



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

P2 – STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Beran

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.

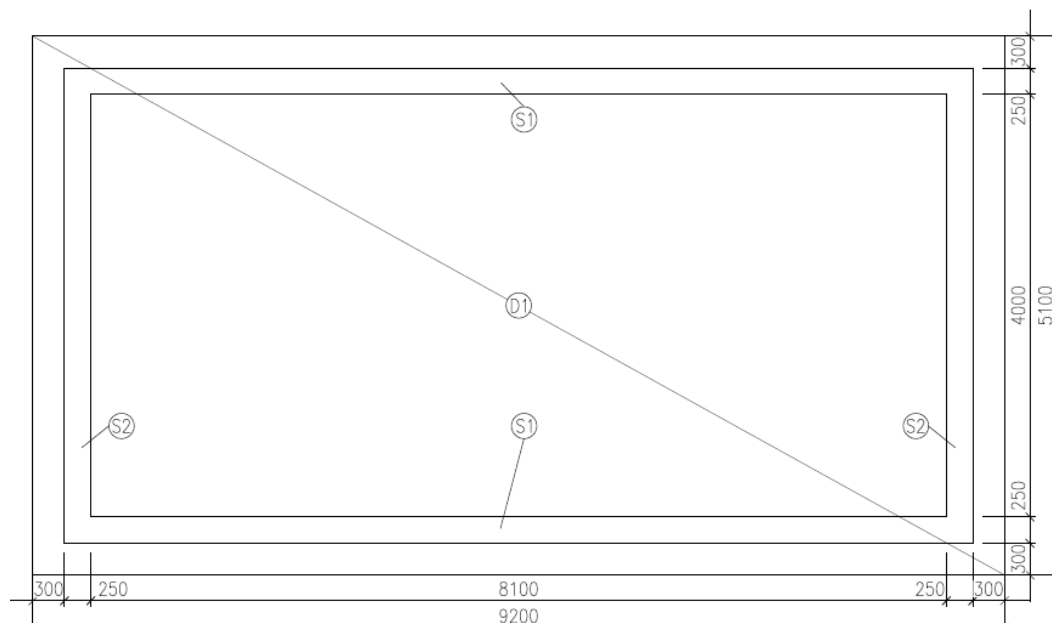
BRNO 2017

1. GEOMETRIE NÁDRŽE	4
2. ROZHODNUTÍ O TYPU NÁDRŽE.....	5
3. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	5
4. ZATÍŽENÍ.....	6
4.1. ZATÍŽENÍ STÁLÉ	6
4.1.1. VLASTNÍ TÍHA	6
4.1.2. VODA	6
4.1.3. STROPNÍ PANELE	6
4.1.4. ZEMINA	6
4.2. ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ	7
4.2.1. PROVOZ	7
4.3. ZATÍŽENÍ SMRŠŤOVÁNÍM	7
4.3.1. SMRŠŤOVÁNÍ DESKY.....	8
4.3.2. SMRŠŤOVÁNÍ STĚNY.....	9
4.3.3. VÝSLEDNÉ SMRŠŤOVÁNÍ	9
4.4. NAPĚTÍ V ZÁKLADOVÉ SPÁŘE	10
4.4.1. PLNÁ A NEZASYPANÁ NÁDRŽ.....	10
4.4.2. PLNÁ A ZASYPANÁ NÁDRŽ	10
4.4.3. PRÁZDNÁ A ZASYPANÁ NÁDRŽ.....	11
5. HLOUBKA DEFORMAČNÍ ZÓNY	12
6. ZATĚŽOVACÍ STAVY	13
6.1. ZS1 – VLASTNÍ TÍHA	13
6.2. ZS2 – VODA	13
6.3. ZS3 – STROPNÍ PANELE	14
6.4. ZS4 – ZEMINA	14
6.5. ZS5 – PŘÍTÍŽENÍ PROVOZEM.....	15
6.6. ZS6 – SMRŠŤOVÁNÍ	15
7. KOMBINACE ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ.....	16
7.1. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI	16
7.1.1. K1 – PLNÁ A NEZASYPANÁ	16
7.1.2. K2 – PLNÁ A ZASYPANÁ.....	16
7.1.3. K3 – PRÁZDNÁ A ZASYPANÁ.....	16
7.2. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	16
7.2.1. K1 – PLNÁ A NEZASYPANÁ	16
7.2.2. K2 – PLNÁ A ZASYPANÁ.....	16
7.2.3. K3 – PRÁZDNÁ A ZASYPANÁ.....	17
7.3. KOMBINACE PRO SOILIN	17
8. PODLOŽÍ	17
9. OVĚŘENÍ RUČNÍM VÝPOČTEM.....	18
9.1. OVĚŘENÍ MOMENTŮ	18
9.1.1. STĚNA S2	18
9.1.1.1. ZS2 – VODA	18
9.1.1.2. ZS5 – PŘÍTÍŽENÍ PROVOZEM.....	19
9.1.2. STĚNA S1	19

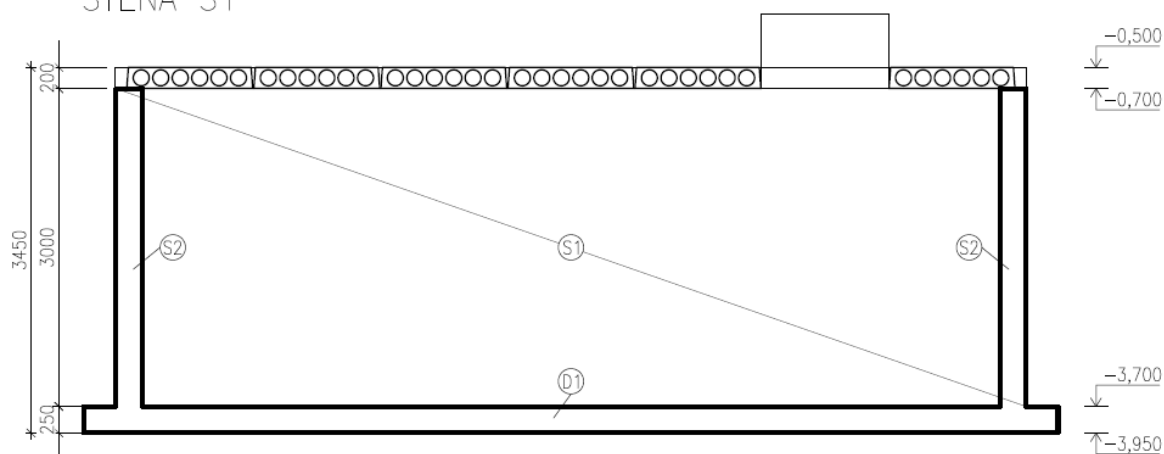
9.1.2.1. ZS2 – VODA	19
9.1.2.2. ZS5 – PŘÍTÍŽENÍ PROVOZEM.....	20
10. NÁVRH VÝZTUŽE.....	20
10.1. NÁVRH KRYTÍ VÝZTUŽE	20
10.2. NÁVRH VÝZTUŽE MSÚ	21
10.2.1. NÁVRH VÝZTUŽE STĚNY S1.....	21
10.2.1.1. NÁVRH HORNÍ VÝZTUŽE SMĚR Y	24
10.2.1.2. NÁVRH SPODNÍ VÝZTUŽE SMĚR Y.....	25
10.2.1.3. NÁVRH HORNÍ VÝZTUŽE SMĚR X.....	27
10.2.1.4. NÁVRH SPODNÍ VÝZTUŽE SMĚR X.....	28
10.2.2. NÁVRH VÝZTUŽE STĚNY S2.....	29
10.2.2.1. NÁVRH HORNÍ VÝZTUŽE SMĚR Y	32
10.2.2.2. NÁVRH SPODNÍ VÝZTUŽE SMĚR Y.....	34
10.2.2.3. NÁVRH HORNÍ VÝZTUŽE SMĚR X.....	35
10.2.2.4. NÁVRH SPODNÍ VÝZTUŽE SMĚR X.....	36
10.2.3. NÁVRH VÝZTUŽE DESKY	38
10.2.3.1. NÁVRH HORNÍ VÝZTUŽE SMĚR Y	40
10.2.3.2. NÁVRH SPODNÍ VÝZTUŽE SMĚR Y.....	41
10.2.3.3. NÁVRH HORNÍ VÝZTUŽE SMĚR X	43
10.2.3.4. NÁVRH SPODNÍ VÝZTUŽE SMĚR X.....	44
10.3. KONSTRUKČNÍ ZÁSADY	46
11. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	46
11.1. OMEZENÍ TRHLIN	46
11.1.1. STĚNY SMĚR Y	46
11.1.2. STĚNY SMĚR X	48
11.1.3. STĚNY SMĚR X SPODNÍ HRANA	50
11.1.4. DESKA SMĚR Y.....	52
11.1.5. DESKA SMĚR X	53
12. POSOUZENÍ NA VYPLAVÁNÍ.....	55

1. Geometrie nádrže

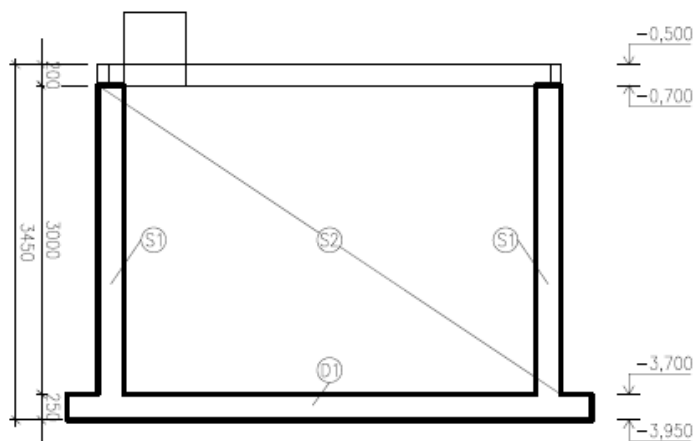
DNO NÁDRŽE – DESKA D1



STĚNA S1



STĚNA S2



2. Rozhodnutí o typu nádrže

$$a = 4,50 \text{ m}$$

$$b = 8,60 \text{ m}$$

$$h = 3,25 \text{ m}$$

$$\frac{a + b}{2} \geq h$$

$$\frac{4,50 + 8,60}{2} \geq 3,25$$

$$6,55 \geq 3,25 \Rightarrow \text{jedná se o střední nádrž}$$

3. Materiálové charakteristiky**Beton C30/37**

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$\rho = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

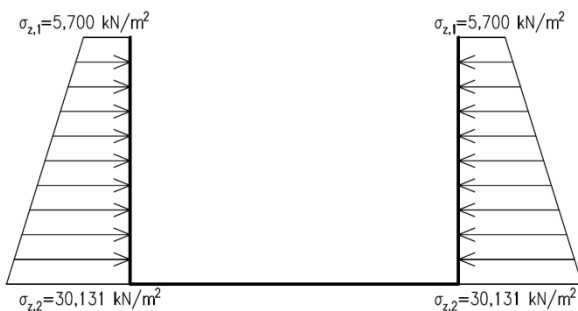
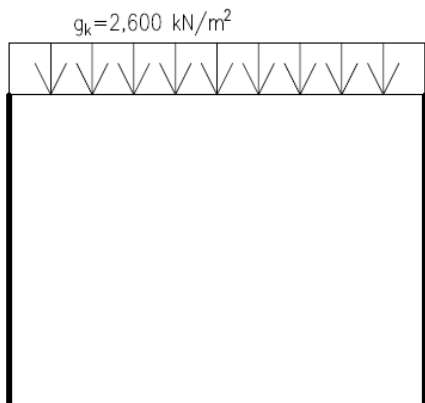
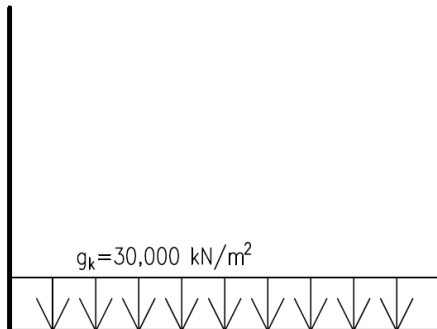
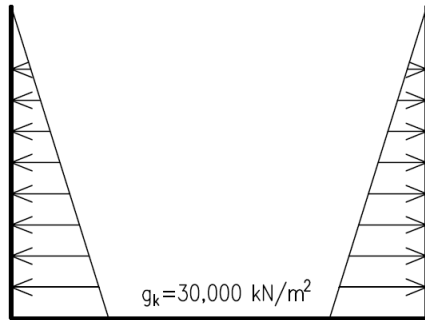
Ocel B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,783}{200} = 2,174 \text{ ‰}$$



4. Zatížení

4.1. Zatížení stálé

4.1.1. Vlastní tíha

- jako vlastní tíha je uvažován tvar konstrukce s objemovou tíhou železobetonu $\rho = 25 \text{ kN/m}^3$

4.1.2. Voda

$$\gamma_v = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$g_k = \gamma_v \cdot h_v = 10 \cdot 3,0 = \underline{30,000 \text{ kN/m}^2}$$

4.1.3. Stropní panely

- jako zastropení nádrže jsou uvažovány stropní předpjaté panely

Spiroll PPD 430/219

-únosnost panelu $19,5 \text{ kN/m}^2$

-vlastní tíha $2,6 \text{ kN/m}^2$

4.1.4. Zemina

- složení vrstev, normové charakteristiky a hodnoty tabulkové výpočtové únosnosti viz. 8. Podloží

Vodorovné zatížení

-je uvažován zemní tlak v klidu K_0

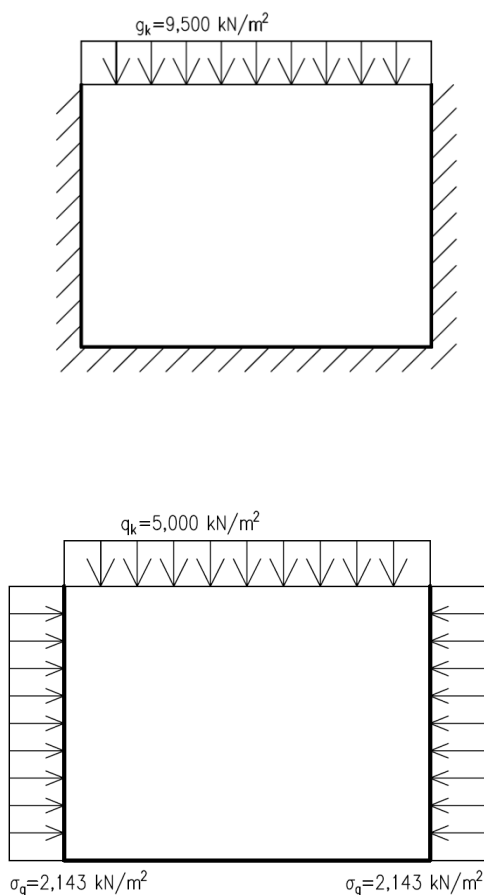
$$\nu = 0,3$$

$$\gamma_z = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu} = \frac{0,3}{1-0,3} = 0,4286$$

$$\sigma_{z,1} = \gamma_z \cdot h_1 \cdot K_0 = 19 \cdot 0,7 \cdot 0,4286 = \underline{5,700 \text{ kPa}}$$

$$\sigma_{z,2} = \gamma_z \cdot h_2 \cdot K_0 = 19 \cdot 3,7 \cdot 0,4286 = \underline{30,131 \text{ kPa}}$$

Svislé zatížení

$$\gamma_z = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$g_k = \gamma_z \cdot h_z = 19 \cdot 0,5 = \underline{9,500 \text{ kN/m}^2}$$

$$g_k = \gamma_z \cdot h_z = 19 \cdot 3,7 = \underline{70,300 \text{ kN/m}^2}$$

4.2. Zatížení proměnné4.2.1. Provoz

- přitížení provozem je uvažováno dle ČSN EN 1991-1-1 pro kategorii G –
- dopravní a parkovací plochy pro středně těžká vozidla ($30 \text{ kN} < \text{celková tíha vozidla} \leq 160 \text{ kN}$)

Svislé zatížení

$$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Vodorovné zatížení

- je uvažován zemní tlak v klidu $K_0 = 0,4286$

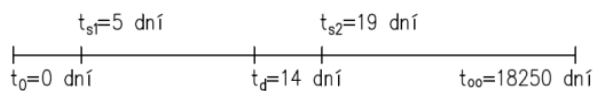
$$\sigma_q = q_k \cdot K_0 = 5,0 \cdot 0,4286 = \underline{2,143 \text{ kN/m}^2}$$

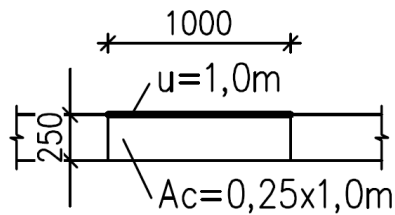
4.3. Zatížení smršťováním

- dále bude uvažováno zatížení smršťováním betonu způsobené rozdílnou betonáží spodní desky a stěn nádrže.
 - betonáž desky v čase $t = 0$ dní
 - ošetřování desky 5 dní
 - betonáž stěn v čase $t = 14$ dní
 - ošetřování stěn 5 dní
- do výpočtu je pro zjednodušení použito vždy výseku $1,0 \times 1,0 \text{ m}$ (desky, stěny).

