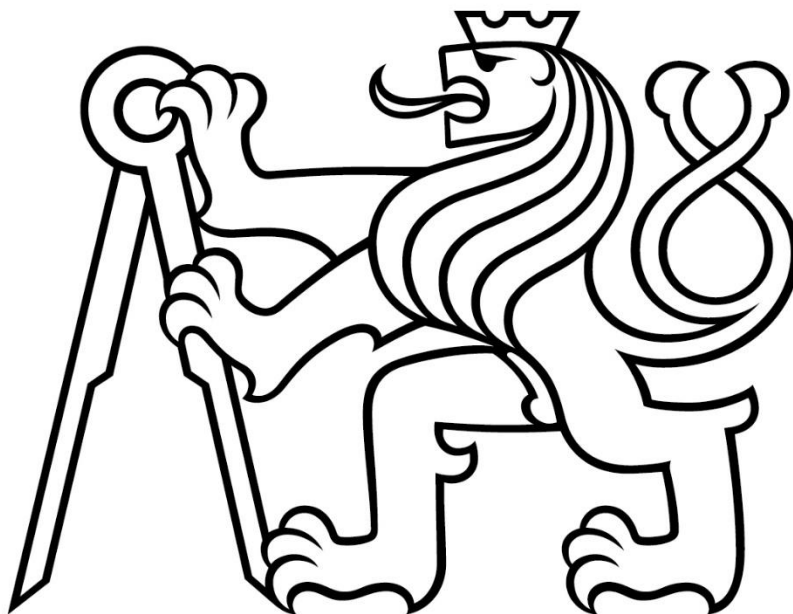


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh čistírny odpadních vod v Kamenici
(Design of sewage treatment plant in Kamenice)

B – Statický výpočet

Alena Malá

2020

Vedoucí práce: Ing. Martin Tipka, Ph.D.

**Obsah**

1	SCHÉMA A POPIS KONSTRUKCE.....	4
2	POUŽITÉ MATERIÁLY.....	7
3	KRYCÍ VRSTVA.....	8
4	PŘEHLED ZATÍŽENÍ.....	9
4.1	Stálé zatížení	9
4.2	Proměnné zatížení	12
5	KOMBINACE ZATÍŽENÍ	16
6	PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH NOSNÝCH PRVKŮ	17
6.1	Deska nad kalojemem	17
6.2	Obvodová stěna	18
6.3	Vnitřní stěny	21
6.4	Dno nádrží.....	23
7	MODEL KONSTRUKCE	24
8	PODROBNÝ NÁVRH NOSNÝCH PRVKŮ.....	25
8.1	Napětí v základové spáře	25
8.2	Vyplavání	26
8.3	Vnitřní síly dna nádrží	27
8.3.1	Kvazistálá kombinace.....	27
8.3.2	Základní kombinace	29
8.4	Návrh a dimenze dna nádrží.....	31
8.4.1	Raná fáze po betonáži.....	31
8.4.2	Fáze plného zatížení – ověření šířky trhlin a posouzení ohybové výztuže	34
8.4.3	Posouzení MSÚ	35
8.4.4	Konstrukční zásady	38
8.4.5	Návrh výztuže desky	38
8.5	Vnitřní síly stěn tloušťky 400 mm.....	39
8.5.1	Kvazistálá kombinace.....	39
8.6	Návrh dimenze stěn nádrží tloušťky 400 mm	41
8.6.1	Návrh svislé výztuže stěn	41
8.6.2	Návrh vodorovné výztuže stěn	41
8.6.3	Posouzení MSÚ	44
8.6.4	Konstrukční zásady	47
8.6.5	Návrh výztuže.....	47
8.7	Vnitřní síly stěny ST4.....	48
8.7.1	Kvazistálá kombinace.....	48

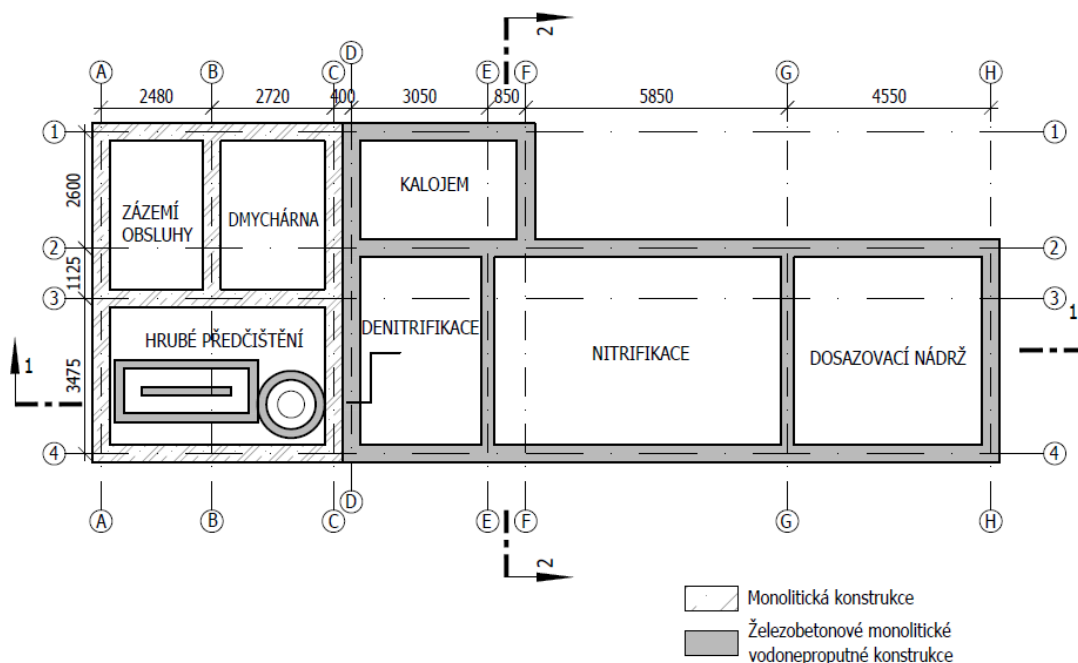


8.8	Návrh dimenze stěn nádrží ST4	50
8.8.1	Návrh svislé výztuže stěn	50
8.8.2	Návrh vodorovné výztuže stěn	52
8.8.3	Posouzení MSÚ	58
8.8.4	Konstrukční zásady	60
8.8.5	Návrh výztuže.....	61
8.9	Vnitřní síly stěn ST8, ST9	62
8.9.1	Kvazistálá kombinace.....	63
8.10	Návrh dimenze stěn nádrží ST8, ST9.....	65
8.10.1	Návrh svislé výztuže stěn	65
8.10.2	Návrh vodorovné výztuže stěn	65
8.10.3	Posouzení MSÚ	69
8.10.4	Konstrukční zásady	71
8.10.5	Návrh výztuže.....	71
8.11	Vnitřní síly desky nad kalojemem.....	72
8.11.1	Kvazistálá kombinace.....	72
8.12	Návrh dimenze desky nad kalojemem	74
8.12.1	Posouzení šířky trhlín dle ČSN 1992-3.....	75
8.12.2	Posouzení šířky trhlín dle ČSN 1992-1-1	77
8.12.3	Posouzení MSÚ	78
8.12.4	Konstrukční zásady	80
8.12.5	Návrh výztuže desky	80
9	KOTEVNÍ A PŘESAHOVÉ DÉLKY.....	81
9.1	Kotevní délka	81
9.2	Přesahová délka.....	82
	POUŽITÝ SOFTWARE	83

