{\omega_{b.výsypka}} \cdot \frac{t_{základ.výs}}{r_{e.smyk}}} = 764.534 \text{ MPa}$$

$$\alpha_T := 0.75 \quad - \text{ BC2-BC2}$$

$$\lambda_{T,0} := 0.4$$

$$\lambda_T := \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \sigma_{T.R.cr.výs}}} = 0.518$$

$$\lambda_{T,p} := \sqrt{\frac{\alpha_T}{1 - \beta_{plast}}} = 1.369$$

- Výpočet vzpěrnosti

$$\text{když } \lambda_{T,0} < \lambda_T \leq \lambda_{T,p} \quad - \quad X_{vzp.t.výs} := 1 - \beta_{plast} \cdot \left( \frac{\lambda_T - \lambda_{T,0}}{\lambda_{T,p} - \lambda_{T,0}} \right)^{v_{exp}} = 0.927$$

$$T_{Rk.výs} := X_{vzp.t.výs} \cdot \frac{f_{yk}}{\sqrt{3}} = 190.018 \text{ MPa}$$

$$T_{Rd.výs} := \frac{T_{Rk.výs}}{Y_{M1}} = 172.744 \text{ MPa}$$

- Misesová podmínka

$$\sqrt{\sigma_{x.d.celkem}^2 + \sigma_{\theta.d.náplň}^2} - \sigma_{x.d.celkem} \cdot \sigma_{\theta.d.náplň} = 31.924 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa} \quad - \text{ VYHOVUJE}$$

$$t_{základ.výs} = 11 \text{ mm} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 9. Vyztužení komory zásobníku

- Výztuha v místě  $t_{\text{základ}} = 8 \text{ mm}$

$$t_{\text{výztuhy}} := 10 \text{ mm}$$

$$l_{\text{výztuhy}} := 100 \text{ mm}$$

$$l_{\text{prstenec}} = 2 \text{ m}$$

- zatěžovací šířka pro výztuhu

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}} \cdot \frac{E}{210 \text{ GPa}}} = 0.804$$

$$\frac{l_{\text{výztuhy}}}{t_{\text{výztuhy}}} = 10 < 14 \cdot \varepsilon = 11.254$$

- Zatížení:

Zatížení větrem:

$$w_{k,\text{max}} = 2.05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Místní zatížení při vyprazdňování

$$p_{\text{pe.místní.vypr}} = 4.962 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Návrhové zatížení na metr délky

$$P_{\text{Rd}} := (w_{k,\text{max}} + p_{\text{pe.místní.vypr}}) \cdot l_{\text{prstenec}} \cdot \gamma_Q = 21.036 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Plastická únosnost výztuhy:

$$A_r := t_{\text{výztuhy}} \cdot l_{\text{výztuhy}} = 0.001 \text{ m}^2 \quad \text{- plocha výztuhy}$$

$$l_m := 0.975 \cdot \sqrt{r_{\text{zas}} \cdot t_{\text{základ}}} = 147.222 \text{ mm} \quad \text{- účinná délka skořepiny}$$

$$P_{\text{nR}} := f_{yk} \cdot \frac{(A_r + (l_{\text{výztuhy}} + 2 \cdot l_m) \cdot t_{\text{výztuhy}})}{r_{\text{zas}}} = 615.886 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Posouzení:

$$P_{\text{nR}} = 615.886 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > P_{\text{Rd}} = 21.036 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{- Vyhovuje}$$

## 10. Návrh přechodového spoje

- Plastická únosnost v přechodu (ČSN EN 1993-4-1 - 6.3.2.4)

$$g_{\text{asym}} := 1.2$$

$$n_{\phi h, \text{Ed}, s} := \frac{\Sigma P_{x, \text{vysypka}}}{O_{\text{vnitřní}}} \cdot \gamma_Q = 32.95 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{\phi h, \text{Ed}} := g_{\text{asym}} \cdot n_{\phi h, \text{Ed}, s} = 39.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{\phi, \text{Rd}} := \left( \frac{r_{\text{zas}} \cdot t_{\text{základ}} \cdot f_{yk}}{r_{\text{zas}} - 2.4 \cdot \sqrt{\frac{r_{\text{zas}} \cdot t_{\text{základ}}}{\cos(\beta)} \cdot \sin(\beta)}} \right) \cdot \frac{\left( \frac{0.91 \cdot \mu_h + 0.27}{\mu_h + 0.15} \right)}{\gamma_{M0}} = (3.495 \cdot 10^3) \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{\phi, \text{Rd}} = 3495.176 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > n_{\phi h, \text{Ed}} = 39.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{Vyhovuje}$$

- Místní ohyb v přechodu (ČSN EN 1993-4-1 - 6.3.2.5)

$$p_{nc} := p_{he, u} = 41.333 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$x_c := 0.39 \cdot \sqrt{r_{\text{zas}} \cdot t_{\text{základ}}} = 0.059 \text{ m}$$

$$F_c := 2 \cdot x_c \cdot p_{nc} = 4.868 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{nf, \text{vysypka}, 2.825} := 78.42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_{nh} := p_{nf, \text{vysypka}, 2.825} = 78.42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$x_h := 0.39 \cdot \sqrt{\frac{r_{\text{zas}} \cdot t_{\text{základ}} \cdot v_{\text{ys}}}{\cos(\beta)}} = 0.082 \text{ m}$$

$$F_h := 2 \cdot x_h \cdot (0.85 - 0.15 \cdot \mu_{\text{heff}} \cdot \cos(\beta)) \cdot p_{nh} = 10.642 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Návrhová únosnost v přechodovém spoji:

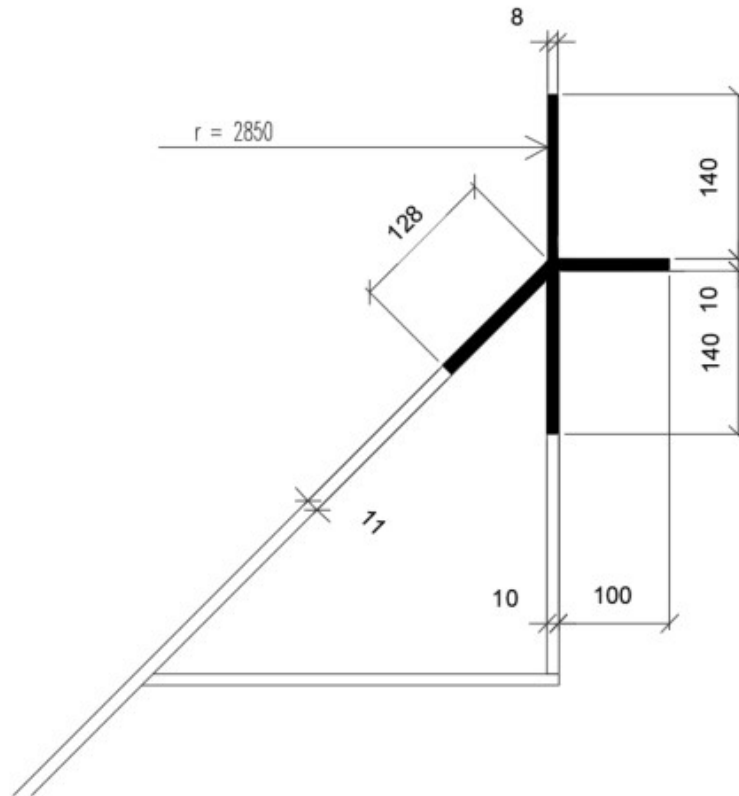
$$f_u := 360 \text{ MPa} \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$n_{xh, \text{Rd}} := k_r \cdot t_{\text{základ}} \cdot v_{\text{ys}} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 918.684 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{xh, \text{Rd}} = 918.684 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > n_{\phi h, \text{Ed}} = 39.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{Vyhovuje}$$

$$F_{e, \text{Ed}} := n_{\phi h, \text{Ed}} \cdot \sin(\beta) - F_h - F_c = 12.449 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{e, \text{Ed}} := F_c \cdot x_c - F_h \cdot x_h = -0.587 \text{ kN}$$



obr. 6 - Efektivní vzdálenosti v přechodovém prstenci

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| $t_{\text{základ}} = 8 \text{ mm}$      | - tloušťka stěny komory        |
| $t_{\text{základ.výs}} = 11 \text{ mm}$ | - tloušťka stěny výsypky       |
| $t_{\text{výztuhy}} = 10 \text{ mm}$    | - tloušťka výztužného prstence |
| $t_{\text{lem}} := 10 \text{ mm}$       | - tloušťka lemujícího pasu     |

- Účinný průřez prstencového nosníku při obvodovém tlaku - (ČSN EN 1993-4-1 - 8.2.2)

$$a_p := \frac{t_{\text{základ}}}{\sqrt{t_{\text{základ.výs}}^2 + t_{\text{výztuhy}}^2}} = 0.538$$

$$l_{\text{e.výs}} := 0.389 \cdot (1 + 3 \cdot a_p^2 - 2 \cdot a_p^3) \cdot \sqrt{\frac{r_{\text{zas}} \cdot t_{\text{základ.výs}}}{\cos(\beta)}} = 127.539 \text{ mm}$$

$$l_{\text{e.komora}} := 0.778 \cdot \sqrt{\frac{r_{\text{zas}} \cdot t_{\text{základ}}}{\cos(\beta)}} = 139.703 \text{ mm}$$

$$l_{\text{e.lem}} := l_{\text{e.komora}} = 139.703 \text{ mm}$$

$$A_{\text{ep}} := \frac{l_{\text{výztuhy}} \cdot t_{\text{výztuhy}}}{1 + 0.8 \cdot \frac{l_{\text{výztuhy}}}{r_{\text{zas}}}} = 972.696 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{e.lem}} := l_{\text{e.lem}} \cdot t_{\text{lem}} = (1.397 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{e.kom}} := l_{\text{e.komora}} \cdot t_{\text{základ}} = (1.118 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$\psi := 0.5 \cdot (1 + 3 \cdot a_p^2 - 2 \cdot a_p^3) = 0.779$$

$$A_{et} := A_{ep} + A_{e,lem} + A_{e,kom} = (3.487 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$N_{\theta,Ed} := n_{\phi h,Ed} \cdot r_{zas} \cdot \sin(\beta) - P_{he.u.we.max} \cdot r_{zas} \cdot l_{e,komora} - P_{nf.výsypka} \cdot (\cos(\beta) - \mu_h \cdot \sin(\beta)) \cdot r_{zas} \cdot l_{e,výs} = 56.457 \text{ kN}$$

$$\eta := 1 + 0.3 \cdot \frac{l_{výztuhy}}{r_{zas}} = 1.011$$

$$\sigma_{u,\theta,Ed} := \frac{N_{\theta,Ed}}{\eta \cdot A_{et}} = 16.02 \text{ MPa} \quad - \text{největší hodnota tlakového napětí}$$

- Posouzení únosnosti při mezním stavu plasticity:

$$\sigma_{u,\theta,Ed} = 16.02 \text{ MPa} < \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 355 \text{ MPa} \quad - \text{Vyhovuje}$$

- Prstencový nosník přechodového spoje (ČSN EN 1993-4-1 - 8.2.3)

$$j := 8 \quad - \text{počet stejně vzdálených podpor}$$

$$\theta := 45^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ} = 0.785 \quad - \text{obvodová souřadnice v jedné podpoře}$$

$$\theta_0 := \frac{\pi}{j} = 0.393 \quad - \text{obvodový úhel v radiálních příslušející k polovině rozpětí prstencového nosníku}$$

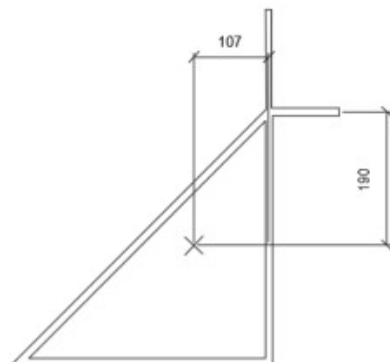
$$r_g := r_{in} + \frac{t_{základ}}{2} = 2.854 \text{ m} \quad - \text{vzdálenost těžiště prstencového nosníku od osy válce}$$

$$e_r := -107 \text{ mm} \quad - \text{radiální excentricita stěna válce od těžiště prstencového nosníku}$$

$$e_s := -107 \text{ mm} \quad - \text{radiální excentricita podpory od těžiště prstencového nosníku}$$

$$e_x := 190 \text{ mm} \quad - \text{svislá excentricita středu spoje od těžiště prstencového nosníku}$$

$$n_{\phi h,Ed} = 39.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{návrhová hodnota tahové membránové vnitřní síly na horním okraji výsypky}$$



obr. 7 - Těžiště přechodového prstence

$$n_{xc.Ek} := 175.025 \frac{kN}{m}$$

$$n_{xc.Ed} := |\sigma_{x.d.1}| \cdot t_{základ} = 248.665 \frac{kN}{m} \quad - \text{návrhová hodnota tahové membránové vnitřní síly u}$$

dna válce

$$n_{v.Ed} := n_{xc.Ed} + n_{\phi h.Ed} \cdot \cos(\beta) = 276.624 \frac{kN}{m}$$

$$n_{r.Ed} := n_{\phi h.Ed} \cdot \sin(\beta) = 27.959 \frac{kN}{m}$$

Návrhový moment působící okolo vodorovné radiální osy:

$$M_{r.Ed} := n_{v.Ed} \cdot (r_g - e_r) \cdot ((r_g - e_s) \cdot \theta_0 \cdot (\sin(\theta) + \cot(\theta_0) \cdot \cos(\theta)) - r_g + e_r) + n_{r.Ed} \cdot e_x \cdot (r_g - e_r) = -110.242 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhový kroutící moment prstencového nosníku:

$$T_{\theta.Ed} := n_{v.Ed} \cdot (r_g - e_r) \cdot ((r_g - e_s) \cdot \theta_0 \cdot (\cot(\theta_0) \cdot \sin(\theta) - \cos(\theta)) + r_g \cdot (\theta_0 - \theta)) = 34.417 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhový moment nad podporou:

$$M_{rs.Ed} := n_{v.Ed} \cdot (r_g - e_r) \cdot ((r_g - e_s) \cdot \theta_0 \cdot \cot(\theta_0) - r_g + e_r) + n_{r.Ed} \cdot e_x \cdot (r_g - e_r) = -110.242 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Návrhový moment uprostřed rozpětí:

$$M_{rm.Ed} := n_{v.Ed} \cdot (r_g - e_r) \cdot \left( (r_g - e_s) \cdot \frac{\theta_0}{\sin(\theta_0)} - r_g + e_r \right) + n_{r.Ed} \cdot e_x \cdot (r_g - e_r) = 79.205 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Posouzení:

$$W_{el.y.v} := 9.33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Návrhový moment pro přechodový spoj

$$M_{Rd} := W_{el.y.v} \cdot f_{yk} = 331.215 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad > \quad |M_{rs.Ed}| = 110.242 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad - \text{Vyhovuje}$$

Smykové napětí:

$$\Omega := 2 \cdot 63012 \text{ mm}^2 = 126024 \text{ mm}^2 \quad - \text{dvojnásobek plochy uzavřené střednicí}$$

$$T_{t.Ed} := \frac{T_{\theta.Ed}}{\Omega \cdot t_{základ}} = 34.137 \text{ MPa} \quad < \quad \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 204.959 \text{ MPa} \quad - \text{Vyhovuje}$$

• Místní ohybové napětí:

$$\rho_v := 0.78 \cdot \sqrt{r_{zas}} = 1.317 \text{ m}^{\frac{1}{2}}$$

$$a_1 := t_{\text{lem}}^{\frac{3}{2}} + t_{\text{základ}}^{\frac{3}{2}} + \frac{t_{\text{základ.výs}}^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\cos(\beta)}} + \frac{A_{\text{ep}}}{\rho_v} = 0.004 \text{ m}^{\frac{3}{2}}$$

$$a_2 := t_{\text{lem}}^2 - t_{\text{základ}}^2 + t_{\text{základ.výs}}^2 = (1.57 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$$

$$a_3 := t_{\text{lem}}^{\frac{5}{2}} + t_{\text{základ}}^{\frac{5}{2}} + t_{\text{základ.výs}}^{\frac{5}{2}} \cdot \cos(\beta) = (2.47 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^{\frac{5}{2}}$$

$$\Delta := 2 \cdot a_1 \cdot a_3 - 2 \cdot a_2^2 = (1.397 \cdot 10^5) \text{ mm}^4$$

$$\eta_v := \sqrt{t_{\text{základ.výs}} \cdot \cos(\beta)} = 0.088 \text{ m}^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{\text{b}\phi\text{h.Ed}} := \left(\frac{6}{\Delta}\right) \left( (a_2 - 2 \cdot a_1 \cdot \eta_v) \cdot M_{\text{e.Ed}} - \rho_v \cdot (a_3 - a_2 \cdot \eta_v) \cdot F_{\text{e.Ed}} \right) - \left(\frac{6}{t_{\text{základ.výs}}^2}\right) \cdot F_{\text{e.Ed}} \cdot x_h = -45.273 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{\text{b}\phi\text{h.Ed}}| = 45.273 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa} \quad - \text{ Vyhovuje}$$

- Boulení výsypky (ČSN EN 1993-4-1 - 6.3.2.7)

$$\alpha_{xh} := 0.1$$

$$n_{\phi.b.h.Rd} := 0.6 \cdot \alpha_{xh} \cdot E \cdot \left(\frac{t_{\text{základ.výs}}^2}{r_{\text{zas}}}\right) \cdot \frac{\cos(\beta)}{Y_{M1}} = 335.69 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{\phi.b.h.Rd.max} := t_{\text{základ.výs}} \cdot \frac{f_{yk}}{Y_{M1}} = (3.55 \cdot 10^3) \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{\phi.b.h.Rd} > 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad - \text{ OK}$$

$$g_{\text{asym}} := 1.2$$

$$n_{\phi\text{h.Ed.s}} := \frac{\Sigma P_{x.výsypka}}{O_{\text{vnitřní}}} \cdot \gamma_Q = 32.95 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{\phi\text{h.Ed}} := g_{\text{asym}} \cdot n_{\phi\text{h.Ed.s}} = 39.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Únosnost při plasticitním výpočtu (ČSN EN 1993-4-1 - 8.3.2.3)

$$\alpha_{pl} := \sqrt{\frac{t_{\text{základ}}^2}{t_{\text{základ.výs}}^2 + t_{\text{výztuhy}}^2}} = 0.538$$

$$\psi_{pl} := 0.7 + 0.6 \cdot \alpha_{pl}^2 - 0.3 \cdot \alpha_{pl}^3 = 0.827$$

$$l_{oc} := 0.975 \cdot \sqrt{t_{\text{základ}} \cdot r_{\text{zas}}} = 147.222 \text{ mm}$$

$$l_{os} := 0.975 \cdot \sqrt{t_{\text{lem}} \cdot r_{\text{zas}}} \cdot \psi_{pl} = 136.124 \text{ mm}$$

$$l_{oh} := 0.975 \cdot \sqrt{\frac{t_{základ.výs} \cdot r_{zas}}{\cos(\beta)}} \cdot \psi_{pl} = 169.781 \text{ mm}$$

- Návrhová únosnost v plastickém stavu:

$$\eta_{\phi h.Rd} := \frac{1}{\sin(\beta)} \cdot \left( \frac{A_{et} + l_{oc} \cdot t_{základ} + l_{os} \cdot t_{lem} + l_{oh} \cdot t_{základ.výs}}{r_{zas}} \right) \cdot \frac{f_{yk}}{Y_{M0}} + P_{he.u.we.max} \cdot l_{oc} + P_{nf.výsypka} \cdot (\cos(\beta) - \mu_h \cdot \sin(\beta)) \cdot l_{oh} = 1403.648 \frac{kN}{m}$$

$$\eta_{\phi h.Ed} = 39.54 \frac{kN}{m} < \eta_{\phi h.Rd} = 1403.648 \frac{kN}{m} \quad - \text{Vyhovuje}$$

- Únosnost a posouzení při vybočení z roviny a místní boulení skořepiny v blízkosti přechodového spoje (ČSN EN 1993-4-1 - 8.3.4.3)

$$t_{prst} := t_{výztuhy} = 10 \text{ mm}$$

$$\eta_c := 0.5 \cdot \left( \left( \frac{t_{základ}}{t_{prst}} \right)^{\frac{5}{2}} \cdot \left( \frac{t_{lem}}{t_{prst}} \right)^{\frac{5}{2}} \cdot \left( \frac{t_{základ.výs}}{t_{prst}} \right)^{\frac{5}{2}} \right) = 0.363$$

$$\eta_s := 0.43 \cdot 0.1 \cdot \left( \frac{r_{zas}}{20 \cdot l_{výztuhy}} \right)^2 = 0.087$$

$$k_s := 0.385 \cdot 0.452 \cdot \left( \frac{l_{výztuhy}}{r_{zas}} \right) = 0.006$$

$$k_c := 1.154 + 0.56 \cdot \frac{l_{výztuhy}}{r_{zas}} = 1.174$$

$$k := \frac{\eta_c \cdot k_c + \eta_s \cdot k_s}{\eta_s + \eta_c} = 0.947$$

$$\sigma_{op.Rd} := k \cdot E \cdot \left( \frac{t_{prst}}{l_{výztuhy}} \right)^2 \cdot \frac{1}{Y_{M0}} = 1942.118 \text{ MPa} > \sigma_{u,\theta.Ed} = 16.02 \text{ MPa} \quad - \text{Vyhovuje}$$



## 11. Návrh podpůrné konstrukce

Návrh:

Sloup - HEB360

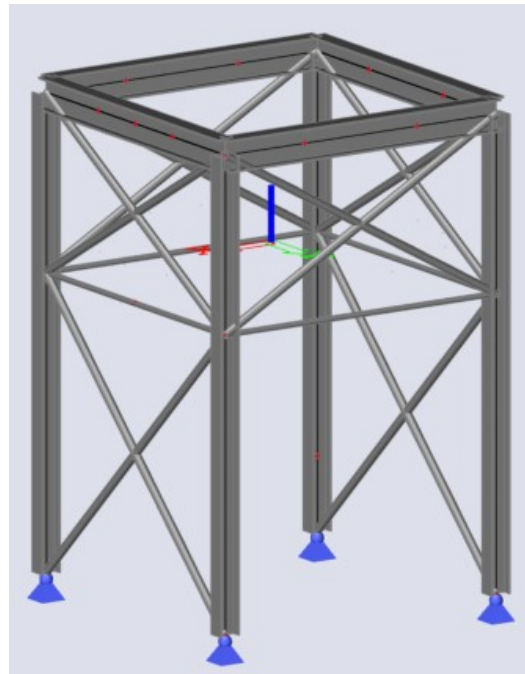
Nosník pro uložení síla - HEB550

Diagonály, vodorovné profily - CHS88.9x5.0, CHS139.7x5.0

$$m_{\text{material}} = (4.357 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$m_{\text{kN}} := m_{\text{material}} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} = 4270.064 \text{ kN}$$

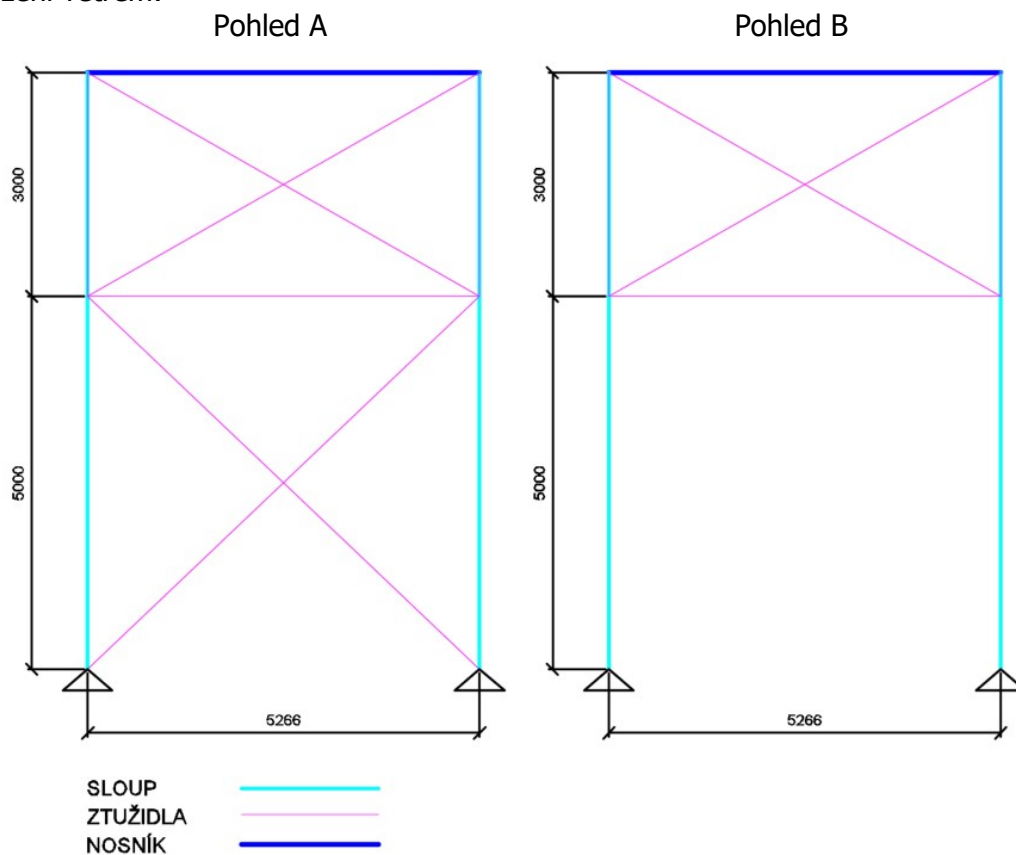
$$\frac{m_{\text{kN}}}{8} = 533.758 \text{ kN} \quad - \text{ zat. v jednom bodě}$$



obr. 8 - 3D model podpůrné konstrukci

- Zatížení podpůrné konstrukce

- Zatížení větrem:



obr. 9 - Pohledy na podpůrnou konstrukci

Rozměry jednotlivých prvků:

Sloup - 360mm  
 Ztužidla - 100mm  
 Nosník - 550mm

Součinitel plnosti:

$$A_{c,p} := 8.275 \text{ m} \cdot 5.816 \text{ m} = 48.127 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{pohled.A}} := 2 \cdot 0.36 \cdot 8 \text{ m}^2 + 5.266 \cdot 0.55 \cdot \text{m}^2 + 2 \cdot 7.262 \cdot 0.1 \cdot \text{m}^2 + 2 \cdot 6.061 \cdot 0.1 \cdot \text{m}^2 + 1 \cdot 0.1 \cdot 5.266 \text{ m}^2 = 11.848 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{pohled.B}} := 2 \cdot 0.36 \cdot 8 \text{ m}^2 + 5.266 \cdot 0.55 \cdot \text{m}^2 + 2 \cdot 6.061 \cdot 0.1 \cdot \text{m}^2 + 1 \cdot 0.1 \cdot 5.266 \text{ m}^2 = 10.395 \text{ m}^2$$

$$\varphi_A := \frac{A_{\text{pohled.A}}}{A_{c,p}} = 0.246 \quad - \quad C_{f.o.A} := 2.5$$

$$\varphi_B := \frac{A_{\text{pohled.B}}}{A_{c,p}} = 0.216 \quad - \quad C_{f.o.B} := 2.65$$

Pohled 45°

$$A_{c,p,45} := 7.447 \cdot 8 \text{ m}^2 = 59.576 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{pohled},45} := 4 \cdot 6.235 \cdot 0.1 \text{ m}^2 + 2 \cdot 3.724 \cdot 0.55 \cdot \text{m}^2 + 4 \cdot 4.862 \cdot 0.1 \cdot \text{m}^2 + 3 \cdot 0.5 \cdot 8 \cdot \text{m}^2 + 2 \cdot 3.724 \cdot 0.55 \cdot \text{m}^2 = 24.632 \text{ m}^2$$

$$\varphi_{45} := \frac{A_{\text{pohled},45}}{A_{c,p,45}} = 0.413$$

$$C_{f,0,45} := 2.75$$

$$k_{r,p} := 0.19 \left( \frac{8 \text{ m}}{z_0} \right)^{0.07} = 0.271$$

$$C_{r,z,p} := k_r \cdot \ln \left( \frac{8 \text{ m}}{z_0} \right) = 1.472$$

$$V_{m,z,p} := C_{r,z,p} \cdot C_{0,z} \cdot v_{b,0} = 36.794 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$I_{v,z,p} := \frac{k_i}{C_{0,z} \cdot \ln \left( \frac{8 \text{ m}}{z_0} \right)} = 0.197$$

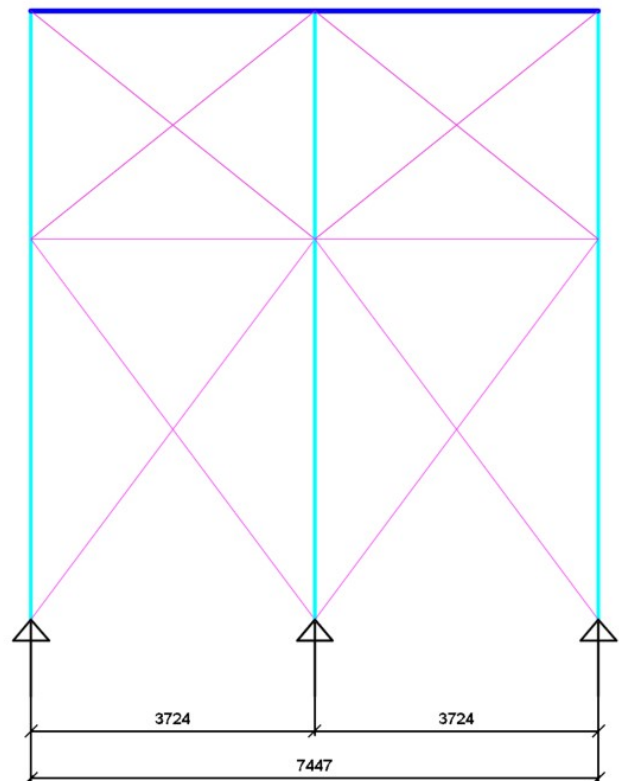
$$q_{p,z,p} := (1 + 7 \cdot I_{v,z,p}) \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot V_{m,z,p}^2 = 2.013 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Součinitel síly:

$$\lambda_{s,p} := \frac{8}{5.266} = 1.519$$

$$\psi_p := 0.62 \quad \text{- graf 7.36}$$

$$C_{f,p} := C_{f,0,A} \cdot \psi_p$$



obr. 10 - Vzhled pod 45° na podpůrnou konstrukci

	Cf.0	Nosník	Sloup	Ztužidla
		[kN/m]		
Pohled A	2.5	1.72	1.56	0.31
Pohled B	2.65	1.82	1.65	0.33
Pohled 45°	2.75	1.89	1.72	0.34

tab. 11 - Zatížení od větru na jednotlivé prvky

- Globální imperfekce - počáteční náklon podpůrné konstrukce

$$h_{\text{podp}} := 8 \text{ m}$$

$$a_h := \frac{2}{\sqrt{h_{\text{podp}}}} = 0.707$$

$$m := 2$$

- množství podpor v řadě

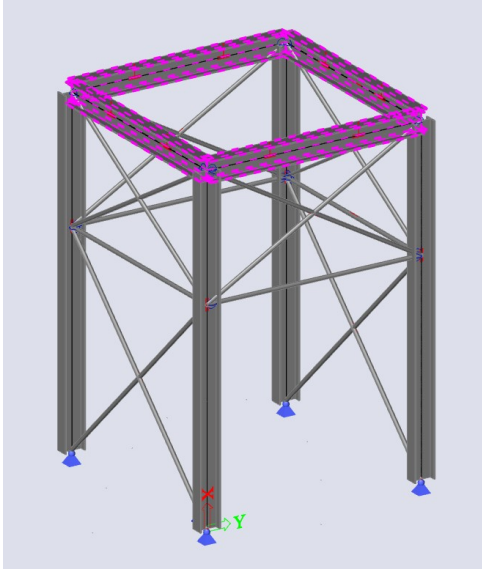
$$a_m := \sqrt{0.5 + \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 1.414$$

$$\varphi_0 := \frac{1}{200}$$

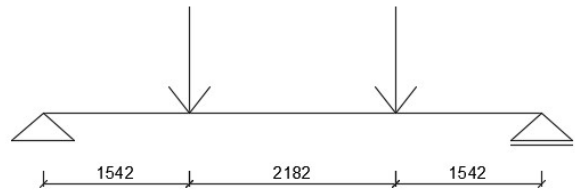
$$\varphi := \varphi_0 \cdot a_m \cdot a_h = 0.005 \text{ m/m} = 5 \text{ mm/m}$$

- Návrh a posouzení podpůrné konstrukce

- Návrh a posouzení vodorovných nosníků

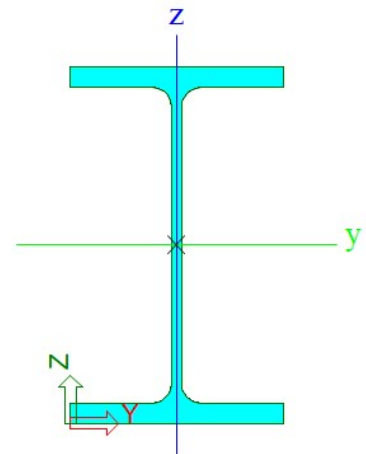


Statická schéma:



- Charakteristiky profilu - HEB550

$h_{p.1} = 550 \text{ mm}$	$A_{p.1} = (2.541 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$
$b_{p.1} = 300 \text{ mm}$	$A_{vz.p.1} = (1.001 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$
$I_{z.p.1} = (1.308 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$	$W_{y.pl.p.1} = (5.591 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$
$I_{t.p.1} = (6.123 \cdot 10^6) \text{ mm}^4$	$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$
$I_{w.p.1} := 1884 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$	$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 0.814$
$E := 210 \text{ GPa}$	$i_{y.p.1} = 232 \text{ mm}$
$G := 80 \text{ GPa}$	$i_{z.p.1} = 71.7 \text{ mm}$
$L := 5266 \text{ mm}$	Třída průřezu - 1
$L_{cr.y} := 2.182 \text{ m}$	
$L_{cr.z} := L = 5.266 \text{ m}$	



- Vnitřní síly z SW

$V_{Ed} := 872.08 \text{ kN}$
$M_{Ed} := 1341.93 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$N_{Ed} := 112.02 \text{ kN}$

MSÚ:

Smyk:

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_{vz.p.1} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2051.028 \text{ kN} > V_{Ed} = 872.08 \text{ kN} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{pl.Rd} > 2 \cdot V_{Ed} \quad - \text{ malý smyk}$$

Prostý ohyb:

$$M_{pl.Rd} := \frac{W_{y.pl.p.1} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 1984.805 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{Ed} = 1341.93 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

Tah:

$$N_{pl.Rd} := \frac{A_{p.1} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 9019.13 \text{ kN} > N_{Ed} = 112.02 \text{ kN} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Vzpěrné délky a součinitelé vzpěrnosti:

Štíhlost:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr.y}}{i_{y.p.1}} = 9.405 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr.z}}{i_{z.p.1}} = 73.445$$

- Poměrné štíhlosti

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.399$$

$$\lambda_{y.pruh} := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.123 \quad \lambda_{z.pruh} := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0.961$$

- Součinitel vzpěrnosti

$$\frac{h_{p.1}}{b_{p.1}} = 1.833 \quad 1.833 > 1.2$$

Vybočení kolmo k ose y-y - křivka a -  $\alpha_y := 0.21$

Vybočení kolmo k ose z-z - křivka b -  $\alpha_z := 0.34$

$$\Phi_y := 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\lambda_{y.pruh} - 0.2) + \lambda_{y.pruh}^2) = 0.5$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{y.pruh}^2}} = 1.017 \quad - \quad \chi_y := 1$$

$$\Phi_z := 0.5 \cdot (1 + \alpha_z \cdot (\lambda_{z.pruh} - 0.2) + \lambda_{z.pruh}^2) = 1.092$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{z.pruh}^2}} = 0.622$$

Klopení:

$$k_w := 1.0 \quad k_z := 1.0 \quad k_y := 1.0$$

$$k_{wt} := \frac{\eta}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{w,p.1}}{G \cdot I_{t,p.1}}} = 0.536$$

$$C_1 := C_{1.0} + (C_{1.1} - C_{1.0}) \cdot k_{wt} = 1.13$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2} = 1.282$$

$$C_{1.0} = 1.13 \quad C_{1.1} := C_{1.0} = 1.13$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\eta \cdot \sqrt{E \cdot I_{z,p.1} \cdot G \cdot I_{t,p.1}}}{L} = 2805.794 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\lambda_{LT,pruh} := \sqrt{\frac{W_{y,pl,p.1} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} = 0.841$$

- Součinitel vzpěrnosti

$$\frac{h_{p.1}}{b_{p.1}} = 1.833 \quad 1.833 \leq 2 \quad \text{křivka klopení - a}$$

$$\alpha_{LT} := 0.21 \quad \text{- součinitel imperfekce při klopení}$$

$$\lambda_{LT,pruh.0} := 0.4 \quad \beta := 0.75$$

$$\Phi_{LT} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT,pruh} - \lambda_{LT,pruh.0}) + \beta \cdot \lambda_{LT,pruh}^2) = 0.812$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT,pruh}^2}} = 0.855$$

$$\chi_{LT} \leq 1 \quad \text{a} \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT,pruh}^2}$$

$$\chi_{LT} = 0.855 < 1 \quad \text{a} \quad \chi_{LT} = 0.855 < \frac{1}{\lambda_{LT,pruh}^2} = 1.414$$

$$M_{b,Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl,p.1} \cdot f_{yk}}{Y_{M1}} = (1.543 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{Ed} = (1.342 \cdot 10^3) \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \text{- OK}$$

- Kombinace ohybu a tlaku:

$$C_{my} := 0.95$$

$$C_{mLT} := C_{my}$$

- Interakční součinitele pro klopící nosník:

$$k_{yy} := \min \left( C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda_{y.pruh} - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{pl.Rd}}{Y_{M1}}} \right), \left( C_{my} \cdot \left( 1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{pl.Rd}}{Y_{M1}}} \right) \right) \right) = 0.949$$

$$k_{zy} := \min \left( \left( 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_{z.pruh}}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{pl.Rd}}{Y_{M1}}} \right), \left( 1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{pl.Rd}}{Y_{M1}}} \right) \right) = 0.997$$

- Prvek musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{pl.Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot M_{pl.Rd}} = 0.763 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{pl.Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{X_{LT} \cdot M_{pl.Rd}} = 0.808 < 1.0$$

- Zároveň je nezbytné splnit podmínku únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl.Rd}} = 0.689 < 1.0$$

Navržený nosník **VYHOVUJE**

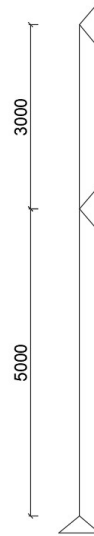
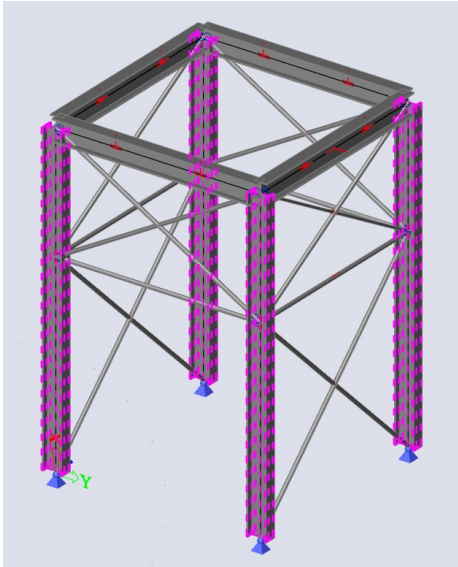
MSP:

$$u_{z.lim} := \frac{1}{400} \cdot L = 13.165 \text{ mm} > u_{z.model} := 11.4 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$



- Návrh a posouzení sloupů

Statická schéma:



- Charakteristiky profilu - HEB360

$$h_{p,2} = 360 \text{ mm}$$

$$A_{p,2} = (1.806 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$b_{p,2} = 300 \text{ mm}$$

$$A_{vz,p,2} = (6.06 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$I_{z,p,2} = (1.014 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl,p,2} = (2.683 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$I_{t,p,2} = (2.979 \cdot 10^6) \text{ mm}^4 \quad f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$I_{w,p,2} := 1884 \cdot 10^9 \text{ mm}^6 \quad \varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 0.814$$

$$E := 210 \text{ GPa}$$

$$i_{y,p,2} = 154.6 \text{ mm}$$

$$G := 80 \text{ GPa}$$

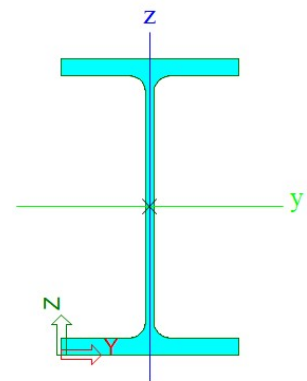
$$i_{z,p,2} = 74.9 \text{ mm}$$

$$L := 8000 \text{ mm}$$

Třída průřezu - 1

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

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



- Vnitřní síly z SW

$$V_{Ed} := 73.37 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} := 267.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Ed} := 1852.51 \text{ kN}$$

MSÚ:

Smyk:

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_{vz.p.2} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1242.054 \text{ kN} > V_{Ed} = 73.37 \text{ kN} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{pl.Rd} > 2 \cdot V_{Ed} \quad - \text{ malý smyk}$$

Prostý ohyb:

$$M_{pl.Rd} := \frac{W_{y.pl.p.2} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 952.465 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_{Ed.y} = 267.79 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

Tah:

$$N_{pl.Rd} := \frac{A_{p.2} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 6412.365 \text{ kN} > N_{Ed} = 1852.51 \text{ kN} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Vzpěrné délky a součinitelé vzpěrnosti:

Štíhlost:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr.y}}{i_{y.p.2}} = 32.342 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr.z}}{i_{z.p.2}} = 66.756$$

- Poměrné štíhlosti

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.399$$

$$\lambda_{y.pruh} := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.423 \quad \lambda_{z.pruh} := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0.874$$

- Součinitel vzpěrnosti

$$\frac{h_{p.2}}{b_{p.2}} = 1.2 \quad 1.2 \leq 1.2$$

Vybočení kolmo k ose y-y - křivka b -  $\alpha_y := 0.34$

Vybočení kolmo k ose z-z - křivka c -  $\alpha_z := 0.49$

$$\Phi_y := 0.5 \cdot \left( 1 + \alpha_y \cdot (\lambda_{y.pruh} - 0.2) + \lambda_{y.pruh}^2 \right) = 0.628$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{y.pruh}^2}} = 0.917$$

$$\Phi_z := 0.5 \cdot \left( 1 + \alpha_z \cdot (\lambda_{z.pruh} - 0.2) + \lambda_{z.pruh}^2 \right) = 1.047$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{z.pruh}^2}} = 0.616$$

- Vzpěr:

$$N_{b.Rd.y} := \chi_y \cdot N_{pl.Rd} = (5.878 \cdot 10^3) \text{ kN} > N_{Ed} = (1.853 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$N_{b.Rd.z} := \chi_z \cdot N_{pl.Rd} = (3.95 \cdot 10^3) \text{ kN} > N_{Ed} = (1.853 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

- Klopení:

$$k_w := 1.0 \quad k_z := 1.0 \quad k_y := 1.0 \quad C_{1.0} := 1.35 \quad C_{1.1} := 1.36$$

$$k_{wt} := \frac{\eta}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{w.p.2}}{G \cdot I_{t.p.2}}} = 0.506$$

$$C_1 := C_{1.0} + (C_{1.1} - C_{1.0}) \cdot k_{wt} = 1.355$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2} = 1.519$$

$$C_{1.0} = 1.35 \quad C_{1.1} := C_{1.0} = 1.35$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\eta \cdot \sqrt{E \cdot I_{z.p.2} \cdot G \cdot I_{t.p.2}}}{L_{cr,y}} = 2149.532 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\lambda_{LT.pruh} := \sqrt{\frac{W_{y.pl.p.2} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} = 0.666$$

- Součinitel vzpěrnosti

$$\frac{h_{p.2}}{b_{p.2}} = 1.2 \quad 1.2 \leq 2 \quad \text{křivka klopení - a}$$

$$\alpha_{LT} := 0.21 \quad \text{- součinitel imperfekce při klopení}$$

$$\lambda_{LT.pruh.0} := 0.4 \quad \beta := 0.75$$

$$\Phi_{LT} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT.pruh} - \lambda_{LT.pruh.0}) + \beta \cdot \lambda_{LT.pruh}^2) = 0.694$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT.pruh}^2}} = 0.925$$

$$\chi_{LT} \leq 1 \quad \text{a} \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT.pruh}^2}$$

$$\chi_{LT} = 0.925 < 1 \quad \text{a} \quad \chi_{LT} = 0.925 < \frac{1}{\lambda_{LT.pruh}^2} = 2.257$$

$$M_{b.Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y.pl.p.2} \cdot f_{yk}}{Y_{M1}} = 801.318 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_{Ed,y} = 267.79 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{- OK}$$

- Kombinace ohybu a tlaku:

$$C_{mz} := 0.6$$

$$C_{my} := 0.6$$

$$C_{mLT} := C_{my}$$

- Interakční součinitele pro klopící nosník:

$$k_{yy} := \min \left( C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda_{y,\text{pruh}} - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{pl.Rd}}{Y_{M1}}} \right), \left( C_{my} \cdot \left( 1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{pl.Rd}}{Y_{M1}}} \right) \right) \right) = 0.646$$

$$k_{zy} := \min \left( \left( 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_{z,\text{pruh}}}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{pl.Rd}}{Y_{M1}}} \right), \left( 1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{pl.Rd}}{Y_{M1}}} \right) \right) = 0.853$$

- Prvek musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{pl.Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed,y}}{X_{LT} \cdot M_{pl.Rd}} = 0.512 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{pl.Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed,y}}{X_{LT} \cdot M_{pl.Rd}} = 0.728 < 1.0$$

- Zároveň je nezbytné splnit podmínku únosnosti pro průřez:

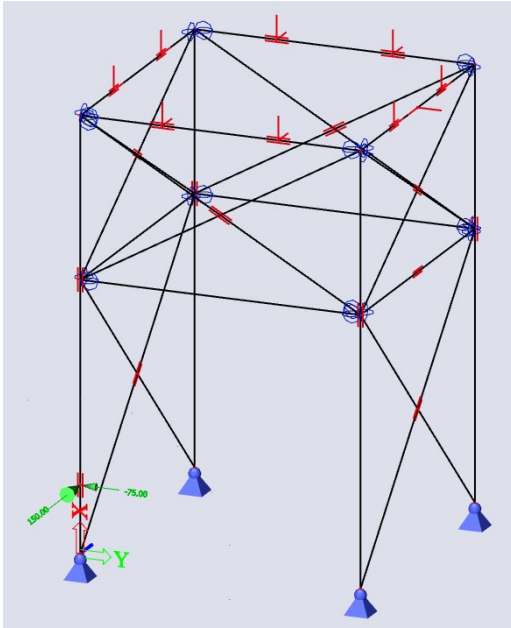
$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} + \frac{M_{Ed,y}}{M_{pl.Rd}} = 0.57 < 1.0$$

Navržený nosník **VYHOVUJE**

MSP:

$$u_{z,\text{lim}} := \frac{1}{300} \cdot L = 26.667 \text{ mm} > u_{\text{model}} := 4.8 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Návrh a posouzení sloupů, mimořádná kombinace



Mimořádná kombinace:

- Vlastní tíha + 0.8 \* Zat. od materiálu +  
Náraz vozidla

$F_x := 150 \text{ kN}$       Náraz ve směru jízdy

$F_y := 150 \text{ kN}$       Náraz kolmo ke směru jízdy

$h_{\text{náraz}} := 1.25 \text{ m}$       Výška nárazu

- Charakteristiky profilu - HEB360

$$h_{p,2} = 360 \text{ mm} \quad A_{p,2} = (1.806 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$b_{p,2} = 300 \text{ mm} \quad A_{vz,p,2} = (6.06 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$I_{z,p,2} = (1.014 \cdot 10^8) \text{ mm}^4 \quad W_{y,pl,p,2} = (2.683 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$I_{t,p,2} = (2.979 \cdot 10^6) \text{ mm}^4 \quad f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$I_{w,p,2} := 1884 \cdot 10^9 \text{ mm}^6 \quad \varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yk}}} = 0.814$$

$$E := 210 \text{ GPa} \quad i_{y,p,2} = 154.6 \text{ mm}$$

$$G := 80 \text{ GPa} \quad i_{z,p,2} = 74.9 \text{ mm}$$

$$L := 8000 \text{ mm} \quad \text{Třída průřezu - 1}$$

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

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

- Vnitřní síly z SW

$$V_{Ed,z} := 116.61 \text{ kN} \quad V_{Ed,y} := 102.4 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} := 145.05 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{Ed,z} := 121.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Ed} := 903 \text{ kN}$$

MSÚ:

Smyk:

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_{vz.p.2} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot Y_{M0}} = 1242.054 \text{ kN} > V_{Ed,y} = 102.4 \text{ kN} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{pl.Rd} > 2 \cdot V_{Ed} \quad - \text{ malý smyk}$$

Prostý ohyb:

$$M_{pl.Rd,y} := \frac{W_{y.pl.p.2} \cdot f_{yk}}{Y_{M0}} = 952.465 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_{Ed,y} = 145.05 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$M_{pl.Rd,z} := \frac{W_{z.pl.p.2} \cdot f_{yk}}{Y_{M0}} = 366.36 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_{Ed,z} = 121.3 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

Tah:

$$N_{pl.Rd} := \frac{A_{p.2} \cdot f_{yk}}{Y_{M0}} = 6412.365 \text{ kN} > N_{Ed} = 903 \text{ kN} \quad - \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Vzpěrné délky a součinitelé vzpěrnosti:

Štíhlost:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i_{y.p.2}} = 32.342 \quad \lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i_{z.p.2}} = 66.756$$

- Poměrné štíhlosti

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.399$$

$$\lambda_{y,pruh} := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.423 \quad \lambda_{z,pruh} := \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0.874$$

- Součinitel vzpěrnosti

$$\frac{h_{p.2}}{b_{p.2}} = 1.2 \quad 1.2 \leq 1.2$$

Vybočení kolmo k ose y-y - křivka b -  $\alpha_y := 0.34$

Vybočení kolmo k ose z-z - křivka c -  $\alpha_z := 0.49$

$$\Phi_y := 0.5 \cdot \left( 1 + \alpha_y \cdot (\lambda_{y,pruh} - 0.2) + \lambda_{y,pruh}^2 \right) = 0.628$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{y,pruh}^2}} = 0.917$$

$$\Phi_z := 0.5 \cdot \left( 1 + \alpha_z \cdot (\lambda_{z,pruh} - 0.2) + \lambda_{z,pruh}^2 \right) = 1.047$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_{z,pruh}^2}} = 0.616$$

- Vzpěr:

$$N_{b.Rd.y} := \chi_y \cdot N_{pl.Rd} = (5.878 \cdot 10^3) \text{ kN} > N_{Ed} = 903 \text{ kN}$$

$$N_{b.Rd.z} := \chi_z \cdot N_{pl.Rd} = (3.95 \cdot 10^3) \text{ kN} > N_{Ed} = 903 \text{ kN}$$

- Klopení:

$$k_w := 1.0 \quad k_z := 1.0 \quad k_y := 1.0$$

$$k_{wt} := \frac{\eta}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{w.p.2}}{G \cdot I_{t.p.2}}} = 0.506$$

$$C_1 := C_{1.0} + (C_{1.1} - C_{1.0}) \cdot k_{wt} = 1.35$$

$$\mu_{cr} := \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2} = 1.513$$

$$C_{1.0} = 1.35 \quad C_{1.1} := C_{1.0} = 1.35$$

$$M_{cr} := \mu_{cr} \cdot \frac{\eta \cdot \sqrt{E \cdot I_{z.p.2} \cdot G \cdot I_{t.p.2}}}{L} = 1338.441 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\lambda_{LT.pruh} := \sqrt{\frac{W_{y.pl.p.2} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} = 0.844$$

- Součinitel vzpěrnosti

$$\frac{h_{p.2}}{b_{p.2}} = 1.2 \quad 1.2 \leq 2 \quad \text{křivka klopení - a}$$

$$\alpha_{LT} := 0.21 \quad \text{- součinitel imperfekce při klopení}$$

$$\lambda_{LT.pruh.0} := 0.4 \quad \beta := 0.75$$

$$\Phi_{LT} := 0.5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT.pruh} - \lambda_{LT.pruh.0}) + \beta \cdot \lambda_{LT.pruh}^2) = 0.813$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT.pruh}^2}} = 0.854$$

$$\chi_{LT} \leq 1 \quad \text{a} \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT.pruh}^2}$$

$$\chi_{LT} = 0.854 < 1 \quad \text{a} \quad \chi_{LT} = 0.854 < \frac{1}{\lambda_{LT.pruh}^2} = 1.405$$

$$M_{b.Rd} := \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y.pl.p.2} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 739.342 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_{Ed.y} = 145.05 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{- OK}$$

- Kombinace ohybu a tlaku:

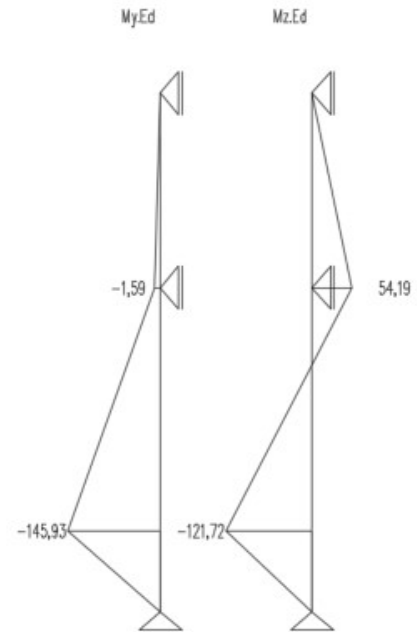
$$M_{s,z} := -145.93 \text{ kN} \quad M_{s,y} := -121.72 \text{ kN}$$

$$M_{h,z} := -1.59 \text{ kN} \quad M_{h,y} := 54.19 \text{ kN}$$

$$C_{my} := 0.9 + 0.1 \cdot \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = 0.855$$

$$C_{my} := 0.9 + 0.1 \cdot \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = 0.901$$

$$C_{mz} := 0.9 + 0.1 \cdot \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = 0.855$$



obr. 11 - My a Mz od mimořádné komb.

- Interakční součinitele pro nosník:

$$k_{yy} := \min \left( C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda_{y,\text{pruh}} - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{pl,Rd}}{Y_{M1}}} \right), \left( C_{my} \cdot \left( 1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_y \cdot \frac{N_{pl,Rd}}{Y_{M1}}} \right) \right) \right) = 0.935$$

$$k_{zy} := \min \left( \left( 1 - \frac{0.1 \cdot \lambda_{z,\text{pruh}}}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{pl,Rd}}{Y_{M1}}} \right), \left( 1 - \frac{0.1}{(C_{mLT} - 0.25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{pl,Rd}}{Y_{M1}}} \right) \right) = 0.928$$

$$k_{zz} := \min \left( C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda_{y,\text{pruh}} - 0.6) \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{pl,Rd}}{Y_{M1}}} \right), C_{mz} \cdot \left( 1 + 1.4 \cdot \frac{N_{Ed}}{X_z \cdot \frac{N_{pl,Rd}}{Y_{M1}}} \right) \right) = 0.909$$

$$k_{yz} := 0.6 \cdot k_{zz} = 0.545$$

- Prvek musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed,y}}{X_{LT} \cdot W_{y,pl,p.2} \cdot f_{yk}} \cdot k_{yz} \cdot \frac{M_{Ed,z}}{W_{z,pl,p.2} \cdot f_{yk}} = 0.184 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{pl,Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed,y}}{X_{LT} \cdot W_{y,pl,p.2} \cdot f_{yk}} \cdot k_{zz} \cdot \frac{M_{Ed,z}}{W_{z,pl,p.2} \cdot f_{yk}} = 0.278 < 1.0$$

- Zároveň je nezbytné splnit podmínku únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed,y}}{W_{y,pl,p.2} \cdot f_{yk}} + \frac{M_{Ed,z}}{W_{z,pl,p.2} \cdot f_{yk}} = 0.624 < 1.0$$

Navržený nosník **VYHOVUJE**



- Návrh a posouzení ztužidel

CHS139.7x5.0 - Dílec B60

Vnitřní síly:

$$N_{Ed,tlak} := 200 \text{ kN}$$

Vzpěrné délky a součinitele vzpěrnosti

$$L_{cr,y} := 6061 \text{ mm}$$

Charakteristiky profilu:

$$d_{t,1} = 139.7 \text{ mm}$$

$$A_{t,1} = (2.116 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$t_{t,1} = 5 \text{ mm}$$

$$i_{t,1} = 47.7 \text{ mm}$$

$$I_{t,1} = (4.805 \cdot 10^6) \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,t,1} = (9.076 \cdot 10^4) \text{ mm}^3$$

$$I_{t,t,1} = (9.611 \cdot 10^6) \text{ mm}^4$$

Štíhlost:

$$\lambda_y := \frac{L_{cr,y}}{i_{t,1}} = 127.065$$

- Poměrné štíhlosti

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \varepsilon = 76.399$$

$$\lambda_{y,pruh} := \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1.663$$

Vybočení kolmo k osám - křivka a -  $\alpha_y := 0.21$

$$\Phi_y := 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\lambda_{y,pruh} - 0.2) + \lambda_{y,pruh}^2) = 2.037$$

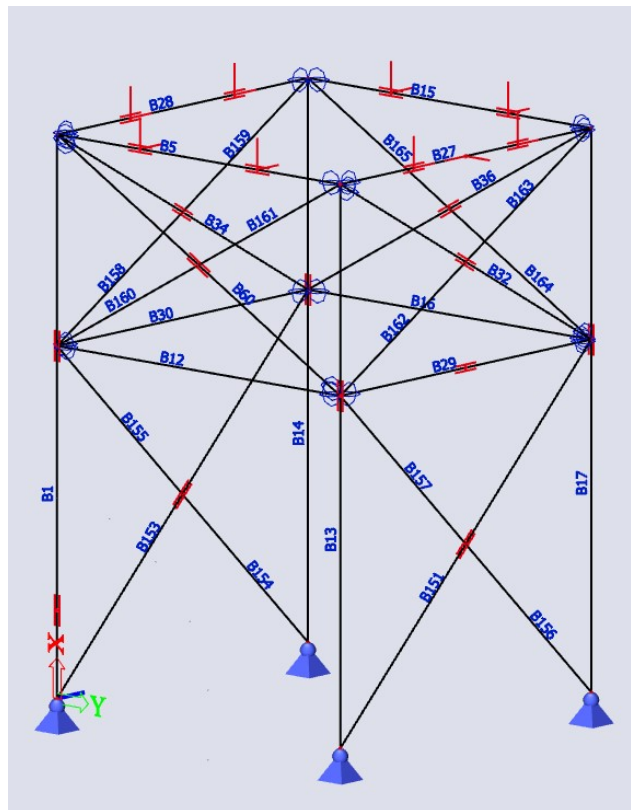
$$X_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_{y,pruh}^2}} = 0.311$$

$$N_{b,Rd} := \frac{X_y \cdot A_{t,1} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 212.584 \text{ kN}$$

>

$$N_{Ed,tlak} = 200 \text{ kN}$$

VYHOVUJE



Všechny ostatní ztužující prvky byly spočítány stejným postupem.

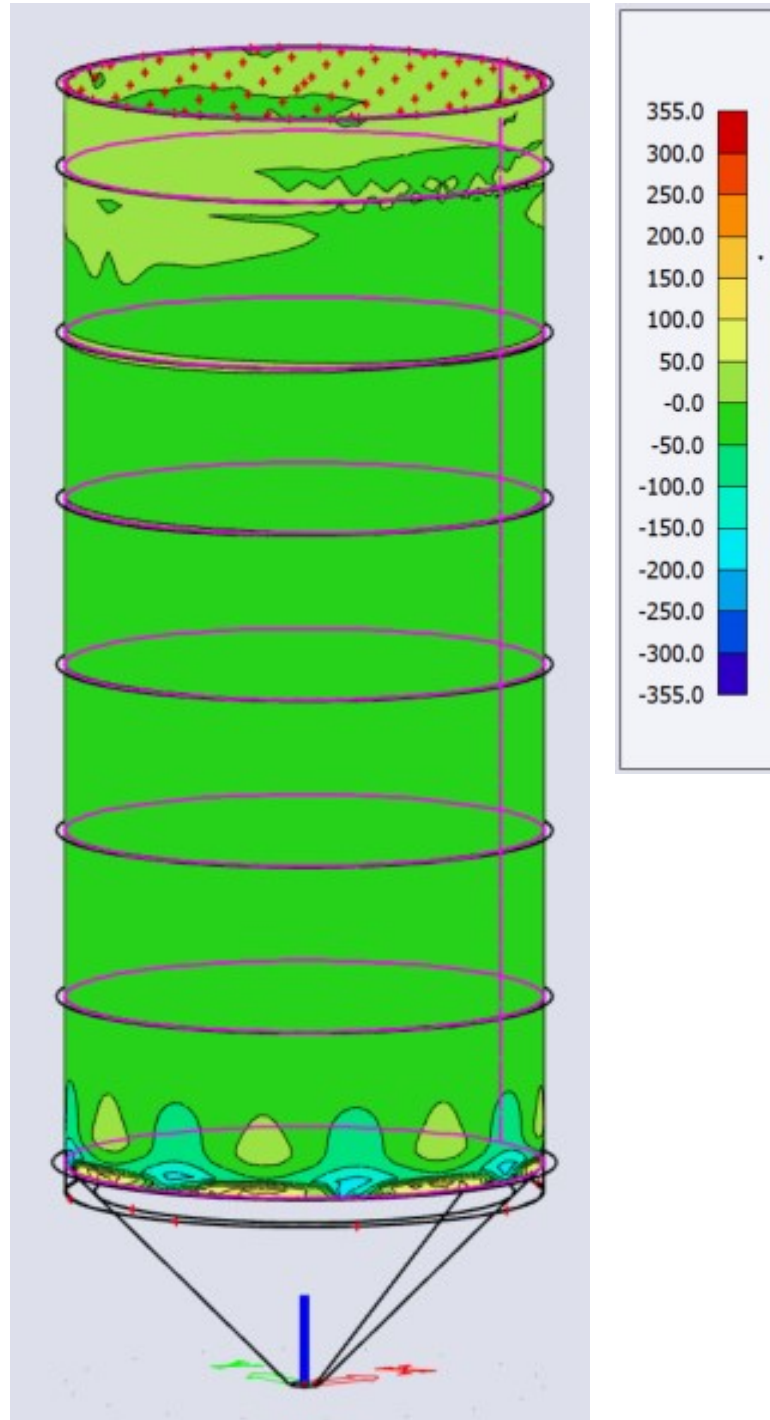
Druh	Jméno	Stav	NED.c [kN]	NED.t [kN]	L [mm]	$\lambda$ [-]	$\lambda_1$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\Phi$ [-]	$\chi$ [-]	A [mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [MPa]	Nrd [kN]	výužití [%]
CHS88,9x5,0	B12	NK_K.4		20.54	5266	177.31	76.40				1318	355	467.89	4.39
	B12		0.00		5266	177.31	76.40	2.321	3.42	0.17	1318	355	79.01	0.00
CHS88,9x5,0	B16	NK_K.4		21.58	5266	177.31	76.40				1318	355	467.89	4.61
	B16		0.00		5266	177.31	76.40	2.321	3.42	0.17	1318	355	79.01	0.00
CHS88,9x5,0	B29	NK_K.1		45.43	5266	177.31	76.40				1318	355	467.89	9.71
	B29		0.00		5266	177.31	76.40	2.321	3.42	0.17	1318	355	79.01	0.00
CHS88,9x5,0	B30	NK_K.4		41.52	5266	177.31	76.40				1318	355	467.89	8.87
	B30		0.00		5266	177.31	76.40	2.321	3.42	0.17	1318	355	79.01	0.00
CHS139,7x5,0	B32	NK_K.9		0.00	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	0.00
	B32		-60.34		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	25.47
CHS139,7x5,0	B34	NK_K.9		0.00	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	0.00
	B34		-66.67		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	28.14
CHS139,7x5,0	B36	NK_K.2		141.38	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	18.79
	B36		-9.40		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	3.97
CHS139,7x5,0	B60	NK_K.2		0.00	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	0.00
	B60		-200.02		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	84.43
CHS139,7x5,0	B158	NK_K.9		41.87	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	5.56
	B158		-5.20		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	2.20
CHS139,7x5,0	B159	NK_K.9		43.52	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	5.78
	B159		-3.55		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	1.50
CHS139,7x5,0	B160	NK_K.2		139.11	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	18.48
	B160		-5.92		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	2.50
CHS139,7x5,0	B161	NK_K.2		144.86	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	19.25
	B161		-3.29		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	1.39
CHS139,7x5,0	B162	NK_K.6		35.61	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	4.73
	B162		-4.84		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	2.04
CHS139,7x5,0	B163	NK_K.5		37.94	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	5.04
	B163		-2.89		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	1.22
CHS139,7x5,0	B164	NK_K.2		0.00	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	0.00
	B164		-199.06		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	84.03
CHS139,7x5,0	B165	NK_K.2		0.00	6061	126.27	76.40				2120	355	752.60	0.00
	B165		-194.26		6061	126.27	76.40	1.653	2.02	0.31	2120	355	236.89	82.00
CHS139,7x5,0	B151	NK_K.9		13.84	7262	151.29	76.40				2120	355	752.60	1.84
	B151		-68.43		7262	151.29	76.40	1.980	2.65	0.23	2120	355	170.84	40.05
CHS139,7x5,0	B153	NK_K.1		23.52	7262	151.29	76.40				2120	355	752.60	3.13
	B153		-51.29		7262	151.29	76.40	1.980	2.65	0.23	2120	355	170.84	30.02
CHS139,7x5,0	B154	NK_K.9		0.00	7262	151.29	76.40				2120	355	752.60	0.00
	B154		-125.69		7262	151.29	76.40	1.980	2.65	0.23	2120	355	170.84	73.57
CHS139,7x5,0	B155	NK_K.9		0.00	7262	151.29	76.40				2120	355	752.60	0.00
	B155		-125.69		7262	151.29	76.40	1.980	2.65	0.23	2120	355	170.84	73.57
CHS139,7x5,0	B156	NK_K.8		0.00	7262	151.29	76.40				2120	355	752.60	0.00
	B156		-123.63		7262	151.29	76.40	1.980	2.65	0.23	2120	355	170.84	72.36
CHS139,7x5,0	B157	NK_K.8		0.00	7262	151.29	76.40				2120	355	752.60	0.00
	B157		-123.63		7262	151.29	76.40	1.980	2.65	0.23	2120	355	170.84	72.36

