

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

Katedra betonových a zděných konstrukcí



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Návrh zastřešení kostela Lesná

Statický výpočet

Studijní program:	Stavební inženýrství
Studijní obor:	Konstrukce pozemních staveb
Vedoucí práce:	Ing. Martin Tipka Ph.D.

**Matěj Kukla**

---

Praha 2023

# Obsah

<b>1</b>	<b>Popis konstrukce</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Podklady a výpočetní pomůcky</b> .....	<b>6</b>
2.1	Normy.....	6
2.2	Výpočetní pomůcky.....	6
<b>3</b>	<b>Materiály</b> .....	<b>7</b>
3.1	Beton .....	7
3.2	Ocel.....	7
<b>4</b>	<b>Zatížení</b> .....	<b>8</b>
4.1	Stálá a ostatní stálá zatížení .....	8
4.2	Proměnné zatížení.....	9
4.2.1	Užitné zatížení.....	9
4.2.2	Zatížení sněhem .....	9
4.2.3	Zatížení větrem .....	11
4.2.4	Smršťování .....	17
4.2.5	Zatížení teplotou .....	19
<b>5</b>	<b>Varianta č. 1 – monolitická kopule</b> .....	<b>20</b>
5.1	Mezní stav únosnosti (MSÚ) .....	20
5.2	Návrh a posouzení výztuže.....	22
5.2.1	Sloupy.....	22
5.2.2	Vnější prstenec.....	23
5.2.3	Kopule .....	25
<b>6</b>	<b>Varianta č. 2 – prefabrikovaná kopule</b> .....	<b>29</b>
6.1	Návrh a posouzení výztuže.....	30
6.1.1	Prefabrikát střešní kopule.....	30
6.1.2	Vnitřní prstenec .....	34
6.2	Manipulační úchyty .....	38
6.2.1	Prefabrikát střešní kopule.....	39
6.2.2	Vnitřní prstenec .....	41

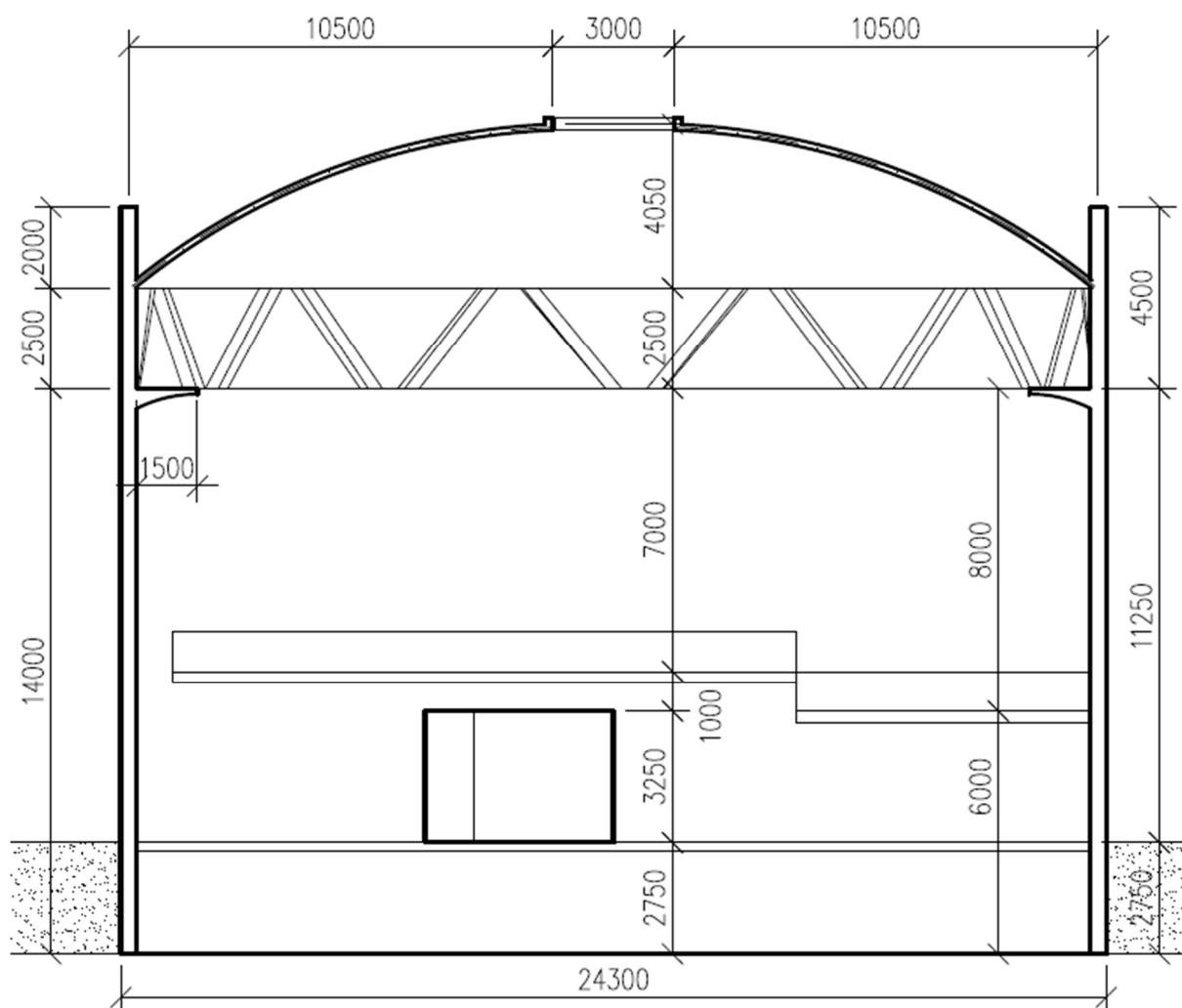
# 1 POPIS KONSTRUKCE

Konstrukce kostela je tvořena válcovou skořepinou (dříkem) uvažované tloušťky 300 mm s poloměrem 12 metrů. V oblasti dříku je v konstrukci několik otvorů. Jedná se o vstup do kostela, průchod mezi kostelem a stávajícím duchovním centrem – viz Obr. 1.

Kostel lze rozdělit na 3 základních část:

- suterén
- dřík
- konstrukce zastřešení

V oblasti suterénu, který se nachází pod kostelem i stávajícím centrem, se nachází parkovací stání, byty, archiv a technická místnost



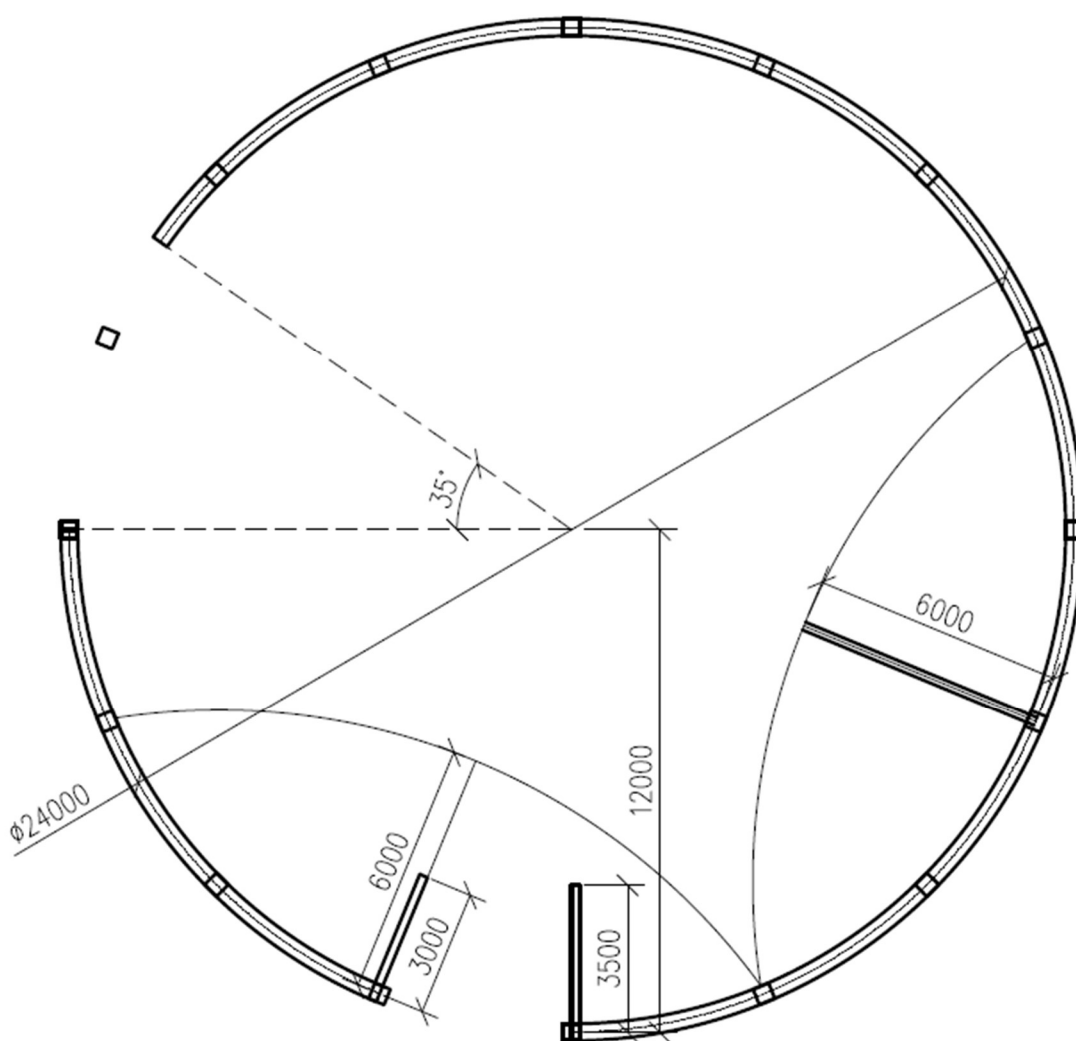
Obr. 1: Boční pohled/řez kostelem

Dřík (válcová skořepina) přechází ze suterénu až do výšky cca 11 metrů a následně přechází na část zastřešení. Z konstrukce dříku jsou vykonzolovány 2 vnitřní balkóny (kúry). První z nich je

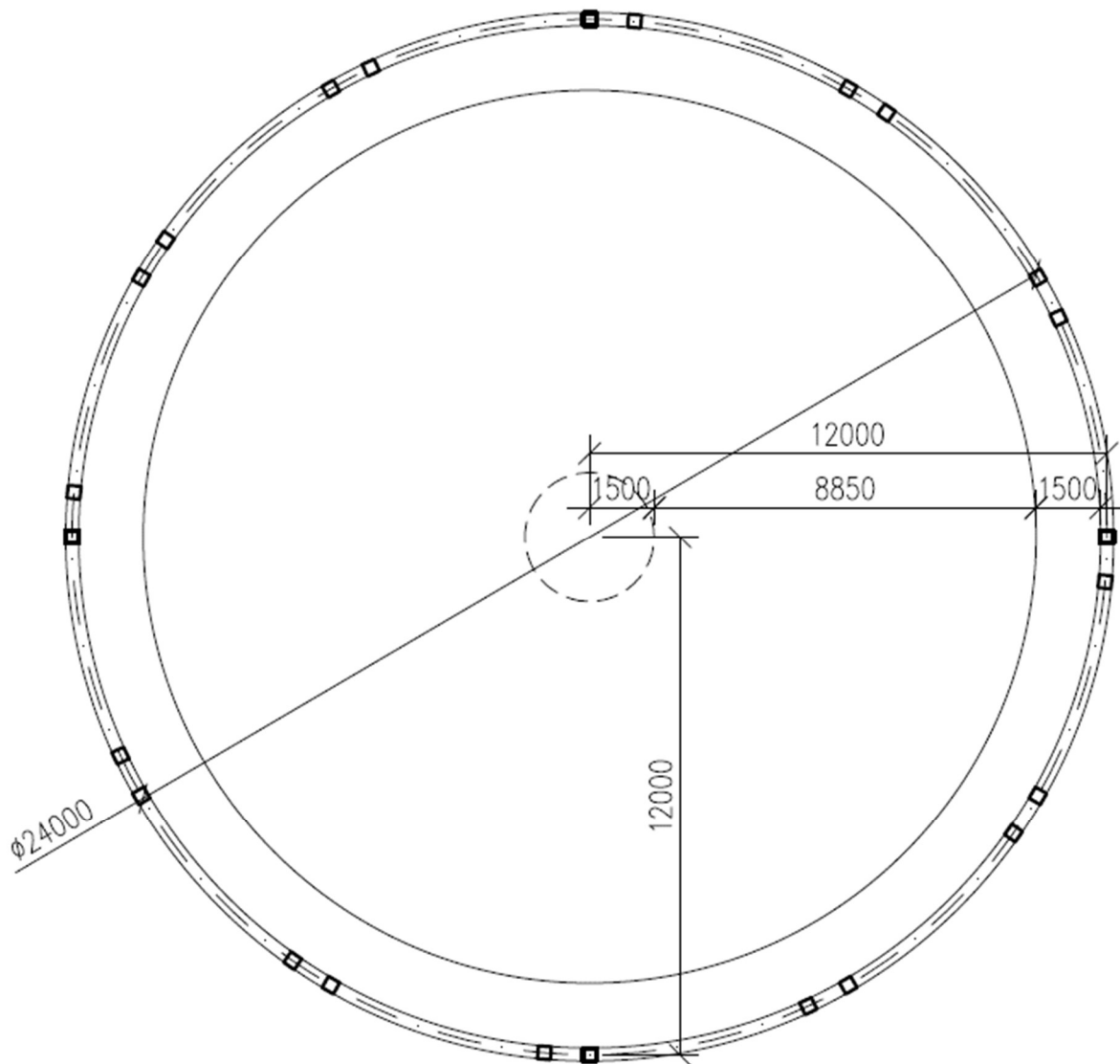
umístěn nad vchodovými dveřmi a slouží pro umístění varhan. Druhý je umístěn o metr výše a je určen pro lid a chór – viz Obr. 1 a 2. V horní části dříku se ještě nachází ohoz navazující lávkou na vyhlídkovou věž – viz Obr. 1 a 3.

Poslední částí je konstrukce zastřešení. Ta je tvořena kruhovou sérií sloupů, které navazují na konstrukci dříku, a samotnou kruhovou kopulí s vnějším prstencem. Válcová kopule je ve vrcholu doplněna otvorem poloměru 1,5 metru pro přísun slunečního svitu do prostoru hlavní lodě – viz Obr. 47.

Předmětem diplomové práce je pouze návrh konstrukce zastřešení kostela.



Obr. 2: Půdorys v rovině terénu



Obr. 3: Půdorys v patách sloupů

## 2 PODKLADY A VÝPOČETNÍ POMŮCKY

---

### 2.1 NORMY

[1]	ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí
[2]	ČSN EN 1991-1-1	Obecná zatížení
[3]	ČSN EN 1991-1-3	Zatížení sněhem
[4]	ČSN EN 1991-1-4	Zatížení větrem
[5]	ČSN EN 1991-1-5	Zatížení teplotou
[6]	ČSN EN 1992-1-1	Navrhování betonových konstrukcí Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

### 2.2 VÝPOČETNÍ POMŮCKY

[7]	SCIA Engineer 21.1 64bit, studentská verze
[8]	Autodesk AutoCAD 2017, studentská verze
[9]	SCIA Concrete Section 11.1 64bit, studentská verze
[10]	Microsoft Office 365, studentská verze
[11]	C&S, Program pro výpočet smršťování a dotvarování betonu

## 3 MATERIÁLY

---

V této kapitole jsou shrnuty vlastnosti všech materiálů použitých ve statickém výpočtu.

### 3.1 BETON

#### Monolitická část

Třída		C 30/37	
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30,0	MPa
Návrhová pevnost v tlaku (normální úroveň kvality)	$f_{cd}$	$= 30/1,5 = 20$	MPa
Střední hodnota tahové pevnosti	$f_{ctm}$	2,9	MPa
Modul pružnosti	$E_{cm}$	33,0	GPa
Objemová tíha (železobeton)	$\gamma_c$	25,0	kN/m <sup>3</sup>
Součinitel teplotní roztažnosti	$\alpha$	$10 \cdot 10^{-6}$	K <sup>-1</sup>

#### Prefabrikovaná část

Třída		C 50/60	
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	50	MPa
Návrhová pevnost v tlaku (normální úroveň kvality)	$f_{cd}$	$= 50/1,5 = 33,3$	MPa
Střední hodnota tahové pevnosti	$f_{ctm}$	4,1	MPa
Modul pružnosti	$E_{cm}$	37,0	GPa
Objemová tíha (železobeton)	$\gamma_c$	25,0	kN/m <sup>3</sup>
Součinitel teplotní roztažnosti	$\alpha$	$10 \cdot 10^{-6}$	K <sup>-1</sup>

### 3.2 OCEL

#### Betonářská výztuž

Třída		B 500 B	
Charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500,0	MPa
Návrhová mez kluzu	$f_{yd}$	$= 500/1,15 = 435,0$	MPa
Modul pružnosti v tahu a tlaku	$E_s$	210,0	GPa
Objemová tíha	$\gamma_s$	78,5	kN/m <sup>3</sup>
Součinitel teplotní roztažnosti	$\alpha$	$10 \cdot 10^{-6}$	K <sup>-1</sup>

## 4 ZATÍŽENÍ

Zatížení konstrukce bylo uvažované v normových velikostech a směrech působení. Podrobnější popis zatížení je uveden v konkrétních částech statického výpočtu.