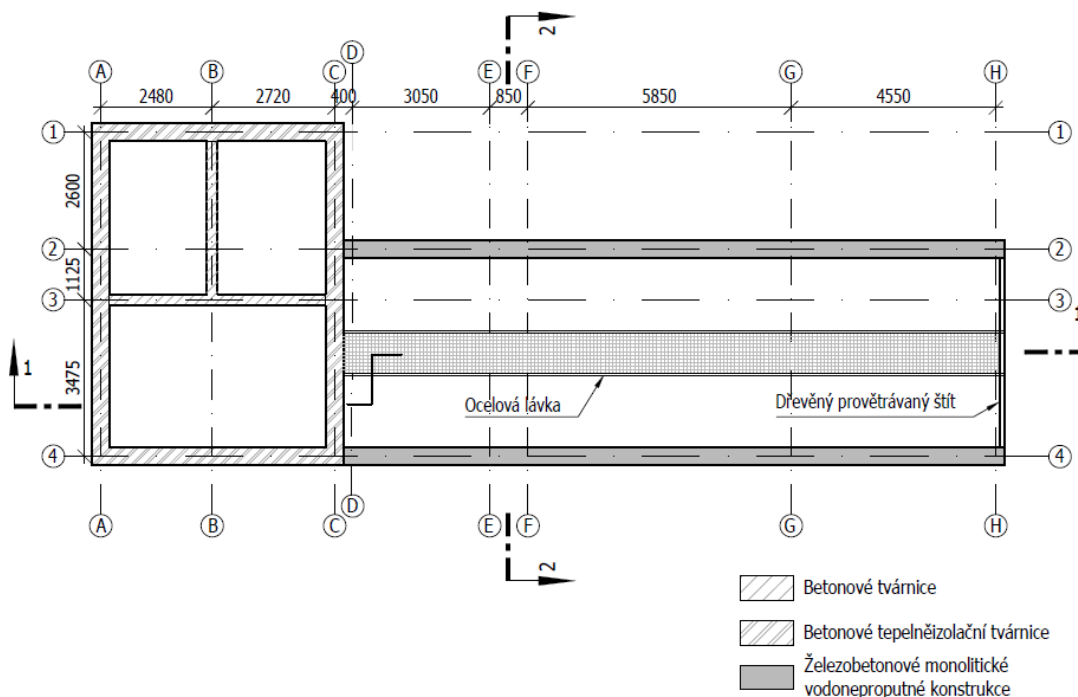


1 Schéma a popis konstrukce

PŮDORYS 1.PP

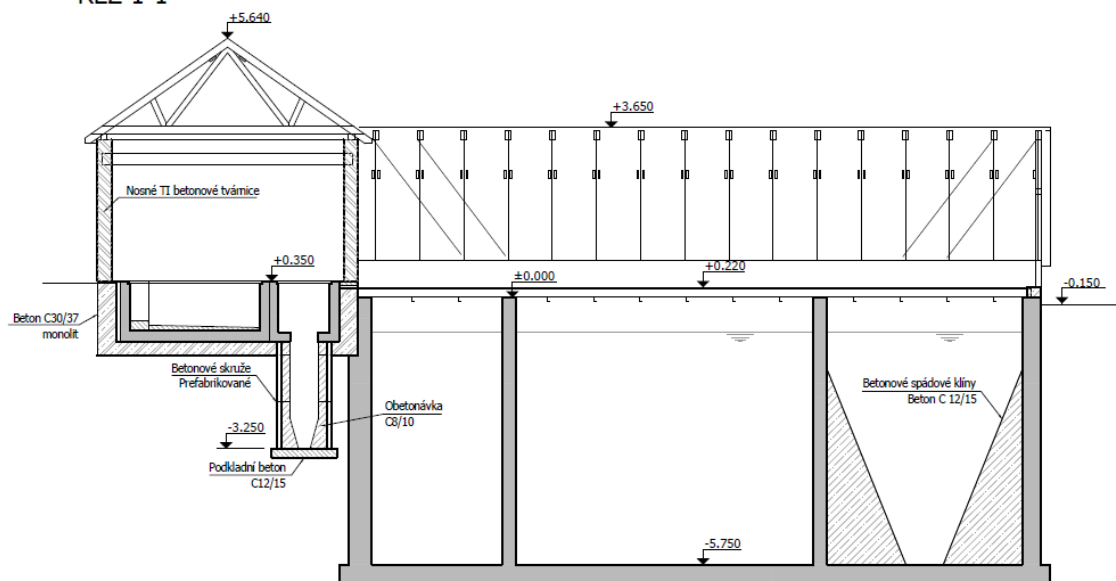


PŮDORYS 1.NP





ŘEZ 1-1



ŘEZ 2-2

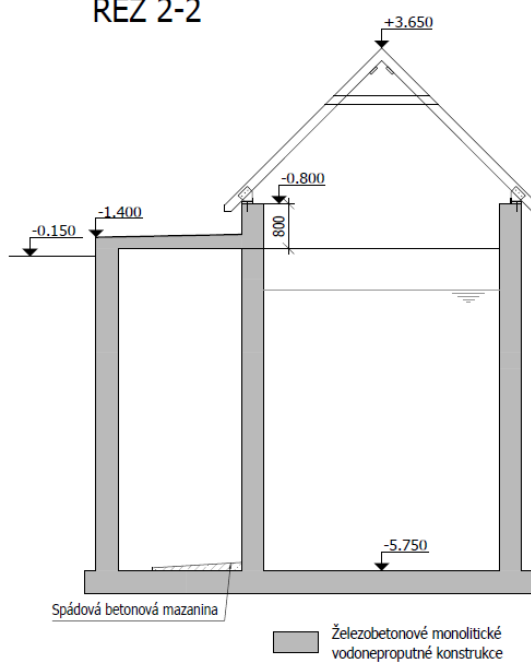
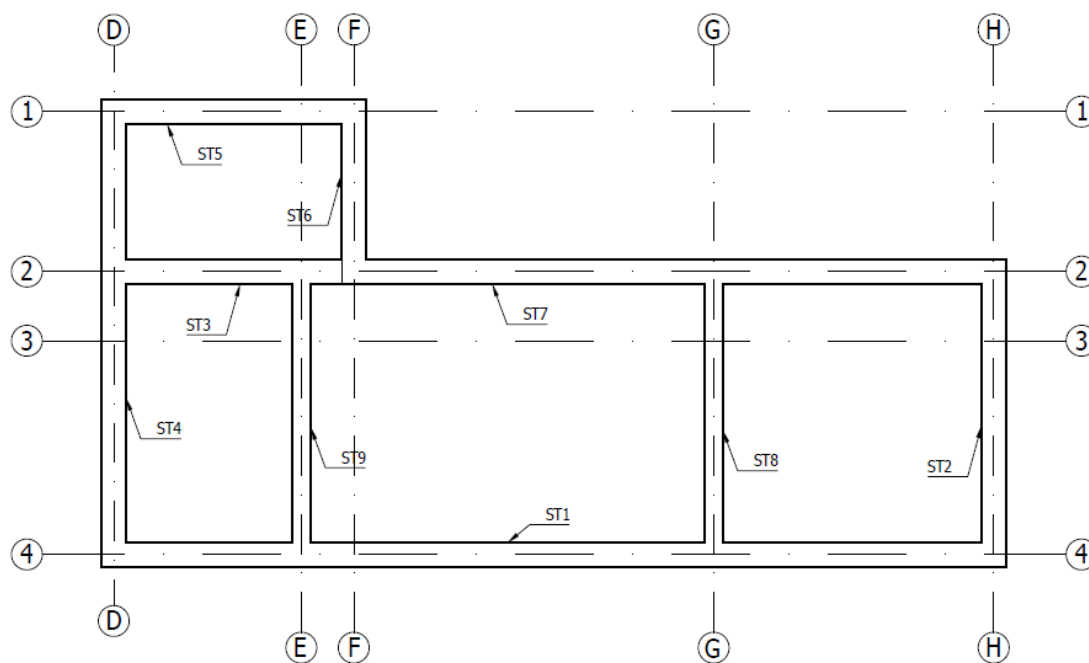




SCHÉMA STĚN NÁDRŽÍ





2 Použité materiály

Beton

Minimální třída betonu stanovena z normy ČSN EN 206 a upravena dle normy ČSN P 73 2404. Předpokládaná životnost 50 let.

Beton dna

C25/30 – XA1, XC4 – C10,2 – D_{max}16 – S3

- Charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
- Návrhová pevnost v tlaku $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 25/1,5 = 16,7 \text{ MPa}$
- Střední hodnota pevnosti v tahu za ohybu $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$
- Průměrná hodnota pevnosti v tahu v okamžiku prvního očekávaného vzniku trhliny $f_{ct,eff} = 1,3 \text{ MPa}$
- Střední hodnota modulu pružnosti $E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$

Beton stěn a desky nad kalojemem

C25/30 – XA1, XC4, XF3 – C10,2 – D_{max}16 – S3

- Charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
- Návrhová pevnost v tlaku $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 25/1,5 = 16,7 \text{ MPa}$
- Střední hodnota pevnosti v tahu za ohybu $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$
- Průměrná hodnota pevnosti v tahu v okamžiku prvního očekávaného vzniku trhliny $f_{ct,eff} = 1,3 \text{ MPa}$
- Střední hodnota modulu pružnosti $E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$

Výztuž

Betonářská výztuž B500B

- Charakteristická mez kluzu $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- Návrhová pevnost výztuže $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 434,8 \text{ MPa}$
- Modul pružnosti $E_s = 200 \text{ GPa}$



3 Krycí vrstva

Návrhová životnost:	50 let
Stupeň vlivu prostředí:	XC4
Uvažovaný průměr vyztuženého prutu:	12 mm
Třída konstrukce:	S3
Přídavek na návrhovou odchylku:	

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

Minimální hodnota krytí:

$$\begin{aligned} c_{\text{min}} &= \max (c_{\text{min,b}}; c_{\text{min,dur}} + \Delta c_{\text{dur,y}} - \Delta c_{\text{dur,st}} - \Delta c_{\text{dur,add}}; 10 \text{ mm}) = \\ &= \max (12; 30 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nominální hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$



4 Přehled zatížení

4.1 Stálé zatížení

Vlastní tíha

Objemová hmotnost železobetonu: 2500 kg/m^3

Generováno výpočtním programem

Zatížení podlahy dmychárny, hrubého předčištění a zázemí obsluhy

Popis vrstvy	Objemová hmotnost [kN/m ³]	Tloušťka [mm]	Char. hodnota plošného zatížení [kN/m ²]
Betonová mazanina	24	100	2,4
Pěnový polystyren EPS	0,3	50	0,015
Železobetonová deska	25	150	3,75
Podkladní beton	24	50	1,2
Štěrkopískový zásyp	18	950	17,1
Celkem			24,47

Spádové klíny v dosazovací nádrži

Popis vrstvy	Objemová hmotnost [kN/m ³]	Výška [mm]	Char. hodnota plošného zatížení [kN/m ²]
Spádový klín	24	4200	100,8

Střecha – nad provozním objektem a aktivačními nádržemi

Popis vrstvy	Plošné zatížení [kN/m ²]	Zatěžovací šířka [m]	Char. hodnota liniového zatížení [kN/m]
Tašková krytina	0,6	3,8	2,28
Tepelná izolace	$0,5 \cdot 0,2 = 0,1$	3,2	0,32
Podhled	0,35	3,2	1,12
Krov			1
Celkem			4,72

Obvodové zdivo provozního objektu

Typ zdiva: BS Klatovy – TOB+S Z400-P6

Tloušťka: 400 mm

Plošné zatížení: 450 kg/m^2



4 Přehled zatížení

Výška a: 3,25 m

Charakteristická hodnota liniového zatížení: $3,25 \cdot 450/100 = 14,63 \text{ kN/m}$

Výška b: 5,3 m

Charakteristická hodnota liniového zatížení: $5,3 \cdot 450/100 = 23,85 \text{ kN/m}$

Zdivo nosné interiérové stěny

Typ zdiva: BS Klatovy – TNB 240/Lep 198 – P6

Tloušťka: 240 mm

Plošné zatížení: 370 kg/m^2

Výška: 3,25 m

Charakteristická hodnota liniového zatížení: $3,25 \cdot 370/100 = 12,03 \text{ kN/m}$

Příčky

Typ zdiva: BS Klatovy – TPB 175

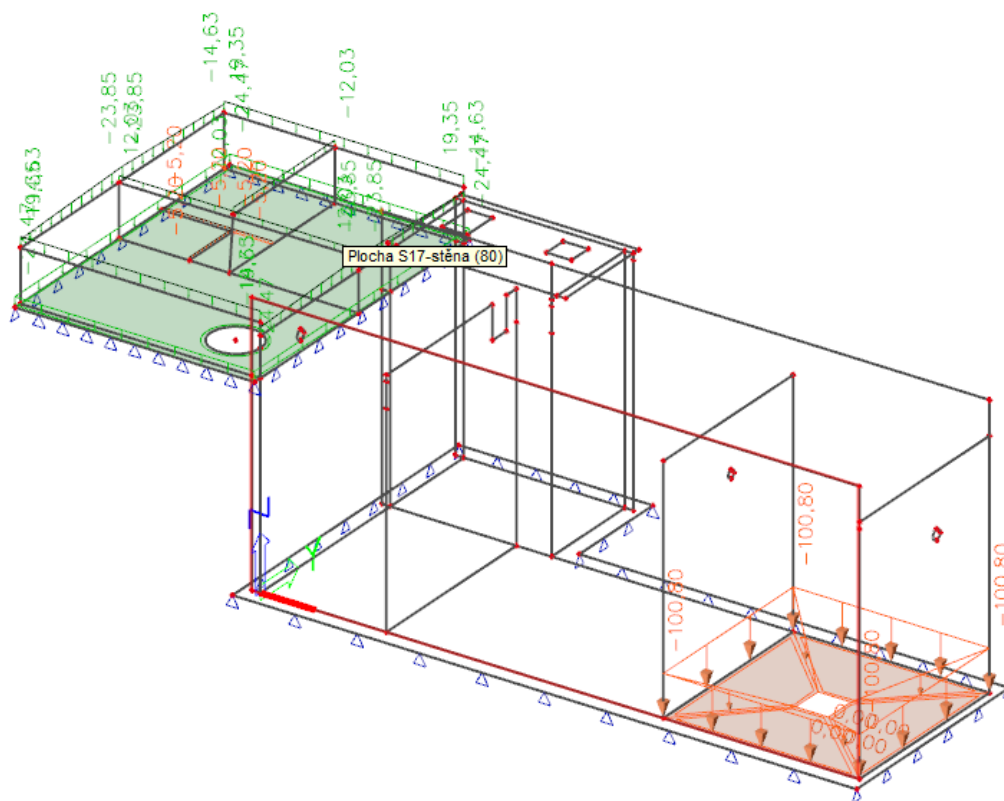
Tloušťka: 125 mm

Objemová hmotnost: 1280 kg/m^3

Výška: 3,25 m

Charakteristická hodnota liniového zatížení: $0,125 \cdot 3,25 \cdot 1280/100 = 5,20 \text{ kN/m}$