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

- betonáž venku $\Rightarrow \epsilon_{cd,0} = 0,27\text{‰}$ (C30/37)
- životnost konstrukce 50 let (18 250 dní)





h_0	200	300	2500
k_h	0,85	0,75	0,70

4.3.1. Smršťování desky

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 1}{1} = 0,5 \text{ m}$$

$$\Rightarrow k_h = 0,74545$$

$$\beta_{ds(too;ts1)} = \frac{too - ts1}{(too - ts1) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}}$$

$$\beta_{ds(too;ts1)} = \frac{18250 - 5}{(18250 - 5) + 0,04 \cdot \sqrt{500^3}} = \underline{0,97607}$$

$$\beta_{ds(ts2;ts1)} = \frac{ts2 - ts1}{(ts2 - ts1) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}}$$

$$\beta_{ds(ts2;ts1)} = \frac{19 - 5}{(19 - 5) + 0,04 \cdot \sqrt{500^3}} = \underline{0,03035}$$

$$\beta_{ds(too;ts2)} = \beta_{ds(too;ts1)} - \beta_{ds(ts2;ts1)} =$$

$$\beta_{ds(too;ts2)} = 0,97607 - 0,03035 = \underline{0,94572}$$

$$\epsilon_{cd(too;ts2)} = \beta_{ds(too;ts2)} \cdot k_h \cdot \epsilon_{cd,0} =$$

$$\epsilon_{cd(too;ts2)} = 0,94572 \cdot 0,74545 \cdot 0,27 =$$

$$\epsilon_{cd(too;ts2)} = \underline{0,19035\text{‰}}$$

$$\beta_{as(too)} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{too}} =$$

$$\beta_{as(too)} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{18250}} = \underline{1}$$

$$\beta_{as(ts2)} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{ts2}} =$$

$$\beta_{as(ts2)} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{19}} = \underline{0,5818}$$

$$\beta_{as(too;ts2)} = \beta_{as(too)} - \beta_{as(ts2)} =$$

$$\beta_{as(too;ts2)} = 1 - 0,5818 = \underline{0,4182}$$

$$\epsilon_{ca(oo)} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} =$$

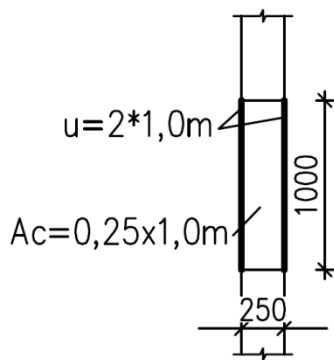
$$\epsilon_{ca(oo)} = 2,5 \cdot (30 - 10) \cdot 10^{-6} = \underline{0,05\text{‰}}$$

$$\epsilon_{ca(too;ts2)} = \beta_{as(too;ts2)} \cdot \epsilon_{ca(oo)} =$$

$$\epsilon_{ca(too;ts2)} = 0,4182 \cdot 0,05 = \underline{0,02091\text{‰}}$$

$$\epsilon_{cs(too;ts2)} = \epsilon_{cd(too;ts2)} + \epsilon_{ca(too;ts2)} =$$

$$\epsilon_{cs(too;ts2)} = 0,19035 + 0,02091 = \underline{0,21126\text{‰}}$$



h_0	200	300	2500
k_h	0,85	0,75	0,70

4.3.2. Smršťování stěny

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 1}{2 \cdot 1} = 0,25 \text{ m}$$

$$\Rightarrow k_h = 0,8$$

$$\beta_{ds(too;ts2)} = \frac{too - ts2}{(too - ts2) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}}$$

$$\beta_{ds(too;ts2)} = \frac{18250 - 19}{(18250 - 19) + 0,04 \cdot \sqrt{250^3}} = \underline{0,9914}$$

$$\varepsilon_{cd(too;ts2)} = \beta_{ds(too;ts2)} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} =$$

$$\varepsilon_{cd(too;ts2)} = 0,9914 \cdot 0,8 \cdot 0,27 = \underline{0,21414\text{‰}}$$

$$\beta_{as(too)} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{too}} =$$

$$\beta_{as(too)} = 1 - e^{-0,2 \cdot \sqrt{18236}} = \underline{1}$$

$$\beta_{as(too;ts2)} = \beta_{as(too)} = \underline{1}$$

$$\varepsilon_{ca(oo)} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} =$$

$$\varepsilon_{ca(oo)} = 2,5 \cdot (30 - 10) \cdot 10^{-6} = \underline{0,05\text{‰}}$$

$$\varepsilon_{ca(too;ts2)} = \beta_{as(too;ts2)} \cdot \varepsilon_{ca(oo)} =$$

$$\varepsilon_{ca(too;ts2)} = 1 \cdot 0,05 = \underline{0,05\text{‰}}$$

$$\varepsilon_{cs(too;ts2)} = \varepsilon_{cd(too;ts2)} + \varepsilon_{ca(too;ts2)} =$$

$$\varepsilon_{cs(too;ts2)} = 0,21414 + 0,05 = \underline{0,26414\text{‰}}$$

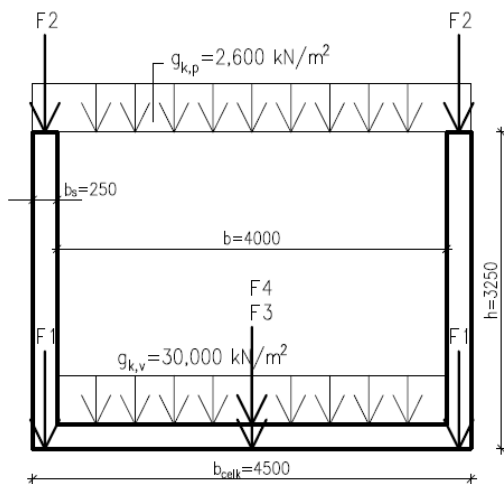
4.3.3. Výsledné smršťování

- rozdíl poměrného přetvoření od smršťování bude převeden na teplotní rozdíl, kdy tímto rozdílem budou ochlazeny stěny nádrže. Touto úpravou dostaneme potřebný zatěžovací stav.

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{cs(too;ts2),stěna} - \varepsilon_{cs(too;ts2),deska} =$$

$$\Delta\varepsilon = 0,26414 - 0,21126 = \underline{0,05288\text{‰}}$$

$$\Delta T = \frac{\Delta\varepsilon}{\alpha t} = \frac{0,00005288}{0,00001} = \underline{5,288\text{K}}$$



4.4. Napětí v základové spáře

4.4.1. Plná a nezasypaná nádrž

$$F1 = b_s \cdot h \cdot \rho \cdot z.š. =$$

$$F1 = 0,25 \cdot 3,25 \cdot 25 \cdot 1 = \underline{20,313 \text{ kN}}$$

$$F2 = b_{celk} / 2 \cdot g_{k,p} \cdot z.š. =$$

$$F2 = 4,5 / 2 \cdot 2,6 \cdot 1 = \underline{5,85 \text{ kN}}$$

$$F3 = b_s \cdot b \cdot \rho \cdot z.š. =$$

$$F3 = 0,25 \cdot 4,0 \cdot 25 \cdot 1 = \underline{25,000 \text{ kN}}$$

$$F4 = b \cdot g_{k,v} \cdot z.š. =$$

$$F4 = 4,0 \cdot 30 \cdot 1 = \underline{120,000 \text{ kN}}$$

$$\Sigma F = 2 \cdot F1 + 2 \cdot F2 + F3 + F4 =$$

$$\Sigma F = 2 \cdot 20,313 + 2 \cdot 5,85 + 25 + 120 =$$

$$\Sigma F = \underline{197,326 \text{ kN}}$$

$$A = b_{celk} \cdot z.š. = 4,5 \cdot 1 = \underline{4,5 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{zk} = \frac{\Sigma F}{A} = \frac{197,326}{4,5} = \underline{43,85 \text{ kPa}}$$

Posouzení:

$$\sigma_{zk} \leq R_{dt}$$

$$43,85 \text{ kPa} \leq 350 \text{ kPa} \Rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

4.4.2. Plná a zasypaná nádrž

$$F1 = b_s \cdot h \cdot \rho \cdot z.š. =$$

$$F1 = 0,25 \cdot 3,25 \cdot 25 \cdot 1 = \underline{20,313 \text{ kN}}$$

$$F2 = b_{celk} / 2 \cdot g_{k,p} \cdot z.š. =$$

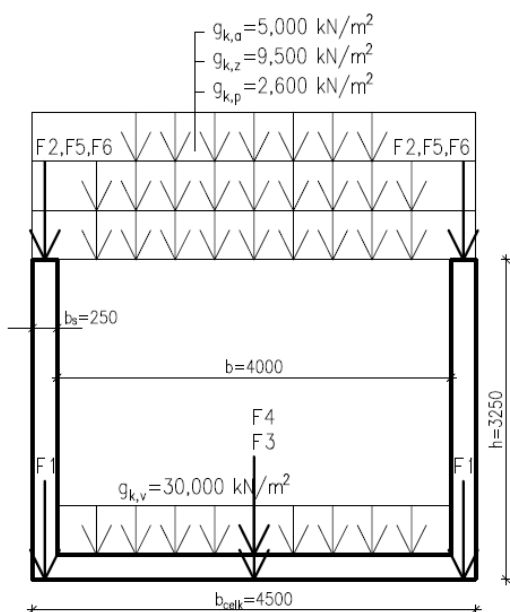
$$F2 = 4,5 / 2 \cdot 2,6 \cdot 1 = \underline{5,85 \text{ kN}}$$

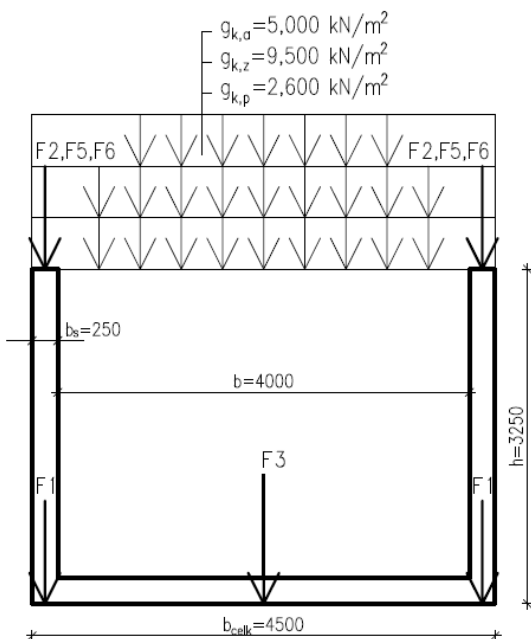
$$F3 = b_s \cdot b \cdot \rho \cdot z.š. =$$

$$F3 = 0,25 \cdot 4,0 \cdot 25 \cdot 1 = \underline{25,000 \text{ kN}}$$

$$F4 = b \cdot g_{k,v} \cdot z.š. =$$

$$F4 = 4,0 \cdot 30 \cdot 1 = \underline{120,000 \text{ kN}}$$





$$F5 = b_{\text{celk}} / 2 * g_{k,z} * z.š. =$$

$$F5 = 4,5 / 2 * 9,5 * 1 = \underline{21,375 \text{ kN}}$$

$$F6 = b_{\text{celk}} / 2 * g_{k,a} * z.š. =$$

$$F6 = 4,5 / 2 * 5,0 * 1 = \underline{11,250 \text{ kN}}$$

$$\Sigma F = 2 * F1 + 2 * F2 + F3 + F4 + 2 * F5 + 2 * F6 =$$

$$\Sigma F = 2 * 20,313 + 2 * 5,85 + 25 + 120 +$$

$$+ 2 * 21,375 + 2 * 11,25 = \underline{262,576 \text{ kN}}$$

$$A = b_{\text{celk}} * z.š. = 4,5 * 1 = \underline{4,5 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{zk} = \frac{\Sigma F}{A} = \frac{262,576}{4,5} = \underline{58,35 \text{ kPa}}$$

Posouzení:

$$\sigma_{zk} \leq R_{dt}$$

$$58,35 \text{ kPa} \leq 350 \text{ kPa} \Rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

4.4.3. Prázdná a zasypaná nádrž

$$F1 = b_s * h * \rho * z.š. =$$

$$F1 = 0,25 * 3,25 * 25 * 1 = \underline{20,313 \text{ kN}}$$

$$F2 = b_{\text{celk}} / 2 * g_{k,p} * z.š. =$$

$$F2 = 4,5 / 2 * 2,6 * 1 = \underline{5,85 \text{ kN}}$$

$$F3 = b_s * b * \rho * z.š. =$$

$$F3 = 0,25 * 4,0 * 25 * 1 = \underline{25,000 \text{ kN}}$$

$$F5 = b_{\text{celk}} / 2 * g_{k,z} * z.š. =$$

$$F5 = 4,5 / 2 * 9,5 * 1 = \underline{21,375 \text{ kN}}$$

$$F6 = b_{\text{celk}} / 2 * g_{k,a} * z.š. =$$

$$F6 = 4,5 / 2 * 5,0 * 1 = \underline{11,250 \text{ kN}}$$

$$\Sigma F = 2 * F1 + 2 * F2 + F3 + 2 * F5 + 2 * F6 =$$

$$\Sigma F = 2 * 20,313 + 2 * 5,85 + 25 +$$

$$+ 2 * 21,375 + 2 * 11,25 = \underline{142,576 \text{ kN}}$$

$$A = b_{\text{celk}} * z.š. = 4,5 * 1 = \underline{4,5 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{zk} = \frac{\Sigma F}{A} = \frac{142,576}{4,5} = \underline{31,68 \text{ kPa}}$$

Posouzení:

$$\sigma_{zk} \leq R_{dt}$$

$$31,68 \text{ kPa} \leq 350 \text{ kPa} \Rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

5. Hloubka deformační zóny

- Maximální napětí v základové spáře vzniká od kombinace plné a zasypané nádrže: $\sigma_{zk} = 58,35 \text{ kPa}$

$$h = 3,95 \text{ m}$$

$$b = 4,50 \text{ m}$$

$$l = 8,60 \text{ m}$$

$$\gamma_z = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma_{ol} = \sigma_{zk} - (\gamma_z \cdot h) = 58,35 - (19 \cdot 3,95) =$$

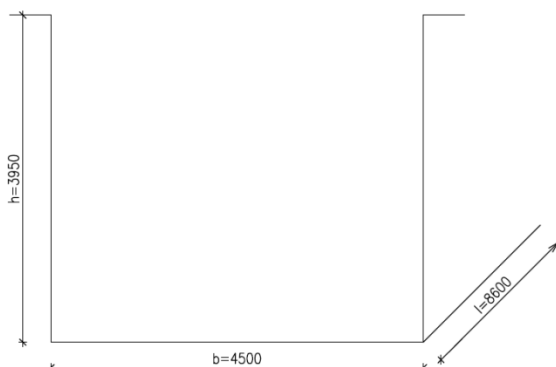
$$\sigma_{ol} = \underline{-16,7 \text{ kPa}}$$

- přetížení v základové spáře od konstrukce je menší než stávající stav, proto je dále uvažováno nulové sedání konstrukce.

- jelikož hloubka deformační zóny je nulová a nelze spočítat parametry zeminy C1 (pružný odpor okolí proti deformaci) a C2 (pružný odpor okolí proti usmýknutí), budou tyto hodnoty při zadávání do softwaru pomocí metody SOILIN ponechány v primárním nastavení které se obecně doporučuje:

$$C1 = 10 \text{ MN/m}^3$$

$$C2 = 5 \text{ MN/m}^3$$



6. Zatěžovací stavy

- je uvažováno celkem 6 zatěžovacích stavů:

ZS1 – Vlastní tíha

ZS2 – Voda

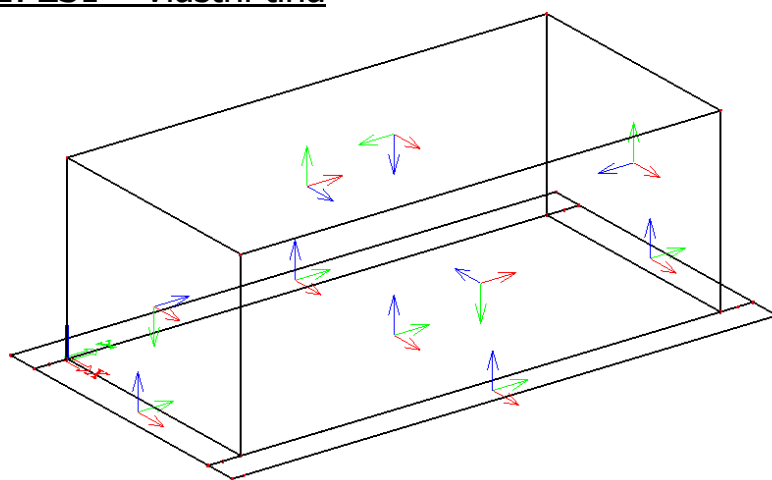
ZS3 – Stropní panely

ZS4 – Zemina

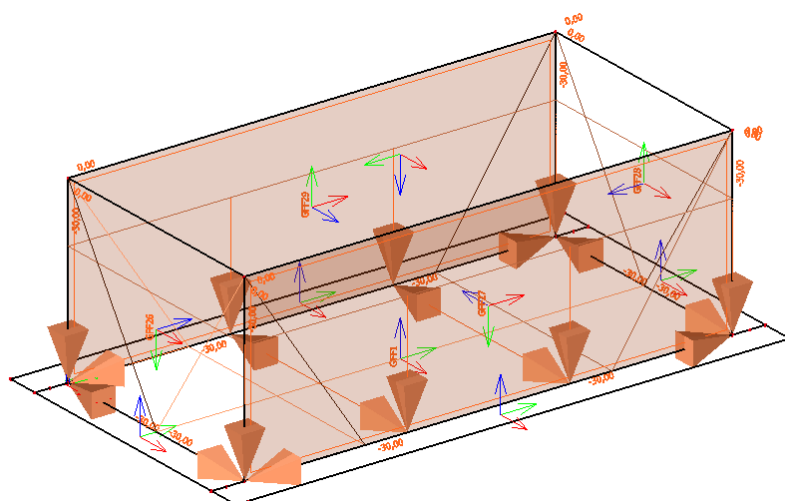
ZS5 – Přetížení provozem

ZS6 – Smršťování

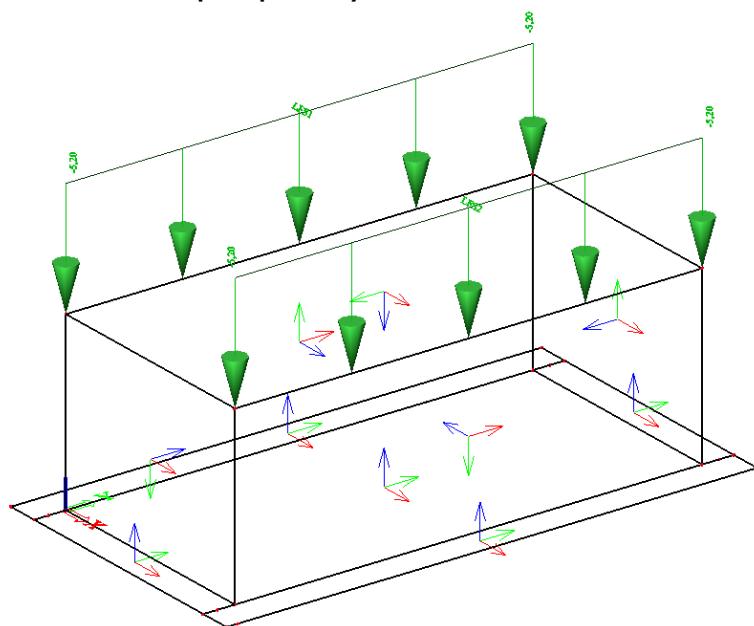
6.1. ZS1 – Vlastní tíha



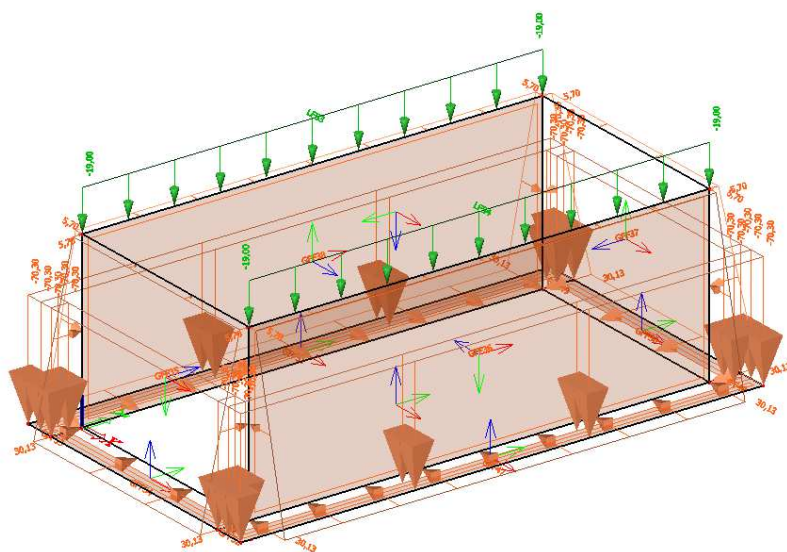
6.2. ZS2 – Voda



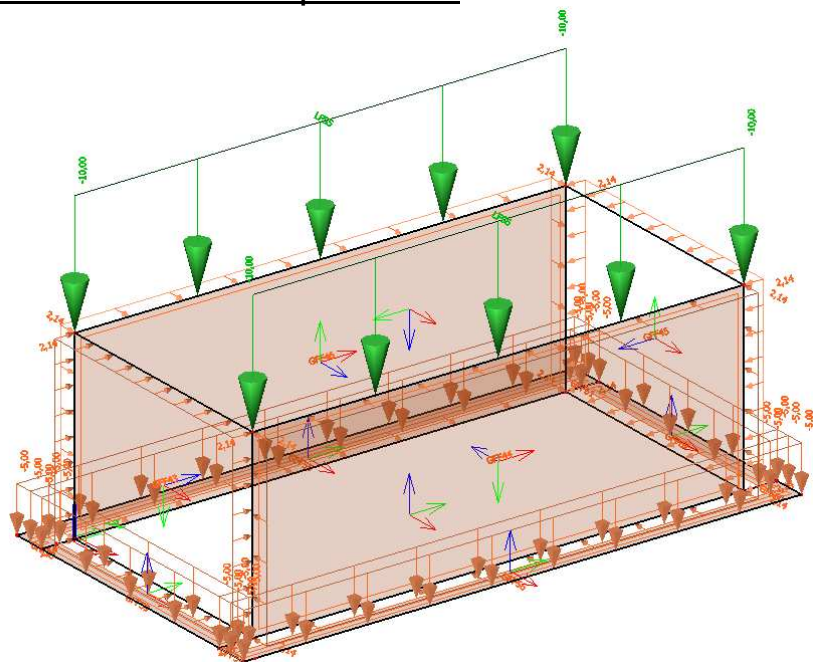
6.3. ZS3 – Stropní panely



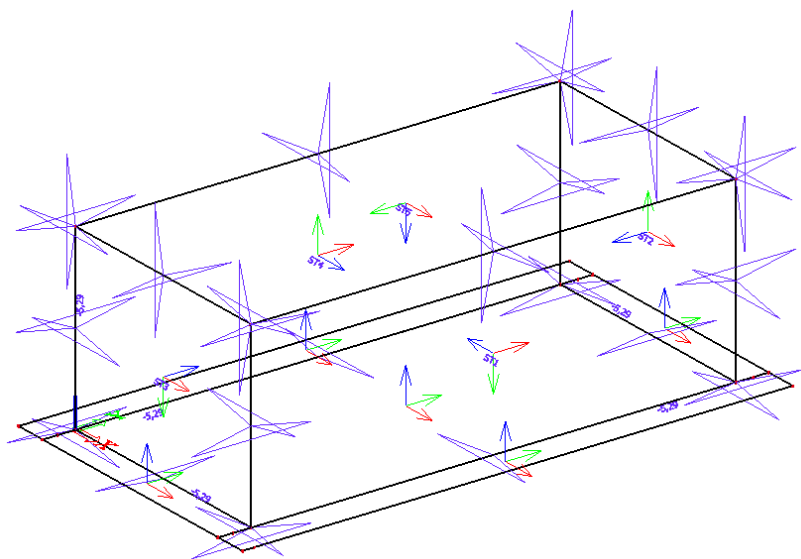
6.4. ZS4 – Zemina



6.5. ZS5 – Přetížení provozem



6.6. ZS6 – Smršťování



7. Kombinace zatěžovacích stavů

7.1. Mezní Stav Únosnosti

7.1.1. K1 – Plná a nezasypaná

- 6.10a

$$\gamma_G^*(ZS1+ZS2+ZS3)+ZS6$$

- 6.10b

$$\xi^* \gamma_G^*(ZS1+ZS2+ZS3)+ZS6$$

7.1.2. K2 – Plná a zasypaná

- 6.10a

$$\gamma_G^*(ZS1+ZS2+ZS3+ZS4)+ \\ +\gamma_Q^*\psi_0^*ZS5+ZS6$$

- 6.10b

$$\xi^* \gamma_G^*(ZS1+ZS2+ZS3+ZS4)+ \\ +\gamma_Q^*ZS5+ZS6$$

7.1.3. K3 – Prázdná a zasypaná

- 6.10a

$$\gamma_G^*(ZS1+ZS3+ZS4)+\gamma_Q^*\psi_0^*ZS5+ZS6$$

- 6.10b

$$\xi^* \gamma_G^*(ZS1+ZS3+ZS4)+\gamma_Q^*ZS5+ZS6$$

7.2. Mezní Stav Použitelnosti

- MSP posuzován z hlediska trhlin, bude uvažována charakteristická kombinace.

7.2.1. K1 – Plná a nezasypaná

- 6.14b

$$ZS1+ZS2+ZS3+ZS6$$

7.2.2. K2 – Plná a zasypaná

- 6.14b

$$ZS1+ZS2+ZS3+ZS4+ZS5+ZS6$$

7.2.3. K3 – Prázdná a zasypaná

- 6.14b

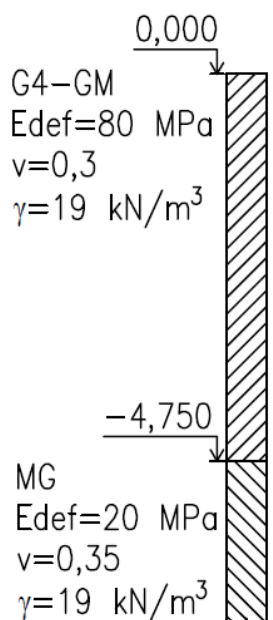
ZS1+ZS3+ZS4+ZS5+ZS6

7.3. Kombinace pro SOILIN

- kombinace pro metodu SOILIN je zvolena lineární použitelnost pro plnou a zasypanou nádrž:

 K_{SOILIN} :

ZS1+ZS2+ZS3+ZS4+ZS5+ZS6

8. Podloží1. Vrstva (0 - 4,75 m)

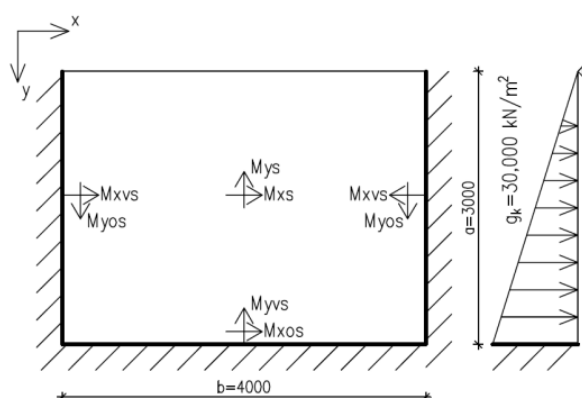
- štěrk hlinitý G4-GM

 $\nu = 0,3$ $\gamma_z = 19 \text{ kN/m}^3$ $E_{def} = 80 \text{ MPa}$ 2. Vrstva (4,75 - oo m)

- hlína štěrkovitá MG

 $\nu = 0,35$ $\gamma_z = 19 \text{ kN/m}^3$ $E_{def} = 20 \text{ MPa}$

- při výpočtu metodou SOILIN byly provedeny 3 iterace.



M	SCIA	Ručně	Rozdíl
[-]	[kNm]	[kNm]	[%]
M_{yvs}	13,11	12,825	2,174
M_{ys}	4,74	4,412	6,920
M_{yos}	1,68	1,368	18,571
M_{xvs}	9,80	9,120	6,939
M_{xos}	2,46	1,924	21,789
M_{xs}	3,70	3,288	11,135

9. Ověření ručním výpočtem

9.1. Ověření momentů

9.1.1. Stěna S2

- výpočet pomocí: Tabulky pro výpočet desek a stěn

9.1.1.1. ZS2 – Voda

$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{3}{4} = 0,75 ; \nu = 0,15$$

$$M_{yvs} = 0,0475 \cdot g \cdot a^2 = 0,0475 \cdot 30 \cdot 3^2$$

$$M_{yvs} = \underline{12,825 \text{ kNm}}$$

$$M_{ys} = 0,01745 \cdot g \cdot a^2 = 0,01745 \cdot 30 \cdot 3^2$$

$$M_{ys} = \underline{4,712 \text{ kNm}}$$

$$M_{yos} = \nu \cdot 0,019 \cdot g \cdot b^2 = 0,15 \cdot 0,019 \cdot 30 \cdot 4^2$$

$$M_{yos} = \underline{1,368 \text{ kNm}}$$

$$M_{xvs} = 0,019 \cdot g \cdot b^2 = 0,019 \cdot 30 \cdot 4^2$$

$$M_{xvs} = \underline{9,120 \text{ kNm}}$$

$$M_{xos} = \nu \cdot 0,0475 \cdot g \cdot a^2 = 0,15 \cdot 0,0475 \cdot 30 \cdot 3^2$$

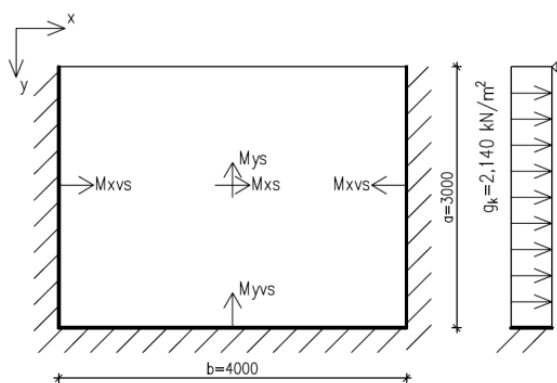
$$M_{xos} = \underline{1,924 \text{ kNm}}$$

$$M_{xs} = 0,00685 \cdot g \cdot b^2 = 0,00685 \cdot 30 \cdot 4^2$$

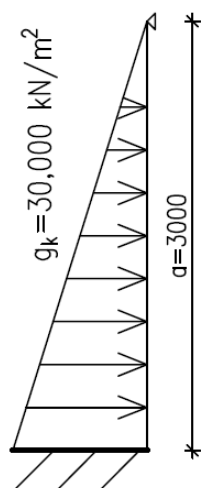
$$M_{xs} = \underline{3,288 \text{ kNm}}$$

Celkový rozdíl:

$$\frac{\Sigma \text{rozdíl}}{\Sigma M} = \frac{67,789}{6} = \underline{11,255\%}$$



M [-]	SCIA [kNm]	Ručně [kNm]	Rozdíl [%]
M_{yvs}	1,48	1,627	9,932
M_{ys}	0,71	0,632	10,986
M_{xvs}	1,67	1,400	16,168
M_{xs}	0,64	0,401	37,344



9.1.1.2. ZS5 – Přetížení provozem

$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{3}{4} = 0,75 ; v = 0,0$$

$$M_{yvs} = 0,0845 * g * a^2 = 0,0845 * 2,14 * 3^2$$

$$M_{yvs} = \underline{1,627 \text{ kNm}}$$

$$M_{ys} = 0,0328 * g * a^2 = 0,0328 * 2,14 * 3^2$$

$$M_{ys} = \underline{0,632 \text{ kNm}}$$

$$M_{xvs} = 0,0409 * g * b^2 = 0,0409 * 2,14 * 4^2$$

$$M_{xvs} = \underline{1,400 \text{ kNm}}$$

$$M_{xs} = 0,0117 * g * b^2 = 0,0117 * 2,14 * 4^2$$

$$M_{xs} = \underline{0,401 \text{ kNm}}$$

Celkový rozdíl:

$$\frac{\Sigma \text{rozdíl}}{\Sigma M} = \frac{74,430}{4} = \underline{18,608\%}$$

9.1.2. Stěna S1

- výpočet jako stěnový nosník

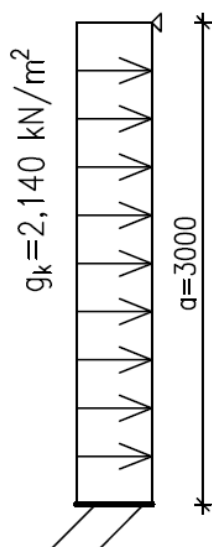
9.1.2.1. ZS2 – Voda

$$M = 1/15 * g * l^2 = 1/15 * 30 * 3^2 = \underline{18 \text{ kNm}}$$

$$M_{SCIA} = \underline{18,72 \text{ kNm}}$$

Celkový rozdíl:

$$100 - \frac{M_{scia} * 100}{M} = 100 - \frac{18,72 * 100}{18} = \underline{4,000\%}$$



9.1.2.2. ZS5 – Přetížení provozem

$$M = 1/8 * g * l^2 = 1/15 * 2,14 * 3^2 = 2,408 \text{ kNm}$$

$$M_{SCIA} = \underline{2,37 \text{ kNm}}$$

Celkový rozdíl:

$$100 - \frac{M_{scia} * 100}{M} = 100 - \frac{2,37 * 100}{2,408} = \underline{1,578\%}$$

- rozdíly ve výpočtu momentů jsou mezi 1,6% až 18,6%, to lze brát za přijatelné a dále budou uvažovány návrhové veličiny ze statického softwaru SCIA Engineer 16.1.