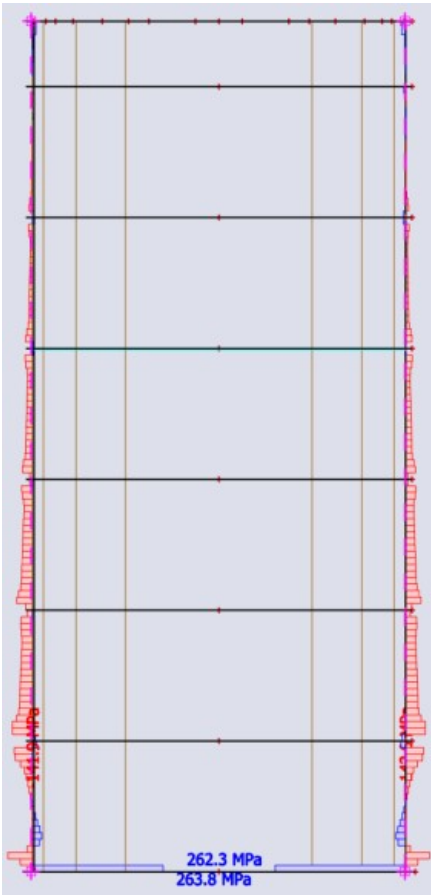
tab. 12 - Posudky jednotlivých ztužidel

## 12. Výsledky výpočtu ve SCIA Engineer

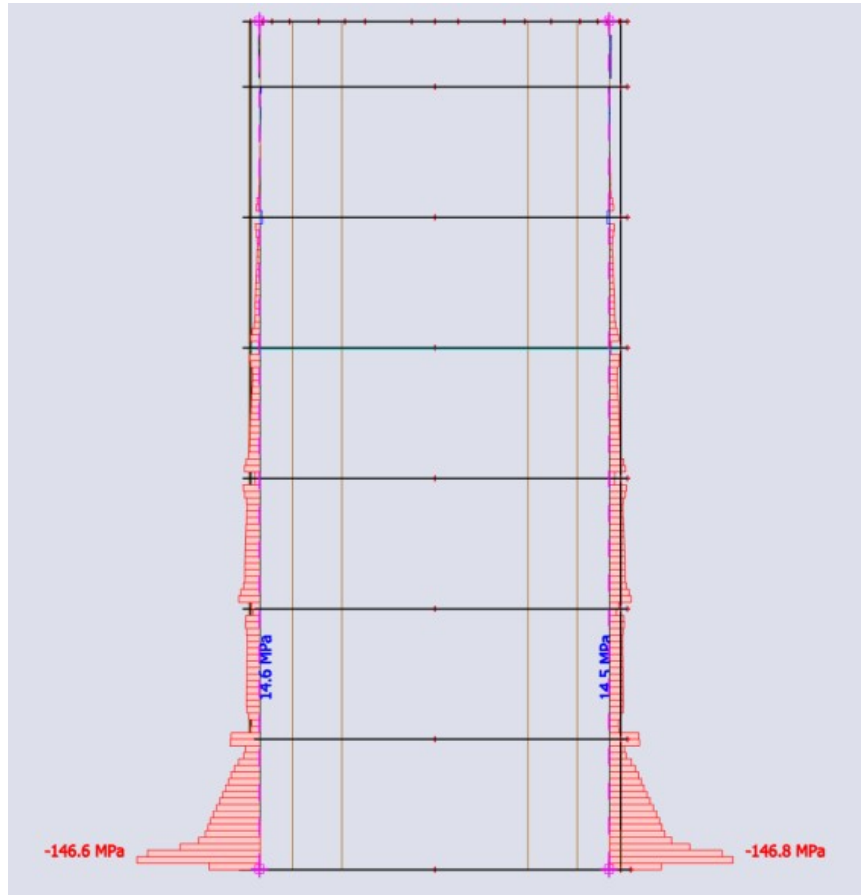
Poznámka: v oblasti uložení dochází k lokálním zvýšením napětí

- Osový tlak: vnitřní povrch

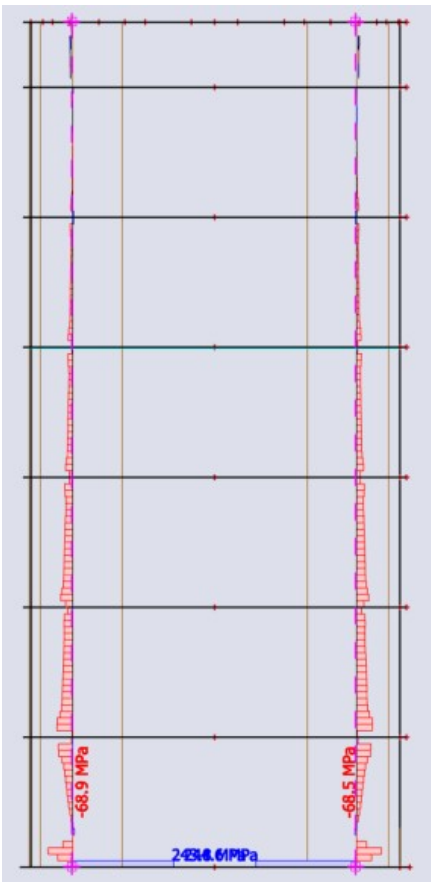




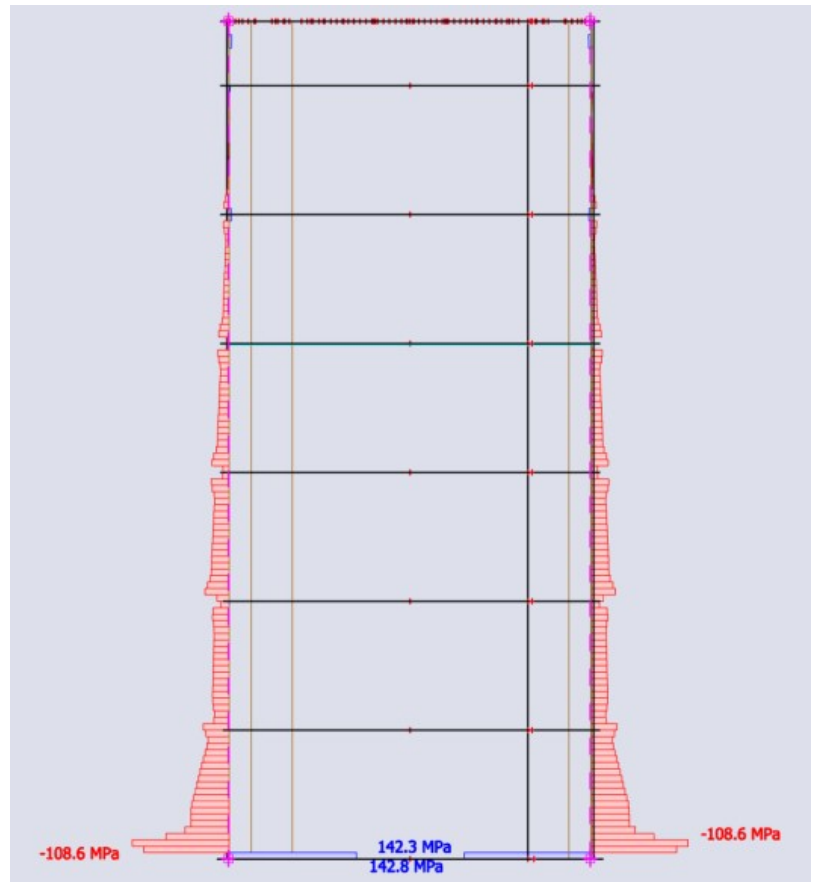
ŘEZ 0° - vnitřní povrch



ŘEZ 20° - vnitřní povrch

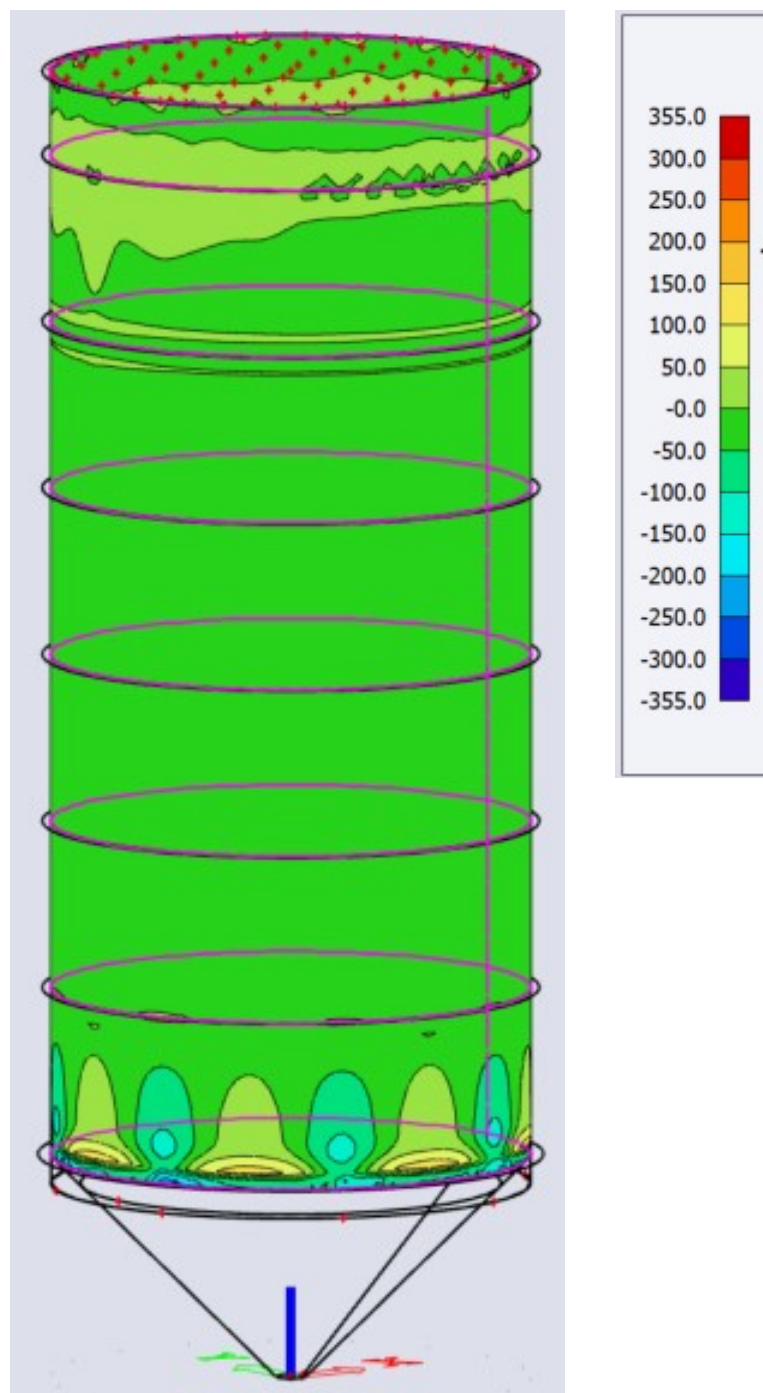


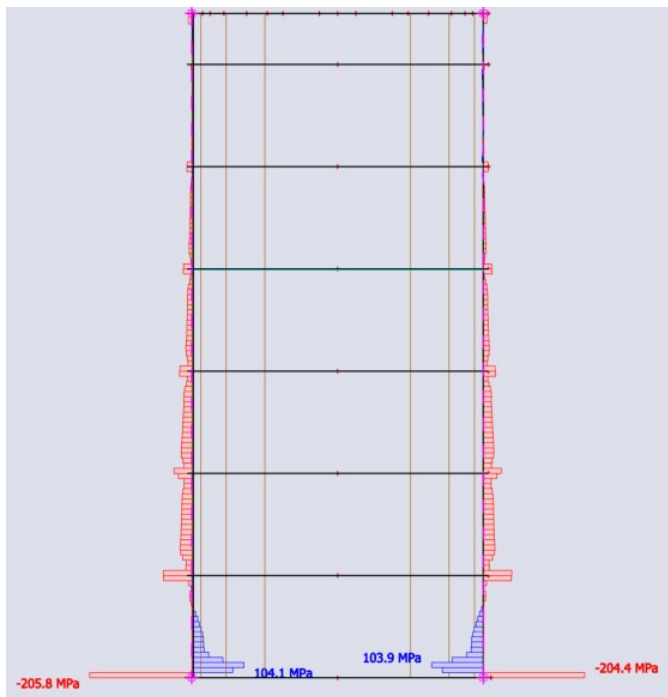
ŘEZ 40° - vnitřní povrch



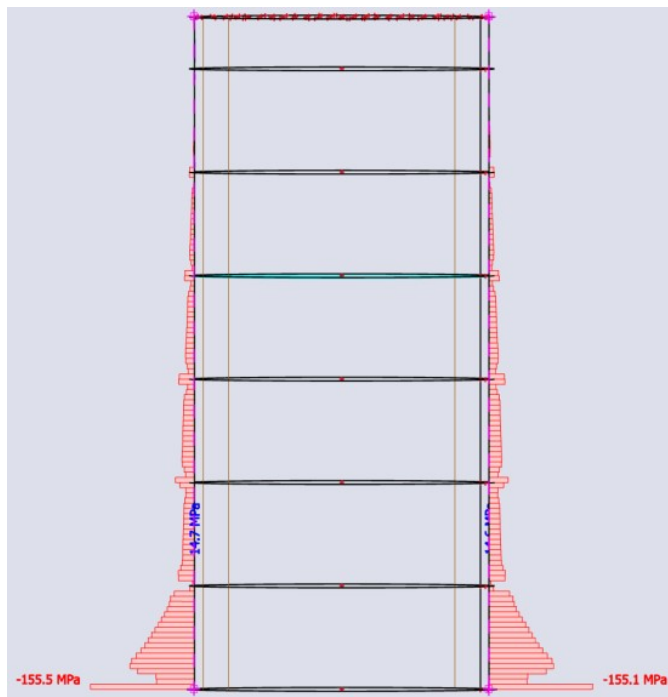
ŘEZ 60° - vnitřní povrch

- Osový tlak: vnější povrh

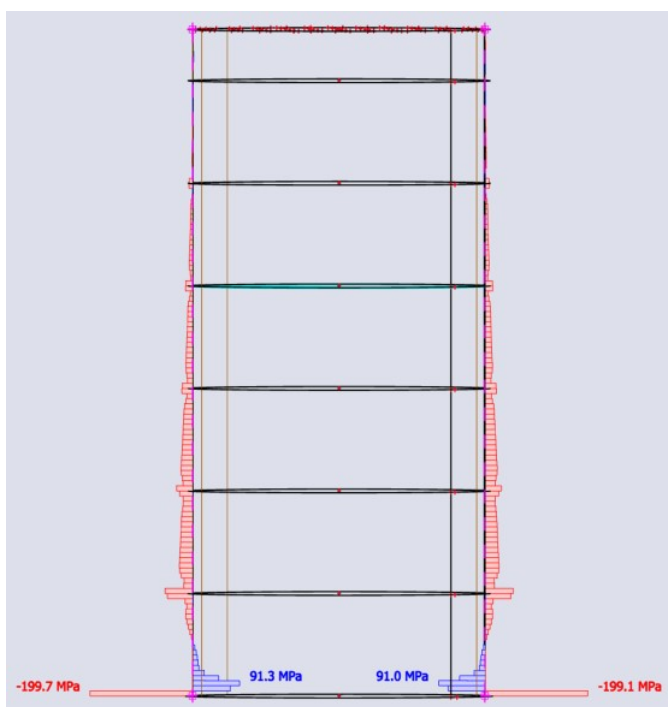




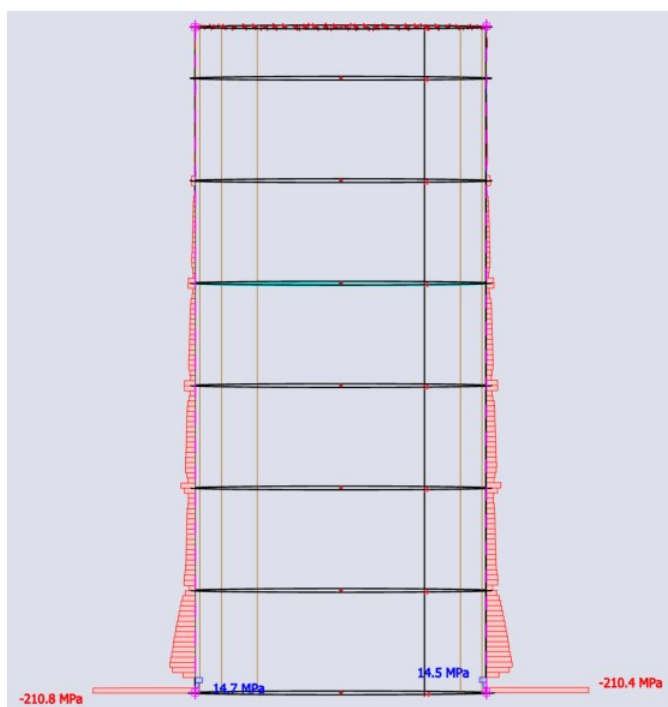
ŘEZ 0° - vnější povrch



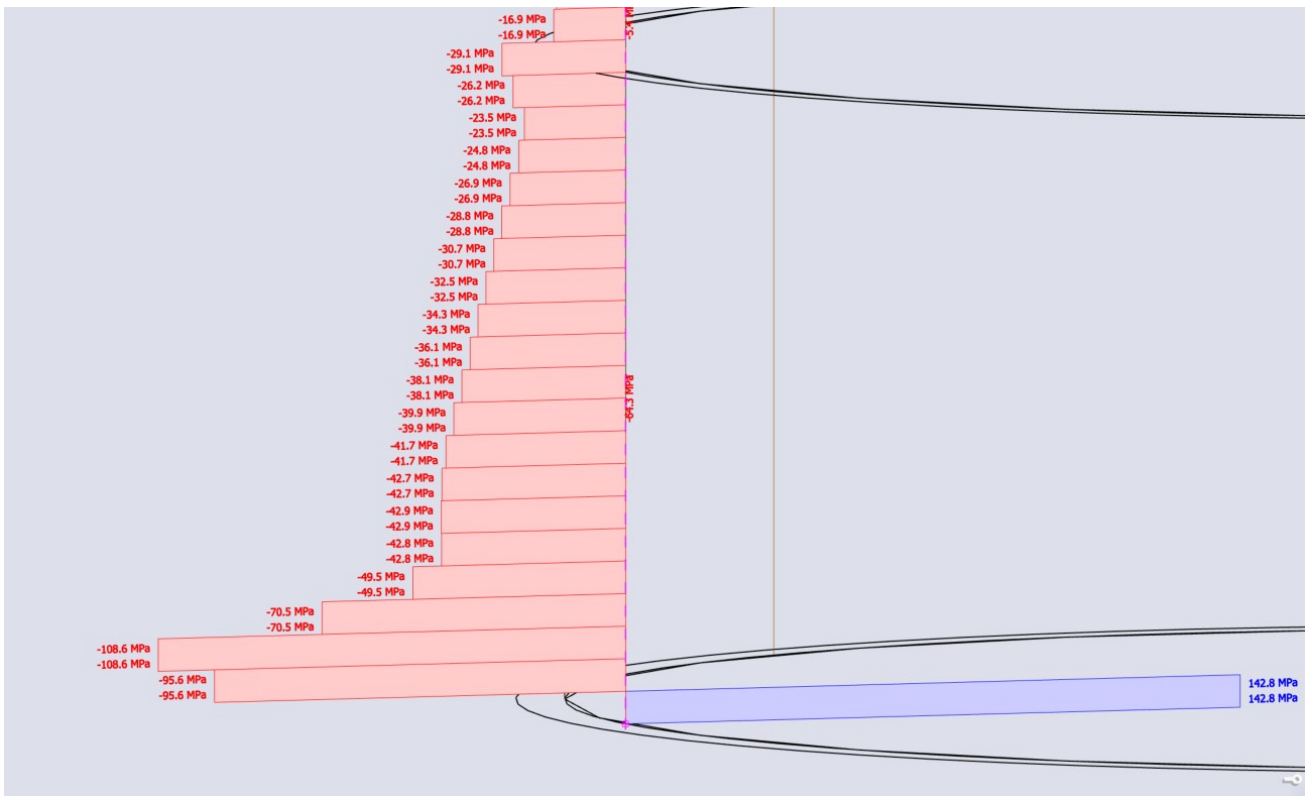
ŘEZ 20° - vnější povrch



ŘEZ 40° - vnější povrch

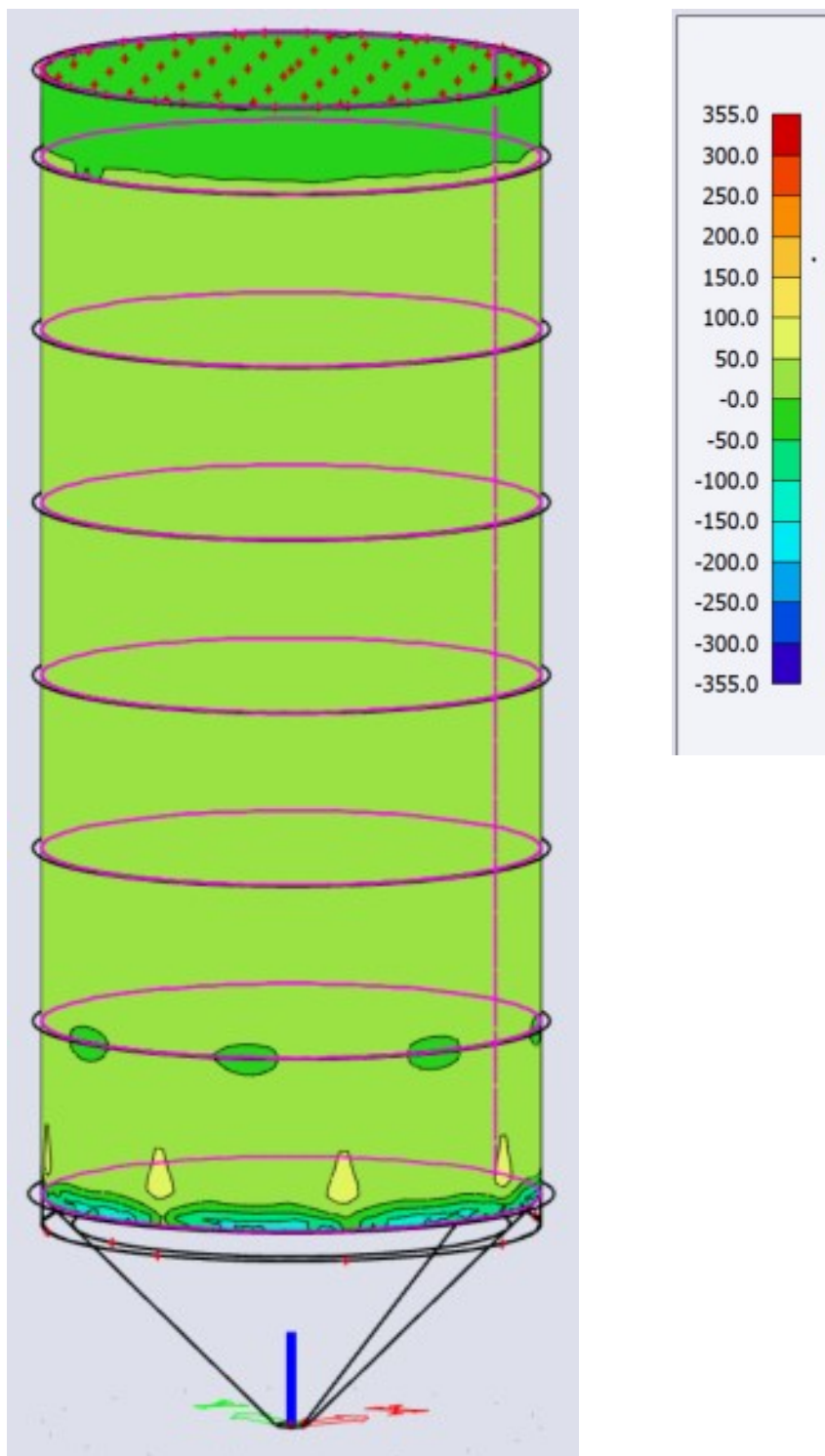


ŘEZ 60° - vnější povrch

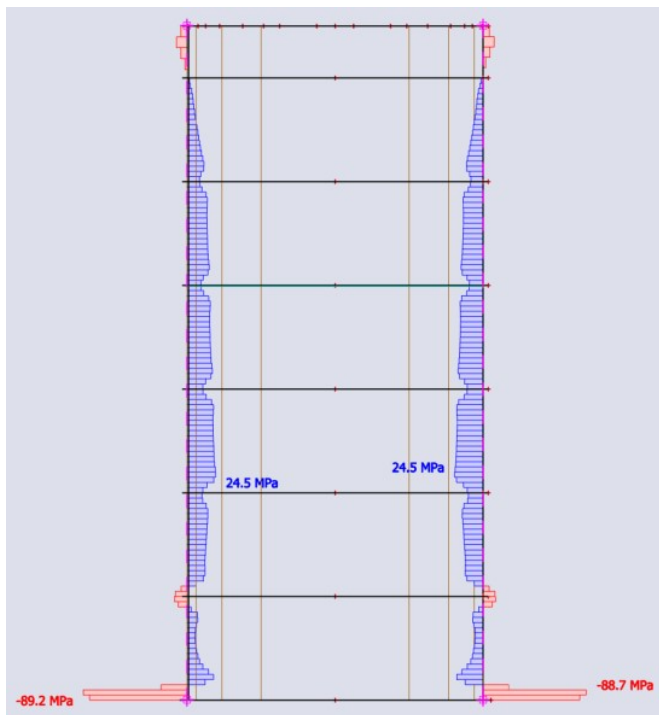


Po cele výšce stěny zásobníku napětí konstantně narůstá do hodnot cca 30MPa, což se rovná hodnotám ručního výpočtu  $\sigma_{x,d.1} = -31.083 \text{ MPa}$  rozdílem do 10%.