Zobrazení stálého zatížení na provozní objekt a aktivační nádrže





Zemní tlak

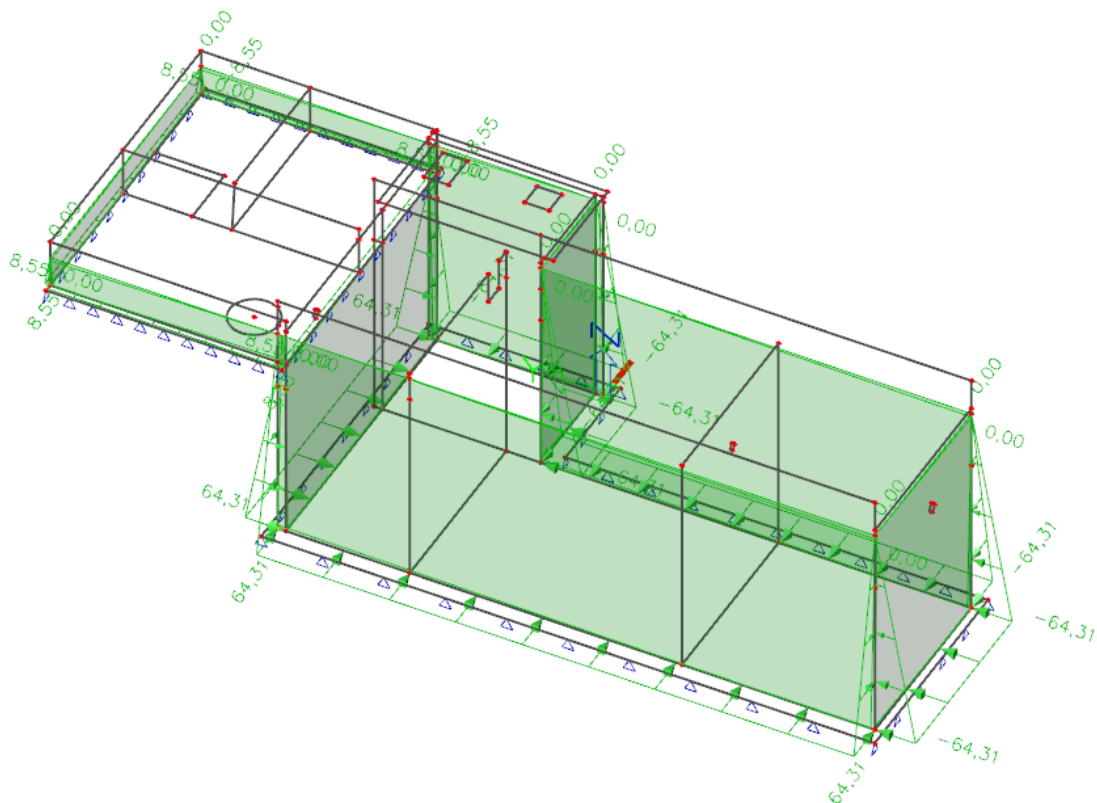
Výška zeminy: 5,5 m

Objemová hmotnost zeminy: 18,0 kN/m³

Objemová hmotnost zeminy nasycené vodou: 12,0 kN/m³

Součinitel vnitřního tření: 28°

Součinitel zemního tlaku v klidu: $K_0 = 1 - \Phi_{ef} = 1 - \sin 28 = 0,53$

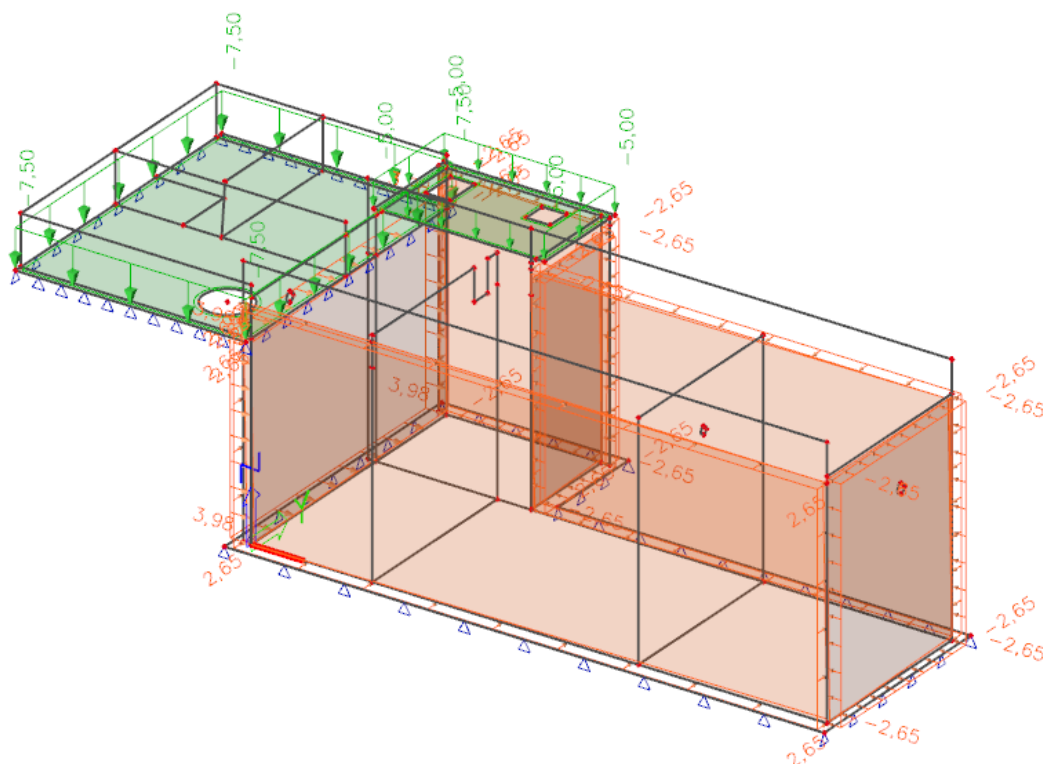


Povrchové zatížení terénu dle ČSN EN 1991-1-1: kategorie G: 5,00 kN/m²

Jako zemní tlak: $5 \cdot 0,53 = 2,65 \text{ kN/m}^2$

Užitné zatížení v objektu dle ČSN EN 1991-1-1: kategorie E1: $7,50 \text{ kN/m}^2$

Jako zemní tlak: $7,5 \cdot 0,53 = 3,975 \text{ kN/m}^2$



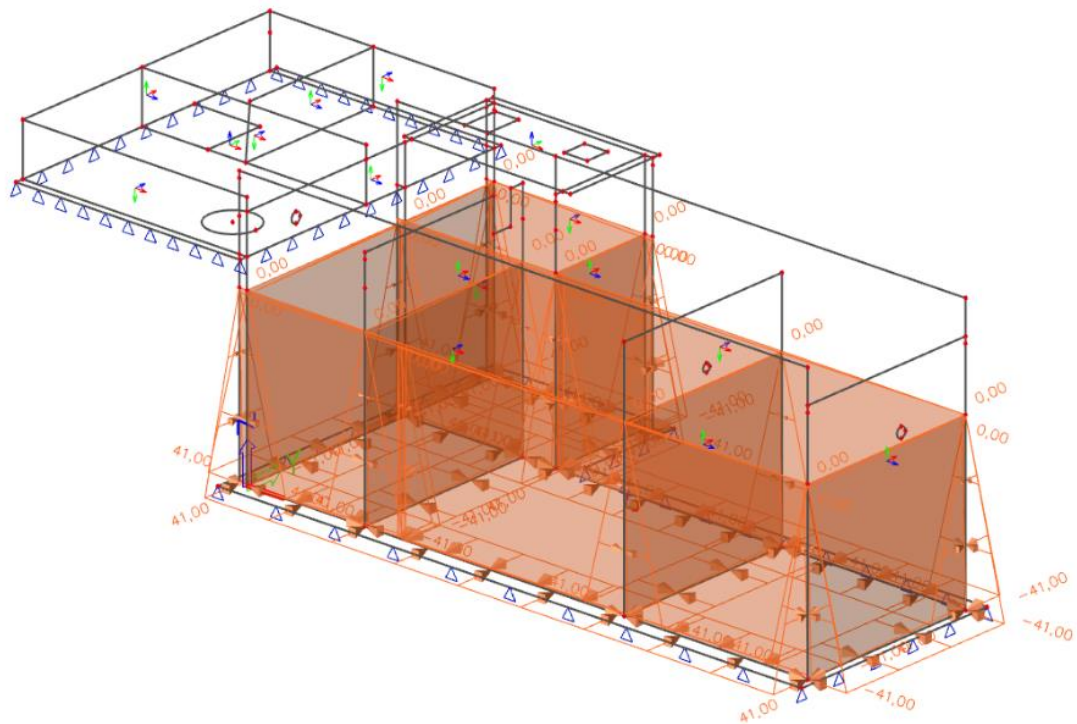


Spodní voda

Hladina spodní vody pod úrovní terénu: 1,5 m (4,1 m nad horní úrovní dna)

Objemová tíha vody: 10,0 kN/m³

Vztlak: $10,0 \cdot 4,1 = 41,0$ kN/m²



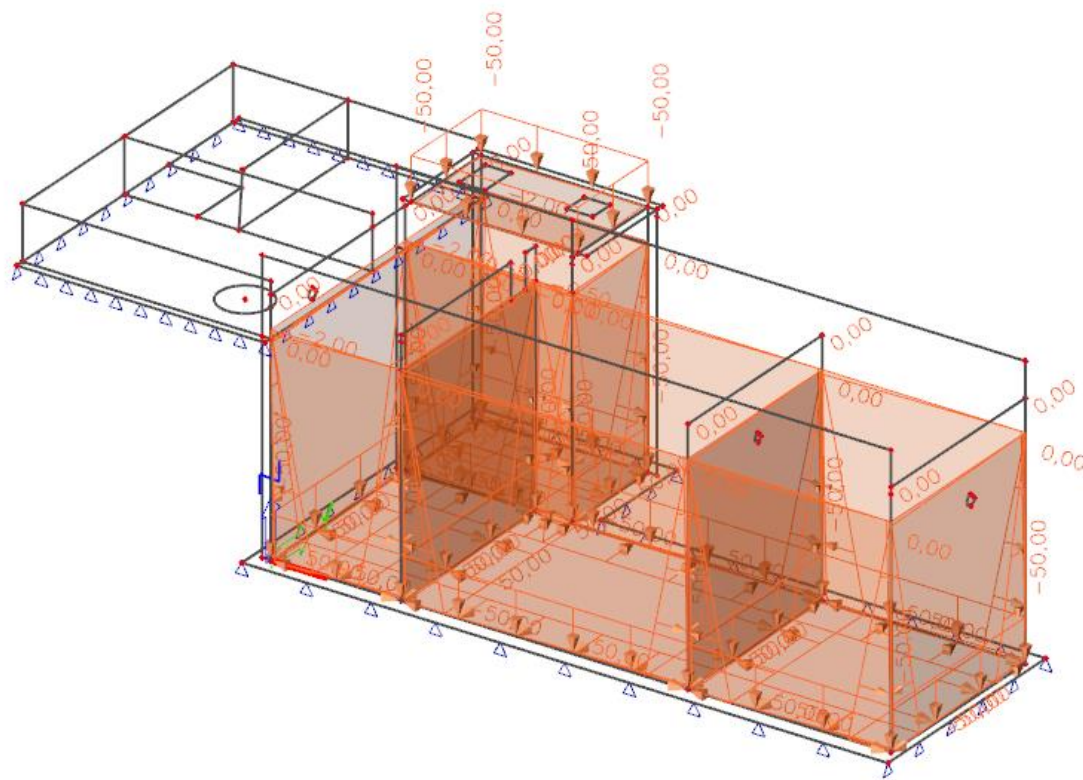


Voda uvnitř všech nádrží

Uvažovaná výška hladiny nad horní hranou nádrží: 5,0 m

Objemová tíha vody: 10,0 kN/m³

$$q_v = 10,0 \cdot 5,0 = 50 \text{ kN/m}^2$$





Zatížení sněhem

II. sněhová oblast

$$s_k = 1,00 \text{ kPa} = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice: otevřený typ krajiny: 0,8

Součinitel tepla: 1

Sklon střechy provozního objektu i nad aktivačními nádržemi: 35°

$$\mu_1 = 0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30 = 0,8 \cdot (60 - 35) / 30 = 0,67$$

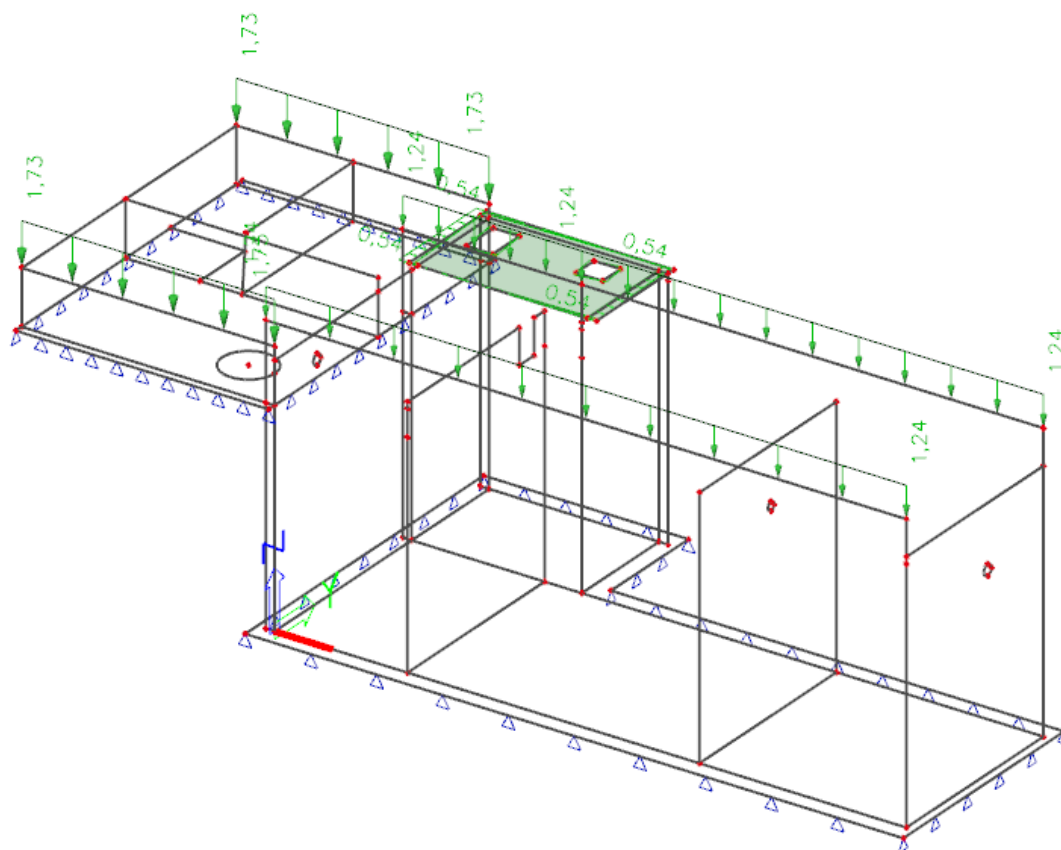
$$\text{Průměrné zatížení sněhem: } s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,67 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

Zatěžovací šířka provozního objektu: 3,2 m

$$\text{Zatížení obvodové stěny provozního objektu: } 3,2 \cdot 0,54 = 1,73 \text{ kN/m}$$

Zatěžovací šířka aktivačních nádrží: 2,3 m

$$\text{Zatížení obvodové stěny aktivačních nádrží: } 2,3 \cdot 0,54 = 1,24 \text{ kN/m}$$





5 Kombinace zatížení

Mezní stav únosnosti

Základní kombinace zatížení

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

Mezní stav použitelnosti

Charakteristická kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kvazistálá kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

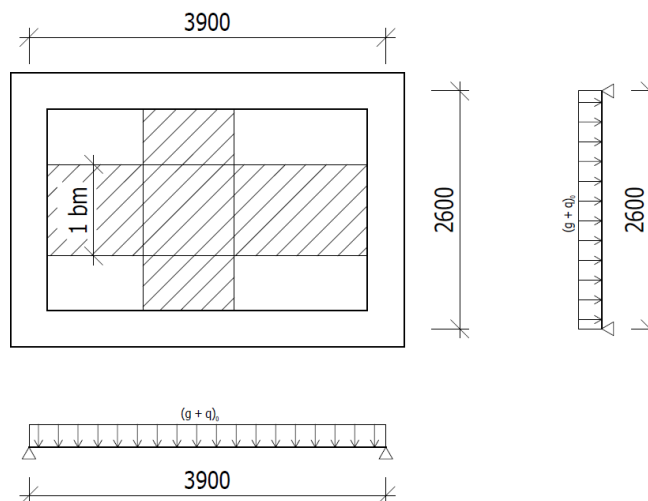
Dílčí součinitele byly vygenerovány pomocí programu Scia Engineer



