



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## BETONOVÉ KONSTRUKCE VYZTUŽENÉ FRP VÝZTUŽÍ

CONCRETE STRUCTURES WITH FRP REINFORCEMENT

## P2. STATICKÝ VÝPOČET

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matej Valent

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK GIRGLE, Ph.D.

BRNO 2021

# OBSAH

<b>1. GEOMETRIA</b>	5
1.1. Prefabrikát A (štvorcová skruž so zákrytovou doskou)	6
1.2. Prefabrikát B (steny nádrže so spodnou doskou)	7
<b>2. ZAŤAŽENIE</b>	8
2.1. Prefabrikát A	8
2.1.1. Stále zaťaženie	8
2.1.2. Premenné zaťaženie	9
2.2. Prefabrikát B	12
2.2.1. Stále zaťaženie	12
2.2.2. Premenné zaťaženie	13
<b>3. DIMENZOVANIE - OCEĽ</b>	16
3.1. Materiálové charakteristiky	16
3.2. Prefabrikát A	17
3.2.1. Štvorcová skruž	17
3.2.1.1. Výpočet vnútorných síl	17
3.2.1.2. Krycia vrstva	18
3.2.1.3. Všeobecný návrh vodorovnej výstuže (1.vrstva)	18
3.2.1.4. Overenie vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva)	19
3.2.1.5. Dodatočný návrh vodorovnej výstuže na normálovú ťahovú silu	20
3.2.1.6. Všeobecný návrh zvislej výstuže (2.vrstva)	20
3.2.1.7. Overenie zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva)	21
3.2.1.8. Dodatočný návrh zvislej výstuže na normálovú ťahovú silu	22
3.2.2. Zákrytová doska	23
3.2.2.1. Výpočet vnútorných síl (ohybové momenty)	23
3.2.2.2. Krycia vrstva	24
3.2.2.3. Všeobecný návrh dolnej výstuže (1.vrstva)	24
3.2.2.4. Overenie dolnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1. vrstva)	25
3.2.2.5. Všeobecný návrh dolnej výstuže (2.vrstva)	26
3.2.2.6. Overenie dolnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2. vrstva)	27
3.2.2.7. Všeobecný návrh hornej výstuže (1.vrstva)	28
3.2.2.8. Overenie hornej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1. vrstva)	29
3.2.2.9. Všeobecný návrh hornej výstuže (2.vrstva)	30
3.2.2.10. Overenie hornej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2. vrstva)	31
3.2.2.11. Výpočet vnútorných síl (normálové sily)	32
3.2.2.12. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere X	32
3.2.2.13. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere Y	33
3.3. Prefabrikát B	34
3.3.1. Steny sedimentačnej nádrže	34
3.3.1.1. Výpočet vnútorných síl (ohybové momenty)	34
3.3.1.2. Krycia vrstva	35
3.3.1.3. Všeobecný návrh vonkajšej vodorovnej výstuže (1.vrstva)	35
3.3.1.4. Overenie vonkajšej vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva)	36
3.3.1.5. Všeobecný návrh vonkajšej zvislej výstuže (2.vrstva)	38

3.3.1.6.	Overenie vonkajšej zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva).....	39
3.3.1.7.	Všeobecný návrh vnútornej vodorovnej výstuže (1.vrstva).....	39
3.3.1.8.	Overenie vnútornej vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva)	40
3.3.1.9.	Všeobecný návrh vnútornej zvislej výstuže (2.vrstva).....	40
3.3.1.10.	Overenie vnútornej zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva).....	41
3.3.1.11.	Výpočet vnútorných síl (normálové sily) .....	41
3.3.1.12.	Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere X .....	41
3.3.1.13.	Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere Y.....	42
3.3.2.	Doska na dne sedimentačnej nádrže .....	43
3.3.2.1.	Výpočet vnútorných síl .....	43
3.3.2.2.	Krycia vrstva.....	44
3.3.2.3.	Všeobecný návrh dolnej výstuže (1.vrstva) .....	44
3.3.2.4.	Všeobecný návrh dolnej výstuže (2.vrstva) .....	45
3.3.2.5.	Všeobecný návrh hornej výstuže (1.vrstva).....	46
3.3.2.6.	Všeobecný návrh hornej výstuže (2.vrstva).....	47
3.3.3.	Výstupok na prefabrikáte B.....	48
3.3.3.1.	Posúdenie na ohyb .....	48
3.3.3.2.	Posúdenie na šmyk .....	49
<b>4.</b>	<b>DIMENZOVANIE – FRP VÝSTUŽ</b> .....	<b>50</b>
4.1.	Materiálové charakteristiky .....	50
4.2.	Prefabrikát A .....	51
4.2.1.	Štvorcová skruž .....	51
4.2.1.1.	Krycia vrstva.....	51
4.2.1.2.	Výpočet ohybového momentu pri balančnom vystužení (1.vrstva) .....	51
4.2.1.3.	Všeobecný návrh vodorovnej výstuže (1.vrstva).....	51
4.2.1.4.	Overenie vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva) .....	52
4.2.1.5.	Dodatočný návrh vodorovnej výstuže na normálovú ťahovú silu.....	53
4.2.1.6.	Výpočet ohybového momentu pri balančnom vystužení (2.vrstva) .....	53
4.2.1.7.	Všeobecný návrh zvislej výstuže (2.vrstva) .....	53
4.2.1.8.	Overenie zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva).....	54
4.2.1.9.	Dodatočný návrh zvislej výstuže na normálovú ťahovú silu.....	55
4.2.2.	Zákrytová doska .....	56
4.2.2.1.	Krycia vrstva.....	56
4.2.2.2.	Výpočet ohybového momentu pri balančnom vystužení.....	56
4.2.2.3.	Všeobecný návrh dolnej výstuže (1.vrstva) .....	56
4.2.2.4.	Overenie dolnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1. vrstva) .....	57
4.2.2.5.	Všeobecný návrh dolnej výstuže (2.vrstva) .....	58
4.2.2.6.	Overenie dolnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2. vrstva) .....	58
4.2.2.7.	Všeobecný návrh hornej výstuže (1.vrstva).....	59
4.2.2.8.	Overenie hornej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1. vrstva).....	60
4.2.2.9.	Všeobecný návrh hornej výstuže (2.vrstva).....	61
4.2.2.10.	Overenie hornej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2. vrstva).....	62
4.2.2.11.	Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere X .....	63
4.2.2.12.	Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere Y.....	63
4.3.	Prefabrikát B .....	64
4.3.1.	Steny sedimentačnej nádrže .....	64
4.3.1.1.	Krycia vrstva.....	64

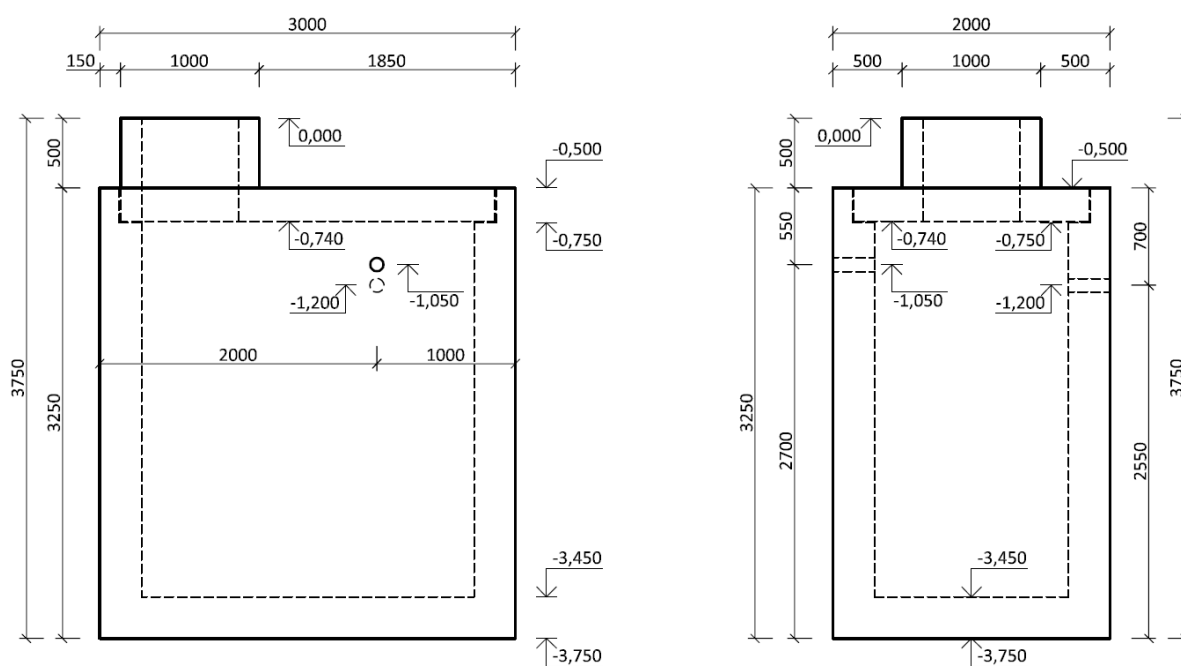
4.3.1.2.	Výpočet ohybového momentu pri balančnom vystužení.....	64
4.3.1.3.	Všeobecný návrh vonkajšej vodorovnej výstuže (1.vrstva).....	64
4.3.1.4.	Overenie vonkajšej vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva) .	65
4.3.1.5.	Všeobecný návrh vonkajšej zvislej výstuže (2.vrstva) .....	66
4.3.1.6.	Overenie vonkajšej zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva).....	66
4.3.1.7.	Všeobecný návrh vnútornej vodorovnej výstuže (1.vrstva) .....	67
4.3.1.8.	Overenie vnútornej vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva) 67	
4.3.1.9.	Všeobecný návrh vnútornej zvislej výstuže (2.vrstva).....	67
4.3.1.10.	Overenie vnútornej zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva) .....	68
4.3.1.11.	Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere X .....	68
4.3.1.12.	Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere Y.....	68
4.3.2.	Doska na dne sedimentačnej nádrže .....	69
4.3.2.1.	Krycia vrstva.....	69
4.3.2.2.	Výpočet ohybového momentu pri balančnom vystužení.....	69
4.3.2.3.	Všeobecný návrh dolnej výstuže (1.vrstva) .....	70
4.3.2.4.	Všeobecný návrh dolnej výstuže (2.vrstva) .....	70
4.3.2.5.	Všeobecný návrh hornej výstuže (1.vrstva).....	71
4.3.2.6.	Všeobecný návrh hornej výstuže (2.vrstva).....	72
4.3.3.	Výstupok na prefabrikáte B.....	72
4.3.3.1.	Posúdenie na ohyb .....	72
4.3.3.2.	Posúdenie na šmyk .....	73
<b>5.</b>	<b>MANIPULÁCIA S PREFABRIKÁTMI.....</b>	<b>74</b>
5.1.	Prefabrikát A .....	74
5.2.	Prefabrikát B .....	75

# 1. GEOMETRIA

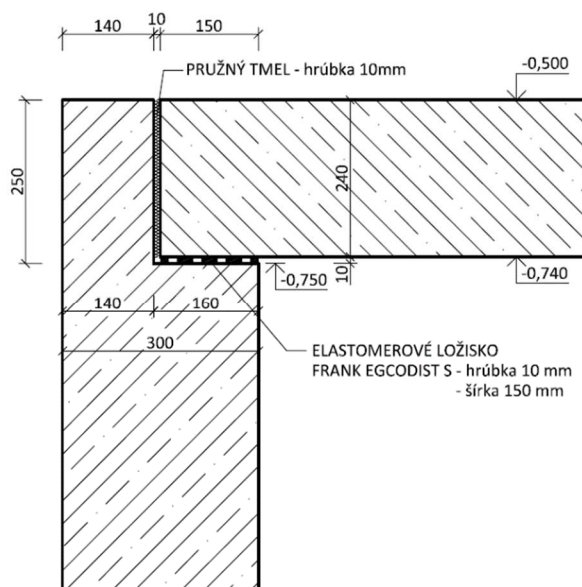
Riešenou konštrukciou je železobetónová sedimentačná nádrž, ktorá sa skladá z dvoch prefabrikovaných segmentov označovaných „A“ a „B“.



Obrázok 1.1: Axonometrický pohľad na riešenú konštrukciu

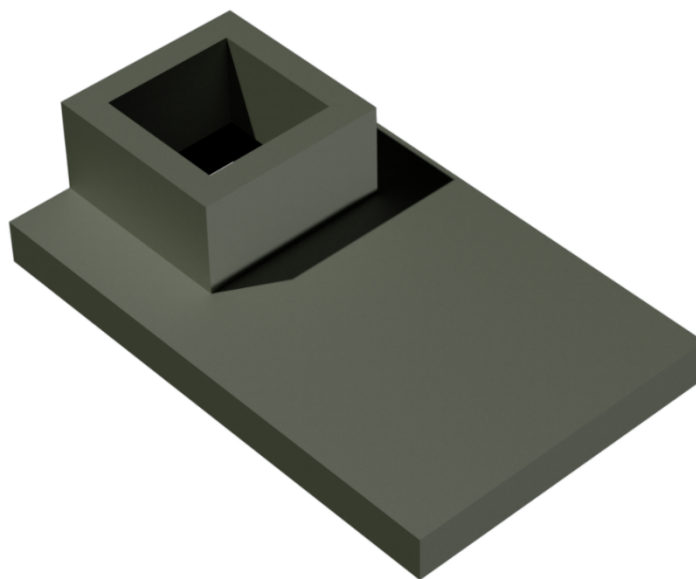


Obrázok 1.2: Pohľady na riešenú konštrukciu

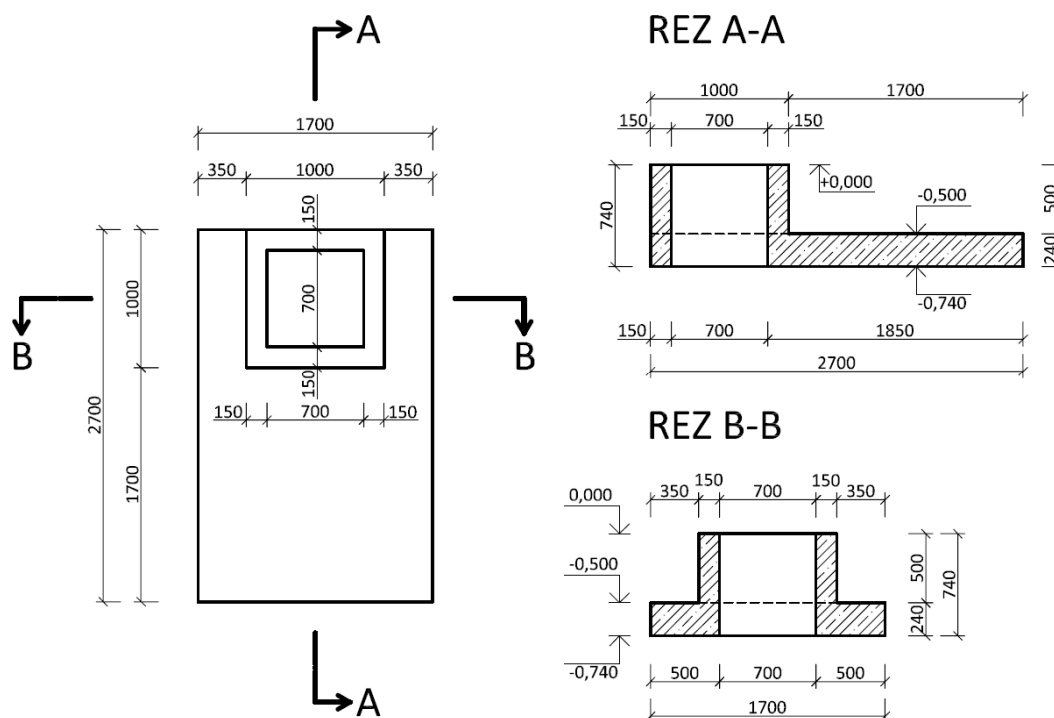


Obrázok 1.3: Detail uloženia prefabrikátu A na prefabrikát B

### 1.1. Prefabrikát A (štvorcová skruž so zákrytovou doskou)

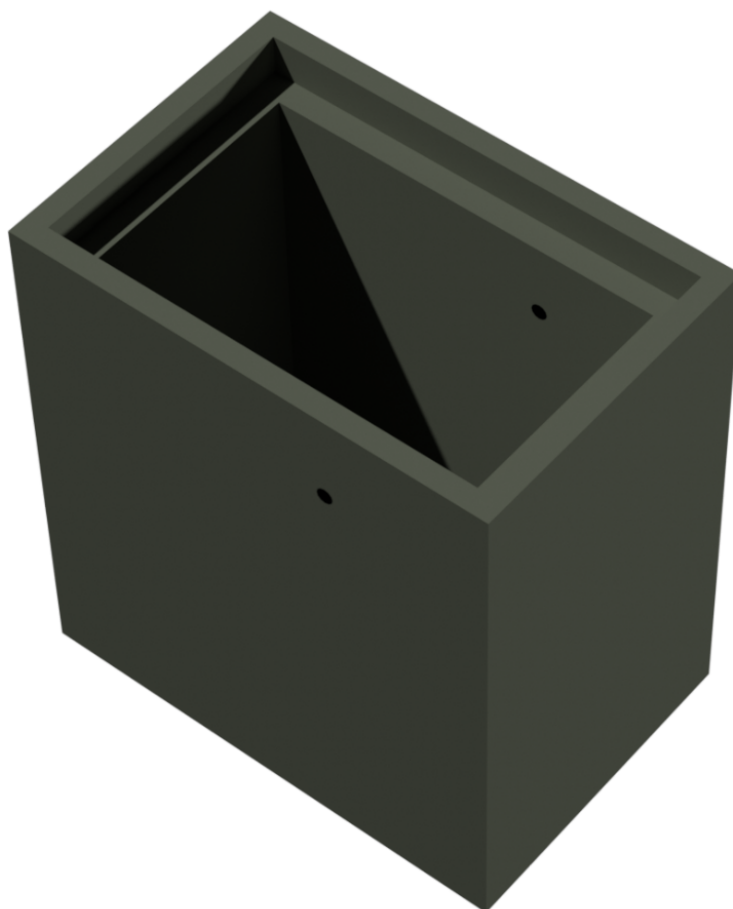


Obrázok 1.4: Axonometrický pohľad na prefabrikát A

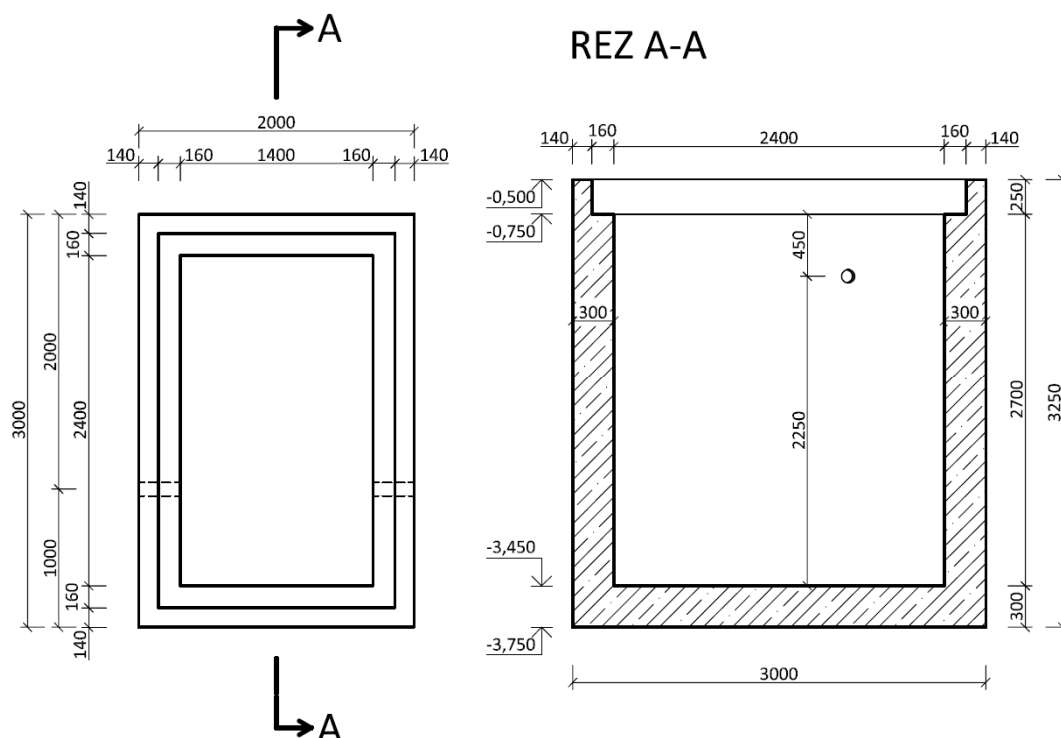


Obrázok 1.5: Pôdorys prefabrikátu A, Rezy A-A a B-B

## 1.2. Prefabrikát B (steny nádrže so spodnou doskou)

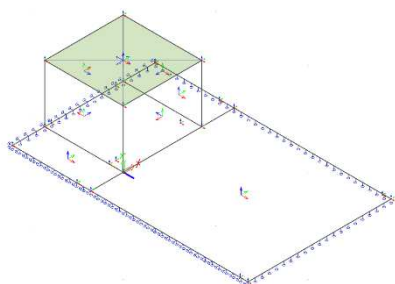


Obrázok 1.6: Axonometrický pohľad na prefabrikát B

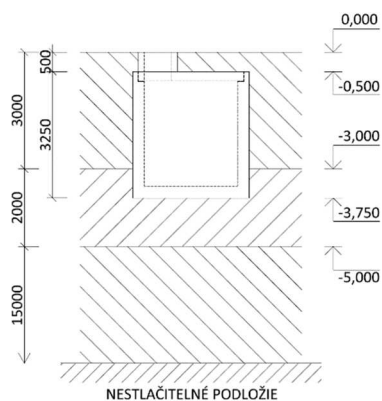


Obrázok 1.7: Pôdorys prefabrikátu B, Rez A-A

## 2. ZAŤAŽENIE



Obrázok 2.1: Model prefabrikátu A vo výpočtovom programe SCIA Engineer



Obrázok 2.2: Uloženie nádrže do zemin

### 2.1. Prefabrikát A

#### 2.1.1. Stále zaťaženie

##### ZS1 – Vlastná tiaž

Horný prefabrikát A je vymodelovaný vo výpočtovom programe SCIA Engineer – program automaticky spočítal zaťaženie  $g_{o,k}$ .

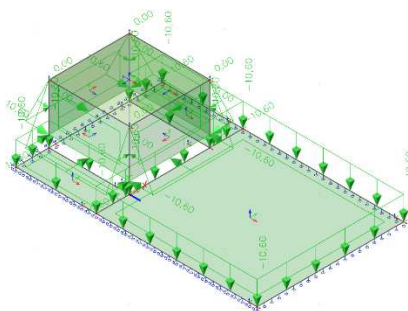
##### ZS2 – Zaťaženie zeminou

Celá nádrž je zakopaná do výšky  $\pm 0,000$  (po vrch štvorcovej skruže, viz. Obr.2.2.). V mieste výstavby bol vykonaný inžiniersko-geologický prieskum, získané informácie sú zhrnuté v Tabuľke 2.1.

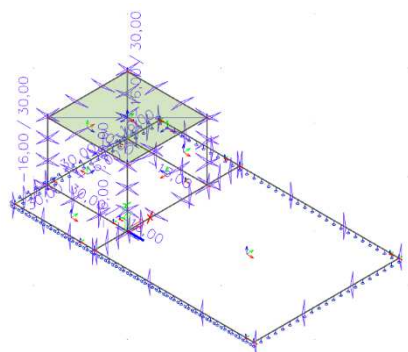
Tabuľka 2.1: Geologický profil v mieste výstavby

Hĺbka [m]	Typ zemin	$\gamma_D$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_{def}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
0,0 - 3,0	CI	21,2	1500
3,0 - 5,0			1600
5,0 - 20,0			2000

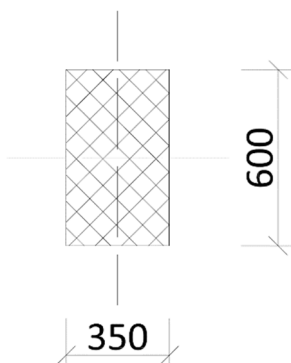
Na výpočet zaťaženia využijeme návrhový prístup 2, kombinácia A1 + M1 + R2. Pre zjednodušenie výpočtu a zároveň zvýšenie bezpečnosti konštrukcie bude uhol vnútorného trenia  $\varphi_u = 0^\circ$ . Tlak zemin je v pokoji, takže zemný tlak je nutné prenásobiť súčiniteľom  $K_r$ . Poissonov súčiniteľ pre íl so strednou plasticitou  $\Rightarrow \nu=0,4$ .



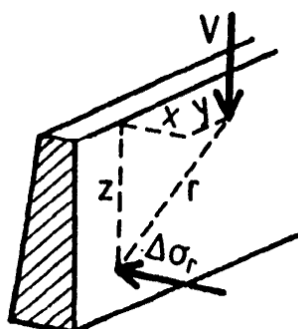
Obrázok 2.3: ZS2 – Zaťaženie zeminou



Obrázok 2.4: ZS3 – Teplotné zaťaženie



Obrázok 2.5: Dotyková plocha kolesa pre LM2



Obrázok 2.6: Schéma pre výpočet prírastku zemného tlaku v pokoji (prevzaté z [20])

$$K_r = \frac{\nu}{1-\nu} = \frac{0,4}{1-0,4} = 0,67 \Rightarrow \text{pre zjednodušenie výpočtu} \Rightarrow K_r = 1,0$$

- horizontálna sila

$$g_{1,k,H} = \gamma_D \cdot h = 21,2 \cdot 0,5 = 10,6 \text{ kN/m}$$

- vertikálna sila

$$g_{1,k,V} = \gamma_D \cdot h \cdot K_r = 21,2 \cdot 0,5 \cdot 1,0 = 10,6 \text{ kN/m}$$

## 2.1.2. Premenné zaťaženie

### ZS3 – Teplotné zaťaženie

Vo vnútri sedimentačnej nádrže budeme počítať s teplotou kvapaliny  $T_{in} = 40^\circ\text{C}$ . Teplota nádrže z vonkajšej strany bude stanovená podľa Tabuľky 2.2.