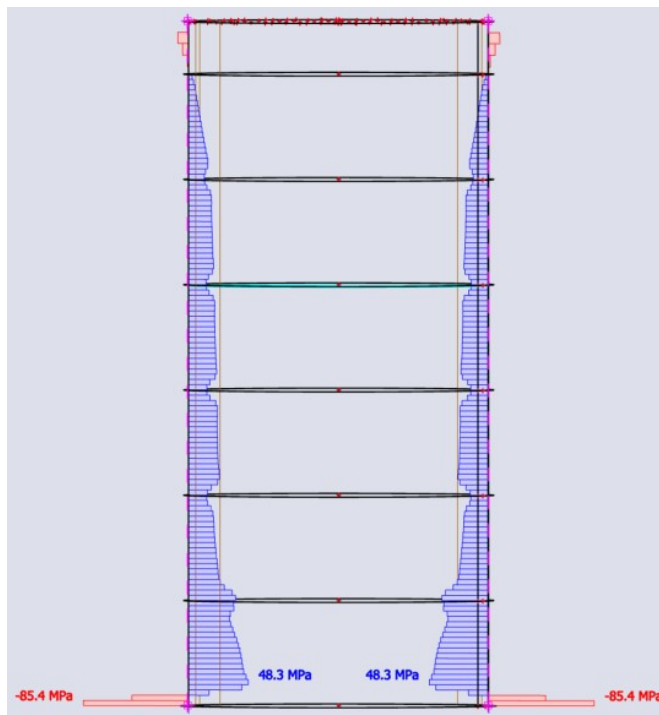
- Obvodový tlak: vnější povrch



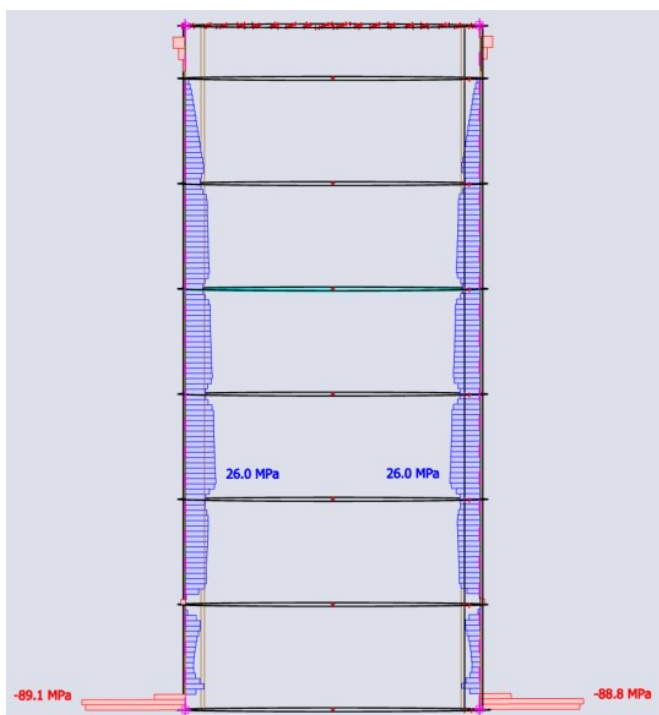




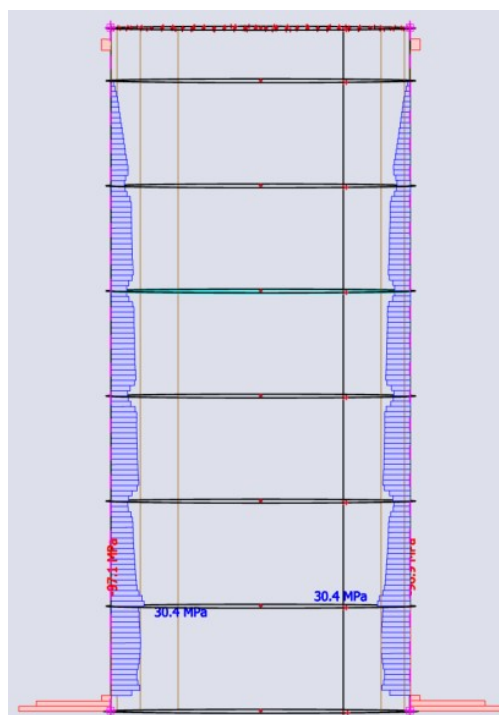
ŘEZ 0° - vnitřní povrch



ŘEZ 20° - vnitřní povrch

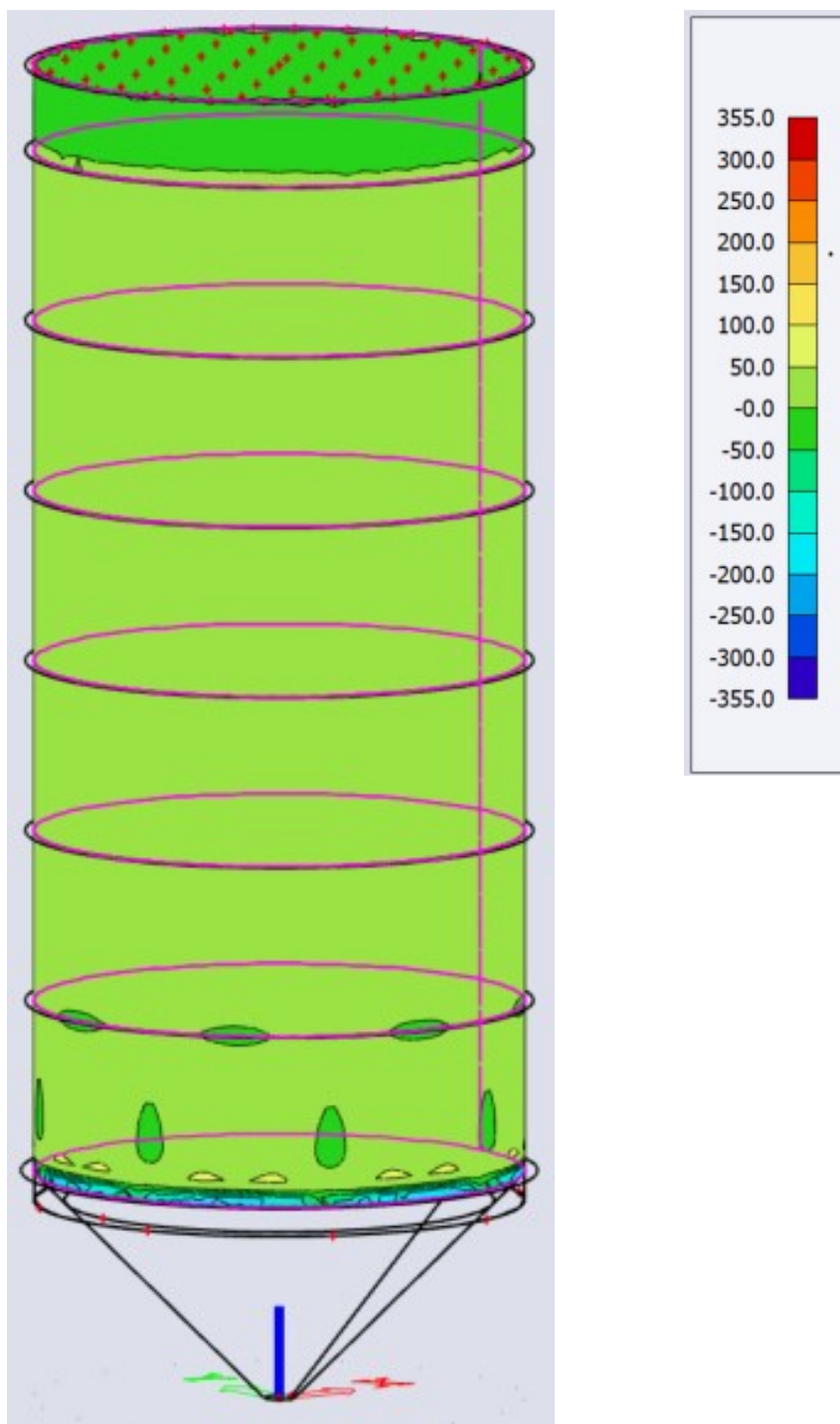


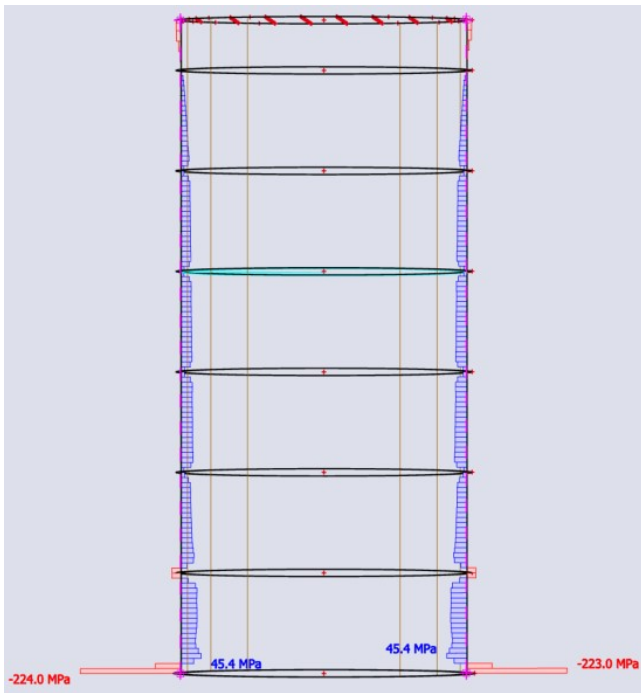
ŘEZ 40° - vnitřní povrch



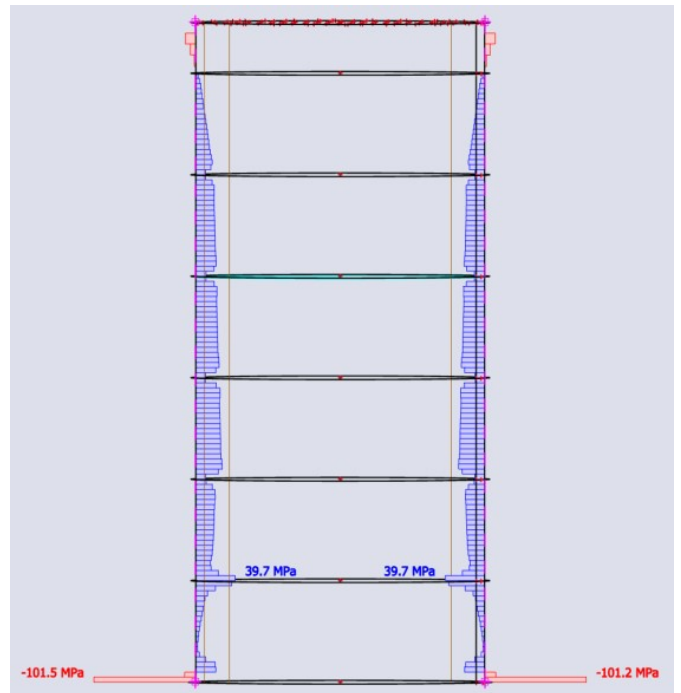
ŘEZ 60° - vnitřní povrch

- Obvodový tlak: vnitřní povrch

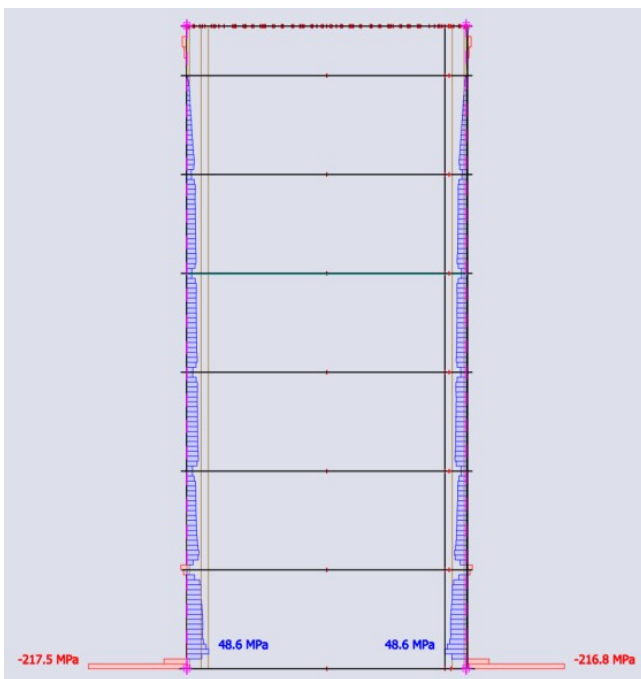




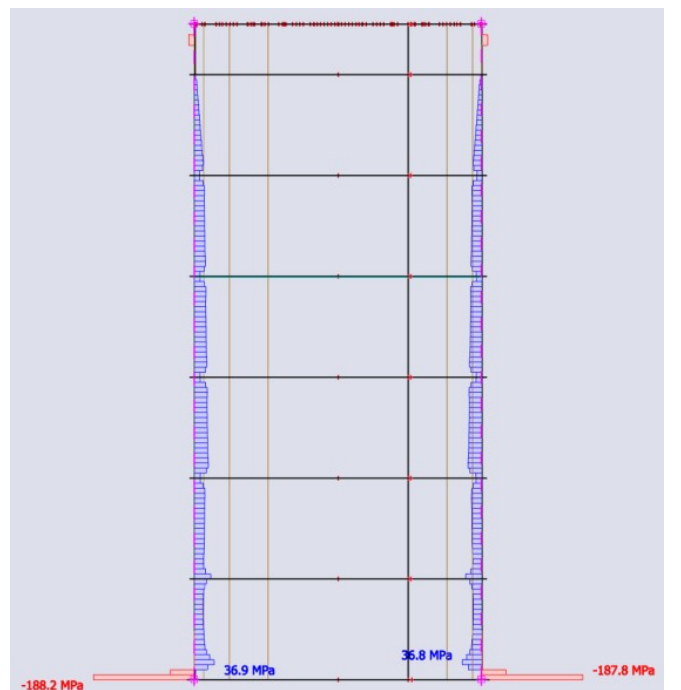
ŘEZ 0° - vnější povrch



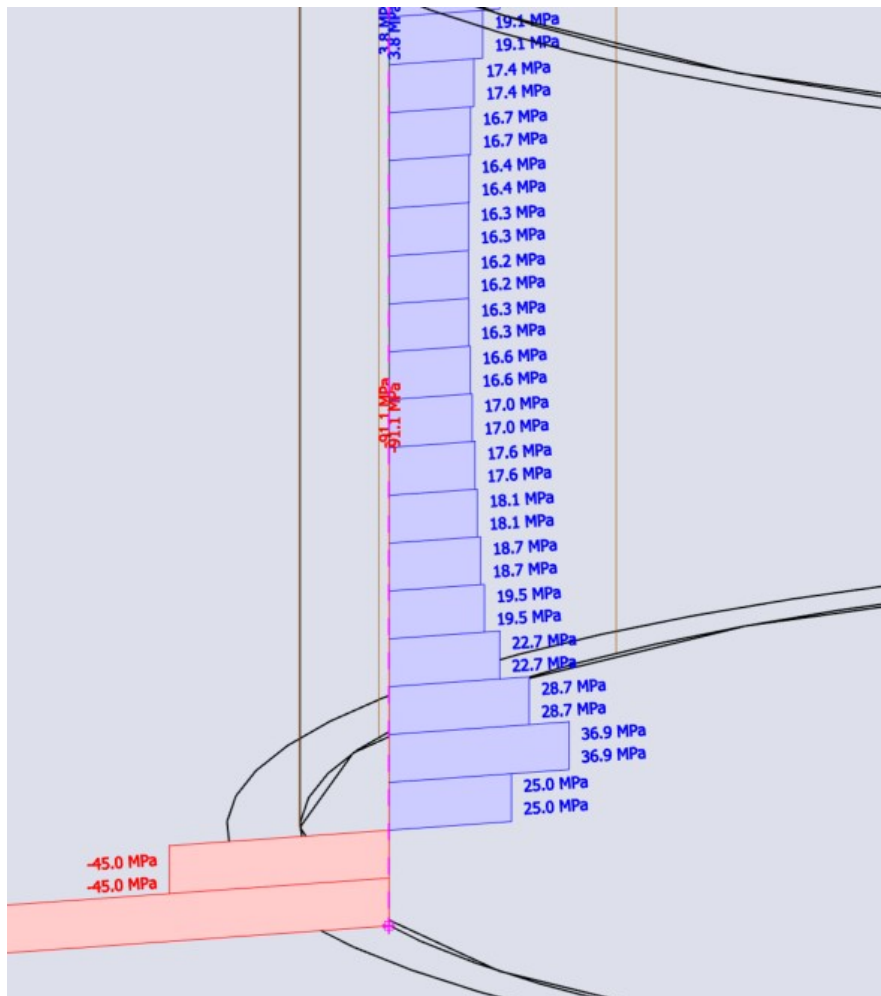
ŘEZ 20° - vnější povrch



ŘEZ 40° - vnější povrch

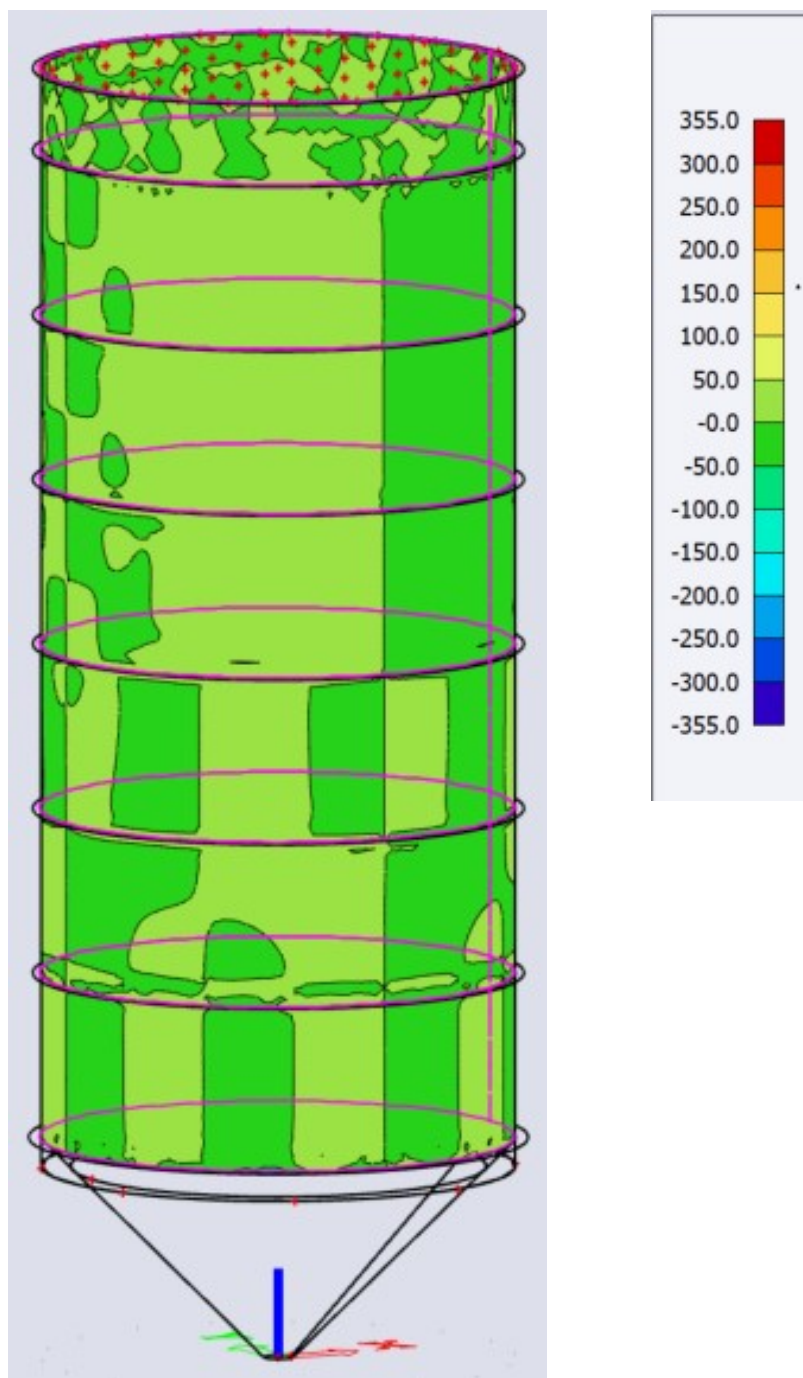


ŘEZ 60° - vnější povrch

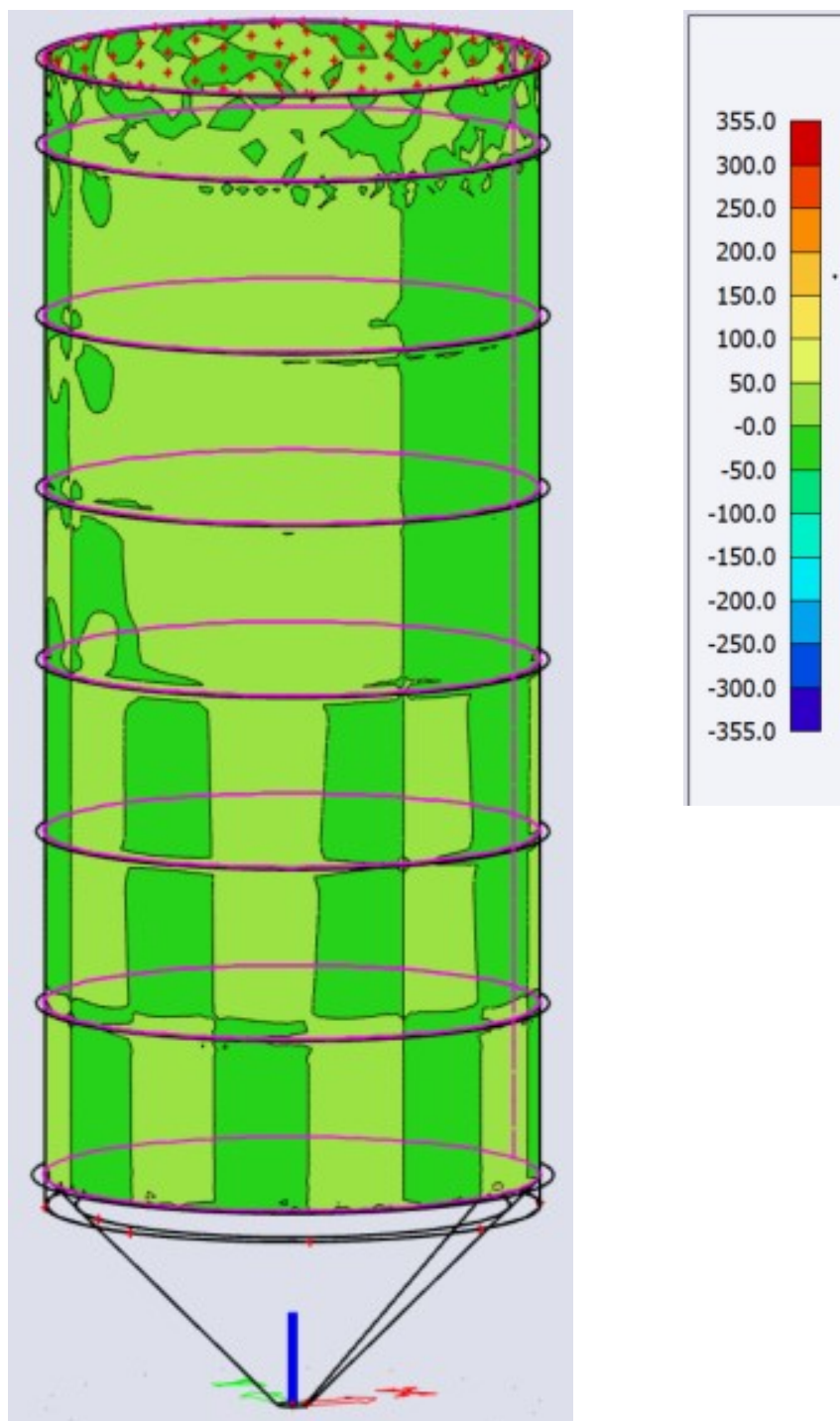


Po cele výšce stěny zásobníku napětí konstantně narůstá do hodnot cca 17MPa, což se rovná hodnotám ručního výpočtu  $\sigma_{\Theta,d.1} = 17.047 \text{ MPa}$  s rozdílem do 10%. Špičky napětí se vyskytují v místě uložení zásobníku.

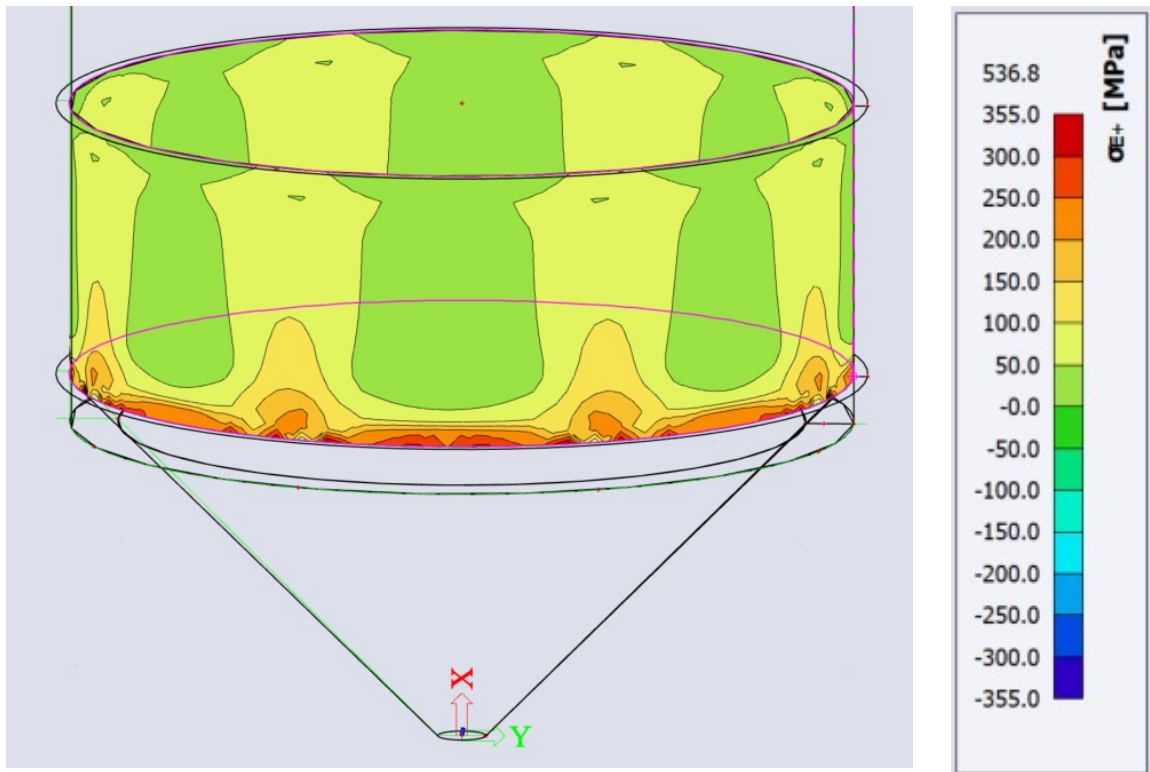
- Smyk: vnitřní povrh



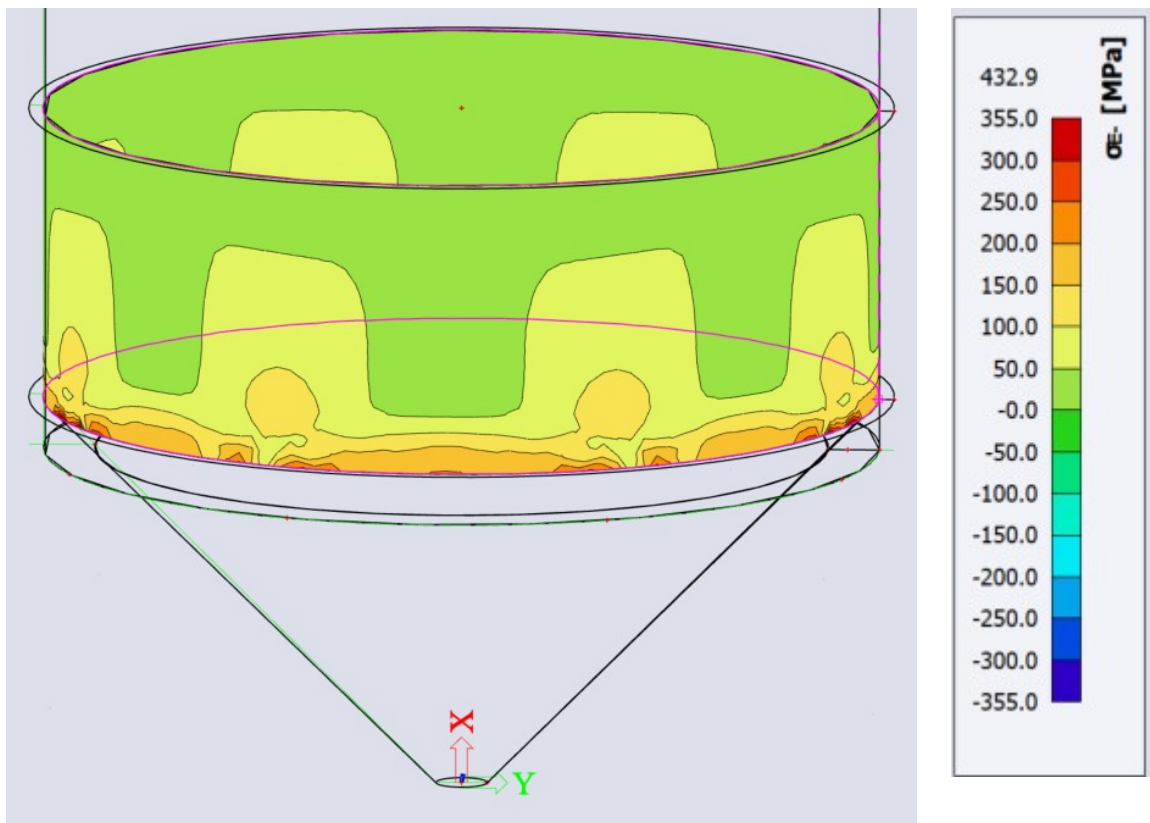
- Smyk: vnější povrh



- Napětí von Mises pro dolní segment: vnitřní povrch

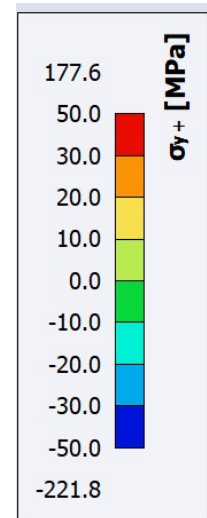
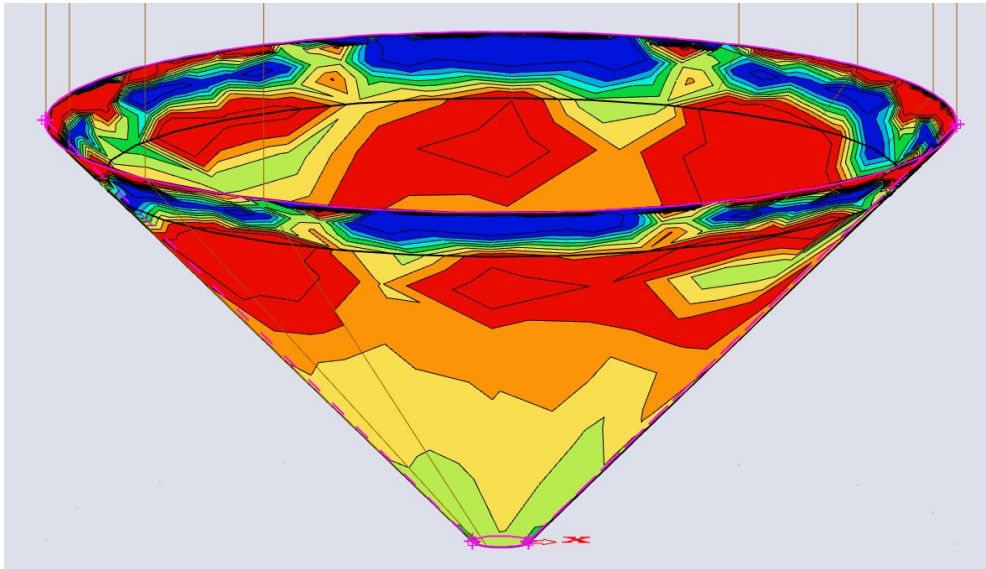


- Napětí von Mises pro dolní segment: vnější povrch

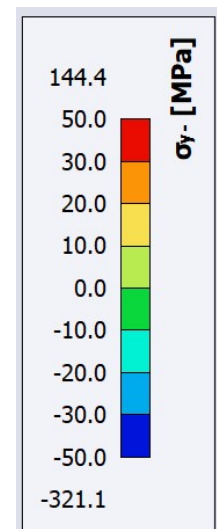
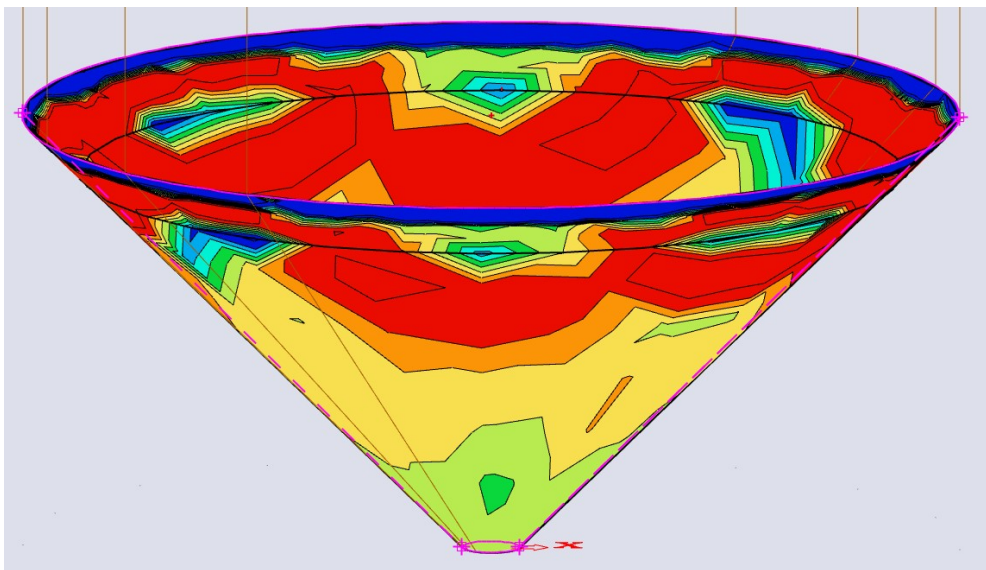


- Osový tlak ve výsypce: vnitřní povrch

Poznámka: v oblasti uložení dochází k lokálním zvýšením napětí



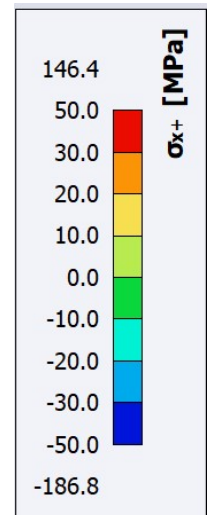
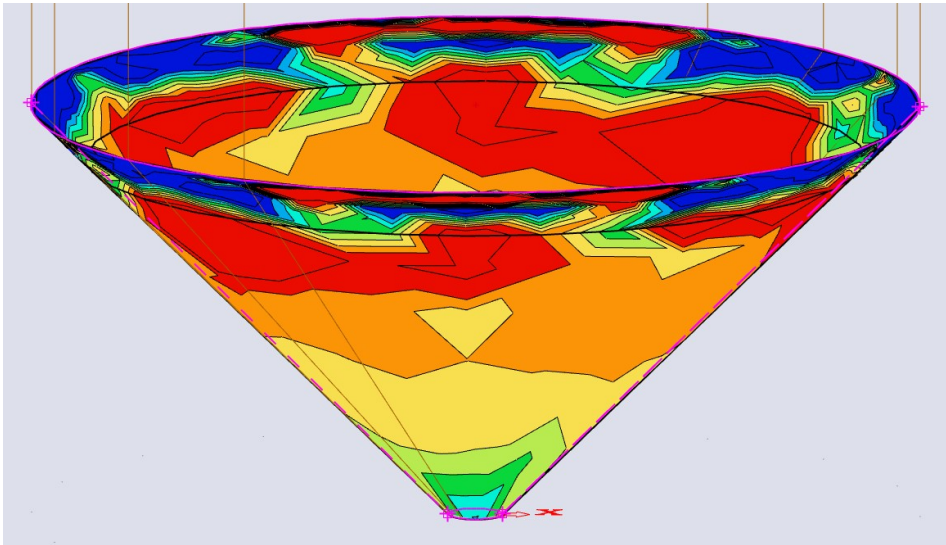
- Osový tlak ve výsypce: vnější povrch



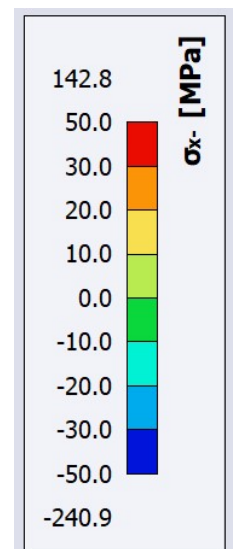
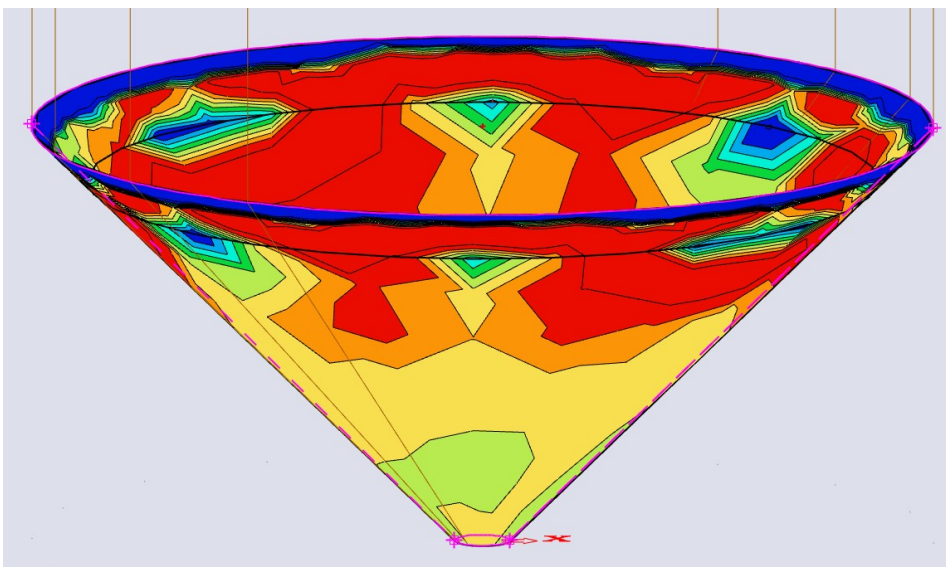
Z výsledků je vidět, že k lokálním zvýšením napětí dochází v místě přechodového prstence a v místě uložení. Hodnoty z grafu se rovnají hodnotám z ručního výpočtu  $\sigma_{x,d,celkem} = 23.149 \text{ MPa}$  s rozdílem do 10%.