10. Návrh výztuže

- materiálové charakteristiky - kapitola 2.
- třída prostředí XD2 – mokré, zřídka suché prostředí
- třída konstrukce S4 (životnost 50 let)

10.1. Návrh krytí výztuže

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

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

$$c_{min,b} = \emptyset = 10\text{mm}$$

$$c_{min,dur} = 40\text{mm} \text{ (XD2/S4)}$$

$$c_{min} = \max\{10; 40; 10\text{mm}\} = 40\text{mm}$$

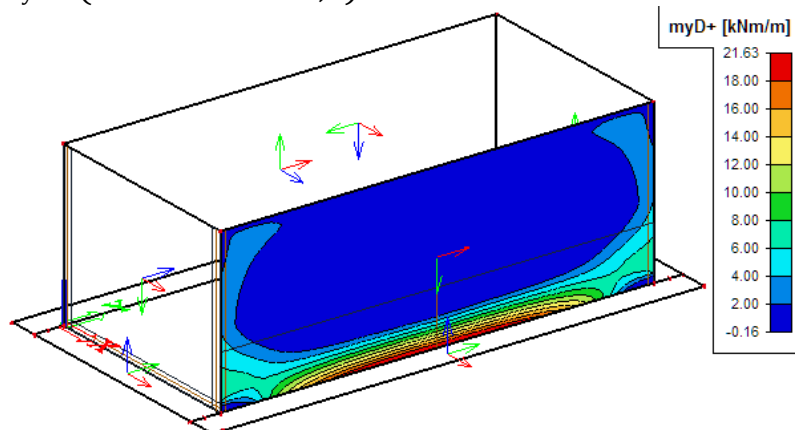
$$\Delta c_{dev} = 10\text{mm}$$

$$c_{nom} = 40 + 10 = \underline{50\text{mm}}$$

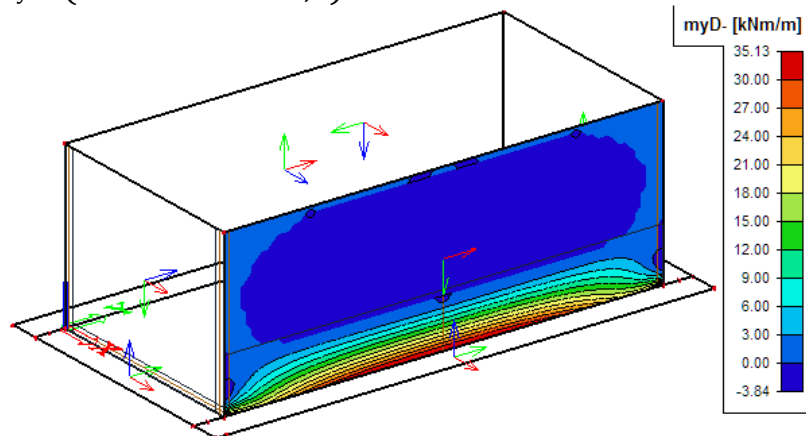
10.2. Návrh výztuže MSÚ

10.2.1. Návrh výztuže stěny S1

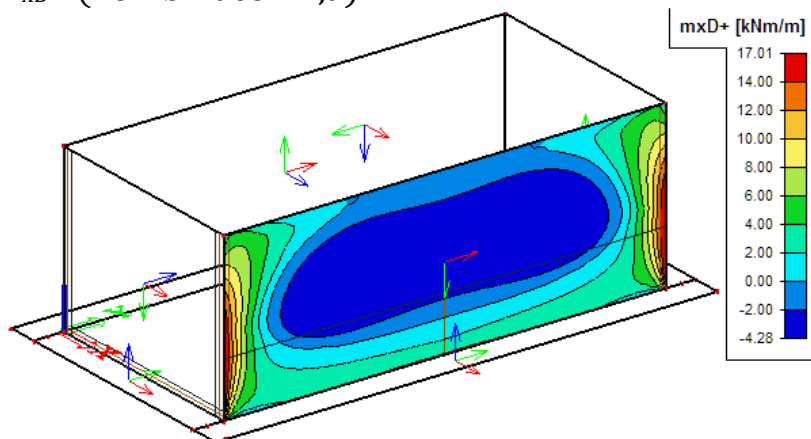
M_{yD}^+ (kombinace K1,a)

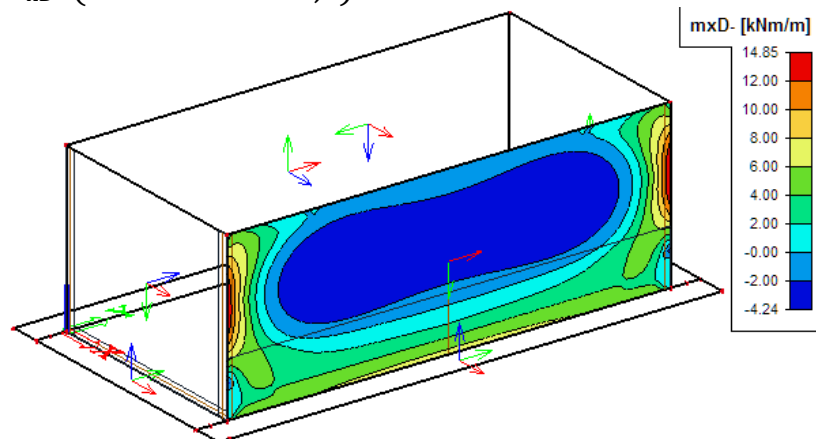
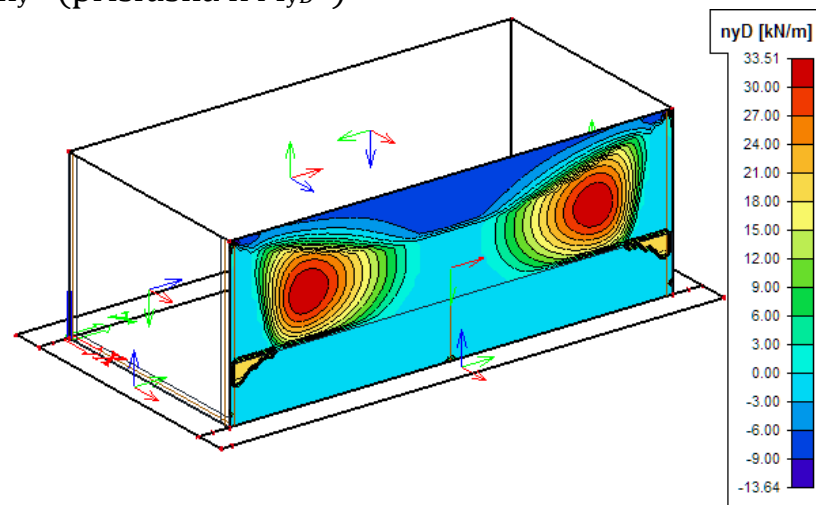
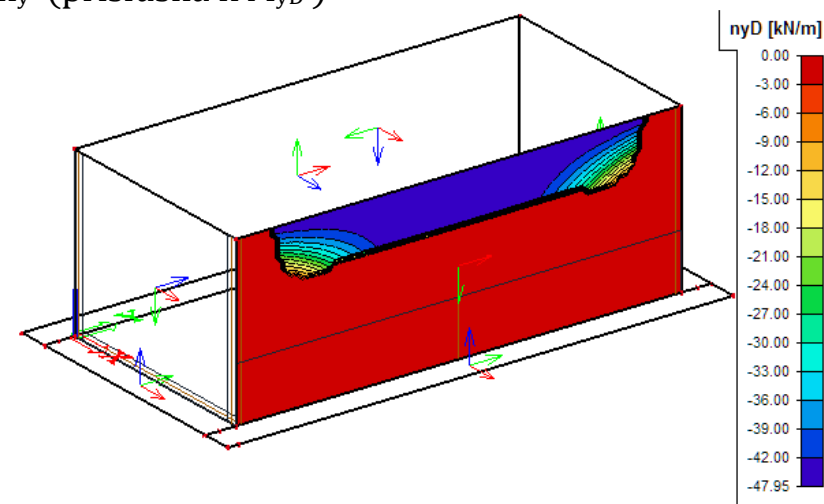


M_{yD}^- (kombinace K3,a)

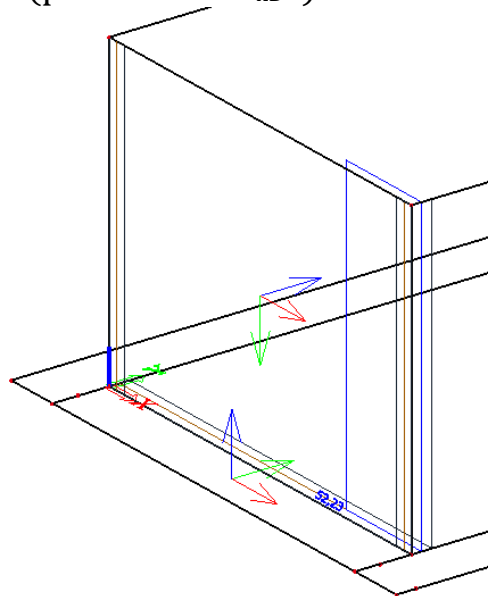


M_{xD}^+ (kombinace K1,a)

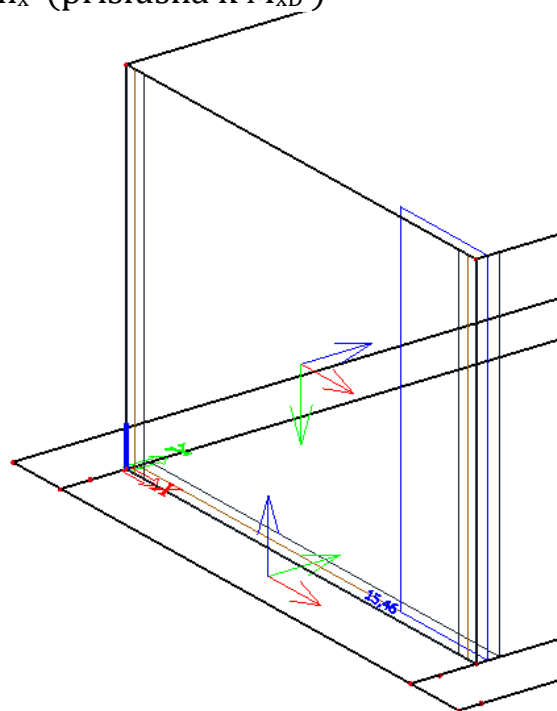


M_{xD^-} (kombinace K3,a) n_{y^+} (příslušná k M_{yD^+}) n_{y^-} (příslušná k M_{yD^-})

n_x^+ (příslušná k M_{xD}^+)



n_x^- (příslušná k M_{xD}^-)



$$M_{yD}^+ = 21,63 \text{ kNm}$$

$$M_{yD}^- = 35,13 \text{ kNm}$$

$$M_{xD}^+ = 17,01 \text{ kNm}$$

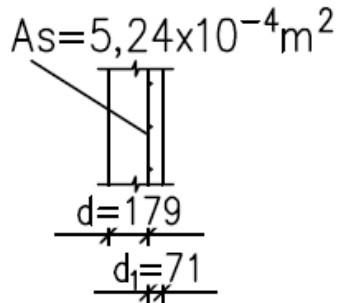
$$M_{xD}^- = 14,85 \text{ kNm}$$

$$n_y^+ \cong 0 \text{ kN}$$

$$n_y^- \cong 0 \text{ kN}$$

$$n_x^+ \cong 52,23 \text{ kN}$$

$$n_x^- \cong 15,46 \text{ kN}$$

10.2.1.1. Návrh horní výztuže směr Y

$$M_{yD}^+ = 21,63 \text{ kNm} ; n_{y^+} \cong 0 \text{ kN}$$

- posouzení na prostý ohyb

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_s + \emptyset_p + \emptyset / 2 = 50 + 6 + 10 + 10 / 2 =$$

$$d_1 = \underline{71 \text{ mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,071 = \underline{0,179 \text{ m}}$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 0,185 = \underline{0,1611 \text{ m}}$$

$$A_{s,req} = b * d * \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 * M_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}} \right)} \right)$$

$$1 * 0,179 * \left(\frac{20}{434,8} \right) * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 * 21,63}{1 * 0,179^2 * 20000} \right)} \right) =$$

$$= \underline{2,83 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, \acute{a} = 150 \text{ mm}$$

$$\underline{A_s = 5,24 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Kontrola plochy výztuže

$$A_{s,min} = 0,002 * A_c = 0,002 * 0,25 = \underline{5 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 0,25 = \underline{100 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \Rightarrow$$

$$5 * 10^{-4} < 5,24 * 10^{-4} < 100 * 10^{-4} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola tlačené oblasti

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{b * \lambda * f_{cd}} = \frac{0,000524 * 434,8}{1 * 0,8 * 20} = \underline{0,0142 \text{ m}}$$

$$x_{bal,1} = d * \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{yd}} = 0,179 * \frac{3,5}{3,5 + 2,174}$$

$$x_{bal,1} = \underline{0,1104 \text{ m}}$$

$$x \leq x_{bal,1} \Rightarrow 0,0142 \leq 0,1104 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0142} (0,179 - 0,0142)$$

$$\varepsilon_s = \underline{40,62\text{‰}}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \Rightarrow 40,62 > 2,174 \text{ ‰} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola únosnosti

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,179 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0142 =$$

$$z_c = \underline{0,173\text{m}}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 5,24 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,173$$

$$M_{Rd} = \underline{39,42 \text{ kNm}}$$

$$M_{ed} \leq M_{Rd} \Rightarrow 21,63 \leq 39,42 \text{ kNm} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

10.2.1.2. Návrh spodní výztuže směr Y

$$M_{yD} = 35,13 \text{ kNm} ; n_y \cong 0 \text{ kN}$$

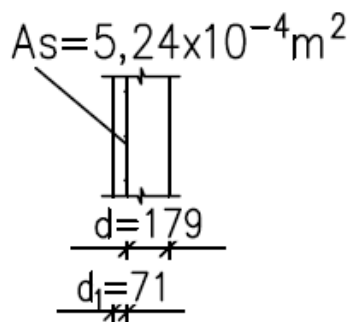
- posouzení na prostý ohyb

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_s + \emptyset_p + \emptyset / 2 = 50 + 6 + 10 + 10 / 2 =$$

$$d_1 = \underline{71\text{mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,071 = \underline{0,179\text{m}}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,185 = \underline{0,1611\text{m}}$$



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

$$1 \cdot 0,179 \cdot \left(\frac{20}{434,8} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 35,13}{1 \cdot 0,179^2 \cdot 20000} \right)} \right) =$$

$$= \underline{4,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, a = 150\text{mm}$$

$$\underline{A_s = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Kontrola plochy výztuže

$$A_{s,min} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 0,25 = \underline{5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 = \underline{100 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \Rightarrow$$

$$5 \cdot 10^{-4} < 5,24 \cdot 10^{-4} < 100 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola tlačené oblasti

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{0,000524 \cdot 434,8}{1 \cdot 0,8 \cdot 20} = \underline{0,0142m}$$

$$x_{bal,1} = d \cdot \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = 0,179 \cdot \frac{3,5}{3,5 + 2,174}$$

$$x_{bal,1} = \underline{0,1104m}$$

$$x \leq x_{bal,1} \Rightarrow 0,0142 \leq 0,1104 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0142} (0,179 - 0,0142)$$

$$\varepsilon_s = \underline{40,62\text{‰}}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \Rightarrow 40,62 > 2,174 \text{ ‰} \quad \text{vyhovuje}$$

Kontrola únosnosti

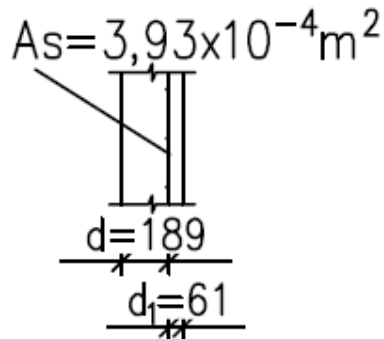
$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,179 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0142 =$$

$$z_c = \underline{0,173m}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 5,24 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,173$$

$$M_{Rd} = \underline{39,42 \text{ kNm}}$$

$$M_{ed} \leq M_{Rd} \Rightarrow 35,13 \leq 39,42 \text{ kNm} \quad \text{vyhovuje}$$

10.2.1.3. Návrh horní výztuže směr X

$$M_{xD}^+ = 17,01 \text{ kNm} ; n_x^+ \cong 52,23 \text{ kN}$$

- posouzení na interakci normálové síly a ohybového momentu

- jedná se o tah a ohyb, budou vypočítány body 3, 4 a 5.

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_s + \emptyset/2 = 50 + 6 + 10/2 =$$

$$d_1 = d_2 = \underline{61 \text{ mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,061 = \underline{0,189 \text{ m}}$$

$$z_1 = z_2 = h/2 - d_1 = 0,25/2 - 0,061 = \underline{0,064 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, a = 200 \text{ mm}$$

$$\underline{A_s = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

BOD 3

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN} ; \sigma_{s1} = f_{yd} ; \sigma_{s2} \leq f_{yd}$$

Kvadratická rovnice:

$$b \cdot \lambda \cdot x^2 \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot x - A_{s2} \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot d_2 - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot x = 0 \Rightarrow x = \underline{0,061 \text{ m}}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (x - d_2) = \frac{3,5}{0,061} (0,061 - 0,061)$$

$$\varepsilon_{s2} = 0\%$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,061} (0,189 - 0,061)$$

$$\varepsilon_{s1} = 7,34\%$$

$$\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{yd} < \varepsilon_{s1} \Rightarrow 0 < 2,174 < 7,34 \text{ vyhovuje}$$

$$M_{Rd} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot x)/2 + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 0,8 \cdot 0,061 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20000 \cdot (0,250,8 \cdot 0,061)/2 + 0,000393 \cdot 0 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,064 + 0,000393 \cdot 434800 \cdot 0,064$$

$$M_{Rd} = \underline{57,59 \text{ kNm}}$$

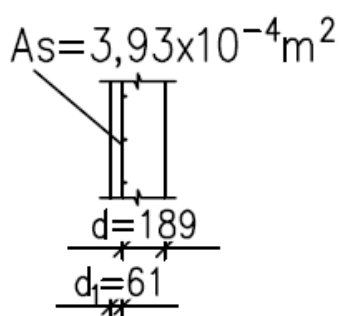
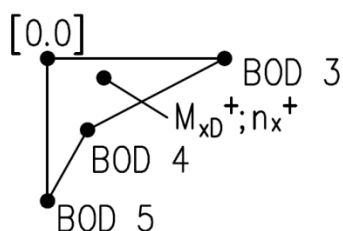
BOD 4

$$\varepsilon_{s2} = 0\% ; F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rdt,bal} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 0,000393 \cdot 434800$$

$$N_{Rdt,bal} = \underline{170,87 \text{ kN}}$$

$$M_{Rdt,bal} = F_{s1} \cdot z_1 = 170,87 \cdot 0,064 = \underline{10,94 \text{ kNm}}$$

BOD 5

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}; M_{Rd} = 0 \text{ kNm}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = 170,87 \text{ kN}$$

$$N_{Rdt,0} = F_{s1} + F_{s2} = 2 \cdot 170,87 = \underline{341,74 \text{ kN}}$$

- tahová síla i ohybový moment se nachází v oblasti ohraničené kladnými osami momentu a normálové síly a vypočítaných bodů \Rightarrow výztuž na M_{Rd} vyhovuje

10.2.1.4. Návrh spodní výztuže směr X

$$M_{xD}^- = 14,85 \text{ kNm}; n_x^- \cong 15,46 \text{ kN}$$

- posouzení na interakci normálové síly a ohybového momentu
- jedná se o tah a ohyb, budou vypočítány body 3, 4 a 5.