 Tabuľka 2.2: Teploty  $T_{out}$  pre podzemné časti pozemných stavieb (prevzaté z [18])

Obdobie	Hĺbka pod úrovňou terénu	Teplota $T_{out}$ [ $^\circ\text{C}$ ]
leto	menšia ako 1m	10
	väčšia ako 1m	5
zima	menšia ako 1m	-6
	väčšia ako 1m	-3

Pri prefabrikáte A je teplota  $T_{out} = -6^\circ\text{C}$ . Teplotné zaťaženie budeme uvažovať iba v zimnom období, pretože je vtedy väčší rozdiel teplôt medzi  $T_{in}$  a  $T_{out}$ .

### ZS4 – Zaťaženie dopravou

Na tento typ zaťaženia použijeme model zaťaženia 2 (LM2) podľa [19], kde bude pôsobiť jedno koleso o hodnote  $200 \cdot \beta_Q$  kN.

$$\beta_Q = \alpha_{Q1} \Rightarrow Q_k = 0,8 \cdot 200 = 160 \text{ kN}$$

#### a) skruž

Vodorovné zaťaženie od dopravy na skruž spočítame pomocou [20], kde zaťaženie od kolesa budeme uvažovať ako zvislú osamelú silu  $V=160$  kN. Prírastok zemného tlaku v pokoji  $\Delta\sigma_r$  vypočítame podľa vzorca:

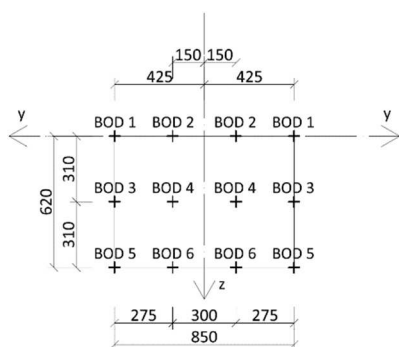
$$\Delta\sigma_r = \frac{3V}{\pi} \left[ \frac{x^2 z}{r^5} + \frac{1-2\nu}{3} \left( \frac{1}{r(r+z)} - \frac{(2r+z)x^2}{(r+z)^2 r^3} - \frac{z}{r^3} \right) \right]$$

kde  $V$  = osamelá zvislá sila;

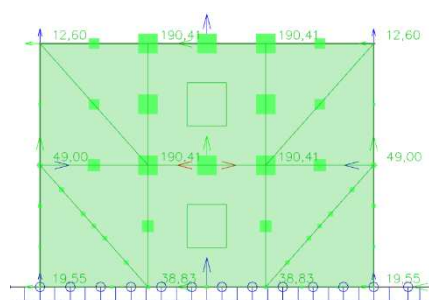
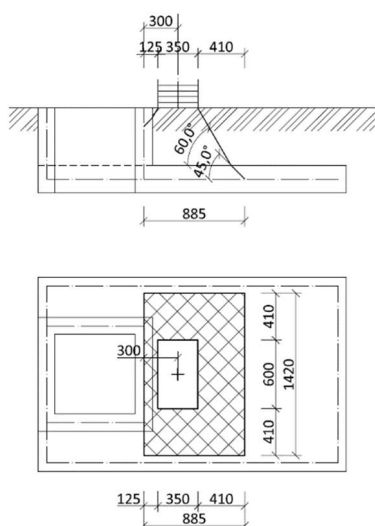
$\nu$  = Poissonov súčiniteľ (pre CI  $\Rightarrow \nu=0,4$ );

$x, y, z$  = vzdialenosti medzi zvislou silou a prírastkom zemného tlaku;

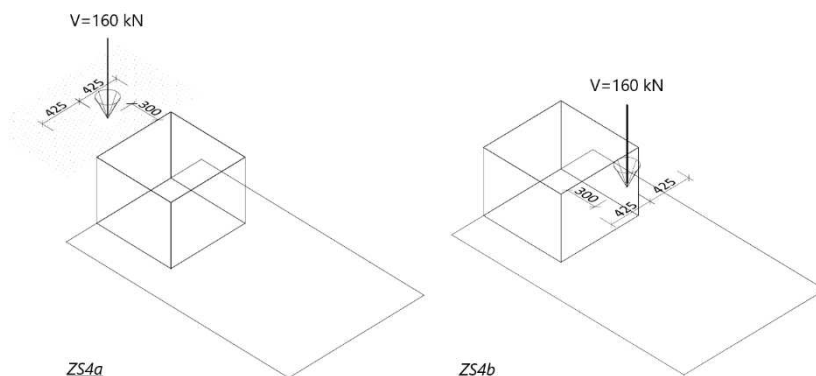
$r$  = priestorová vzdialenosť medzi zvislou silou a prírastkom zemného tlaku;



Obrázok 2.8: Body na výpočet prírastku zemného tlaku na stene skruže


 Obrázok 2.9: Detail zaťaženia od osamelej sily na stenu štvorcovej skruže ( $x=0,3m$ )

 Obrázok 2.10: Roznos zaťaženia na zákrytovú dosku pre ZS4b ( $x=0,3m$ )

Najväčšie napätie na stenu skruže pôsobí, keď je osamelá sila vzdialená 0,30 m od osy steny skruže. Napätia v jednotlivých bodoch steny sú vypočítané podľa Obrázku 2.6 v Tabuľke 2.3. V ZS4a uložíme silu mimo nádrž a v ZS4b uložíme silu nad zákrytovú dosku.



Obrázok 2.7: Uloženie osamelej sily pre ZS4a a ZS4b

 Tabuľka 2.3: Prírastky zemného tlaku  $\Delta\sigma_r$  na stenu štvorcovej skruže podľa Obr. 2.8 ( $x=0,3m$ )

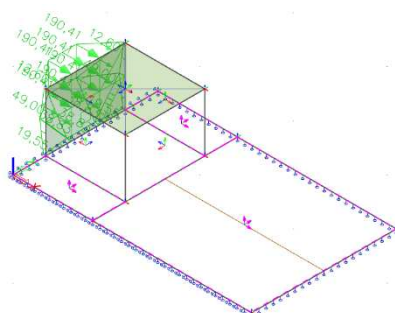
Bod	x [m]	y [m]	z [m]	r [m]	$\Delta\sigma_r$ [kPa]
1	0,3	0,425	0	0,52	12,60
2	0,3	0,15	0	0,34	-54,32
3	0,3	0,425	0,31	0,61	49,00
4	0,3	0,15	0,31	0,46	190,41
5	0,3	0,425	0,62	0,81	19,55
6	0,3	0,15	0,62	0,70	38,83

V bode 2 nemôžeme uvažovať zápornú hodnotu, preto zavedieme predpoklad, že Bod 2 = Bod 4 = 190,41 kPa.

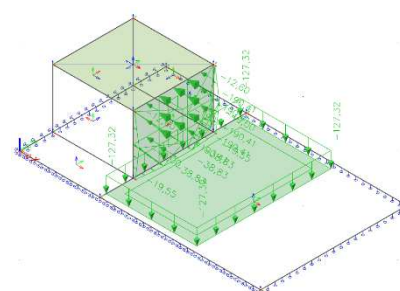
Roznos zaťaženia budeme cez zeminu uvažovať pod uhlom  $60^\circ$  a v konštrukcii pod uhlom  $45^\circ$ .

Výpočet sily na plochu:

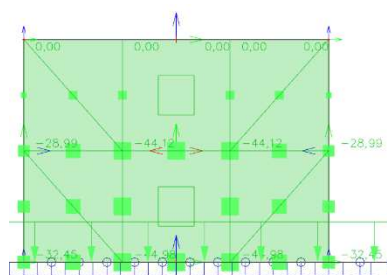
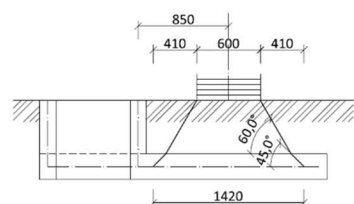
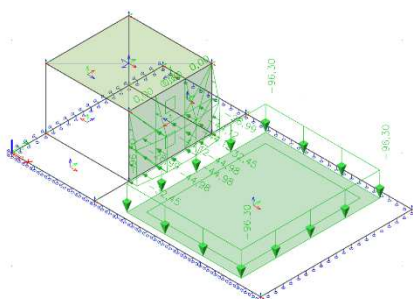
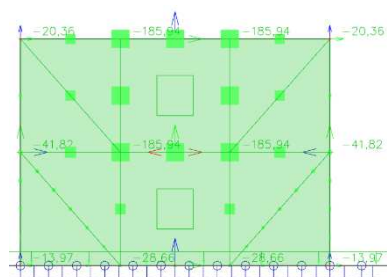
$$f(x = 0,3m) = \frac{V}{A_{roz}} = \frac{160}{1,42 \cdot 0,885} = 127,32 \text{ kN/m}^2$$



Obrázok 2.11: ZS4a – Zaťaženie dopravou (koleso mimo nádrž)

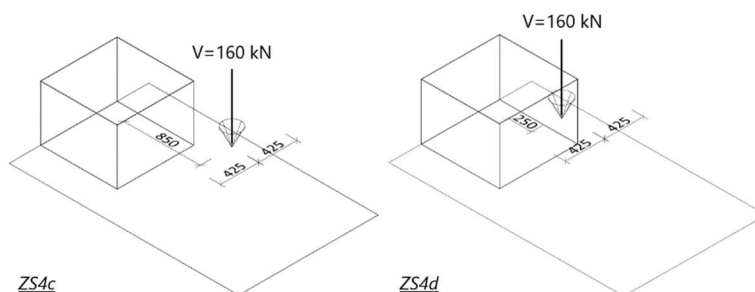


Obrázok 2.12: ZS4b – Zaťaženie dopravou (koleso na nádrži)


 Obrázok 2.14: Detail zaťaženia od osamelej sily na stenu štvorcovej skruže ( $x=0,85\text{m}$ )

 Obrázok 2.15: Roznos zaťaženia na zákrytovú dosku pre ZS4c ( $x=0,85\text{m}$ )

 Obrázok 2.16: ZS4c – Zaťaženie dopravou ( $x=0,85\text{m}$ )

 Obrázok 2.17: Detail zaťaženia od osamelej sily na stenu štvorcovej skruže ( $x=0,25\text{m}$ )

## b) zákrytová doska

Pre maximálny moment musíme zaťaženie uložiť 0,85m od skruže (ZS4c) a na získanie maximálnej posúvacej sily uložiť zaťaženie hneď vedľa skruže (ZS4d).



Obrázok 2.13: Uloženie osamelej sily pre ZS4c a ZS4d

## ZS4c ( $x=0,85\text{m}$ )

 Tabuľka 2.4: Prírastky zemného tlaku  $\Delta\sigma_r$  na stenu štvorcovej skruže podľa Obr. 2.8 ( $x=0,85\text{m}$ )

Bod	x [m]	y [m]	z [m]	r [m]	$\Delta\sigma_r$ [kPa]
1	0,85	0,425	0	0,95	-6,77
2	0,85	0,15	0	0,86	-12,85
3	0,85	0,425	0,31	1,00	28,99
4	0,85	0,15	0,31	0,92	44,12
5	0,85	0,425	0,62	1,13	32,45
6	0,85	0,15	0,62	1,06	44,98

V bodoch 1 a 2 je potrebné upraviť záporné hodnoty.

Bod 1 = 0 kPa      Bod 2 = Bod 4 = 44,12 kPa

Výpočet sily na plochu:

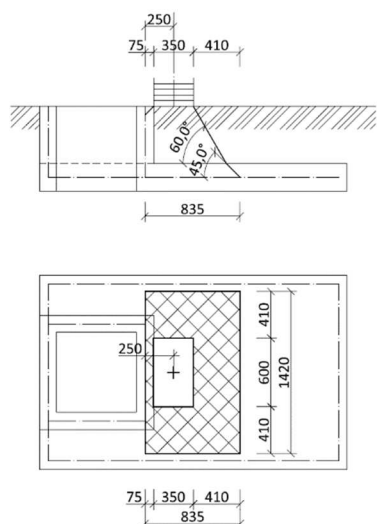
$$f(x = 0,85\text{m}) = \frac{V}{A_{roz}} = \frac{160}{1,42 \cdot 1,17} = 96,30 \text{ kN/m}^2$$

## ZS4d ( $x=0,25\text{m}$ )

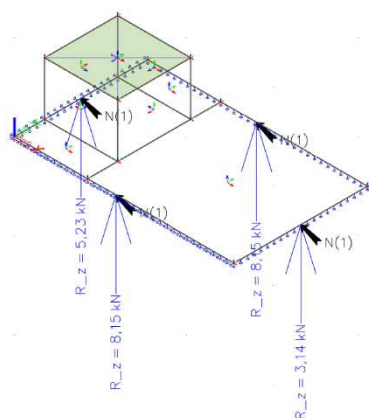
 Tabuľka 2.5: Prírastky zemného tlaku  $\Delta\sigma_r$  na stenu štvorcovej skruže podľa Obr. 2.8 ( $x=0,25\text{m}$ )

Bod	x [m]	y [m]	z [m]	r [m]	$\Delta\sigma_r$ [kPa]
1	0,25	0,425	0	0,49	20,36
2	0,25	0,15	0	0,29	-56,39
3	0,25	0,425	0,31	0,58	41,82
4	0,25	0,15	0,31	0,43	185,94
5	0,25	0,425	0,62	0,79	13,97
6	0,25	0,15	0,62	0,69	28,66

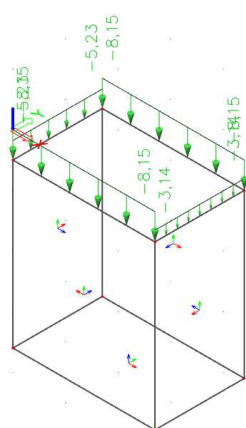
Bod 2 = Bod 4 = 185,94 kPa



Obrázok 2.18: Roznos zaťaženia na zákrytovú dosku pre ZS4d ( $x=0,25m$ )



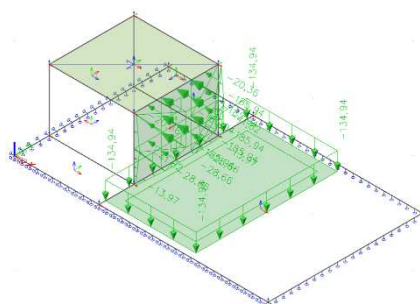
Obrázok 2.20: Výslednice reakcií na jednotlivých stranách od vlastnej tiaže prefabrikátu A



Obrázok 2.21: ZS1 – Vlastná tiaž

Výpočet sily na plochu:

$$f(x = 0,25m) = \frac{V}{A_{roz}} = \frac{160}{1,42 \cdot 0,835} = 134,94 \text{ kN/m}^2$$



Obrázok 2.19: ZS4d – Zataženie dopravou ( $x=0,25m$ )

## 2.2. Prefabrikát B

### 2.2.1. Stále zaťaženie

#### ZS1 – Vlastná tiaž

Prefabrikát B je taktiež vymodelovaný vo výpočtovom programe SCIA Engineer – program automaticky spočítal vlastnú tiaž prefabrikátu. Do zaťažovacieho stavu doplníme aj vlastnú tiaž horného prefabrikátu „A“ pomocou výsledníc reakcií, viz. Obr. 2.20.

#### ZS2 – Zataženie zeminou

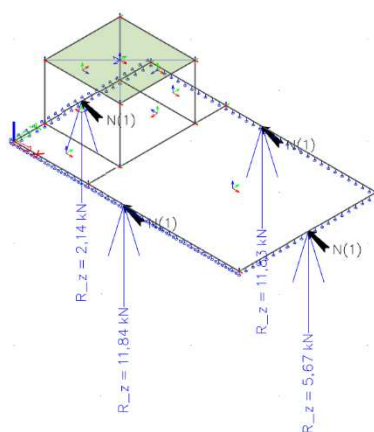
Tak ako pri ZS1, tak aj pri tomto zaťažovacom stave musíme preniesť zaťaženie z prefabrikátu A na prefabrikát B.

Ďalej musíme vypočítať zaťaženie od vodorovných zemných tlakov na spodnú časť nádrže vo výškach 0,5m a 3,6m. Všetky hodnoty potrebné k výpočtu sú uvedené v Tabuľke 2.1.

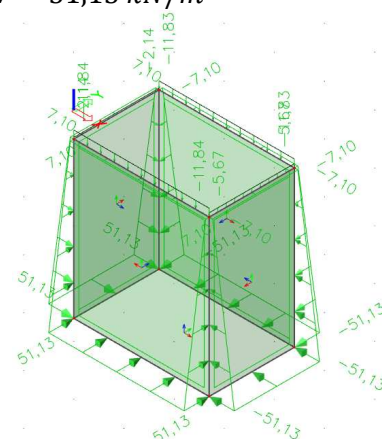
$$K_r = \frac{\nu}{1 - \nu} = \frac{0,4}{1 - 0,4} = 0,67$$

$$g_{1,k}(h = 0,5m) = \gamma_D \cdot h \cdot K_r = 21,2 \cdot 0,5 \cdot 0,67 = 7,10 \text{ kN/m}$$

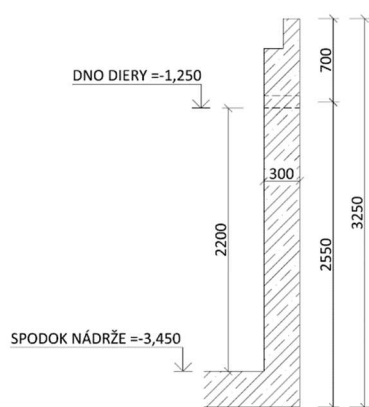
$$g_{1,k}(h = 3,6m) = \gamma_D \cdot h \cdot K_r = 21,2 \cdot 3,6 \cdot 0,67 = 51,13 \text{ kN/m}$$



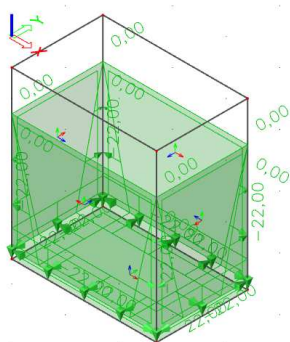
Obrázok 2.22: Výslednice reakcií na jednotlivých stranách prefabrikátu A od zataženia zeminou



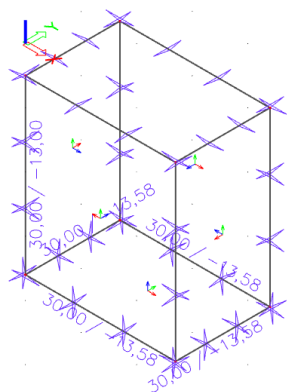
Obrázok 2.23: ZS2 – Zataženie zeminou



Obrázok 2.24: Maximálna výška vody v nádrži



Obrázok 2.25: ZS3 – Zaťaženie vodou



Obrázok 2.26: ZS4 – Teplotné zaťaženie

## 2.2.2. Premenné zaťaženie

### ZS3 – Zaťaženie vodou

V stenách sedimentačnej nádrže sa nachádzajú diery ( $\varnothing 100\text{mm}$ ) na vtok a výtok vody. Zaťaženie od vody bude pôsobiť od dna diery výtoku po spodok nádrže. Objemová tiaž vody  $\gamma_v = 10 \text{ kN/m}^3$ , maximálna výška hladiny vody 2,2m.

$$q_{1,k}(h = 2,2\text{m}) = \gamma_v \cdot h = 10,0 \cdot 2,2 = 22,0 \text{ kN/m}$$

Vodorovné zaťaženie pôsobiace na steny nádrže bude postupne narastať od 0 po 22 kN/m, zvislé zaťaženie na spodnú dosku nádrže bude 22 kN/m na celej ploche.

### ZS4 – Teplotné zaťaženie

Vo vnútri sedimentačnej nádrže je teplota kvapaliny  $T_{in} = 40^\circ\text{C}$ . Teplota nádrže z vonkajšej strany bude stanovená podľa Tabuľky 2.2. Keďže steny nádrže majú v rôznej hĺbke odlišné hodnoty teploty  $T_{out}$ , tak túto teplotu vypočítame váženým priemerom s použitím teplôt  $T_{out}$  a plôch stien, na ktoré pôsobia. Pri spodnej doske nádrže bude teplota  $T_{out} = -3^\circ\text{C}$ .

$$T_{out(steny)} = \frac{A_1 \cdot T_{out,1} + A_2 \cdot T_{out,2}}{\Sigma A}$$

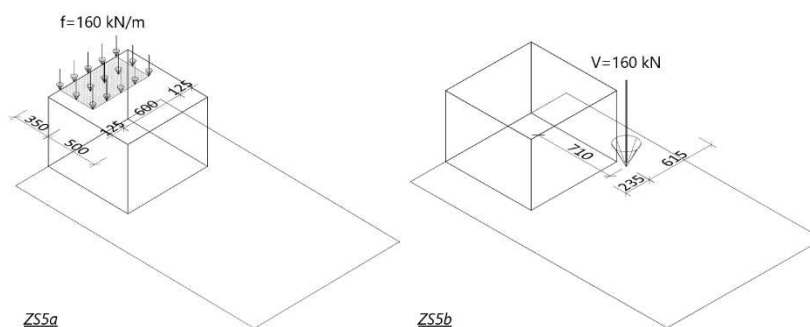
$$T_{out(steny)} = \frac{(2 \cdot (1,55 + 2,55)) \cdot 0,5 \cdot (-6) + (2 \cdot (1,55 + 2,55)) \cdot 2,1 \cdot (-3)}{(2 \cdot (1,55 + 2,55)) \cdot 2,6}$$

$$T_{out(steny)} = -3,58^\circ\text{C}$$

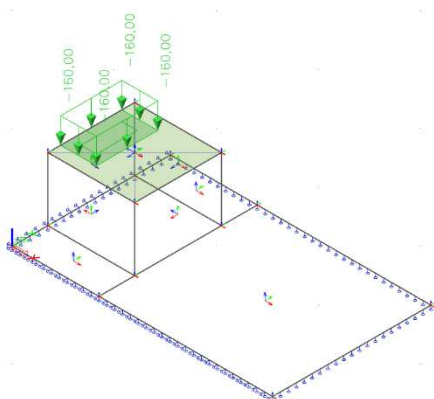
### ZS5 – Zaťaženie dopravou

Pri tomto zaťažovacom stave budeme hľadať maximálne zaťaženie prenesené z prefabrikátu A najprv na kratšiu stenu nádrže (ZS5a) a následne na dlhšiu stenu nádrže (ZS5b). Tieto 2 zaťažovacie stavy by nám mali dať maximálne normálové sily v stenách nádrže, v treťom zaťažovacom stave dostaneme maximálny ohybový moment.

V prvých dvoch zaťažovacích stavoch zaťažíme prefabrikát A tak, aby sme dostali maximálne výslednice reakcií v jednotlivých podporách, a potom toto zaťaženie preniesieme na prefabrikát B.



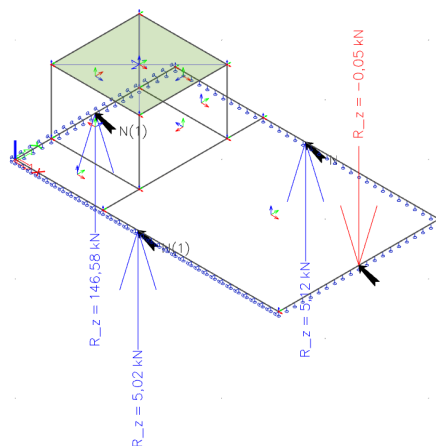
Obrázok 2.27: Zaťaženie od kola uložené na okraji štvorcovej skruže pre ZS5a a uloženie osamelej sily pre ZS5b



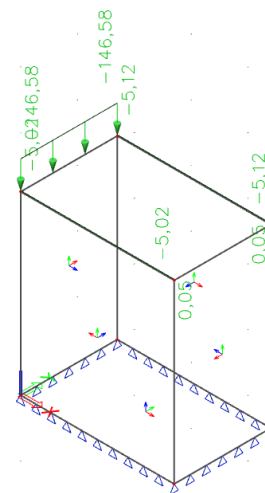
Obrázok 2.28: Zaťaženie kola na prefabrikát A – získame maximálnu reakciu na kratšej stene (ZS5a)

### ZS5a

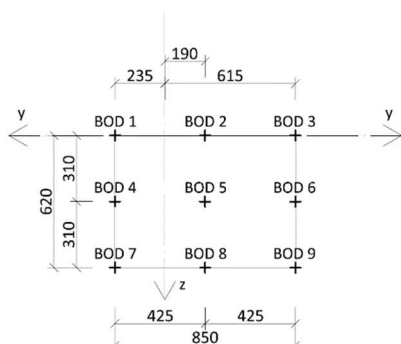
Koleso vozidla je umiestnené na okraji štvorcovej skruže na oceľovom poklope, veľkosť tejto sily je popísaná v kapitole 2.1.2. v ZS4, rozmery kola viz. Obrázok 2.5.



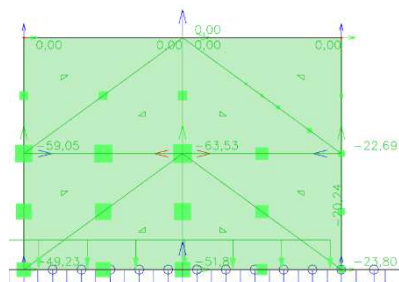
Obrázok 2.29: Výslednice reakcií na jednotlivých stranách prefabrikátu A (zaťaženie viz. Obr.2.28)



Obrázok 2.30: ZS5a – Zaťaženie dopravou



Obrázok 2.31: Body na výpočet prírastku zemného tlaku na stene skruže (pre ZS5b)



Obrázok 2.32: Detail zaťaženia od osamelej sily na stenu štvorcovej skruže (pre ZS5b)

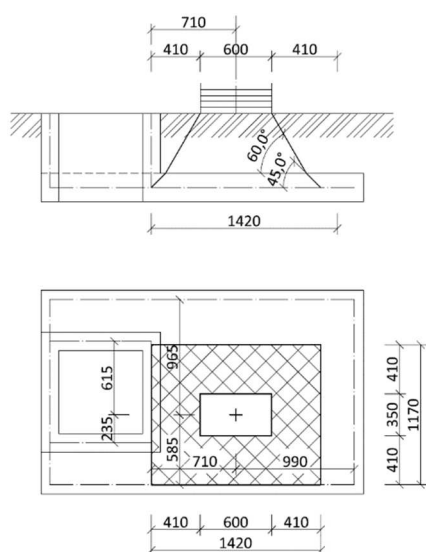
### ZS5b

V tomto zaťažovacom stave nepôsobí osamelá sila presne v strede prefabrikátu A (Obr. 2.27). Zmeníme raster bodov z pôvodných 12 (2x6) na 9 bodov, viz. Obrázok 2.31. V týchto bodoch spočítame prírastky zemného tlaku  $\Delta\sigma_r$  na stenu štvorcovej skruže.