- Obvodový tlak ve výsypce: vnější povrch

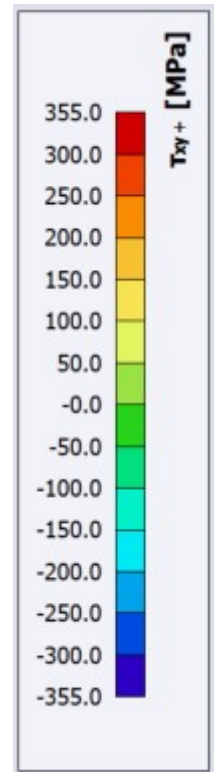
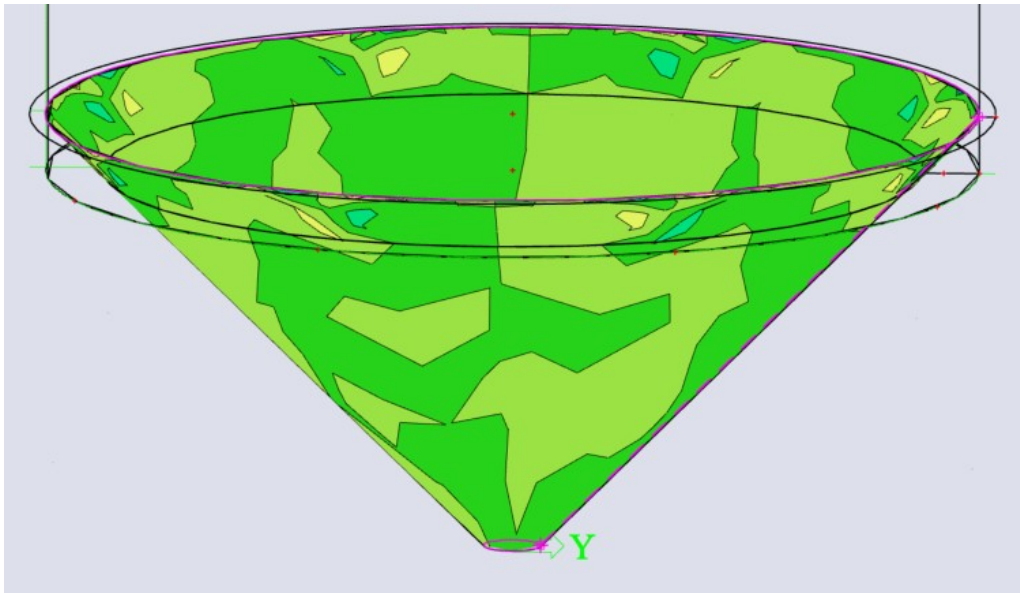


- Obvodový tlak ve výsypce: vnitřní povrch

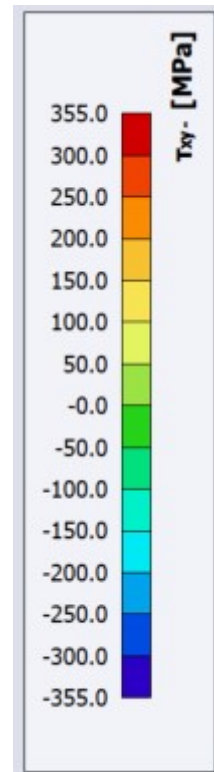
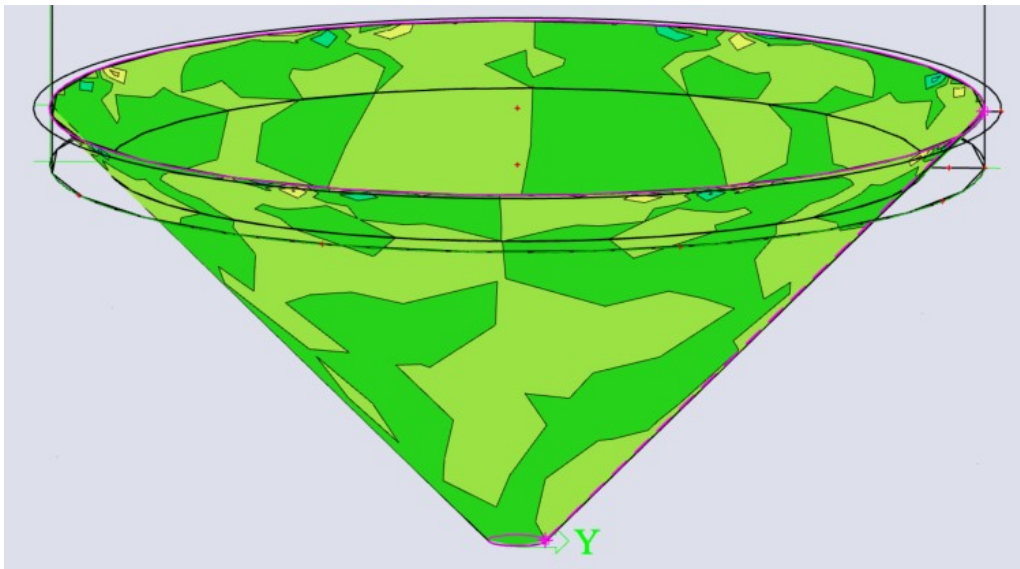


Z výsledků je vidět, že k lokálním zvýšením napětí dochází v místě přechodového prstence a v místě uložení. Hodnoty z grafu se rovnají hodnotám z ručního výpočtu  $\sigma_{\theta,d.náplň} = 36.419 \text{ MPa}$  s rozdílem do 10%.

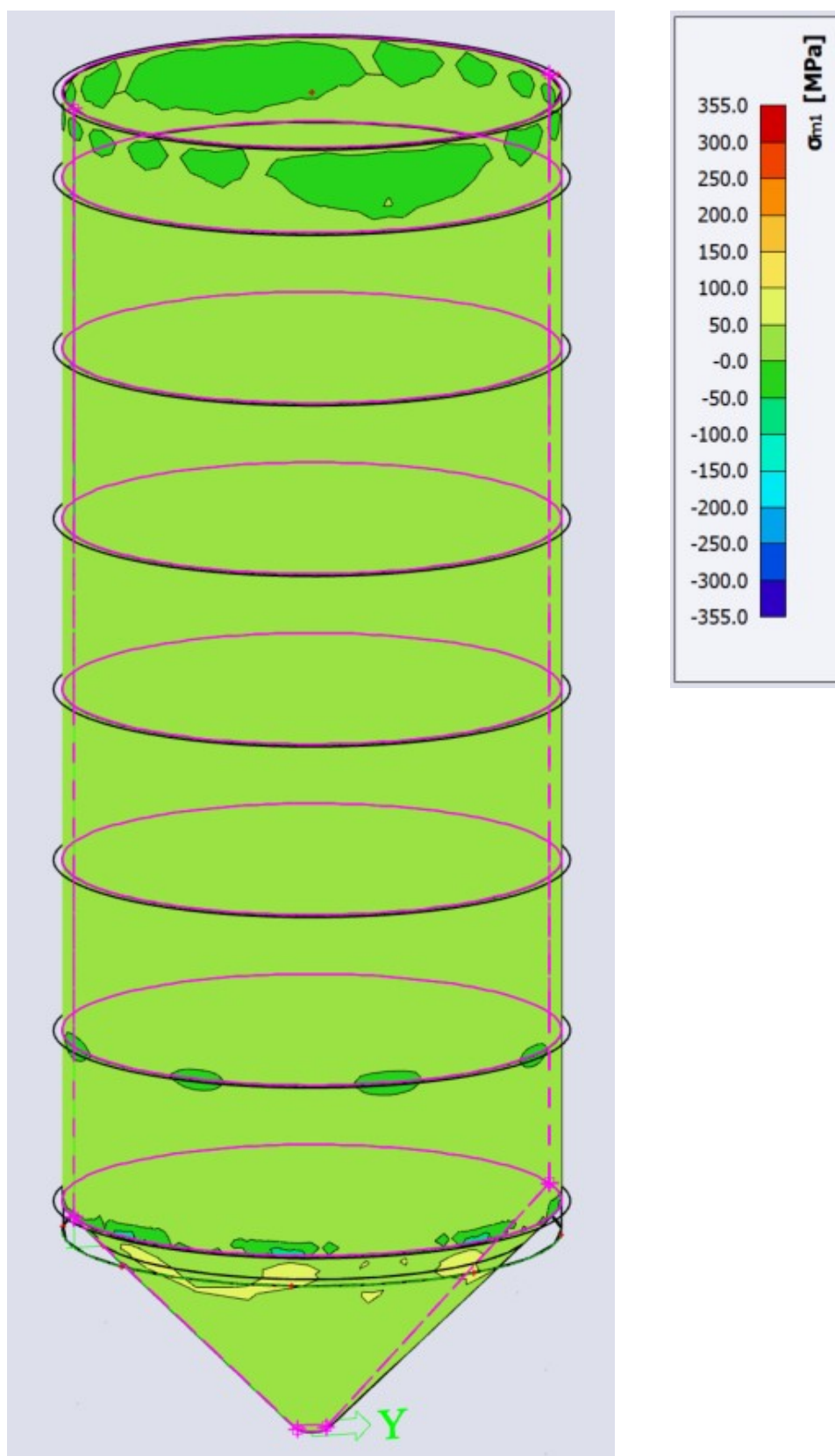
- Smyk ve výsypce: vnitřní povrh



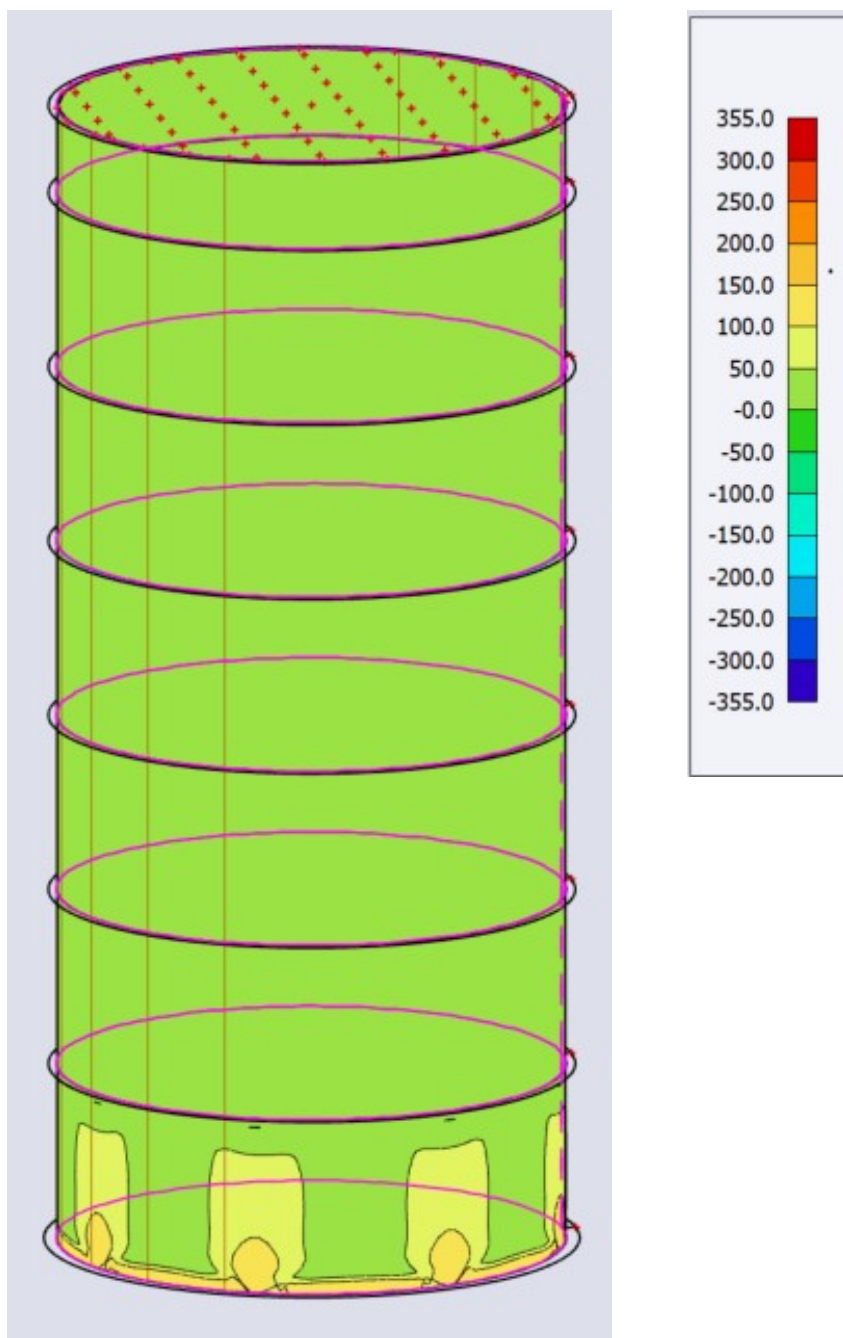
- Smyk ve výsypce: vnější povrh



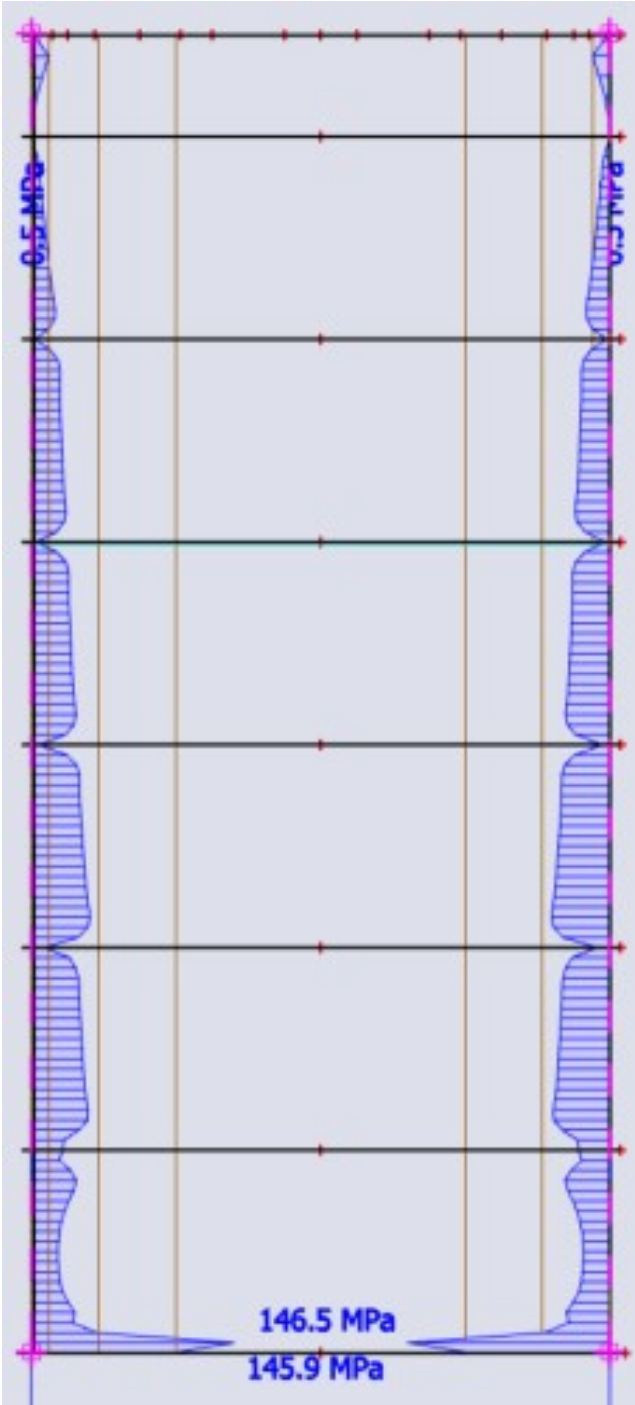
- Hlavní membránové napětí na kladném povrchu (max)

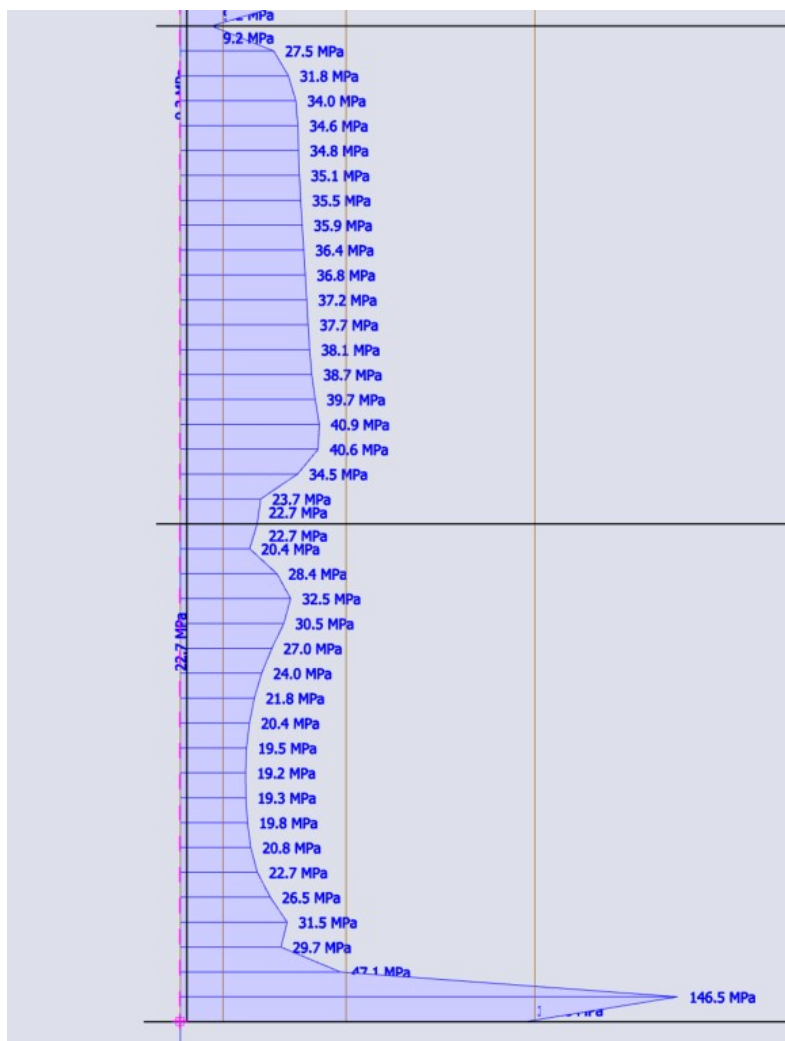


- Membránové ekvivalentní napětí von Mises



- Membránové ekvivalentní napětí (von Mises) v řezu

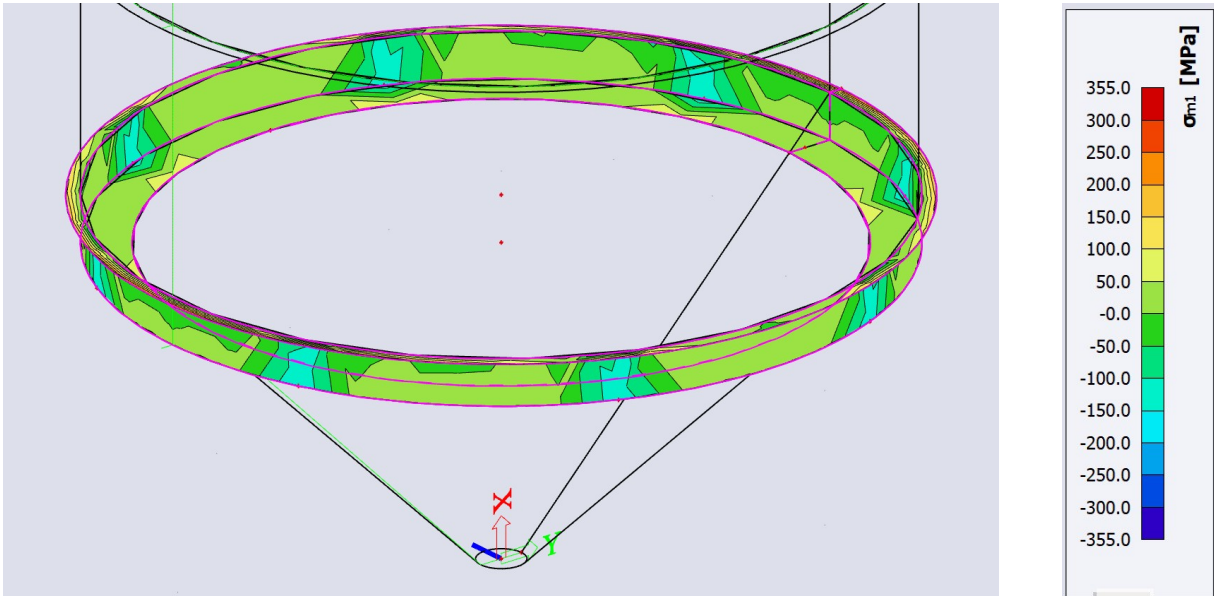




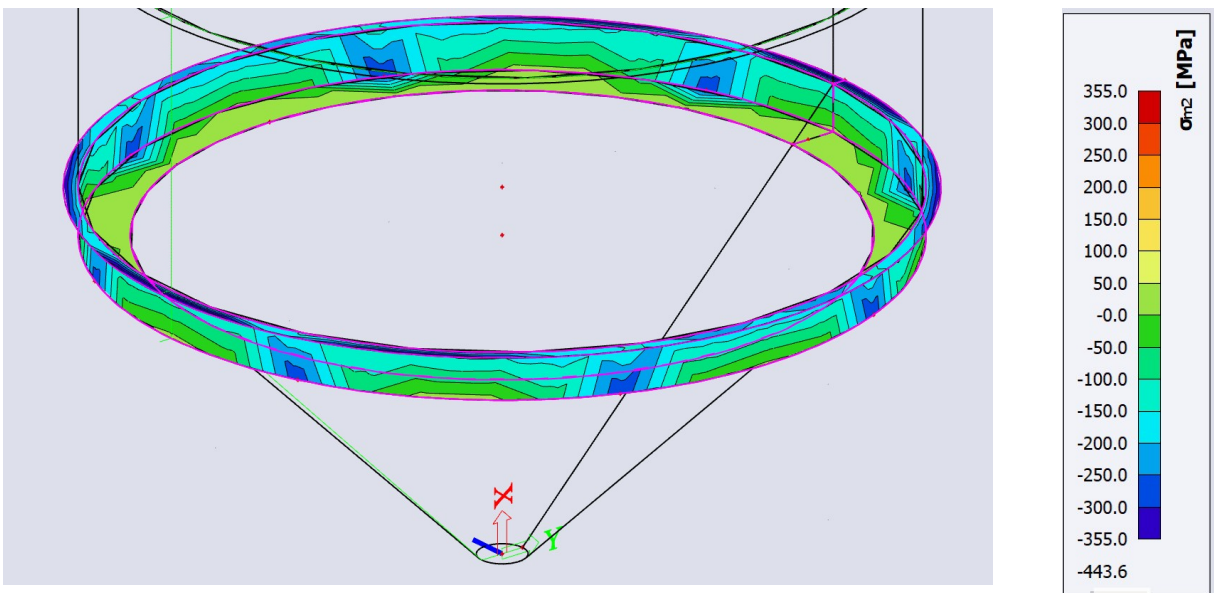
Po cele výšce stěny zásobníku napětí konstantně narůstá do hodnot cca 40MPa, což se rovná hodnotám ručního výpočtu 42.663 **MPa** s rozdílem do 10%. Špičky napětí se vyskytují v místě uložení zásobníku.

- Přejíchodový spoj

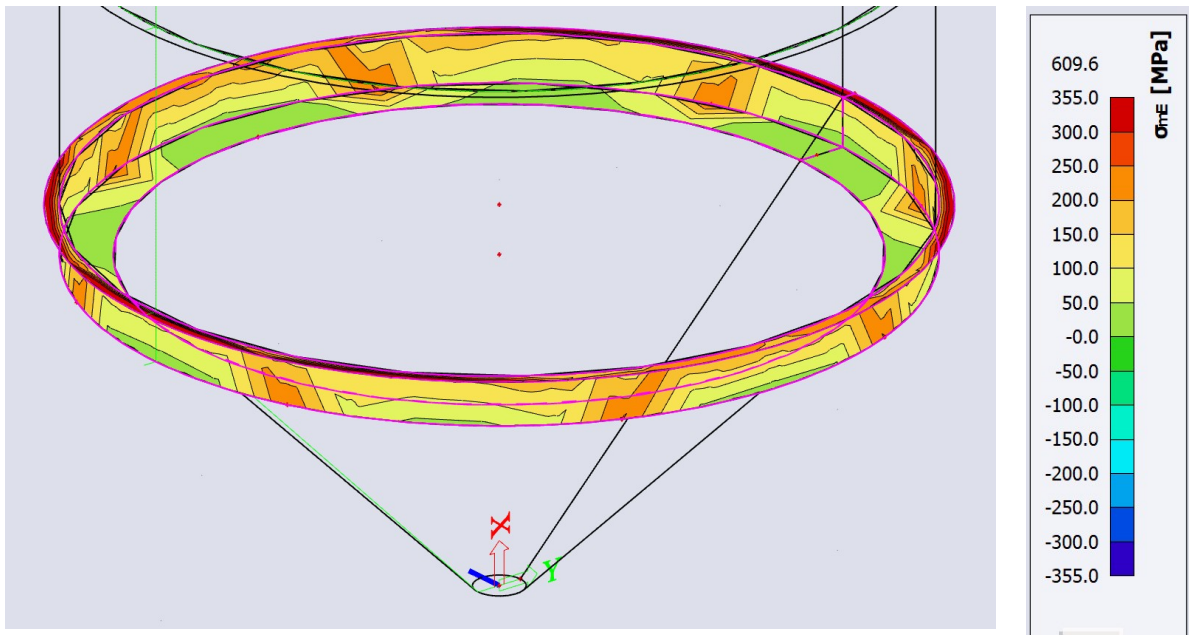
- Hlavní membránové napětí na kladném povrchu (max)



- Hlavní membránové napětí na kladném povrchu (min)



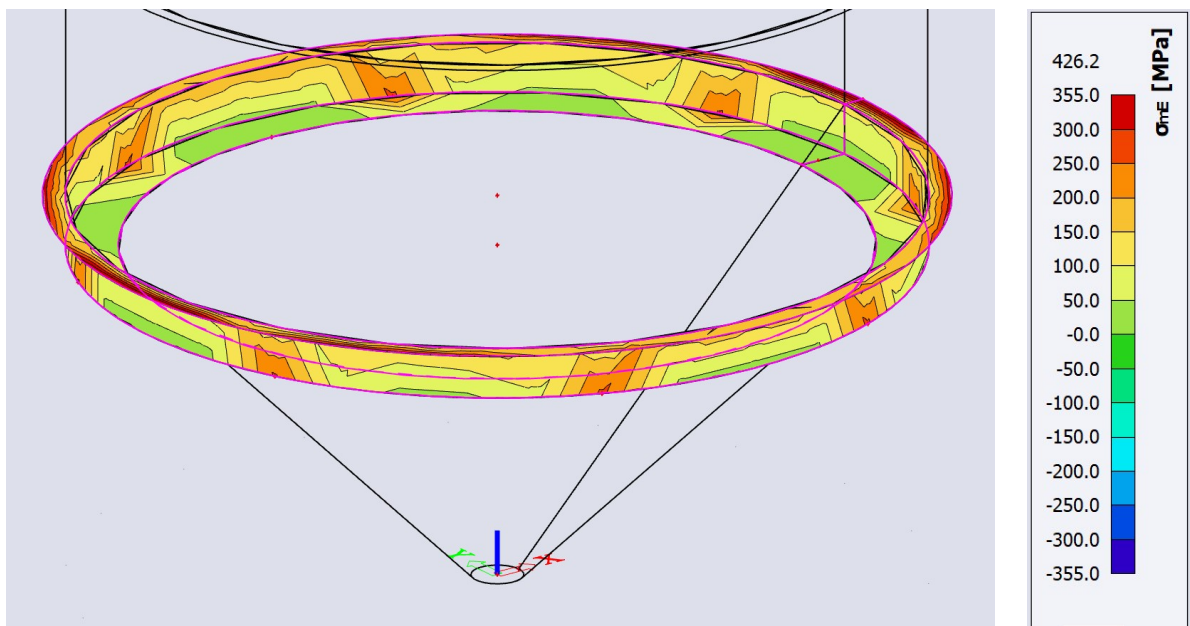
- Membránové ekvivalentní napětí (von Mises)



Výztuha v přechodovém spoji po celé délce překračuje mez kluzu  $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$ , proto navrhuji zvětšení tloušťky a rozšíření výztuhy

Nová tloušťka  $t_{\text{výztuha}} := 12 \text{ mm}$  - (+2mm)  
Nová šířka  $d_{\text{výztuha}} := 150 \text{ mm}$  - (+50mm)

- Membránové ekvivalentní napětí (von Mises) - nový návrh





### 13. Kontrola příčného průhybu

$$k_1 := 0.02$$

$$k_2 := 10$$

$$t_{\min} := 6 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{\max} := \min(k_1 \cdot h_{\text{celk}}, k_2 \cdot t_{\min}) = 60 \text{ mm} > \delta_{\max, \text{model}}$$

- Vyhovuje

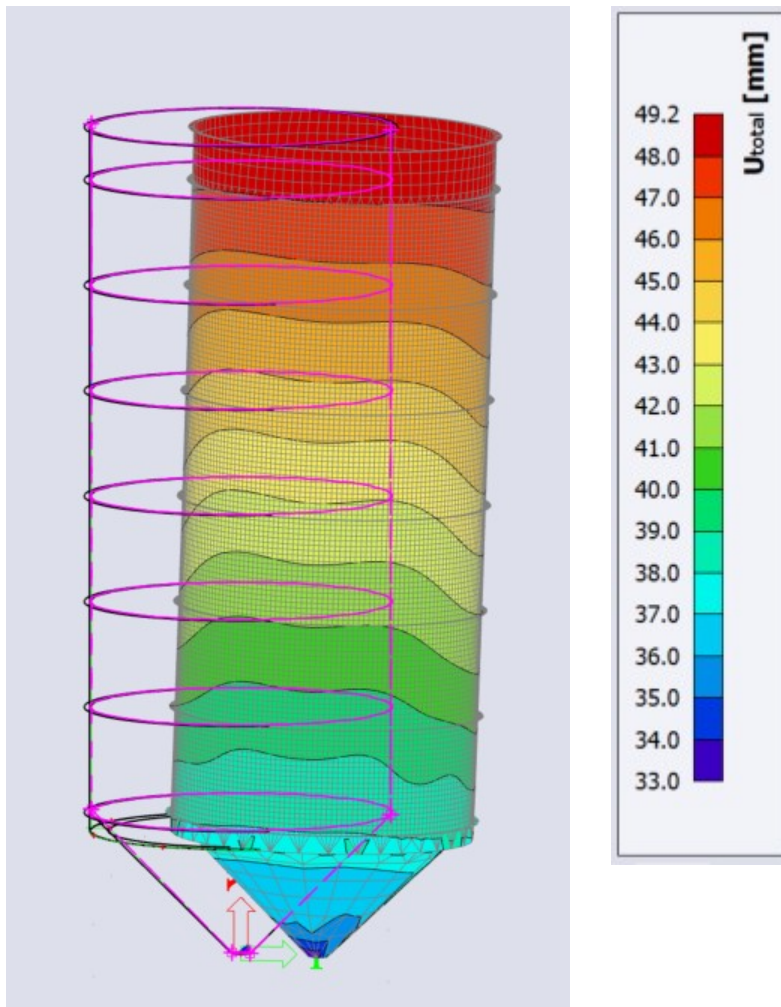
$$\delta_{\max, \text{model}} := 49.2 \text{ mm}$$

- Lokální průhyb mezi výztuhami

$$k_3 := 0.05$$

$$l_v := 1000 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max, l} := k_3 \cdot l_v = 50 \text{ mm} > \delta_{\max, \text{model}} \quad - \text{Vyhovuje}$$