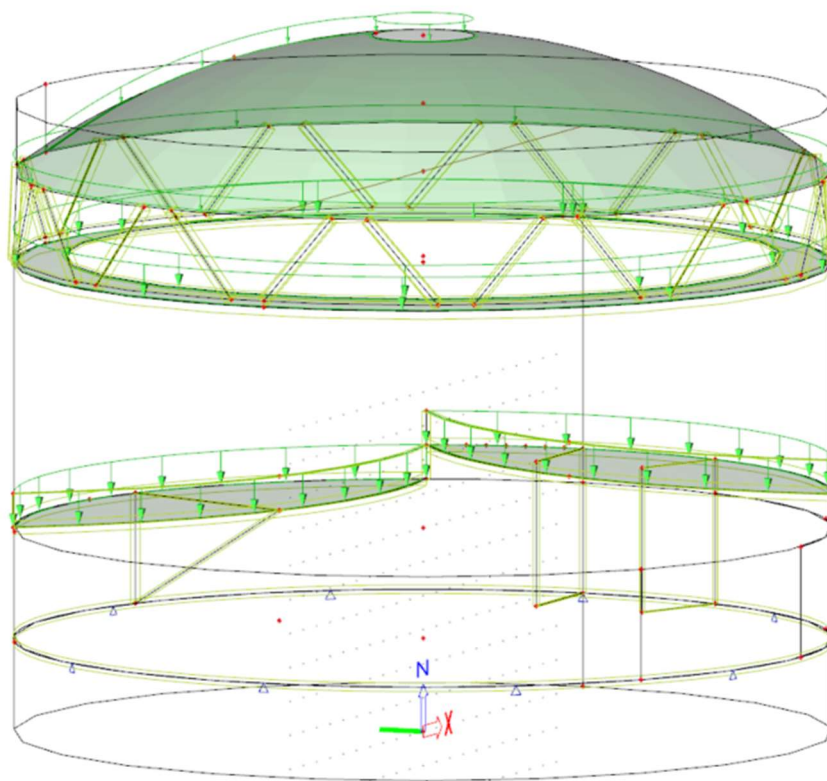
### 4.1 STÁLÁ A OSTATNÍ STÁLÁ ZATÍŽENÍ

#### **Skladby:**

Předpokládaná skladba střešního pláště:  $g_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$

Vrstva [č]	Druh [-]	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	Tloušťka [mm]	Zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]
1	ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR	1590	4,5	0,072
2	GLASTEK 30 STICKER ULTRA	1600	3	0,048
3	GLASTEK AL 40 MINERAL	1460	4	0,058
4	DEKPRIMER	-	-	-
5	Betonová skořepina	2500	150	-
			CELKEM	0,2

Zatížení skladbou podlah teras (ochoz a balkóny) odhadnuto:  $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$



Obr. 4: Ostatní stálé zatížení



### Vlastní tíha konstrukce:

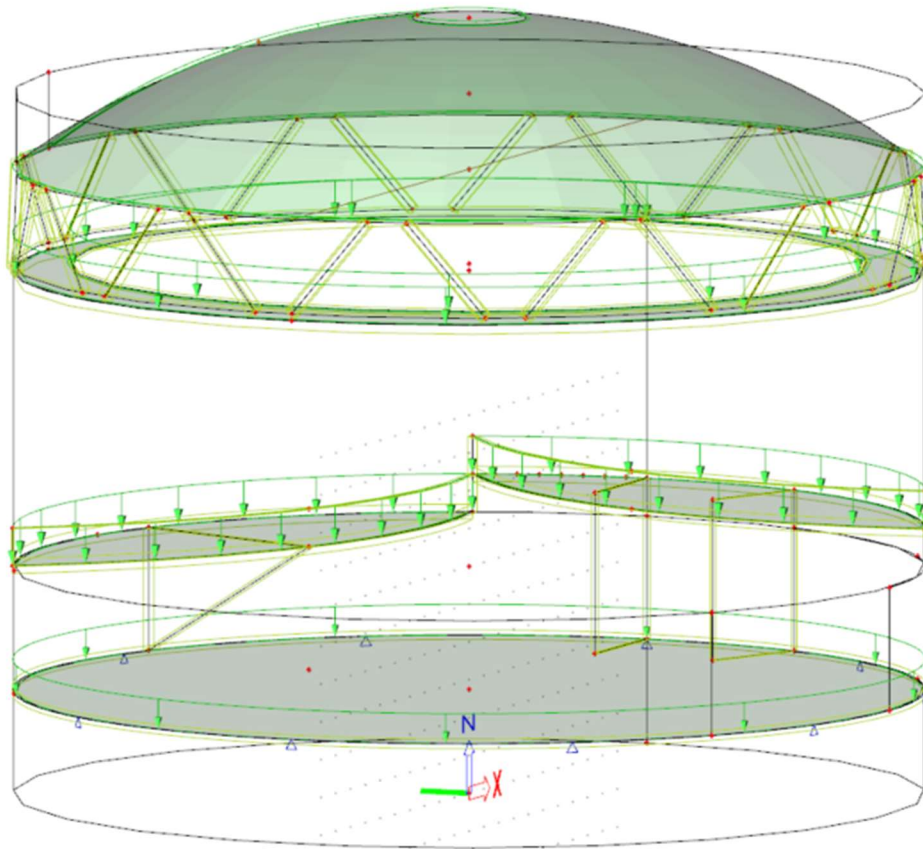
Vlastní tíha konstrukce generována programem SCIA Engineer [7].

## 4.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

### 4.2.1 Užité zatížení

Užitná zatížení pro výpočet jsou převzata z [2]

- Podlaha hlavní haly	Kategorie C2	$q_k = 4 \text{ kN/m}^2$
- Terasy (ohoz a balkóny)	Kategorie C5	$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
- Nepřístupná střecha	Kategorie H	$q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$



Obr. 5: Proměnné zatížení

### 4.2.2 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem pro výpočet jsou převzata z [3]. Uvažováno jako zatížení na válcovou plochu pro navátý a nenavátý sníh.

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

**Zatížení nenavátým sněhem:**

Tvarový součinitel  $\mu = 0,8$  - válcová střecha

Součinitel expozice  $C_e = 1$

Tepelný součinitel  $C_i = 1$

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_i \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$



**Zatížení navátým sněhem:**

Výška kopule

$$h = 4 \text{ m}$$

Šířka kopule

$$b = 24 \text{ m (2 x 12 m)}$$

$$h/b = 0,167$$

Tvarový součinitel

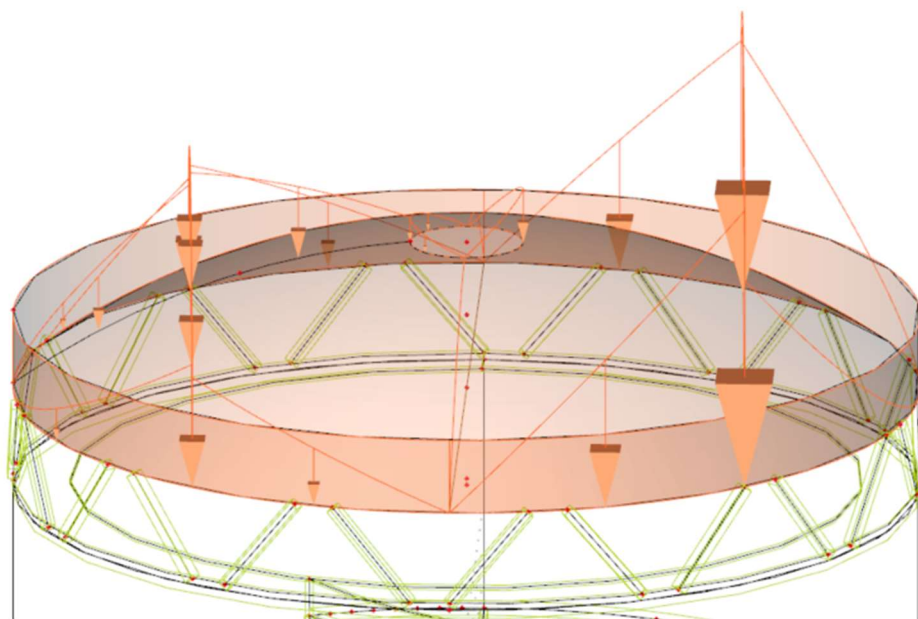
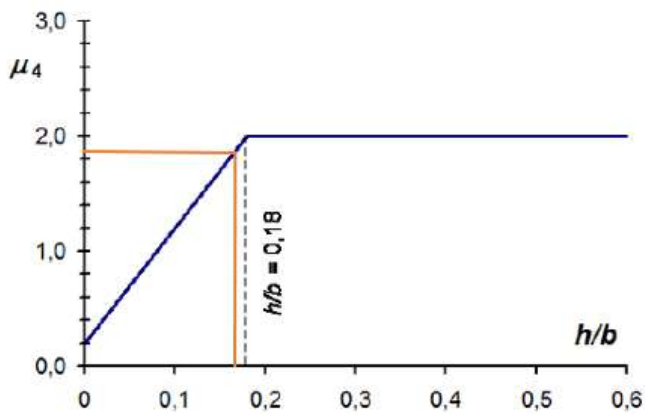
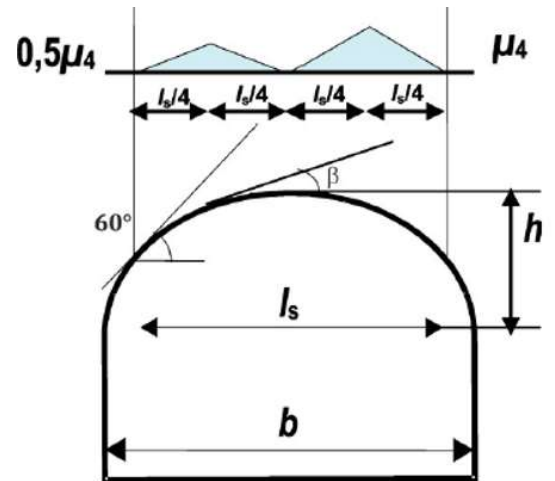
$$\mu_4 = 1,867$$

Zatížení sněhem

$$\mu_4 = 1,867 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení sněhem

$$0,5 \cdot \mu_4 = 0,933 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 6: zatížení navátým sněhem

### 4.2.3 Zatížení větrem

Zatížení větrem pro výpočet jsou převzata z [4]. Uvažováno jako zatížení na válcovou plochu pro navátý a nenavátý sníh.

Umístění - Brno

Větrná oblast II  $v_b=25$  m/s

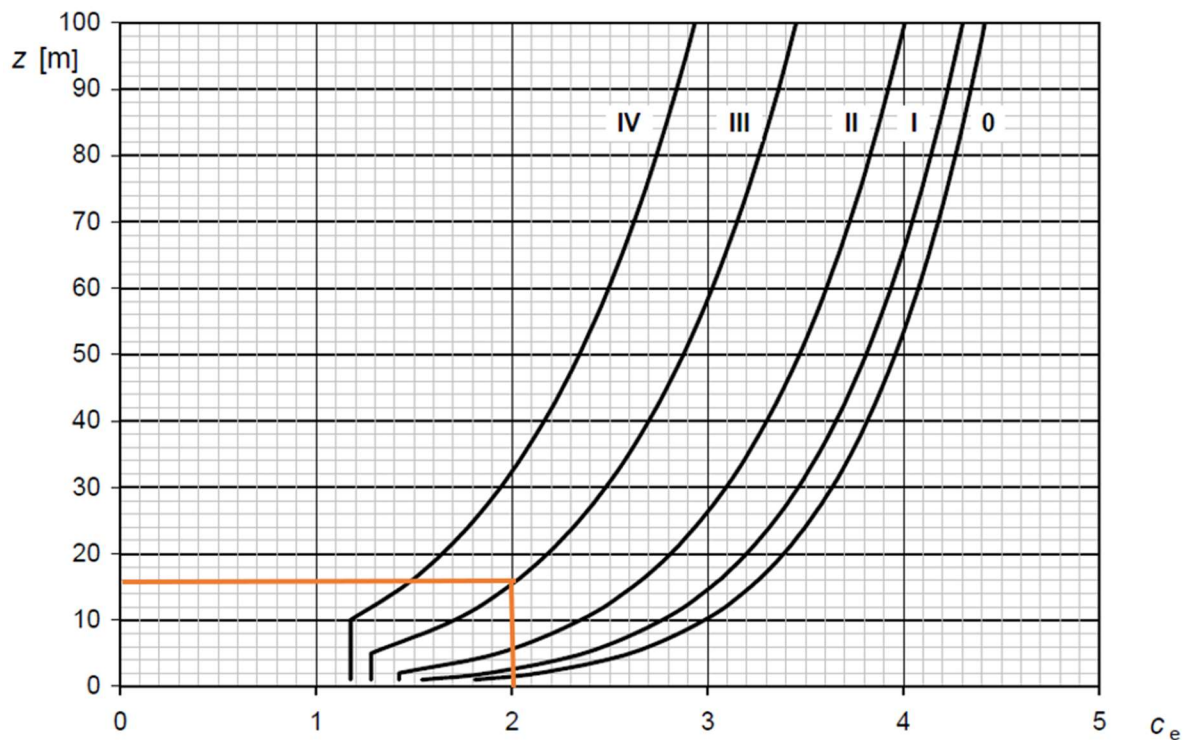
Kategorie terénu III

Výška nad terénem  $z = 15,5$  m

Součinitel expozice  $C_e = 2$

$q_b = 0,39$  kN/m<sup>2</sup>

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$



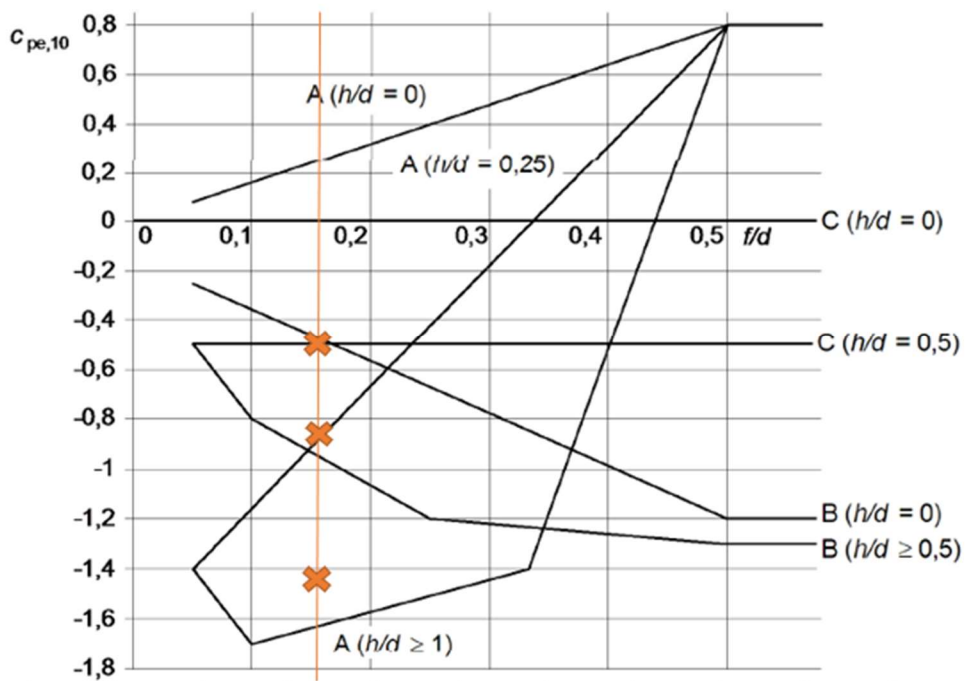
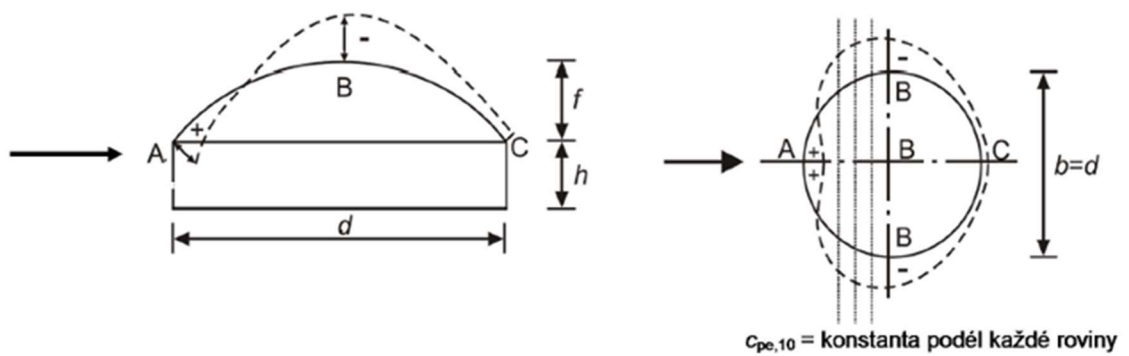
Obr. 7: Součinitel expozice

Pro přehlednost bylo zatížení větrem rozděleno dle konstrukce na kterou působí na zatížení kopule a na zatížení dříku.

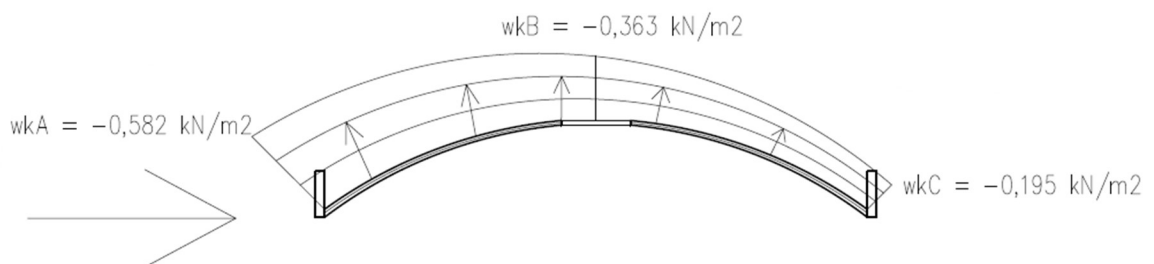
#### Zatížení kupule:

Šířka kopule:  $b = 24$  m  
 Délka kopule:  $d = 24$  m  
 Výška dříku:  $h = 11,25$  m  
 Výška kopule:  $f = 4$  m  
 $h/d = 0,583$   
 $f/d = 0,167$

Oblast	Hodnota	wk
[-]	[-]	[kN/m <sup>2</sup> ]
A	-1,49	-0,582
B	-0,93	-0,363
C	-0,50	-0,195