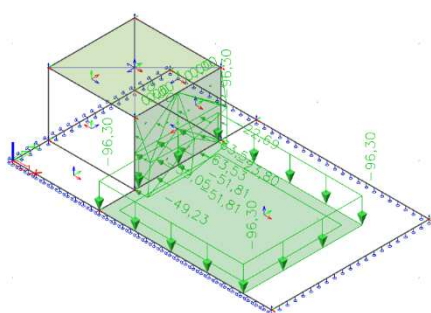
Tabuľka 2.6: Prírastky zemného tlaku  $\Delta\sigma_r$  na stenu štvorcovej skruže podľa Obr. 2.31 (uloženie osamelej sily viz. Obr.2.27)

Bod	x [m]	y [m]	z [m]	r [m]	$\Delta\sigma_r$ [kPa]
1	0,71	0,235	0,00	0,75	-14,61
2	0,71	0,19	0,00	0,73	-16,34
3	0,71	0,615	0,00	0,94	-1,65
4	0,71	0,235	0,31	0,81	59,05
5	0,71	0,19	0,31	0,80	63,53
6	0,71	0,615	0,31	0,99	22,69
7	0,71	0,235	0,62	0,97	49,23
8	0,71	0,19	0,62	0,96	51,81
9	0,71	0,615	0,62	1,13	23,80

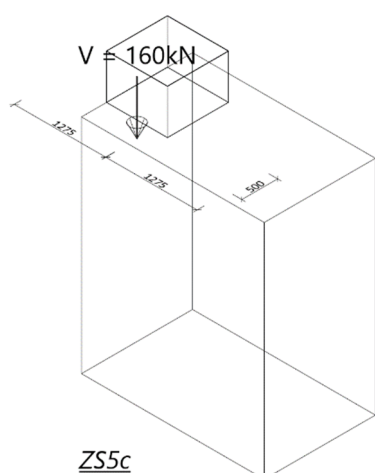
Záporné hodnoty v bodoch 1,2 a 3 upravíme na 0 kPa.



Obrázok 2.33: Roznos zaťaženia na zákrytovú dosku (pre ZS5b)



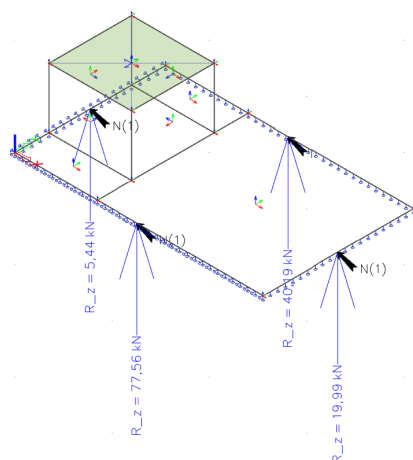
Obrázok 2.34: Zaťaženie kola na prefabrikát A – získame maximálnu reakciu na dlhšej stene (ZS5b)



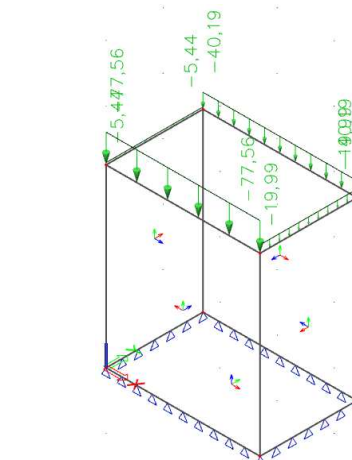
Obrázok 2.37: Uloženie osamelej sily pre ZS5c

Výpočet sily na plochu:

$$f(x = 0,71\text{m}) = \frac{Q_k}{A_{roz}} = \frac{160}{1,42 \cdot 1,17} = 96,30 \text{ kN/m}$$



Obrázok 2.35: Výslednice reakcií na jednotlivých stranách prefabrikátu A (zaťaženie viz. Obr.2.34)



Obrázok 2.36: ZS5b – Zaťaženie dopravou

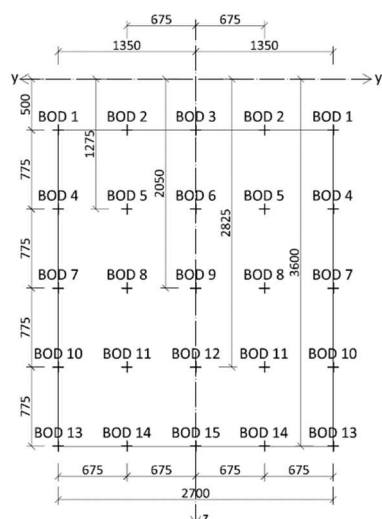
### ZS5c

V tomto zaťažovacom stave využijeme silu kola postaveného 0,5m od steny nádrže (Obr. 2.37). Nastavený raster bodov na stenu nádrže je zobrazený v Obrázku 2.38. V týchto bodoch spočítame prírastky zemného tlaku  $\Delta\sigma_r$  na stenu nádrže podľa vzorca v kapitole 2.1.2., ZS4.

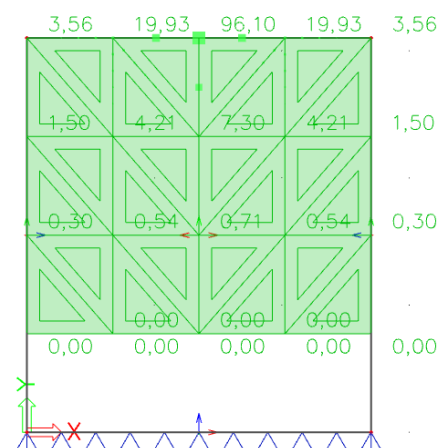
 Tabuľka 2.7: Prírastky zemného tlaku  $\Delta\sigma_r$  na stenu sedimentačnej nádrže podľa Obr. 2.38 (uloženie osamelej sily viz. Obr.2.37)

Bod	x [m]	y [m]	z [m]	r [m]	$\Delta\sigma_r$ [kPa]
1	0,500	1,350	0,500	1,52	3,56
2	0,500	0,675	0,500	0,98	19,93
3	0,500	0,000	0,500	0,71	96,10
4	0,500	1,350	1,275	1,92	1,50
5	0,500	0,675	1,275	1,53	4,21
6	0,500	0,000	1,275	1,37	7,30
7	0,500	1,350	2,050	2,50	0,30
8	0,500	0,675	2,050	2,22	0,54
9	0,500	0,000	2,050	2,11	0,71
10	0,500	1,350	2,825	3,17	-0,05
11	0,500	0,675	2,825	2,95	-0,07
12	0,500	0,000	2,825	2,87	-0,07
13	0,500	1,350	3,600	3,88	-0,13
14	0,500	0,675	3,600	3,70	-0,16
15	0,500	0,000	3,600	3,63	-0,17

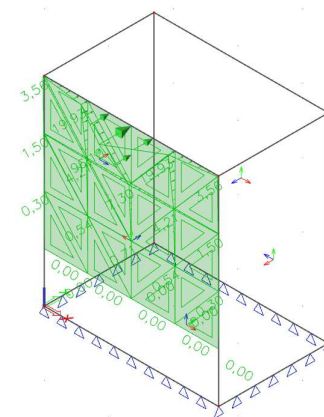
Všetky záporné hodnoty (body 10 – 15) budú upravené na 0 kPa.



Obrázok 2.38: Body na výpočet prírastku zemného tlaku na stene nádrže (pre ZS5c)



Obrázok 2.39: Detail zaťaženia od osamelej sily na stenu sedimentačnej nádrže (pre ZS5c)



Obrázok 2.40: ZS5c – Zaťaženie dopravou

## 3. DIMENZOVANIE - OCEĽ

### 3.1. Materiálové charakteristiky

#### BETÓN C45/55

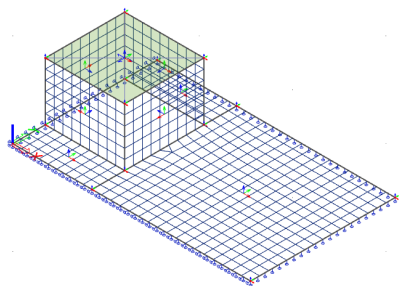
- charakteristická pevnosť betónu v tlaku  $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
- súčiniteľ spoľahlivosti betónu  $\gamma_c = 1,50$
- návrhová pevnosť betónu v tlaku  $f_{cd} = 45/1,50 = 30 \text{ MPa}$
- pevnosť betónu v ťahu  $f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$
- limitné pretvorenie betónu v tlaku  $\epsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$
- modul pružnosti betónu  $E_{cm} = 36 \text{ GPa}$

S ohľadom na typy zaťaženia v konštrukciách kde je dominantnou zložkou teplota, zavedieme predpoklad, že v konštrukciách vzniknú trhliny. Týmto prístupom znížime ohybovú tuhosť a v lineárnom modeli budeme počítať s redukovaným modulom pružnosti betónu

$$E_{red} = 0,75 \cdot 36 = 27 \text{ GPa}$$

#### OCEĽ B500B

- charakteristická hodnota medze klzu betonárskej výstuže  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- súčiniteľ spoľahlivosti betonárskej výstuže  $\gamma_s = 1,15$
- návrhová hodnota medze klzu betonárskej výstuže  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$
- pretvorenie betonárskej výstuže pri dosiahnutí medze klzu  $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 434,78/(200 \cdot 10^3) = 2,174 \text{ ‰}$
- modul pružnosti betonárskej oceli  $E_s = 200 \text{ GPa}$



Obrázok 3.1: Generovaná sieť konečných prvkov pre prefabrikát A (veľkosť 0,1m)

## 3.2. Prefabrikát A

### 3.2.1. Štvorcová skruž

#### 3.2.1.1. Výpočet vnútorných síl

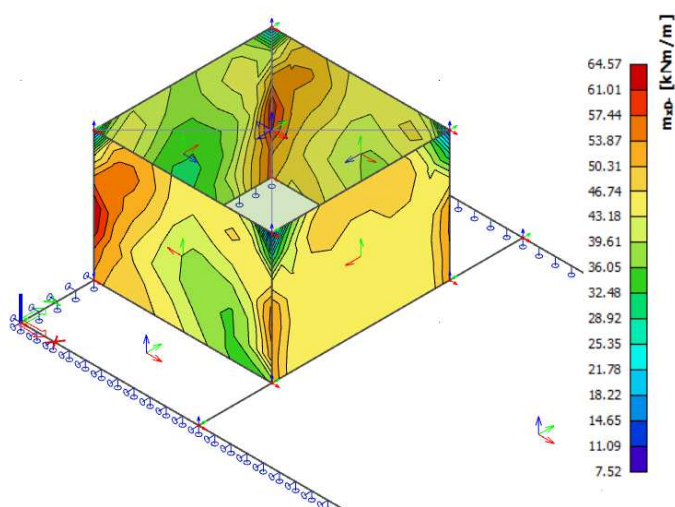
Rozhodujúce kombinácie pre skruž:

**K1:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4a

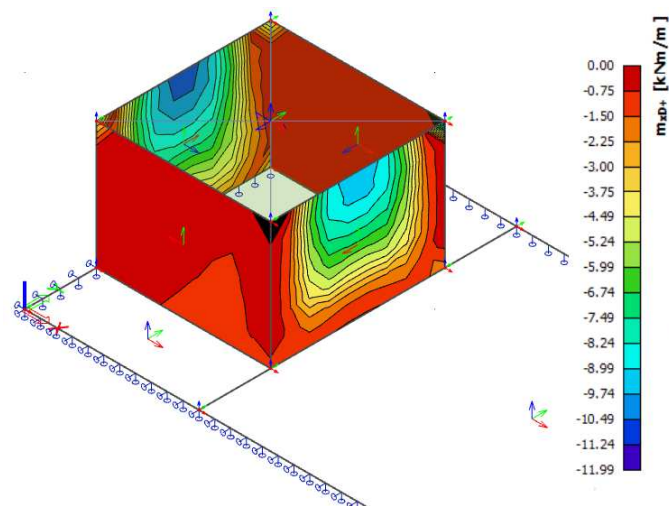
**K2:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4b

**K3:** ZS1 + ZS2 + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4a

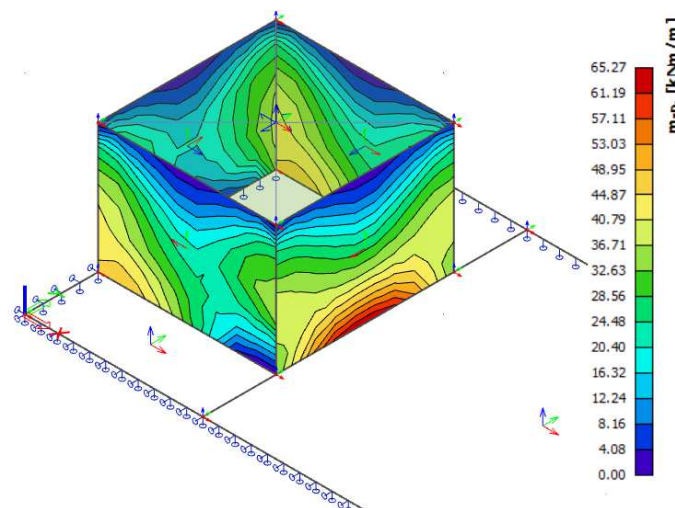
**K4:** ZS1 + ZS2 + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4b



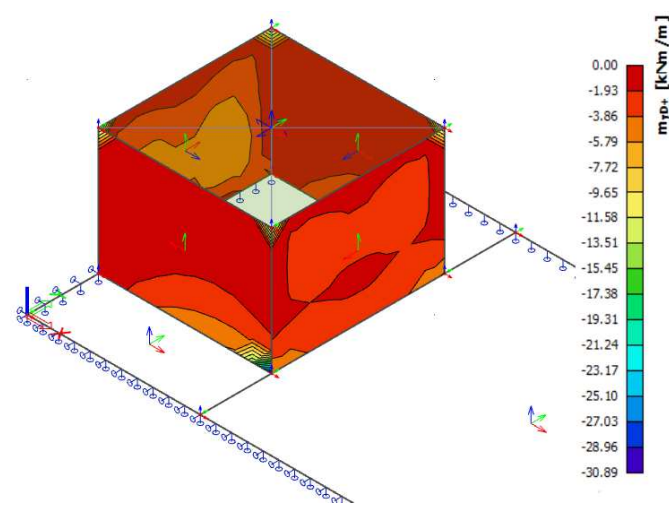
Obrázok 3.2: Obálka dimenzačných momentov  $m_{xD-}$  v skruži



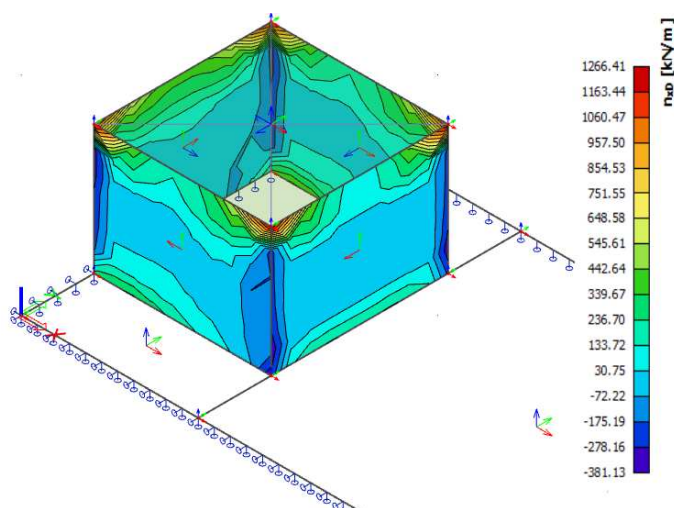
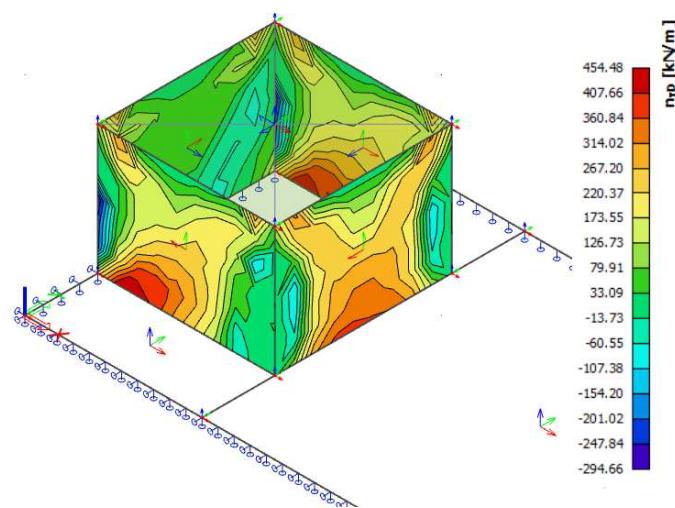
Obrázok 3.3: Obálka dimenzačných momentov  $m_{xD+}$  v skruži



Obrázok 3.4: Obálka dimenzačných momentov  $m_{yD-}$  v skruži



Obrázok 3.5: Obálka dimenzačných momentov  $m_{yD+}$  v skruži


 Obrázok 3.6: Obálka normálových síl  $n_{xD}$  v skruži

 Obrázok 3.7: Obálka normálových síl  $n_{yD}$  v skruži

### 3.2.1.2. Krycia vrstva

Odhad profilu výstuže =>  $\emptyset 12$

Stupeň vplyvu prostredia => **XC4** – striedavo mokré a suché

Trieda konštrukcie => **S2** (pôvodný návrh S4, pevnostnou triedou betónu C45/55 a zvláštnou kontrolou kvality bola trieda konštrukcie znížená o 2 triedy)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = \max(12 \text{ mm}; 20 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} \Rightarrow \text{použitie prefabrikátov} \Rightarrow \Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 + 5 = 25 \text{ mm} \Rightarrow c = 25 \text{ mm}$$

### 3.2.1.3. Všeobecný návrh vodorovnej výstuže (1.vrstva)

Základnú vodorovnú výstuž z vonkajšej strany navrhujeme pomocou zvislého rezu ( $b=0,62\text{m}$ ), ktorý je umiestnený na konštrukcii v mieste najväčších momentov od  $m_{xD}$ . Výstuž budeme navrhovať na spriemerovanú hodnotu v tomto reze.

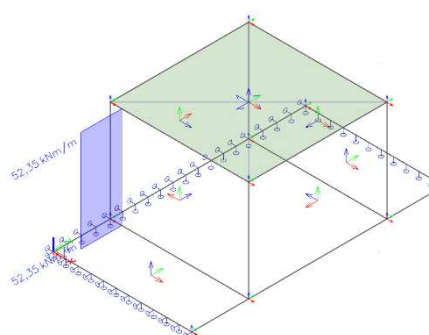
Vnútorňú stranu skruže vystužíme rovnako, ako vonkajšiu. Maximálny moment na vnútornej strane skruže  $m_{xD+} = -11,99 \text{ kN/m}$ . Tento moment je menší ako  $m_{xD-}$ , návrh nám vyhoví.

$$h = 0,15 \text{ m} = 150 \text{ mm} \quad d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 25 + \frac{12}{2} = 31 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 150 - 31 = 119 \text{ mm} = 0,119 \text{ m}$$

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 52,35 \cdot 0,62 = 32,46 \text{ kNm}$$


 Obrázok 3.8: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{xD}$  v reze

### Návrh výstuže

φ/počet ks

12|7

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 6,717 & < & 7,917 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

### Konstrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,min} & \leq & A_{s,prov} \\ 1,46 & < & 7,917 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,max} & \geq & A_{s,prov} \\ 29,512 & > & 7,917 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 23,1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}]$$

$$\begin{array}{lcl} \varepsilon_s & \geq & \varepsilon_{yd} \\ 14,505 & > & 2,174 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

c) moment na medzi únosnosti

$$z = 109,75 \text{ mm}$$

$$F_s = 344,21 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 37,78 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$37,78 > 32,46$$

✓ VYHOVUJE

### 3.2.1.4. Overenie vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva)

Prepočet momentu na 1bm pre obmedzenie rozhrania vo výpočtovom programe:

$$M_{Ed} = \frac{37,78}{0,62} = 60,94 \text{ kNm/m}$$

Vodorovnú výstuž v maximálne namáhaných miestach budeme posudzovať pomocou zvislého rezu (b=0,15m), rez je v mieste 0,15m-0,30m nad zákrytovou doskou.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 63,22 \cdot 0,15 = 9,48 \text{ kNm}$$

### Návrh výstuže

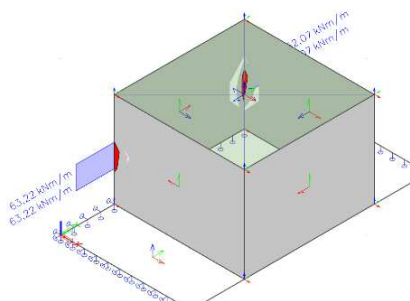
φ/počet ks

12|2

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 1,994 & < & 2,262 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE



Obrázok 3.9: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{xD}$  v reze

### Konstrukčné zásady

#### a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$$

$$0,35 < 2,262$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$$

$$7,14 > 2,262$$

✓ VYHOVUJE

#### b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 27,3 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}]$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$11,746 > 2,174$$

✓ VYHOVUJE

#### c) moment na medzi únosnosti

$$z = 108,07 \text{ mm}$$

$$F_s = 98,35 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 10,63 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$10,63 > 9,48$$

✓ VYHOVUJE

### 3.2.1.5. Dodatočný návrh vodorovnej výstuže na normálovú ťahovú silu

Pri hornom povrchu skruže vzniká normálové ťahové napätie, ktoré je nutné vykryť. Zhotovíme rez ( $b=0,10\text{m}$ ) v mieste maximálnej normálovej sily.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 654,5 \cdot 0,1 = 65,45 \text{ kN}$$

Potrebnú plochu výstuže si vypočítame zo vzorca na výpočet napätia  $\sigma = \frac{N}{A}$

#### Návrh výstuže

 $\phi/\text{počet ks}$ 

12/2

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$$

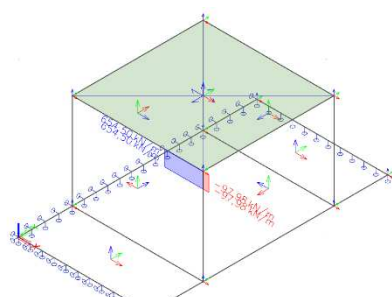
$$1,505 < 2,262$$

✓ VYHOVUJE

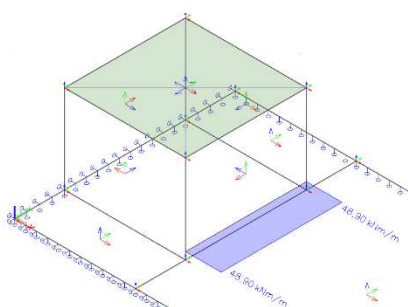
### 3.2.1.6. Všeobecný návrh zvislej výstuže (2.vrstva)

Základnú zvislú výstuž z vonkajšej strany navrhne pomocou vodorovného rezu ( $b=0,85\text{m}$ ), ktorý je umiestnený 5cm nad zákrytovou doskou.

Vnútrotnú stranu skruže vystužíme rovnako ako vonkajšiu. Maximálny moment na vnútornej strane skruže  $m_{yD+} = -30,89 \text{ kNm/m}$ . Moment je menší ako  $m_{yD-}$ , návrh nám vyhoví.



Obrázok 3.10: Hodnota spriemerovanej normálovej sily  $n_{xD}$  v reze



Obrázok 3.11: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{yD-}$  v reze

$$h = 0,15 \text{ m} = 150 \text{ mm}$$

$$d_1 = c + \phi_v + \frac{\phi_z}{2} = 25 + 12 + \frac{12}{2} = 43 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 150 - 43 = 107 \text{ mm} = 0,107 \text{ m}$$

Prepočet momentu na dížku rezu:

$$M_{Ed} = 48,90 \cdot 0,85 = 41,57 \text{ kNm}$$

Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks

12|9

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [\text{cm}^2]$$

$A_{s,req}$	$\leq$	$A_{s,prov}$
9,683	<	10,179
✓ VYHOVUJE		

Konstrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$$

$A_{s,min}$	$\leq$	$A_{s,prov}$
1,80	<	10,179
✓ VYHOVUJE		

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$$

$A_{s,max}$	$\geq$	$A_{s,prov}$
36,38	>	10,179
✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 21,7 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}]$$

$\varepsilon_s$	$\geq$	$\varepsilon_{yd}$
13,763	>	2,174
✓ VYHOVUJE		

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} z &= 98,32 \text{ mm} \\ F_s &= 442,55 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= 43,51 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$M_{Rd}$	$\geq$	$M_{Ed}$
43,51	>	41,57
✓ VYHOVUJE		

### 3.2.1.7. Overenie zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva)

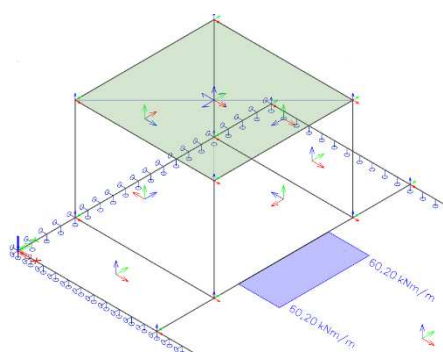
Prepočet momentu na 1bm pre obmedzenie rozhrania vo výpočtovom programe:

$$M_{Ed} = \frac{43,51}{0,85} = 51,19 \text{ kNm/m}$$

Zvislú výstuž v maximálne namáhaných miestach budeme posudzovať pomocou vodorovného rezu ( $b=0,55\text{m}$ ), rez je v mieste  $0,15\text{m}-0,70\text{m}$  od začiatku skruže.