## 14. Kontrola stability v základové spáře - překlopení

Kombinace: stálé zatížení min. \* 0.9 + vítr globální \* 1.5

- Reakce zásobníku:

$$R_{z,\text{celkem}} := 2 \cdot 132 \text{ kN} = 264 \text{ kN}$$

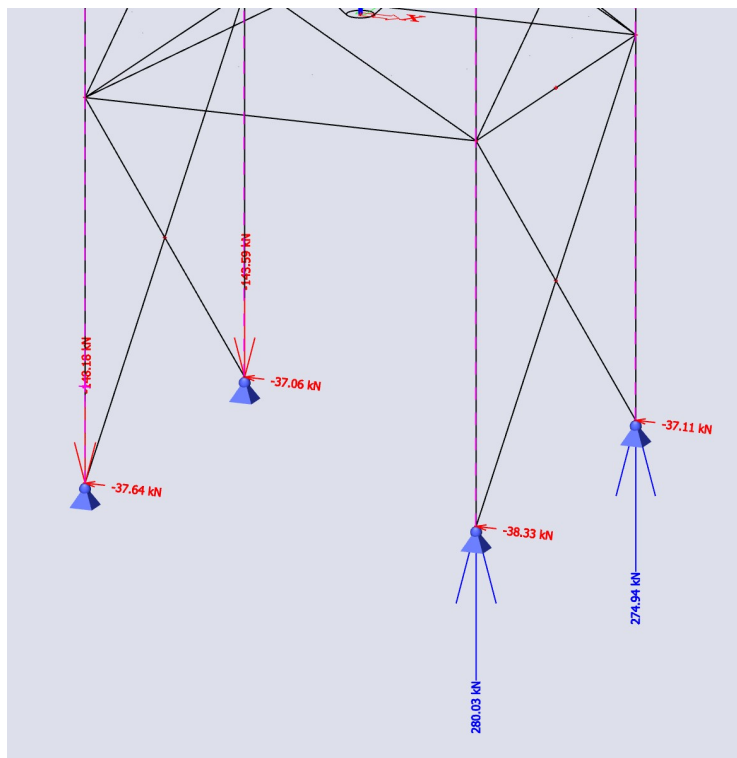
$$G_{\text{patky}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 2.6 \text{ m} \cdot 2.6 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0.9 \cdot 4 = 608.4 \text{ kN}$$

$$G_{\text{celkem}} := R_{z,\text{celkem}} + G_{\text{patky}} = 872.4 \text{ kN}$$

$$R_x := 38.33 \text{ kN} + 37.64 \text{ kN} = 75.97 \text{ kN}$$

$$M := R_x \cdot 1 \text{ m} = 75.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$e := \frac{M}{G_{\text{celkem}}} = 87.082 \text{ mm} < 3933 \text{ mm} \quad - \text{ VYHOVUJE}$$

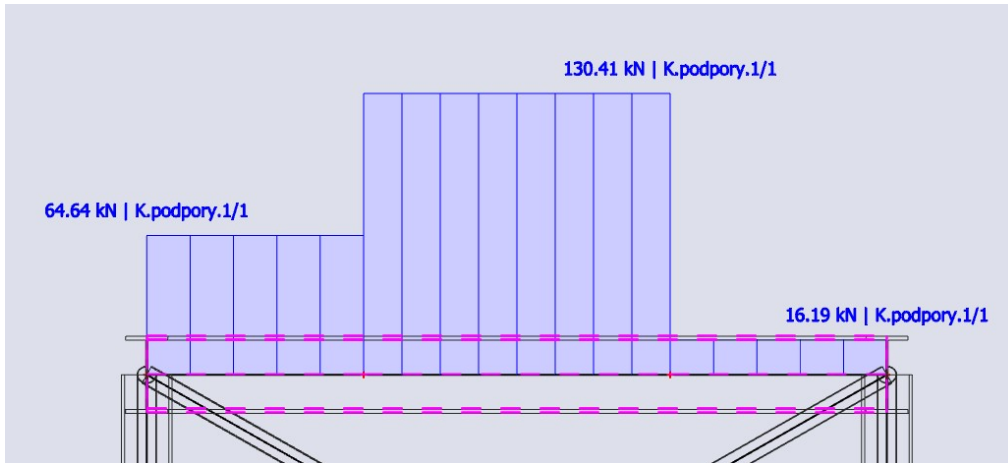


## 15. Přípoje podpůrné konstrukce

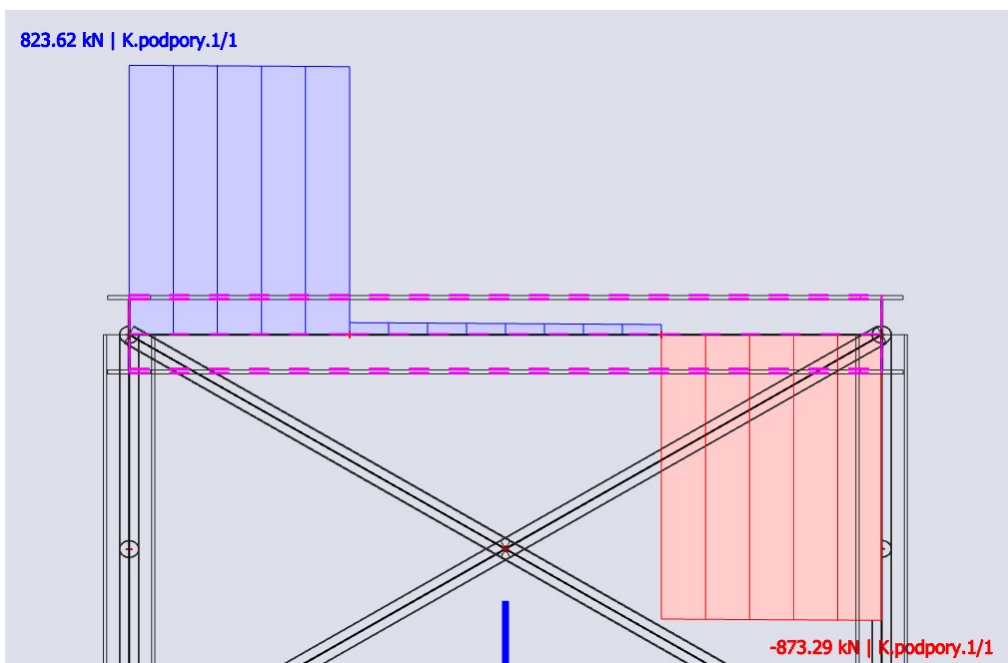
### 15.1. Detail 1: 8-bodové uložení zásobníku na podpůrnou konstrukci

Vnitřní síly v uložení:

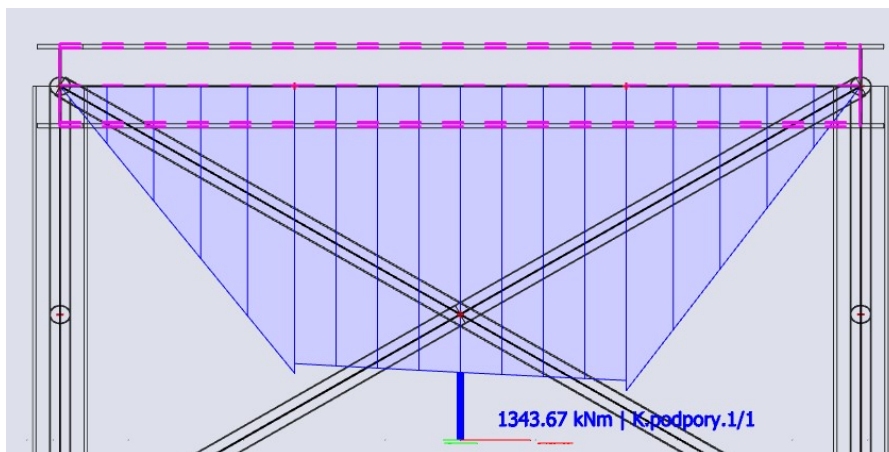
- N:



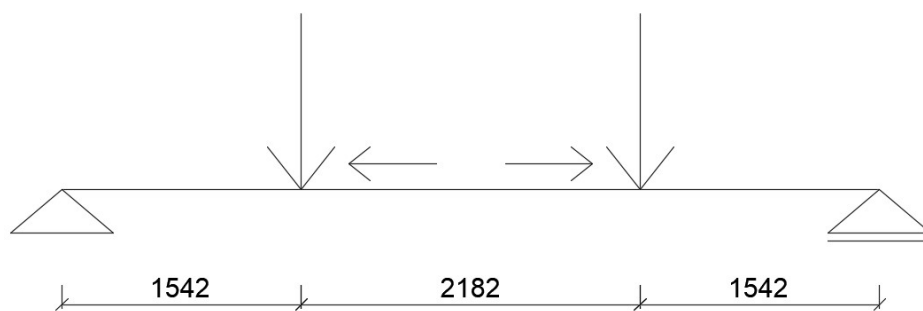
- Vz:



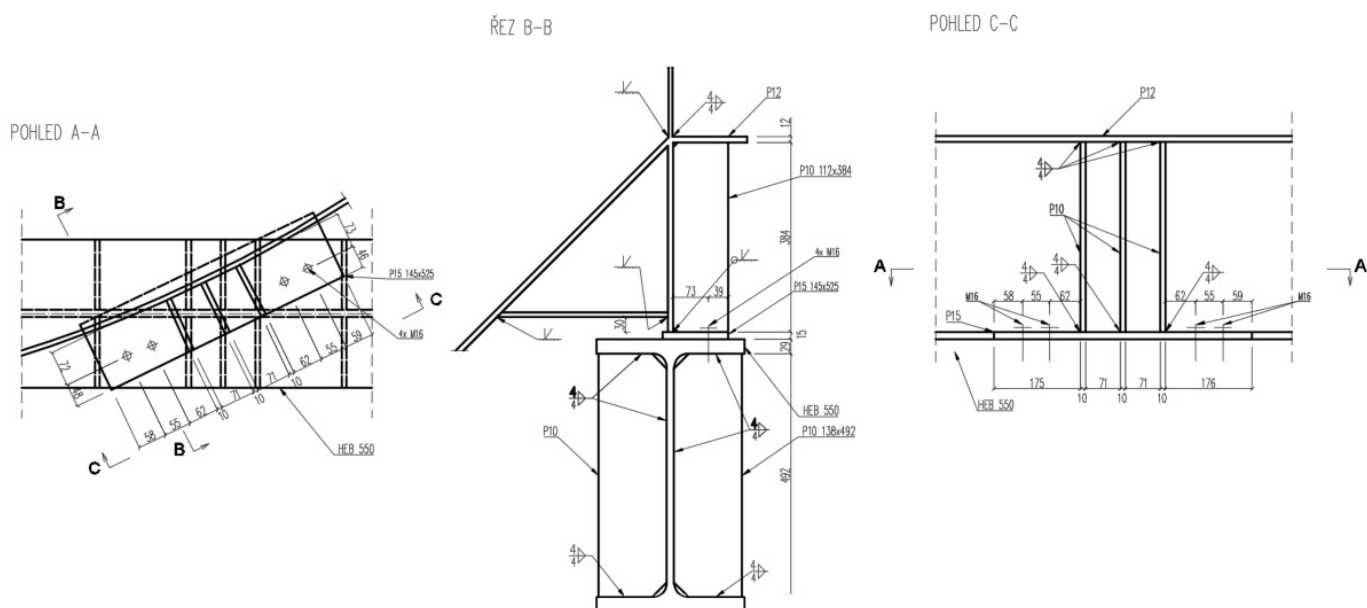
- My:



- Statická schéma:



$$N_{Ed} := 65.77 \text{ kN}$$



obr. 12 - Schéma detailu uložení zásobníku na nosník

- Návrh šroubů: 4x M16 8.8

- Únosnost jednoho šroubu ve střihu:

$$a_v := 0.6$$

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

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$Y_{m2} := 1.25$$

$$F_{v,Rd} := \frac{a_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{Y_{m2}} = 60.288 \text{ kN}$$

- Únosnost v otláčení:

$$e_1 := 58 \text{ mm}$$

$$d_0 := 24 \text{ mm}$$

$$f_u := 800 \text{ MPa}$$

$$e_2 := 48 \text{ mm}$$

$$a_b := \min\left(\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}\right), \left(\frac{f_{ub}}{f_u}\right), 1.0\right) = 0.806$$

$$k_1 := \min\left(\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7\right), 2.5\right) = 2.5$$

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

$$t := 15 \text{ mm}$$

$$f_u := 490 \text{ MPa}$$

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{Y_{m2}} = 189.467 \text{ kN}$$

- Posouzení únosnosti ve smyku:

$$V_{Rd} := \min((F_{v,Rd}), (F_{b,Rd})) = 60.288 \text{ kN}$$

- Potřebný počet šroubu:

$$\frac{N_{Ed}}{V_{Rd}} = 1.091$$

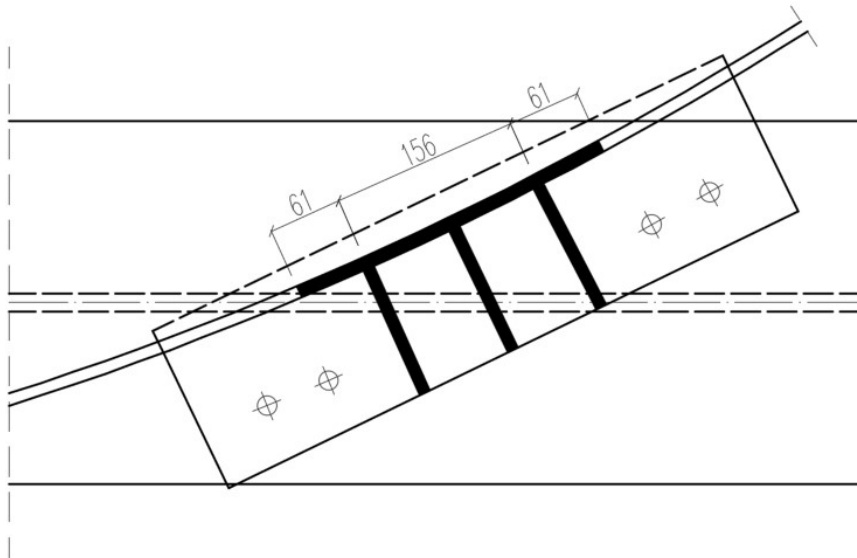
Návrh 4x M16 8.8

$$4 \cdot V_{Rd} > N_{Ed}$$

$$4 \cdot V_{Rd} = 241.152 \text{ kN} > N_{Ed} = 65.77 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

- Posouzení na vzpěr:



Vzdálenost mezi stojinami je víc než  $15 \cdot 10 \text{ mm} \cdot \epsilon = 122.042 \text{ mm}$  - působí celý průřez.

$$N_{c.Ed} := 850 \text{ kN}$$

$$L := 384 \text{ mm} \quad \text{- délka výztuh}$$

$$i_y := 93 \text{ mm}$$

$$A := 6162.5 \text{ mm}^2$$

Poměrná štíhlost a součinitel vzpěrnosti:

$$L_{cr} := L = 0.384 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{L_{cr}}{i_y} = 4.129$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \epsilon = 76.399$$

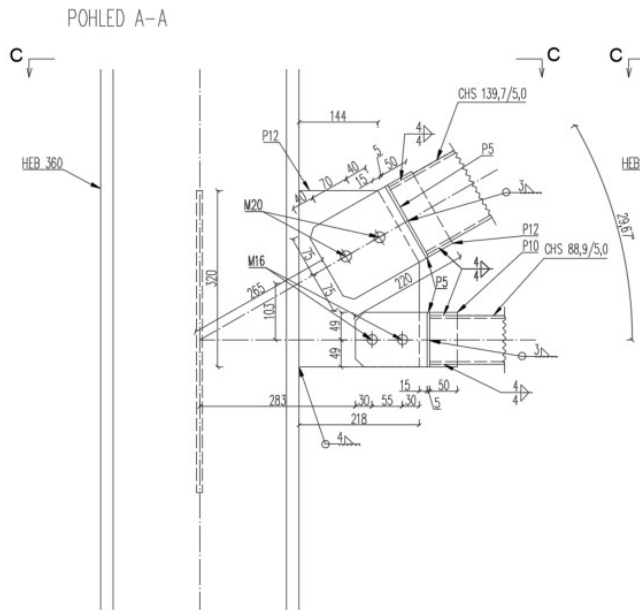
$$\lambda_p := \frac{\lambda}{\lambda_1} = 0.054$$

$$\chi := 1$$

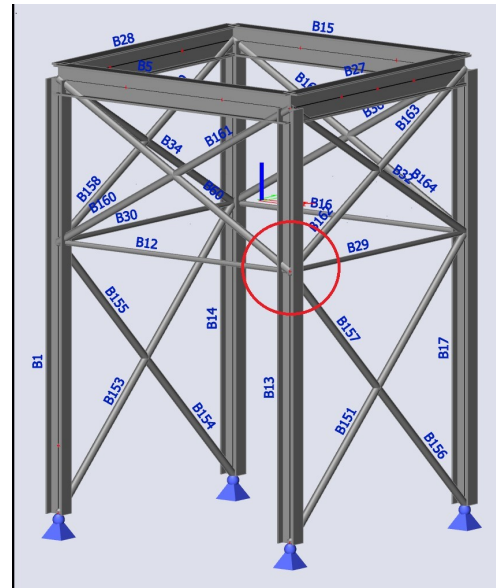
$$N_{Rd} := \chi \cdot A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 1988.807 \text{ kN} \quad > \quad N_{c.Ed} = 850 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

S ohledem na rezervu v únosnosti je excentricita výztuhy zanedbána.

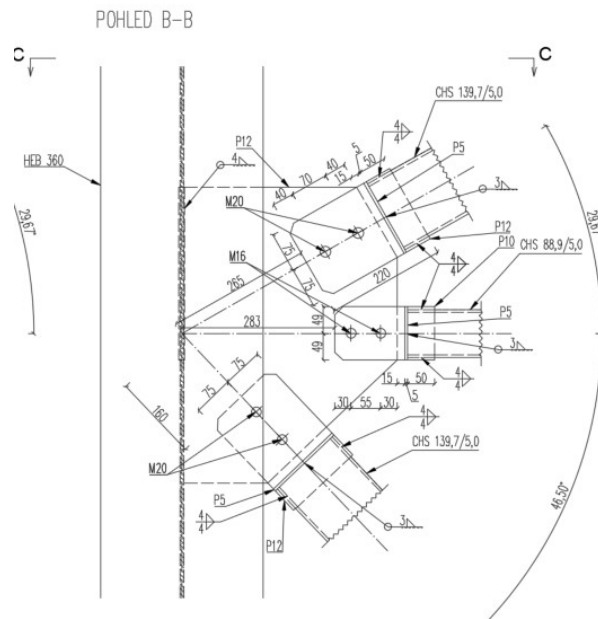
## 15.2. Detail 2: připojení diagonál ke sloupu



obr. 13 - Schéma detailu B12-B60-HEB360

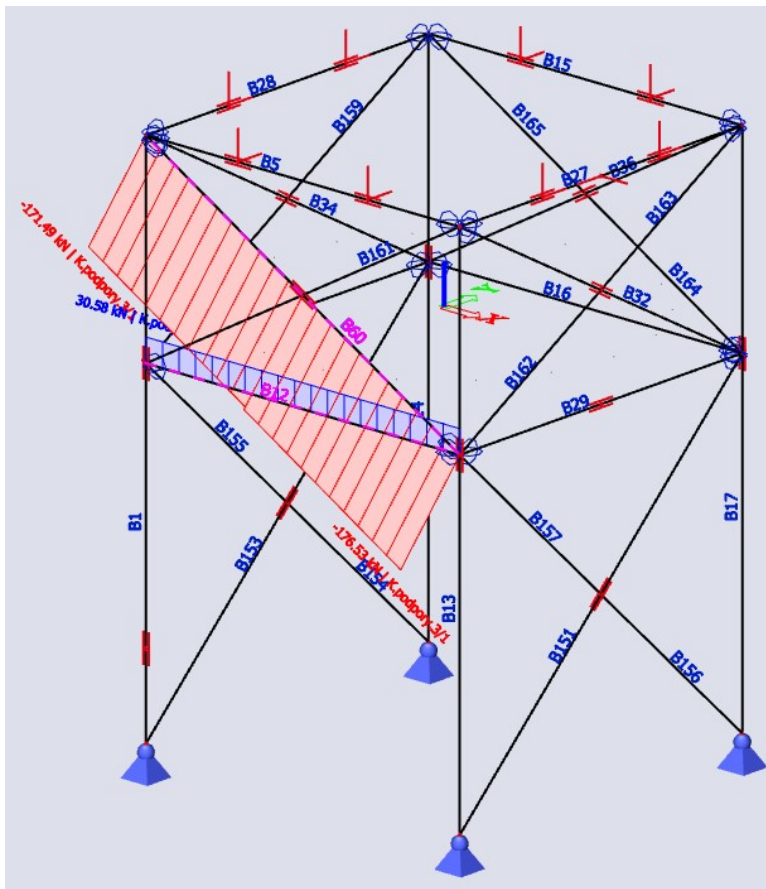


obr. 14 - Místo detailu



obr. 15 - Schéma detailu B162-B157-B29-HEB360

- Max vnitřní síly detailu B12-B60-HEB360:



Detail B12-B60-HEB360:

$$N_{Ed,B12} := 30.38 \text{ kN}$$

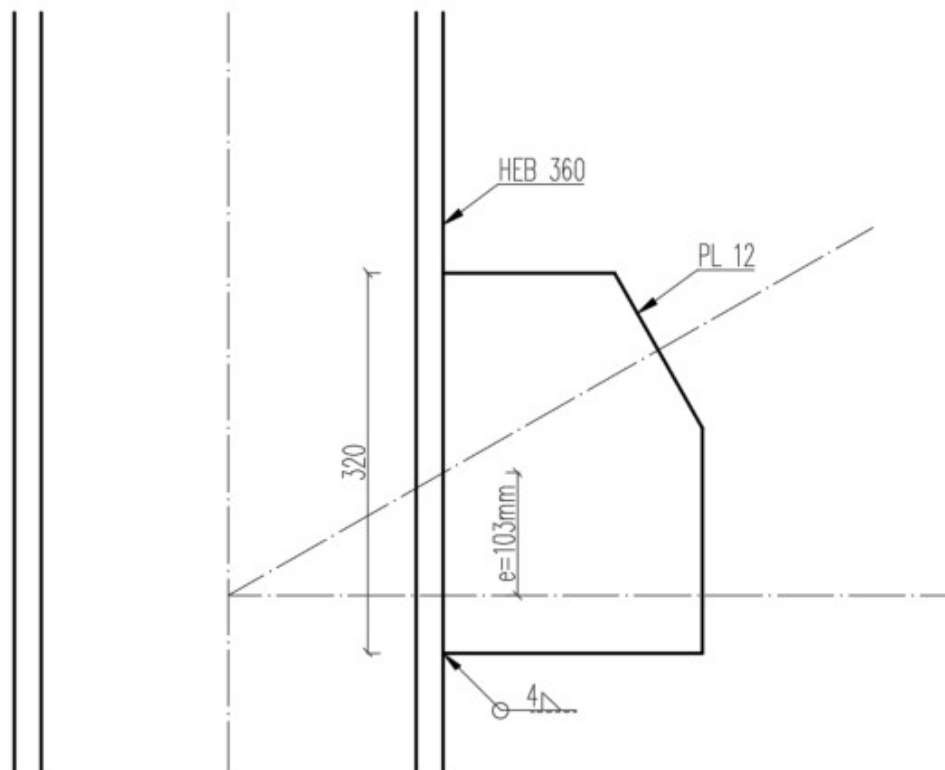
$$N_{Ed,B60} := -171.4 \text{ kN}$$



Detail B12-B60-HEB360:

max. síla ve ztužidlech:  $|N_{Ed.B60}| = 171.4 \text{ kN}$

- Návrh svaru plechu P12 ke sloupu HEB360:



obr. 16 - Schéma plechu

2x koutový svar:  $a := 4 \text{ mm}$   
 $L_{we.1} := 320 \text{ mm}$

$$F_{Hd.x} := N_{Ed.B60} \cdot \cos(29.67^\circ) + N_{Ed.B12} = -118.548 \text{ kN} \quad \text{- tlak}$$

$$F_{Hd.z} := |N_{Ed.B60}| \cdot \sin(29.67^\circ) = 84.844 \text{ kN} \quad \text{- tah}$$

$$e := 0.103 \text{ m}$$

$$\tau_{II} := \frac{F_{Hd.z}}{2 \cdot a \cdot L_{we.1}} = 33.142 \text{ MPa}$$

$$W_w := 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot L_{we.1}^2 = (1.365 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^3$$

$$\sigma_I := \frac{N_{Ed.B12} \cdot e}{\sqrt{2} \cdot W_w} + \frac{F_{Hd.x}}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a \cdot L_{we.1}} = -16.539 \text{ MPa}$$

$$\tau_I := \sigma_I$$

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 66.252 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa} \qquad 435.556 \text{ MPa} > 66.252 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I = -16.539 \text{ MPa} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 352.8 \text{ MPa} \qquad \text{Svar } a=4 \text{ mm } \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Návrh svar trubky B60 - profilu CHS139,7x5,0 ke styčníkovému plechu P12:

$$\begin{aligned} 4x \text{ koutový svar:} \qquad a &:= 4 \text{ mm} \\ L_{we.1} &:= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$F_{Hd} := |N_{Ed.B60}| = 171.4 \text{ kN}$$

$$\tau_{II} := \frac{F_{Hd}}{4 \cdot a \cdot L_{we.1}} = 214.25 \text{ MPa}$$

$$\tau_I := 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I := 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 371.092 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa} \qquad 435.556 \text{ MPa} > 371.092 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I = 0 \text{ MPa} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 352.8 \text{ MPa} \qquad \text{Svar } a=4 \text{ mm } \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Návrh šroubů diagonály B60 profilu CHS139,7x5,0: 2x M20 8.8

- Únosnost jednoho šroubu ve střihu:

$$a_v := 0.6$$

$$A_s := 245 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$Y_{m2} := 1.25$$

$$F_{v,Rd} := \frac{a_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{Y_{m2}} = 94.08 \text{ kN}$$

- Únosnost v otláčení:

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

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

$$f_u := 800 \text{ MPa}$$

$$e_2 := 75 \text{ mm}$$

$$a_b := \min\left(\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}\right), \left(\frac{f_{ub}}{f_u}\right), 1.0\right) = 0.444$$

$$k_1 := \min\left(\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7\right), 2.5\right) = 2.5$$

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

$$t := 12 \text{ mm}$$

$$f_u := 490 \text{ MPa}$$

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{Y_{m2}} = 104.533 \text{ kN}$$

- Posouzení únosnosti ve smyku:

$$V_{Rd} := \min((F_{v,Rd}), (F_{b,Rd})) = 94.08 \text{ kN}$$

- Potřebný počet šroubu:

$$\frac{|N_{Ed,B60}|}{V_{Rd}} = 1.822$$

Návrh 2x M20 8.8

$$2 \cdot V_{Rd} > N_{Ed}$$

$$2 \cdot V_{Rd} = 188.16 \text{ kN} > |N_{Ed,B60}| = 171.4 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- Návrh šroubů spojnice B12 - profilu CHS88,9x5,0: 2x M16 8.8

- Únosnost jednoho šroubu ve stříhu:

$$a_v := 0.6$$

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

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$Y_{m2} := 1.25$$

$$F_{v,Rd} := \frac{a_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{Y_{m2}} = 60.288 \text{ kN}$$

- Únosnost v otláčení:

$$e_1 := 30 \text{ mm}$$

$$d_0 := 24 \text{ mm}$$

$$f_u := 800 \text{ MPa}$$

$$e_2 := 49 \text{ mm}$$

$$a_b := \min\left(\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}\right), \left(\frac{f_{ub}}{f_u}\right), 1.0\right) = 0.417$$

$$k_1 := \min\left(\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7\right), 2.5\right) = 2.5$$

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

$$t := 12 \text{ mm}$$

$$f_u := 490 \text{ MPa}$$

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{Y_{m2}} = 98 \text{ kN}$$

- Posouzení únosnosti ve smyku:

$$V_{Rd} := \min((F_{v,Rd}), (F_{b,Rd})) = 60.288 \text{ kN}$$

- Potřebný počet šroubu:

$$\frac{N_{Ed,B12}}{V_{Rd}} = 0.504$$

Návrh 2x M16 8.8

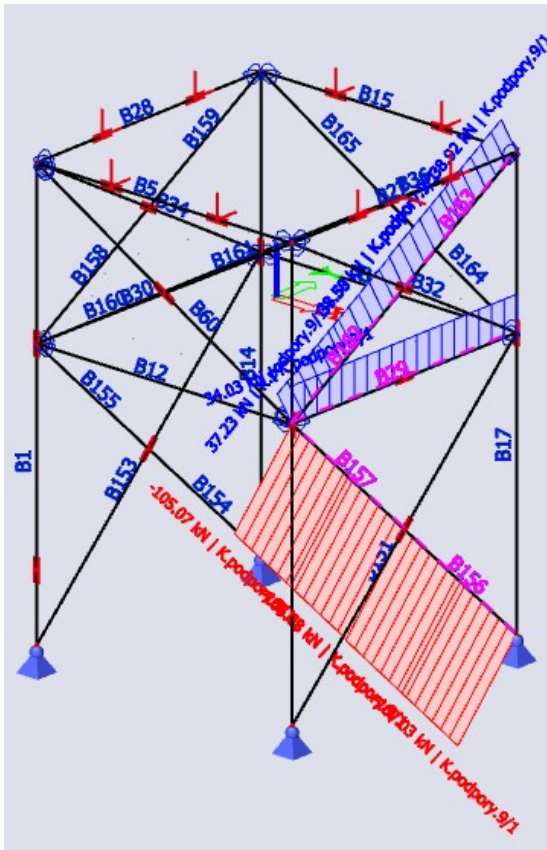
$$2 \cdot V_{Rd} > N_{Ed}$$

$$2 \cdot V_{Rd} = 120.576 \text{ kN} > N_{Ed,B12} = 30.38 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Detail B162-B157-B29-HEB360:

- Max. vnitřní síly detailu B162-B157-B29-HEB360:



$$N_{Ed.B29} := 34.03 \text{ kN}$$

$$N_{Ed.B157} := -105.07 \text{ kN}$$

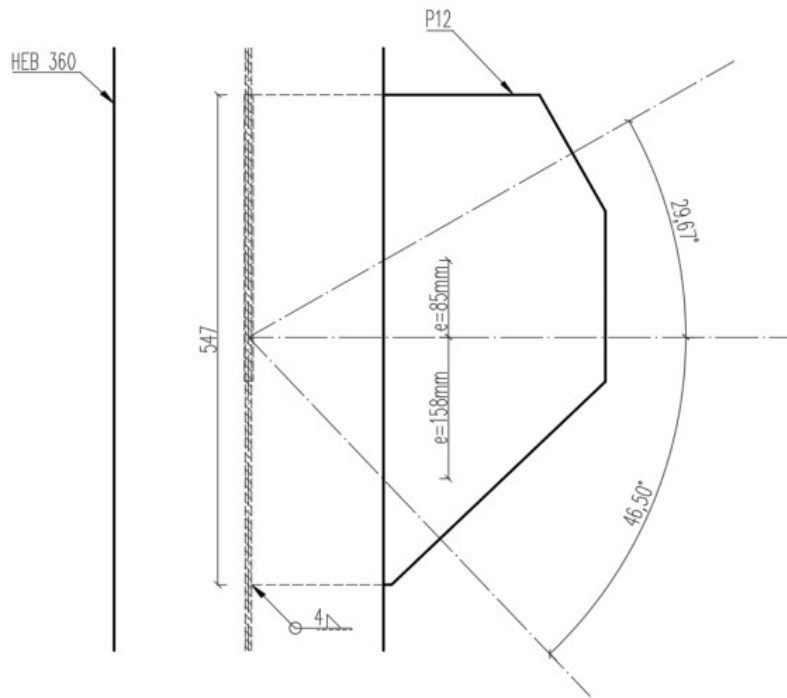
$$N_{Ed.B162} := 37.23 \text{ kN}$$

- Návrh šroubů spojnice B29 - profilu CHS88,9x5,0:  
budou navrženy stejně jako spojnice B12: 2x M16 8.8
- Návrh šroubů diagonály B162 - profilu CHS139,7x5,0:  
budou navrženy stejně jako spojnice B60: 2x M20 8.8
- Návrh šroubů diagonály B157 - profilu CHS139,7x5,0:  
budou navrženy stejně jako spojnice B60: 2x M20 8.8
- Návrh svarů trubky B12 - profilu CHS139,7x5,0 ke styčnickovému plechu P12:  
budou navrženy stejně jako spojnice B60 ke styčnickovému plechu P12:  $a = 4 \text{ mm}$

Detail B12-B60-HEB360:

max. síla ve ztužidlech:  $|N_{Ed.B157}| = 105.07 \text{ kN}$

- Návrh svaru plechu P12 ke sloupu HEB360:



obr. 17 - Schéma plechu

2x koutový svar:  $a := 4 \text{ mm}$   
 $L_{we.1} := 547 \text{ mm}$

$$F_{Hd.x} := N_{Ed.B162} \cdot \cos(29.67^\circ) + N_{Ed.B29} + N_{Ed.B157} \cdot \cos(46.5^\circ) = -5.947 \text{ kN} \quad \text{- tlak}$$

$$F_{Hd.z} := N_{Ed.B162} \cdot \sin(29.67^\circ) - N_{Ed.B157} \cdot \sin(46.5^\circ) = 94.644 \text{ kN} \quad \text{- tah}$$

$$e_1 := 0.085 \text{ m}$$

$$e_2 := 0.158 \text{ m}$$

$$\tau_{II} := \frac{F_{Hd.z}}{2 \cdot a \cdot L_{we.1}} = 21.628 \text{ MPa}$$

$$W_w := 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot L_{we.1}^2 = (3.989 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^3$$

$$\sigma_I := \frac{N_{Ed.B162} \cdot e_1 - N_{Ed.B157} \cdot e_2}{\sqrt{2} \cdot W_w} + \frac{F_{Hd.x}}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a \cdot L_{we.1}} = 34.072 \text{ MPa}$$

$$\tau_I := \sigma_I$$

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 77.763 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa}$$

$$435.556 \text{ MPa} > 77.763 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I = 34.072 \text{ MPa} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 352.8 \text{ MPa}$$