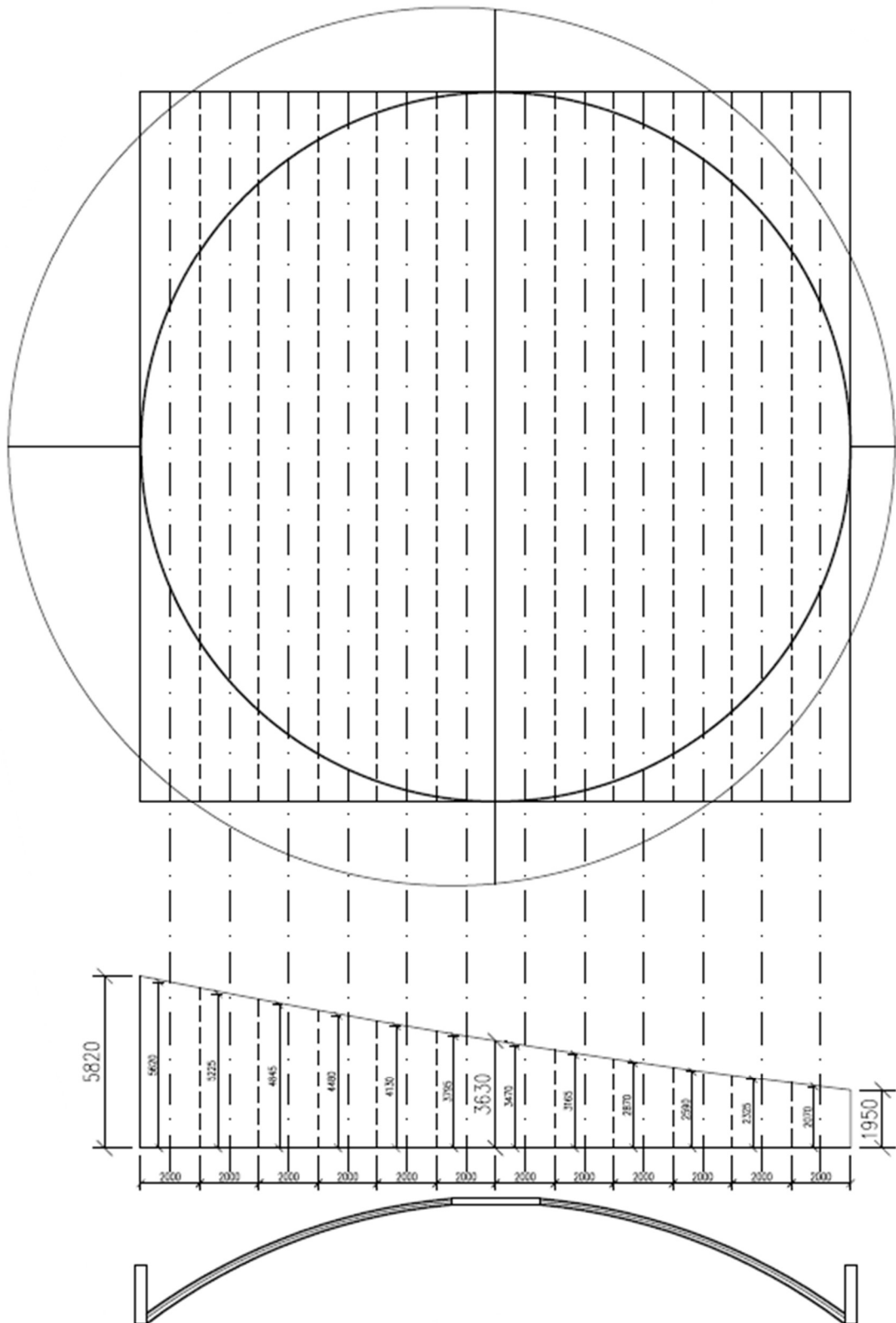


Obr. 8: Součinitel vnějšího tlaku pro zatížení kopule



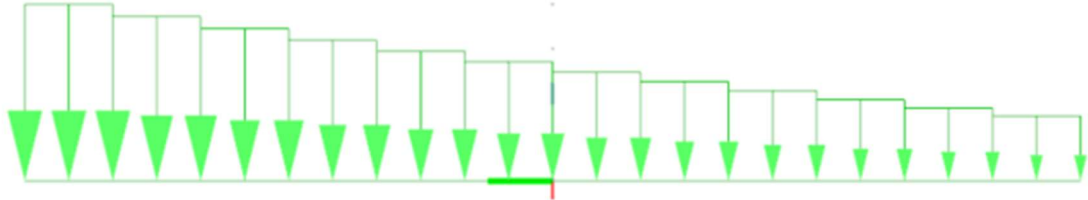
Obr. 9: Zatížení kupole – reálné

Pro přenesení požadovaného stavu zatížení do programu SCIA Enginner bylo využito rozdělení konstrukce na 2 m široké pruhy. Pro každý pruh byla stanovena střední hodnota – viz Obr. 10.

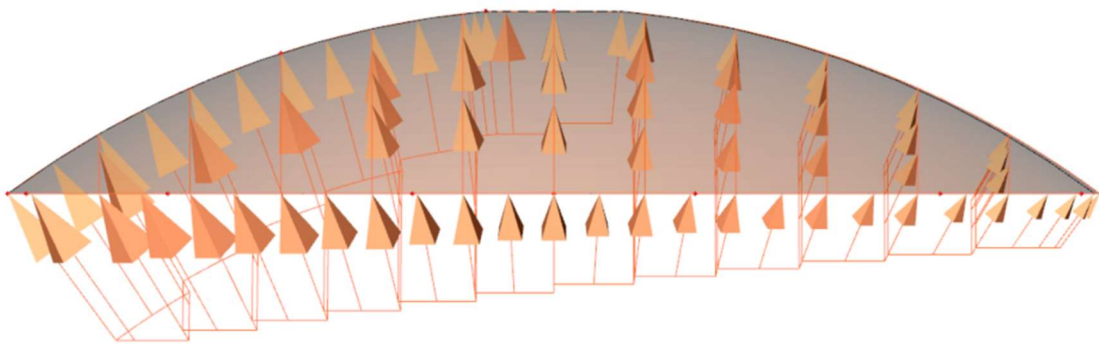


Obr. 10: Rozdělení kupole na pruhy a stanovení střední hodnoty

Zatížení bylo poté v pruzích přeneseno do programu SCIA Enginner – viz Obr. 11 a poté generováno jako volné zatížení na plochu kupole. Směr působení byl pro vybrán kolmý k lokálnímu současnému systému (LSS) – viz Obr. 12.



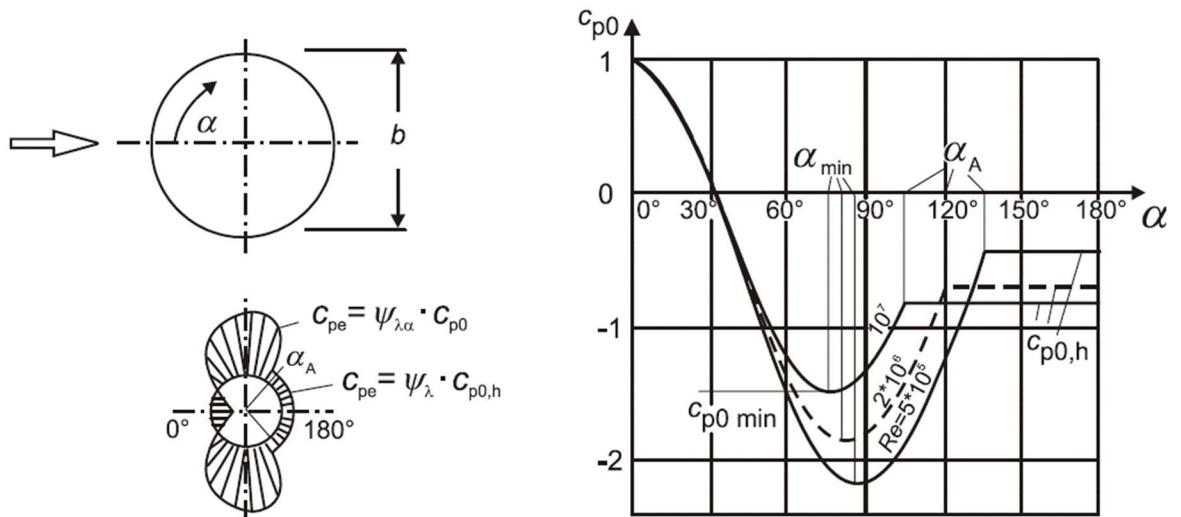
Obr. 11: Zatížení kupole – vyneseno v pruzích



Obr. 12: Zatížení kupole – konečný stav v programu SCIA Enginner

**Zatížení dříku:**

Způsob generace zatížení rozdělením do pruhů byl proveden také při modelování vodorovného zatížení větrem. Byl využit postup modelování pro kruhové válce – viz Obr. 13.



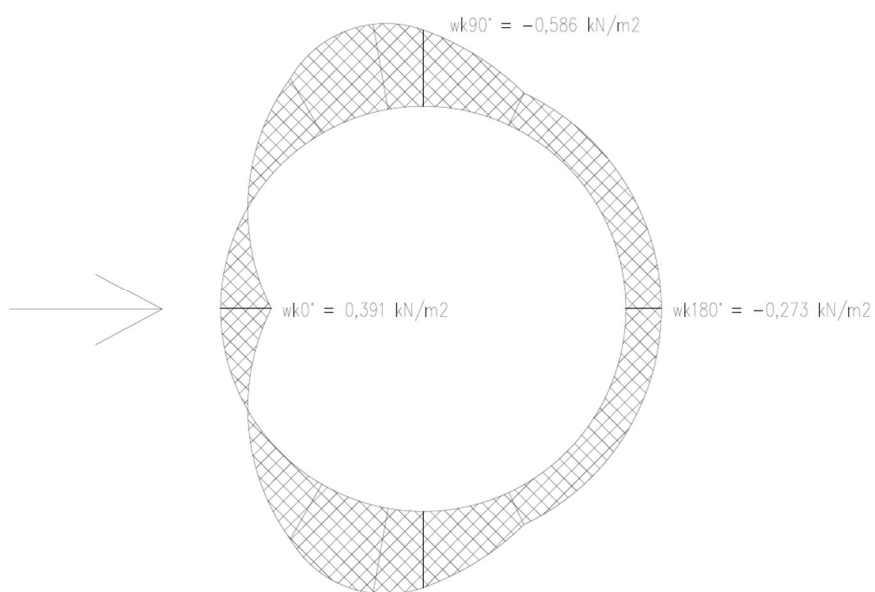
Obr. 13: Rozdělení tlaku pro válce s kruhovým průřezem

Pro výpočet musela být stanovena hodnota Reynoldsova čísla.

$b = 24 \text{ m}$                        $v(z) = 25 \text{ m/s}$

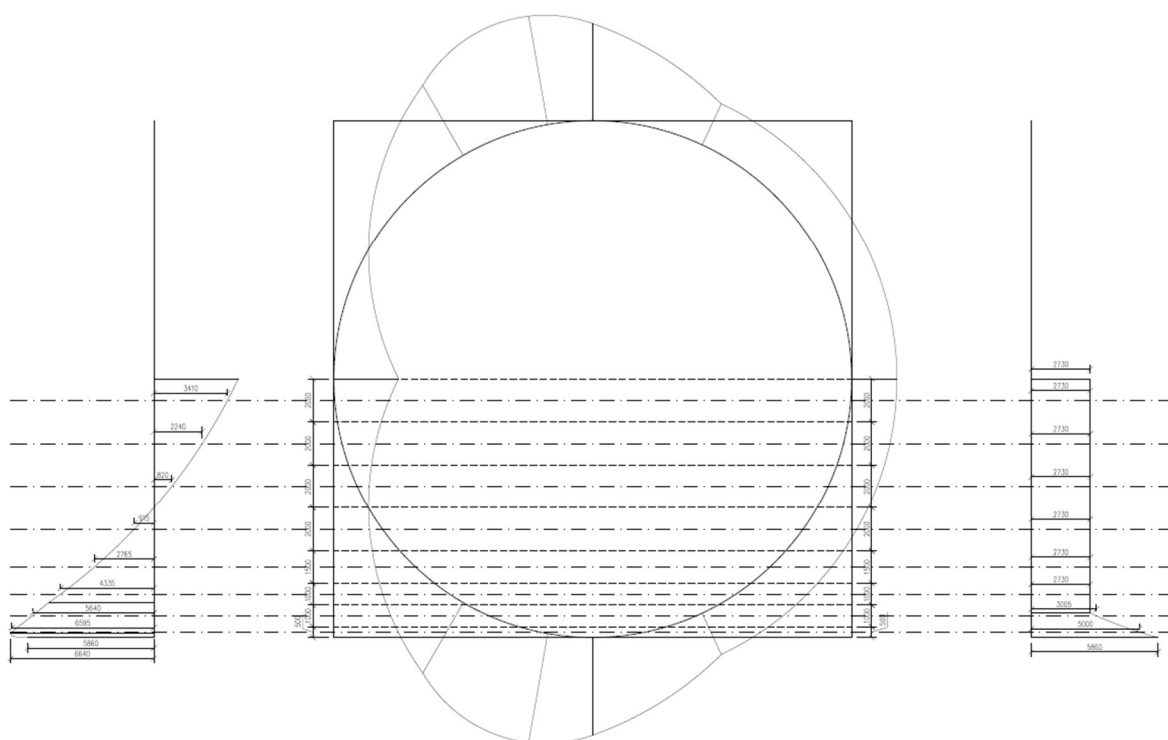
$Re = 40 \cdot 10^6$

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{v}$$

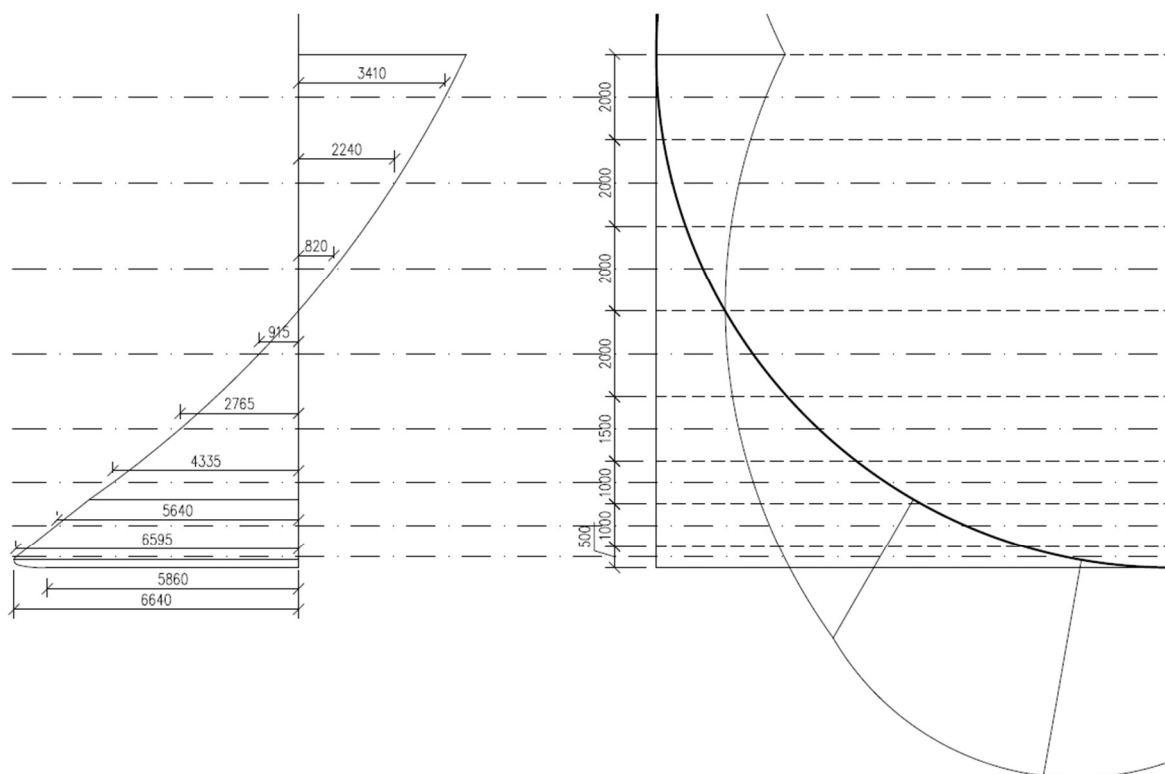


Úhel [°]	Hodnota [-]	wk [kN/m <sup>2</sup> ]
0	1	0,391
30	0	0,000
60	-1,25	-0,488
80	-1,7	-0,664
90	-1,5	-0,586
115	-0,7	-0,273
180	-0,7	-0,273

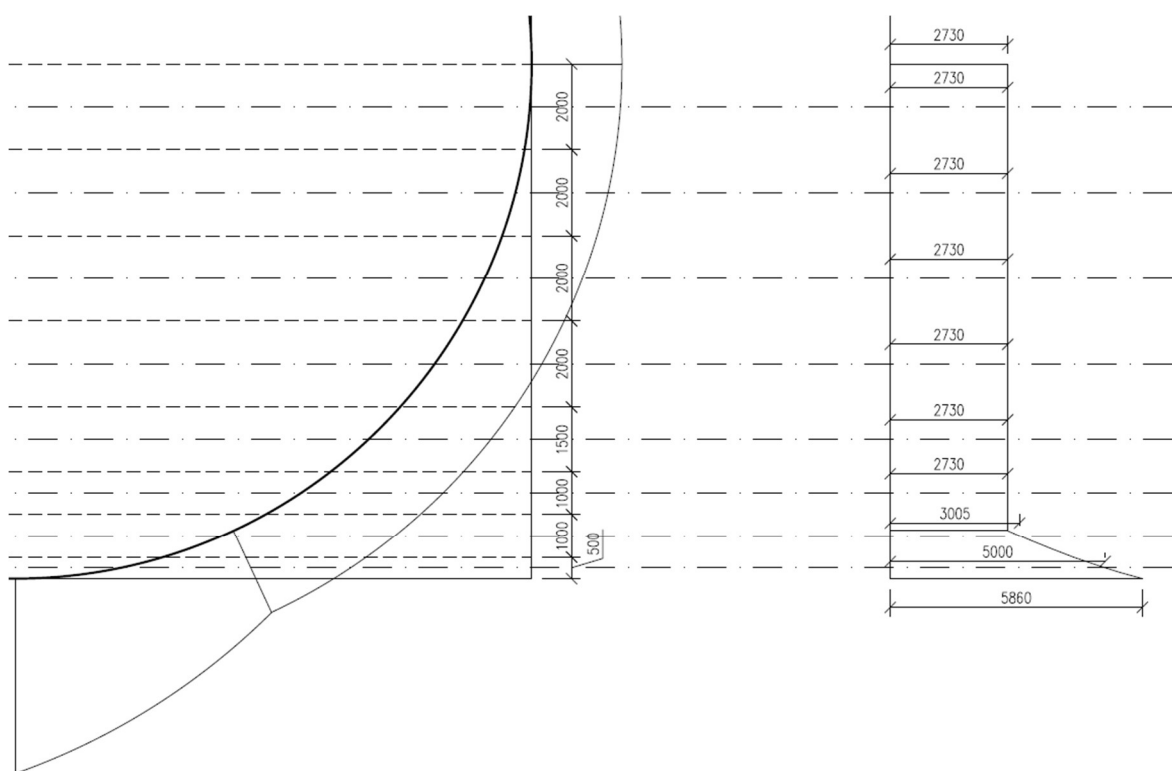
Obr. 14: Zatížení dříku – reálné



Obr. 15: Rozdělení kupole na pruhy a stanovení střední hodnoty

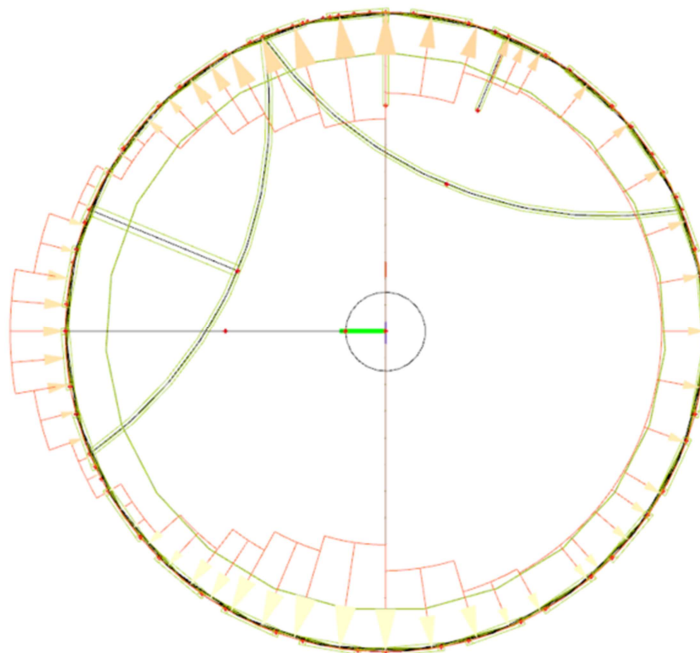


Obr. 16: Rozdělení kupole na pruhy a stanovení střední hodnoty – levá strana Obr. 15



Obr. 17: Rozdělení kupole na pruhy a stanovení střední hodnoty – pravá strana Obr. 15





Obr. 18: Zatížení dříku – konečný stav v programu SCIA Engineer

#### 4.2.4 Smršťování

Protože program SCIA Engineer nezohledňuje smršťování konstrukce, bude tento jev modelován jako fiktivní zatížení teplotou. Pro výpočet fiktivní teploty byla využita hodnota smršťování pro výsek konstrukce dle programu C&S [11] (Program pro výpočet smršťování a dotvarování betonu). Zadané hodnoty průřezu, betonu a doby ošetřování – viz. Obr 19 a 20.