Prepočet momentu na dížku rezu:

$$M_{Ed} = 60,20 \cdot 0,55 = 33,11 \text{ kNm}$$



Obrázok 3.12: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{yp}$  v reze

### Návrh výstuže

φ/počet ks

12|7

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 7,882 & < & 7,917 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

### Konstrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,min} & \leq & A_{s,prov} \\ 1,16 & < & 7,917 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,max} & \geq & A_{s,prov} \\ 23,54 & > & 7,917 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 26,1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\%]$$

$$\begin{array}{lcl} \varepsilon_s & \geq & \varepsilon_{yd} \\ 10,862 & > & 2,174 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

c) moment na medzi únosnosti

$$z = 96,57 \text{ mm}$$

$$F_s = 344,21 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 33,24 \text{ kNm}$$

$$\begin{array}{lcl} M_{Rd} & \geq & M_{Ed} \\ 33,24 & > & 33,11 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

### 3.2.1.8. Dodatočný návrh zvislej výstuže na normálovú ťahovú silu

Posudzovať konštrukciu na normálovú silu budeme v 3 miestach, viz. Obrázok 3.13.

Normálové sily na bokoch skruže sú približne rovnaké, preto budeme posudzovať 2 bočné miesta na maximálnu hodnotu  $n_{yD} = 408,13 \text{ kN/m}$ . Bočné rezy ( $b=0,30\text{m}$ ) pre túto silu sú v mieste 0,05m až 0,35m od začiatku skruže.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 408,13 \cdot 0,3 = 122,44 \text{ kN}$$

### Návrh výstuže

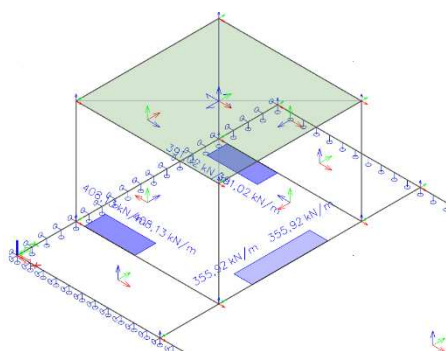
φ/počet ks

12|3

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 2,816 & < & 3,393 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE



Obrázok 3.13: Hodnoty spriemerovaných normálových síl  $n_{yD}$  v rezoch

Z prednej strany skruže je normálová sila  $n_{yD} = 355,92 \text{ kN/m}$ . Vodorovný rez ( $b=0,45\text{m}$ ) je v mieste  $0,20\text{m}$  od začiatku skruže po  $0,65\text{m}$ .

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 355,92 \cdot 0,45 = 160,16 \text{ kN}$$

Návrh výstuže

$\phi/\text{počet ks}$   
12|4

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [\text{cm}^2]$$

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$$

$$3,684 < 4,524$$

✓ VYHOVUJE

### 3.2.2. Zákrytová doska

#### 3.2.2.1. Výpočet vnútorných síl (ohybové momenty)

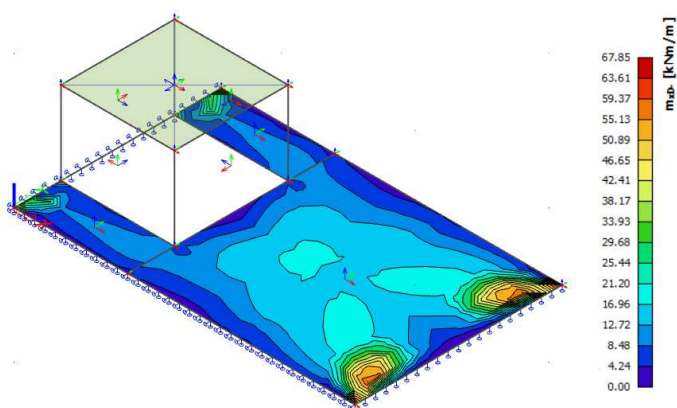
Rozhodujúce kombinácie pre zákrytovú dosku:

**K1:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4a

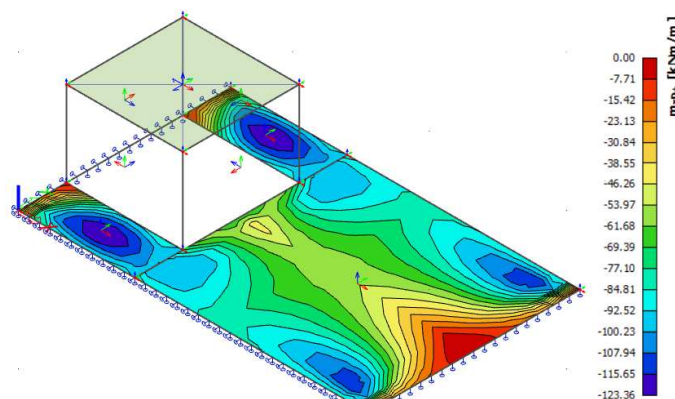
**K2:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4b

**K3:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4c

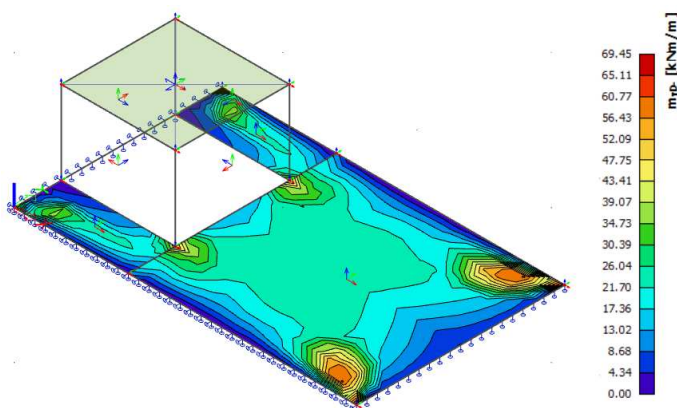
**K4:** ZS1 + ZS2 + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4b



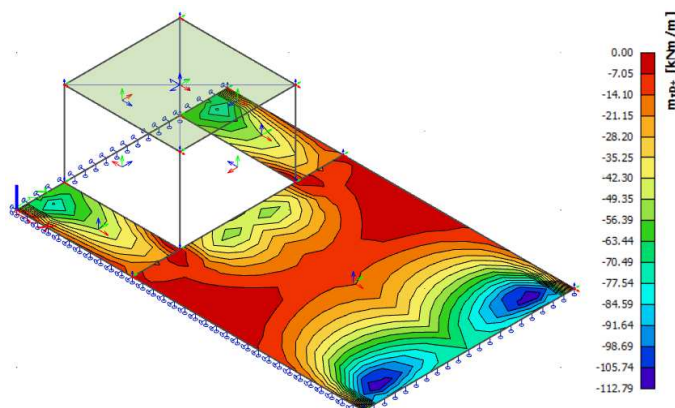
Obrázok 3.14: Obálka dimenzačných momentov  $m_{xD}$  v zákrytovej doske



Obrázok 3.15: Obálka dimenzačných momentov  $m_{xD+}$  v zákrytovej doske



Obrázok 3.16: Obálka dimenzačných momentov  $m_{yD}$  v zákrytovej doske



Obrázok 3.17: Obálka dimenzačných momentov  $m_{yD+}$  v zákrytovej doske

### 3.2.2.2. Krycia vrstva

Odhad profilu výstuže => **Ø12**

Stupeň vplyvu prostredia => **XC4** – striedavo mokré a suché

Trieda konštrukcie => **S2** (pôvodný návrh S4, pevnostnou triedou betónu C45/55 a zvláštnou kontrolou kvality bola trieda konštrukcie znížená o 2 triedy)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = \max(12 \text{ mm}; 20 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} \Rightarrow \text{použitie prefabrikátov} \Rightarrow \Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 + 5 = 25 \text{ mm} \Rightarrow c = 25 \text{ mm}$$

Keďže  $c_{min,dur} = 20 \text{ mm}$ , priemer výstuže v doske môže byť maximálne Ø20 bez toho, aby sa musela zvýšiť krycia vrstva výstuže.

### 3.2.2.3. Všeobecný návrh dolnej výstuže (1.vrstva)

Dolnú výstuž v 1.vrstve budeme uvažovať v smere Y. Výstuž budeme navrhovať na minimálnu plochu výstuže v doske, ostatné miesta dovystužíme v kapitole 3.2.2.4..

$$h = 0,24 \text{ m} = 240 \text{ mm} \quad d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 25 + \frac{12}{2} = 31 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 240 - 31 = 209 \text{ mm} = 0,209 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{3,8 \cdot 1,0 \cdot 0,209}{500} > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,209$$

$$A_{s,min} = 4,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 4,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{NÁVRH } \phi 12/200$$

$$\Rightarrow A_{s,prov} = 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### Konštrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

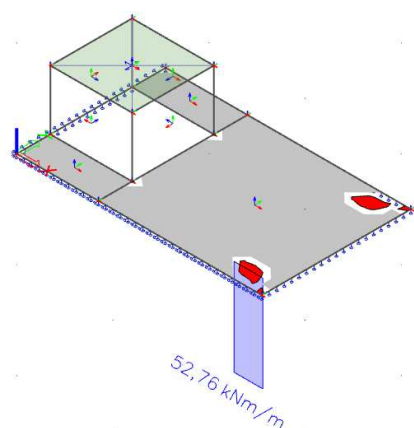
$$\begin{array}{ccc} A_{s,min} & \leq & A_{s,prov} \\ 4,12 & < & 5,655 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\begin{array}{ccc} A_{s,max} & \geq & A_{s,prov} \\ 83,6 & > & 5,655 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE



Obrázok 3.18: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{yD}$  v reze

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} \quad x = 10,2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}] \quad \begin{array}{l} \varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd} \\ 67,905 > 2,174 \\ \checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{array}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} z &= 204,90 \text{ mm} \\ F_s &= 245,86 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= 50,38 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### 3.2.2.4. Overenie dolnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1. vrstva)

Moment na 1bm pre obmedzenie rozhrania vo výpočtovom programe:

$$M_{Ed} = 50,38 \text{ kNm/m}$$

Maximálne namáhané miesta budeme posudzovať v dvoch miestach (viz. Obr.3.18), ktoré posúdime na rovnaký moment. Rez sa nachádza vo vzdialenosti 2,1m-2,4m od začiatku dosky, dĺžka rezu je 0,30m.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 52,76 \cdot 0,30 = 15,83 \text{ kNm}$$

Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks

12|2

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [\text{cm}^2] \quad \begin{array}{l} A_{s,req} \leq A_{s,prov} \\ 1,779 < 2,262 \\ \checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{array}$$

Konštrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2] \quad \begin{array}{l} A_{s,min} \leq A_{s,prov} \\ 1,24 < 2,262 \\ \checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{array}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2] \quad \begin{array}{l} A_{s,max} \geq A_{s,prov} \\ 25,08 > 2,262 \\ \checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{array}$$

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} \quad x = 13,7 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}] \quad \begin{array}{l} \varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd} \\ 50,054 > 2,174 \\ \checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{array}$$

c)moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} z &= 203,54 \text{ mm} \\ F_s &= 98,35 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= 20,02 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 20,02 &> 15,83 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

### 3.2.2.5. Všeobecný návrh dolnej výstuže (2.vrstva)

Dolnú výstuž v 2.vrstve budeme uvažovať v smere X. Výstuž budeme taktiež navrhovať na minimálnu plochu výstuže v doske, ostatné miesta dovystužíme v kapitole 3.2.2.6..

$$h = 0,24 \text{ m} = 240 \text{ mm} \quad d_1 = c + \phi + \frac{\phi}{2} = 25 + 12 + \frac{12}{2} = 43 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 240 - 43 = 197 \text{ mm} = 0,197 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{3,8 \cdot 1,0 \cdot 0,197}{500} > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,197$$

$$A_{s,min} = 3,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 3,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{NÁVRH } \emptyset 12/200$$

$$\Rightarrow A_{s,prov} = 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### Konstrukčné zásady

a)overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &\leq A_{s,prov} \\ 3,89 &< 5,655 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\begin{aligned} A_{s,max} &\geq A_{s,prov} \\ 78,8 &> 5,655 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

b)poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 10,2 \text{ mm}$$

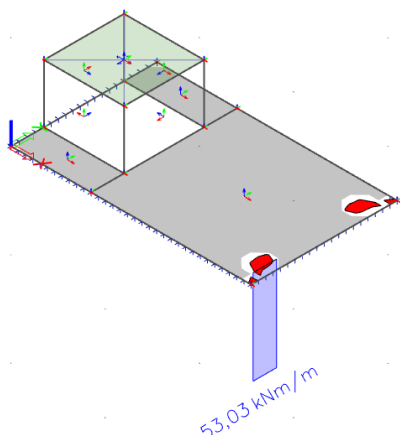
$$\epsilon_s = \frac{|\epsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\%]$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &\geq \epsilon_{yd} \\ 63,806 &> 2,174 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

c)moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} z &= 192,90 \text{ mm} \\ F_s &= 245,86 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= 47,43 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Obrázok 3.19: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{xD}$  v reze

### 3.2.2.6. Overenie dolnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2. vrstva)

Moment na 1bm pre obmedzenie rozhrania vo výpočtovom programe:

$$M_{Ed} = 47,43 \text{ kNm/m}$$

Maximálne namáhané miesta budeme znova posudzovať v dvoch miestach (viz. Obr.3.19), ktoré posúdime na rovnaký moment. Rez sa nachádza vo vzdialenosti 0,10m-0,40m od začiatku dosky, dĺžka rezu je 0,30m.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 53,03 \cdot 0,30 = 15,91 \text{ kNm}$$

Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks

12|2

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$$

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$$

$$1,902 < 2,262$$

✓ VYHOVUJE

Konštrukčné zásady

a)overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$$

$$1,17 < 2,262$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$$

$$23,64 > 2,262$$

✓ VYHOVUJE

b)poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 13,7 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}]$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$46,979 > 2,174$$

✓ VYHOVUJE

c)moment na medzi únosnosti

$$z = 191,54 \text{ mm}$$

$$F_s = 98,35 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 18,84 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$18,84 > 15,91$$

✓ VYHOVUJE

### 3.2.2.7. Všeobecný návrh hornej výstuže (1.vrstva)

Horná výstuž v 1.vrstve sa bude uvažovať v smere Y. Výstuž budeme znova navrhovať na minimálnu plochu výstuže v doske, ostatné miesta dovystužíme v kapitole 3.2.2.8..

$$h = 0,24 \text{ m} = 240 \text{ mm} \quad d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 25 + \frac{12}{2} = 31 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 240 - 31 = 209 \text{ mm} = 0,209 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{3,8 \cdot 1,0 \cdot 0,209}{500} > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,209$$

$$A_{s,min} = 4,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 4,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{NÁVRH } \emptyset 12/200$$

$$\Rightarrow A_{s,prov} = 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### Konštrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$$

$$4,12 < 5,655$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$$

$$83,6 > 5,655$$

✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 10,2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}]$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$67,905 > 2,174$$

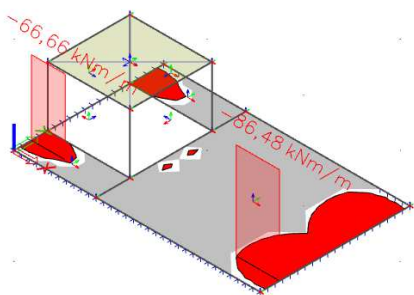
✓ VYHOVUJE

c) moment na medzi únosnosti

$$z = 204,90 \text{ mm}$$

$$F_s = 245,86 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 50,38 \text{ kNm}$$



Obrázok 3.20: Hodnoty spriemerovaných momentov  $m_{yD+}$  v rezoch

### 3.2.2.8. Overenie hornej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1. vrstva)

Maximálne namáhané miesta budeme posudzovať v 3 miestach konštrukcie, rez č.1 s hodnotou  $m_{xD+} = -66,66 \text{ kNm/m}$  je na oboch stranách od skruže a rez č.2 z hodnotou  $m_{xD+} = -86,48 \text{ kNm/m}$  je na konci zákrytovej dosky.

#### Rez č.1

Rez prebieha od začiatku dosky po 0,35m, takže dĺžka rezu je 0,35m.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 66,66 \cdot 0,35 = 23,33 \text{ kNm}$$

#### Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks

12|3

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [\text{cm}^2]$$

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$$

$$2,636 < 3,393$$

✓ VYHOVUJE

#### Konštrukčné zásady

##### a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$$

$$1,44 < 3,393$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$$

$$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$$

$$29,26 > 3,393$$

✓ VYHOVUJE

##### b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 17,6 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}]$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$38,153 > 2,174$$

✓ VYHOVUJE

##### c) moment na medzi únosnosti

$$z = 201,98 \text{ mm}$$

$$F_s = 147,52 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 29,80 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$29,80 > 23,33$$

✓ VYHOVUJE

#### Rez č.2

Rez prebieha 0,45m od konca dosky po koniec dosky (dĺžka rezu=0,45m).

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 86,48 \cdot 0,45 = 38,92 \text{ kNm}$$

### Návrh výstuže

ϕ/počet ks

12|4

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$$

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$$

$$4,435 < 4,524$$

✓ VYHOVUJE

### Konstrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$$

$$1,86 < 4,524$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$$

$$37,62 > 4,524$$

✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 18,2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [‰]$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$$

$$36,666 > 2,174$$

✓ VYHOVUJE

c) moment na medzi únosnosti

$$z = 201,72 \text{ mm}$$

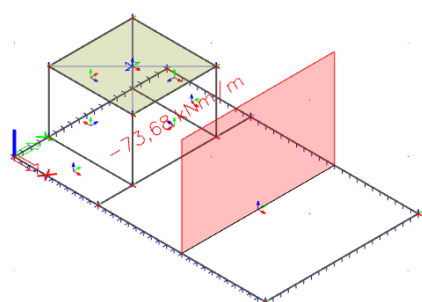
$$F_s = 196,69 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 39,68 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$39,68 > 38,92$$

✓ VYHOVUJE



Obrázok 3.21: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{xD+}$  v reze

### 3.2.2.9. Všeobecný návrh hornej výstuže (2.vrstva)

2.vrstva hornej výstuže bude navrhovaná na spriemerovaný moment v strede dosky. Veľkosť ohybového momentu  $m_{xD+} = -73,68 \text{ kNm/m}$  (viz. Obr.3.21).

Moment je na 1 bm:

$$M_{Ed} = 73,68 \text{ kNm/m}$$

### Návrh výstuže

ϕ/vzdialenosť [mm]

16|200

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$$

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$$

$$8,991 < 10,053$$

✓ VYHOVUJE

### Konstrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$ 3,85 < 10,053
	✓ VYHOVUJE
$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$ 78 > 10,053
	✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$	$x = 18,2 \text{ mm}$
$\varepsilon_s = \frac{ \varepsilon_{cu3} }{x} (d - x) [\%]$	$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$ 33,975 > 2,174
	✓ VYHOVUJE

c) moment na medzi únosnosti

$z = 187,72 \text{ mm}$	$M_{Rd} \geq M_{Ed}$
$F_s = 437,09 \text{ kN}$	82,05 > 73,68
$M_{Rd} = 82,05 \text{ kNm}$	✓ VYHOVUJE

### 3.2.2.10. Overenie hornej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2. vrstva)

V 2.vrstve budeme kontrolovať dostatočnú plochu výstuže na maximálne momenty po celej dĺžke zákrytovej dosky v miestach okolo štvorcovej skruže. Dĺžka rezu je 0,35 m.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 111,72 \cdot 0,35 = 39,10 \text{ kNm}$$

#### Návrh výstuže

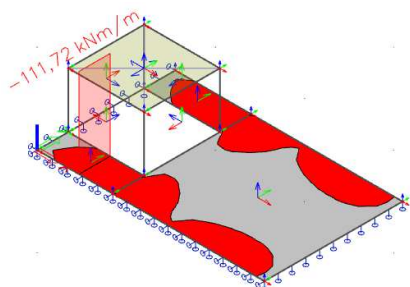
φ/počet ks  
16|3

$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$	$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$ 4,863 < 6,032
	✓ VYHOVUJE

### Konstrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$ 1,35 < 6,032
	✓ VYHOVUJE
$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$ 27,3 > 6,032
	✓ VYHOVUJE



Obrázok 3.22: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{xD+}$  v reze

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

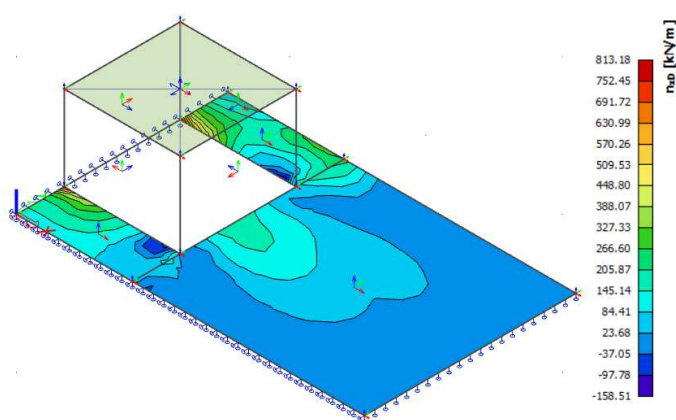
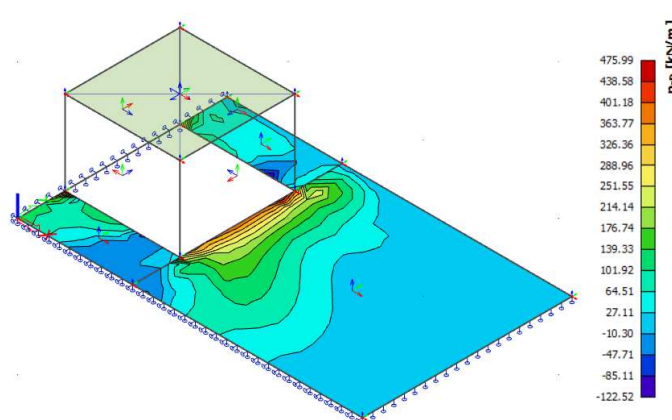
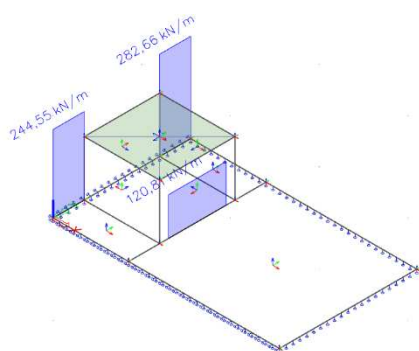
$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} \quad x = 31,2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}] \quad \begin{array}{l} \varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd} \\ 18,360 > 2,174 \\ \checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{array}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{array}{l} z = 182,51 \text{ mm} \\ F_s = 262,25 \text{ kN} \\ M_{Rd} = 47,86 \text{ kNm} \end{array} \quad \begin{array}{l} M_{Rd} \geq M_{Ed} \\ 47,86 > 39,1 \\ \checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{array}$$

### 3.2.2.11. Výpočet vnútorných síl (normálové sily)


 Obrázok 3.23: Obálka normálových síl  $n_{xD}$  v zákrytovej doske

 Obrázok 3.24: Obálka normálových síl  $n_{yD}$  v zákrytovej doske

 Obrázok 3.25: Hodnoty spriemerovaných normálových síl  $n_{xD}$  v rezoch

### 3.2.2.12. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere X

Je potrebné doplniť výstuž v miestach maximálnych normálových ťahových síl. Budeme posudzovať v 2 rezoch. V reze č.1 budeme posudzovať 2 miesta na doske (vpravo a vľavo od skruže), kde tieto miesta budeme navrhovať na silu  $n_{xD}=282,66 \text{ kN/m}$ .

V reze č.2 (pred skružou) budeme navrhovať výstuž na silu  $n_{xD}=120,81 \text{ kN/m}$ .

#### Rez č.1

Rez prebieha od začiatku dosky po začiatok skruže, takže dĺžka rezu je 0,35m.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 282,66 \cdot 0,35 = 98,93 \text{ kN}$$

### Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
16|2

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 2,275 & < & 4,021 \\ \checkmark & \text{VYHOVUJE} & \end{array}$$

### Rez č.2

Rez je umiestnený pred štvorcovou skružou, začína 10 cm za začiatkom skruže a končí 10 cm pred jej koncom. Dĺžka rezu je 0,65m.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

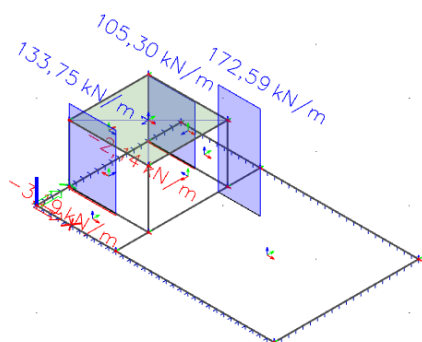
$$N_{Ed} = 120,81 \cdot 0,65 = 78,53 \text{ kN}$$

### Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
16|1

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 1,806 & < & 2,011 \\ \checkmark & \text{VYHOVUJE} & \end{array}$$



Obrázok 3.26: Hodnoty spriemerovaných normálových síl  $n_{yD}$  v rezoch

### **3.2.2.13. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere Y**

Posudky budeme robiť v 2 rezoch. Rez č.1 budeme uvažovať z oboch strán skruže, ktorý budeme navrhovať na väčšiu zo síl v týchto miestach konštrukcie ( $n_{yD}=133,75 \text{ kN/m}$ ).

V reze č.2 (pred skružou) budeme navrhovať výstuž na silu  $n_{yD}=172,59 \text{ kN/m}$ .