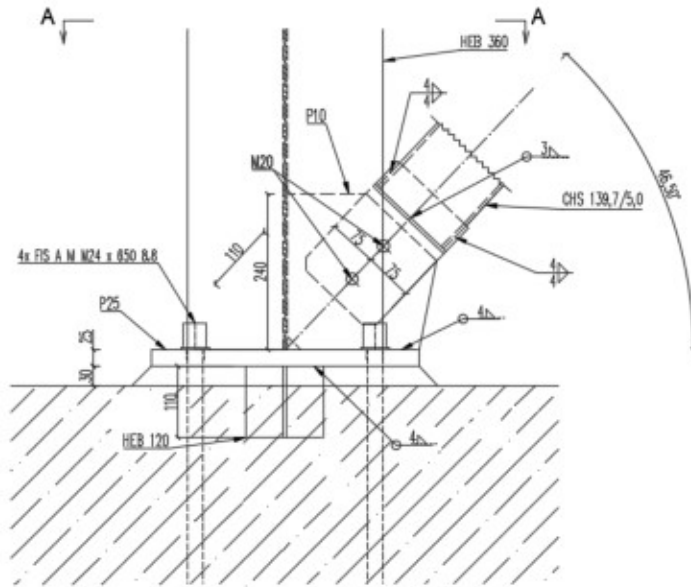
Svar a=4 mm **VYHOVUJE**

### 15.3. Detail 3: patka sloupu se ztužidlem

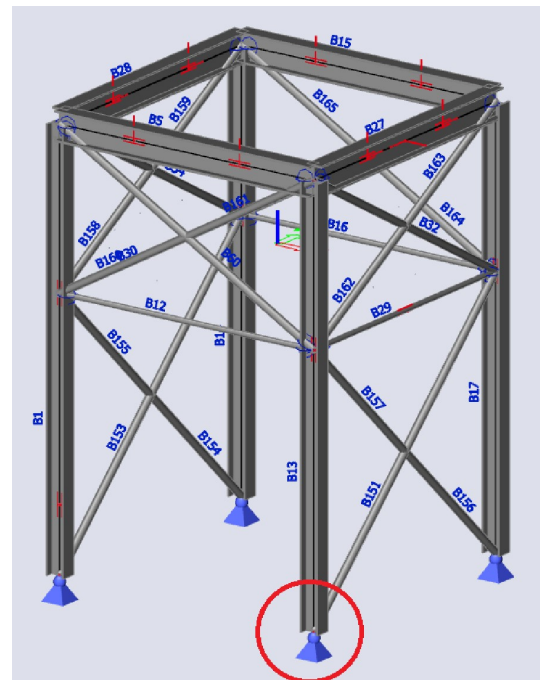
$$N_{Ed,max,tlak} := 1852.51 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,B151} := 101.06 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max,tah} := 140 \text{ kN}$$



obr. 18 - Schéma detailu B151-HEB360



obr. 19 - Místo detailu

- Reakce v patě sloupu:

$$R_z := 1924.9 \text{ kN}$$

$$R_x := 117 \text{ kN} \quad R_y := 101 \text{ kN}$$

- Uvažovaná únosnost zeminy:

$$R_d := 300 \text{ kPa}$$

- Minimální půdorysná plocha patky:

$$A_{c,min} := \frac{R_z}{R_d} = 6.416 \text{ m}^2$$

- Rozměry patky:

$$\begin{array}{ll} a_c := 2600 \text{ mm} & \text{délka} \\ b_c := 2600 \text{ mm} & \text{šířka} \\ h_c := 1000 \text{ mm} & \text{výška} \end{array}$$

$$A_c := a_c \cdot b_c = 6.76 \text{ m}^2 \quad 6.76 \text{ m}^2 > 6.416 \text{ m}^2$$



- Rozměry patního plechu:

$$\begin{aligned} \text{délka:} & \quad a_0 := 470 \text{ mm} \\ \text{šířka:} & \quad b_0 := 410 \text{ mm} \\ \text{výška:} & \quad t_p := 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Započitatelné rozměry betonové patky:

$$a_1 = \min \begin{cases} (a_0 \cdot 3) = 1410 \text{ mm} \\ (a_0 + h_c) = 1470 \text{ mm} \\ (a_c) = 2600 \text{ mm} \end{cases} \quad a_1 := 1410 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min \begin{cases} (b_0 \cdot 3) = 1230 \text{ mm} \\ (b_0 + h_c) = 1410 \text{ mm} \\ (b_c) = 2600 \text{ mm} \end{cases} \quad b_1 := 1230 \text{ mm}$$

- Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j := \sqrt{\frac{(a_1 \cdot b_1)}{a_0 \cdot b_0}} = 3$$

- Návrhová pevnost betonu: Beton C25/30

$$f_{ck} := 25 \text{ MPa} \quad \beta_j := \frac{2}{3} \quad \gamma_c := 1.5$$

$$f_{jd} := \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 33.333 \text{ MPa}$$

- Účinná šířka patní desky:

$$f_{yd} := 355 \text{ MPa}$$
$$c := t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 47.104 \text{ mm}$$

- Efektivní plocha - stanovena graficky:

$$A_{\text{eff}} := 104124 \text{ mm}^2$$

- Únosnost patky:

$$N_{Rd} := A_{\text{eff}} \cdot f_{jd} = (3.471 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad N_{Rd} > R_z \quad R_z = (1.925 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Betonová patka **VYHOVUJE**

- Posouzení navržených kotev: 4 kotvy

Injektážní systém FISHER Superbond FIS SB s kotevními šrouby FIS A M M24 x 650 8.8

$$N_{Ed.smyk} := R_x = 117 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.smyk} := 4 \cdot 11.8 \text{ kN} = 47.2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed.smyk}}{N_{Rd.smyk}} = 2.479 \quad 2.479 < 1.0$$

- Kotevní systém na smyk nevyhovuje - je potřeba navrhnout smykovou zarážku.

- Návrh: HEB 120

$$A_{vz} := 708 \text{ mm}^2 \quad S_y := 5.98 \cdot 10^4 \text{ mm}^3 \quad I_z := 2.31 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} := 144 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad S_z := 2.94 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$b := 120 \text{ mm} \quad I_y := 6.06 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- Minimální délka zarážky:

$$R_z := R_x = 117 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} := R_z = 117 \text{ kN}$$

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

$$\gamma_c := 1.5$$

$$h \geq \frac{V_{Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}}$$

$$h := \frac{V_{Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = 58.5 \text{ mm}$$

Návrh:  $h := 80 \text{ mm}$

$$e := 30 \text{ mm} + 80 \frac{\text{mm}}{2} = 70 \text{ mm}$$

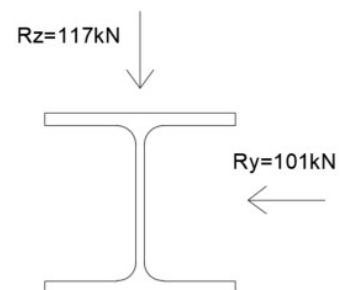
- Napětí v zarážce:

a)  $R_z = 117 \text{ kN}$

$$\sigma_{1,z} := \frac{R_z \cdot 70 \text{ mm}}{I_y} \cdot \frac{h}{2} = 54.059 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2,z} := \sigma_{1,z} = 54.059 \text{ MPa}$$

$$\tau_z := \frac{R_z \cdot S_y}{I_y \cdot b} = 9.621 \text{ MPa}$$



obr. 20 - Vnitřní síly pro zarážku

b)  $R_y = 101 \text{ kN}$

$$\sigma_{1,y} := \frac{R_y \cdot 70 \text{ mm}}{I_z} \cdot \frac{b}{2} = 183.636 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2,y} := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,1} := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,2} := \frac{R_y \cdot S_z}{I_z \cdot b} = 10.712 \text{ MPa}$$

c) Napětí celkem:

$$\sigma_{1,\Sigma} := \sigma_{1,z} + \sigma_{1,y} = 237.696 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa} \quad - \text{ OK}$$

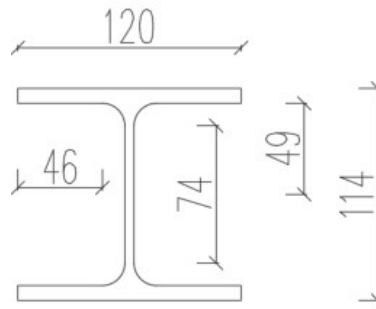
$$\sigma_{2,\Sigma} := \sigma_{2,z} + \sigma_{2,y} = 54.059 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa} \quad - \text{ OK}$$

$$\sqrt{\sigma_{2,z}^2 + 3 \cdot \tau_{y,2}^2} = 57.155 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa} \quad - \text{ OK}$$

Smyková zarážka **VYHOVUJE**

- Svar zarážky:

$$\begin{aligned} a &:= 4 \text{ mm} \\ b &:= 120 \text{ mm} \\ b_p &:= 46 \text{ mm} \\ l_p &:= 74 \text{ mm} \\ l &:= 114 \text{ mm} \\ b_{pm} &:= 49 \text{ mm} \end{aligned}$$



obr. 21 - svarové vzd. v zarážce

$$I_{w,y} := 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot a \cdot (l_p)^3 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot (a)^3 + 2 \cdot b \cdot (a) \cdot (59 \text{ mm})^2 + 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot a^3 \cdot b_p + 4 \cdot b_p \cdot a \cdot b_{pm}^2 = (5.381 \cdot 10^6) \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} := 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot l_p \cdot (a)^3 + 2 \cdot a \cdot l_p \cdot (4 \text{ mm})^2 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot a \cdot b^3 + 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot b_p^3 \cdot a + 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot a \cdot b_p^3 + 4 \cdot a \cdot b_p^3 = (2.979 \cdot 10^6) \text{ mm}^4$$

2) 2x koutový svar:  $a := 4 \text{ mm}$

$$\tau_{II} := \frac{R_z}{2 \cdot a \cdot l_p} = 197.635 \text{ MPa}$$

$$\tau_I := \frac{R_z \cdot e}{\sqrt{2} \cdot \frac{I_{w,y}}{\frac{l_p}{2}}} = 39.818 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I := \tau_I$$

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 351.455 \text{ MPa}$$

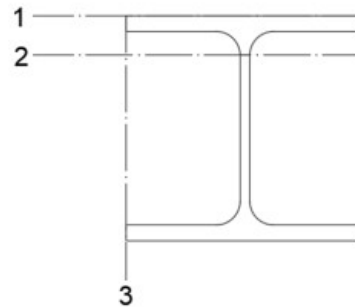
$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa}$$

$$435.556 \text{ MPa} > 351.455 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I = 39.818 \text{ MPa} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 352.8 \text{ MPa}$$

Svar a=4 mm **VYHOVUJE**



obr. 22 - Roviny napětí

1)  $a := 4 \text{ mm}$

$$\tau_{II} := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_I := \frac{R_z \cdot e}{\sqrt{2} \cdot \frac{I_{w,y}}{b+a}} = 66.723 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I := \tau_I$$

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 133.445 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa} \qquad 435.556 \text{ MPa} > 133.445 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I = 66.723 \text{ MPa} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 352.8 \text{ MPa} \qquad \text{Svar } a=4 \text{ mm } \mathbf{VYHOVUJE}$$

3)  $a := 4 \text{ mm}$

$$\tau_{II} := \frac{R_y}{a \cdot (2 \cdot b + 4 \cdot b_p)} = 59.552 \text{ MPa}$$

$$\tau_I := \frac{R_y \cdot e}{\sqrt{2} \cdot \frac{I_{w,z}}{b}} = 100.683 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I := \tau_I$$

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 226.247 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa} \qquad 435.556 \text{ MPa} > 226.247 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I = 100.683 \text{ MPa} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 352.8 \text{ MPa} \qquad \text{Svar } a=4 \text{ mm } \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Celkem 1 bod a 3 bod:

$$T_{II} := 0 \text{ MPa} + 59.552 \text{ MPa} = 59.552 \text{ MPa}$$

$$T_I := 66.723 \text{ MPa} + 100.683 \text{ MPa} = 167.406 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I := T_I$$

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (T_I^2 + T_{II}^2)} = 350.34 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa} \qquad 435.556 \text{ MPa} > 350.34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I = 167.406 \text{ MPa} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 352.8 \text{ MPa} \qquad \text{Svar } a=4 \text{ mm } \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Svar plechu P12 ke stojině HEB360 a k patnímu plechu P25:

2x koutový svar:  $a := 4 \text{ mm}$

$$N_{Ed.B151} = 101.06 \text{ kN} \qquad - \text{ max síla v diagonále}$$

$$F_{Hd.x} := N_{Ed.B151} \cdot \cos(46.5^\circ) = 69.565 \text{ kN}$$

$$F_{Hd.z} := N_{Ed.B151} \cdot \sin(46.5^\circ) = 73.306 \text{ kN}$$

$$L_{we.x} := 181 \text{ mm}$$

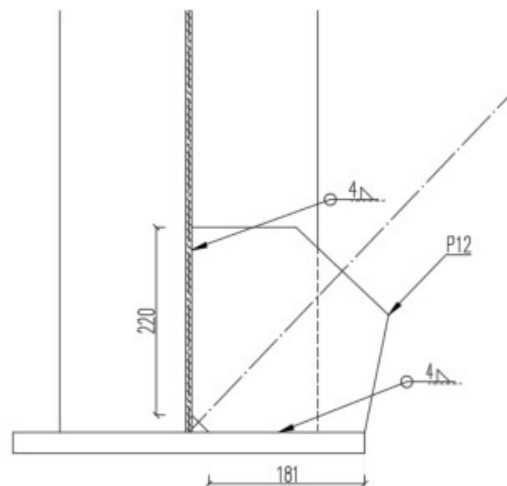
$$L_{we.z} := 220 \text{ mm}$$

$$T_{II.x} := \frac{F_{Hd.x}}{2 \cdot a \cdot L_{we.x}} = 48.042 \text{ MPa}$$

$$T_{II.z} := \frac{F_{Hd.z}}{2 \cdot a \cdot L_{we.z}} = 41.651 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa} \qquad 435.556 \text{ MPa} > 48.042 \text{ MPa}$$



obr. 23 - Schéma plechu

Svar  $a=4 \text{ mm}$  **VYHOVUJE**

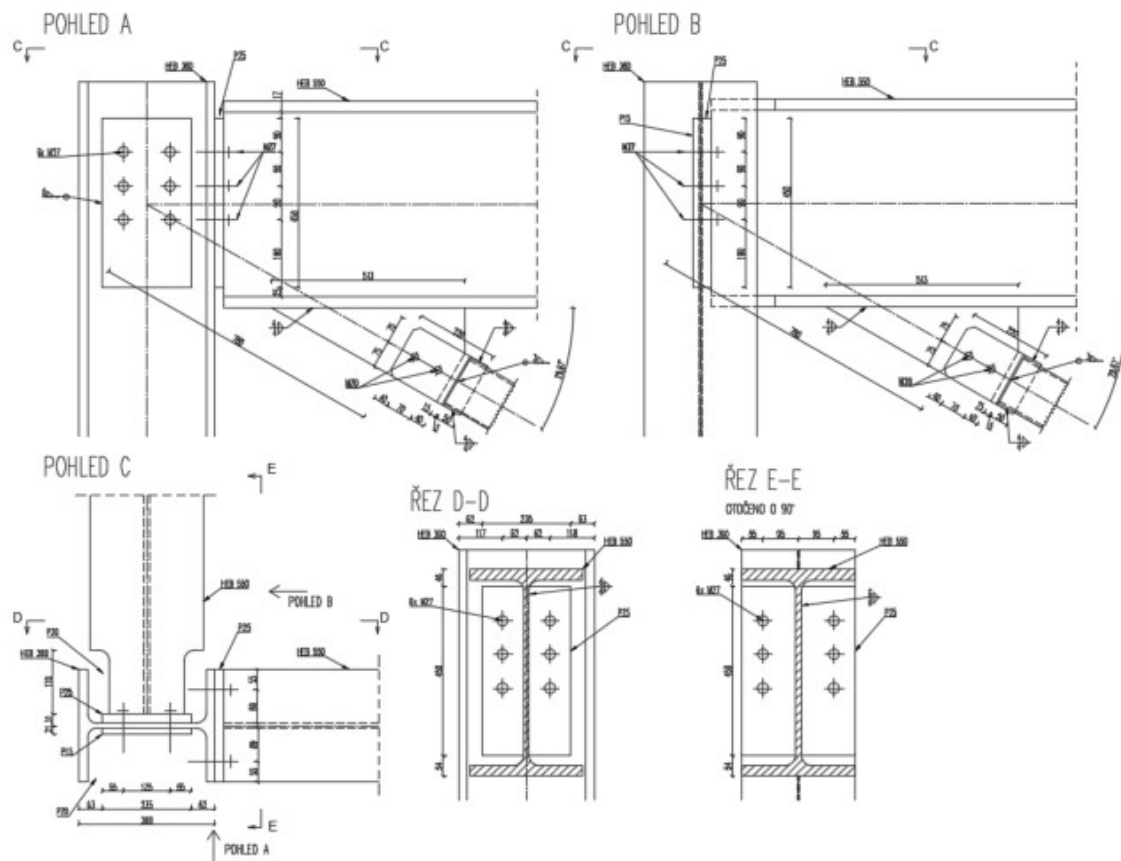
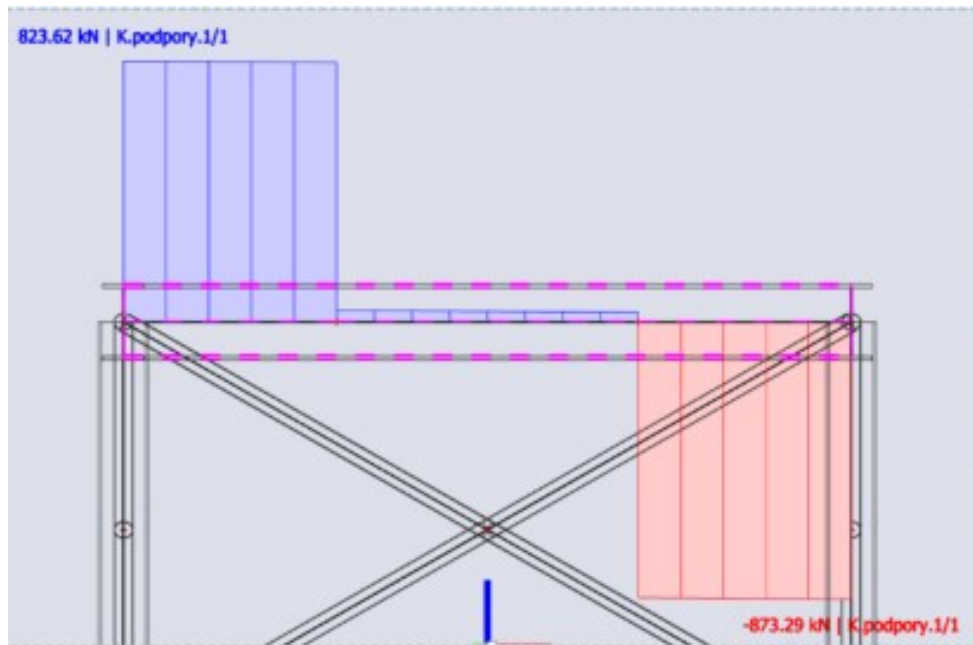
## 15.4. Detail 4: přípoje vodorovných nosníků na sloup

- Vnitřní síly:

$$V_z := 873 \text{ kN}$$

$$N_{\text{diag}} := -50 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed}} := V_z - N_{\text{diag}} \cdot \cos(60.33^\circ) = 897.75 \text{ kN}$$



obr. 24 - Schéma přípoje

- Návrh šroubů přípoje nosníku HEB550 ke sloupu HEB360: 6x M27 8.8

- Únosnost jednoho šroubu ve střihu:

$$a_v := 0.6$$

$$A_s := 459 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

$$Y_{m2} := 1.25$$

$$F_{v,Rd} := \frac{a_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{Y_{m2}} = 176.256 \text{ kN}$$

- Únosnost v otláčení:

$$e_1 := 55 \text{ mm}$$

$$d_0 := 41 \text{ mm}$$

$$f_u := 800 \text{ MPa}$$

$$e_2 := 55 \text{ mm}$$

$$a_b := \min\left(\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}\right), \left(\frac{f_{ub}}{f_u}\right), 1.0\right) = 0.447$$

$$k_1 := \min\left(\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7\right), 2.5\right) = 2.056$$

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

$$t := 22.5 \text{ mm}$$

$$f_u := 490 \text{ MPa}$$

$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{Y_{m2}} = 218.944 \text{ kN}$$

- Posouzení únosnosti ve smyku:

$$V_{Rd} := \min((F_{v,Rd}), (F_{b,Rd})) = 176.256 \text{ kN}$$

- Potřebný počet šroubu:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = 5.093$$

Návrh 6x M27 8.8

$$6 \cdot V_{Rd} > N_{Ed}$$

$$6 \cdot V_{Rd} = 1057.536 \text{ kN} > V_{Ed} = 897.75 \text{ kN}$$

VYHOVUJE



- Návrh svaru profilu HEB 550 ke styčnickovému plechu P25:

$$\begin{aligned} 2x \text{ koutový svar:} \quad a &:= 6 \text{ mm} \\ L_{we} &:= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$F_{Hd} := V_{Ed} = 897.75 \text{ kN}$$

$$\tau_{II} := \frac{F_{Hd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = 166.25 \text{ MPa}$$

$$\tau_I := 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I := 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 287.954 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa} \qquad 435.556 \text{ MPa} > 287.954 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I = 0 \text{ MPa} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 352.8 \text{ MPa} \qquad \text{Svar } a=6 \text{ mm } \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Návrh šroubů diagonály - profilu CHS139,7x5,0:  
budou navrženy stejně jako spojnice B60: 2x M20 8.8

- Návrh svarů trubky - profilu CHS139,7x5,0 ke styčnickovému plechu P12:  
budou navrženy stejně jako spojnice B60 ke styčnickovému plechu P12:  $a := 4 \text{ mm}$

- Kontrola únosnosti oslabené stojiny ve smyku:

$$t_{w,HEB550} := 15 \text{ mm}$$

$$V_{Rd} := \frac{L_{we} \cdot t_{w,HEB550} \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1383.476 \text{ kN} > V_{Ed} = 897.75 \text{ kN} \quad - \text{OK}$$

- Návrh svarů plechu P10 k pásnici HEB 550:

$$\begin{aligned} 2x \text{ koutový svar:} \quad a &:= 4 \text{ mm} \\ L_{we} &:= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{Hd.x} &:= |N_{diag}| \cdot \cos(29.67^\circ) = 43.445 \text{ kN} \\ F_{Hd.z} &:= |N_{diag}| \cdot \sin(29.67^\circ) = 24.75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\tau_{II} := \frac{F_{Hd.z}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = 6.875 \text{ MPa}$$

$$W_w := 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot L_{we}^2 = (2.7 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^3$$

$$e := 117 \text{ mm}$$

$$\sigma_I := \frac{F_{Hd.x} \cdot e}{\sqrt{2} \cdot W_w} = 13.312 \text{ MPa}$$

$$\tau_I := \sigma_I$$

$$\sqrt{\sigma_I^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{II}^2)} = 29.166 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}} = 435.556 \text{ MPa} \qquad 435.556 \text{ MPa} > 29.166 \text{ MPa}$$

$$\sigma_I = 13.312 \text{ MPa} < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{m2}} = 352.8 \text{ MPa} \qquad \text{Svar } a=4 \text{ mm VYHOVUJE}$$

## Závěr

Tématem této diplomové práce byl podrobný návrh ocelového zásobníku. Z projektu P04C byly zjištěny optimální hodnoty pro podrobnější návrh zásobníku: poloměr zásobníku, výšku výsypky a výšku komory zásobníku, tloušťku stěny komory, tloušťku stěny výsypky, tloušťku plechu ve víku, podélné nosníky ve víku, příčné zesílení víka, napětí v konstrukci.

Nejdříve byly uvedené vstupní hodnoty pro statický výpočet: charakteristiky uskladňovaného materiálu, rozměry zásobníku. Pak bylo rozepsáno zatížení na konstrukci zásobníku. Potom bylo navrženo víko včetně nosníku pro zesílení. Pak bylo posouzeno napětí v kritických místech konstrukci komory zásobníku. Dále bylo rozepsáno zatížení ve výsypce zásobníku. Následně bylo posouzeno napětí ve výsypce. Potom byly navrženy vodorovné výztuhy v komoře zásobníku. Dále byl navržen a posouzen přechodový spoj. Potom byly navrženy a posouzeny všechny prvky podpůrné konstrukce. Pak byly porovnány výsledky dosazené pomocí ručního výpočtu a výsledky ze softwaru SCIA Engineer. Následně byly navrženy a posouzeny vybrané detaily v konstrukci. V poslední části byla zpracována výkresová dokumentace navržených prvků.



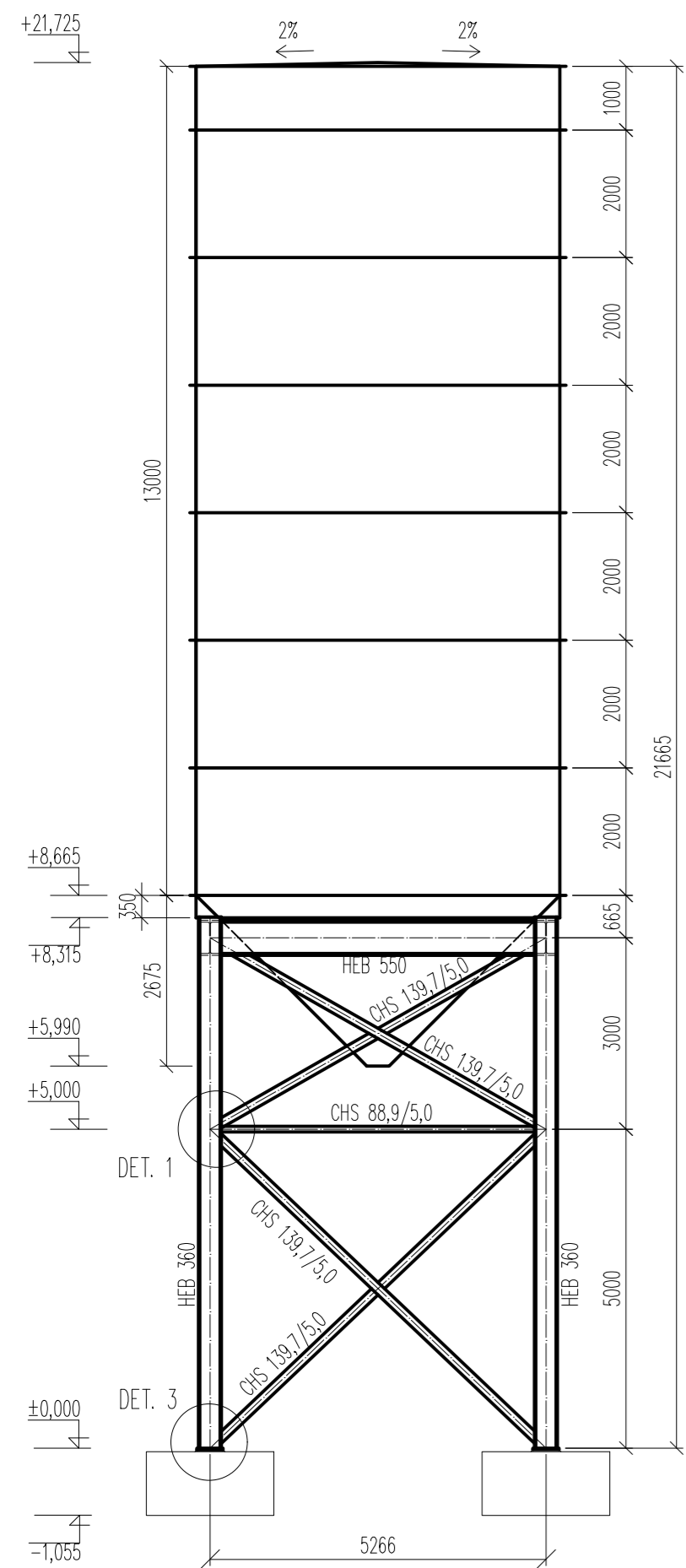
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

**OCELOVÝ ZÁSOBNÍK**  
**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

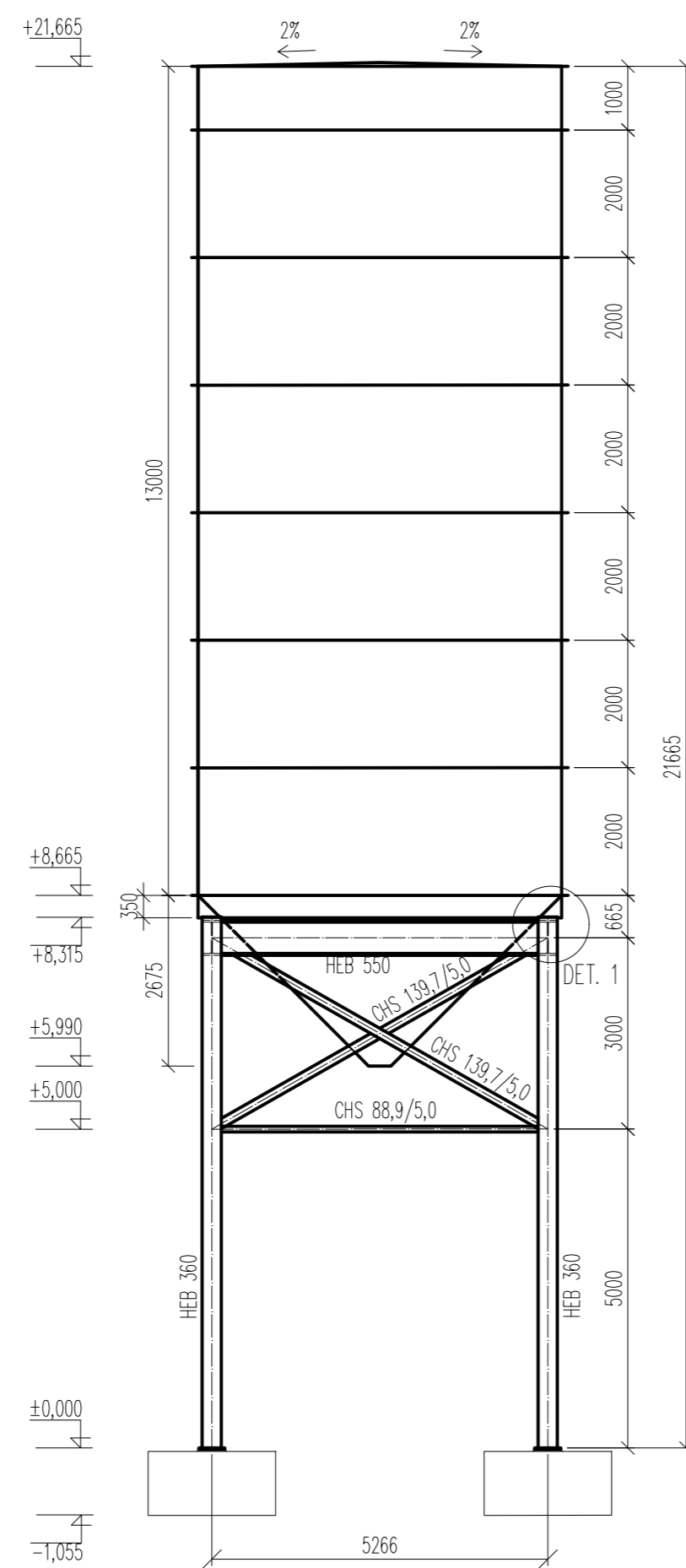
Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.  
Autor: Bc. Mykyta Matiukhov