Dotvarování a smršťování betonového prvku - model B3	
Geometrie, složení betonu, vlhkost a ošetřování   Zatížení, časové údaje   Součinitele, modul pružnosti E, funkce dotvarování	
<b>Geometrie průřezu</b>	<b>Složení bet. směsi, pevnost betonu</b>
průřezová plocha [ mm <sup>2</sup> ]	obsah cementu c [ kg/m <sup>3</sup> ]
obvod průřezu [ mm ]	obsah vody w [ kg/m <sup>3</sup> ]
Tvar průřezu	obsah kameniva a [ kg/m <sup>3</sup> ]
<input checked="" type="radio"/> nekonečná deska	válcová pevnost po 28 dnech f <sub>c</sub> [ MPa ]
<input type="radio"/> nekonečný válec	Druh cementu
<input type="radio"/> nekonečný čtyřhranný hranol	<input checked="" type="radio"/> cement typu I
<input type="radio"/> koule	<input type="radio"/> cement typu II
<input type="radio"/> krychle	<input type="radio"/> cement typu III
<b>součinitel tvaru k<sub>s</sub> 1.00</b>	<b>součinitel typu cementu α<sub>1</sub> 1.00</b>
<b>Vlhkost a ošetřování</b>	
průměrná relativní vlhkost [ % ]	<b>součinitel typu ošetřování α<sub>2</sub> 1.20</b>
Ošetřování betonu	
<input type="radio"/> ošetřování parou	
<input checked="" type="radio"/> normální ošetřování na vzduchu, počáteční ochrana proti vysoušení	
<input type="radio"/> beton ve vodě nebo v prostředí se 100 % relativní vlhkostí	

Obr. 19: Vstupní hodnoty – Geometrie průřezu, Složení bet. směsi

Dotvarování a smršťování betonového prvku - model B3

Geometrie, složení betonu, vlhkost a ošetřování | Zatížení, časové údaje | Součinitele, modul pružnosti E, funkce dotvarování

### Časové údaje

doba ošetřování betonu  $t_0$  [ dny ]

stáří při vnesení zatížení  $t'$  [ dny ]

výpočet parametrů smršťování a dotvarování v čase  $t$  [ dny ]  
 výpočet průběhů parametrů smršťování a dotvarování v intervalu  $\langle 0 ; t \rangle$

stáří betonu  $t$  [ dny ]

### Napětí

napětí od zatížení [ MPa ]

Obr. 20: Vstupní hodnoty – Časové údaje

Výstupní hodnoty

### Smršťování

konečné smrštění [ 10E-6 ]	-650,6875167
časová závislost konečného smrštění [ 10E-6 ]	-649,3330396
<b>smrštění v čase <math>t = 18250, t_0 = 3</math> [ 10E-6 ]</b>	<b>567,477762</b>

### Dotvarování

základní funkce dotvarování $C_0, t = 18250, t' = 7$ [ 10E-6 / MPa ]	98,17678127
funkce dotvarování vysycháním $C_d, t = 18250, t' = 7$ [ 10E-6 / MPa ]	69,15488198
<b>funkce dotvarování <math>J, t = 18250, t' = 7</math> [ 10E-6 / MPa ]</b>	<b>190,471610</b>
<b>součinitel dotvarování <math>f_i, t = 18250, t' = 7</math></b>	<b>2,63096599</b>

### Přetvoření

<b>přetvoření od zatížení <math>t = 18250, t' = 7</math> [ 10E-6 ]</b>	<b>190,471610</b>
<b>celkové přetvoření <math>t = 18250, t' = 7</math> [ 10E-6 ]</b>	<b>757,949373</b>

Obr. 21: Výstupní hodnoty – Smršťování

Výsledná hodnota smrštění  $\epsilon_{cs} = 567,5$   
 Součinitel teplotní roztažnosti betonu:  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$   
 Fiktivní zatížení teplotou:  $\Delta t = 56,75 \text{ K } (^\circ\text{C})$

$$\Delta t = \frac{\epsilon_{cs}}{\alpha}$$

#### 4.2.5 Zatížení teplotou

Jelikož se jedná o nezateplenou konstrukci, musíme uvažovat s významným namáháním od zatížení teplotou [4]. Konstrukce může být zatížena rovnoměrně (teplota na konstrukci je konstantní) či nerovnoměrně – např. vnější strana je osluněná a vnitřní je ve stínu.

Pro potřeby výpočtu bylo uvažováno rovnoměrné zimní a letní zatížení teplotou, nerovnoměrné zatížení teplotou není nadále uvažováno.

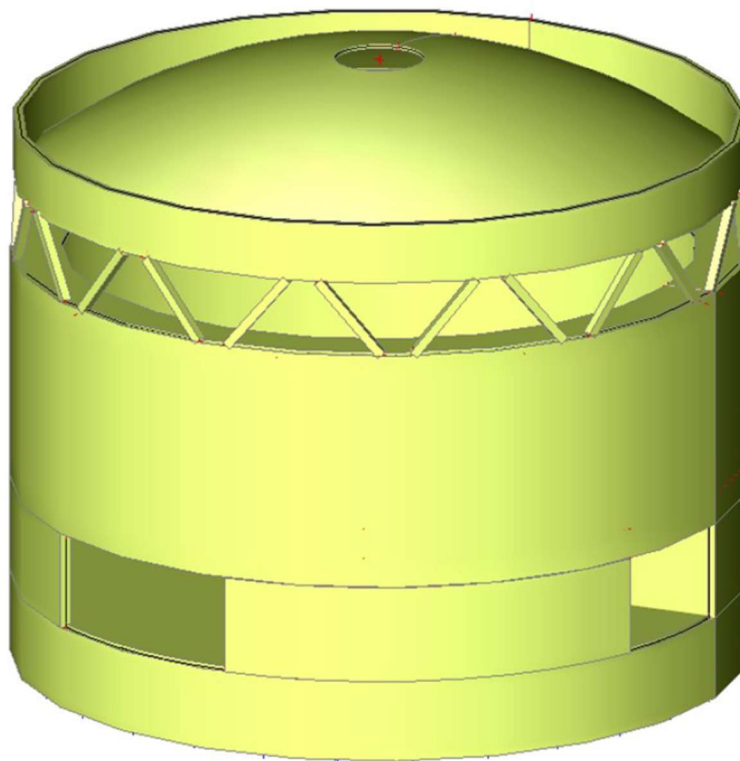
##### Rovnoměrné zatížení teplotou:

Referenční teplota je uvažována  $10 \text{ }^\circ\text{C}$

Lokalita	Brno	
$T_0$	- referenční teplota	= $10 \text{ }^\circ\text{C}$
$T_{max}$		= $40,0 \text{ }^\circ\text{C}$
$T_{min}$		= $-32 \text{ }^\circ\text{C}$
$T_{e,max}$	= $40 + 1,5$	= $41,5 \text{ }^\circ\text{C}$
$T_{e,min}$	= $-32 + 8$	= $-24,0 \text{ }^\circ\text{C}$
$\Delta T_{N,CON}$	= $-24-10$	= $-34,0 \text{ }^\circ\text{C}$
$\Delta T_{N,EXP}$	= $41,5-10$	= $31,5 \text{ }^\circ\text{C}$

## 5 VARIANTA Č. 1 – MONOLITICKÁ KOPULE

První variantou je čistě monolitická konstrukce z betonu C30/37. Konstrukce zastřešení se v tomto případě skládá z kopule konstantní tloušťky 150 mm s vnějším poloměrem 12 metrů, poloměrem vnitřního otvoru 1,5 metru a s celkovou výškou (nadvýšením) 4 metry. Kupole je po obvodu olemována prstencem shodného poloměru (12 metrů) o tloušťce 300 mm a výšce 2000 mm. Prstenec je po obvodu podporován 12 dvojicemi sloupů, které přenášejí zatížení do konstrukce dříku – viz Obr. 22.



Obr. 22: Model konstrukce – monolitická kopule

### 5.1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI (MSÚ)

Pro návrh výztuže bylo použito 10 zatěžovacích stavů – viz Kap. 4, užitých pro MSÚ v kombinacích dle 6.10a a 6.10b – viz Obr. 23.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

Obr. 23: Kombinace zatížení 6.10a a 6.10 b

Bylo vytvořeno celkem 6 kombinačních stavů z různých zatěžovacích stavů s příslušnými kombinačními koeficienty – viz Obr. 24.

6.10a - zima sníh rovnoměrný	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Proměnné - Užité ZS4 - Sníh rovnoměrný ZS7 - Vítr dřík ZS8 - Smršťování ZS9 - Zatížení teplotou (zima)	1,350 1,350 1,050 0,750 0,900 1,000 0,900
6.10a - zima sníh navátý	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Proměnné - Užité ZS5 - Sníh navátý ZS7 - Vítr dřík ZS8 - Smršťování ZS9 - Zatížení teplotou (zima)	1,350 1,350 1,050 0,750 0,900 1,000 0,900
6.10a - léto	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Proměnné - Užité ZS6 - Vítr kopule ZS7 - Vítr dřík ZS8 - Smršťování ZS10 - Zatížení teplotou (léto)	1,350 1,350 1,050 0,900 0,900 1,000 0,900
6.10b - léto	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Proměnné - Užité ZS6 - Vítr kopule ZS7 - Vítr dřík ZS8 - Smršťování ZS10 - Zatížení teplotou (léto)	1,173 1,173 1,050 0,900 0,900 1,000 1,500
6.10b - zima sníh navátý	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Proměnné - Užité ZS5 - Sníh navátý ZS7 - Vítr dřík ZS8 - Smršťování ZS9 - Zatížení teplotou (zima)	1,173 1,173 1,050 1,500 0,900 1,000 0,900
6.10b - zima sníh rovnoměrný	Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Proměnné - Užité ZS4 - Sníh rovnoměrný ZS7 - Vítr dřík ZS8 - Smršťování ZS9 - Zatížení teplotou (zima)	1,173 1,173 1,050 1,500 0,900 1,000 0,900

Obr. 24: Kombinace zatěžovacích stavů

Z kombinačních stavů byla vytvořena obálka skupiny výsledků MSÚ (6.10a+6.10b) – viz Obr. 24, podle které byly vykresleny vnitřní síly působící na konstrukci. Podle sil byla modulem programu SCIA Engineer (SCIA Concrete Section) navržena potřebná plocha výztuže.

MSÚ (6.10a+6.10b)	6.10a - zima sníh rovnoměrný - Obálka - únosnost
	6.10a - zima sníh navátý - Obálka - únosnost
	6.10a - léto - Obálka - únosnost
	6.10b - léto - Obálka - únosnost
	6.10b - zima sníh navátý - Obálka - únosnost
	6.10b - zima sníh rovnoměrný - Obálka - únosnost

Obr. 25: Skupina výsledků MSÚ (6.10a+6.10b)

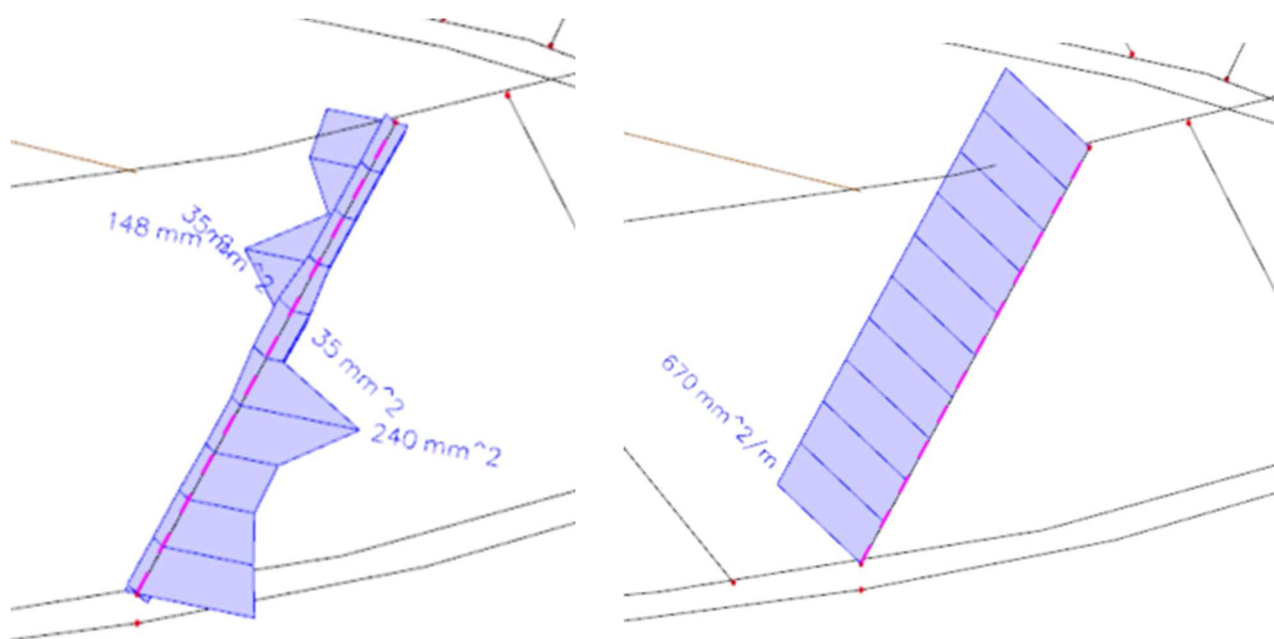
## 5.2 NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE

Návrh výztuže je proveden pro skupinu výsledků MSÚ (6.10a+6.10b)

Minimální krytí betonářské výztuže -  $c_{nom} = 30 \text{ mm}$

### 5.2.1 Sloupy

Návrh i posouzení výztuže sloupů je celkově dle programu SCIA Engineering. Všechny sloupy jsou průřezu 300 x 300 mm.



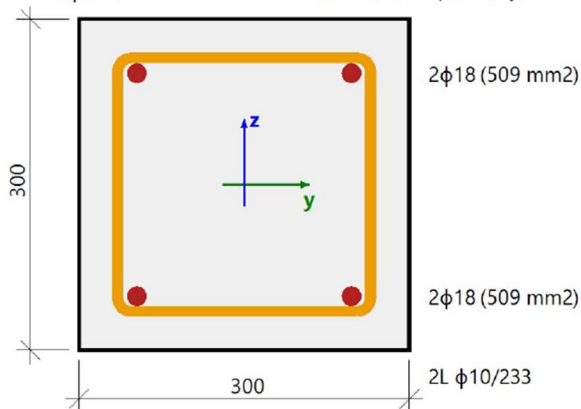
Obr. 26: Požadovaná plocha výztuže vybraného sloupu

**Návrh výztuže:**

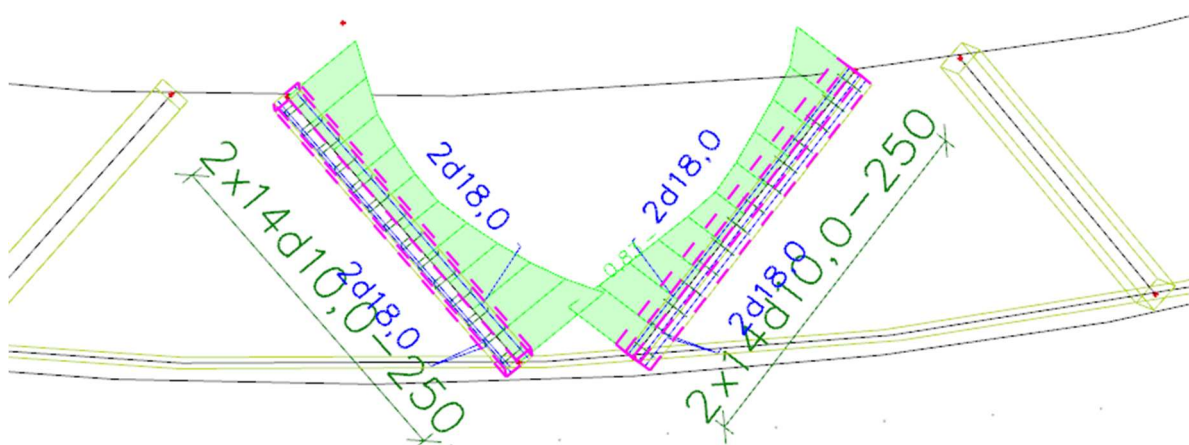
**Smyková výztuž – dvoustřížné třmínky  $\varnothing 10 \text{ mm}$  á 250 mm**

**Ohybová výztuž - 4 x  $\varnothing 18 \text{ mm}$**

<b>Sloup B64</b>		<b>Obdélník (300; 300)</b>
ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07		Řez 0 [dx = 0 m]
<b>Délka prvku:</b>	L = 3.26 m	<b>Beton: C30/37</b>
Vzpěr y-y ⊥	L <sub>y</sub> = 4.28 m (posuvný)	Bilineární pracovní diagram
Vzpěr z-z ⊥	L <sub>z</sub> = 4.04 m (posuvný)	Třída prostředí: XC4
		<b>Podélná výztuž: B 500B</b>
		Bilineární s nakloněnou horní větví
		4φ18 (1018 mm <sup>2</sup> )
		ρ <sub>i</sub> = 1,131 % (7.99 kg/m)
		<b>Smyková výztuž: B 500B</b>
		Bilineární s nakloněnou horní větví
		2L φ10/233 (157 mm <sup>2</sup> )
		ρ <sub>w</sub> = 0,470 % (5.3 kg/m)
		<b>Krytí (třmínek)</b>
		Horní: 30 mm
		Spodní: 30 mm
		Levý: 30 mm
		Pravý: 30 mm



Obr. 27: Výztuž vybraného sloupu



Obr. 28: Posouzení dvojice sloupů – SCIA Concrete Section

**Navržená výztuž vyhoví na MSÚ.**

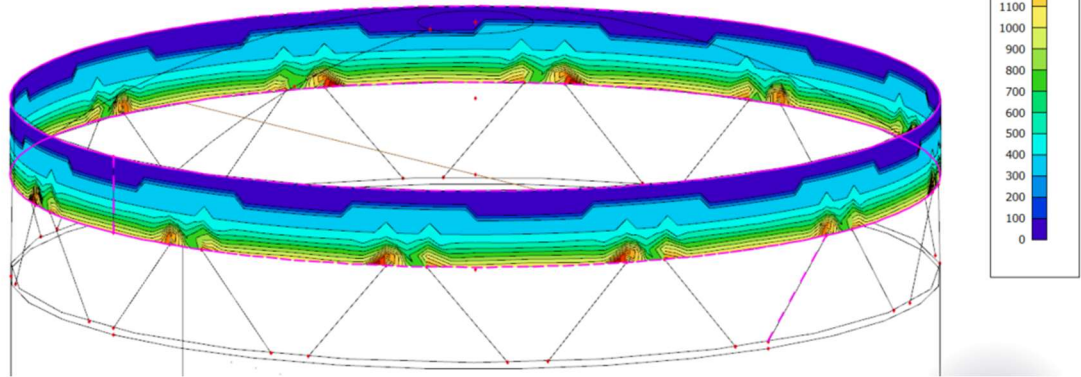
### 5.2.2 Vnější prstenec

Návrh výztuže proveden dle potřebné plochy výztuže od programu SCIA Concrete Section. Zadání a posouzení výztuže není u zakřivených plošných prvků v tomto programu možné. Navržená výztuž odpovídá minimální požadované ploše výztuže.