### Rez č.1

Rez prebieha od začiatku dosky do 0,50m, takže dĺžka rezu je 0,50m.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 133,75 \cdot 0,50 = 66,88 \text{ kN}$$

### Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
12|2

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 1,538 & < & 2,262 \\ \checkmark & \text{VYHOVUJE} & \end{array}$$

### Rez č.2

Rez prebieha od skruže 0,45m.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 172,59 \cdot 0,45 = 77,67 \text{ kN}$$

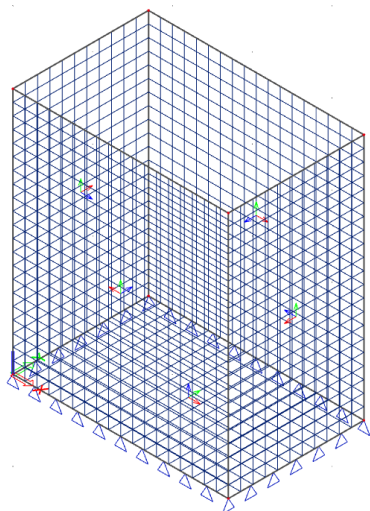
### Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
12|2

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [cm^2]$$

$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$   
1,786 < 2,262

✓ VYHOVUJE



## 3.3. Prefabrikát B

### 3.3.1. Steny sedimentačnej nádrže

#### 3.3.1.1. Výpočet vnútorných síl (ohybové momenty)

Rozhodujúce kombinácie pre steny nádrže:

**K1:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 1,50. ZS5a

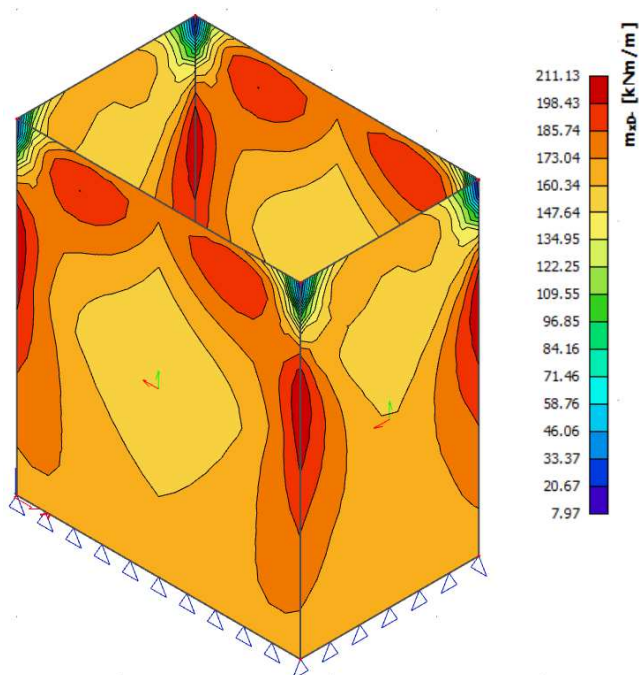
**K2:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 1,50. ZS5c

**K3:** ZS1 + ZS2 + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 1,50. ZS5a

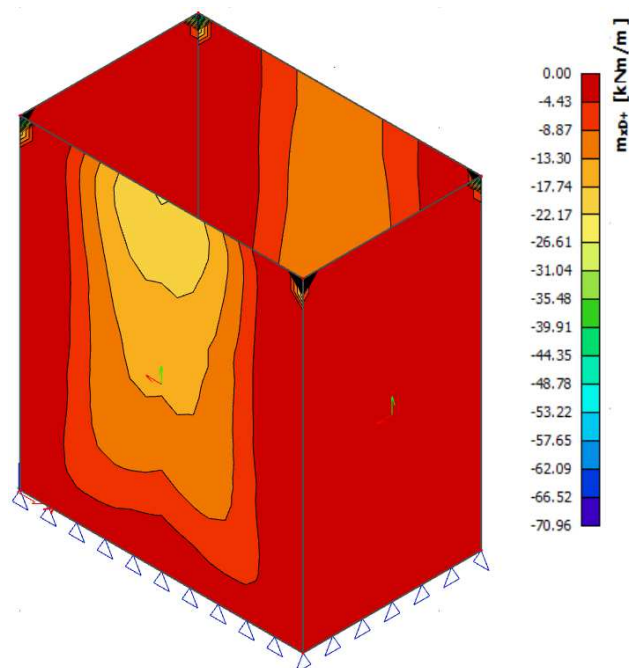
**K4:** ZS1 + ZS2 + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 1,50. ZS5c

**K5:** 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 0,7. 1,50. ZS5c

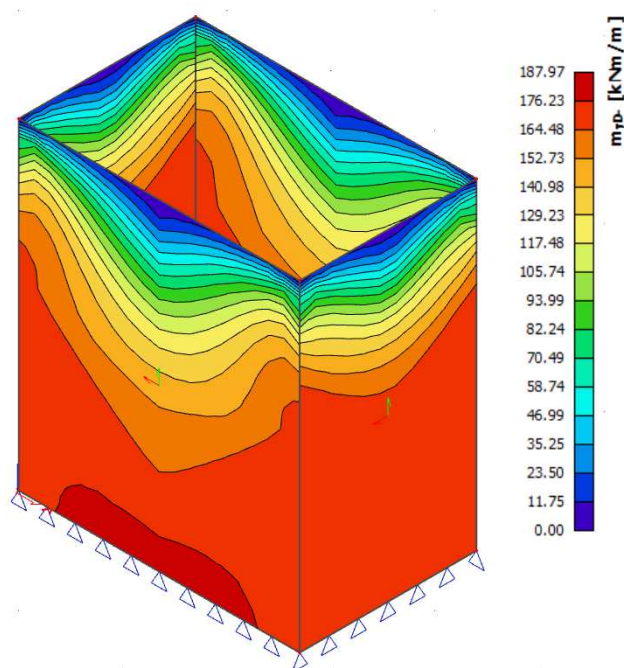
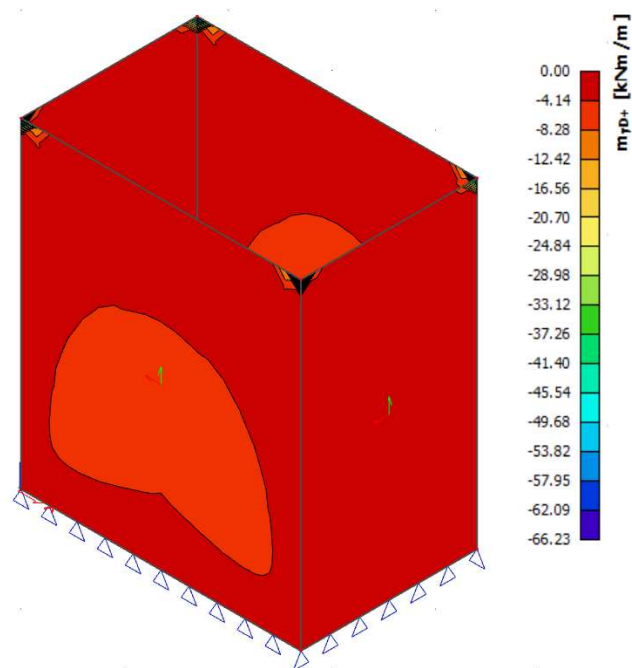
Obrázok 3.27: Generovaná sieť konečných prvkov pre prefabrikát B (veľkosť 0,15m)



Obrázok 3.28: Obálka dimenzačných momentov  $m_{xD-}$  v stenách nádrže



Obrázok 3.29: Obálka dimenzačných momentov  $m_{xD+}$  v stenách nádrže


 Obrázok 3.30: Obálka dimenzačných momentov  $m_{yD}$  v stenách nádrže

 Obrázok 3.31: Obálka dimenzačných momentov  $m_{yD+}$  v stenách nádrže

### 3.3.1.2. Krycia vrstva

Odhad profilu výstuže =>  $\varnothing 16$

Stupeň vplyvu prostredia => **XC4** – striedavo mokré a suché

Trieda konštrukcie => **S2** (pôvodný návrh S4, pevnostnou triedou betónu C45/55 a zvláštnou kontrolou kvality bola trieda konštrukcie znížená o 2 triedy)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = \max(16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} \Rightarrow \text{použitie prefabrikátov} \Rightarrow \Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 + 5 = 25 \text{ mm} \Rightarrow c = 25 \text{ mm}$$

Keďže  $c_{min,dur} = 20 \text{ mm}$ , priemer výstuže v stenách nádrže môže byť maximálne  $\varnothing 20$  bez toho, aby sa musela zvýšiť krycia vrstva výstuže.

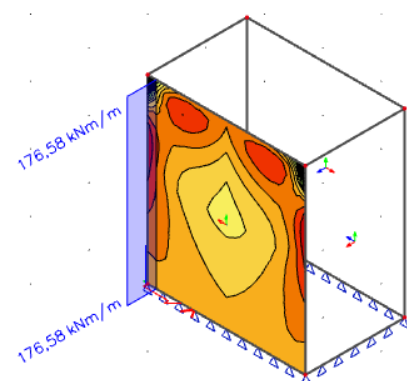
### 3.3.1.3. Všeobecný návrh vonkajšej vodorovnej výstuže (1.vrstva)

Základnú výstuž budeme navrhovať na najväčší spriemerovaný ohybový moment na konštrukcii. Rez momentu sa nachádza 15 cm od začiatku prednej steny nádrže, viz. Obrázok 3.32.

$$\text{Výstuž sa navrhne na } 1bm \Rightarrow b = 1,0 \text{ m}$$

$$h = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm} \quad d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 25 + \frac{16}{2} = 33 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 300 - 33 = 267 \text{ mm} = 0,267 \text{ m}$$


 Obrázok 3.32: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{xD}$  v reze po celej výške steny

$$M_{Ed} = 176,58 \text{ kNm/m}$$

### Návrh výstuže

 $\phi/\text{vzdialenosť [mm]}$ 
 $16|120$ 

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [\text{cm}^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 15,897 & < & 16,755 \\ \checkmark & \text{VYHOVUJE} & \end{array}$$

### Konštrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,min} & \leq & A_{s,prov} \\ 5,27 & < & 16,755 \\ \checkmark & \text{VYHOVUJE} & \end{array}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,max} & \geq & A_{s,prov} \\ 106,8 & > & 16,755 \\ \checkmark & \text{VYHOVUJE} & \end{array}$$

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 30,4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}]$$

$$\begin{array}{lcl} \varepsilon_s & \geq & \varepsilon_{yd} \\ 27,287 & > & 2,174 \\ \checkmark & \text{VYHOVUJE} & \end{array}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$z = 254,86 \text{ mm}$$

$$F_s = 728,49 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 185,66 \text{ kNm}$$

$$\begin{array}{lcl} M_{Rd} & \geq & M_{Ed} \\ 185,66 & > & 176,58 \\ \checkmark & \text{VYHOVUJE} & \end{array}$$

### 3.3.1.4. Overenie vonkajšej vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva)

Overovať dostatočné vystuženie budeme v 2 rezoch.

Rez č.1 je v rohu každej steny, má dĺžku 1,0 m a začína 0,7 m od hornej hrany nádrže. Rez č.2 je v hornej časti steny, má dĺžku 0,4 m a začína 0,1 m od hornej hrany nádrže.

#### Rez č.1

Dĺžka rezu je 1,0 m => výstuž bude navrhnutá na 1bm.

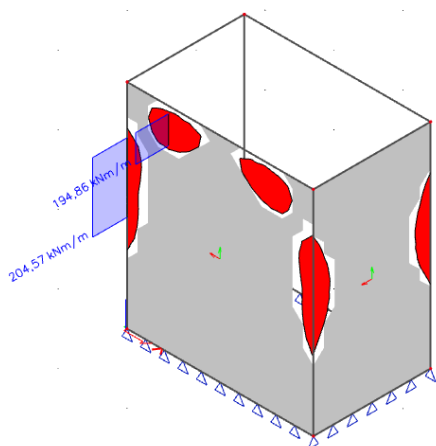
$$M_{Ed} = 204,57 \text{ kNm/m}$$

### Návrh výstuže

 $\phi/\text{vzdialenosť [mm]}$ 
 $16|100$ 

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [\text{cm}^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 18,557 & < & 20,106 \\ \checkmark & \text{VYHOVUJE} & \end{array}$$



Obrázok 3.33: Hodnoty spriemerovaných momentov  $m_{x0}$  v rezoch

### Konstrukční zásady

#### a) overenie miery vystuženia

$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$ 5,27 < 20,106
	✓ VYHOVUJE
$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$ 106,8 > 20,106
	✓ VYHOVUJE

#### b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$	$x = 36,4 \text{ mm}$
$\varepsilon_s = \frac{ \varepsilon_{cu3} }{x} (d - x) [\%]$	$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$ 22,156 > 2,174
	✓ VYHOVUJE

#### c) moment na medzi únosnosti

$z = 252,43 \text{ mm}$	$M_{Rd} \geq M_{Ed}$
$F_s = 874,18 \text{ kN}$	220,67 > 204,57
$M_{Rd} = 220,67 \text{ kNm}$	✓ VYHOVUJE

### Rez č.2

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 194,86 \cdot 0,40 = \mathbf{77,94 \text{ kNm}}$$

#### Návrh výstuže

φ/počet ks  
16|4

$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$	$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$ 7,051 < 8,042
	✓ VYHOVUJE

### Konstrukční zásady

#### a) overenie miery vystuženia

$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$ 2,11 < 8,042
	✓ VYHOVUJE
$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$ 42,72 > 8,042
	✓ VYHOVUJE

#### b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$	$x = 36,4 \text{ mm}$
$\varepsilon_s = \frac{ \varepsilon_{cu3} }{x} (d - x) [\%]$	$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$ 22,156 > 2,174
	✓ VYHOVUJE

c)moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} z &= 252,43 \text{ mm} \\ F_s &= 349,67 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= 88,27 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 88,27 &> 77,94 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

Pre zjednodušenie bude vonkajšia výstuž v 1.vrstve vystužená  $\emptyset 16/100\text{mm}$  po celej výške stien.

### 3.3.1.5. Všeobecný návrh vonkajšej zvislej výstuže (2.vrstva)

Moment  $m_{yd}$  má pomerne vysokú hodnotu v každom mieste stien nádrže. Z tohto dôvodu sa zvislá výstuž navrhne na maximálnu hodnotu ohybového momentu  $m_{yd}$ .

$$h = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm} \quad d_1 = c + \phi + \frac{\phi}{2} = 25 + 16 + \frac{16}{2} = 49 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 240 - 49 = 191 \text{ mm} = 0,191 \text{ m}$$

$$M_{Ed} = 187,97 \text{ kNm/m}$$

Návrh výstuže
 $\phi/\text{vzdialenosť [mm]}$ 

$$16|100$$

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$$

$$\begin{aligned} A_{s,req} &\leq A_{s,prov} \\ 18,178 &< 20,106 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

Konštrukčné zásady

a)overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &\leq A_{s,prov} \\ 4,95 &< 20,106 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$\begin{aligned} A_{s,max} &\geq A_{s,prov} \\ 100,4 &> 20,106 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

b)poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 36,4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}]$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &\geq \varepsilon_{yd} \\ 20,619 &> 2,174 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

c)moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} z &= 236,43 \text{ mm} \\ F_s &= 874,18 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= 206,68 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 206,68 &> 187,97 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

### 3.3.1.6. Overenie vonkajšej zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva)

Základná výstuž je navrhnutá na maximálny ohybový moment => nie je potrebné overovať maximálne namáhané miesta.

### 3.3.1.7. Všeobecný návrh vnútornej vodorovnej výstuže (1.vrstva)

Vnútornú výstuž v 1.vrstve budeme uvažovať v smere X. Výstuž budeme navrhovať na minimálnu plochu výstuže v stenách nádrže.

$$h = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm} \quad d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 25 + \frac{12}{2} = 31 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 300 - 31 = 269 \text{ mm} = 0,269 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{3,8 \cdot 1,0 \cdot 0,269}{500} > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,269$$

$$A_{s,min} = 5,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 3,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 5,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{NÁVRH } \emptyset 12/200$$

$$\Rightarrow A_{s,prov} = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### Konstrukčné zásady

##### a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$$

$$5,31 < 5,655$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$$

$$107,6 > 5,655$$

✓ VYHOVUJE

##### b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 10,2 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{|\epsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\text{‰}]$$

$$\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$$

$$88,405 > 2,174$$

✓ VYHOVUJE

##### c) moment na medzi únosnosti

$$z = 264,90 \text{ mm}$$

$$F_s = 245,86 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 65,13 \text{ kNm}$$

### 3.3.1.8. Overenie vnútornej vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva)

Moment na medzi únosnosti  $M_{Rd}$  je menší ako maximálny ohybový moment  $m_{x0+}$  => špička maximálneho momentu je príliš malá a nereálna, nebudeme toto miesto overovať.

### 3.3.1.9. Všeobecný návrh vnútornej zvislej výstuže (2.vrstva)

Vnútrotnú výstuž v 2.vrstve budeme uvažovať v smere Y. Výstuž budeme taktiež navrhovať na minimálnu plochu výstuže v stenách nádrže.

$$h = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm} \quad d_1 = c + \phi + \frac{\phi}{2} = 25 + 12 + \frac{12}{2} = 43 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 300 - 43 = 257 \text{ mm} = 0,257 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{3,8 \cdot 1,0 \cdot 0,257}{500} > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,257$$

$$A_{s,min} = 5,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 3,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 5,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{NÁVRH } \phi 12/200$$

$$\Rightarrow A_{s,prov} = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### Konštrukčné zásady

##### a) overenie miery vystuženia

$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$	$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$ 5,07 < 5,655	✓ VYHOVUJE
$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d \text{ [cm}^2\text{]}$	$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$ 102,8 > 5,655	✓ VYHOVUJE

##### b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$	$x = 10,2 \text{ mm}$
$\epsilon_s = \frac{ \epsilon_{cu3} }{x} (d - x) [\text{‰}]$	$\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$ 84,305 > 2,174
	✓ VYHOVUJE

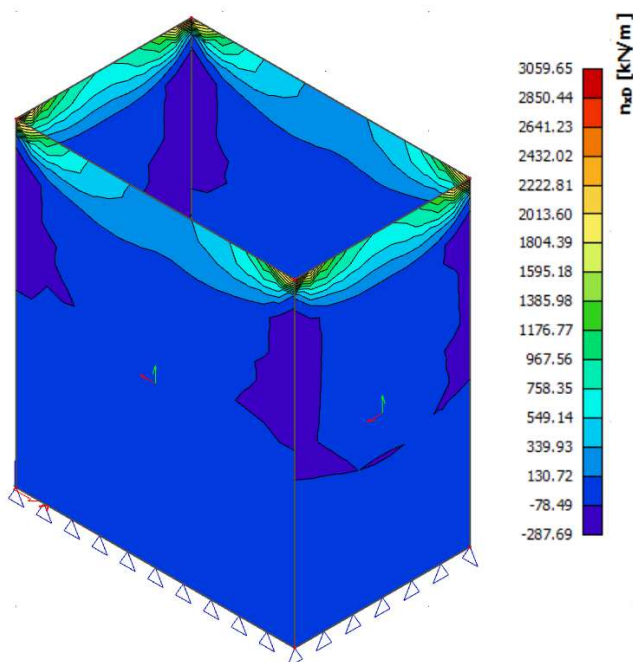
##### c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} z &= 252,90 \text{ mm} \\ F_s &= 245,86 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= 62,18 \text{ kNm} \end{aligned}$$

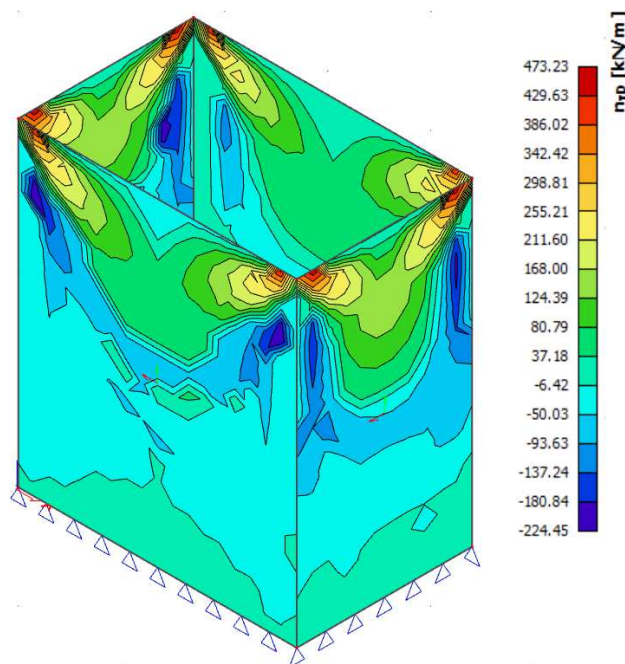
### 3.3.1.10. Overenie vnútornej zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva)

Moment na medzi únosnosti  $M_{Rd}$  je menší ako maximálny ohybový moment  $m_{yD+}$  => špička maximálneho momentu je príliš malá a nereálna, nebudeme toto miesto overovať.

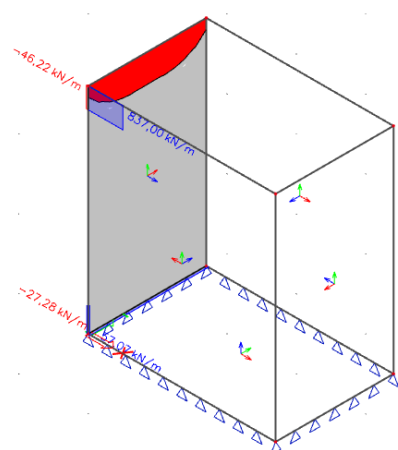
### 3.3.1.11. Výpočet vnútorných síl (normálové sily)



Obrázok 3.34: Obálka normálových síl  $n_{xD}$  v stenách nádrže



Obrázok 3.35: Obálka normálových síl  $n_{yD}$  v stenách nádrže



Obrázok 3.36: Hodnota spriemerovanej normálovej sily  $n_{xD}$  v reze

### 3.3.1.12. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere X

Je nutné doplniť výstuž v miestach maximálnych normálových ťahových síl. Budeme posudzovať 1 rez (viz. Obrázok 3.36) s normálovou silou  $n_{xD}=837,0$  kN/m.

Výstuž budeme ukladať v hornej časti stien po celom obvode nádrže (dĺžka rezu 0,3m).

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 837,0 \cdot 0,30 = 251,1 \text{ kN}$$

Návrh výstuže

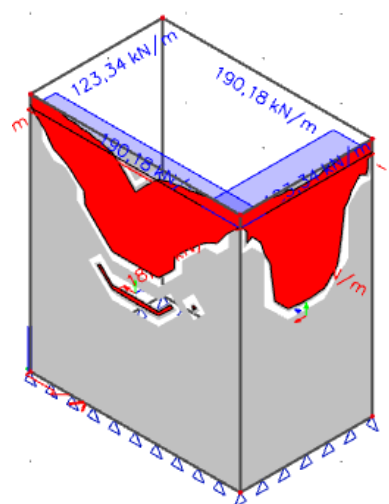
$\phi$ /počet ks  
16|3

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [cm^2]$$

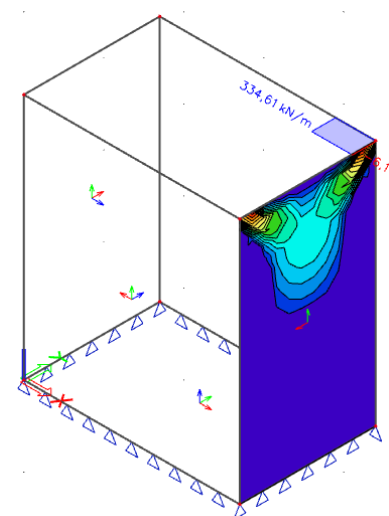
$$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$$

$$5,775 < 6,032$$

✓ VYHOVUJE



Obrázok 3.37: Hodnoty spriemerovaných normálových síl  $n_{yD}$  na stenách nádrže



Obrázok 3.38: Hodnota spriemerovanej normálovej sily  $n_{yD}$  v reze

### 3.3.1.13. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere Y

V tomto smere sú ťahové normálové sily na veľkej ploche, preto navrhujeme najprv všeobecnú výstuž na zachytenie týchto síl a následne sa posúdi rez v nebezpečnom mieste.

Najväčšie spriemerované normálové sily sú 0,15 m pod hornou hranou stien nádrže.

Dlhšia stena ( $l=2,7m$ )

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 123,34 \cdot 2,70 = 333,02 \text{ kN}$$

Návrh výstuže

$$\phi/\text{počet ks} \\ 16|4$$

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [cm^2]$$

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov} \\ 7,659 < 8,042$$

✓ VYHOVUJE

Kratšia stena ( $l=1,7m$ )

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 190,18 \cdot 1,70 = 323,31 \text{ kN}$$

Návrh výstuže

$$\phi/\text{počet ks} \\ 16|4$$

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [cm^2]$$

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov} \\ 7,659 < 8,042$$

✓ VYHOVUJE

Rez

Takto namáhané miesto sa nachádza v horných rohoch každej steny. Rez má dĺžku 0,30m.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 334,61 \cdot 0,3 = 100,38 \text{ kN}$$

Návrh výstuže

$$\phi/\text{počet ks} \\ 16|2$$

$$A_{s,req} = \frac{N}{f_{yd}} [cm^2]$$

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov} \\ 2,309 < 4,021$$

✓ VYHOVUJE

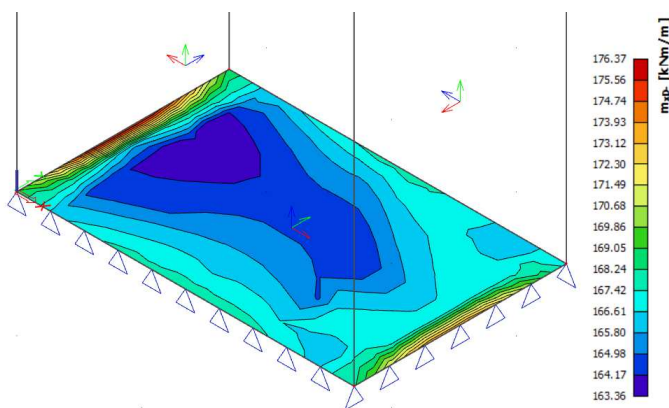
Tieto navrhnuté plochy výstuže od ťahových normálových síl nebudeme do stien dopĺňať navyše, pretože v týchto miestach je už uložená nevyužitá výstuž na ohybový moment => výstuž prenesie ťahové normálové sily.