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_s + \emptyset/2 = 50 + 6 + 10/2 =$$

$$d_1 = d_2 = \underline{61 \text{ mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,061 = \underline{0,189 \text{ m}}$$

$$z_1 = z_2 = h/2 - d_1 = 0,25/2 - 0,061 = \underline{0,064 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, a = 200 \text{ mm}$$

$$\underline{A_s = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

BOD 3

$$N_{Rd} = 0 \text{ kN}; \sigma_{s1} = f_{yd}; \sigma_{s2} \leq f_{yd}$$

Kvadratická rovnice:

$$b \cdot \lambda \cdot x^2 \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot x - A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot d_2 - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot x = 0 \Rightarrow x = \underline{0,061 \text{ m}}$$

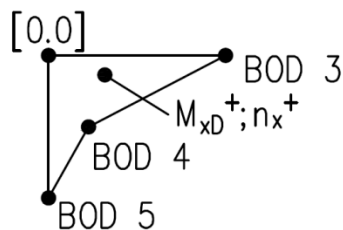
$$\epsilon_{s2} = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} (x - d_2) = \frac{3,5}{0,061} (0,061 - 0,061)$$

$$\epsilon_{s2} = 0\text{‰}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,061} (0,189 - 0,061)$$

$$\epsilon_{s1} = 7,34\text{‰}$$

$$\epsilon_{s2} < \epsilon_{yd} < \epsilon_{s1} = 0 < 2,174 < 7,34 \text{ vyhovuje}$$



$$M_{Rd} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot x) / 2 + A_{s2} \cdot \epsilon_{s2} \cdot E_s \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 0,8 \cdot 0,061 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20000 \cdot (0,250,8 \cdot 0,061) / 2 + 0,000393 \cdot 0 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,064 + 0,000393 \cdot 434800 \cdot 0,064$$

$$M_{Rd} = \underline{57,59 \text{ kNm}}$$

BOD 4

$$\epsilon_{s2} = 0\text{‰} ; F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rdt,bal} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 0,000393 \cdot 434800$$

$$N_{Rdt,bal} = \underline{170,87 \text{ kN}}$$

$$M_{Rdt,bal} = F_{s1} \cdot z_1 = 170,87 \cdot 0,064 = \underline{10,94 \text{ kNm}}$$

BOD 5

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} ; M_{Rd} = 0 \text{ kNm}$$

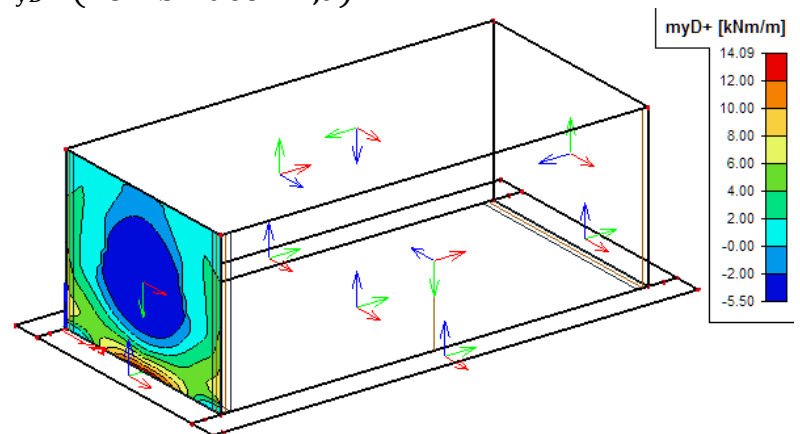
$$F_{s1} = F_{s2} = 170,87 \text{ kN}$$

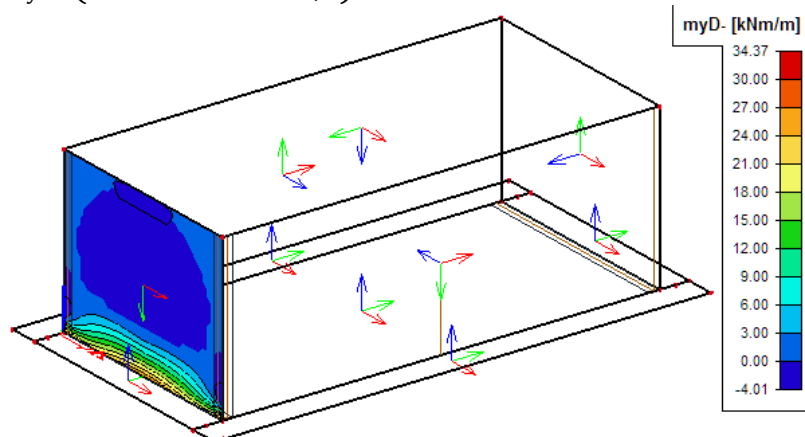
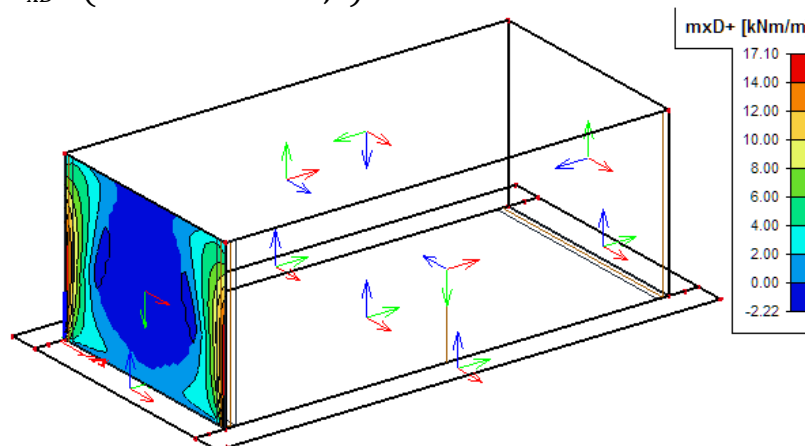
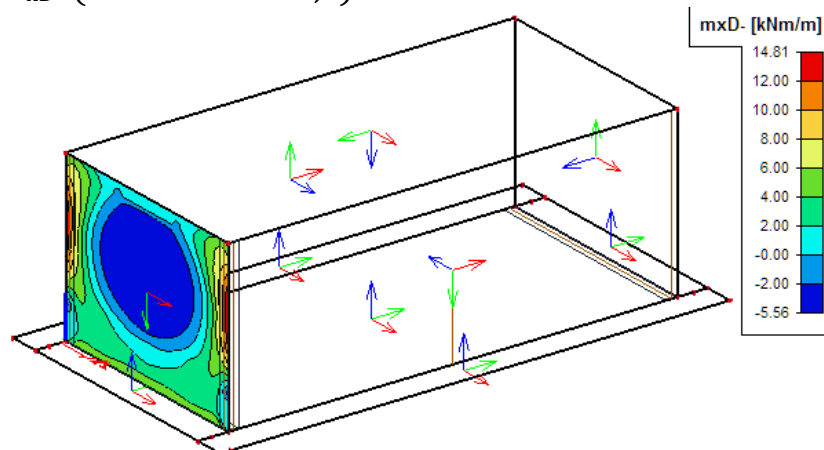
$$N_{Rdt,0} = F_{s1} + F_{s2} = 2 \cdot 170,87 = \underline{341,74 \text{ kN}}$$

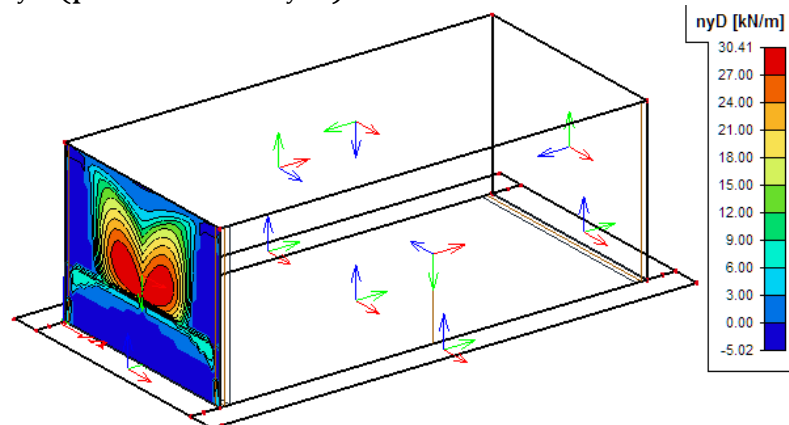
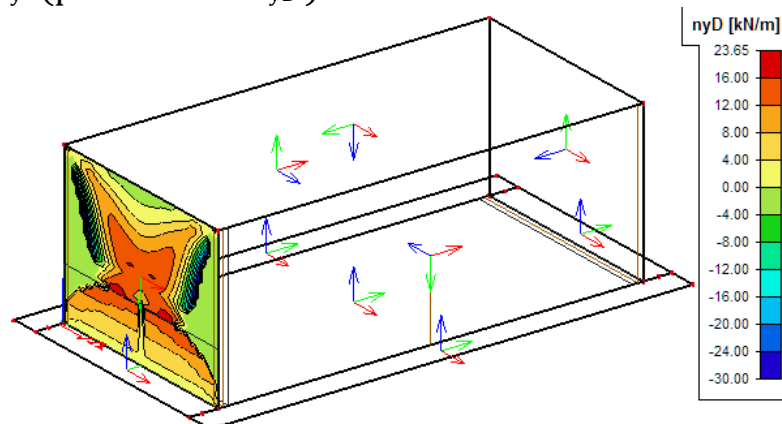
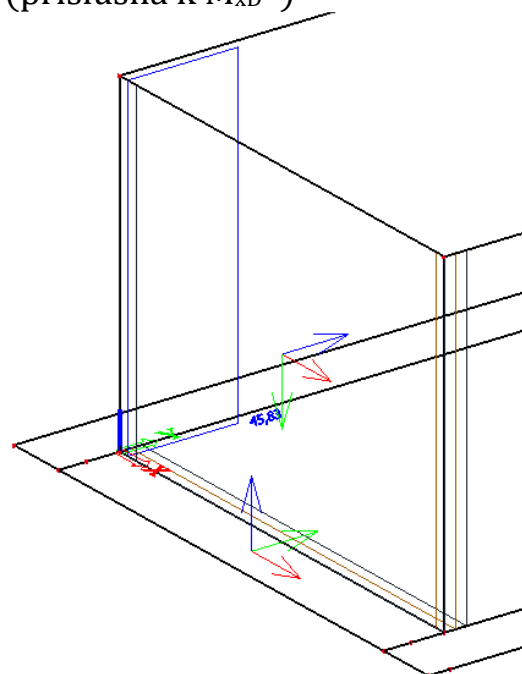
- tahová síla i ohybový moment se nachází v oblasti ohraničené kladnými osami momentu a normálové síly a vypočítaných bodů => výztuž na M_{Rd} vyhovuje

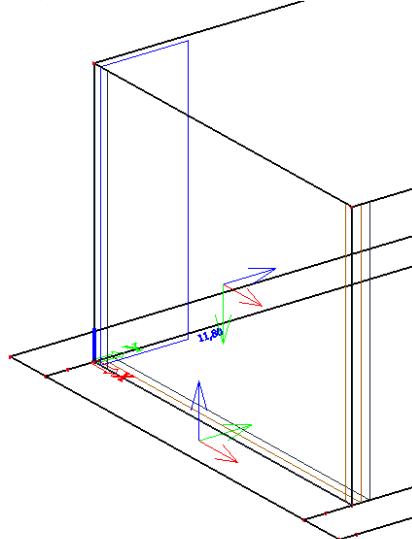
10.2.2. Návrh výztuže stěny S2

M_{yD}^+ (kombinace K1,a)



M_{yD}^- (kombinace K3,a) M_{xD}^+ (kombinace K1,a) M_{xD}^- (kombinace K3,a)

n_y^+ (příslušná k M_{yD}^+) n_y^- (příslušná k M_{yD}^-) n_x^+ (příslušná k M_{xD}^+)

n_x^+ (příslušná k M_{xD}^+)

$$M_{yD}^+ = 14,09 \text{ kNm}$$

$$M_{yD}^- = 34,37 \text{ kNm}$$

$$M_{xD}^+ = 17,10 \text{ kNm}$$

$$M_{xD}^- = 14,81 \text{ kNm}$$

$$n_y^+ \cong 0 \text{ kN}$$

$$n_y^- \cong 0 \text{ kN}$$

$$n_x^+ \cong 45,83 \text{ kN}$$

$$n_x^- \cong 11,80 \text{ kN}$$

10.2.2.1. Návrh horní výztuže směr Y

$$M_{yD}^+ = 14,09 \text{ kNm} ; n_y^+ \cong 0 \text{ kN}$$

- posouzení na prostý ohyb

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_s + \emptyset_p + \emptyset / 2 = 50 + 6 + 10 + 10 / 2 =$$

$$d_1 = \underline{71 \text{ mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,071 = \underline{0,179 \text{ m}}$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 0,185 = \underline{0,1611 \text{ m}}$$

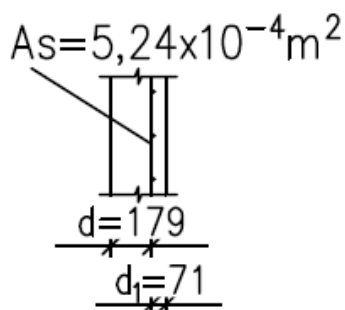
$$A_{s,req} = b * d * \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 * M_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}} \right)} \right)$$

$$1 * 0,179 * \left(\frac{20}{434,8} \right) * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 * 14,09}{1 * 0,179^2 * 20000} \right)} \right) =$$

$$= \underline{1,83 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, \acute{a} = 150 \text{ mm}$$

$$\underline{A_s = 5,24 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$



Kontrola plochy výztuže

$$A_{s,min}=0,002 \cdot A_c=0,002 \cdot 0,25= \underline{5 \cdot 10^{-4} \text{m}^2}$$

$$A_{s,max}=0,04 \cdot A_c=0,04 \cdot 0,25= \underline{100 \cdot 10^{-4} \text{m}^2}$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \Rightarrow$$

$$5 \cdot 10^{-4} < 5,24 \cdot 10^{-4} < 100 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola tlačené oblasti

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{0,000524 \cdot 434,8}{1 \cdot 0,8 \cdot 20} = \underline{0,0142 \text{m}}$$

$$x_{bal,1} = d \cdot \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = 0,179 \cdot \frac{3,5}{3,5 + 2,174}$$

$$x_{bal,1} = \underline{0,1104 \text{m}}$$

$$x \leq x_{bal,1} \Rightarrow 0,0142 \leq 0,1104 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0142} (0,179 - 0,0142)$$

$$\varepsilon_s = \underline{40,62 \text{‰}}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \Rightarrow 40,62 > 2,174 \text{‰} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola únosnosti

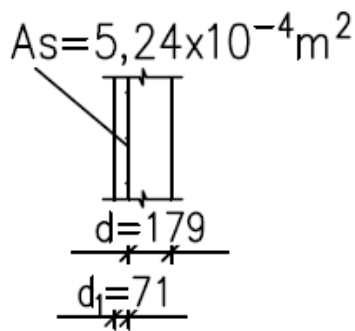
$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,179 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0142 =$$

$$z_c = \underline{0,173 \text{m}}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 5,24 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,173$$

$$M_{Rd} = \underline{39,42 \text{ kNm}}$$

$$M_{ed} \leq M_{Rd} \Rightarrow 14,09 \leq 39,42 \text{ kNm} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$



10.2.2.2. Návrh spodní výztuže směr Y

$$M_{yD} = 34,37 \text{ kNm} ; n_y \cong 0 \text{ kN}$$

- posouzení na prostý ohyb

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_s + \emptyset_p + \emptyset / 2 = 50 + 6 + 10 + 10 / 2 =$$

$$d_1 = \underline{71 \text{ mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,071 = \underline{0,179 \text{ m}}$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 0,185 = \underline{0,1611 \text{ m}}$$

$$A_{s,req} = b * d * \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 * M_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}} \right)} \right)$$

$$1 * 0,179 * \left(\frac{20}{434,8} \right) * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 * 34,37}{1 * 0,179^2 * 20000} \right)} \right) =$$

$$= \underline{4,54 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, a = 150 \text{ mm}$$

$$\underline{A_s = 5,24 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Kontrola plochy výztuže

$$A_{s,min} = 0,002 * A_c = 0,002 * 0,25 = \underline{5 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 0,25 = \underline{100 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \Rightarrow$$

$$5 * 10^{-4} < 5,24 * 10^{-4} < 100 * 10^{-4} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola tlačené oblasti

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{b * \lambda * f_{cd}} = \frac{0,000524 * 434,8}{1 * 0,8 * 20} = \underline{0,0142 \text{ m}}$$

$$x_{bal,1} = d * \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{yd}} = 0,179 * \frac{3,5}{3,5 + 2,174}$$

$$x_{bal,1} = \underline{0,1104 \text{ m}}$$

$$x \leq x_{bal,1} \Rightarrow 0,0142 \leq 0,1104 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0142} (0,179 - 0,0142)$$

$$\varepsilon_s = \underline{40,62\text{‰}}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \Rightarrow 40,62 > 2,174 \text{ ‰} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola únosnosti

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,179 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0142 =$$

$$z_c = \underline{0,173\text{m}}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 5,24 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,173$$

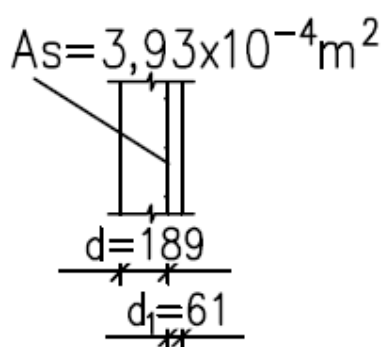
$$M_{Rd} = \underline{39,42 \text{ kNm}}$$

$$M_{ed} \leq M_{Rd} \Rightarrow 34,37 \leq 39,42 \text{ kNm} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

10.2.2.3. Návrh horní výztuže směr X

$$M_{xD}^+ = 17,10 \text{ kNm} ; n_x^+ \cong 48,83 \text{ kN}$$

- posouzení na interakci normálové síly a ohybového momentu
- jedná se o tah a ohyb, budou vypočítány body 3, 4 a 5.