Dalším úskalím je kombinace 2D a 1D prvků na modelu. Sloupy (1D dílce) se chovají jako bodové podpory a generují nereálně vysoké napětí v oblastech těchto styků. Klasické využití průměrovacích pásů pro tyto body není možné opět z důvodů zakřivené plochy konstrukce. Redukce těchto vysokých hodnot (špiček) je prováděna ručně, požadovaná plocha výztuže je brána až ve vzdálenosti přibližně tloušťky prstence od těchto „problematických“ bodů.

**Návrh výztuže (MSÚ+MSP)**

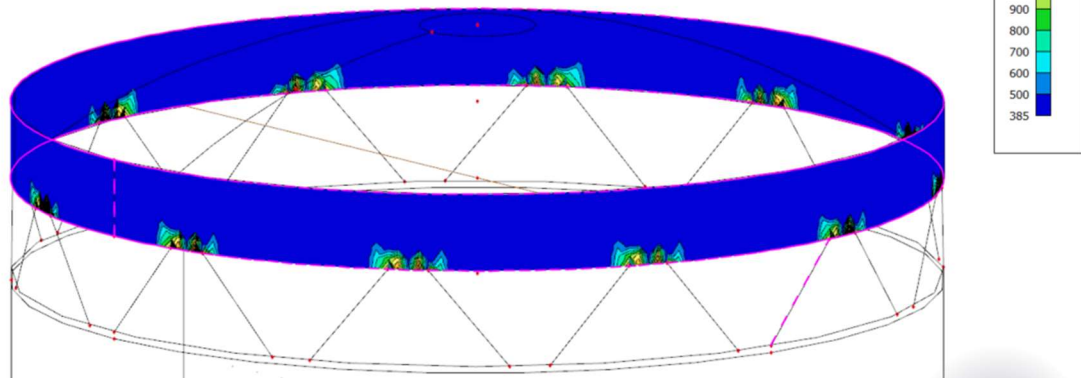
Hodnoty:  $A_{s,req,1+}$   
Lineární výpočet  
Třída: MSÚ (6.10a+6.10b)  
Extrém: Globální  
Výběr: S7  
Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě



Obr. 29: Požadovaná plocha výztuže  $A_{s,req,1+}$

**Návrh výztuže (MSÚ+MSP)**

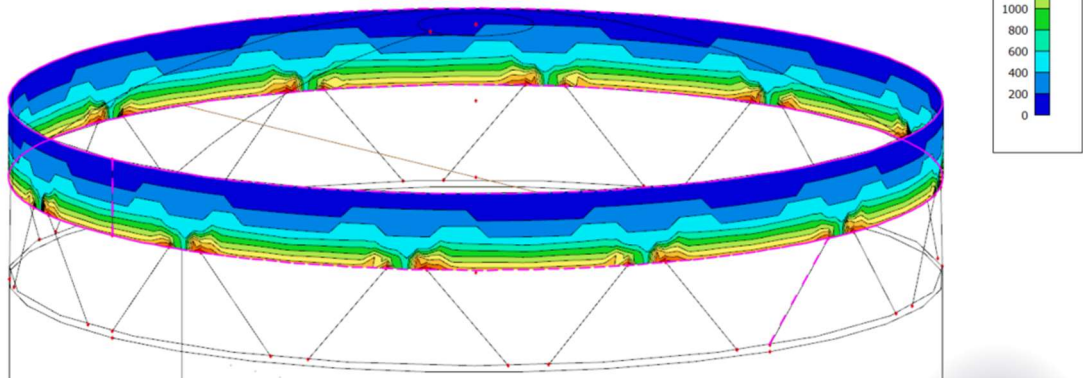
Hodnoty:  $A_{s,req,2+}$   
Lineární výpočet  
Třída: MSÚ (6.10a+6.10b)  
Extrém: Globální  
Výběr: S7  
Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě



Obr. 30: Požadovaná plocha výztuže  $A_{s,req,2+}$

**Návrh výztuže (MSÚ+MSP)**

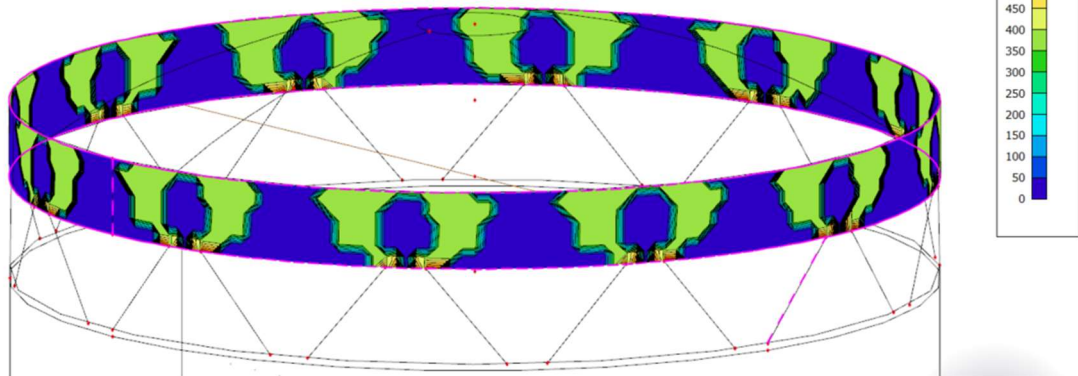
Hodnoty:  $A_{s,req,1-}$   
Lineární výpočet  
Třída: MSÚ (6.10a+6.10b)  
Extrém: Globální  
Výběr: S7  
Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě



Obr. 31: Požadovaná plocha výztuže  $A_{s,req,1-}$



**Návrh výztuže (MSÚ+MSP)**  
 Hodnoty:  $A_{s,req2}$   
 Lineární výpočet  
 Třída: MSÚ (6.10a+6.10b)  
 Extrém: Globální  
 Výběr: S7  
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě



Obr. 32: Požadovaná plocha výztuže  $A_{s,req2}$

	Bod	Povrch	Popis	$A_{s,req}$	$A_{s,min}$	$A_{s,max}$	$s_{min}$	$s_{max}$	rastr (á)	profil	$A_{s,prov}$	Posouzení	
	[-]	[-]		[-]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[-]	
Vnější prstenec	Spodní část	Vnitřní povrch	1+	První vrstva (0°)	1092	392	12000	37	300	125	16	1608,5	OK
			2+	Druhá vrstva (90°)	624	377	12000	37	300	175	12	646,3	OK
		Vnější povrch	1-	První vrstva (0°)	1351	392	12000	37	300	125	16	1608,5	OK
			2-	Druhá vrstva (90°)	412	377	12000	37	300	175	12	646,3	OK
	Střední část	Vnitřní povrch	1+	První vrstva (0°)	495	392	12000	37	300	200	16	1005,3	OK
			2+	Druhá vrstva (90°)	372	377	12000	37	300	250	12	452,4	OK
		Vnější povrch	1-	První vrstva (0°)	843	392	12000	37	300	200	16	1005,3	OK
			2-	Druhá vrstva (90°)	412	377	12000	37	300	250	12	452,4	OK
	Horní část	Vnitřní povrch	1+	První vrstva (0°)	72	392	12000	37	300	250	12	452,4	OK
			2+	Druhá vrstva (90°)	316	377	12000	37	300	250	12	452,4	OK
		Vnější povrch	1-	První vrstva (0°)	238	392	12000	37	300	250	12	452,4	OK
			2-	Druhá vrstva (90°)	87	377	12000	37	300	250	12	452,4	OK

Obr. 33: Navržená výztuž vnějšího prstence

**Navržená výztuž vyhoví na MSÚ.**

### 5.2.3 Kopule

Návrh výztuže proveden dle potřebné plochy výztuže od programu SCIA Concrete Section. Zadání a posouzení výztuže není u zakřivených plošných prvků v tomto programu možné. Navržená výztuž odpovídá minimální požadované ploše výztuže.

**Návrh výztuže (MSÚ+MSP)**

Hodnoty:  $A_{s,req,1+}$

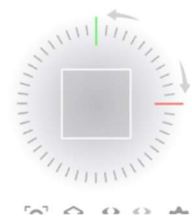
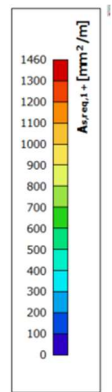
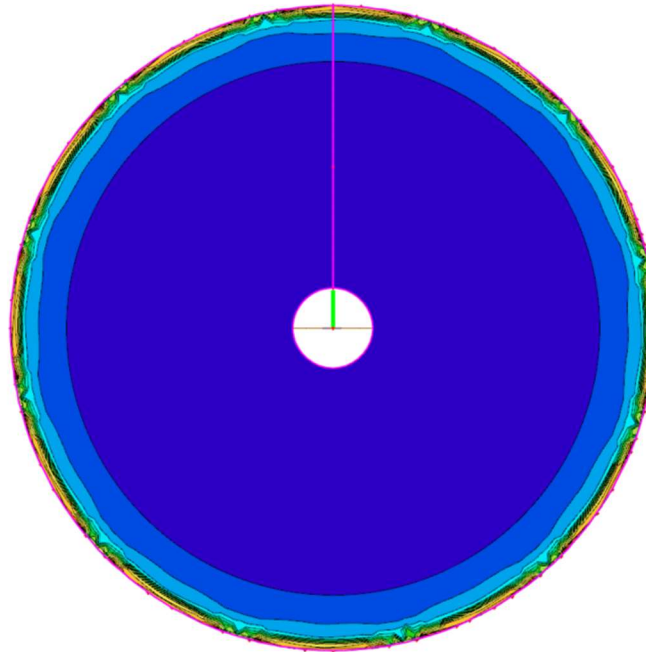
Lineární výpočet

Třída: MSÚ (6.10a+6.10b)

Extrém: Globální

Výběr: S21

Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku síť



Obr. 34: Požadovaná plocha výztuže  $A_{s,req,1+}$

**Návrh výztuže (MSÚ+MSP)**

Hodnoty:  $A_{s,req,2+}$

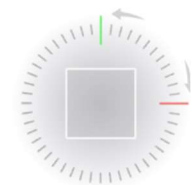
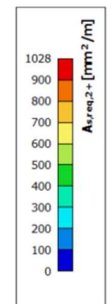
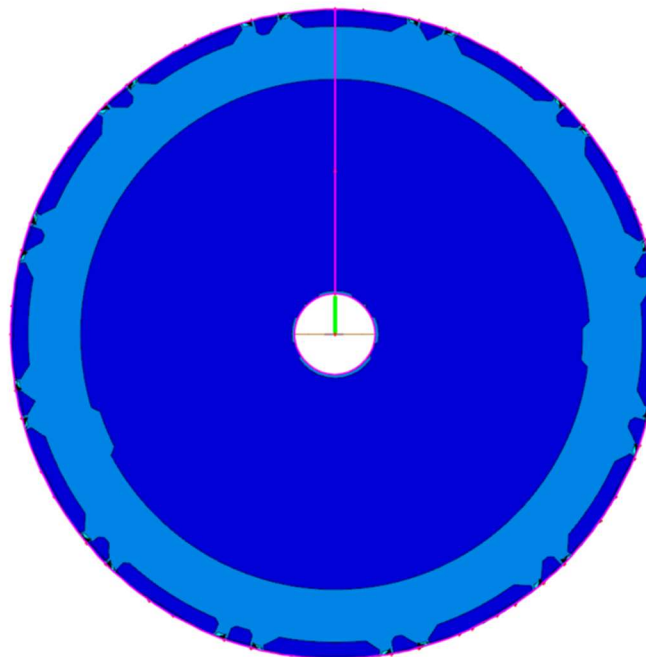
Lineární výpočet

Třída: MSÚ (6.10a+6.10b)

Extrém: Globální

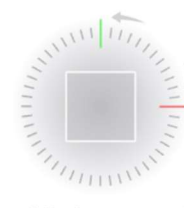
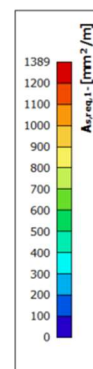
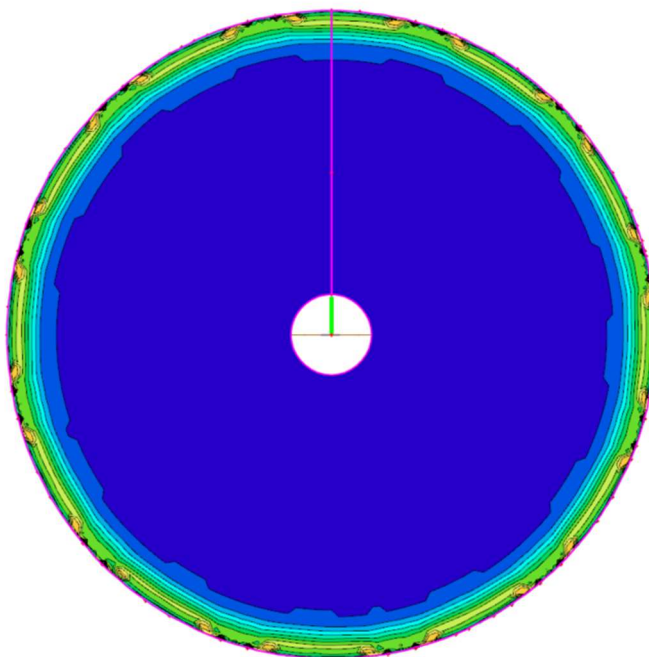
Výběr: S21

Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku síť



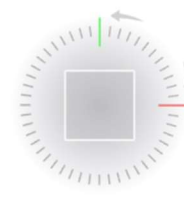
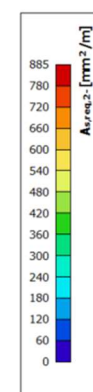
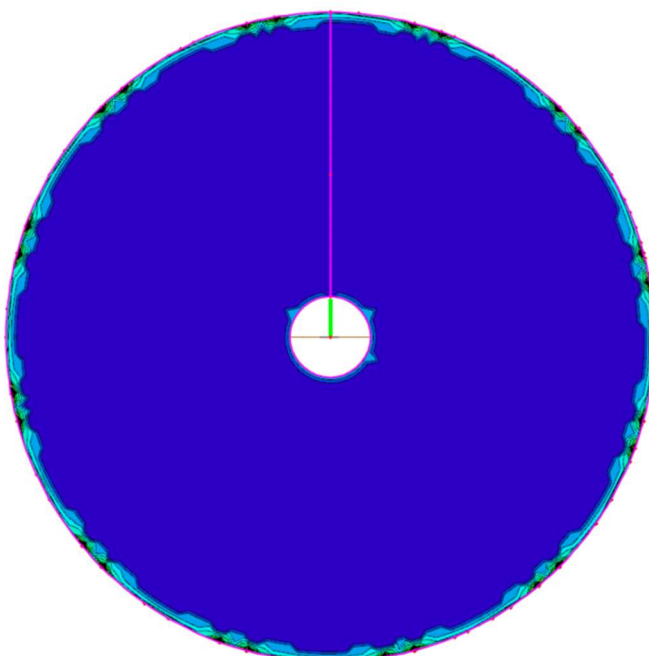
Obr. 35: Požadovaná plocha výztuže  $A_{s,req,2+}$

**Návrh výztuže (MSÚ+MSP)**  
 Hodnoty:  $A_{s,req1}$ -  
 Lineární výpočet  
 Třída: MSÚ (6.10a+6.10b)  
 Extrém: Globální  
 Výběr: S21  
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku síť



Obr. 36: Požadovaná plocha výztuže  $A_{s,req1}$ -

**Návrh výztuže (MSÚ+MSP)**  
 Hodnoty:  $A_{s,req2}$ -  
 Lineární výpočet  
 Třída: MSÚ (6.10a+6.10b)  
 Extrém: Globální  
 Výběr: S21  
 Poloha: V uzlech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku síť