### 3.3.2. Doska na dne sedimentačnej nádrže

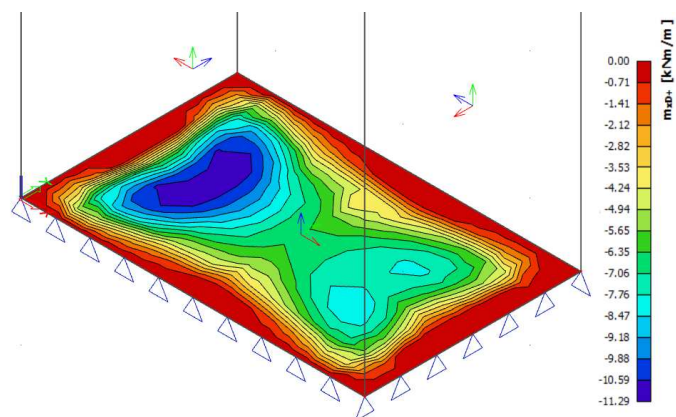
#### 3.3.2.1. Výpočet vnútorných síl

Rozhodujúce kombinácie pre spodnú dosku nádrže:

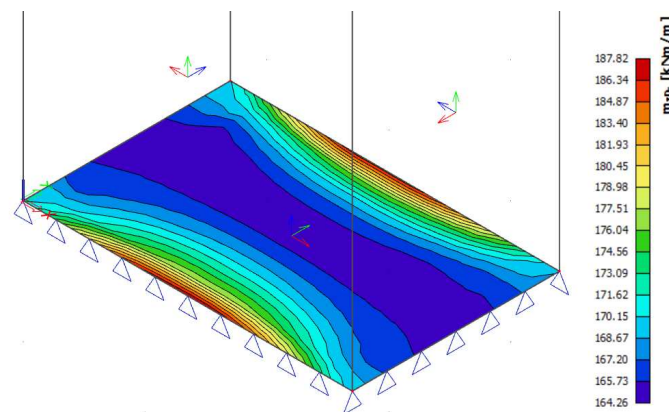
- K1:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS5a  
**K2:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS5b  
**K3:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 1,50. ZS5a  
**K4:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 1,50. ZS5b  
**K5:** 0,85. 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 1,50. ZS5b  
**K6:** 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 0,7. 1,50. ZS5a  
**K7:** 1,35. (ZS1 + ZS2) + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 0,7. 1,50. ZS5c  
**K8:** ZS1 + ZS2 + 1,50. ZS3 + 1,50. ZS4 + 1,50. ZS5c



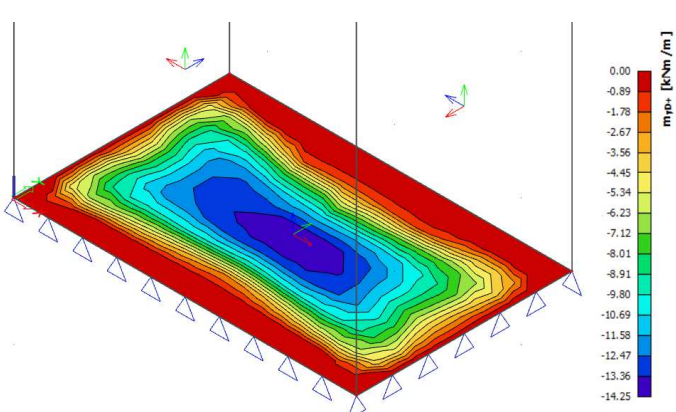
Obrázok 3.39: Obálka dimenzačných momentov  $m_{xD-}$  v spodnej doske nádrže



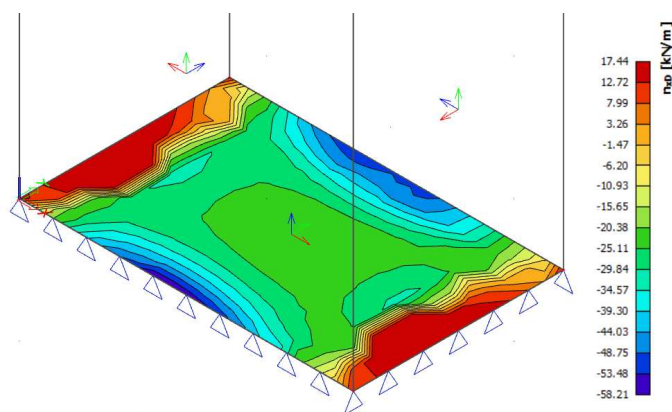
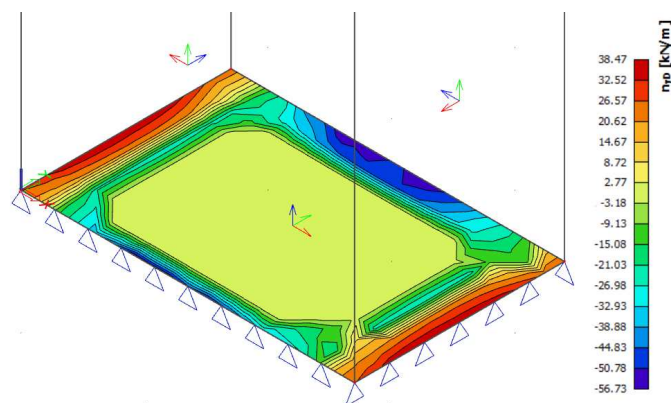
Obrázok 3.40: Obálka dimenzačných momentov  $m_{xD+}$  v spodnej doske nádrže



Obrázok 3.41: Obálka dimenzačných momentov  $m_{yD-}$  v spodnej doske nádrže



Obrázok 3.42: Obálka dimenzačných momentov  $m_{yD+}$  v spodnej doske nádrže


 Obrázok 3.43: Obálka normálových síl  $n_{xD}$  v spodnej doske nádrže

 Obrázok 3.44: Obálka normálových síl  $n_{yD}$  v spodnej doske nádrže

Vzhľadom na rovnomerné ohybové momenty pri spodnom povrchu dosky sa bude dolná výstuž navrhovať na maximálny ohybový moment. Pri hornom povrchu sú momenty pomerne nízke, tam budeme navrhovať výstuž na minimálnu plochu výstuže. V oboch návrhoch výstuže nebude nutné robiť overenie maximálnych namáhaných oblastí.

Ťahové normálové sily v doske sú príliš malé => zanedbáme ich.

### 3.3.2.2. Krycia vrstva

Odhad profilu výstuže =>  $\varnothing 16$

Stupeň vplyvu prostredia => **XC4** – striedavo mokré a suché

Trieda konštrukcie => **S2** (pôvodný návrh S4, pevnostnou triedou betónu C45/55 a zvláštnou kontrolou kvality bola trieda konštrukcie znížená o 2 triedy)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = \max(16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} \Rightarrow \text{použitie prefabrikátov} \Rightarrow \Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 + 5 = 25 \text{ mm} \Rightarrow c = 25 \text{ mm}$$

Keďže  $c_{min,dur} = 20 \text{ mm}$ , priemer výstuže v stenách nádrže môže byť maximálne  $\varnothing 20$  bez toho, aby sa musela zvýšiť krycia vrstva výstuže.

### 3.3.2.3. Všeobecný návrh dolnej výstuže (1.vrstva)

Dolnú výstuž v 1.vrstve budeme uvažovať v smere Y.

$$h = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm} \quad d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 25 + \frac{16}{2} = 33 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 300 - 33 = 267 \text{ mm} = 0,267 \text{ m}$$

$$M_{Ed} = 187,82 \text{ kNm/m}$$

Návrh výstuže
 $\phi/\text{vzdialenosť [mm]}$ 

16|100

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 16,960 & < & 20,106 \\ & \checkmark & \text{VYHOVUJE} \end{array}$$

Konštrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,min} & \leq & A_{s,prov} \\ 5,27 & < & 20,106 \\ & \checkmark & \text{VYHOVUJE} \end{array}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,max} & \geq & A_{s,prov} \\ 106,8 & > & 20,106 \\ & \checkmark & \text{VYHOVUJE} \end{array}$$

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 36,4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\%]$$

$$\begin{array}{lcl} \varepsilon_s & \geq & \varepsilon_{yd} \\ 22,156 & > & 2,174 \\ & \checkmark & \text{VYHOVUJE} \end{array}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$z = 252,43 \text{ mm}$$

$$F_s = 874,18 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 220,67 \text{ kNm}$$

$$\begin{array}{lcl} M_{Rd} & \geq & M_{Ed} \\ 220,67 & > & 187,82 \\ & \checkmark & \text{VYHOVUJE} \end{array}$$

**3.3.2.4. Všeobecný návrh dolnej výstuže (2.vrstva)**

Dolnú výstuž v 2.vrstve budeme uvažovať v smere X.

$$h = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm} \quad d_1 = c + \phi + \frac{\phi}{2} = 25 + 16 + \frac{16}{2} = 49 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 300 - 49 = 251 \text{ mm} = 0,251 \text{ m}$$

$$M_{Ed} = 176,37 \text{ kNm/m}$$

Návrh výstuže
 $\phi/\text{vzdialenosť [mm]}$ 

16|100

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [cm^2]$$

$$\begin{array}{lcl} A_{s,req} & \leq & A_{s,prov} \\ 16,995 & < & 20,106 \\ & \checkmark & \text{VYHOVUJE} \end{array}$$

### Konstrukčné zásady

#### a) overenie miery vystuženia

$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$ 4,95 < 20,106
	✓ VYHOVUJE
$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$ 100,4 > 20,106
	✓ VYHOVUJE

#### b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$	$x = 36,4 \text{ mm}$
$\varepsilon_s = \frac{ \varepsilon_{cu3} }{x} (d - x) [\text{‰}]$	$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$ 20,619 > 2,174
	✓ VYHOVUJE

#### c) moment na medzi únosnosti

$z = 236,43 \text{ mm}$	$M_{Rd} \geq M_{Ed}$
$F_s = 874,18 \text{ kN}$	206,68 > 176,37
$M_{Rd} = 206,68 \text{ kNm}$	✓ VYHOVUJE

### 3.3.2.5. Všeobecný návrh hornej výstuže (1.vrstva)

Horná výstuž v 1.vrstve => smer Y

$$h = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm} \quad d_1 = c + \frac{\phi}{2} = 25 + \frac{12}{2} = 31 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 300 - 31 = 269 \text{ mm} = 0,269 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{3,8 \cdot 1,0 \cdot 0,269}{500} > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,269$$

$$A_{s,min} = 5,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 3,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 5,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{NÁVRH } \emptyset 12/200$$

$$\Rightarrow A_{s,prov} = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

### Konstrukčné zásady

#### a) overenie miery vystuženia

$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,min} \leq A_{s,prov}$ 5,31 < 5,655
	✓ VYHOVUJE
$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{s,max} \geq A_{s,prov}$ 107,6 > 5,655
	✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$	$x = 10,2 \text{ mm}$						
$\varepsilon_s = \frac{ \varepsilon_{cu3} }{x} (d - x) [\text{‰}]$	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\varepsilon_s</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\geq</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\varepsilon_{yd}</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">88,405</td> <td style="text-align: center;">&gt;</td> <td style="text-align: center;">2,174</td> </tr> </table>	$\varepsilon_s$	$\geq$	$\varepsilon_{yd}$	88,405	>	2,174
$\varepsilon_s$	$\geq$	$\varepsilon_{yd}$					
88,405	>	2,174					
✓ VYHOVUJE							

c) moment na medzi únosnosti

$z = 264,90 \text{ mm}$   
 $F_s = 245,86 \text{ kN}$   
 $M_{Rd} = 65,13 \text{ kNm}$

### 3.3.2.6. Všeobecný návrh hornej výstuže (2.vrstva)

Horná výstuž v 2.vrstve =&gt; smer X

$$h = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm} \quad d_1 = c + \phi + \frac{\phi}{2} = 25 + 12 + \frac{12}{2} = 43 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 300 - 43 = 257 \text{ mm} = 0,257 \text{ m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{3,8 \cdot 1,0 \cdot 0,257}{500} > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,257$$

$$A_{s,min} = 5,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 3,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 5,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{NÁVRH } \emptyset 12/200$$

$$\Rightarrow A_{s,prov} = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

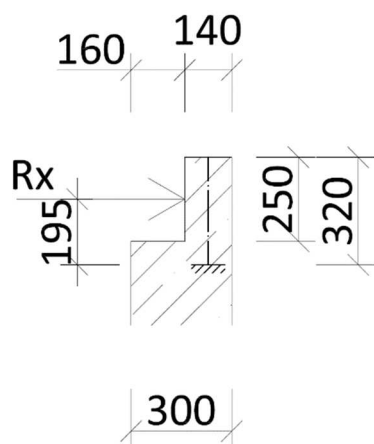
#### Konštrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

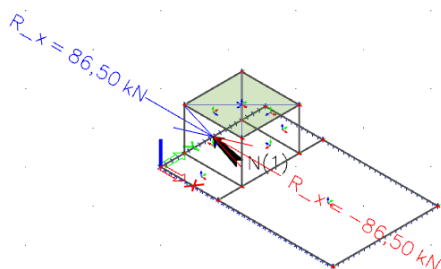
$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>A_{s,min}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\leq</math></td> <td style="text-align: center;"><math>A_{s,prov}</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5,07</td> <td style="text-align: center;">&lt;</td> <td style="text-align: center;">5,655</td> </tr> </table>	$A_{s,min}$	$\leq$	$A_{s,prov}$	5,07	<	5,655
$A_{s,min}$	$\leq$	$A_{s,prov}$					
5,07	<	5,655					
✓ VYHOVUJE							
$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>A_{s,max}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\geq</math></td> <td style="text-align: center;"><math>A_{s,prov}</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">102,8</td> <td style="text-align: center;">&gt;</td> <td style="text-align: center;">5,655</td> </tr> </table>	$A_{s,max}$	$\geq$	$A_{s,prov}$	102,8	>	5,655
$A_{s,max}$	$\geq$	$A_{s,prov}$					
102,8	>	5,655					
✓ VYHOVUJE							

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$	$x = 10,2 \text{ mm}$						
$\varepsilon_s = \frac{ \varepsilon_{cu3} }{x} (d - x) [\text{‰}]$	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\varepsilon_s</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\geq</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\varepsilon_{yd}</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">84,305</td> <td style="text-align: center;">&gt;</td> <td style="text-align: center;">2,174</td> </tr> </table>	$\varepsilon_s$	$\geq$	$\varepsilon_{yd}$	84,305	>	2,174
$\varepsilon_s$	$\geq$	$\varepsilon_{yd}$					
84,305	>	2,174					
✓ VYHOVUJE							



Obrázok 3.45: Výstupok na stenách nádrže



Obrázok 3.46: Výslednice reakcií na výstupok

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} z &= 252,90 \text{ mm} \\ F_s &= 245,86 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= 62,18 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### 3.3.3. Výstupok na prefabrikáte B

#### 3.3.3.1. Posúdenie na ohyb

Reakcia  $R_x = 86,50 \text{ kN}$ . Táto sila vzniká pôsobením zemných tlakov na štvorcovú skruž od dopravy.

Jedna z rozhodujúcich kombinácií: **K**: ZS1 + ZS2 + 1,50. ZS4a

$$h = 0,14 \text{ m} = 140 \text{ mm} \quad d_1 = c + \phi + \frac{\phi}{2} = 25 + 16 + \frac{10}{2} = 46 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 140 - 46 = 94 \text{ mm} = 0,094 \text{ m}$$

Prepočet reakcie na 1bm:

$$R_x = V_{Ed} = \frac{86,50}{1,55} = 55,81 \text{ kN/m}$$

Výpočet ohybového momentu:

$$M_{Ed} = 55,81 \cdot 0,195 = 10,88 \text{ kNm/m}$$

#### Návrh výstuže

$\phi$ /vzdialenosť [mm]

$$10|200$$

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) [\text{cm}^2]$$

$$\begin{aligned} A_{s,req} &\leq A_{s,prov} \\ 2,719 &< 3,927 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

#### Konštrukčné zásady

a) overenie miery vystuženia

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} > 0,0013 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &\leq A_{s,prov} \\ 1,86 &< 3,927 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$$

$$\begin{aligned} A_{s,max} &\geq A_{s,prov} \\ 37,6 &> 3,927 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi a kontrola pretvorenia

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}}$$

$$x = 7,1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} (d - x) [\%]$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &\geq \varepsilon_{yd} \\ 42,746 &> 2,174 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} z &= 91,15 \text{ mm} \\ F_s &= 170,74 \text{ kN} \\ M_{Rd} &= 15,56 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 15,56 &> 10,88 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

### 3.3.3.2. Posúdenie na šmyk

$$V_{Rd,c} = \left[ c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_T \cdot f_{ck})^{1/3} \right] \cdot b_w \cdot d \geq v_{min} \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{94}} = 2,46 < 2,0 \Rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_T = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{3,93 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,094} = 0,00418$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2,0^{3/2} \cdot 45^{1/2} = 0,664 \text{ MPa}$$

$$c_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00418 \cdot 45)^{1/3} \right] \cdot 1,0 \cdot 0,094 \geq 0,664 \cdot 1,0 \cdot 0,094$$

$$V_{Rd,c} = 60,00 \text{ kN/m} \leq 62,42 \text{ kN/m} \Rightarrow V_{Rd,c} = 62,42 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed} = 55,81 \text{ kN/m} < V_{Rd,c} = 62,42 \text{ kN/m} \quad \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

## 4. DIMENZOVANIE – FRP VÝSTUŽ

### 4.1. Materiálové charakteristiky

#### BETÓN C45/55

- charakteristická pevnosť betónu v tlaku	$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
- súčiniteľ spoľahlivosti betónu	$\gamma_c = 1,50$
- návrhová pevnosť betónu v tlaku	$f_{cd} = 45/1,50 = 30 \text{ MPa}$
- pevnosť betónu v ťahu	$f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$
- limitné pretvorenie betónu v tlaku	$\epsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$
- modul pružnosti betónu	$E_{cm} = 36 \text{ GPa}$

S ohľadom na typy zaťaženia v konštrukciách kde je dominantnou zložkou teplota, zavedieme predpoklad, že v konštrukciách vzniknú trhliny. Týmto prístupom znížime ohybovú tuhosť a v lineárnom modeli budeme počítať s redukovaným modulom pružnosti betónu  $E_{red} = 0,75 \cdot 36 = 27 \text{ GPa}$

Doporučená hodnota medznej šírky trhliny je pri FRP výstuži vyššia ako pri použití oceli => mohli by sme zaviesť predpoklad, že hodnota modulu pružnosti betónu  $E_{red}$  by bola ešte nižšia, ako je. Pre zjednodušenie a zároveň lepšie porovnanie s vystužením betonárskou oceľou sa tento predpoklad zanedbá.

#### GFRP - Schöck ComBAR®

Vo výpočte budeme používať 3 priemery GFRP výstuží (Ø8; Ø12; Ø16). Tento typ výstuže má pri rôznych priemeroch rozličné vlastnosti, ale v tomto výpočte budeme pre zjednodušenie uvažovať hodnotu  $f_{fk} = 1350 \text{ MPa}$ .

- charakteristická krátkodobá pevnosť GFRP výstuže v ťahu	$f_{fk} = 1350 \text{ MPa}$
- súčiniteľ spoľahlivosti GFRP výstuže	$\gamma_f = 1,30$

Publikácia [2] uvádza súčiniteľ spoľahlivosti výstuže  $\gamma_f = 1,25$ , ale vo výpočte použijeme súčiniteľ odporučený výrobcom výstuže (podľa [15]).

- návrhová krátkodobá pevnosť GFRP výstuže v ťahu	$f_{fd} = 1350/1,30 = 1038,46 \text{ MPa}$
- modul pružnosti GFRP výstuže	$E_f = 60 \text{ GPa}$
- redukčný súčiniteľ ťahovej pevnosti za dekádu	$R_{10} = 15\%$
- charakteristická krátkodobá pevnosť GFRP výstuže v ťahu ( $t=1000 \text{ h}$ )	$f_{fk,1000h} = 950 \text{ MPa}$
- charakteristická dlhodobá pevnosť GFRP výstuže v ťahu	$f_{fk}^{LT} = 1350/2,593 = 520,63 \text{ MPa}$
- návrhová dlhodobá pevnosť GFRP výstuže v ťahu	$f_{fd}^{LT} = 1038,46/2,593 = 400,53 \text{ MPa}$
- dlhodobé medzné pretvorenie FRP výstuže	$\epsilon_{fd}^{LT} = f_{fd}^{LT}/E_f = 400,53/60000 = 6,676 \text{ ‰}$
- redukčný súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky okolitého prostredia	

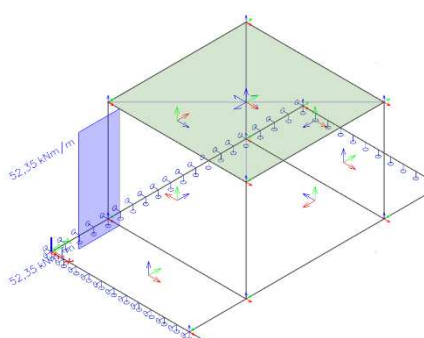
$$\eta_{env,t} = \frac{f_{fk0}}{f_{fk1000h}} \cdot \frac{1}{((100 - R_{10})/100)^n} = \frac{1350}{950} \cdot \frac{1}{((100 - 15)/100)^{3,7}} = 2,593$$

- exponent skladajúci sa zo štyroch členov

$$n = n_{mo} + n_T + n_{SL} + n_d = 1 + 0 + 2,7 + 0 = 3,70$$

- typ prostredia => mokré	$\eta_{mo} = 1,0$
- priemerná ročná teplota => 5°C - 15°C	$\eta_T = 0$
- životnosť konštrukcie => 50 rokov	$\eta_{SL} = 2,7$
- rozdiel použitej a testovanej výstuže => sú rovnaké	$\eta_d = 0$





Obrázok 4.2: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{x,D}$  v reze

$$\omega = \begin{cases} \frac{4\varepsilon_{c2} - \varepsilon_c}{4 \cdot (3\varepsilon_{c2} - \varepsilon_c)}, & \text{pre } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \\ 1 - \frac{6\varepsilon_c^2 - \varepsilon_{c2}^2}{4\varepsilon_c \cdot (3\varepsilon_c - \varepsilon_{c2})}, & \text{pre } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \end{cases}$$

Všeobecnú FRP výstuž budeme navrhovať na tie isté ohybové momenty ako pri návrhu oceľovej výstuže.

Vnútorňú stranu skruže vystužíme rovnako, ako vonkajšiu.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 52,35 \cdot 0,62 = \mathbf{32,46 \text{ kNm}}$$

Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
12/7

$A_{f,prov}$   
 $7,917 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min}$	$\leq$	$A_{f,prov}$
	1,72	<	7,917
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max}$	$\geq$	$A_{f,prov}$
	27,99	>	7,917
	✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteratívne

$\alpha =$	0,627	
$\omega =$	0,369	
$\varepsilon_c =$	1,784 ‰	$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$
$x =$	27,20 mm	

c) moment na medzi únosnosti

$F_{cc} =$	317,09 kN	$F_{cc} = \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b$
$F_T =$	317,09 kN	$F_T = A_{f,prov} \cdot f_{fd}$
$z =$	118,97 mm	$z = d - \omega x$

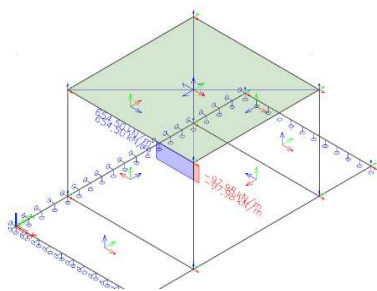
$M_{Rd} =$	37,73 kNm	$M_{Rd}$	$\geq$	$M_{Ed}$
		37,73	>	32,46
		✓ VYHOVUJE		

#### 4.2.1.4. Overenie vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva)

Prepočet momentu na 1bm pre obmedzenie rozhrania vo výpočtovom programe:

$$M_{Ed} = \frac{39,32}{0,62} = \mathbf{63,42 \text{ kNm/m}}$$

Ohybový moment je dostatočne veľký => nie je nutné dovystužovať skruž v maximálne namáhaných miestach.


 Obrázok 4.3: Hodnota spriemerovanej normálovej sily  $n_{xD}$  v reze

#### 4.2.1.5. Dodatočný návrh vodorovnej výstuže na normálovú ťahovú silu

Pri všetkých návrhoch FRP výstuže na normálovú silu budeme posudzovať rovnaké miesta, ako pri návrhu ocelevej výstuže.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 654,5 \cdot 0,1 = 65,45 \text{ kN}$$

Potrebnú plochu výstuže si vypočítame zo vzorca na výpočet napätia  $\sigma = \frac{N}{A}$ .

##### Návrh výstuže

$\phi/\text{počet ks}$	$A_{f,req} = \frac{N}{f_{fd}^{LT}} [cm^2]$	$A_{s,req} \leq A_{s,prov}$
12 2		1,634 < 2,262
		✓ VYHOVUJE

#### 4.2.1.6. Výpočet ohybového momentu pri balančnom vystužení (2.vrstva)

$x$	$h = 150 \text{ mm}$	$x_{bal} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{fd}^{LT}} d$
$\lambda x$	$b = 850 \text{ mm}$	$F_{cc} = \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b$
$d_1$	$d_1 = 33 \text{ mm}$	$F_{cc} = F_T$
$d$	$d = 117 \text{ mm}$	$A_{f,bal} = F_T / f_{fd}$
$F_T = A_{f,bal} \cdot f_{fd}$	$x_{bal} = 40,2 \text{ mm}$	$z = d - (\lambda x)/2$
$F_{cc} = \lambda x f_{cd} b$	$F_{cc} = 820,97 \text{ kN}$	$M_{Rd} = F_T \cdot z$
$d - (\lambda x)/2$	$A_{f,bal} = 20,50 \text{ cm}^2$	
	$z = 100,90 \text{ mm}$	
	$M_{Rd} = 82,84 \text{ kNm}$	

Ohybový moment je vyšší ako všetky posudzované momenty  $m_{yD}$  v skruži, preto budeme predpokladať pretrhnutie výstuže v priereze celej skruže.