6 Předběžný návrh nosných prvků

6.1 Deska nad kalojemem

Půdorys



Po obvodě podepřená deska – uvažováno kloubové uložení na stěnách

Rozměry: 3900 x 2600 mm

Beton: C25/30 - XA1, XC4, XF3 – CI0,2 - D_{max}16 – S3

Krytí: 40 mm

Empirický návrh tloušťky desky: $h_d = \frac{1}{75} \cdot (L_x + L_y) = \frac{1}{75} \cdot (2600 + 3900) = 87 \text{ mm}$

Návrh na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti desky:

$$\lambda = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 18,5 = 20,35$$

$\kappa_{c1} = 1$... obdélníkový průřez

$\kappa_{c2} = 1$... rozhodující rozpětí < 7,0 m

$\kappa_{c3} = 1,1$... odhad součinitele napětí tahové výztuže

$\lambda_{d,tab} = 18,5$... $\rho \leq 0,5 \%$

$$d \geq L/\lambda_d = \frac{2600}{18,5} = 140 \text{ mm}$$

předpokládané krytí: 40 mm

předpokládaný profil výztuže: 12 mm

$$h_d = d + c + \frac{\varnothing}{2} = 140 + 40 + 6 = 186 \text{ mm}$$

Návrh: $h_d = 250 \text{ mm}$ (voleno s ohledem na přísné požadavky na rozvoj trhlin)

Účinná výška průřezu: $d = h_d - c - \frac{\varnothing}{2} = 250 - 40 - 6 = 204 \text{ mm}$



Zatížení

Zatížení	f_k [kN/m ²]	γ_F	f_d [kN/m ²]
ŽB deska	$0,25 \cdot 25 = 6,25$	1,35	8,44
Užitné zat. (kat. G)	5	1,5	7,5
Sníh	0,54	1,5	0,81
Celkem $(g + q)_d$		16,75	

Maximální návrhový moment (podle teorie pružnosti):

$$\alpha = \frac{L_y}{L_x} = \frac{3,9}{2,6} = 1,5 \rightarrow a_1 = 13,9; b_1 = 70,2$$

Moment v poli:

$$m_x = \frac{1}{a_1} \cdot (g + q)_d \cdot l_x^2 = \frac{1}{13,9} \cdot 16,75 \cdot 2,6^2 = 8,15 \text{ kN} \cdot \text{m/m'}$$

$$m_y = \frac{1}{b_1} \cdot (g + q)_d \cdot l_y^2 = \frac{1}{70,2} \cdot 16,75 \cdot 3,9^2 = 3,63 \text{ kN} \cdot \text{m/m'}$$

$$\text{Poměrný ohybový moment: } \mu = \frac{m_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8,15 \cdot 10^3}{1 \cdot 204^2 \cdot 16,7} = 0,012$$

$$\text{Poměrná výška tláčené oblasti: } \zeta = 0,015 \text{ (z tabulek)} < \zeta_{opt} = 0,1$$

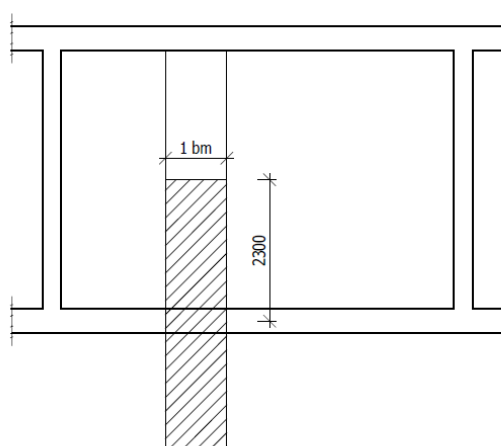
$$\text{Potřebná plocha výztuže: } a_{s,req} = \frac{0,8 \cdot b \cdot d \cdot \zeta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,8 \cdot 1000 \cdot 204 \cdot 0,015 \cdot 16,7}{434,8} = 95 \text{ mm}^2$$

$$\text{Orientační stupeň vyztužení: } \rho = \frac{a_{s,req}}{b \cdot d} = \frac{95 \cdot 100}{1000 \cdot 204} = 0,047 \% \leq 0,5$$

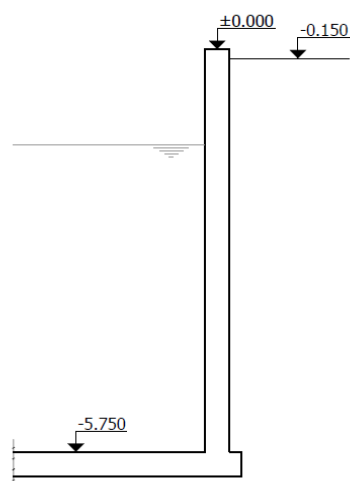
Navržený rozměr desky vyhovuje**6.2 Obvodová stěna**

Návrh proveden pro nejnepříznivější případ – střední část stěny ST1

Půdorys



Řez





Návrh: tloušťky stěny $t = 400 \text{ mm}$

Teoretická výška hladiny spodní vody pro určení omezení pro šířku trhlin $h_2 = 4,1 \text{ m}$ nad horní hladinou dna

Výška hladiny vody uvnitř nádrží $h_D = 5,0 \text{ m}$ nad horní hladinou dna

$$h_D/t = 5/0,4 = 12,5$$

Šířka trhlin dle ČSN EN 1992-3: $w = 0,16 \text{ mm}$

Beton: C25/30 - XA1, XC4, XF3 - Cl0,2 - D_{max}16 - S3

Krytí: 40 mm

Ověření je provedeno pro pruh stěny šířky 1,0 m

Výška stěny: 5750 mm

Zatížení vlastní tíhou stěny:

$$g_0 = \gamma_G \cdot t \cdot b \cdot h \cdot 25 = 1,35 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 25 \cdot h = 13,5 \cdot h \text{ kN}$$

Normálové zatížení F v hlavě stěny:

$$\text{Zatěžovací plocha: } A = 1 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} F &= (\gamma_G \cdot g_{\text{střecha}} + \gamma_Q \cdot q_{\text{sníh}}) \cdot A = \\ &= (3,72 \cdot 1,35 + 0,54 \cdot 1,5) \cdot 2,5 = 14,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

Zatížení zemním tlakem:

$$\text{Užitné zatížení na terénu: } 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel zemního tlaku v klidu K_0 : 0,53

Návrhový zemní tlak v úrovni terénu:

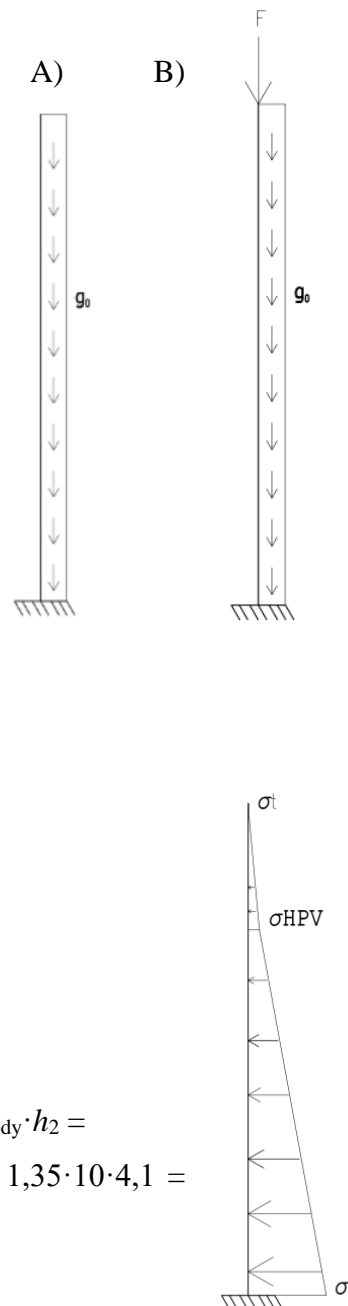
$$\sigma_t = K_0 \cdot q \cdot \gamma_Q = 0,53 \cdot 5 \cdot 1,5 = 3,98 \text{ kN/m}^2$$

Návrhový zemní tlak v úrovni HPV:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{HPV}} &= K_0 \cdot (q \cdot \gamma_Q + \gamma_{\text{zem}} \cdot \gamma_G \cdot h_1) = \\ &= 0,53 \cdot (5 \cdot 1,5 + 19 \cdot 1,35 \cdot 1,5) = \\ &= 24,37 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Návrhový zemní tlak v patě stěny:

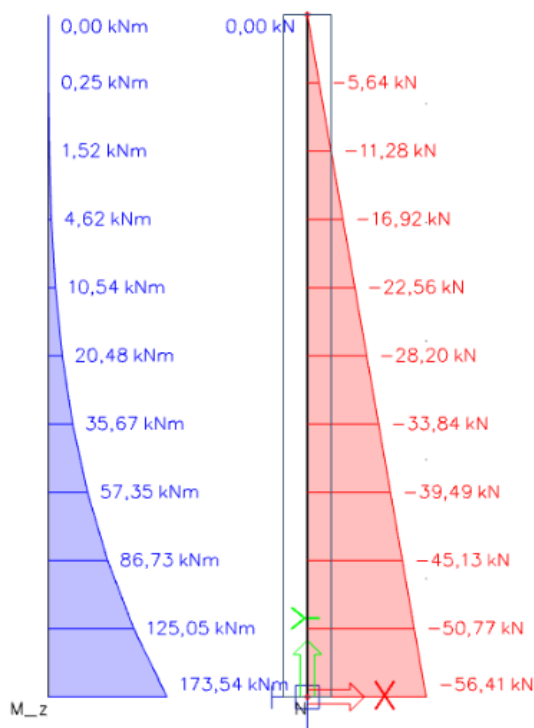
$$\begin{aligned} \sigma_1 &= K_0 \cdot (q \cdot \gamma_Q + \gamma_{\text{zem}} \cdot \gamma_G \cdot h_1 + \gamma_{\text{zem,HPV}} \cdot \gamma_G \cdot h_2) + \gamma_G \cdot \gamma_{\text{vody}} \cdot h_2 = \\ &= 0,53 \cdot (5 \cdot 1,5 + 19 \cdot 1,35 \cdot 1,5 + 1,35 \cdot 12 \cdot 4,1) + 1,35 \cdot 10 \cdot 4,1 = \\ &= 114,92 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$



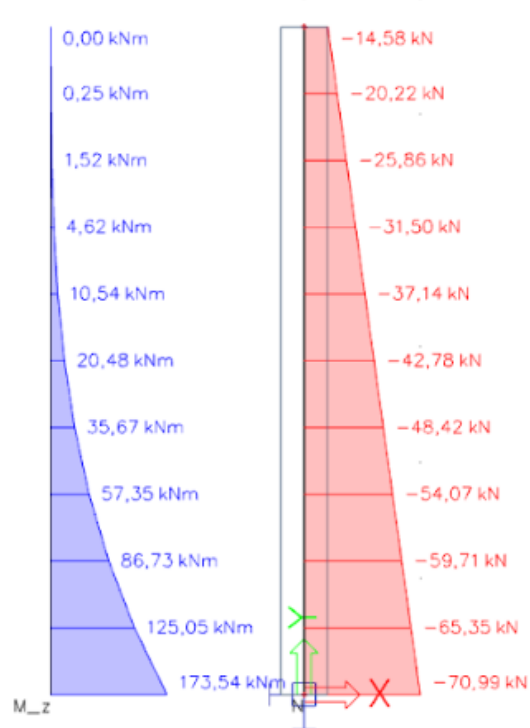


Vnitřní síly ST1

Varianta A



Varianta B



Ověření možnosti vyztužení: varianta A

$$v_A = \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_{cd}} = \frac{56,41 \cdot 10^3}{1000 \cdot 400 \cdot 16,7} = 0,0084$$

$$\mu_A = \frac{M_{Ed}}{b \cdot t^2 \cdot f_{cd}} = \frac{173,54 \cdot 10^6}{1000 \cdot 400^2 \cdot 16,7} = 0,065$$

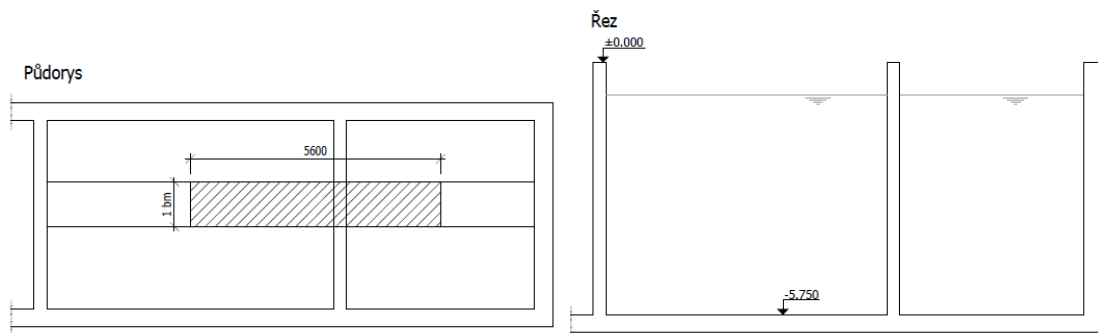
Z nomogramu: $\omega = 0$, $A_{s,req} = 0$