Obr. 37: Požadovaná plocha výztuže  $A_{s,req2}$ -

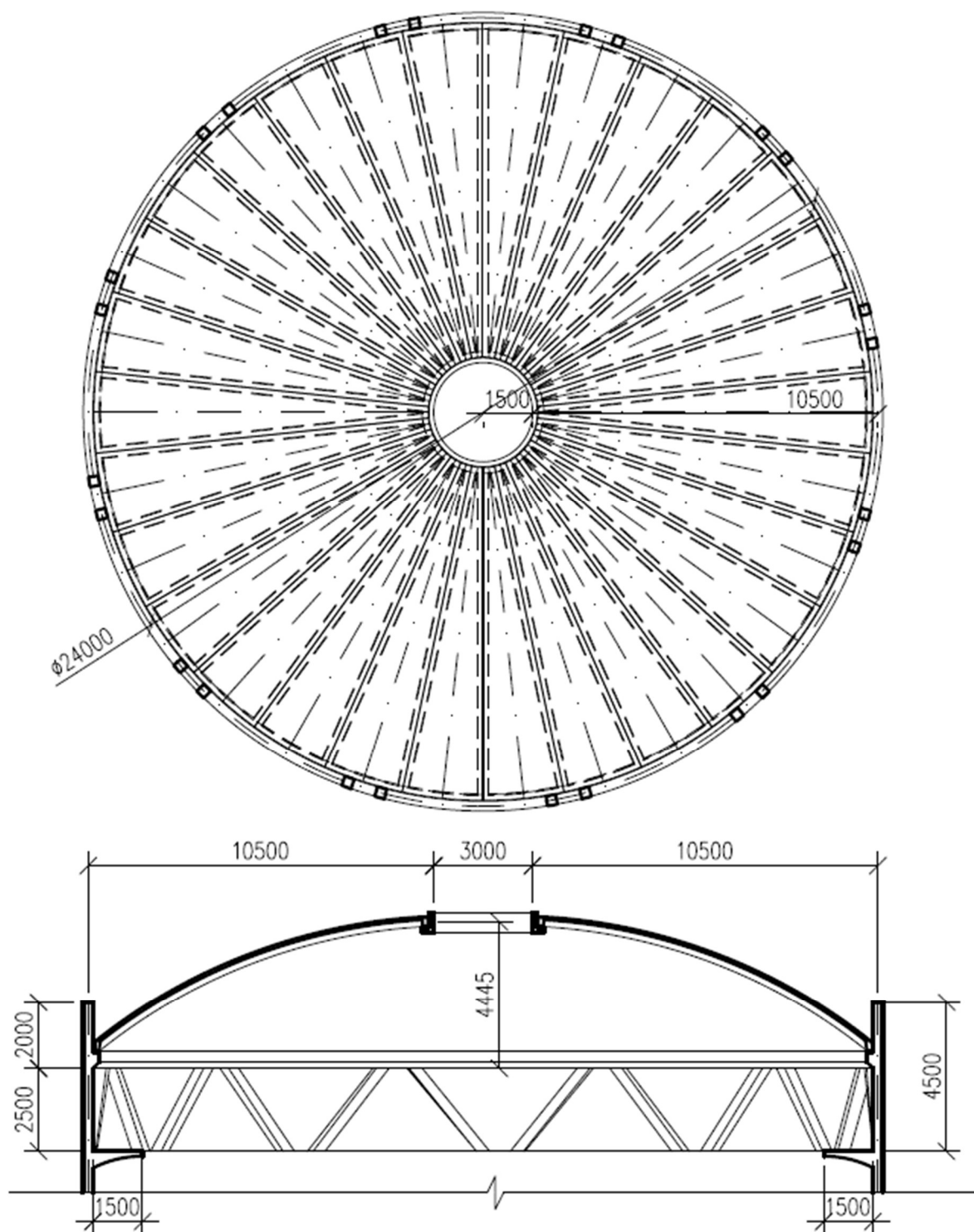
	Bod	Povrch		Popis	As,req	As,min	As,max	smin	smax	rastr (á)	profil	As,prov	Posouzení
	[-]	[-]		[-]		[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[-]
Kopule	Styk mezi kopulí a prstencem	Horní povrch	1+	První vrstva (0°)	1236	166	6000	37	300	100	14	1539,4	OK
			2+	Druhá vrstva (90°)	82	151	6000	37	300	300	10	261,8	OK
		Dolní povrch	1-	První vrstva (0°)	876	166	6000	37	300	150	14	1026,3	OK
			2-	Druhá vrstva (90°)	461	151	6000	37	300	150	10	523,6	OK
	Přechodová oblast mezi krajem a středem	Horní povrch	1+	První vrstva (0°)	262	166	6000	37	300	200	10	392,7	OK
			2+	Druhá vrstva (90°)	159	151	6000	37	300	300	10	261,8	OK
		Dolní povrch	1-	První vrstva (0°)	352	166	6000	37	300	200	10	392,7	OK
			2-	Druhá vrstva (90°)	53	151	6000	37	300	300	10	261,8	OK
	Střed kopule	Horní povrch	1+	První vrstva (0°)	53	166	6000	37	300	300	10	261,8	OK
			2+	Druhá vrstva (90°)	101	151	6000	37	300	300	10	261,8	OK
		Dolní povrch	1-	První vrstva (0°)	82	166	6000	37	300	300	10	261,8	OK
			2-	Druhá vrstva (90°)	212	151	6000	37	300	300	10	261,8	OK

Obr. 38: Navržená výztuž vnějšího prstence

**Navržená výztuž vyhoví na MSÚ.**

## 6 VARIANTA Č. 2 – PREFABRIKOVANÁ KOPULE

Prefabrikovaná varianta uvažuje rozdělení kopule na jednotlivé dílce a vnitřní tlačný prstenec. Jako optimální návrh střešního prefabrikátu bylo vybráno rozdělení na 30 stejných kusů s vrcholovým úhlem  $12^\circ$ . Vnitřní tlačný prstenec bude vyroben jako jeden kus bez potřeby spínání.



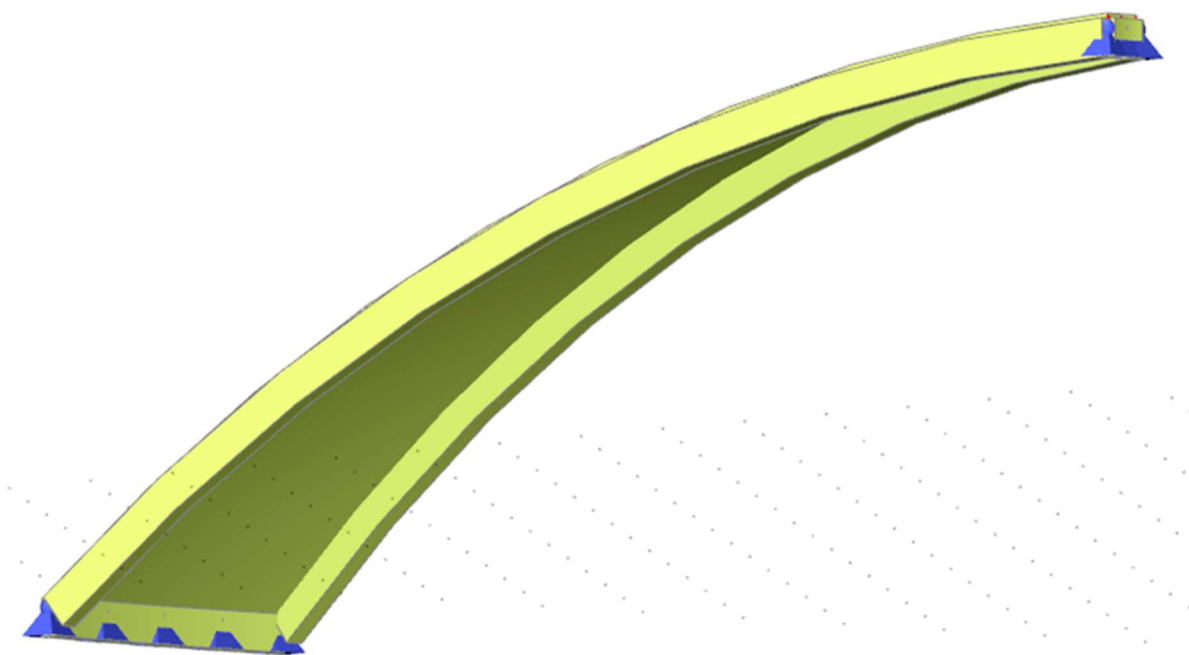
Obr. 39: Půdorys a řez kopule – prefabrikovaná varianta

## 6.1 NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE

Návrh výztuže je proveden pro skupinu výsledků MSÚ (6.10a+6.10b)

Minimální krytí betonářské výztuže –  $c_{nom} = 25 \text{ mm}$

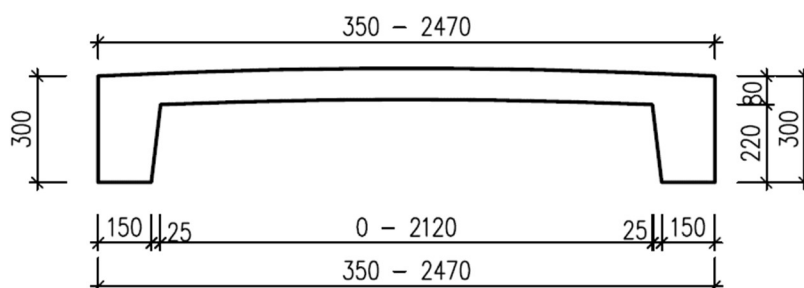
Pro návrh výztuže byly použity 4 zatěžovací stavy (vlastní tíha, ostatní stálo, užité a zatížení rovnoměrným sněhem) – viz Kap. 4. Posouzení proběhlo pro MSÚ dle kombinací 6.10a a 6.10b. Rozdělení konstrukce na jednotlivé prefabrikáty (střešní a vnitřní prstenec), vedlo k vytvoření samostatných modelů pro vybraný typ prvku – viz. Obr. 40 a 50.



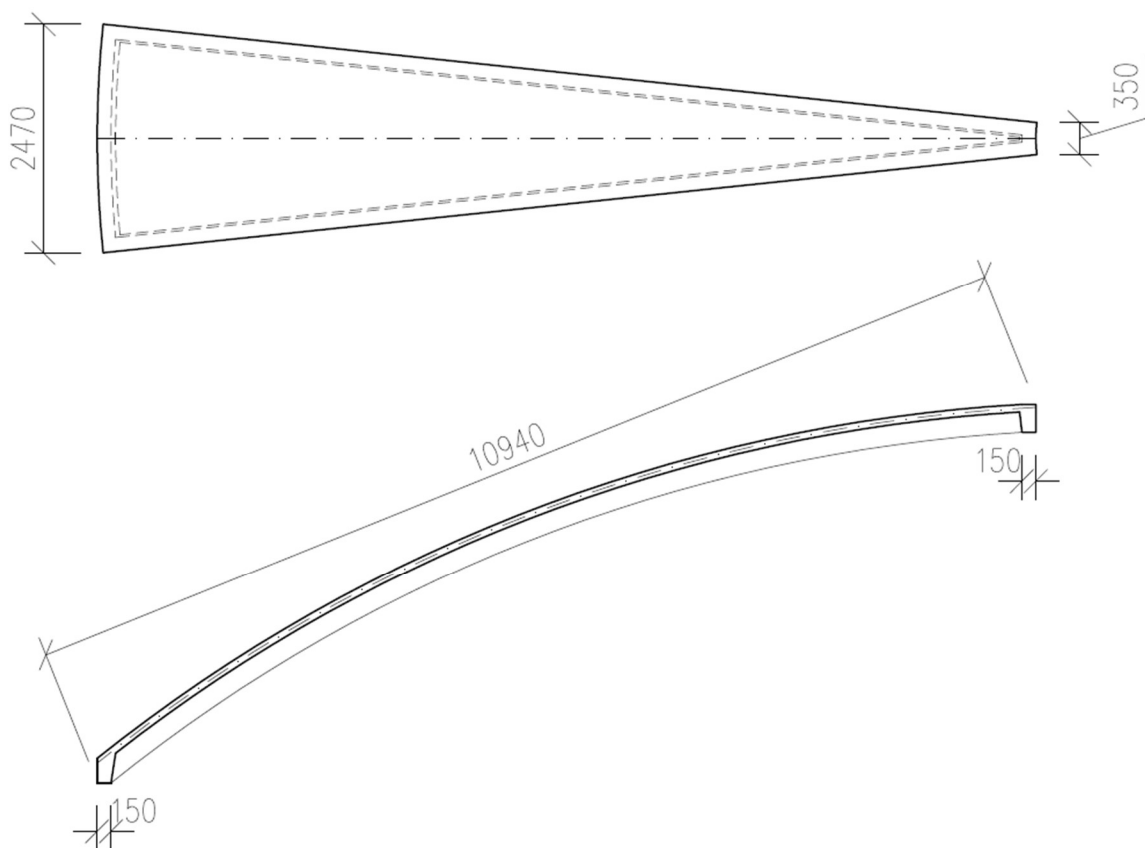
Obr. 40: 3D model střešního prefabrikátu

### 6.1.1 Prefabrikát střešní kopule

Na základě statických požadavků je navržen dílec tloušťky 80 mm z betonu C50/60 po obvodu lemovaný kónickými žebry výšky 300 mm a šířky při spodním okraji 150 mm – viz Obr. 41 a 42.



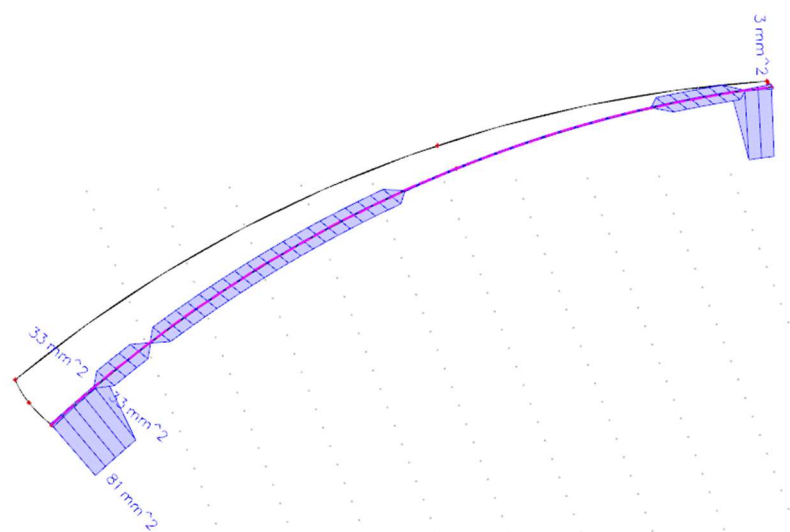
Obr. 41: Příčný řez střešním prefabrikátem



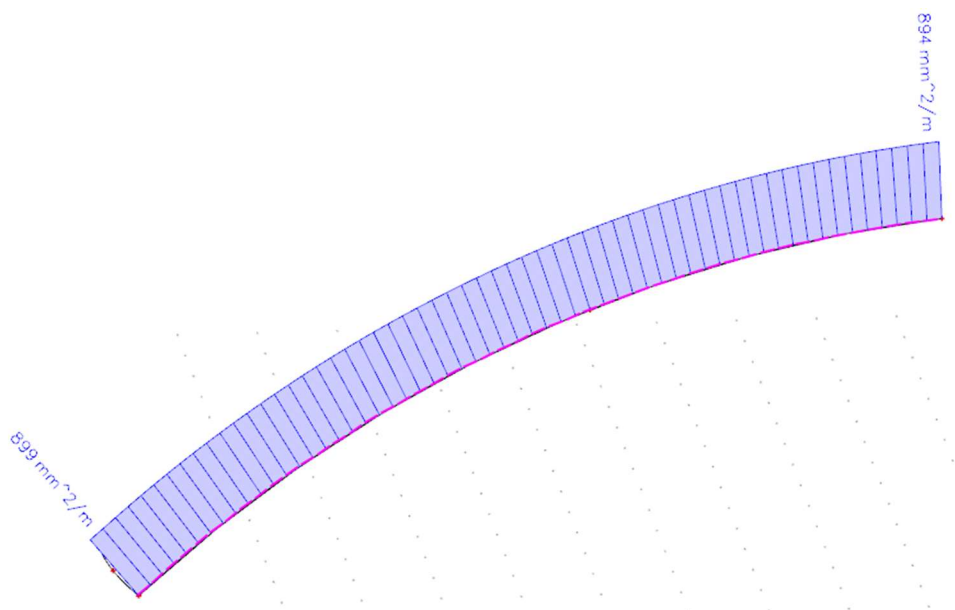
Obr. 42: Půdorys a podélný řez střešním prefabrikátem

**Výztuž žebra:**

Návrh i posouzení výztuže žeber je celkově dle programu SCIA Engineering. Krajní i boční žebra jsou průřezu 150 x 300 mm.



Obr. 43: Požadovaná plocha podélné výztuže krajního žebra



Obr. 44: Požadovaná plocha třmínků krajního žebra

#### Návrh výztuže:

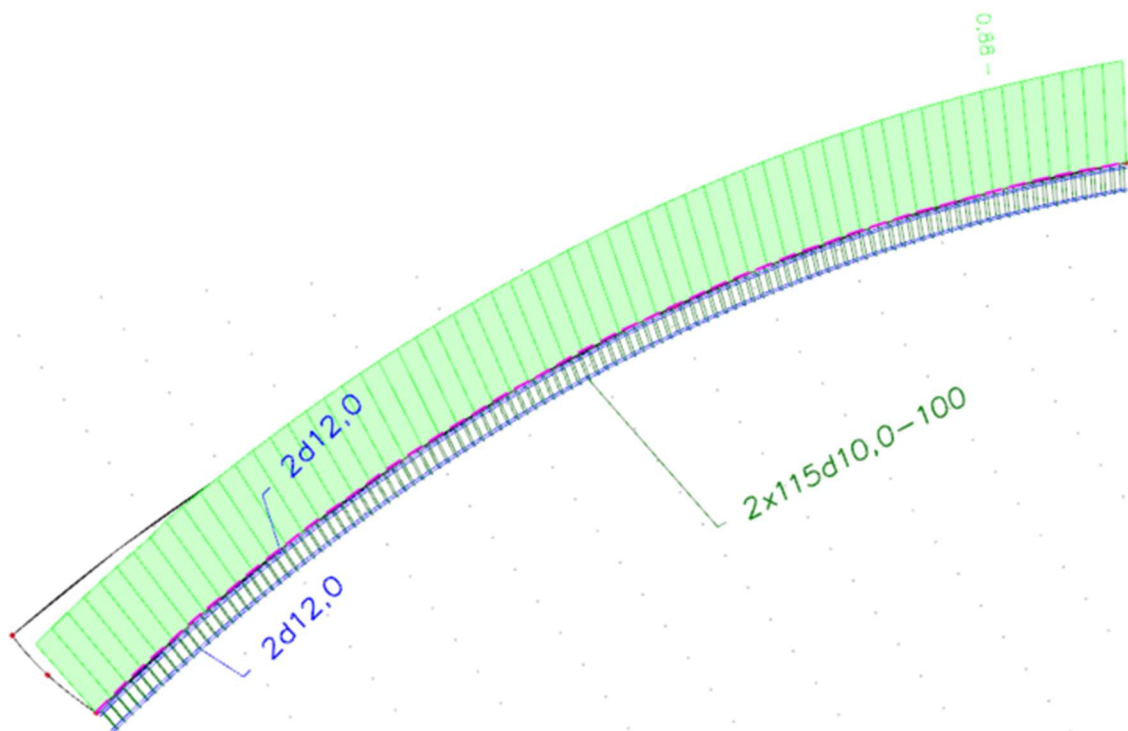
Smyková výztuž – dvoustřížné třmínky  $\varnothing 10$  mm á 250 mm