$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_s + \emptyset/2 = 50 + 6 + 10/2 =$$

$$d_1 = d_2 = \underline{61\text{mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,061 = \underline{0,189\text{m}}$$

$$z_1 = z_2 = h/2 - d_1 = 0,25/2 - 0,061 = \underline{0,064\text{m}}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, a = 200\text{mm}$$

$$\underline{A_s = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{m}^2}$$

BOD 3

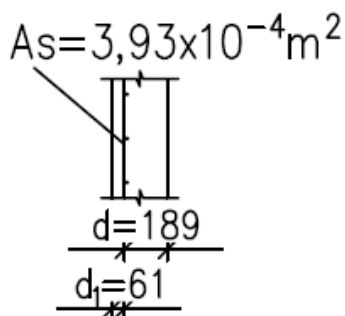
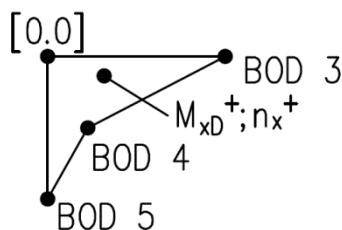
$$N_{Rd} = 0 \text{ kN} ; \sigma_{s1} = f_{yd} ; \sigma_{s2} \leq f_{yd}$$

Kvadratická rovnice:

$$b \cdot \lambda \cdot x^2 \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot x - A_{s2} \cdot \varepsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot d_2 - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot x = 0 \Rightarrow x = \underline{0,061\text{m}}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (x - d_2) = \frac{3,5}{0,061} (0,061 - 0,061)$$

$$\varepsilon_{s2} = \underline{0\text{‰}}$$



$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,061} (0,189 - 0,061)$$

$$\varepsilon_{s1} = 7,34\text{‰}$$

$$\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{yd} < \varepsilon_{s1} \Rightarrow 0 < 2,174 < 7,34 \quad \text{vyhovuje}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot x) / 2 + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s \cdot z_2 \\ &\quad + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 0,8 \cdot 0,061 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20000 \\ &\quad \cdot (0,250,8 \cdot 0,061) / 2 + 0,000393 \cdot 0 \cdot 200 \cdot 10^6 \\ &\quad \cdot 0,064 + 0,000393 \cdot 434800 \cdot 0,064 \\ M_{Rd} &= \underline{57,59 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

BOD 4

$$\varepsilon_{s2} = 0\text{‰} ; F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rdt, bal} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 0,000393 \cdot 434800$$

$$N_{Rdt, bal} = \underline{170,87 \text{ kN}}$$

$$M_{Rdt, bal} = F_{s1} \cdot z_1 = 170,87 \cdot 0,064 = \underline{10,94 \text{ kNm}}$$

BOD 5

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} ; M_{Rd} = 0 \text{ kNm}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = 170,87 \text{ kN}$$

$$N_{Rdt, 0} = F_{s1} + F_{s2} = 2 \cdot 170,87 = \underline{341,74 \text{ kN}}$$

- tahová síla i ohybový moment se nachází v oblasti ohraničené kladnými osami momentu a normálové síly a vypočítaných bodů \Rightarrow výztuž na M_{Rd} vyhovuje

10.2.2.4. Návrh spodní výztuže směr X

$$M_{xD}^- = 14,81 \text{ kNm} ; n_x^- \cong 11,80 \text{ kN}$$

- posouzení na interakci normálové síly a ohybového momentu

- jedná se o tah a ohyb, budou vypočítány body 3, 4 a 5.

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_s + \emptyset / 2 = 50 + 6 + 10 / 2 =$$

$$d_1 = d_2 = \underline{61 \text{ mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,061 = \underline{0,189 \text{ m}}$$

$$z_1 = z_2 = h / 2 - d_1 = 0,25 / 2 - 0,061 = \underline{0,064 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, \acute{a} = 200 \text{ mm}$$

$$\underline{A_s = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

BOD 3

$$N_{Rd}=0 \text{ kN} ; \sigma_{s1}=f_{yd} ; \sigma_{s2} \leq f_{yd}$$

Kvadratická rovnice:

$$b \cdot \lambda \cdot x^2 \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot x - A_{s2} \cdot \epsilon_{cu3} \cdot E_s \cdot d_2 - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot x = 0 \Rightarrow x = \underline{0,061 \text{ m}}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} (x - d_2) = \frac{3,5}{0,061} (0,061 - 0,061)$$

$$\epsilon_{s2} = 0\text{‰}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,061} (0,189 - 0,061)$$

$$\epsilon_{s1} = 7,34\text{‰}$$

$$\epsilon_{s2} < \epsilon_{yd} < \epsilon_{s1} \Rightarrow 0 < 2,174 < 7,34 \text{ vyhovuje}$$

$$M_{Rd} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot (h - \lambda \cdot x) / 2 + A_{s2} \cdot \epsilon_{s2} \cdot E_s \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 = 0,8 \cdot 0,061 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20000 \cdot (0,250,8 \cdot 0,061) / 2 + 0,000393 \cdot 0 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 0,064 + 0,000393 \cdot 434800 \cdot 0,064$$

$$M_{Rd} = \underline{57,59 \text{ kNm}}$$

BOD 4

$$\epsilon_{s2} = 0\text{‰} ; F_{s2} = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Rdt, bal} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 0,000393 \cdot 434800$$

$$N_{Rdt, bal} = \underline{170,87 \text{ kN}}$$

$$M_{Rdt, bal} = F_{s1} \cdot z_1 = 170,87 \cdot 0,064 = \underline{10,94 \text{ kNm}}$$

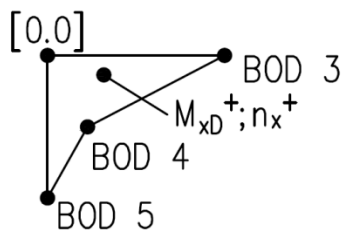
BOD 5

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} ; M_{Rd} = 0 \text{ kNm}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = 170,87 \text{ kN}$$

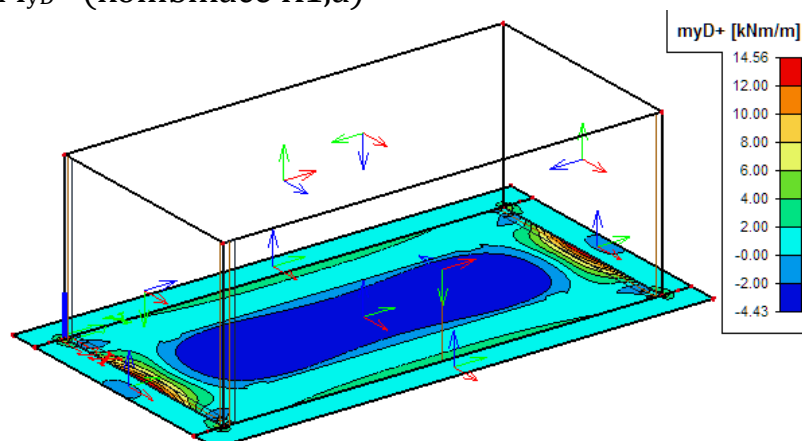
$$N_{Rdt, 0} = F_{s1} + F_{s2} = 2 \cdot 170,87 = \underline{341,74 \text{ kN}}$$

- tahová síla i ohybový moment se nachází v oblasti ohraničené kladnými osami momentu a normálové síly a vypočítaných bodů \Rightarrow výztuž na M_{Rd} vyhovuje

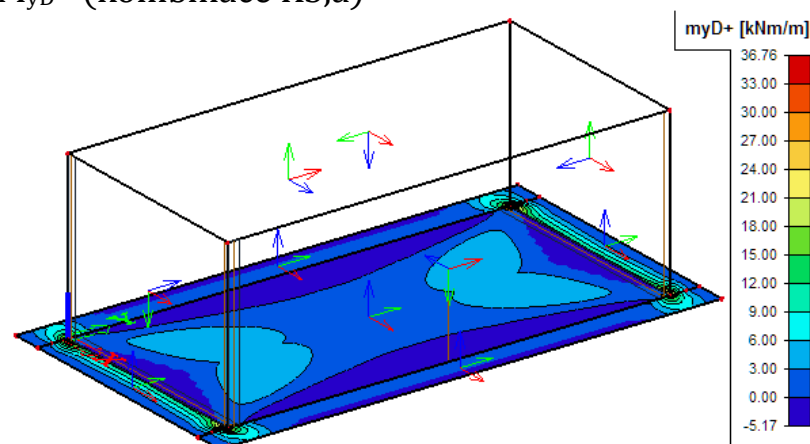


10.2.3. Návrh výztuže desky

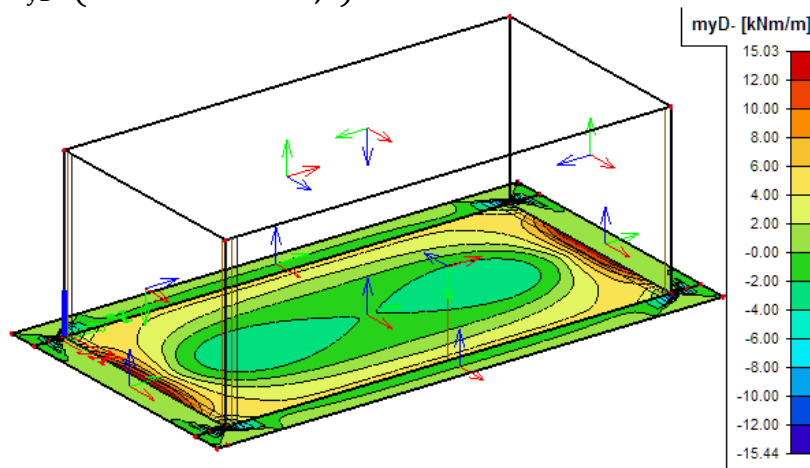
M_{yD}^+ (kombinace K1,a)

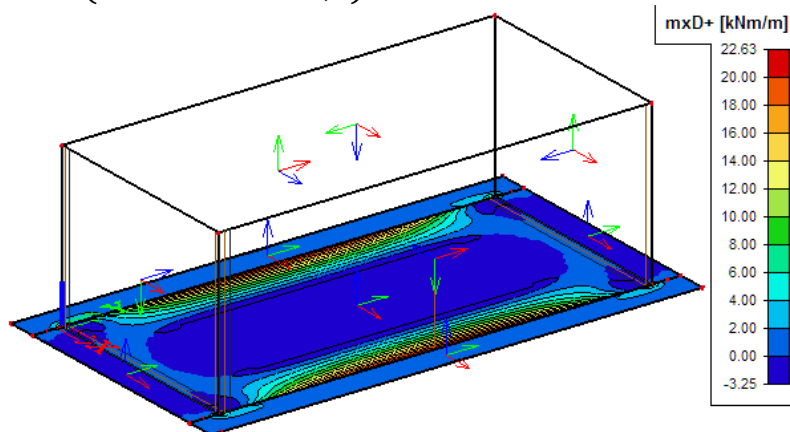
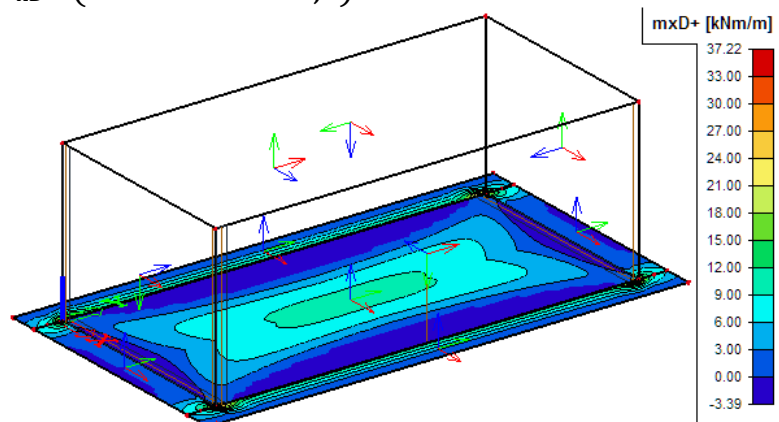
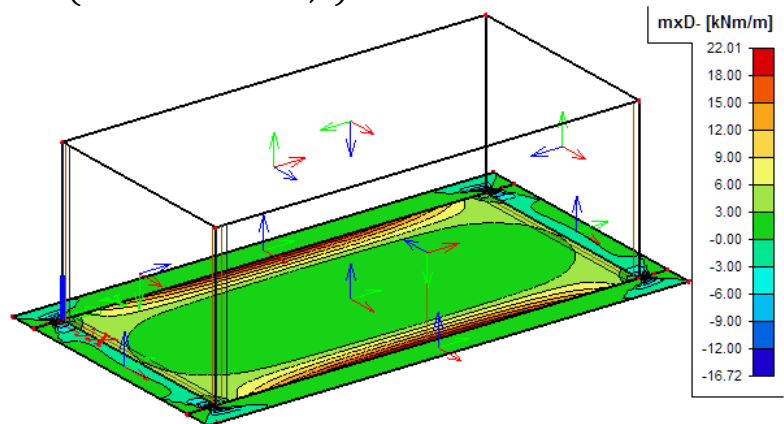


M_{yD}^+ (kombinace K3,a)



M_{yD}^- (kombinace K3,a)



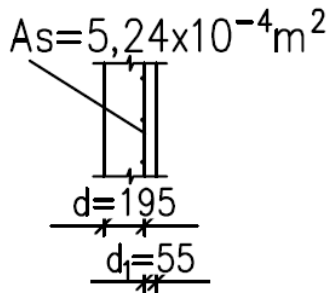
M_{xD}^+ (kombinace K1,a) M_{xD}^+ (kombinace K3,a) M_{xD}^- (kombinace K3,a)

$$M_{yD}^+ = 36,76 \text{ kNm}$$

$$M_{yD}^- = 15,03 \text{ kNm}$$

$$M_{xD}^+ = 37,22 \text{ kNm}$$

$$M_{xD}^- = 22,01 \text{ kNm}$$

10.2.3.1. Návrh horní výztuže směr Y

$$M_{yD^+} = 36,76 \text{ kNm}$$

- posouzení na prostý ohyb

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset / 2 = 50 + 10 / 2 =$$

$$d_1 = \underline{55 \text{ mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,055 = \underline{0,195 \text{ m}}$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 0,195 = \underline{0,1755 \text{ m}}$$

$$A_{s,req} = b * d * \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 * M_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}} \right)} \right)$$

$$1 * 0,195 * \left(\frac{20}{434,8} \right) * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 * 36,76}{1 * 0,195^2 * 20000} \right)} \right) =$$

$$= \underline{4,45 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

=> navrženo: Ø10, á=150mm

$$\underline{A_s = 5,24 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Kontrola plochy výztuže

$$A_{s,min} = \max \{ 0,26 * f_{ctm} / f_{yk} * b * d; \\ 0,0013 * b * d \}$$

$$A_{s,min} = \max \{ 0,26 * 2,9 / 500 * 1 * 0,195; \\ 0,0013 * 1 * 0,195 \} =$$

$$A_{s,min} = \max \{ 2,9 * 10^{-4}; 2,5 * 10^{-4} \} = \underline{2,9 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 0,25 = \underline{100 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \Rightarrow$$

$$2,9 * 10^{-4} < 5,24 * 10^{-4} < 100 * 10^{-4} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola tlačené oblasti

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{b * \lambda * f_{cd}} = \frac{0,000524 * 434,8}{1 * 0,8 * 20} = \underline{0,0142 \text{ m}}$$

$$x_{bal,1} = d * \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = 0,195 * \frac{3,5}{3,5 + 2,174}$$

$$x_{bal,1} = \underline{0,1203 \text{ m}}$$

$$x \leq x_{bal,1} \Rightarrow 0,0142 \leq 0,1203 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0142} (0,195 - 0,0142)$$

$$\varepsilon_s = \underline{44,56\text{‰}}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \Rightarrow 44,56 > 2,174 \text{ ‰} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola únosnosti

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,195 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0142 =$$

$$z_c = \underline{0,189\text{m}}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 5,24 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,189$$

$$M_{Rd} = \underline{43,06 \text{ kNm}}$$

$$M_{ed} \leq M_{Rd} \Rightarrow 36,76 \leq 43,06 \text{ kNm} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