Ověření možnosti vyztužení: varianta B

$$v = \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_{cd}} = \frac{70,99 \cdot 10^3}{1000 \cdot 400 \cdot 16,7} = 0,0106$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot t^2 \cdot f_{cd}} = \frac{173,54 \cdot 10^6}{1000 \cdot 400^2 \cdot 16,7} = 0,065$$

Z nomogramu: $\omega = 0$, $A_{s,req} = 0$ **Navržený rozměr stěny vyhovuje**

6.3 Vnitřní stěny

Návrh: tloušťky stěny $t = 300 \text{ mm}$

Teoretická výška hladiny vody pro určení omezení pro šířku trhlin h_D : 5,0 m

$$h_D/t = 5/0,3 = 16,67$$

Šířka trhlin dle ČSN EN 1992-3: $w = 0,14 \text{ mm}$

Beton: C25/30 – XA1, XC4, XF3 – Cl0,2 – $D_{\max} 16$ – S3

Krytí: 40 mm

Ověření je provedeno pro pruh stěny šířky 1,0 m

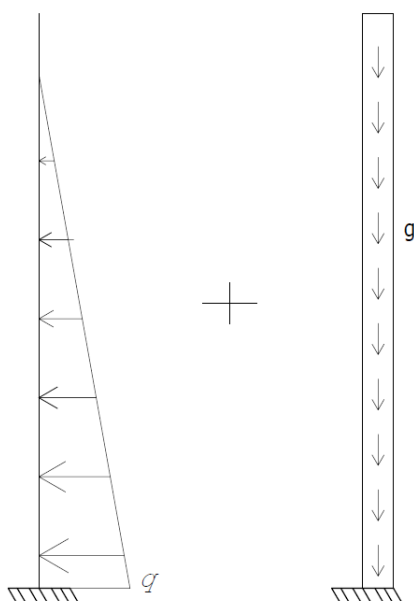
Výška stěny: 5750 mm

Zatížení vlastní tíhou stěny:

$$g_0 = \gamma_G \cdot t \cdot b \cdot h \cdot 25 = 1,35 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 25 \cdot h = 13,5 \cdot h \text{ kN}$$

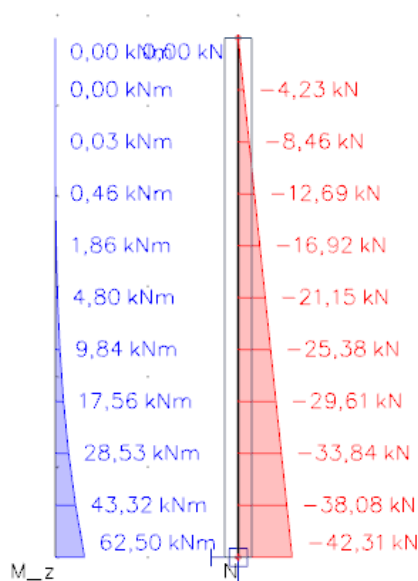
Zatížení od vody uvnitř nádrží: $q = 50 \text{ kN/m}^2$

Statické schéma





Vnitřní síly



Ověření možnosti vyztužení:

$$v = \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_{cd}} = \frac{42,31 \cdot 10^3}{1000 \cdot 300 \cdot 16,7} = 0,0085$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot t^2 \cdot f_{cd}} = \frac{62,5 \cdot 10^6}{1000 \cdot 300^2 \cdot 16,7} = 0,0416$$

Z nomogramu: $\omega = 0$, $A_{s,req} = 0$ **Navržený rozměr stěny vyhovuje**



6.4 Dno nádrží

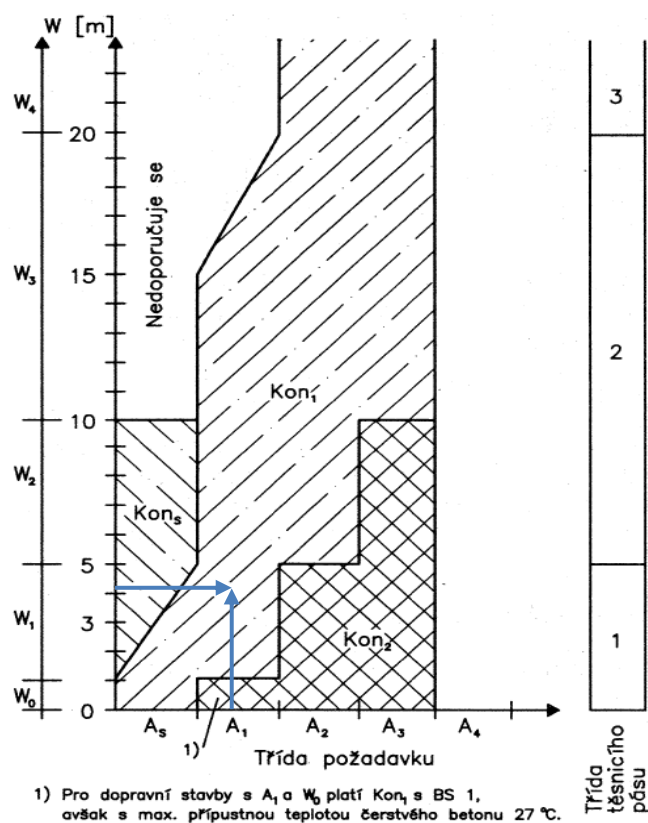
stanoveno z TP ČBS 02

Beton: C25/30 - XA1, XC4 – Cl0,2 – D_{max}16 – S3

Krytí: 40 mm

Třída požadavků: A₁

Třída tlaku vody: w₁ (tlak vody 5 m)



Konstrukční třída: Kon₁

Minimální tloušťka stavebního dílu pro Kon₁ je 350 mm.

Návrh: tloušťka dna 400 mm (stanoveno z TP ČBS 02) pro konstrukční třídu Kon₁



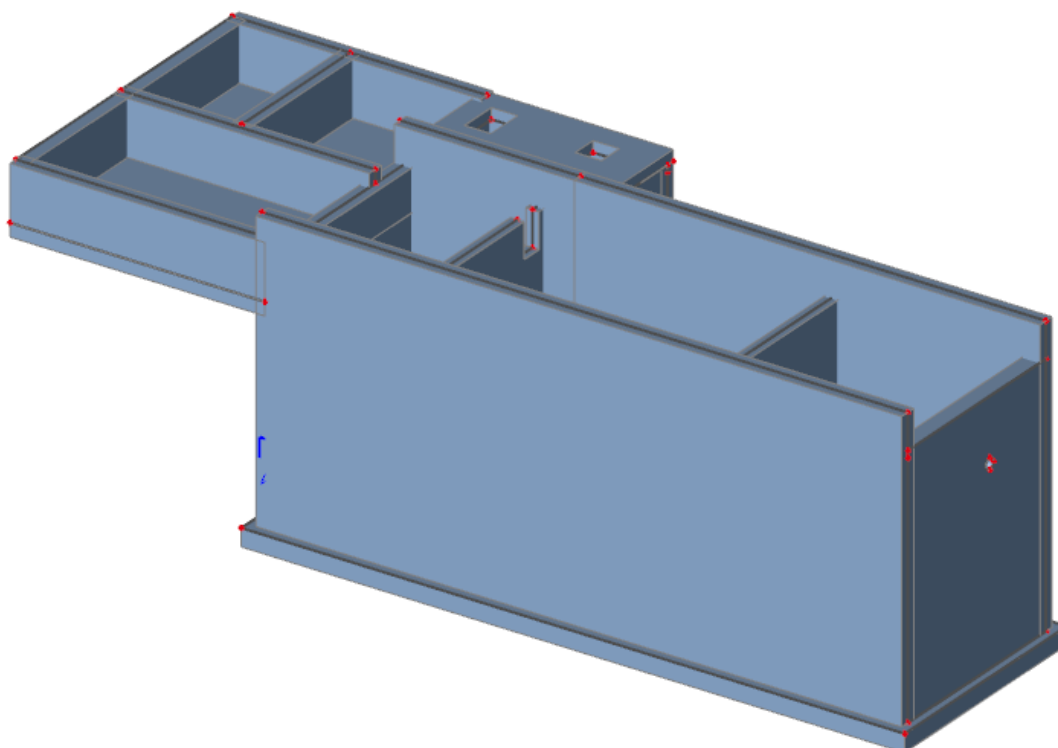
7 Model konstrukce

K podrobnému návrhu ČOV je využit program SCIA Engineer. Model je vytvořen v 3D prostředí. Dno a obvodové stěny nádrže mají tloušťku 400 mm. Výjimka je u stěny ST4, která má horní část tloušťky 300 mm a spodní 500 mm, z důvodu ozubu pro osazení provozního objektu. Vnitřní dělicí stěny jednotlivých nádrží jsou tloušťky 300 mm. Základová deska a stěny provozního objektu jsou tloušťky 300 mm.

Podloží je modelováno jako pružná plošná podpora s tuhostí 40 MN/m^3 , ve směru x a y je uvažovaná tuhost 20 MN/m .

Teoretická hladina spodní vody je uvažována ve výšce 4,1 m nad horní hranou dna nádrže.

Aplikace zatížení byla provedena dle schémat uvedených v předchozí kapitole.

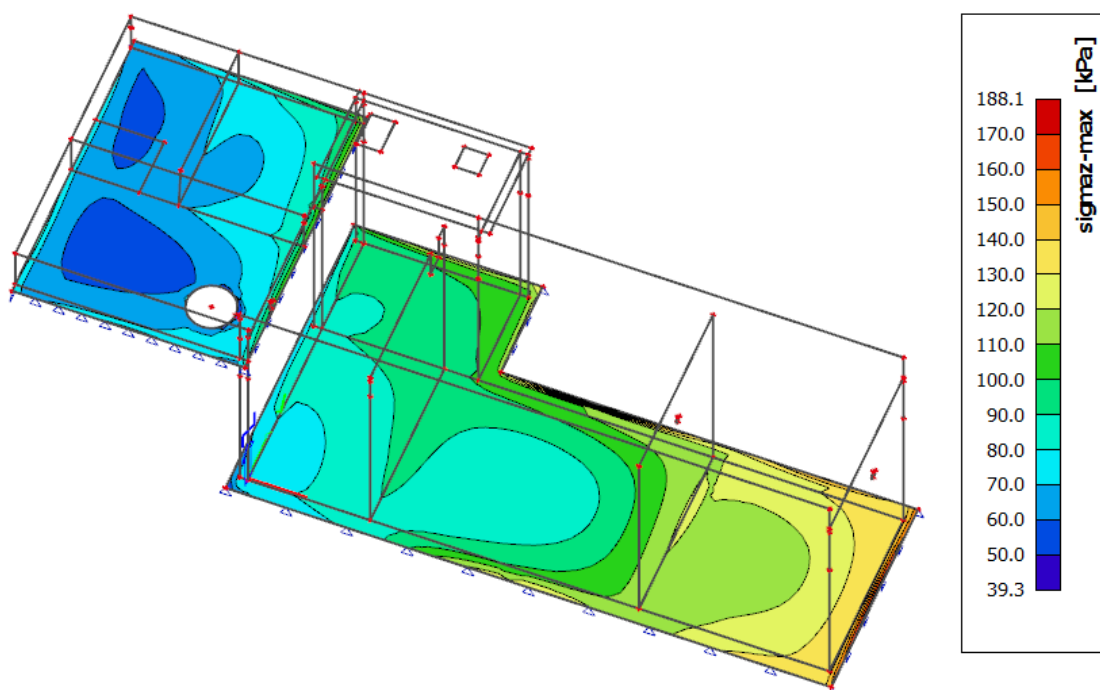


8 Podrobný návrh nosných prvků

8.1 Napětí v základové spáře

Kombinace č. 2 - charakteristická

$1,0 \cdot \text{vlastní tíha} + 1,0 \cdot \text{stálé zatížení} + 1,0 \cdot \text{užitné zatížení} + 1,0 \cdot \text{voda uvnitř všech nádrží} + 1,0 \cdot \text{zatížení sněhem}$



Podloží pod nádržemi bude tvořeno štěrkovým podsypem o mocnosti 500 mm. Pod deskou provozního objektu bude použito kamenivo zpevněné cementem, nebo zhutněný štěrkový podsyp. Uvažovaná tabulková únosnost zeminy $R_{dt} = 150 \text{ kPa}$.