Ohybová výztuž - 4 x  $\varnothing 18$  mm

<b>Nosník B5</b>		<b>Obdélník (300; 150)</b>
ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07		Řez 105 [dx = 10.5 m]
<b>Délka prvku:</b>	L = 11.4 m	<b>Beton: C50/60</b>
Vzpěr y-y $\perp$	$L_y = 8.15$ m (posuvný)	Bilineární pracovní diagram
Vzpěr z-z $\perp$	$L_z = 4.68$ m (posuvný)	Třída prostředí: XC3
	2 $\varnothing 12$ (226 mm <sup>2</sup> )	<b>Podélná výztuž: B 500B</b>
	2 $\varnothing 12$ (226 mm <sup>2</sup> )	Bilineární s nakloněnou horní větví
	2L $\varnothing 10/99$	4 $\varnothing 12$ (452 mm <sup>2</sup> )
		$\rho_l = 1,005$ % (3.55 kg/m)
		<b>Smyková výztuž: B 500B</b>
		Bilineární s nakloněnou horní větví
		2L $\varnothing 10/99.4$ (157 mm <sup>2</sup> )
		$\rho_w = 1,053$ % (12.4 kg/m)
		<b>Krytí (třmínek)</b>
		Horní: 25 mm
		Spodní: 25 mm
		Levý: 25 mm
		Pravý: 25 mm

Obr. 45: Výztuž krajního žebra



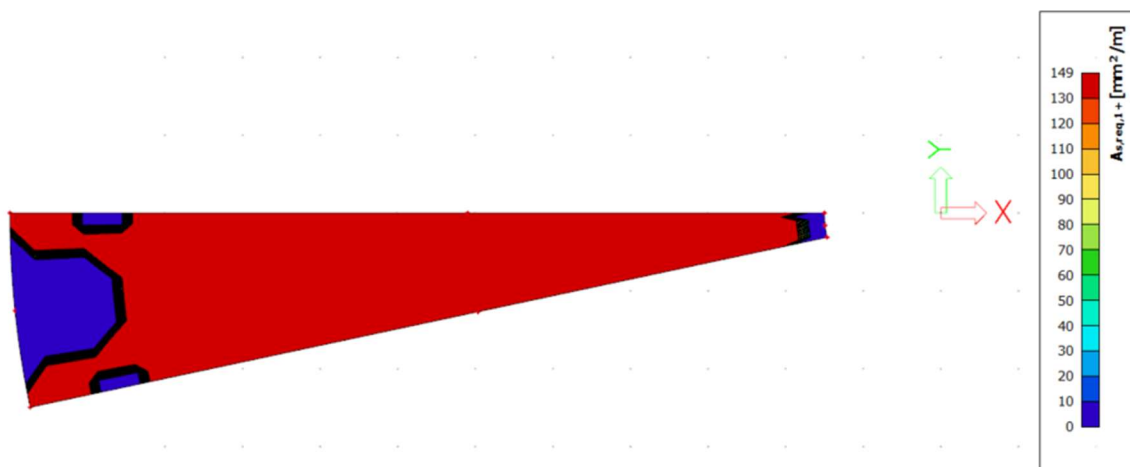


Obr. 46: Posouzení výztuže krajního žebra – SCIA Concrete Section

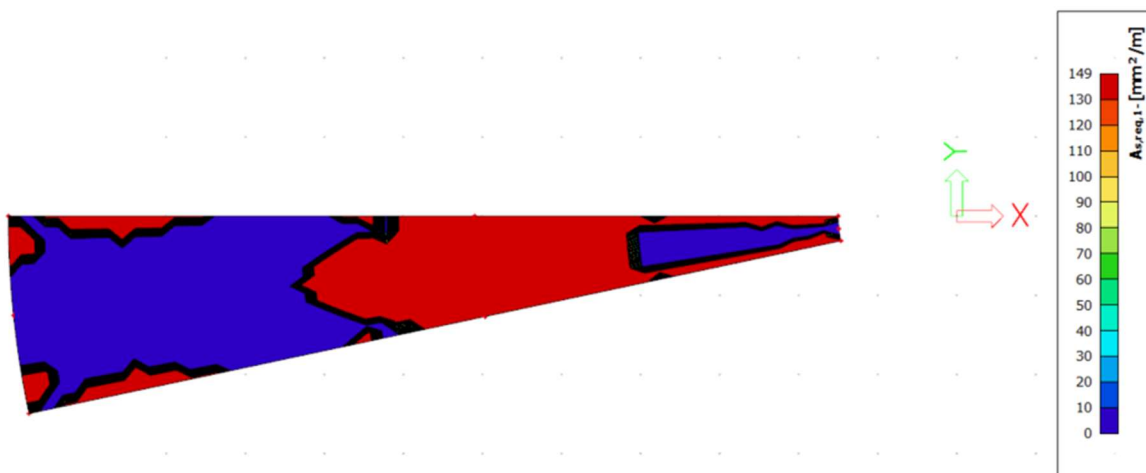
**Navržená výztuž vyhoví na MSÚ.**

**Výztuž desky:**

Návrh výztuže proveden dle potřebné plochy výztuže od programu SCIA Concrete Section. Zadání a posouzení výztuže není u zakřivených plošných prvků v tomto programu možné. Navržená výztuž odpovídá minimální požadované ploše výztuže. Vyztužení desky je v jedné vrstvě umístěné uprostřed tloušťky desky.



Obr. 47: Požadovaná plocha příčně výztuže



Obr. 48: Požadovaná plocha podélné výztuže

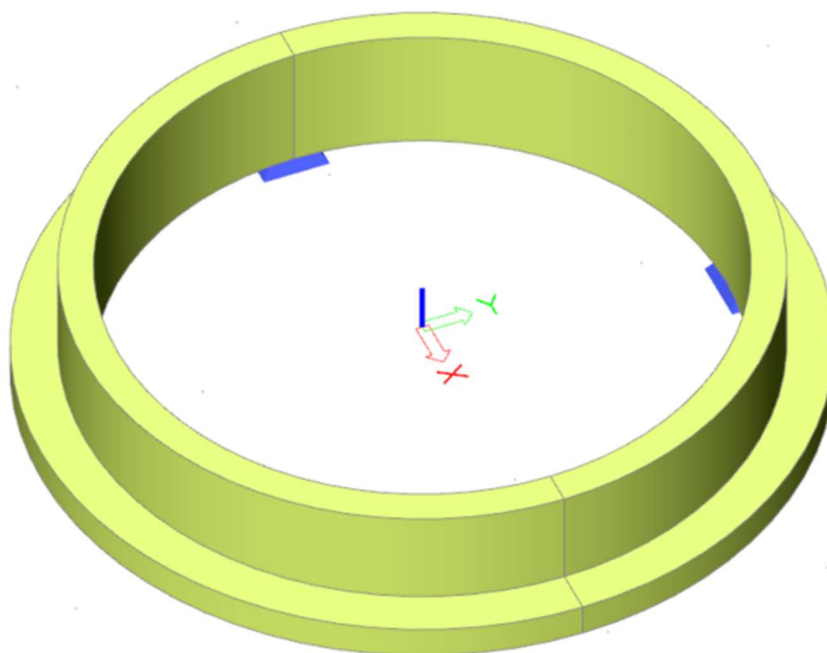
	Bod	Místo	Střih	Popis	As,req	As,min	As,max	smin	smax	počet/á	profil	As,prov	Posouzení
	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm2]	[mm2]	[mm2]	[mm2]	[mm2]	[ks/mm]	[mm]	[mm2]	[-]
Dílec	Žebro	Boční		Výztuž	81	86	1800	37	350	2	12	226,2	OK
			2	Třmínky	894	86	2760	37	350	100	10	1570,8	OK
		Krajní		Výztuž	82	86	1800	37	350	2	12	226,2	OK
			2	Třmínky	894	86	2760	37	350	150	10	1047,2	OK
Deska	Střed		První vrstva (0°)	149	149	4000	37	200	200	10	392,7	OK	
			Druhá vrstva (90°)	149	149	4000	37	200	200	10	392,7	OK	

Obr. 49: Navržená výztuž střešního prefabrikátu

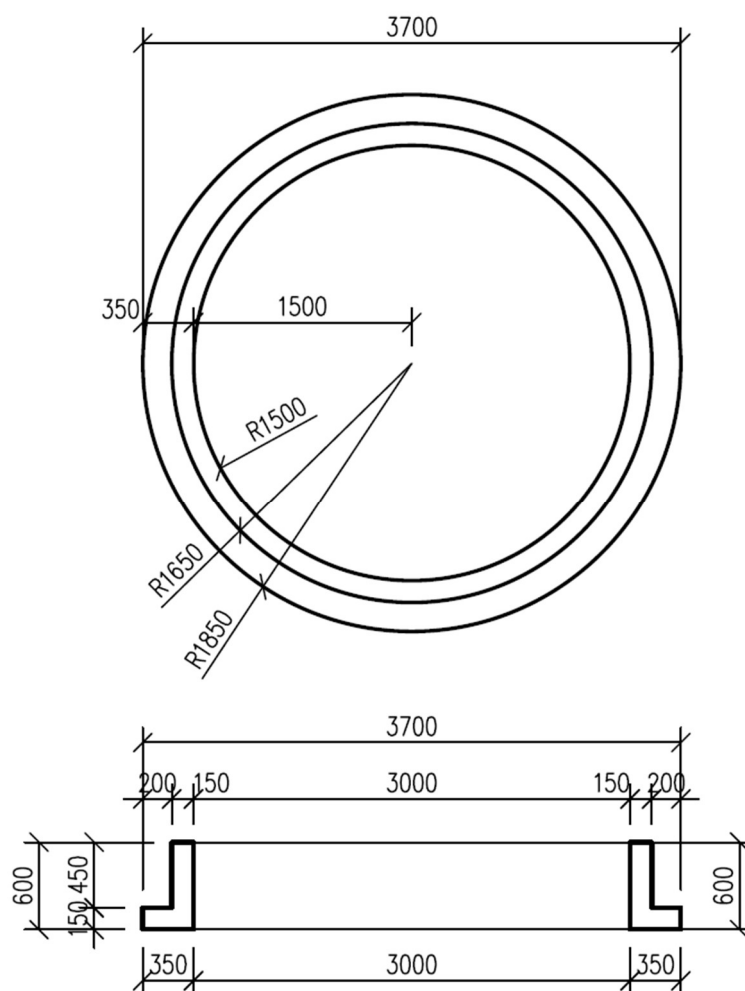
Navržená výztuž vyhoví na MSÚ.

### 6.1.2 Vnitřní prstenec

Vnitřní prstenec je navržen jako jednokusový betonový prefabrikát tvaru L z betonu C50/60.

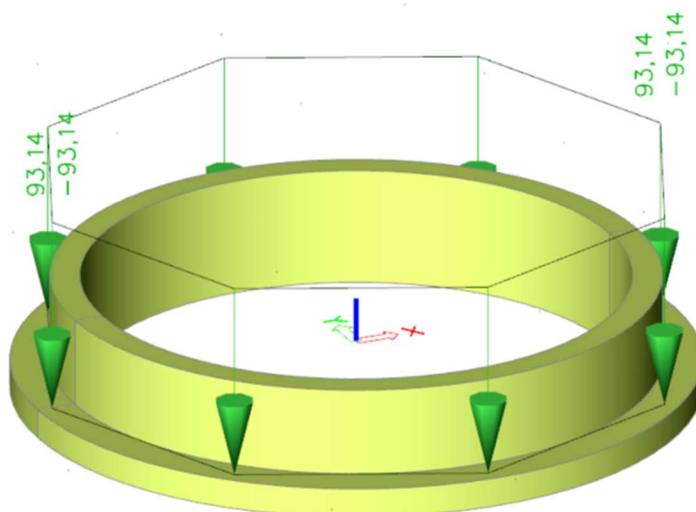


Obr. 50: 3D model vnitřního prstence

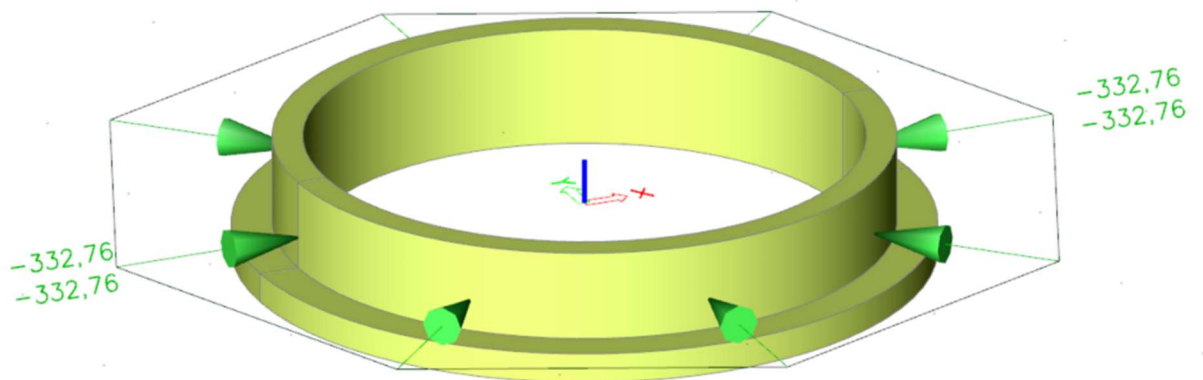


Obr. 51: Tvar vnitřního prstence

Protože je vnitřní prstenec modelován jako samostatný prvek, je to děj vneseno zatížení, které vzniká na hraně přilehlých střešních prefabrikátů. Ve stádiu montážním se počítá se svislým zatížením od vlastní tíhy střešních prefabrikátů. Ve stádiu provozním je zatížení modelováno dle MSÚ (kombinací 6.10a a 6.10b) užitých pro návrh střešního prefabrikátu.

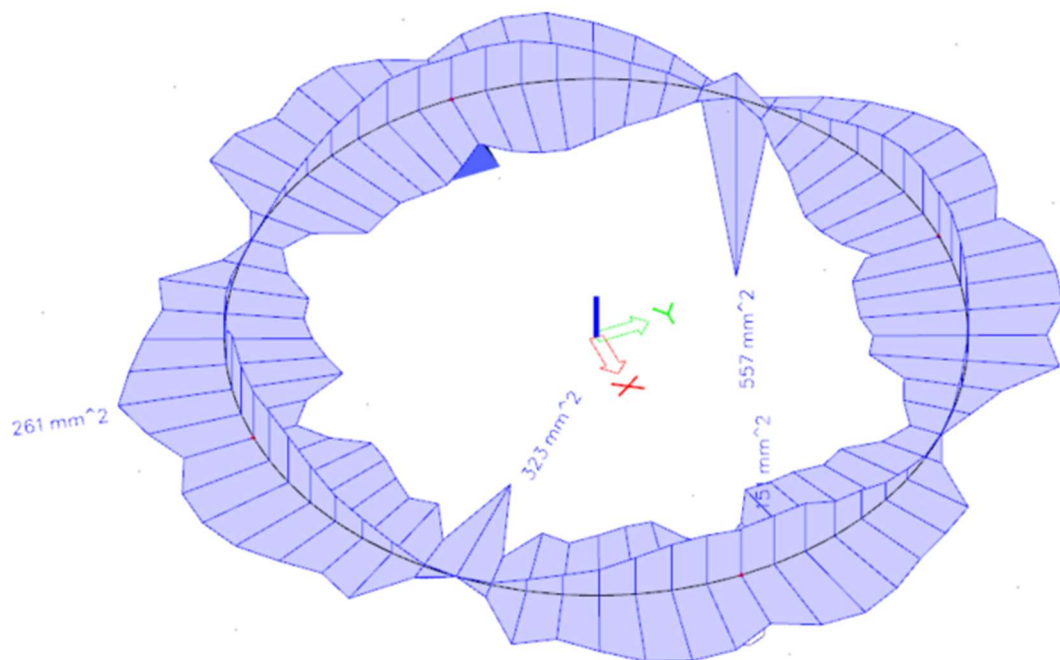


Obr. 52: Zatížení v montážním stádiu

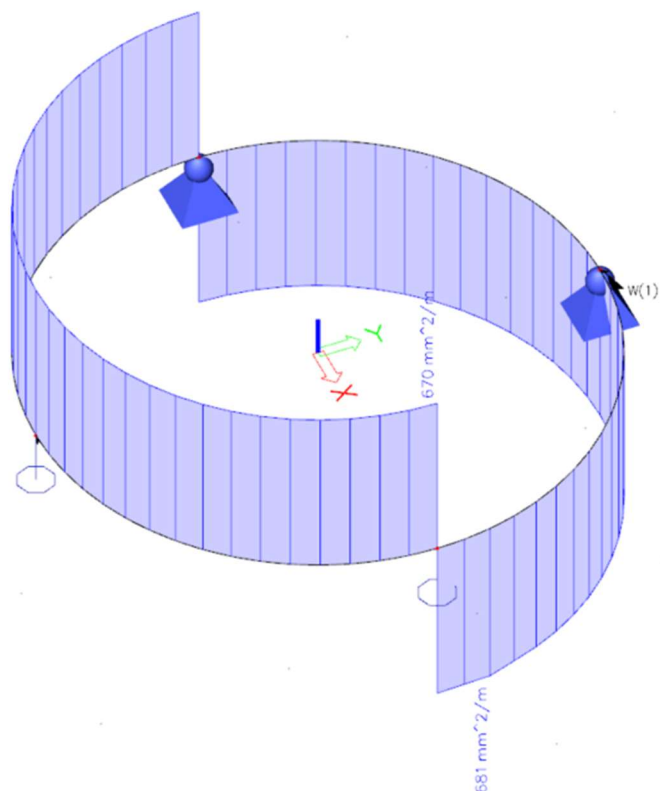


Obr. 53: Zatížení ve stádiu provozním

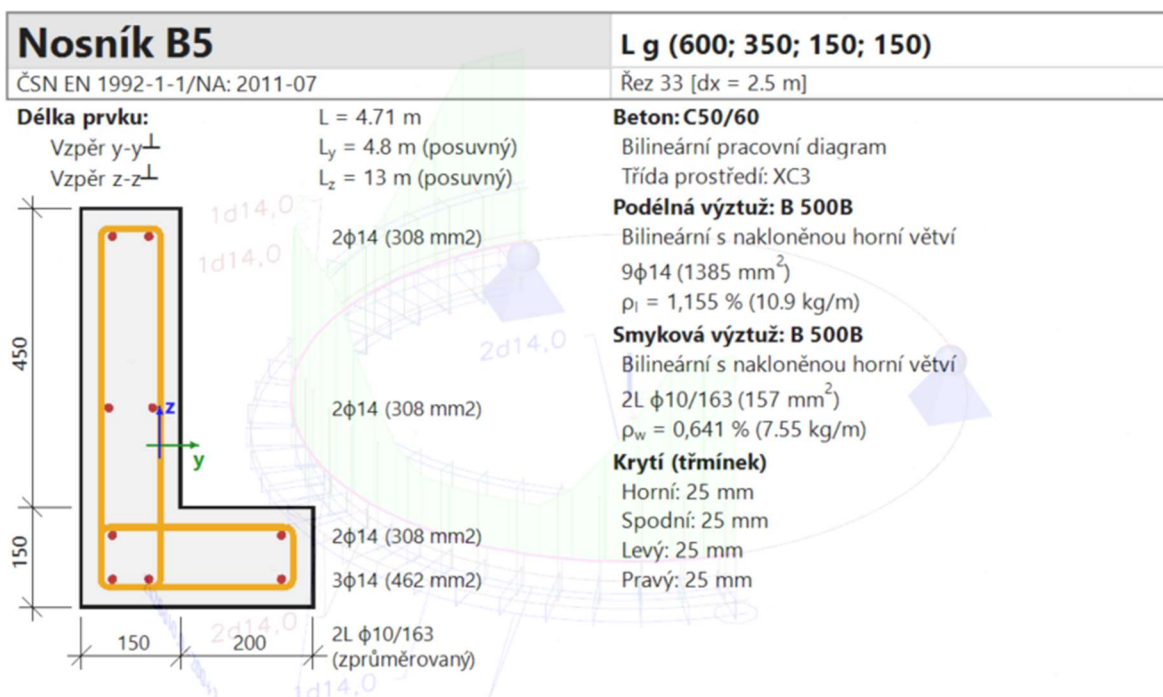
Návrh i posouzení výztuže vnitřního prstence je celkově dle programu SCIA Engineering.