10.2.3.2. Návrh spodní výztuže směr Y

$$M_{yD} = 15,03 \text{ kNm}$$

- posouzení na prostý ohyb

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_{podél} + \emptyset/2 = 50 + 10 + 10/2 =$$

$$d_1 = \underline{55\text{mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,055 = \underline{0,195\text{m}}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,195 = \underline{0,1755\text{m}}$$

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

$$1 \cdot 0,195 \cdot \left(\frac{20}{434,8} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 15,03}{1 \cdot 0,195^2 \cdot 20000} \right)} \right) =$$

$$= \underline{1,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

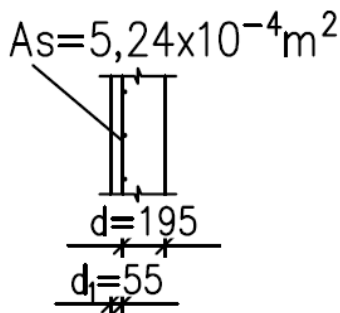
$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, a = 150\text{mm}$$

$$\underline{A_s = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Kontrola plochy výztuže

$$A_{s,min} = \max \{ 0,26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \cdot b \cdot d; \\ 0,0013 \cdot b \cdot d \}$$

$$A_{s,min} = \max \{ 0,26 \cdot 2,9 / 500 \cdot 1 \cdot 0,195; \\ 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,195 \} =$$



$$A_{s,min} = \max\{2,9 \cdot 10^{-4}; 2,5 \cdot 10^{-4}\} = \underline{2,9 \cdot 10^{-4} \text{m}^2}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 = \underline{100 \cdot 10^{-4} \text{m}^2}$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \Rightarrow$$

$$2,9 \cdot 10^{-4} < 5,24 \cdot 10^{-4} < 100 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola tlačené oblasti

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{0,000524 \cdot 434,8}{1 \cdot 0,8 \cdot 20} = \underline{0,0142 \text{m}}$$

$$x_{bal,1} = d \cdot \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = 0,195 \cdot \frac{3,5}{3,5 + 2,174}$$

$$x_{bal,1} = \underline{0,1203 \text{m}}$$

$$x \leq x_{bal,1} \Rightarrow 0,0142 \leq 0,1203 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0142} (0,195 - 0,0142)$$

$$\varepsilon_s = \underline{44,56 \text{‰}}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \Rightarrow 44,56 > 2,174 \text{‰} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola únosnosti

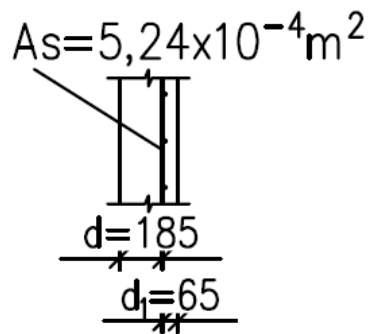
$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,185 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0142 =$$

$$z_c = \underline{0,189 \text{m}}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 5,24 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,189$$

$$M_{Rd} = \underline{43,06 \text{kNm}}$$

$$M_{ed} \leq M_{Rd} \Rightarrow 15,03 \leq 43,06 \text{kNm} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$



10.2.3.3. Návrh horní výztuže směr X

$$M_{xD}^+ = 37,22 \text{ kNm}$$

- posouzení na prostý ohyb

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \emptyset_{\text{podél}} + \emptyset/2 = 50 + 10 + 10/2 =$$

$$d_1 = \underline{65 \text{ mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,065 = \underline{0,185 \text{ m}}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,185 = \underline{0,1665 \text{ m}}$$

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

$$1 \cdot 0,185 \cdot \left(\frac{20}{434,8} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 37,22}{1 \cdot 0,185^2 \cdot 20000} \right)} \right) =$$

$$= \underline{4,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

=> navrženo: $\emptyset 10, a = 150 \text{ mm}$

$$\underline{A_s = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Kontrola plochy výztuže

$$A_{s,\text{min}} = \max \{ 0,26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \cdot b \cdot d; \\ 0,0013 \cdot b \cdot d \}$$

$$A_{s,\text{min}} = \max \{ 0,26 \cdot 2,9 / 500 \cdot 1 \cdot 0,185; \\ 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,185 \} =$$

$$A_{s,\text{min}} = \max \{ 2,8 \cdot 10^{-4}; 2,4 \cdot 10^{-4} \} = \underline{2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 = \underline{100 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,\text{min}} < A_s < A_{s,\text{max}} \Rightarrow$$

$$2,8 \cdot 10^{-4} < 5,24 \cdot 10^{-4} < 100 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola tlačené oblasti

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{0,000524 \cdot 434,8}{1 \cdot 0,8 \cdot 20} = \underline{0,0142 \text{ m}}$$

$$x_{\text{bal},1} = d \cdot \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = 0,185 \cdot \frac{3,5}{3,5 + 2,174}$$

$$x_{\text{bal},1} = \underline{0,1141 \text{ m}}$$

$$x \leq x_{\text{bal},1} \Rightarrow 0,0142 \leq 0,1141 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0142} (0,185 - 0,0142)$$

$$\varepsilon_s = \underline{42,10\text{‰}}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \Rightarrow 42,10 > 2,174 \text{ ‰} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola únosnosti

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,185 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0142 =$$

$$z_c = \underline{0,179\text{m}}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 5,24 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,179$$

$$M_{Rd} = \underline{40,78 \text{ kNm}}$$

$$M_{ed} \leq M_{Rd} \Rightarrow 37,22 \leq 40,78 \text{ kNm} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

10.2.3.4. Návrh spodní výztuže směr X

$$M_{xD^-} = 22,01 \text{ kNm}$$

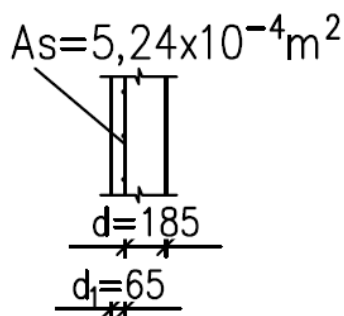
- posouzení na prostý ohyb

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_{podél} + \emptyset/2 = 50 + 10 + 10/2 =$$

$$d_1 = \underline{65\text{mm}}$$

$$d = h - d_1 = 0,25 - 0,065 = \underline{0,185\text{m}}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,185 = \underline{0,1665\text{m}}$$



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

$$1 \cdot 0,185 \cdot \left(\frac{20}{434,8} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 22,01}{1 \cdot 0,185^2 \cdot 20000} \right)} \right) =$$

$$= \underline{2,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo: } \emptyset 10, \text{ } \acute{a} = 150\text{mm}$$

$$\underline{A_s = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Kontrola plochy výztuže

$$A_{s,min} = \max \{ 0,26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \cdot b \cdot d; \\ 0,0013 \cdot b \cdot d \}$$

$$A_{s,min} = \max\{0,26 \cdot 2,9 / 500 \cdot 1 \cdot 0,185; 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,185\} =$$

$$A_{s,min} = \max\{2,8 \cdot 10^{-4}; 2,4 \cdot 10^{-4}\} = \underline{2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 = \underline{100 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \Rightarrow$$

$$2,8 \cdot 10^{-4} < 5,24 \cdot 10^{-4} < 100 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola tlačené oblasti

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{0,000524 \cdot 434,8}{1 \cdot 0,8 \cdot 20} = \underline{0,0142 \text{ m}}$$

$$x_{bal,1} = d \cdot \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = 0,185 \cdot \frac{3,5}{3,5 + 2,174}$$

$$x_{bal,1} = \underline{0,1141 \text{ m}}$$

$$x \leq x_{bal,1} \Rightarrow 0,0142 \leq 0,1141 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} (d - x) = \frac{3,5}{0,0142} (0,185 - 0,0142)$$

$$\varepsilon_s = \underline{42,10\text{‰}}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd} \Rightarrow 42,10 > 2,174 \text{ ‰} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

Kontrola únosnosti

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,185 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0142 =$$

$$z_c = \underline{0,179 \text{ m}}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 5,24 \cdot 10^{-4} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,179$$

$$M_{Rd} = \underline{40,78 \text{ kNm}}$$

$$M_{ed} \leq M_{Rd} \Rightarrow 22,01 \leq 40,78 \text{ kNm} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

10.3. Konstrukční zásady

- v obou stěnách, S1 i S2 a také v desce jsou navrženy pruty $\varnothing 10$; $a=200\text{mm}$ v obou směrech $\Rightarrow s=200\text{mm}$

$$s_{\max}=2 \cdot h=2 \cdot 250=500 \leq 250 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s_{\max}=250\text{ mm}$$

$$s \leq s_{\max} \Rightarrow 200 \leq 250\text{ mm} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

11. Mezní Stav Použitelnosti

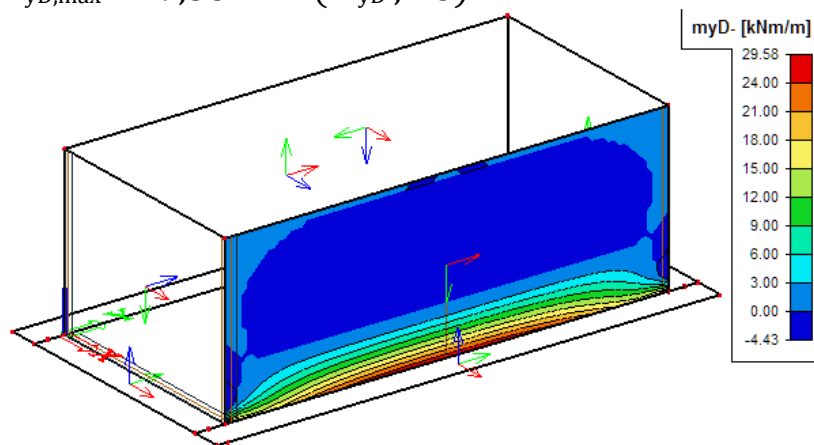
- materiálové charakteristiky - kapitola 2.
 - třída prostředí XD2 – mokré, zřídka suché prostředí
 - třída nepropustnosti 0 (jistý stupeň průsaku se připouští nebo je průsak kapalin irelevantní) dle ČSN EN 1992-3
- $$\Rightarrow w_k=0,3\text{mm}$$

11.1. Omezení trhlin

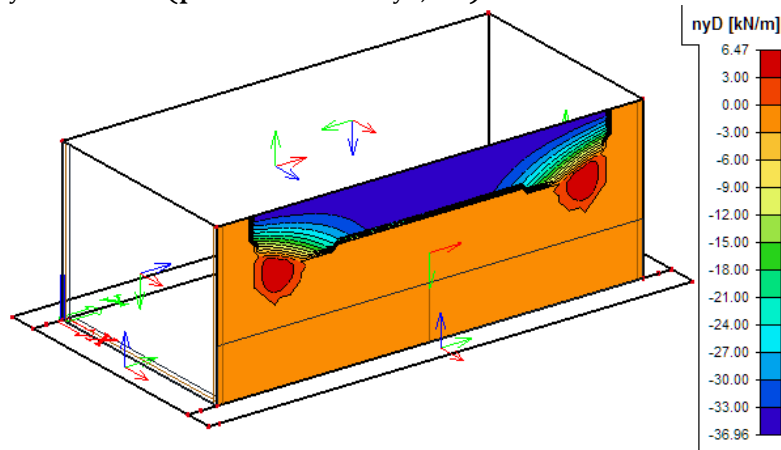
11.1.1. Stěny směr Y

- dimenzovaná výztuž je totožná ve směru Y pro spodní i horní okraj a také pro stěnu S1 a S2 \Rightarrow posouzení na $M_{yD,\max}$

$$M_{yD,\max}=29,58\text{kNm} (M_{yD}, K3)$$



$n_y = 0 \text{ kNm}$ (příslušná k $M_{yD, \max}$)



$$\Phi_{(too;ts)} = 2,4$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \Phi_{(too;ts)})$$

$$E_{c,eff} = 32 / (1 + 2,4) = \underline{9,41 \text{ GPa}}$$

$$h = 0,25 \text{ m}$$

$$b = 1,0 \text{ m}$$

$$d = 0,179 \text{ m}$$

$$d_1 = d_2 = 0,071 \text{ m}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e = E_s / E_{c,eff} = 200 / 9,41 = \underline{21,254}$$

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 0,25 + 21,254 \cdot (2 \cdot 0,000524)$$

$$A_i = \underline{0,2723 \text{ m}^2}$$

$$x_i = [A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)] / A_i$$

$$x_i = [0,25 \cdot 0,125 + 21,254 \cdot (0,000524 \cdot 0,179 + 0,000524 \cdot 0,071)] / 0,2723$$

$$x_i = \underline{0,125 \text{ m}}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (x_i - a_c)^2 + \alpha_e \cdot [A_{s1} \cdot (d - x_i)^2 + A_{s2} \cdot (x_i - d_2)^2]$$

$$I_i = (1 \cdot 0,25^3) / 12 + 0,25 \cdot (0,125 - 0,125)^2 + 21,254 \cdot [0,000524 \cdot (0,179 - 0,125)^2 + 0,000524 \cdot (0,125 - 0,071)^2]$$

$$I_i = \underline{0,001367 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{c2} = -(M \cdot x_i) / I_i = -(29,58 \cdot 0,125) / 0,001367$$

$$\sigma_{c2} = -2704,76 \text{ kPa} = \underline{-2,705 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{c1} = M \cdot (h - x_i) / I_i = 29,58 \cdot (0,25 - 0,125)$$

$$/ 0,001367 = 2704,76 \text{ kPa} = \underline{2,705 \text{ MPa}}$$

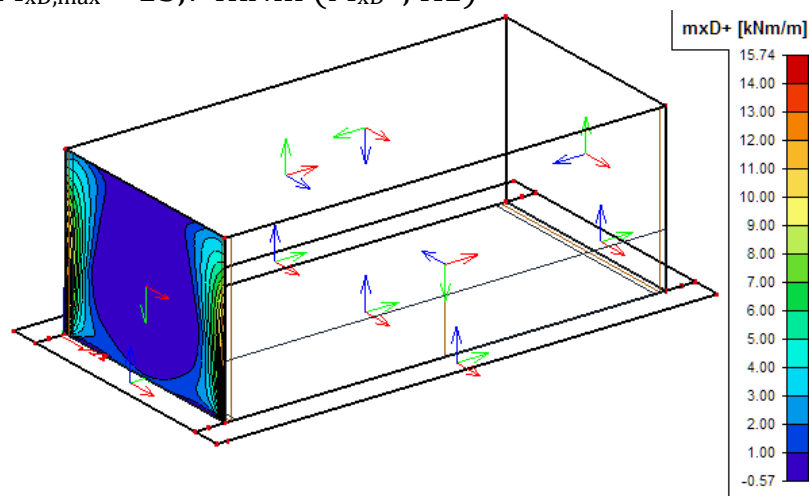
$$\sigma_{c1} \leq f_{ctm} \Rightarrow 2,705 \leq 2,9 \text{ MPa}$$

- napětí betonu v tahu nepřekročí hodnotu
 $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \Rightarrow$ trhliny nevzniknout

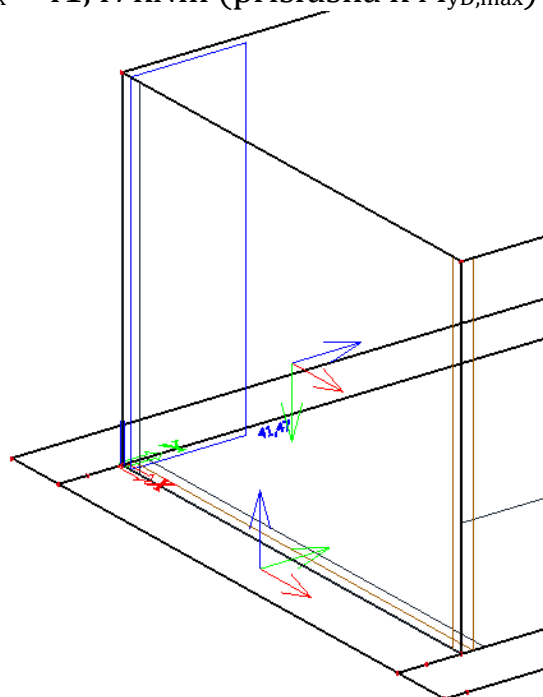
11.1.2. Stěny směr X

- dimenzovaná výztuž je totožná ve směru X pro spodní i horní okraj a také pro stěnu S1 a S2 \Rightarrow posouzení na $M_{xD,max}$

$$M_{xD,max} = 15,74 \text{ kNm} (M_{xD}^+, K1)$$



$$n_x = 41,47 \text{ kNm (příslušná k } M_{yD,max})$$



$$h = 0,25\text{m}$$

$$b = 1,0\text{m}$$

$$d = 0,189\text{m}$$

$$d_1 = d_2 = 0,061\text{m}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 3,93 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$

$$\alpha_e = E_s / E_{c,\text{eff}} = 200 / 9,41 = \underline{21,254}$$

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 0,25 + 21,254 \cdot (2 \cdot 0,000393)$$

$$A_i = \underline{0,2667\text{m}^2}$$

$$x_i = [A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)] / A_i$$

$$x_i = [0,25 \cdot 0,125 + 21,254 \cdot (0,000393 \cdot 0,189 + 0,000393 \cdot 0,061)] / 0,2667$$

$$x_i = \underline{0,125\text{m}}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (x_i - a_c)^2 + \alpha_e \cdot [A_{s1} \cdot (d - x_i)^2 + A_{s2} \cdot (x_i - d_2)^2]$$

$$I_i = (1 \cdot 0,25^3) / 12 + 0,25 \cdot (0,125 - 0,125)^2 + 21,254 \cdot [0,000393 \cdot (0,189 - 0,125)^2 + 0,000393 \cdot (0,125 - 0,061)^2]$$