#### 4.2.1.7. Všeobecný návrh zvislej výstuže (2.vrstva)

Vnútorňú stranu skruže vystužíme rovnako, ako vonkajšiu.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 48,90 \cdot 0,85 = 41,57 \text{ kNm}$$

##### Návrh výstuže

$$\phi/\text{počet ks}$$

$$12|9$$

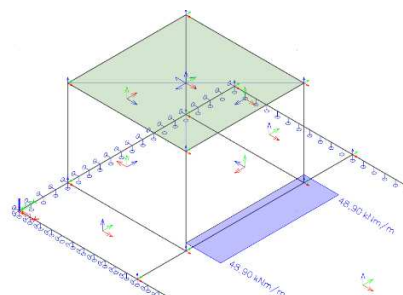
$$A_{f,prov}$$

$$10,179 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [cm^2]$	$A_{f,min} \leq A_{f,prov}$
	2,60 < 10,179
	✓ VYHOVUJE

$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{f,max} \geq A_{f,prov}$
	34,81 > 10,179
	✓ VYHOVUJE


 Obrázok 4.4: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{yD}$  v reze

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteratívne

$$\begin{aligned}\alpha &= 0,636 \\ \omega &= 0,370 \\ \varepsilon_c &= 1,828 \text{ ‰} \\ x &= 25,15 \text{ mm}\end{aligned} \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned}F_{cc} &= 407,69 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 407,69 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 107,70 \text{ mm} & z &= d - \omega x\end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 43,91 \text{ kNm} \quad \begin{array}{ccc} M_{Rd} & \geq & M_{Ed} \\ 43,91 & > & 41,57 \end{array}$$

✓ VYHOVUJE

#### 4.2.1.8. Overenie zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva)

Prepočet momentu na 1bm pre obmedzenie rozhrania vo výpočtovom programe:

$$M_{Ed} = \frac{43,91}{0,85} = 51,66 \text{ kNm/m}$$

Zvislú výstuž v maximálne namáhaných miestach budeme posudzovať pomocou vodorovného rezu dĺžky 0,45m, rez je v mieste 0,20m-0,65m od začiatku skruže.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 60,84 \cdot 0,45 = 27,38 \text{ kNm}$$

Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
12|6

$A_{f,prov}$   
 $6,786 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2] \quad \begin{array}{ccc} A_{f,min} & \leq & A_{f,prov} \\ 1,40 & < & 6,786 \end{array}$$

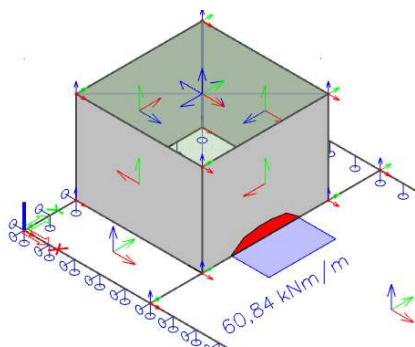
✓ VYHOVUJE

$$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2] \quad \begin{array}{ccc} A_{f,max} & \geq & A_{f,prov} \\ 18,43 & > & 6,786 \end{array}$$

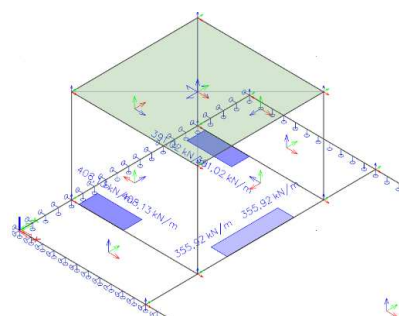
✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteratívne

$$\begin{aligned}\alpha &= 0,696 \\ \omega &= 0,381 \\ \varepsilon_c &= 2,193 \text{ ‰} \\ x &= 28,93 \text{ mm}\end{aligned} \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$



Obrázok 4.5: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{yD}$  v reze


 Obrázok 4.6: Hodnoty spriemerovaných normálových síl  $n_{yD}$  v rezoch

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 271,79 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 271,79 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 105,97 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= 28,80 \text{ kNm} & M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ & & 28,80 &> 27,38 \\ & & &\checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{aligned}$$

#### 4.2.1.9. Dodatočný návrh zvislej výstuže na normálovú ťahovú silu

Posudzovať konštrukciu na normálovú silu budeme v 3 miestach, viz. Obrázok 3.52. Miesta na bokoch skruže budú počítané na jednu normálovú silu v reze č.1, miesto pred skružou bude počítané ako rez č.2.

##### Rez č.1

Budeme posudzovať 2 bočné miesta na maximálnu hodnotu  $N = 408,13 \text{ kN}$ . Bočné rezy ( $b = 0,30 \text{ m}$ ) pre túto silu sú v mieste  $0,05 \text{ m}$  až  $0,35 \text{ m}$  od začiatku skruže.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 408,13 \cdot 0,3 = 122,44 \text{ kN}$$

##### Návrh výstuže

$$\begin{aligned} \phi / \text{počet ks} & 12 / 3 & A_{f,req} &= \frac{N}{f_{fd}^{LT}} [\text{cm}^2] & A_{f,req} &\leq A_{f,prov} \\ & & 3,057 &< 3,393 \\ & & &\checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{aligned}$$

##### Rez č.2

Z prednej strany skruže je normálová sila  $N = 355,92 \text{ kN}$ . Vodorovný rez ( $b = 0,45 \text{ m}$ ) je v mieste  $0,20 \text{ m}$  od začiatku skruže po  $0,65 \text{ m}$ .

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 355,92 \cdot 0,45 = 160,16 \text{ kN}$$

##### Návrh výstuže

$$\begin{aligned} \phi / \text{počet ks} & 12 / 4 & A_{f,req} &= \frac{N}{f_{fd}^{LT}} [\text{cm}^2] & A_{f,req} &\leq A_{f,prov} \\ & & 3,999 &< 4,524 \\ & & &\checkmark \text{ VYHOVUJE} \end{aligned}$$

## 4.2.2. Zákrytová doska

### 4.2.2.1. Krycia vrstva

Odhad profilu výstuže => Ø12

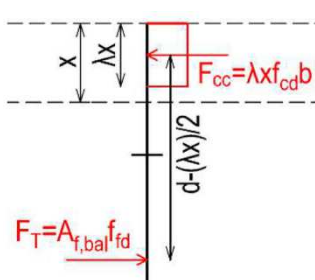
$$c_{nom} = \emptyset + \Delta c_{dev}$$

$\Delta c_{dev} \Rightarrow$  použitie prefabrikátov =>  $\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$

$$c_{nom} = 12 + 5 = 17 \text{ mm} \Rightarrow c = 15 \text{ mm}$$

Pri výrobe prefabrikátu bude kontrolovaná jeho kvalita, preto konečná hodnota  $\Delta c_{dev} = 3 \text{ mm}$ .

### 4.2.2.2. Výpočet ohybového momentu pri balančnom vyzužení



$$\begin{aligned} h &= 240 \text{ mm} \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ d_1 &= 21 \text{ mm} \\ d &= 219 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{bal} &= 75,3 \text{ mm} \\ F_{cc} &= 1807,87 \text{ kN} \\ A_{f,bal} &= 45,14 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z &= 188,87 \text{ mm} \\ M_{Rd} &= 341,45 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{fd}^{LT}} d$$

$$F_{cc} = \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b$$

$$F_{cc} = F_T$$

$$A_{f,bal} = F_T / f_{fd}$$

$$z = d - (\lambda x) / 2$$

$$M_{Rd} = F_T \cdot z$$

Ohybový moment je oveľa väčší ako všetky posudzované momenty v zákrytovej doske, preto budeme predpokladať pretrhnutie výstuže v každej vrstve a pri oboch povrchoch zákrytovej dosky.

### 4.2.2.3. Všeobecný návrh dolnej výstuže (1.vrstva)

Dolná výstuž v 1.vrstve => smer Y. Navrhujeme výstuž Ø12/200 mm, únosnosť v maximálne namáhaných miestach overíme v kapitole 4.1.2.4..

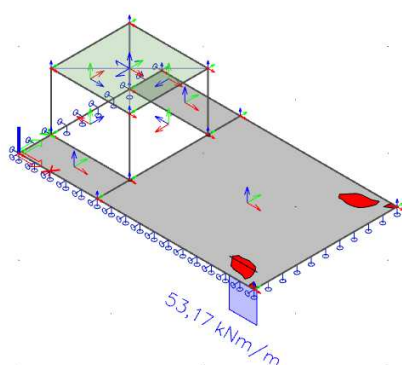
<u>Návrh výstuže</u>	φ/vzdialenosť v mm	A <sub>f,prov</sub>
	12 200	5,655 · 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>

a) overenie miery vyzużenia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min} \leq A_{f,prov}$
	3,99 < 5,655
	✓ VYHOVUJE
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max} \geq A_{f,prov}$
	76,65 > 5,655
	✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteráčne

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,334 \\ \omega &= 0,346 \\ \varepsilon_c &= 0,767 \text{ ‰} \\ x &= 22,57 \text{ mm} \end{aligned} \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$



Obrázok 4.7: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{yD}$  v reze

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 226,49 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 226,49 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 211,20 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 47,83 \text{ kNm}$$

#### 4.2.2.4. Overenie dolnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1. vrstva)

Moment na 1bm pre obmedzenie rozhrania vo výpočtovom programe:

$$M_{Ed} = 47,83 \text{ kNm/m}$$

Maximálne namáhané miesta budeme posudzovať v dvoch miestach (viz. Obr.4.7), ktoré posúdime na rovnaký moment. Rez sa nachádza vo vzdialenosti 2,1m-2,4m od začiatku dosky, dĺžka rezu je 0,30m.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 53,17 \cdot 0,30 = 15,95 \text{ kNm}$$

Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
12/2

$A_{f,prov}$   
 $2,262 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min}$	$\leq$	$A_{f,prov}$
	1,21	<	2,262
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max}$	$\geq$	$A_{f,prov}$
	23,00	>	2,262
	✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iterácie

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,385 \\ \omega &= 0,348 \\ \epsilon_c &= 0,906 \text{ ‰} \\ x &= 26,17 \text{ mm} \end{aligned} \quad \epsilon_c = \frac{\epsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 90,60 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 90,60 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 209,89 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 19,02 \text{ kNm}$$

$M_{Rd}$	$\geq$	$M_{Ed}$
19,02	>	15,95
✓ VYHOVUJE		

#### 4.2.2.5. Všeobecný návrh dolnej výstuže (2.vrstva)

Dolná výstuž v 2.vrstve => smer X. Navrhujeme výstuž  $\emptyset 12/200$  mm, únosnosť v maximálne namáhaných miestach overíme v kapitole 4.1.2.6..

<u>Návrh výstuže</u>	$\phi$ /vzdialenosť v mm	$A_{f,prov}$
	12 200	$5,655 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min}$	$\leq$	$A_{f,prov}$
	4,23	<	5,655
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max}$	$\geq$	$A_{f,prov}$
	72,45	>	5,655
	✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteratívne

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,344 \\ \omega &= 0,346 \\ \epsilon_c &= 0,792 \text{ ‰} \\ x &= 21,96 \text{ mm} \end{aligned} \quad \epsilon_c = \frac{\epsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 226,49 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 226,49 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 199,40 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 45,16 \text{ kNm}$$

#### 4.2.2.6. Overenie dolnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2. vrstva)

Moment na 1bm pre obmedzenie rozhrania vo výpočtovom programe:

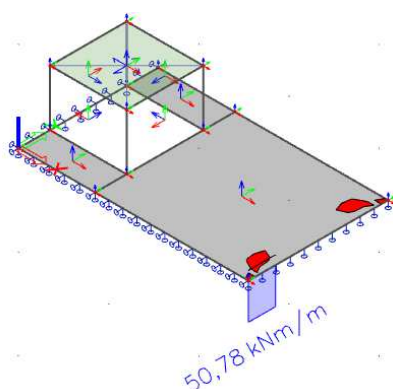
$$M_{Ed} = 45,16 \text{ kNm/m}$$

Maximálne namáhané miesta budeme znova posudzovať v dvoch miestach (viz. Obr.4.8), ktoré posúdime na rovnaký moment. Rez sa nachádza vo vzdialenosti 0,10m-0,40m od začiatku dosky, dĺžka rezu je 0,30m.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 50,78 \cdot 0,30 = 15,23 \text{ kNm}$$

<u>Návrh výstuže</u>	$\phi$ /počet ks	$A_{f,prov}$
	12 2	$2,262 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$



Obrázok 4.8: Hodnota spriemerovaného momentu  $m_{xD}$  v reze

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [cm^2]$	$A_{f,min}$	$\leq$	$A_{f,prov}$
	1,28	<	2,262
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{f,max}$	$\geq$	$A_{f,prov}$
	21,74	>	2,262
	✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteráčne

$\alpha =$	0,395	
$\omega =$	0,349	
$\varepsilon_c =$	0,937 ‰	$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$
$x =$	25,47 mm	

c) moment na medzi únosnosti

$F_{cc} =$	90,60 kN	$F_{cc} = \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b$
$F_T =$	90,60 kN	$F_T = A_{f,prov} \cdot f_{fd}$
$z =$	198,12 mm	$z = d - \omega x$
$M_{Rd} =$	17,95 kNm	$M_{Rd} \geq M_{Ed}$
		17,95 > 15,23
		✓ VYHOVUJE

#### 4.2.2.7. Všeobecný návrh hornej výstuže (1.vrstva)

Horná výstuž v 1.vrstve => smer Y. Navrhujeme výstuž  $\emptyset 12/200$  mm, únosnosť v maximálne namáhaných miestach overíme v kapitole 4.1.2.8..

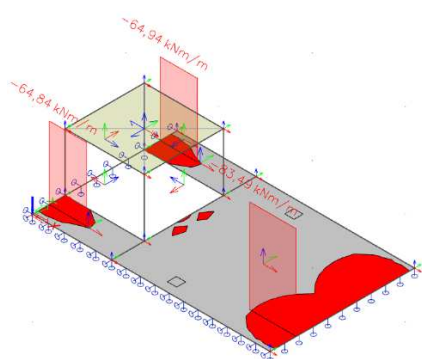
<u>Návrh výstuže</u>	$\phi$ /vzdialenosť v mm	$A_{f,prov}$
	12 200	$5,655 \cdot 10^{-4} m^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [cm^2]$	$A_{f,min}$	$\leq$	$A_{f,prov}$
	3,99	<	5,655
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{f,max}$	$\geq$	$A_{f,prov}$
	76,65	>	5,655
	✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteráčne

$\alpha =$	0,334	
$\omega =$	0,346	
$\varepsilon_c =$	0,767 ‰	$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$
$x =$	22,57 mm	


 Obrázok 4.9: Hodnoty spriemerovaných momentov  $m_{yD+}$  v rezoch

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 226,49 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 226,49 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 211,20 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 47,83 \text{ kNm}$$

#### 4.2.2.8. Overenie hornej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1. vrstva)

Maximálne namáhané miesta budeme posudzovať v 3 miestach konštrukcie, rez č.1 s hodnotou  $m_{xD+} = -64,94 \text{ kNm/m}$  je na oboch stranách od skruže a rez č.2 z hodnotou  $m_{xD+} = -83,49 \text{ kNm/m}$  je na konci zákrytovej dosky.

##### Rez č.1

Rez prebieha od začiatku dosky po 0,40m, takže dĺžka rezu je 0,40m.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 64,84 \cdot 0,40 = 25,94 \text{ kNm}$$

Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
12|3

$A_{f,prov}$   
 $3,393 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min} \leq A_{f,prov}$ 1,61 < 3,393	✓ VYHOVUJE
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max} \geq A_{f,prov}$ 30,66 > 3,393	
		✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteratívne

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,407 \\ \omega &= 0,349 \\ \varepsilon_c &= 0,971 \text{ ‰} \\ x &= 27,82 \text{ mm} \end{aligned} \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 135,90 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 135,90 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 209,28 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 28,44 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 28,44 &> 25,94 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

### Rez č.2

Rez prebieha 0,50m od konca dosky po koniec dosky (dĺžka rezu=0,50m).

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 83,49 \cdot 0,50 = \mathbf{41,75 \text{ kNm}}$$

#### Návrh výstuže

φ/počet ks  
12|5

A<sub>f,prov</sub>  
**5,655 · 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>**

#### a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [cm^2]$	$A_{f,min}$ 2,03	$\leq$ <	$A_{f,prov}$ 5,655
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{f,max}$ 38,33	$\geq$ >	$A_{f,prov}$ 5,655
	✓ VYHOVUJE		

#### b) poloha neutrálnej osi spočítaná iterácie

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,467 \\ \omega &= 0,353 \\ \varepsilon_c &= 1,157 \text{ ‰} \\ x &= 32,34 \text{ mm} \end{aligned} \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

#### c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 226,49 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 226,49 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 207,58 \text{ mm} & z &= d - \omega x \\ M_{Rd} &= 47,01 \text{ kNm} & M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ & & 47,01 &> 41,75 \end{aligned}$$

✓ VYHOVUJE

### 4.2.2.9. Všeobecný návrh hornej výstuže (2.vrstva)

Horná výstuž v 2.vrstve => smer X. Navrhujeme výstuž Ø12/100 mm, únosnosť v maximálne namáhaných miestach overíme v kapitole 4.1.2.10..

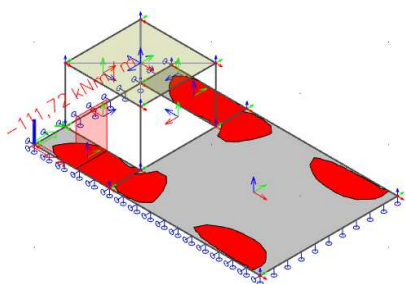
#### Návrh výstuže

φ/vzdialenosť v mm  
12|100

A<sub>f,prov</sub>  
**11,310 · 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>**

#### a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [cm^2]$	$A_{f,min}$ 4,31	$\leq$ <	$A_{f,prov}$ 11,310
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{f,max}$ 72,45	$\geq$ >	$A_{f,prov}$ 11,310
	✓ VYHOVUJE		


 Obrázok 4.10: Hodnoty spriemerovaných momentov  $m_{xD+}$  v rezoch

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iterácie

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,479 \\ \omega &= 0,354 \\ \varepsilon_c &= 1,198 \text{ ‰} \\ x &= 31,50 \text{ mm} \end{aligned} \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 452,99 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 452,99 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 195,85 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 88,72 \text{ kNm}$$

#### 4.2.2.10. Overenie hornej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2. vrstva)

V 2.vrstve budeme kontrolovať dostatočnú plochu výstuže na maximálne momenty po celej dĺžke zákrytovej dosky v miestach okolo štvorcovej skruže. Dĺžka rezu je 0,35 m.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 111,72 \cdot 0,35 = 39,10 \text{ kNm}$$

Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
12|5

$A_{f,prov}$   
 $5,655 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min} \leq A_{f,prov}$ 1,53 < 5,655	✓ VYHOVUJE
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max} \geq A_{f,prov}$ 25,36 > 5,655	✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iterácie

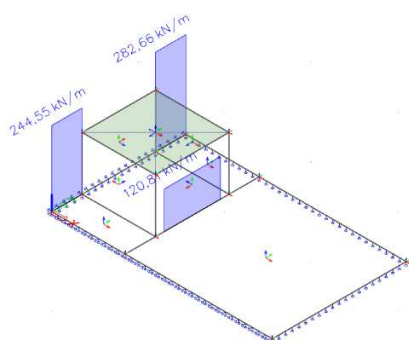
$$\begin{aligned} \alpha &= 0,565 \\ \omega &= 0,361 \\ \varepsilon_c &= 1,510 \text{ ‰} \\ x &= 38,18 \text{ mm} \end{aligned} \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 226,49 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 226,49 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 193,20 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 43,76 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 43,76 &> 39,10 \\ &\text{✓ VYHOVUJE} \end{aligned}$$



Obrázok 4.11: Hodnoty spriemerovaných normálových síl  $n_{xD}$  v rezoch

#### 4.2.2.11. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere X

Ťahové normálové sily budú v celej zákrytovej doske vykryté v rovnakých miestach ako pri návrhu betonárskej výstuže.

##### Rez č.1

Rez prebieha od začiatku dosky po začiatok skruže, takže dĺžka rezu je 0,35m.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 282,66 \cdot 0,35 = 98,93 \text{ kN}$$

##### Návrh výstuže

$\phi/\text{počet ks}$	$A_{f,req} = \frac{N}{f_{fd}^{LT}} [cm^2]$	$A_{f,req} \leq A_{f,prov}$
12 3		2,470 < 3,393
		✓ VYHOVUJE

##### Rez č.2

Rez je umiestnený pred štvorcovou skružou, začína 10 cm za začiatkom skruže a končí 10 cm pred jej koncom. Dĺžka rezu je 0,65m.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 120,81 \cdot 0,65 = 78,53 \text{ kN}$$

##### Návrh výstuže

$\phi/\text{počet ks}$	$A_{f,req} = \frac{N}{f_{fd}^{LT}} [cm^2]$	$A_{f,req} \leq A_{f,prov}$
12 2		1,961 < 2,262
		✓ VYHOVUJE

#### 4.2.2.12. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere Y

##### Rez č.1

Rez prebieha od začiatku dosky do 0,50m, takže dĺžka rezu je 0,50m.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 133,75 \cdot 0,50 = 66,88 \text{ kN}$$

##### Návrh výstuže

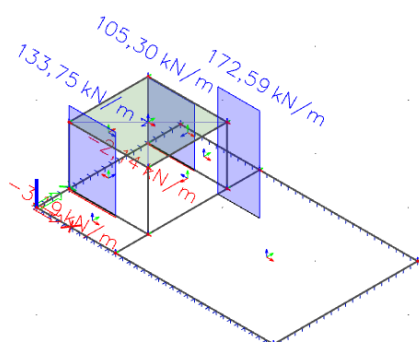
$\phi/\text{počet ks}$	$A_{f,req} = \frac{N}{f_{fd}^{LT}} [cm^2]$	$A_{f,req} \leq A_{f,prov}$
12 2		1,670 < 2,262
		✓ VYHOVUJE

##### Rez č.2

Rez prebieha od skruže 0,45m.

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 172,59 \cdot 0,45 = 77,67 \text{ kN}$$



Obrázok 4.12: Hodnoty spriemerovaných normálových síl  $n_{yD}$  v rezoch

### Návrh výstuže

$\phi/\text{počet ks}$	$A_{f,req} = \frac{N}{f_{fd}^{LT}} [cm^2]$	$A_{f,req} \leq A_{f,prov}$
12 2		1,939 < 2,262
		✓ VYHOVUJE

## 4.3. Prefabrikát B

### 4.3.1. Steny sedimentačnej nádrže

#### 4.3.1.1. Krycia vrstva

Odhad profilu výstuže => Ø16

$$c_{nom} = \emptyset + \Delta c_{dev}$$

$\Delta c_{dev}$  => použitie prefabrikátov =>  $\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$

$$c_{nom} = 16 + 5 = 21 \text{ mm} \Rightarrow c = 20 \text{ mm}$$

Pri výrobe prefabrikátu bude kontrolovaná jeho kvalita, preto konečná hodnota  $\Delta c_{dev} = 4 \text{ mm}$ . Pre zjednodušenie budeme aj pri menších profiloch výstuže používať krytie  $c = 20 \text{ mm}$ .

#### 4.3.1.2. Výpočet ohybového momentu pri balančnom vyzutí

	$h = 300 \text{ mm}$	$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{fd}^{LT}} d$
	$b = 1000 \text{ mm}$	
	$d_1 = 28 \text{ mm}$	
	$d = 272 \text{ mm}$	$F_{cc} = \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b$
	$x_{bal} = 93,6 \text{ mm}$	$F_{cc} = F_T$
	$F_{cc} = 2245,39 \text{ kN}$	$A_{f,bal} = F_T / f_{fd}$
	$A_{f,bal} = 56,06 \text{ cm}^2$	$z = d - (\lambda x) / 2$
	$z = 234,58 \text{ mm}$	$M_{Rd} = F_T \cdot z$
	$M_{Rd} = 526,72 \text{ kNm}$	

Ohybový moment je oveľa väčší ako všetky posudzované momenty vo všetkých stenách nádrže, preto budeme predpokladať pretrhnutie výstuže v každej vrstve a pri oboch povrchoch stien.

#### 4.3.1.3. Všeobecný návrh vonkajšej vodorovnej výstuže (1.vrstva)

Navrhujeme výstuž Ø16/100 mm, únosnosť v maximálne namáhaných miestach overíme v kapitole 4.2.1.3..

Návrh výstuže	$\phi/\text{vzdialenosť v mm}$	$A_{f,prov}$
	16 100	20,106 · 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>

a) overenie miery vyzutia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [cm^2]$	$A_{f,min} \leq A_{f,prov}$
	5,18 < 20,106
	✓ VYHOVUJE
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{f,max} \geq A_{f,prov}$
	95,20 > 20,106
	✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteráčne

$$\begin{aligned}\alpha &= 0,551 \\ \omega &= 0,360 \\ \varepsilon_c &= 1,456 \text{ ‰} \\ x &= 48,70 \text{ mm}\end{aligned}\quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned}F_{cc} &= 805,31 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 805,31 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 254,47 \text{ mm} & z &= d - \omega x\end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 204,93 \text{ kNm}$$

#### 4.3.1.4. Overenie vonkajšej vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva)

Budeme overovať dostatočné vystuženie v reze na obrázku 4.12. Rez je umiestnený 0,8m-1,3m pod vrchom stien, dĺžka rezu je 0,5m.

Prepočet momentu na dĺžku rezu:

$$M_{Ed} = 209,22 \cdot 0,50 = 104,61 \text{ kNm}$$

Návrh výstuže

$\phi$ /počet ks  
16|6

$$A_{f,prov} = 12,064 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min} \leq A_{f,prov}$ 2,61 < 12,064	✓ VYHOVUJE
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max} \geq A_{f,prov}$ 47,60 > 12,064	✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteráčne

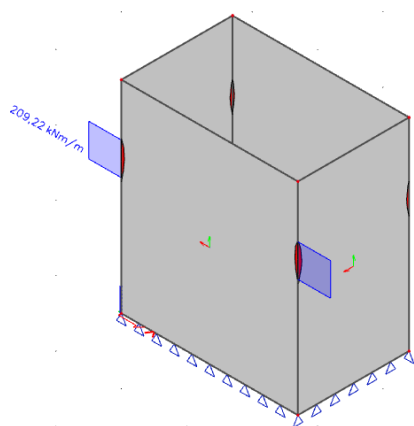
$$\begin{aligned}\alpha &= 0,598 \\ \omega &= 0,365 \\ \varepsilon_c &= 1,649 \text{ ‰} \\ x &= 53,88 \text{ mm}\end{aligned}\quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned}F_{cc} &= 483,19 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 483,19 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 252,34 \text{ mm} & z &= d - \omega x\end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 121,93 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 121,93 &> 104,61 \\ \checkmark &\text{ VYHOVUJE}\end{aligned}$$



Obrázok 4.13: Hodnota priemerovaného momentu  $m_{xD}$  v reze

#### 4.3.1.5. Všeobecný návrh vonkajšej zvislej výstuže (2.vrstva)

Moment  $m_{yd}$  má pomerne vysokú hodnotu v každom mieste stien nádrže. Z tohto dôvodu sa zvislá výstuž navrhne na maximálnu hodnotu ohybového momentu  $m_{yd}$ .

$$M_{Ed} = 187,97 \text{ kNm/m}$$

<u>Návrh výstuže</u>	$\phi$ /vzdialenosť v mm	$A_{f,prov}$
	16 100	$20,106 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min}$	$\leq$	$A_{f,prov}$
	5,52	<	20,106
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max}$	$\geq$	$A_{f,prov}$
	89,60	>	20,106
	✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteratívne

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,567 \\ \omega &= 0,362 \\ \epsilon_c &= 1,516 \text{ ‰} \\ x &= 47,38 \text{ mm} \end{aligned} \quad \epsilon_c = \frac{\epsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$F_{cc} = 805,31 \text{ kN}$	$F_{cc} = \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b$
$F_T = 805,31 \text{ kN}$	$F_T = A_{f,prov} \cdot f_{fd}$
$z = 238,87 \text{ mm}$	$z = d - \omega x$
$M_{Rd} = 192,37 \text{ kNm}$	$M_{Rd} \geq M_{Ed}$
	$192,37 > 187,97$
	✓ VYHOVUJE

#### 4.3.1.6. Overenie vonkajšej zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva)

Základná výstuž je navrhnutá na maximálny ohybový moment => nie je potrebné overovať maximálne namáhané miesta.