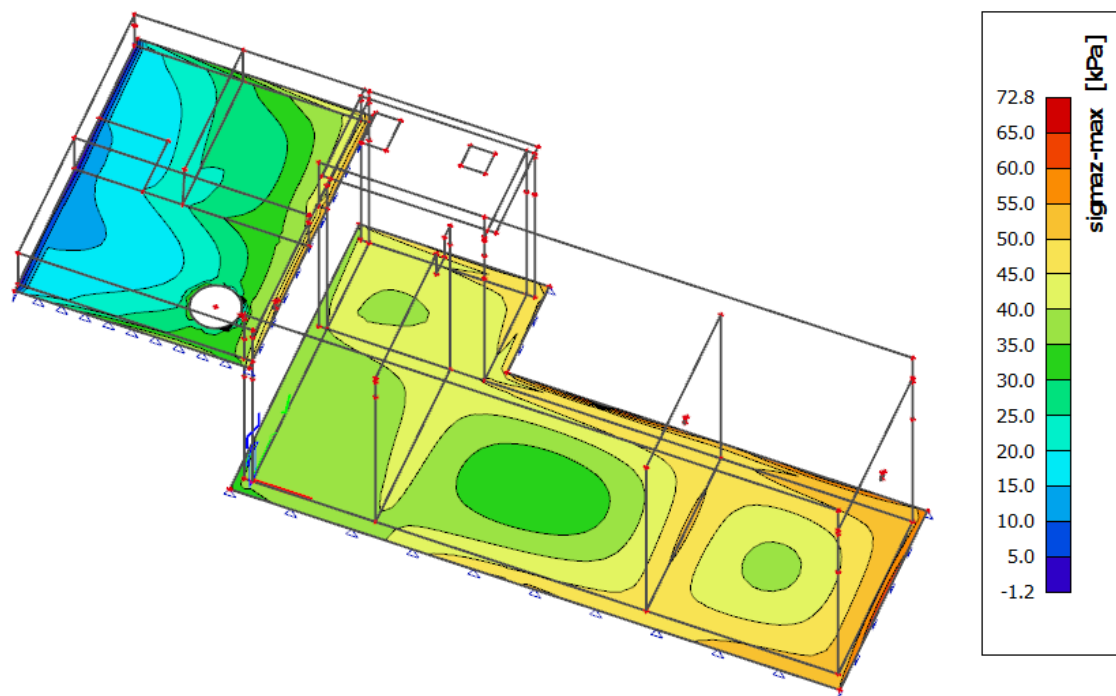
Lokální anomálie, které se objevují na okraji desky lze ignorovat (nereálné hodnoty vycházející z podstaty užití metody výpočtu – MKP).

Tlakové maximum je $140,0 \text{ kPa} < 150,0 \text{ kPa}$. Maximální tlakové napětí se nachází poblíž obvodové stěny ST2.

8.2 Vyplavání**Kombinace č. 3**

$1,0 \cdot \text{vlastní tíha} + 1,0 \cdot \text{spodní voda}$

Napětí v základové spáře



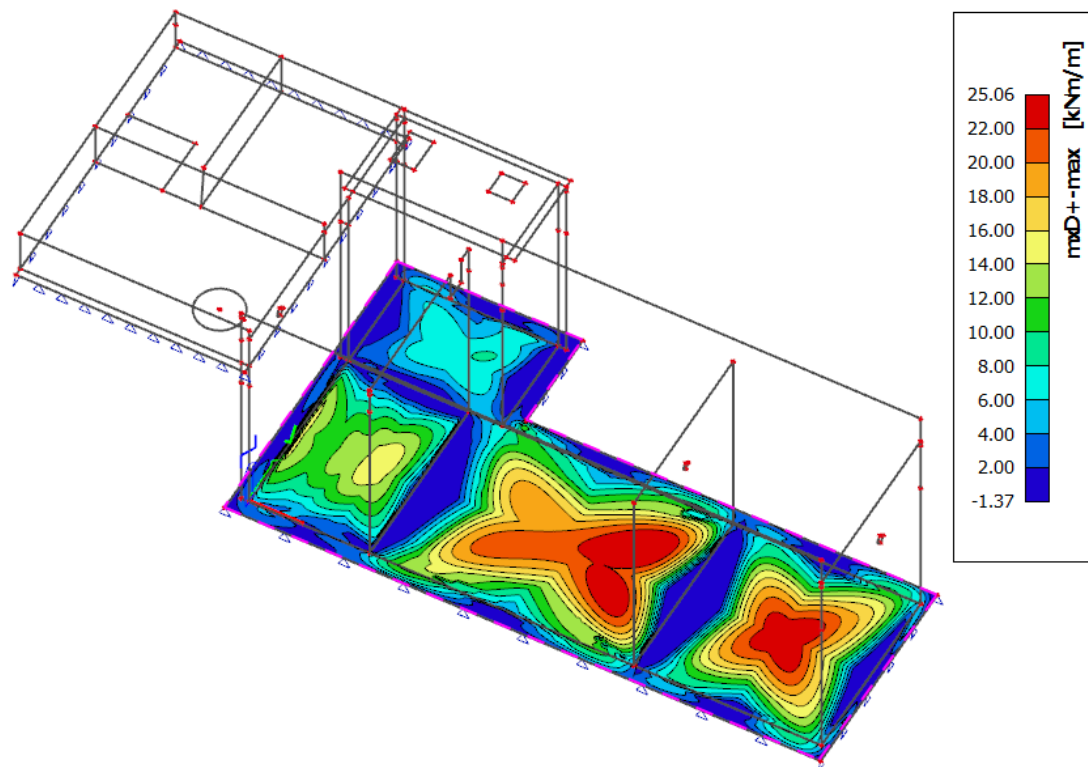
Všude v základové spáře je tlak (anomálie na okrajích desky lze ignorovat). Prázdná nádrž ani při uvažované hladině spodní vody nevyplave.