$$I_i = \underline{0,001371\text{m}^4}$$

$$\sigma_{c2} = N / A_i - (M \cdot x_i) / I_i = 41,47 / 0,2667 - (15,74 \cdot 0,125) / 0,001371$$

$$\sigma_{c2} = -1280,11 \text{ kPa} = \underline{-1,280\text{MPa}}$$

$$\sigma_{c1} = N / A_i + M \cdot (h - x_i) / I_i = 41,47 / 0,2667 + 15,74 \cdot (0,25 - 0,125) / 0,001371$$

$$\sigma_{c1} = 1591,09 \text{ kPa} = \underline{1,591 \text{ MPa}}$$

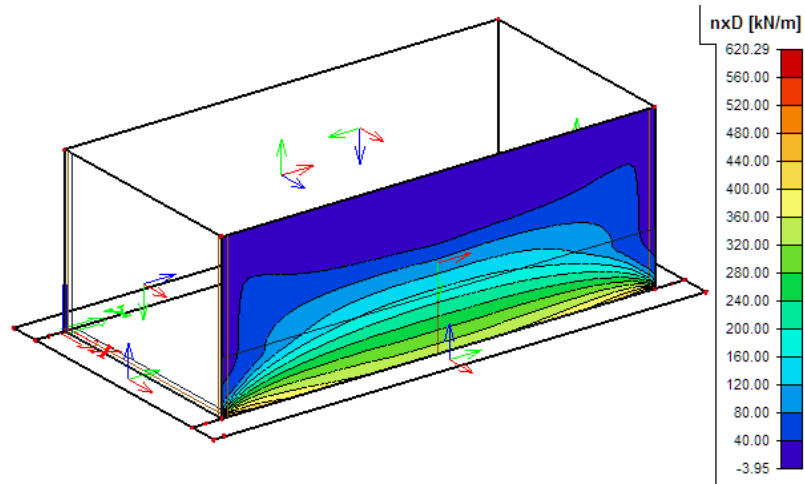
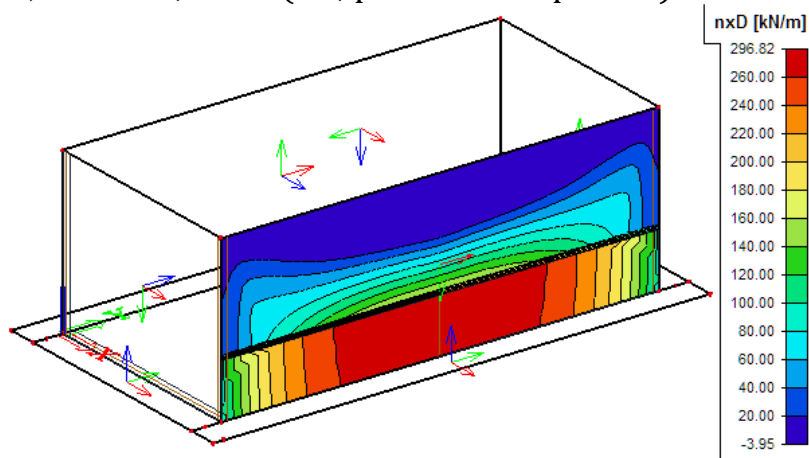
$$\sigma_{c1} \leq f_{ctm} \Rightarrow 1,591 \leq 2,9 \text{ MPa}$$

- napětí betonu v tahu nepřekročí hodnotu $f_{ctm} = 2,9\text{MPa} \Rightarrow$ trhliny nevzniknout

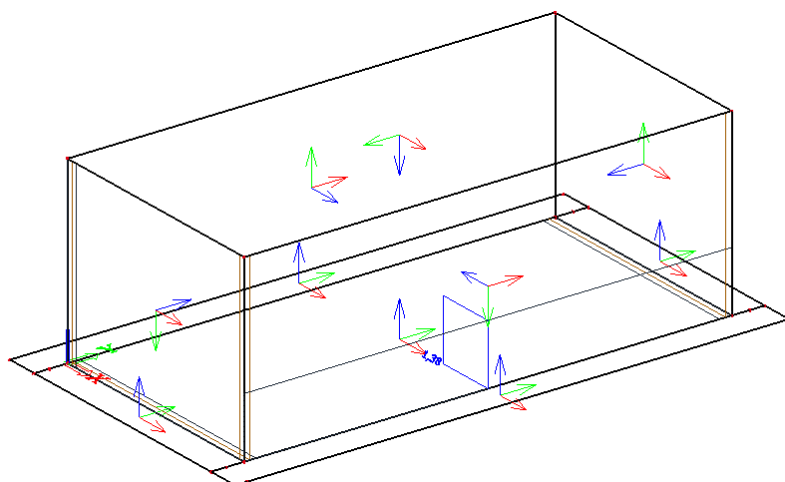
11.1.3. Stěny směr X spodní hrana

- posouzení na svislé trhliny vznikající smršťováním stěn, které se vyskytují cca do $\frac{1}{4}$ výšky stěny => posouzení na $n_{x,max}$

$n_{x,max} = 296,82 \text{ kN}$ (K1, průměrovací pás 1m)



$M_{xD} = 1,38 \text{ kNm}$ (n_x , K1)



- zhuštění výztuže v podélném směru na $\phi 10$ $a=50\text{mm}$, do výšky 1m stěny.

$$h = 0,25\text{m}$$

$$b = 1,0\text{m}$$

$$d = 0,189\text{m}$$

$$d_1 = d_2 = 0,061\text{m}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 15,72 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\alpha_e = E_s / E_{c, \text{eff}} = 200 / 9,41 = \underline{21,254}$$

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 0,25 + 21,254 \cdot (2 \cdot 0,001572)$$

$$A_i = \underline{0,3168 \text{m}^2}$$

$$x_i = [A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)] / A_i$$

$$x_i = [0,25 \cdot 0,125 + 21,254 \cdot (0,001572 \cdot 0,189 + 0,001572 \cdot 0,061)] / 0,3168$$

$$x_i = \underline{0,125\text{m}}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (x_i - a_c)^2 + \alpha_e \cdot [A_{s1} \cdot (d - x_i)^2 + A_{s2} \cdot (x_i - d_2)^2]$$

$$I_i = (1 \cdot 0,25^3) / 12 + 0,25 \cdot (0,125 - 0,125)^2 + 21,254 \cdot [0,001572 \cdot (0,189 - 0,125)^2 + 0,001572 \cdot (0,125 - 0,061)^2]$$

$$I_i = \underline{0,001576 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{c2} = N / A_i - (M \cdot x_i) / I_i = 296,82 / 0,3168 - (1,38 \cdot 0,125) / 0,001576$$

$$\sigma_{c2} = 827,40 \text{ kPa} = \underline{0,827 \text{MPa}}$$

$$\sigma_{c1} = N / A_i + M \cdot (h - x_i) / I_i = 269,82 / 0,3168 + 1,38 \cdot (0,25 - 0,125) / 0,001576$$

$$\sigma_{c1} = 1046,33 \text{ kPa} = \underline{1,046 \text{MPa}}$$

$$\sigma_{c1} \leq f_{ctm} \Rightarrow 1,046 \leq 2,9 \text{ MPa}$$

- napětí betonu v tahu nepřekročí hodnotu $f_{ctm} = 2,9 \text{MPa} \Rightarrow$ trhliny nevzniknout

- celý průřez je namáhán tahem

\Rightarrow ověření minimální plochy výztuže

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$k_c = 1,0 \text{ (prostý tah)}$$

$$k = 1,0 \text{ (} h \leq 300 \text{ mm)}$$

Průměrný průměr prutu (prostý tah)

$$\phi s^* = \phi^4 * (h - d) / (k * h_{cr})$$

$$\phi s^* = 10^4 * (0,25 - 0,189) / (1 * 0,25) = \underline{9,76}$$

=> dle Tab. 7.2CZ (ČSN EN 1992-1-1

ZMĚNA Z3) interpolací $\sigma_s = 312,4 \text{ MPa}$

$$A_{s,min} = k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct} / \sigma_s$$

$$A_{s,min} = 1 * 1 * 2,9 * 0,25 / 312,4 = \underline{23,21 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2 * 15,72 * 10^{-4} = \underline{31,44 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

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

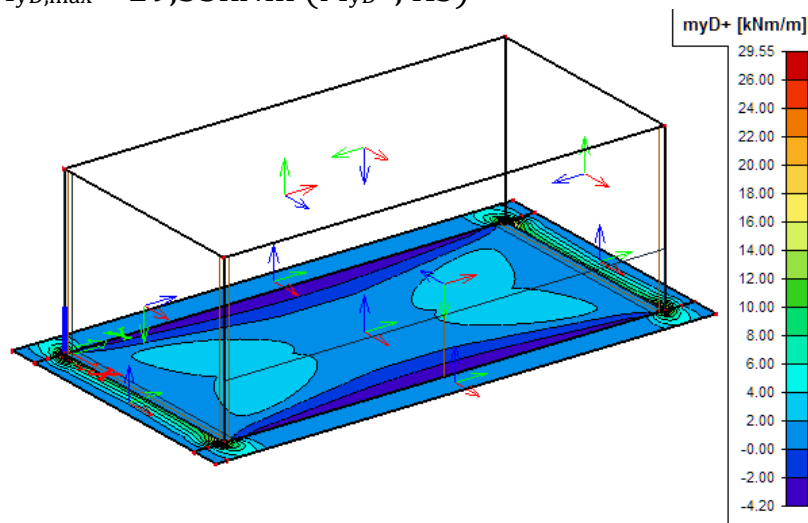
$$\Rightarrow 23,21 * 10^{-4} \leq 31,44 * 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

11.1.4. Deska směr Y

- dimenzovaná výztuž je totožná ve směru Y pro spodní i horní okraj

=> posouzení na $M_{yD,max}$

$$M_{yD,max} = 29,55 \text{ kNm} (M_{yD}^+, K3)$$



$$h = 0,25 \text{ m}$$

$$b = 1,0 \text{ m}$$

$$d = 0,195 \text{ m}$$

$$d_1 = d_2 = 0,055 \text{ m}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 5,24 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e = E_s / E_{c,eff} = 200 / 9,41 = \underline{21,254}$$

$$A_i = A_c + \alpha_e (A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 0,25 + 21,254 (2 \cdot 0,000524)$$

$$A_i = \underline{0,2723 \text{ m}^2}$$

$$x_i = [A_c \cdot a_c + \alpha_e (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)] / A_i$$

$$x_i = [0,25 \cdot 0,125 + 21,254 (0,000524 \cdot 0,195 + 0,000524 \cdot 0,055)] / 0,2723$$

$$x_i = \underline{0,125 \text{ m}}$$

$$I_i = I_c + A_c (x_i - a_c)^2 + \alpha_e [A_{s1} (d - x_i)^2 + A_{s2} (x_i - d_2)^2]$$

$$I_i = (1 \cdot 0,25^3) / 12 + 0,25 (0,125 - 0,125)^2 + 21,254 [0,000524 (0,195 - 0,125)^2 + 0,000524 (0,125 - 0,055)^2]$$

$$I_i = \underline{0,001411 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{c2} = -(M \cdot x_i) / I_i = -(29,55 \cdot 0,125) / 0,001411$$

$$\sigma_{c2} = -2617,40 \text{ kPa} = \underline{-2,617 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{c1} = M (h - x_i) / I_i = 29,55 (0,25 - 0,125)$$

$$/ 0,001411 = 2617,40 \text{ kPa} = \underline{2,617 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{c1} \leq f_{ctm} \Rightarrow 2,617 \leq 2,9 \text{ MPa}$$

- napětí betonu v tahu nepřekročí hodnotu

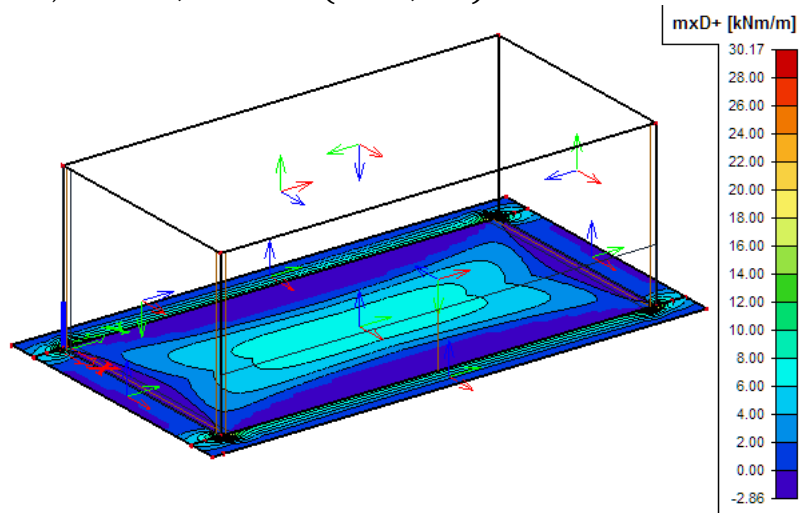
$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \Rightarrow \underline{\text{trhliny nevzniknout}}$$

11.1.5. Deska směr X

- dimenzovaná výztuž je totožná ve směru X pro spodní i horní okraj

=> posouzení na $M_{xD,max}$

$$M_{xD,max} = 30,17 \text{ kNm} (M_{xD}^+, K3)$$



$$h = 0,25 \text{ m}$$

$$b = 1,0 \text{ m}$$

$$d = 0,185 \text{ m}$$

$$d_1 = d_2 = 0,065 \text{ m}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e = E_s / E_{c,eff} = 200 / 9,41 = \underline{21,254}$$

$$A_i = A_c + \alpha_e (A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 0,25 + 21,254 \cdot (2 \cdot 0,000524)$$

$$A_i = \underline{0,2723 \text{ m}^2}$$

$$x_i = [A_c \cdot a_c + \alpha_e (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)] / A_i$$

$$x_i = [0,25 \cdot 0,125 + 21,254 \cdot (0,000524 \cdot 0,185 + 0,000524 \cdot 0,065)] / 0,2723$$

$$x_i = \underline{0,125 \text{ m}}$$

$$I_i = I_c + A_c (x_i - a_c)^2 + \alpha_e [A_{s1} (d - x_i)^2 + A_{s2} (x_i - d_2)^2]$$

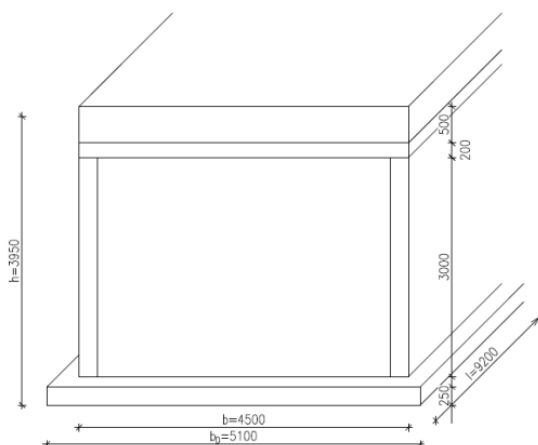
$$I_i = (1 \cdot 0,25^3) / 12 + 0,25 \cdot (0,125 - 0,125)^2 + 21,254 \cdot [0,000524 \cdot (0,185 - 0,125)^2 + 0,000524 \cdot (0,125 - 0,065)^2]$$

$$I_i = \underline{0,001383 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{c2} = -(M \cdot x_i) / I_i = -(30,17 \cdot 0,125) / 0,001383$$

$$\sigma_{c2} = -2728,30 \text{ kPa} = \underline{-2,728 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{c1} = M \cdot (h - x_i) / I_i = 30,17 \cdot (0,25 - 0,125) / 0,001383 = 2728,30 \text{ kPa} = \underline{2,728 \text{ MPa}}$$



$$\sigma_{c1} \leq f_{ctm} \Rightarrow 2,728 \leq 2,9 \text{ MPa}$$

- napětí betonu v tahu nepřekročí hodnotu
 $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \Rightarrow$ trhliny nevzniknout

12. Posouzení na vyplavání

- proti vyplavání je navrženo rozšíření desky o 0,3m na každou stranu,
 viz. geometrie
 - dle ČSN EN 1990 Tab. A1.2(A)

$$\gamma_{G,sup} = 1,1$$

$$\gamma_{G,inf} = 0,9$$

$$E_{k,dst} = V_v \cdot \gamma_v = 4,5 \cdot 8,6 \cdot 3,95 \cdot 10 = \underline{1528,65 \text{ kN}}$$

$$E_{d,dst} = E_{k,dst} \cdot \gamma_{G,sup} = 1528,65 \cdot 1,1$$

$$E_{d,dst} = \underline{1681,52 \text{ kN}}$$

$$E_{k,stab} = G_{dno} + G_{S1} + G_{S2} + G_{panel} + G_{zemina}$$

$$E_{k,stab} = (5,1 \cdot 9,2 \cdot 0,25 \cdot 25) + (8,6 \cdot 3 \cdot 0,25 \cdot 25 \cdot 2) + (4,0 \cdot 3 \cdot 0,25 \cdot 25 \cdot 2) + (4,5 \cdot 8,6 \cdot 0,2 \cdot 25) + (4,5 \cdot 8,6 \cdot 0,5 \cdot 19) + (2 \cdot (9,2 + 4,5) \cdot 0,3 \cdot 3,7 \cdot 19) = \underline{1923,52 \text{ kN}}$$

$$E_{d,stab} = E_{k,stab} \cdot \gamma_{G,inf} = 1904,77 \cdot 0,9$$

$$E_{d,stab} = \underline{1714,29 \text{ kN}}$$

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab} \Rightarrow 1681,52 \leq 1714,29 \text{ kN}$$

- vyhovuje – nádrž, při výskytu podzemní vody až k upravenému terénu, nevyplave.