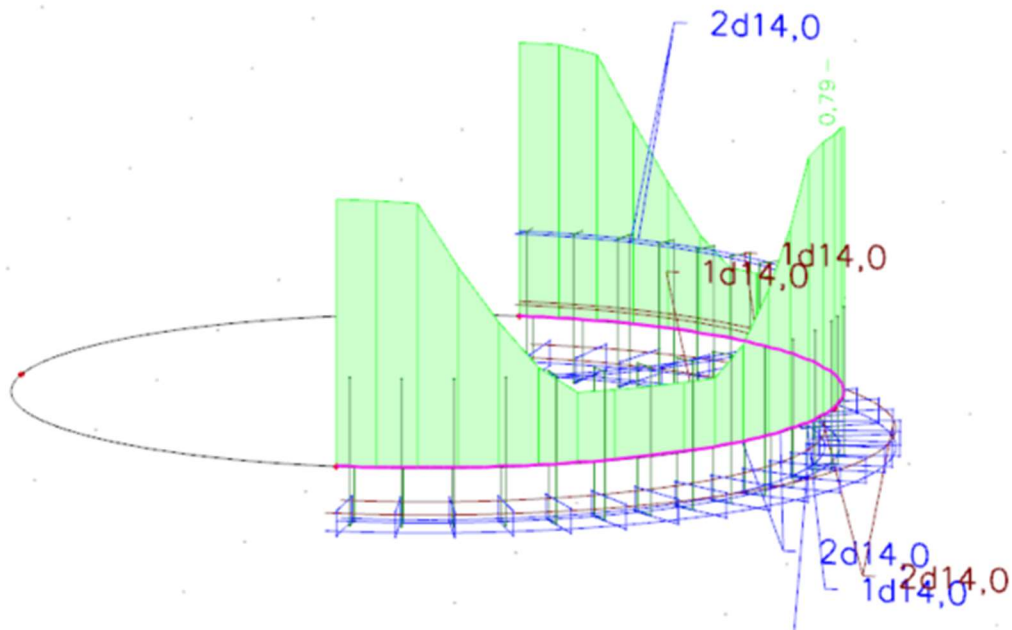
Obr. 54: Požadovaná plocha vodorovné výztuže



Obr. 55: Požadovaná plocha třmínek



Obr. 56: Výztuž vnitřního prstence



Obr. 57: Posouzení výztuže vnitřního prstence – SCIA Concrete Section

Bod [-]	Místo [-]	Střih [-]	Popis [-]	As,req	As,min [mm2]	As,max [mm2]	smin [mm2]	smax [mm2]	počet/á	profil [mm]	As,prov [mm2]	Posouzení [-]
Vnitřní prstavec	Svislá		Výztuž	557	34	4800	37	350	4	14	615,8	OK
		2	Třmínky	670	34	2760	37	350	200	10	785,4	OK
	Vodorovná		Výztuž	323	34	4800	37	350	3	14	461,8	OK
		2	Třmínky	670	34	2760	37	350	200	10	785,4	OK

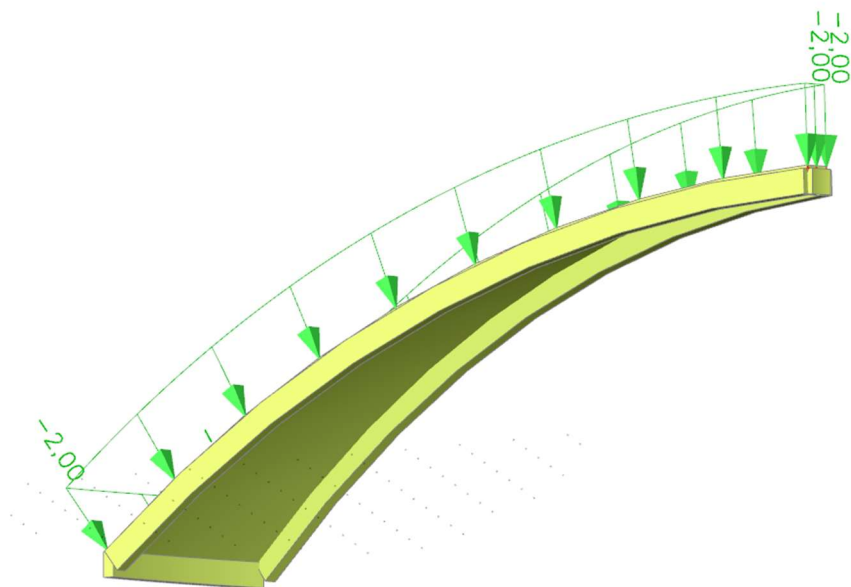
Obr. 58: Navržená výztuž střešního prefabrikátu

**Navržená výztuž vyhoví na MSÚ.**

## 6.2 MANIPULAČNÍ ÚCHYTY

Manipulační úchyty jsou navrženy pro dva stavy. Pro stav při zvedání prvků z bednění (matrice), kdy je vlastní tíha prvku doplněná součinitelem přilnavosti ( $g_k = 2 \text{ kN/m}^2$ ) – viz Obr. 59. A stavem přepravním, kdy je vlastní tíha prvku vynásobena dynamickým součinitelem při dopravě ( $f = 1,5$ ).

Navrženy hřebíkové kotvy se závitem od společnosti Kontakt SK.



Obr. 59: Součinitel přilnavosti s bedněním (matricí)

#### 6.2.1 Prefabrikát střešní kopule

Vlastní tíha: 49,68 kN

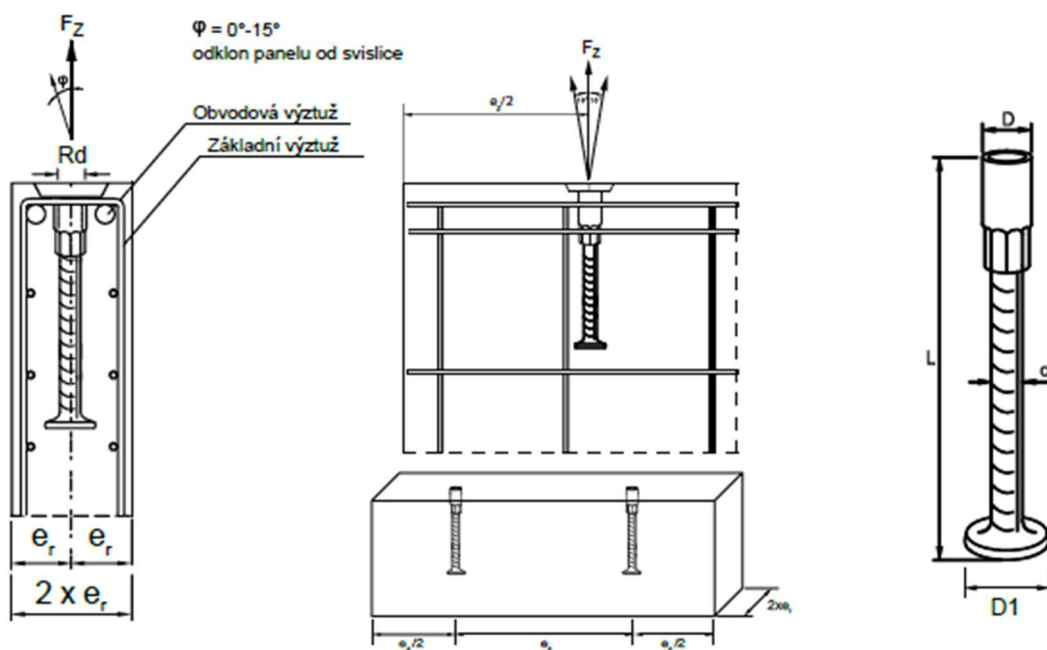
Přilnavost s bedněním: 29,69 kN

STAV 1 (odbednění)  $49,68 + 29,69 = 79,37$  kN

STAV 2 (doprava)  $1,5 * 49,68 = 74,52$  kN

**Návrh 4 úchyty Kontakt SK Hk 2,5-200 (2,5t)** – viz Obr. 60.

Kotvy umístěny v žebrech střešních prefabrikátu – viz Výkres tvaru střešního prefabrikátu.



Předepsaná výztuž, nosnost při osovém tahu  $F_z$  do  $10^\circ$  a doporučené vzdálenosti od krajů



označení prvku	L mm	závit $R_d$	c mm	D mm	D1 mm	min. tloušťka stěny $2 \times e_r$ mm	základní výztuž mm <sup>2</sup> /m	obvodová výztuž mm	$F_z$ osový tah do $10^\circ$ v kN		osová vzdálenost $e_z$
									pevnost bet. v tlaku		
									15 MPa	25 MPa	
HK 0,5 - 100	100	12	8	15	25	60	131	$\varnothing 8$	5,0	5,0	300
HK 0,5 - 150	150					60	131	$\varnothing 8$	5,0	5,0	300
HK 0,8 - 105	105	14	10	18		60	131	$\varnothing 8$	7,1	8,0	300
HK 0,8 - 155	155					70	131	$\varnothing 8$	8,0	8,0	300
HK 1,2 - 130	130	16	10	21		70	$2 \times 131$	$2 \times \varnothing 8$	10,9	12,0	400
HK 1,2 - 175	175					80	$2 \times 131$	$2 \times \varnothing 10$	12,0	12,0	400
HK 1,6 - 150	150	18	12	24	35	80	$2 \times 131$	$2 \times \varnothing 10$	16,0	16,0	450
HK 1,6 - 225	225					80	$2 \times 131$	$2 \times \varnothing 10$	16,0	16,0	450
HK 2,0 - 183	183	20	14	27		80	$2 \times 131$	$2 \times \varnothing 10$	16,9	20,0	500
HK 2,0 - 250	250					100	$2 \times 131$	$2 \times \varnothing 10$	20,0	20,0	500
HK 2,5 - 200	200	24	14	31		100	$2 \times 131$	$2 \times \varnothing 12$	25,0	25,0	600
HK 2,5 - 275	275					100	$2 \times 131$	$2 \times \varnothing 12$	25,0	25,0	600
HK 4,0 - 275	275	30	20	40	45	120	$2 \times 188$	$2 \times \varnothing 12$	40,0	40,0	700
HK 4,0 - 350	350					120	$2 \times 188$	$2 \times \varnothing 12$	40,0	40,0	700
HK 6,3 - 334	334	36	24	47	60	140	$2 \times 188$	$2 \times \varnothing 12$	55,7	63,0	800
HK 6,3 - 450	450					160	$2 \times 188$	$2 \times \varnothing 12$	63,0	63,0	800
HK 8,0 - 385	385	42	28	54	70	160	$2 \times 188$	$2 \times \varnothing 12$	70,5	72,8	900
HK 8,0 - 500	500					180	$2 \times 188$	$2 \times \varnothing 12$	77,0	80,0	900
						200	$2 \times 188$	$2 \times \varnothing 12$	80,0	80,0	900
HK 12,5 - 550	550	52	34	67	85	200	$2 \times 188$	$2 \times \varnothing 14$	125,0	125,0	1100
HK 12,5 - 700	700										

Obr. 60: Hodnoty pro úchyty Kontakt SK Hk 2,5-200 (2,5t)



### 6.2.2 Vnitřní prstenec

Vlastní tíha: 27,73 kN

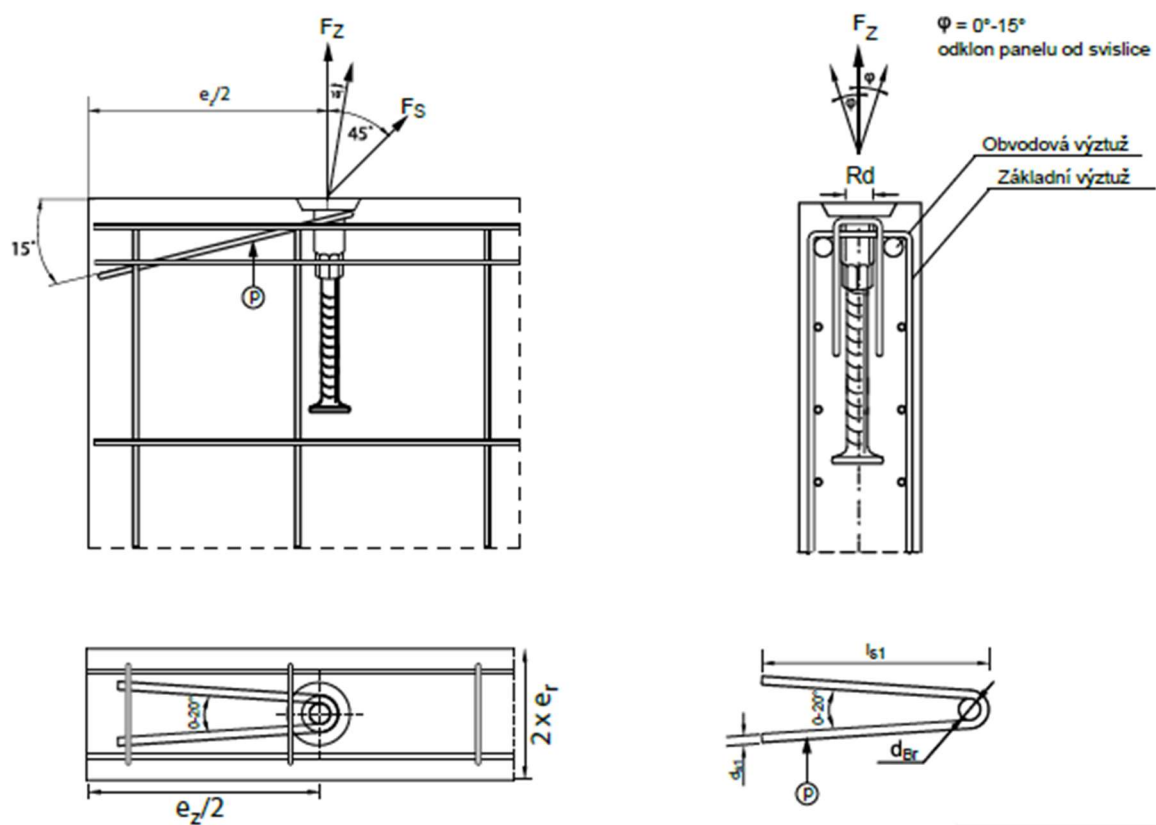
Přilnavost s bedněním: 18,67 kN

STAV 1 (odbednění)  $27,73 + 18,67 = 46,40$  kN

STAV 2 (doprava)  $1,5 * 27,73 = 41,60$  kN

**Návrh 3 úchyty Kontakt SK Hk 2,5-200 (2,5t) – viz Obr. 61.**

Kotvy umístěny v žebrech střešních prefabrikátu – viz Výkres tvaru vnitřního prstence.



Předepsaná výztuž, nosnost při šikmém tahu  $F_s$  do  $45^\circ$  a doporučené vzdálenosti od krajů



označení prvku	závit Rd	přídavná výztuž (P)			min. tl.prvku $2 \times e_r$ mm	základní výztuž $\text{mm}^2/\text{m}$	obvodová výztuž mm	$F_S$ šikmý tah do $45^\circ$ v kN		osová vzdálenost min. $e_z$
		$d_{s1}$ mm	$l_{s1}$ mm	$d_{Br}$ mm				pevnost bet. v tlaku		
								15 MPa	25 MPa	
HK 0,5 - 100	12	6	150	24	60	1 x 188	$\emptyset 8$	4,0	5,0	300
HK 0,5 - 150					60			5,7	8,0	
HK 0,8 - 105	14	6	200	24	70	1 x 188	$\emptyset 8$	6,4	8,0	300
HK 0,8 - 155					70			6,4	8,0	
HK 1,2 - 130	16	8	225	32	70	2 x 131	$\emptyset 8$	8,7	11,2	400
HK 1,2 - 175					80	2 x 131	2 x $\emptyset 8$	9,6	12,0	
HK 1,6 - 150	18	8	250	32	80	2 x 188	2 x $\emptyset 10$	12,8	16,0	450
HK 1,6 - 225					80	2 x 188	2 x $\emptyset 10$	15,5	20,0	
HK 2,0 - 183	20	8	300	32	80	2 x 188	2 x $\emptyset 10$	15,5	20,0	500
HK 2,0 - 250					100			16,0	20,0	
HK 2,5 - 200	24	10	300	40	100	2 x 188	2 x $\emptyset 12$	20,0	25,0	600
HK 2,5 - 275										
HK 4,0 - 275	30	12	400	48	120	2 x 188	2 x $\emptyset 12$	32,0	40,0	700
HK 4,0 - 350					120	2 x 188	2 x $\emptyset 12$	32,0	40,0	
HK 6,3 - 334	36	14	575	56	140	2 x 188	2 x $\emptyset 12$	44,6	63,0	800
HK 6,3 - 450					160			50,4	63,0	
HK 8,0 - 385	42	16	625	64	160	2 x 188	2 x $\emptyset 12$	56,4	72,8	900
HK 8,0 - 500					180			61,6	80,0	
					200			64,0	80,0	
HK 12,5 - 550	52	20	775	140	220	2 x 188	2 x $\emptyset 14$	100,0	116,3	1100
HK 12,5 - 700					230			100,0	125,0	

Obr. 61: Hodnoty pro úchyty Kontakt SK Hk 2,5-200 (2,5t)