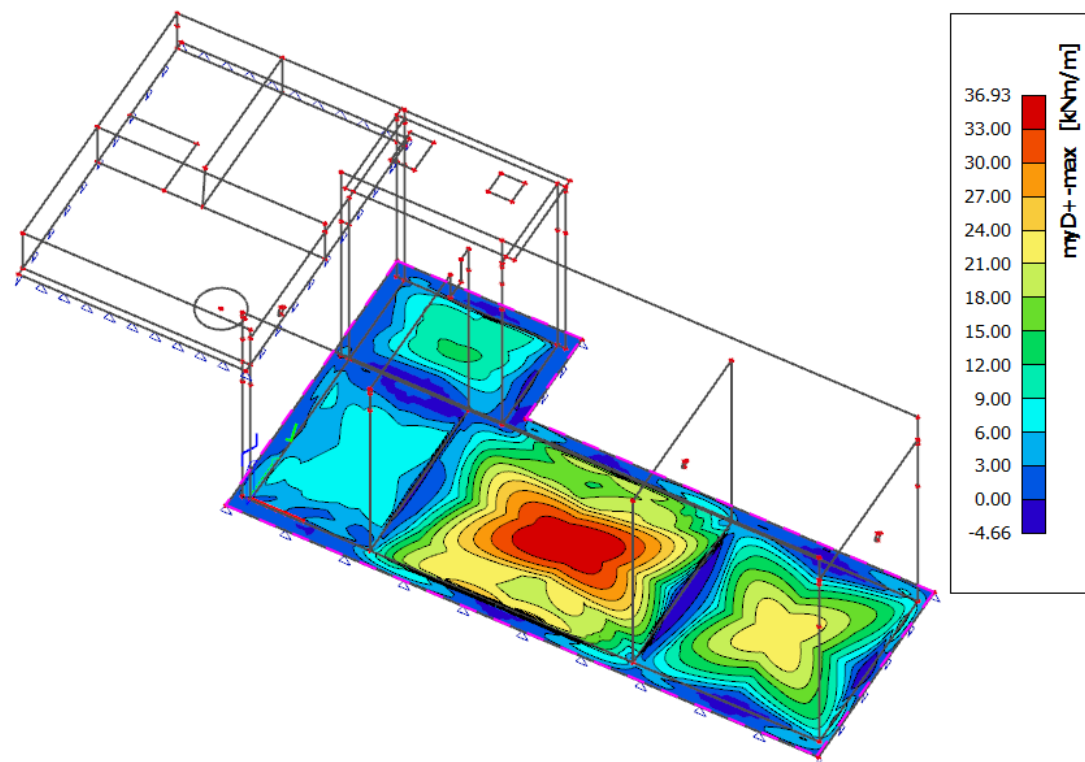
8.3 Vnitřní síly dna nádrží

8.3.1 Kvazistálá kombinace

Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u horního povrchu desky

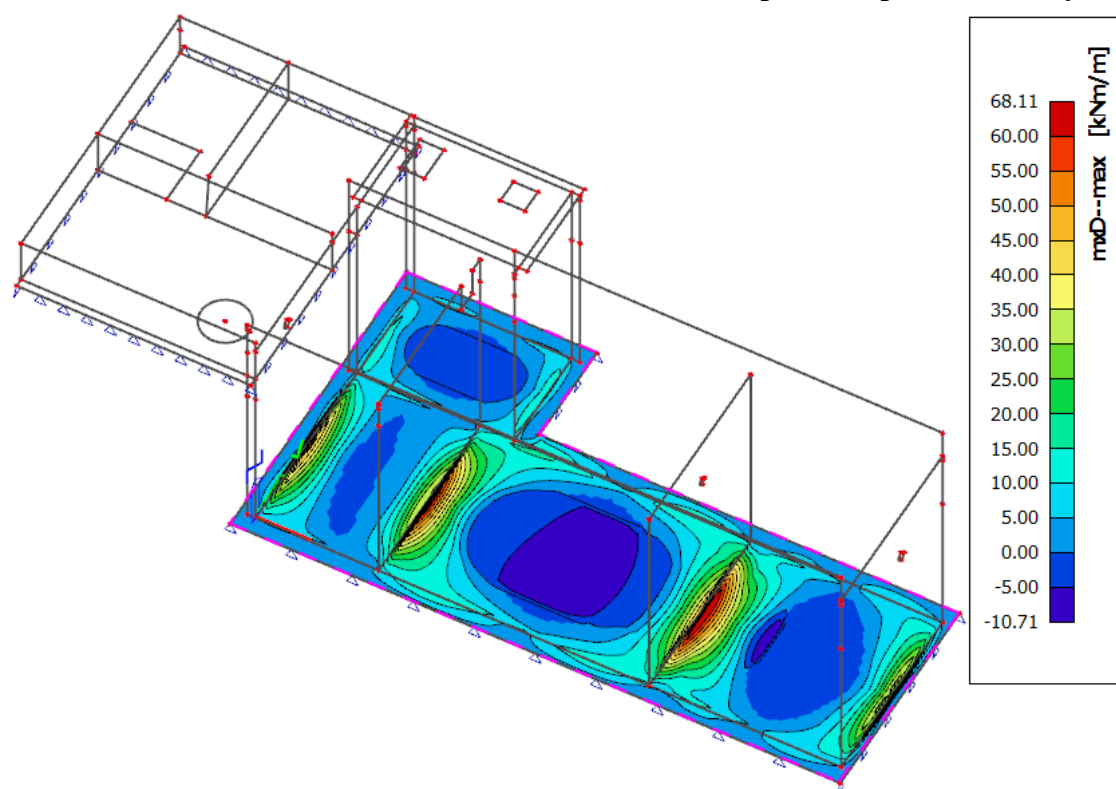


Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u horní povrchu desky

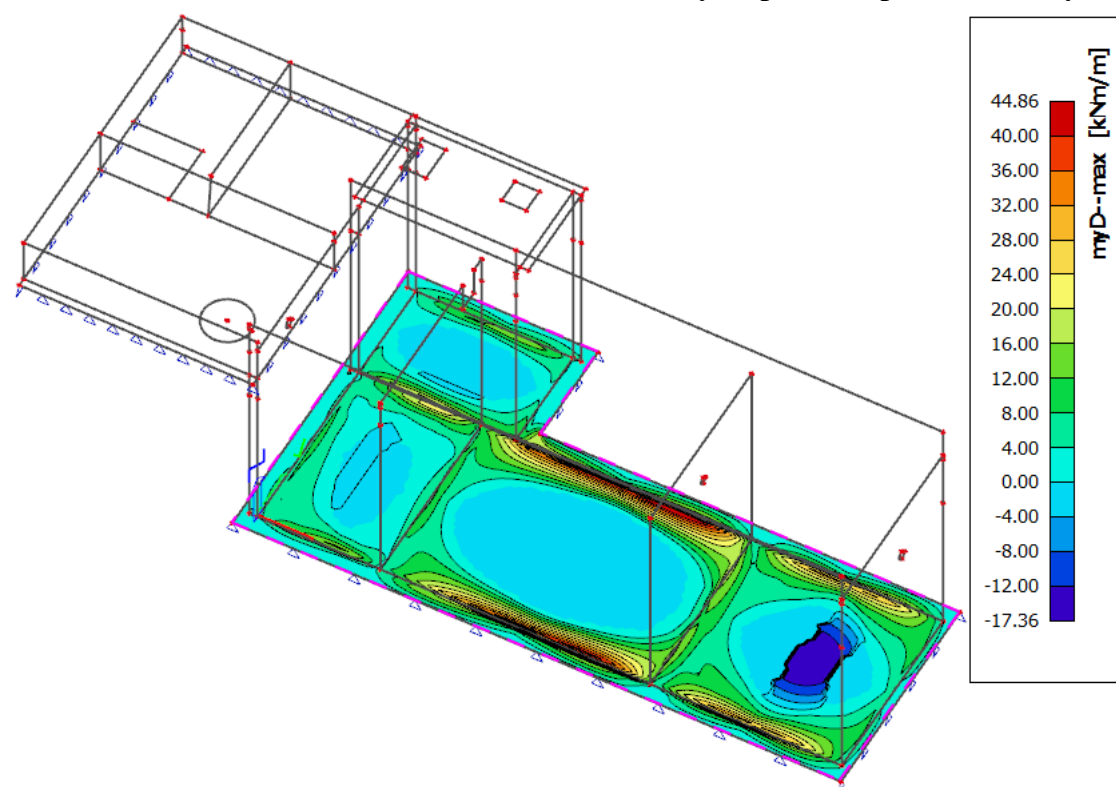




Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u spodního povrchu desky



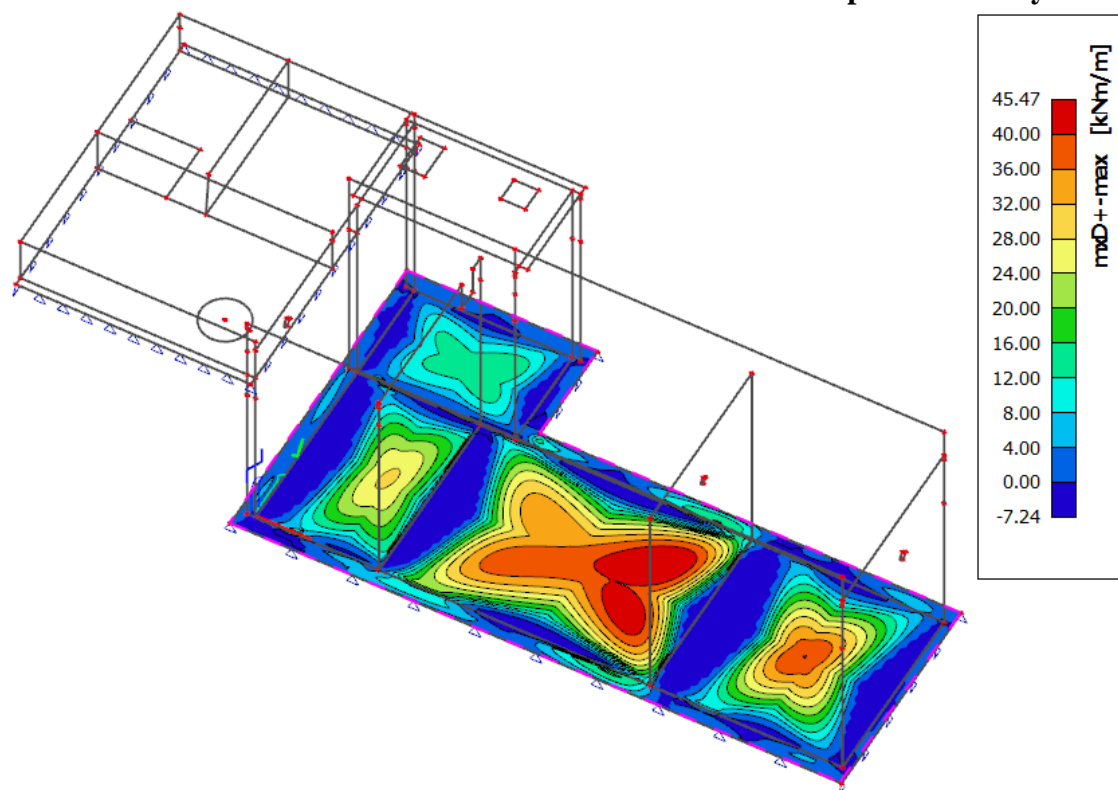
Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u spodního povrchu desky



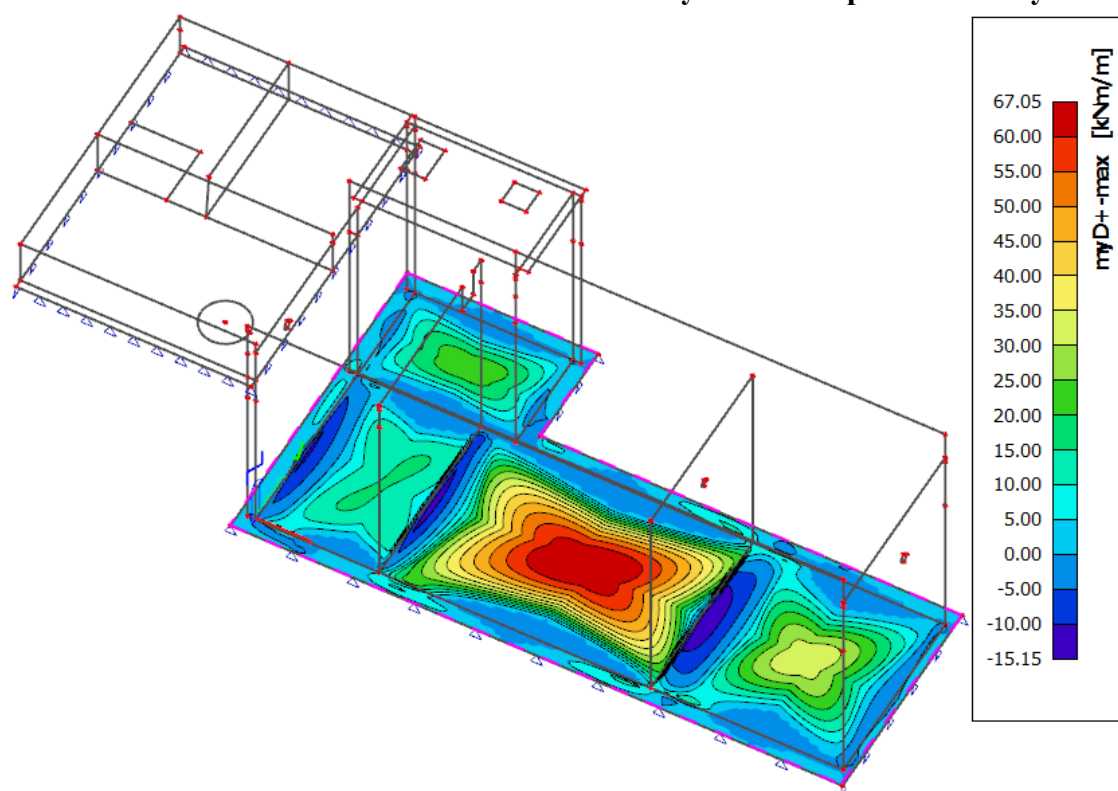


8.3.2 Základní kombinace

Základní kombinace zatížení – moment ve směru x u horního povrchu desky

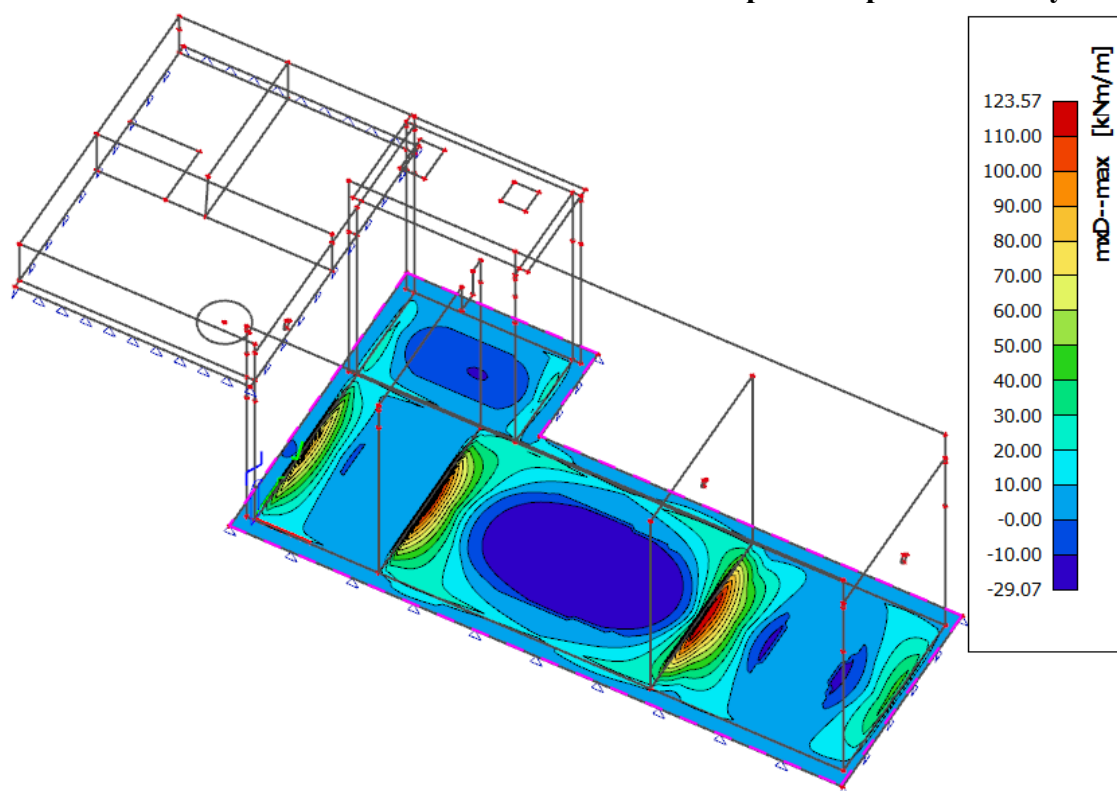


Základní kombinace zatížení – moment ve směru y u horního povrchu desky

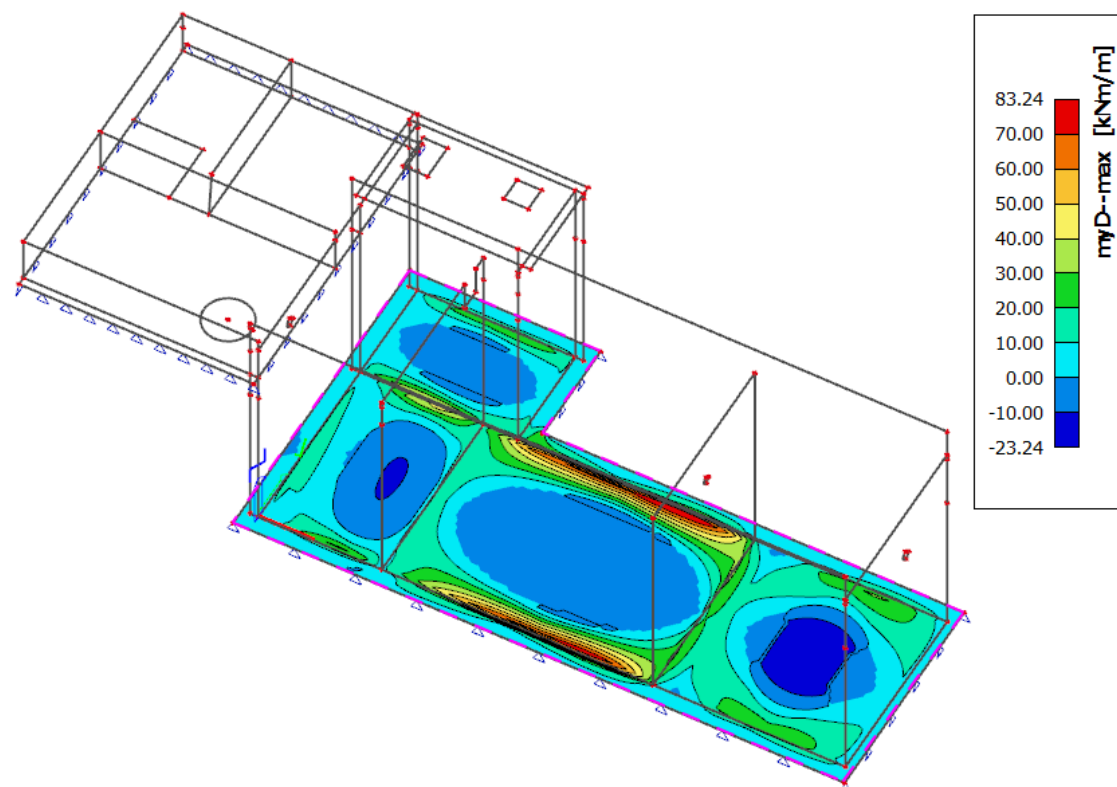




Základní kombinace zatížení – moment ve směru x u spodního povrchu desky



Základní kombinace zatížení – moment ve směru y u spodního povrchu desky



**8.4 Návrh a dimenze dna nádrží****8.4.1 Raná fáze po betonáži**

Základová deska namáhání omezením vynucených přetvoření (Pokluz umožněn). Deska bude kluzně uložena na podkladním betonu, na který se položí dvě PE folie, které se nebudou spojovat, předpokládaný součinitel tření $\mu = 1,00$.