**Praha, 2024**

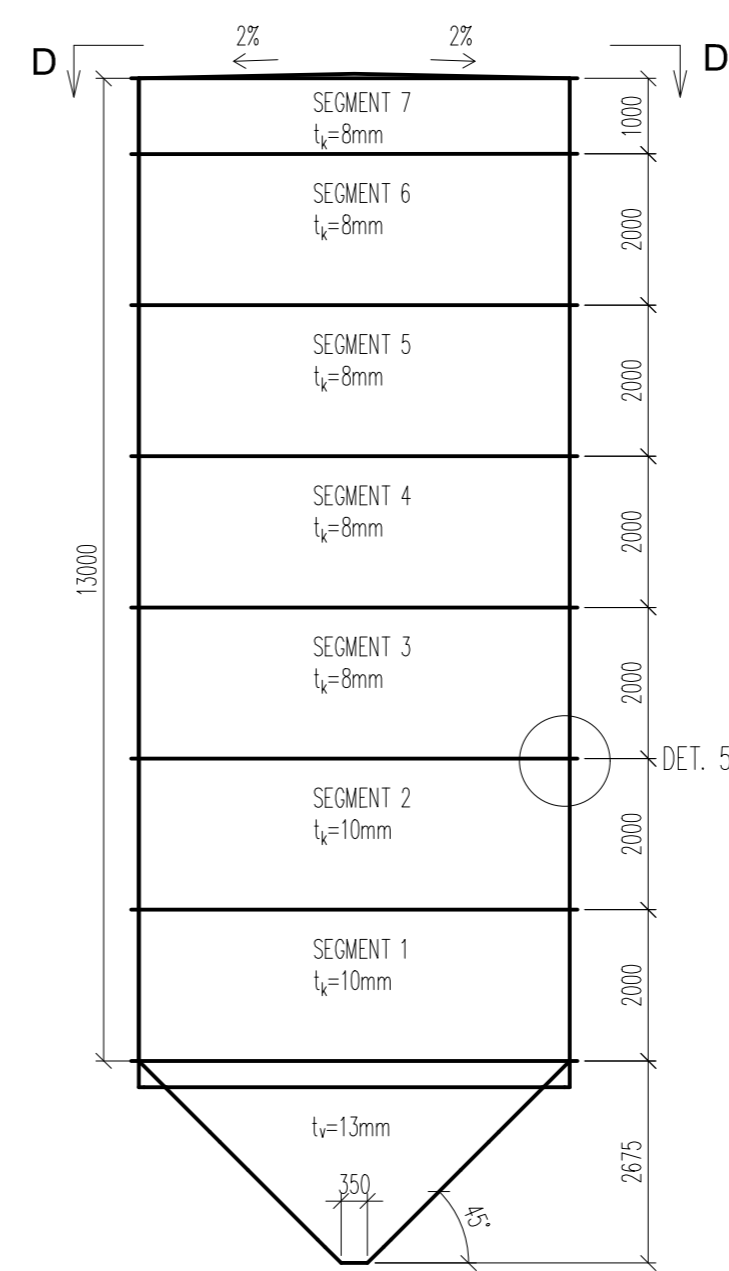
POHLED A



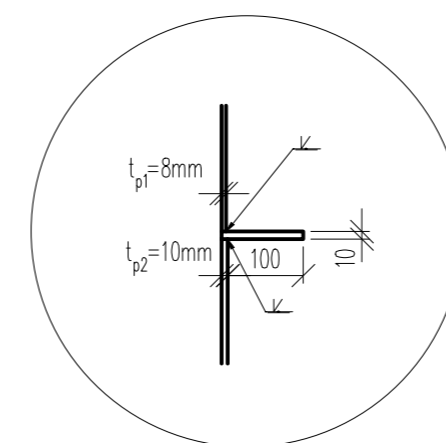
POHLED B



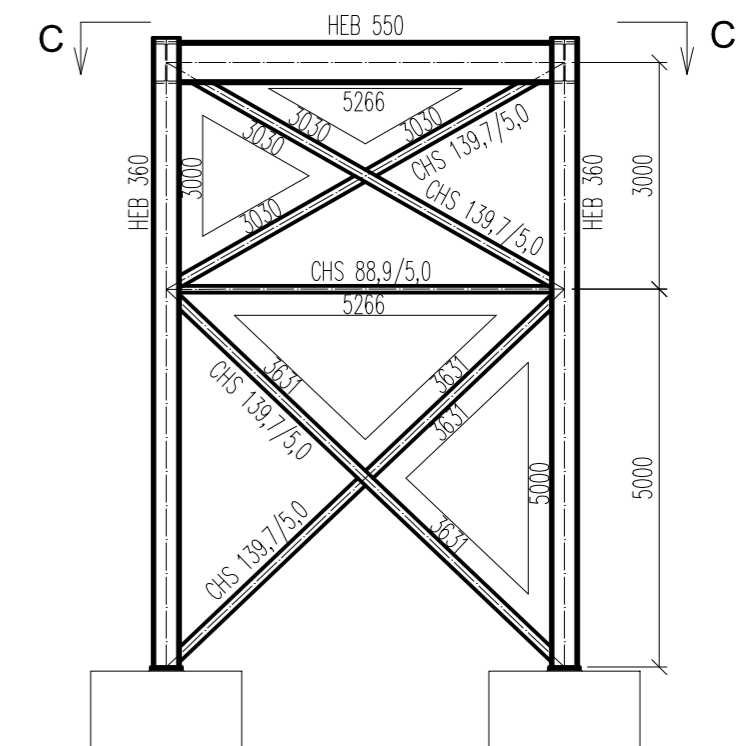
ZÁSOBNÍK



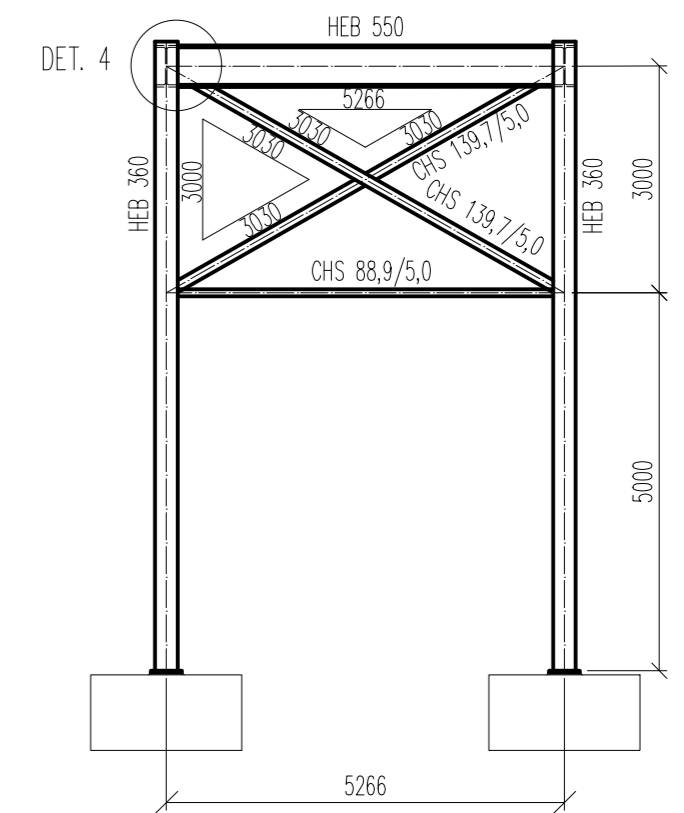
DETAIL 5: NAPOJENÍ SEGMENTŮ STĚNY ZÁSOBNÍKU



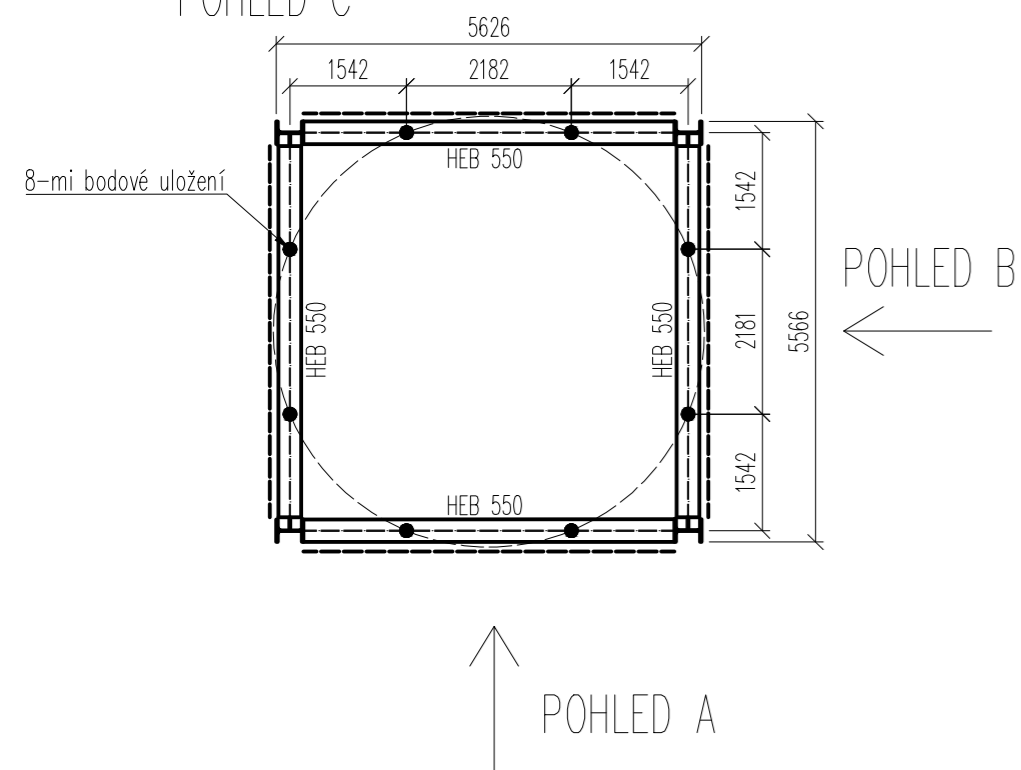
PODPŮRNÁ KONSTRUKCE: STRANA A



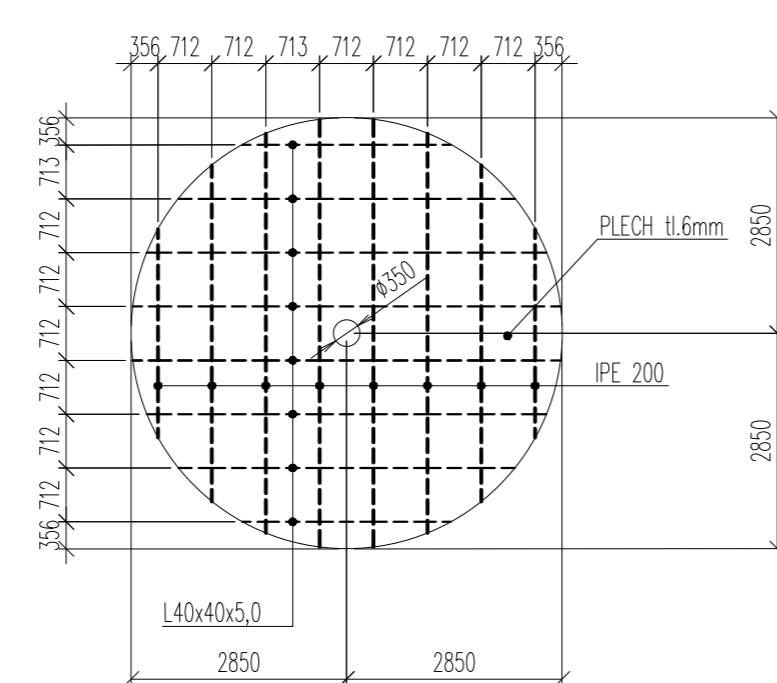
PODPŮRNÁ KONSTRUKCE: STRANA B



POHLED C



POHLED D



OCEL: S355JR – SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE, VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE, ČELNÍ DESKY

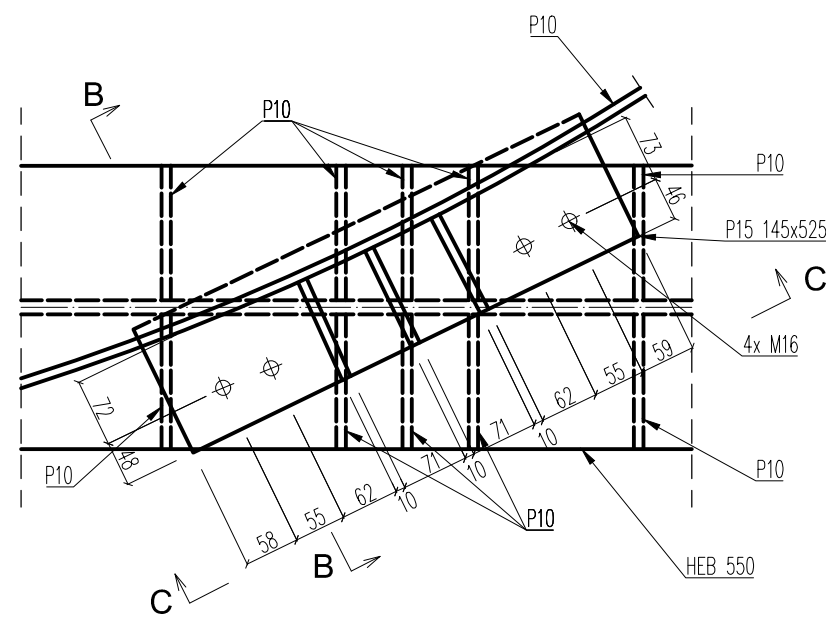
BETON: C25/30 – ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

ŠROUBY: 8.8

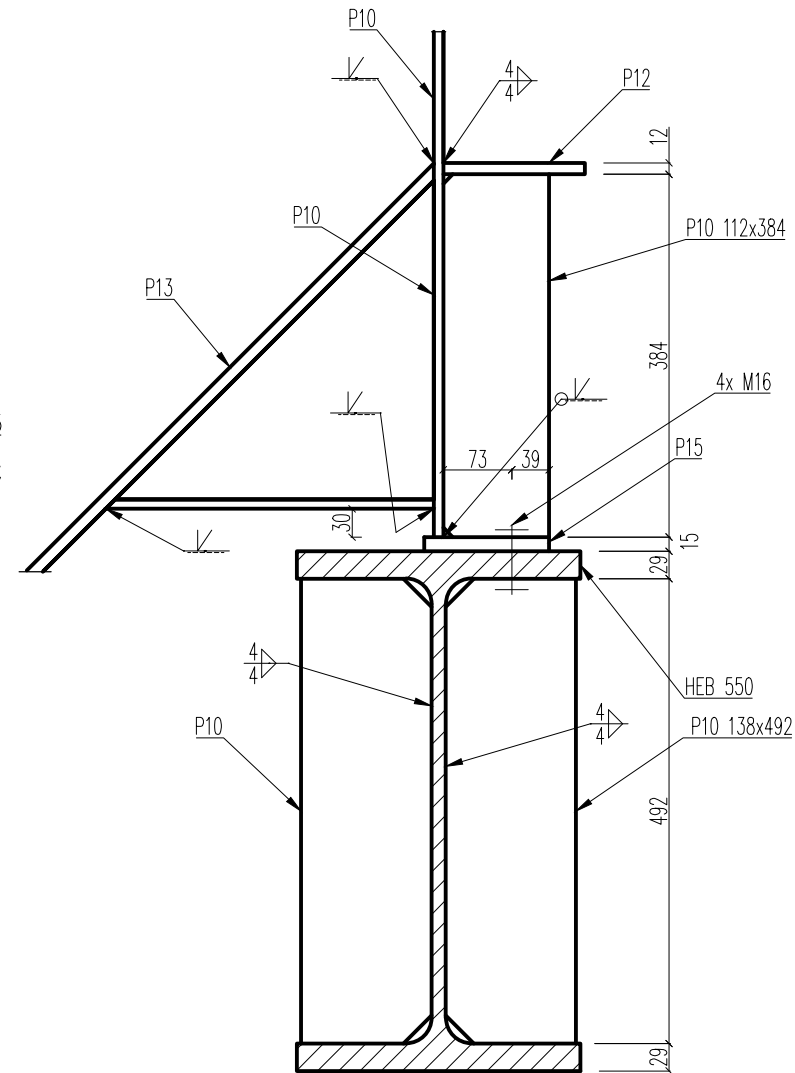
TŘÍDA PŘÍKROUŽÍ EXC2

Zpracoval	Bc. Matiukhov Mykyta	Školní rok	2023/2024	Fakulta stavební <b>ČVUT</b>
Kontroloval	prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Datum	01.01.2024	
Předmět	134DPM	Formát	A2	Měřítko 1:100
Úloha	OCELOVÝ ZÁSOBNÍK	Výkres	POHLEDY, ŘEZY	

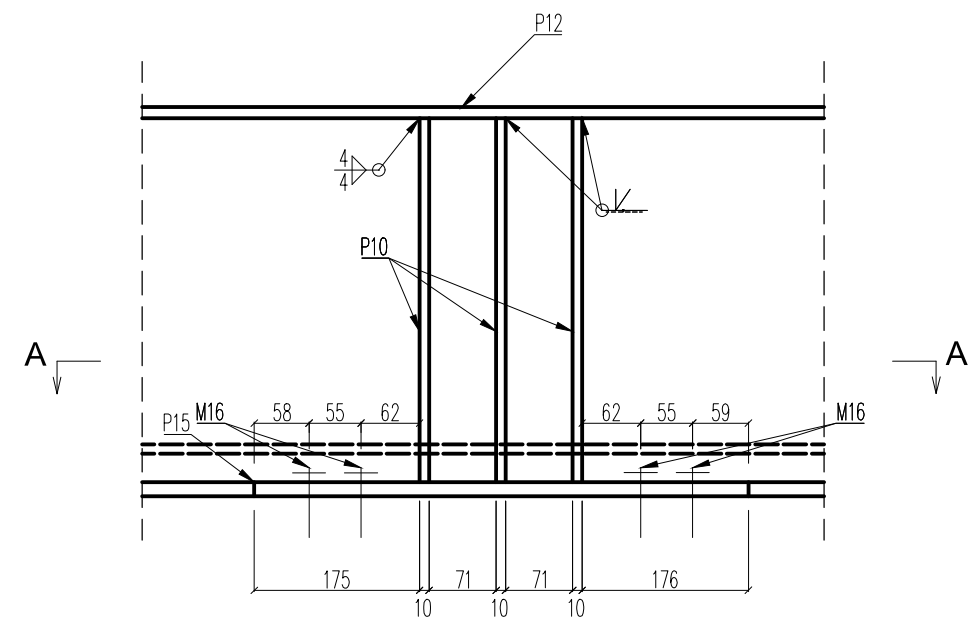
POHLED A-A



ŘEZ B-B



POHLED C-C



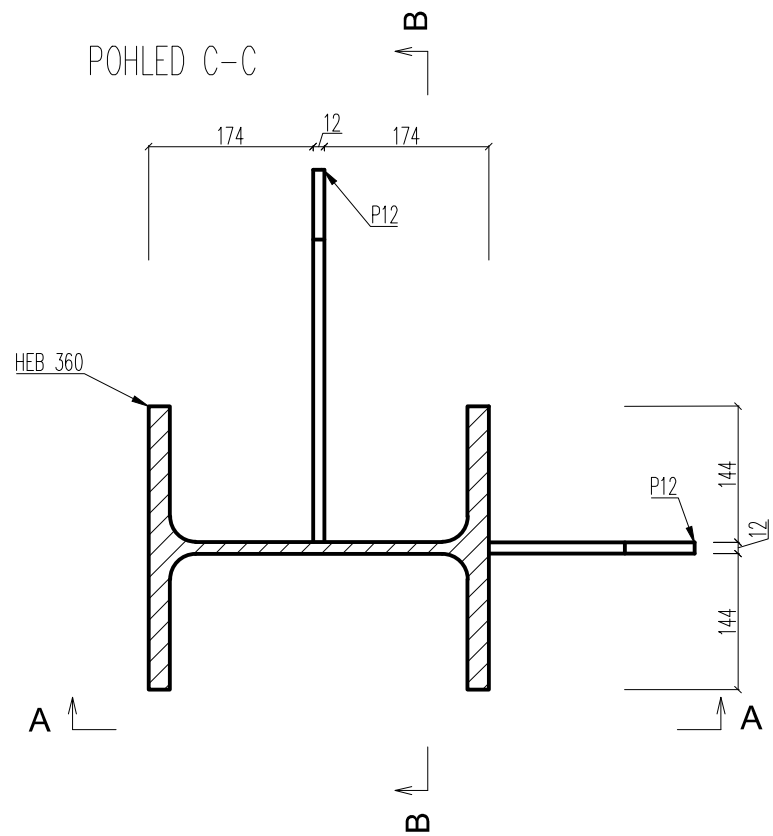
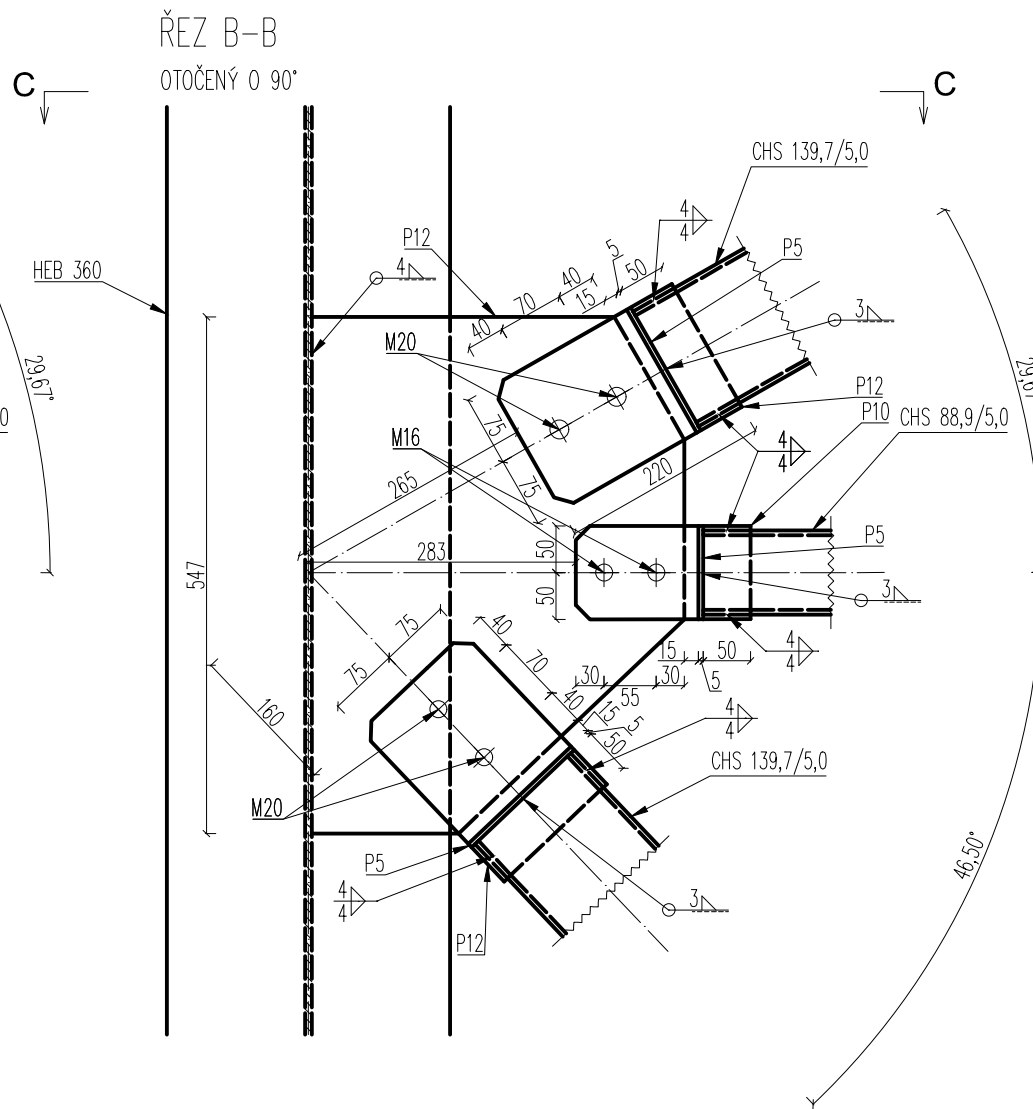
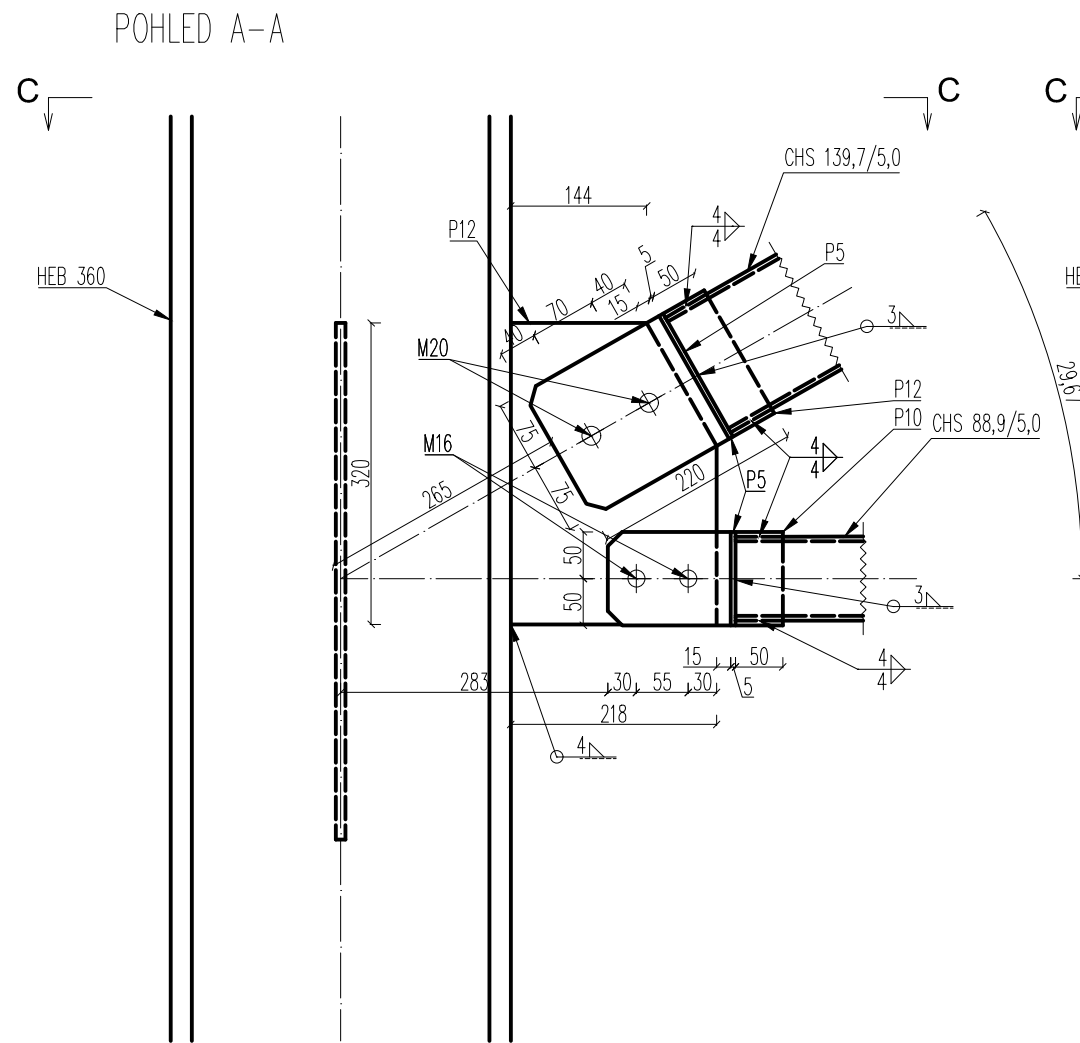
OCEL: S355JR – SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE, VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE, ČELNÍ DESKY

BETON: C25/30 – ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

ŠROUBY: 8.8

TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval	Bc. Matiukhov Mykyta	Školní rok	2023/2024	Fakulta stavební <b>ČVUT</b>
Kontroloval	prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Datum	01.01.2024	
Předmět	134DPM	Formát	A3	Měřítko 1:8 Podpis
Úloha	OCLOVÝ ZÁSOBNÍK	Výkres	DETAIL 1:ULOŽENÍ ZÁSOBNÍKU NA NOSNÍK	




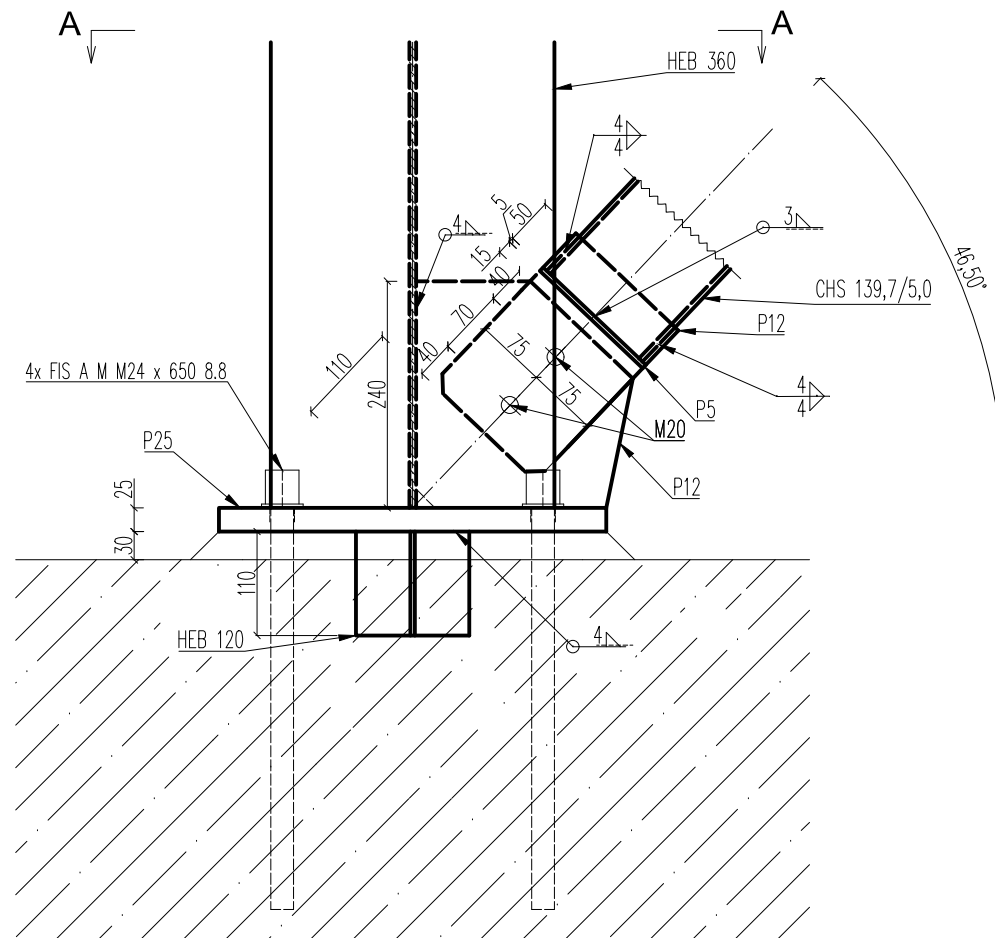
OCEL: S355JR – SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE, VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE, ČELNÍ DESKY

BETON: C25/30 – ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

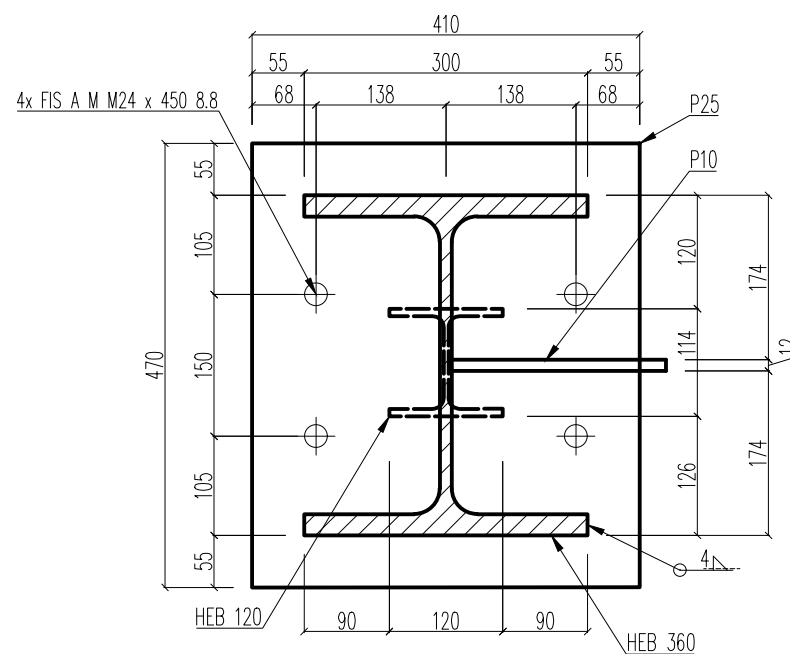
ŠROUBY: 8.8

TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval	Bc. Matiukhov Mykyta	Školní rok	2023/2024	Fakulta stavební	
Kontroloval	prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.			ČVUT 	
Předmět	134DPM	Datum	01.01.2024		
Úloha	OCELOVÝ ZÁSOBNÍK	Formát	A3		
Výkres	DETAIL 2: PŘÍPOJE DIAGONÁL NA SLOUP	Měřítko	1:8		
		Podpis			



ŘEZ A-A




OCEL: S355JR – SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE, VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE, ČELNÍ DESKY

BETON: C25/30 – ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

ŠROUBY: 8.8

TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

Zpracoval	Bc. Matiukhov Mykyta	Školní rok	2023/2024	Fakulta stavební	
Kontroloval	prof. Ing. Michal Jandera, Ph.D.			ČVUT 	
Předmět	134DPM	Datum	01.01.2024	Formát	A3
Úloha	OCELOVÝ ZÁSOBNÍK	Měřítko	1:8	Podpis	
Výkres	DETAIL 3: PÁTKA SLOUPU S DIAGONÁLOU				