#### 4.3.1.7. Všeobecný návrh vnútornej vodorovnej výstuže (1.vrstva)

Vnúturnú výstuž v 1.vrstve budeme uvažovať v smere X. Výstuž budeme navrhovať na minimálnu plochu výstuže v stenách nádrže.

<u>Návrh výstuže</u>	$\phi$ /vzdialenosť v mm	$A_{f,prov}$
	12 200	$5,655 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min}$	$\leq$	$A_{f,prov}$
	4,97	<	5,655
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max}$	$\geq$	$A_{f,prov}$
	95,90	>	5,655
	✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteráčne

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,300 \\ \omega &= 0,344 \\ \varepsilon_c &= 0,676 \text{ ‰} \\ x &= 25,18 \text{ mm} \end{aligned} \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 226,49 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 226,49 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 265,34 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 60,10 \text{ kNm}$$

#### 4.3.1.8. Overenie vnútornej vodorovnej výstuže v maximálne namáhaných miestach (1.vrstva)

Moment na medzi únosnosti  $M_{Rd}$  je menší ako maximálny ohybový moment  $m_{xD+}$  => špička maximálneho momentu je príliš malá a nereálna, nebudeme toto miesto overovať.

#### 4.3.1.9. Všeobecný návrh vnútornej zvislej výstuže (2.vrstva)

Vnúturnú výstuž v 2.vrstve budeme uvažovať v smere Y. Výstuž budeme taktiež navrhovať na minimálnu plochu výstuže v stenách nádrže.

<u>Návrh výstuže</u>	$\phi$ /vzdialenosť v mm	$A_{f,prov}$
	12 200	$5,655 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min}$	$\leq$	$A_{f,prov}$
	5,20	<	5,655
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max}$	$\geq$	$A_{f,prov}$
	91,70	>	5,655
	✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteratívne

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,306 \\ \omega &= 0,344 \\ \varepsilon_c &= 0,693 \text{ ‰} \\ x &= 24,64 \text{ mm} \end{aligned} \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned} F_{cc} &= 226,49 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 226,49 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 253,52 \text{ mm} & z &= d - \omega x \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 57,42 \text{ kNm}$$

#### 4.3.1.10. Overenie vnútornej zvislej výstuže v maximálne namáhaných miestach (2.vrstva)

Moment na medzi únosnosti  $M_{Rd}$  je menší ako maximálny ohybový moment  $m_{yD+}$  => špička maximálneho momentu je príliš malá a nereálna, nebudeme toto miesto overovať.

#### 4.3.1.11. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere X

Ťahové normálové sily budú vo všetkých stenách nádrže vykryté v rovnakých miestach ako pri návrhu betonárskej výstuže.

Výstuž budeme ukladať v hornej časti stien po celom obvode nádrže (dĺžka rezu 0,3m).

Prepočet normálovej sily na dĺžku rezu:

$$N_{Ed} = 837,0 \cdot 0,30 = 251,1 \text{ kN}$$

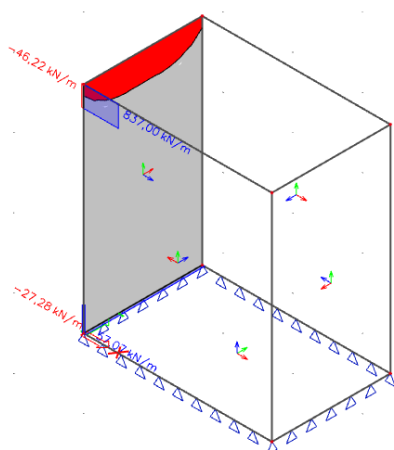
Návrh výstuže

$$\begin{array}{lcl} \phi/\text{počet ks} & A_{f,req} = \frac{N}{f_{fd}^{LT}} [cm^2] & A_{f,req} \leq A_{f,prov} \\ 16/4 & 6,269 & < 8,042 \end{array}$$

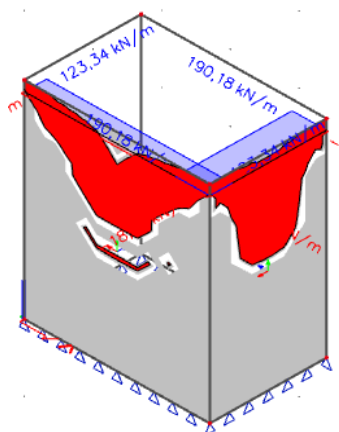
✓ VYHOVUJE

#### 4.3.1.12. Dodatočný návrh výstuže na normálovú ťahovú silu v smere Y

K tomuto návrhu pristúpime rovnako ako v návrhu betonárskej výstuže => ťahové normálové sily budú prenesené už uloženou výstužou z kapitoly 4.2.1.5..



Obrázok 4.14: Hodnota spriemerovanej normálovej sily  $n_{xD}$  v reze



Obrázok 4.15: Hodnoty spriemerovaných normálových síl  $n_{yD}$  na stenách nádrže

### 4.3.2. Doska na dne sedimentačnej nádrže

Vzhľadom na rovnomerné ohybové momenty pri spodnom povrchu dosky budeme dolnú aj hornú výstuž navrhovať na ich maximálne ohybové momenty. V oboch návrhoch výstuže nebude nutné robiť overenie maximálnych namáhaných oblastí.

Ťahové normálové sily v doske sú príliš malé => zanedbáme ich.

#### 4.3.2.1. Krycia vrstva

Odhad profilu výstuže =>  $\varnothing 16$

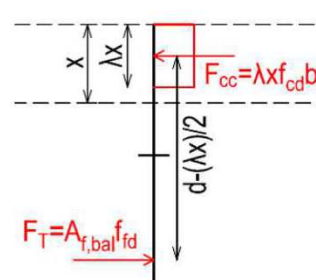
$$c_{nom} = \varnothing + \Delta c_{dev}$$

$$\Delta c_{dev} \Rightarrow \text{použitie prefabrikátov} \Rightarrow \Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 16 + 5 = 21 \text{ mm} \Rightarrow c = 20 \text{ mm}$$

Pri výrobe prefabrikátu bude kontrolovaná jeho kvalita, preto konečná hodnota  $\Delta c_{dev} = 4 \text{ mm}$ . Pre zjednodušenie budeme aj pri menších profiloch výstuže používať krytie  $c = 20 \text{ mm}$ .

#### 4.3.2.2. Výpočet ohybového momentu pri balančnom vystužení



$h =$	300 mm	$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{fd}^{LT}} d$
$b =$	1000 mm	$F_{cc} = \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b$
$d_1 =$	28 mm	$F_{cc} = F_T$
$d =$	272 mm	$A_{f,bal} = F_T / f_{fd}$
$x_{bal} =$	93,6 mm	$z = d - (\lambda x) / 2$
$F_{cc} =$	2245,39 kN	$M_{Rd} = F_T \cdot z$
$A_{f,bal} =$	56,06 cm <sup>2</sup>	
$z =$	234,58 mm	
$M_{Rd} =$	<b>526,72 kNm</b>	

Ohybový moment je oveľa väčší ako všetky posudzované momenty v celej spodnej doske nádrže, preto budeme predpokladať pretrhnutie výstuže v každej vrstve a pri oboch povrchoch dosky.

### 4.3.2.3. Všeobecný návrh dolnej výstuže (1.vrstva)

Dolná výstuž v 1.vrstve => smer Y.

$$M_{Ed} = 187,82 \text{ kNm/m}$$

Návrh výstuže

φ/vzdialenosť v mm  
16|100

$A_{f,prov}$ $20,106 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
--

a)overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min}$ 5,18	$\leq$ $A_{f,prov}$ 20,106
	✓ VYHOVUJE	
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max}$ 95,20	$\geq$ $A_{f,prov}$ 20,106
	✓ VYHOVUJE	

b)poloha neutrálnej osi spočítaná iterácie

$\alpha =$	0,551	
$\omega =$	0,360	
$\epsilon_c =$	1,456 ‰	$\epsilon_c = \frac{\epsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$
$x =$	48,70 mm	

c)moment na medzi únosnosti

$F_{cc} =$	805,31 kN	$F_{cc} = \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b$
$F_T =$	805,31 kN	$F_T = A_{f,prov} \cdot f_{fd}$
$z =$	254,47 mm	$z = d - \omega x$
$M_{Rd} =$	204,93 kNm	$M_{Rd} \geq M_{Ed}$ $204,93 > 187,82$ ✓ VYHOVUJE

### 4.3.2.4. Všeobecný návrh dolnej výstuže (2.vrstva)

Dolná výstuž v 2.vrstve => smer X.

$$M_{Ed} = 176,37 \text{ kNm/m}$$

Návrh výstuže

φ/vzdialenosť v mm  
16|100

$A_{f,prov}$ $20,106 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
--

a)overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min}$ 5,52	$\leq$ $A_{f,prov}$ 20,106
	✓ VYHOVUJE	
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max}$ 89,60	$\geq$ $A_{f,prov}$ 20,106
	✓ VYHOVUJE	

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iterácie

$$\begin{aligned}\alpha &= 0,567 \\ \omega &= 0,362 \\ \epsilon_c &= 1,516 \text{ ‰} \\ x &= 47,38 \text{ mm}\end{aligned}\quad \epsilon_c = \frac{\epsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned}F_{cc} &= 805,31 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 805,31 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 238,87 \text{ mm} & z &= d - \omega x\end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 192,37 \text{ kNm} \quad M_{Rd} \geq M_{Ed} \quad 192,37 > 176,37$$

✓ VYHOVUJE

#### 4.3.2.5. Všeobecný návrh hornej výstuže (1.vrstva)

Horná výstuž v 1.vrstve => smer Y. Výstuž budeme navrhovať na minimálnu plochu výstuže.

<u>Návrh výstuže</u>	ϕ/vzdialenosť v mm	Af,prov 5,655 · 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>
	12 200	

a) overenie miery vystuženia

$$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [cm^2]$$

	A <sub>f,min</sub> ≤ A <sub>f,prov</sub>	
	4,97 < 5,655	
	✓ VYHOVUJE	

---


$$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [cm^2]$$

	A <sub>f,max</sub> ≥ A <sub>f,prov</sub>	
	95,90 > 5,655	
	✓ VYHOVUJE	

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iterácie

$$\begin{aligned}\alpha &= 0,300 \\ \omega &= 0,344 \\ \epsilon_c &= 0,676 \text{ ‰} \\ x &= 25,18 \text{ mm}\end{aligned}\quad \epsilon_c = \frac{\epsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$$

c) moment na medzi únosnosti

$$\begin{aligned}F_{cc} &= 226,49 \text{ kN} & F_{cc} &= \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b \\ F_T &= 226,49 \text{ kN} & F_T &= A_{f,prov} \cdot f_{fd} \\ z &= 265,34 \text{ mm} & z &= d - \omega x\end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 60,10 \text{ kNm}$$

### 4.3.2.6. Všeobecný návrh hornej výstuže (2.vrstva)

Horná výstuž v 2.vrstve => smer X. Výstuž budeme navrhovať na minimálnu plochu výstuže.

Návrh výstuže

$\phi$ /vzdialenosť v mm  
12|200

$A_{f,prov}$   
 $5,655 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [\text{cm}^2]$	$A_{f,min} \leq A_{f,prov}$ 5,20 < 5,655
	✓ VYHOVUJE
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [\text{cm}^2]$	$A_{f,max} \geq A_{f,prov}$ 91,70 > 5,655
	✓ VYHOVUJE

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iteráčne

$\alpha = 0,306$	
$\omega = 0,344$	
$\epsilon_c = 0,693 \text{ ‰}$	$\epsilon_c = \frac{\epsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$
$x = 24,64 \text{ mm}$	

c) moment na medzi únosnosti

$F_{cc} = 226,49 \text{ kN}$	$F_{cc} = \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b$
$F_T = 226,49 \text{ kN}$	$F_T = A_{f,prov} \cdot f_{fd}$
$z = 253,52 \text{ mm}$	$z = d - \omega x$

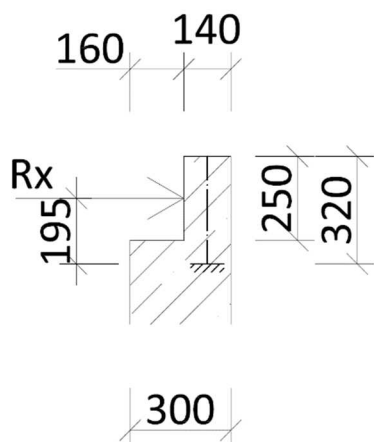
$M_{Rd} = 57,42 \text{ kNm}$

### 4.3.3. Výstupok na prefabrikáte B

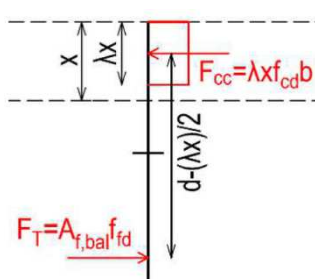
#### 4.3.3.1. Posúdenie na ohyb

$R_x = V_{Ed} = \frac{86,50}{1,55} = 55,81 \text{ kN/m}$

$M_{Ed} = 55,81 \cdot 0,195 = 10,88 \text{ kNm/m}$



Obrázok 4.16: Výstupok na stenách nádrže



$h = 140 \text{ mm}$   
 $b = 1000 \text{ mm}$   
 $d_1 = 32 \text{ mm}$   
 $d = 108 \text{ mm}$

$x_{bal} = 37,1 \text{ mm}$   
 $F_{cc} = 891,55 \text{ kN}$   
 $A_{f,bal} = 22,26 \text{ cm}^2$

$z = 93,14 \text{ mm}$   
 $M_{Rd} = 83,04 \text{ kNm}$

$x_{bal} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{fd}^{LT}} d$

$F_{cc} = \lambda \cdot x_{bal} \cdot f_{cd} \cdot b$

$F_{cc} = F_T$

$A_{f,bal} = F_T / f_{fd}$

$z = d - (\lambda x) / 2$

$M_{Rd} = F_T \cdot z$

Ohybový moment pri balančnom vystužení je väčší ako moment na betónovom výstupku => porušenie pretrhnutím výstuže.

Návrh výstuže

φ/vzdialenosť v mm  
8|100

A<sub>f,prov</sub>  
5,027 · 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>

a) overenie miery vystuženia

$A_{f,min} = \frac{f_{ctm} \cdot W_c}{0,83 \cdot f_{fk}^{LT} \cdot z} [cm^2]$	$A_{f,min}$	$\leq$	$A_{f,prov}$
	3,02	<	5,027
	✓ VYHOVUJE		
$A_{f,max} = 0,035 \cdot b \cdot d [cm^2]$	$A_{f,max}$	$\geq$	$A_{f,prov}$
	35,00	>	5,027
	✓ VYHOVUJE		

b) poloha neutrálnej osi spočítaná iterácie

$\alpha = 0,461$	
$\omega = 0,353$	
$\varepsilon_c = 1,138 \text{ ‰}$	$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x}$
$x = 14,56 \text{ mm}$	

c) moment na medzi únosnosti

$F_{cc} = 201,33 \text{ kN}$	$F_{cc} = \alpha \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b$
$F_T = 201,33 \text{ kN}$	$F_T = A_{f,prov} \cdot f_{fd}$
$z = 94,86 \text{ mm}$	$z = d - \omega x$
$M_{Rd} = 19,10 \text{ kNm}$	$M_{Rd} \geq M_{Ed}$
	19,10 > 10,88
	✓ VYHOVUJE

#### 4.3.3.2. Posúdenie na šmyk

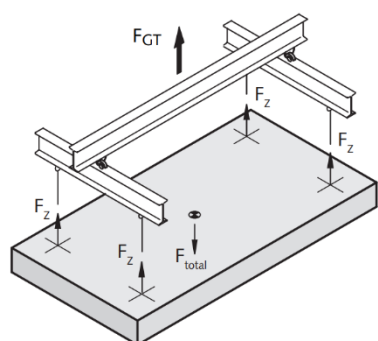
$$V_{cf} = 0,12 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right) \cdot \left(100 \cdot \frac{A_f}{b_w \cdot d} \cdot \frac{E_f}{E_s} \cdot \phi_\varepsilon \cdot f_{ck}\right)^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

$$\phi_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{fw}}{\varepsilon_y} = \frac{0,0045}{0,002174} = 2,07$$

$$V_{cf} = 0,12 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{200}{108}}\right) \cdot \left(100 \cdot \frac{5,027 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,108} \cdot \frac{60}{200} \cdot 2,07 \cdot 45\right)^{1/3} \cdot 1,0 \cdot 0,108$$

$$V_{cf} = 0,12 \cdot 2,361 \cdot 2,352 \cdot 0,108 = 0,07197 \text{ MN/m} = 71,97 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed} = 55,81 \text{ kN/m} < V_{cf} = 71,97 \text{ kN/m} \quad \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

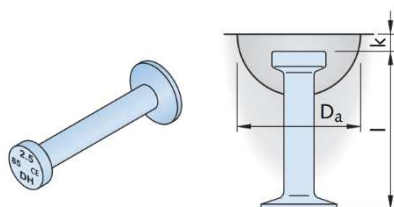


Obrázok 5.1: Spôsob manipulácie pri oboch prefabrikátoch (prevzaté z [21])

$$\beta = 0^\circ$$

$$\alpha = -$$

$$z = 1,00$$



Obrázok 5.2: Transportné kotvy s guľovou hlavou pre doskové konštrukcie (prevzaté z [21])

## 5. MANIPULÁCIA S PREFABRIKÁTMI

### 5.1. Prefabrikát A

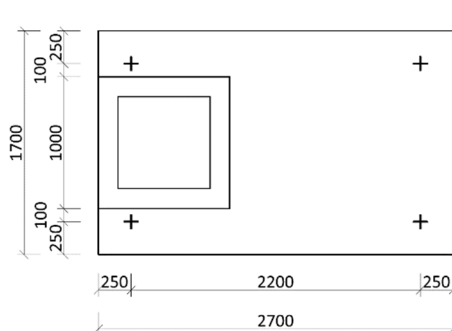
Vlastná tiaž prefabrikátu  $\Rightarrow F_G = 30,975 \text{ kN}$

Zaťaženie spôsobené priľnavosťou debnenia (drevené lakované)

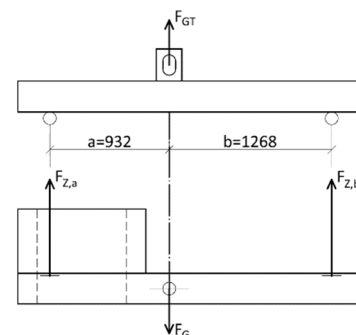
$$\Rightarrow q_{adh} = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Kontaktná plocha medzi betónom a debnením  $\Rightarrow A_f = 4,1 \text{ m}^2$

Spôsob manipulácie podľa obrázku 5.1. bude vo výrobní aj na stavbe rovnaký, navrhnuté sú 4 úchyty, za nosné sa uvažujú všetky 4 kotvy.



Obrázok 5.3: Uloženie kotiev v prefabrikáte A



Obrázok 5.4: Asymetrické prenesenie prefabrikátu A

Zodvihnutie prefabrikátu z debnenia vo výrobní:

$$F_{GT} = (F_G + q_{adh} \cdot A_f) \cdot z = (30,975 + 2,0 \cdot 4,1) \cdot 1,0 = 39,175 \text{ kN}$$

$$F_{Z,a} = [F_{GT} \cdot b / (a + b)] / n \quad F_{Z,b} = [F_{GT} \cdot a / (a + b)] / n$$

$$F_{Z,a} = [39,175 \cdot 1,268 / (0,932 + 1,268)] / 2 = 11,290 \text{ kN}$$

$$F_{Z,b} = [39,175 \cdot 0,932 / (0,932 + 1,268)] / 2 = 8,298 \text{ kN}$$

Preprava vo výrobní:

$$F_{GT} = F_G \cdot z = 30,975 \cdot 1,0 = 30,975 \text{ kN}$$

$$F_{Z,a} = [30,975 \cdot 1,268 / (0,932 + 1,268)] / 2 = 8,926 \text{ kN}$$

$$F_{Z,b} = [30,975 \cdot 0,932 / (0,932 + 1,268)] / 2 = 6,561 \text{ kN}$$

Preprava na stavbe:

$$F_{GT} = F_G \cdot z \cdot \psi_{dyn} = 30,975 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 40,268 \text{ kN}$$

$$F_{Z,a} = [40,268 \cdot 1,268 / (0,932 + 1,268)] / 2 = 11,605 \text{ kN} = F_{max}$$

$$F_{Z,b} = [40,268 \cdot 0,932 / (0,932 + 1,268)] / 2 = 8,529 \text{ kN}$$

Posúdenie:

Max. sila na vytrhnutie kotvy  $\Rightarrow F_{ci} = 13 \text{ kN}$

$$F_{max} = 11,605 \text{ kN} < F_{ci} = 13,00 \text{ kN} \quad \checkmark \quad \text{VYHOVUJE}$$

Doplnenie výstuže okolo kotiev nebude nutné  $\Rightarrow$  postačí už uložená výstuž.

Návrh:

4 transportné kotvy

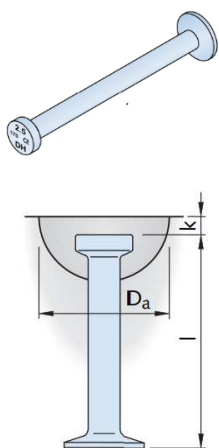
6000-1,3-0120

Hmotnostná skupina 1,3 t

Rozmery :  $l = 120 \text{ mm}$

$k = 10 \text{ mm}$

$D_a = 60 \text{ mm}$



Obrázok 5.5: Transportné kotvy s guľovou hlavou pre nosníky a steny (prevzaté z [21])

Návrh:

**4** transportné kotvy

**6000-10,0-0340**

Hmotnostná skupina **10,0 t**

Rozmery :  $l = 340 \text{ mm}$   
 $k = 15 \text{ mm}$   
 $D_a = 118 \text{ mm}$

## 5.2. Prefabrikát B

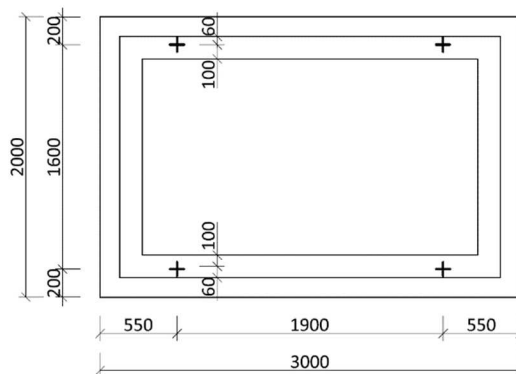
Vlastná tiaž prefabrikátu  $\Rightarrow F_G = 231,075 \text{ kN}$

Zaťaženie spôsobené priľnavosťou debnenia (drevené lakované)

$$\Rightarrow q_{adh} = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Kontaktná plocha medzi betónom a debnením  $\Rightarrow A_f = 6,0 \text{ m}^2$

Spôsob manipulácie podľa obrázku 5.1. bude vo výrobni aj na stavbe rovnaký, navrhnuté sú 4 úchyty, za nosné sa uvažujú všetky 4 kotvy.



Obrázok 5.6: Uloženie kotiev v prefabrikáte B

Zodvihnutie prefabrikátu z debnenia vo výrobni:

$$F_{GT} = (F_G + q_{adh} \cdot A_f) \cdot \frac{z}{n} = (231,075 + 2,0 \cdot 6,0) \cdot \frac{1,0}{4} = 60,769 \text{ kN}$$

Preprava vo výrobni:

$$F_{GT} = F_G \cdot \frac{z}{n} = 231,075 \cdot \frac{1,0}{4} = 57,769 \text{ kN}$$

Preprava na stavbe:

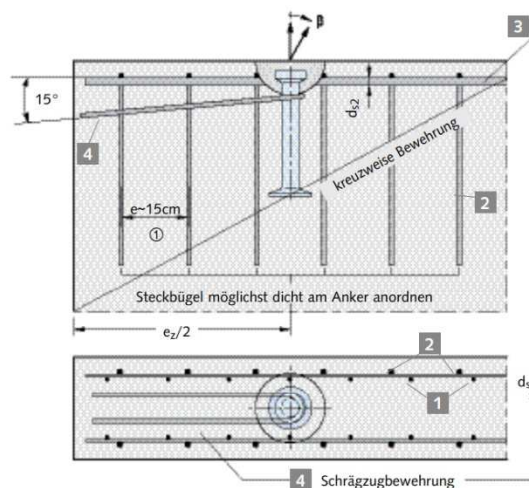
$$F_{GT} = F_G \cdot \frac{z \cdot \psi_{dyn}}{n} = 231,075 \cdot \frac{1,0 \cdot 1,3}{4} = 75,099 \text{ kN} = F_{max}$$

Posúdenie:

Max. sila na vytrhnutie kotvy  $\Rightarrow F_{ct} = 100 \text{ kN}$

$$F_{max} = 75,099 \text{ kN} < F_{ct} = 100,00 \text{ kN} \quad \checkmark \quad \text{VYHOVUJE}$$

Doplnenie výstuže:



Obrázok 5.7: Schéma vystuženia nosníkov a stien podľa [21]

Vystuženie na ohybový moment je dostačujúce aj pre transportnú kotvu, doplníme jedine sponu okolo kotvy 1 Ø 20, celková dĺžka výstuže bude min. 2,6 m.