Rozměry

$$l_{0x} = 15,3 \text{ m}$$

$$l_{0y} = 8,0 \text{ m}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$d = 354 \text{ mm}$$

Tření v základové spáře

Tahová síla při vzniku trhlin: $F_{ct,eff} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$

Součinitel rozdělení napětí před vznikem trhlin: $k_c = 1$

Součinitel nerovnoměrnosti rozdělení vnitřních napětí: $k = 1$

Tažená plocha průřezu před vznikem primární trhliny: $A_{ct} = 400 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$

$$F_{ct,eff} = 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 400 = 520,0 \text{ kN/bm}$$

Tahová síla od omezení přetvoření: $F_{ct} = \gamma \cdot \mu \cdot \sigma_0 \cdot l_0/2$

Napětí v základové spáře od vlastní tíhy

Od vlastní tíhy desky: $\sigma_d = h \cdot \rho = 0,4 \cdot 25 = 10 \text{ kN/m}^2$

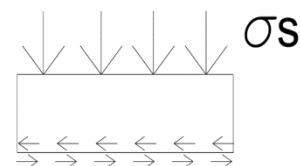
Staveništní zatížení: $\sigma_s = 1 \text{ kN/m}^2$

$$\sigma_0 = \sigma_d + \sigma_s = 10 + 1 = 11 \text{ kN/m}^2$$

Směr x: $F_{ct,x} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 11,0 \cdot 15,3/2 = 84,15 \text{ kN/bm}$

Směr y: $F_{ct,y} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 11,0 \cdot 8,0/2 = 44,0 \text{ kN/bm}$

$$F_{ct,x} = 84,15 \text{ kN/bm} < F_{cr} = F_{ct,eff} = 520,0 \text{ kN/bm}$$



...Vyhovuje

$$F_{ct,y} = 44,0 \text{ kN/bm} < F_{cr} = F_{ct,eff} = 520,0 \text{ kN/bm}$$

...Vyhovuje

Při vývinu hydratačního tepla nevzniknou v základové desce trhliny

**Dimenzování výztuže**

Minimální plocha výztuže: $A_{s,min} = F_{ct}/f_{yd}$

Směr x: $A_{s,min,x} = 84,15 \cdot 10^3 / 434,8 = 194 \text{ mm}^2$

Směr y: $A_{s,min,y} = 44,0 \cdot 10^3 / 434,8 = 102 \text{ mm}^2$

Návrh výztuže:

Horní výztuž: $\varnothing_x = 12 \text{ mm}$, $s_x = 150 \text{ mm}$,

$$A_{sx,prov} = 754 \text{ mm}^2$$

Spodní výztuž: $\varnothing_x = 12 \text{ mm}$, $s_x = 150 \text{ mm}$,

$$A_{sx,prov} = 754 \text{ mm}^2$$

$$\underline{A_{sx,prov} = 1508 \text{ mm}^2}$$

Horní výztuž: $\varnothing_y = 12 \text{ mm}$, $s_y = 200 \text{ mm}$,

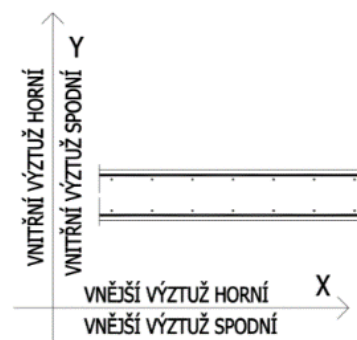
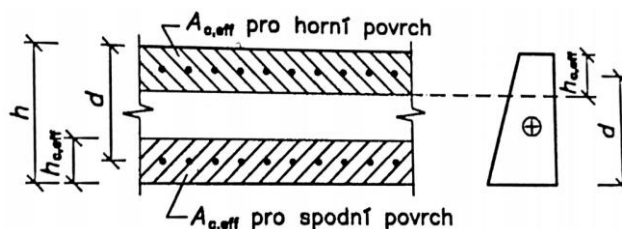
$$A_{sy,prov} = 566 \text{ mm}^2$$

Spodní výztuž: $\varnothing_y = 12 \text{ mm}$, $s_y = 200 \text{ mm}$,

$$A_{sy,prov} = 566 \text{ mm}^2$$

$$\underline{A_{sy,prov} = 1132 \text{ mm}^2}$$

SCHEMA KLADENÍ VÝZTUŽE

**Posouzení šířky trhlin**

Výška účinné plochy taženého betonu: $h_{c,eff} = \min[2,5 \cdot (h - d); h/2; (h - x)/3]$

Směr x: $h_{cx,eff} = \min [2,5 \cdot (400 - 354); 400/2; (400 - 0)/3] =$
 $= \min [115; 200; 133] = 115 \text{ mm}$

Směr y: $h_{cy,eff} = \min [2,5 \cdot (400 - 342); 400/2; (400 - 0)/3] =$
 $= \min [145; 200; 133] = 121 \text{ mm}$

Účinná tažená plocha: $A_{c,eff} = 2 \cdot h_{c,eff} \cdot b$

Směr x: $A_{cx,eff} = 2 \cdot 115 \cdot 1000 = 23 \cdot 10^4 \text{ mm}^2/\text{bm}$

Směr y: $A_{cy,eff} = 2 \cdot 133 \cdot 1000 = 26,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^2/\text{bm}$

Účinný stupeň vyztužení: $\rho_{eff} = A_{s,prov}/A_{c,eff}$

Směr x: $\rho_{effx} = 1508 / (23 \cdot 10^4) = 6,56 \cdot 10^{-3}$

Směr y: $\rho_{effy} = 1132 / (26,6 \cdot 10^4) = 4,68 \cdot 10^{-3}$



Napětí ve výztuži při vzniku trhliny: $\sigma_s = F_{ct}/A_{s,prov}$

$$\text{Směr x: } \sigma_{sx} = 84,15 \cdot 10^3 / 1508 = 55,8 \text{ MPa}$$

$$\text{Směr y: } \sigma_{sy} = 44,0 \cdot 10^3 / 1132 = 38,9 \text{ MPa}$$

Maximální vzdálenost trhlín: $s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sigma / \rho_{eff}$

Součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže:

pruty s velkou soudržností: $k_1 = 0,8$

Součinitel zohledňující rozdělení poměrného přetvoření:

pro prostý tah: $k_2 = 1,0$

Součinitel vyjadřující vliv poškozené soudržnosti betonu a výztuže v bezprostřední blízkosti trhliny:

dle doporučení ČSN EN 1992-1-1: $k_3 = 3,4$

Součinitel vyjadřující vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu:

dle doporučení ČSN EN 1992-1-1: $k_4 = 0,425$

$$s_{rx,max} = 3,4 \cdot 40 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 12 / 6,56 \cdot 10^{-3} = 758 \text{ mm}$$

$$s_{ry,max} = 3,4 \cdot 52 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 12 / 4,68 \cdot 10^{-3} = 1049 \text{ mm}$$

$$\text{Rozdíl poměrných přetvoření: } \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 200 / 30,5 = 6,6$$

$$k_t = 0,6$$

$$\text{Směr x: } \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{55,8 - 0,6 \cdot \frac{1,3}{6,56 \cdot 10^{-3}} \cdot (1 + 6,6 \cdot 6,56 \cdot 10^{-3})}{200} \geq 0,6 \cdot \frac{55,8}{200 \cdot 10^3} = 1,7 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Směr y: } \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{38,9 - 0,6 \cdot \frac{1,3}{4,69 \cdot 10^{-3}} \cdot (1 + 6,6 \cdot 4,69 \cdot 10^{-3})}{200} \geq 0,6 \cdot \frac{38,9}{200 \cdot 10^3} = 1,2 \cdot 10^{-4}$$

Šířka trhliny: $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$

$$\text{Směr x: } w_{kx} = 758 \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} = 0,13 \text{ mm}$$

$$\text{Směr y: } w_{ky} = 1049 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} = 0,15 \text{ mm}$$

$$w_{kx} = 0,13 \text{ mm} < w_{klim} = 0,16 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

$$w_{ky} = 0,15 \text{ mm} < w_{klim} = 0,16 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

Návrh základního rastru

Směr x při obou površích: Ø12/150

Směr y při obou površích: Ø12/200



8.4.2 Fáze plného zatížení – ověření šířky trhlin a posouzení ohybové výztuže

Geometrie průřezu

Šířka $b = 1000 \text{ mm}$

Výška $h = 400 \text{ mm}$

$$A_c = 400 \cdot 1000 = 4 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 400^3 = 5,33 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

Směr x:

Krytí $c_{\text{nom}} = 40 \text{ mm}$

$d = 354 \text{ mm}$

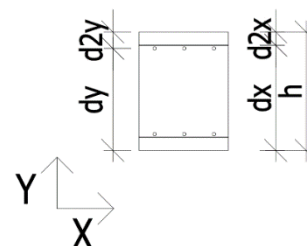
$d_2 = 46 \text{ mm}$

Směr y:

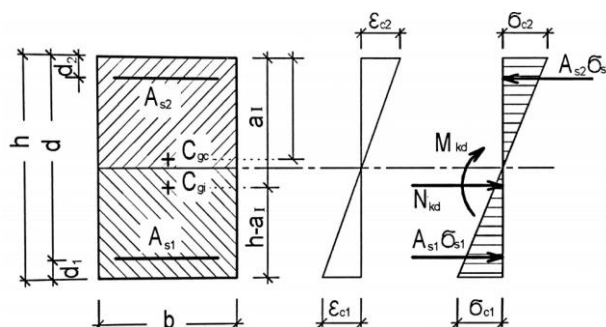
Krytí $c_{\text{nom}} = 52 \text{ mm}$

$d = 342 \text{ mm}$

$d_2 = 58 \text{ mm}$



Geometrické charakteristiky průřezu bez trhlin



Plocha ideálního průřezu: $A_I = A_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} + A_{s2})$

$$\text{Směr x: } A_{Ix} = 4 \cdot 10^5 + 6,6 \cdot (754 + 754) = 409,95 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Směr y: } A_{Iy} = 4 \cdot 10^5 + 6,6 \cdot (566 + 566) = 407,47 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje:

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

$$\begin{aligned} \text{Směr x: } a_{Ix} &= [4 \cdot 10^5 \cdot 200 + 6,6 \cdot (754 \cdot 354 + 754 \cdot 46)] / 409,95 \cdot 10^3 = \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Směr y: } a_{Iy} &= [4 \cdot 10^5 \cdot 200 + 6,6 \cdot (566 \cdot 342 + 566 \cdot 58)] / 407,47 \cdot 10^3 = \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$



Moment setrvačnosti ideálního průřezu k jeho těžišti:

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

$$\text{Směr x: } I_{Ix} = 5,33 \cdot 10^9 + 4 \cdot 10^5 \cdot (200 - 200)^2 + 6,6 \cdot [754 \cdot (354 - 200)^2 + 754 \cdot (200 - 46)^2] = 5569,374 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Směr y: } I_{Iy} = 5,33 \cdot 10^9 + 4 \cdot 10^5 \cdot (200 - 200)^2 + 6,6 \cdot [566 \cdot (342 - 200)^2 + 566 \cdot (200 - 58)^2] = 5483,983 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Ohybový moment při vzniku trhlin: $M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{I_I}{h - a_I}$

$$\text{Směr x: } M_{crx} = 2,6 \cdot \frac{5569,374}{400 - 200} = 72,40 \text{ kNm}$$

$$M_{crx} = 72,40 \text{ kNm} > M_{xD} = 68,11 \text{ kNm}$$

... Trhliny nevzniknou

$$\text{Směr y: } M_{cry} = 2,6 \cdot \frac{5483,983}{400 - 200} = 71,29 \text{ kNm}$$

$$M_{cry} = 71,29 \text{ kNm} > M_{yD} = 44,86 \text{ kNm}$$

... Trhliny nevzniknou

Při plném zatížení nádrže trhliny nevzniknou.

8.4.3 Posouzení MSÚ

Výztuž vypočtena z MSP byla vložena do programu SCIA Engineer a konstrukce následně v modulu BETON posouzena na MSÚ.

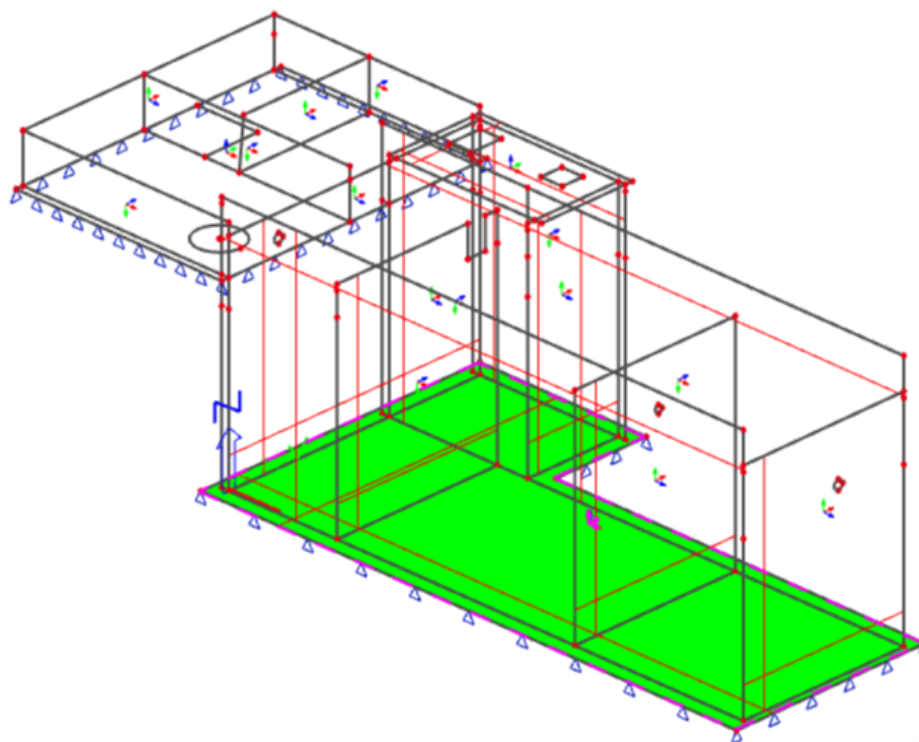
Navržená výztuž:

Směr x při obou površích: Ø12/150

Směr y při obou površích: Ø12/200



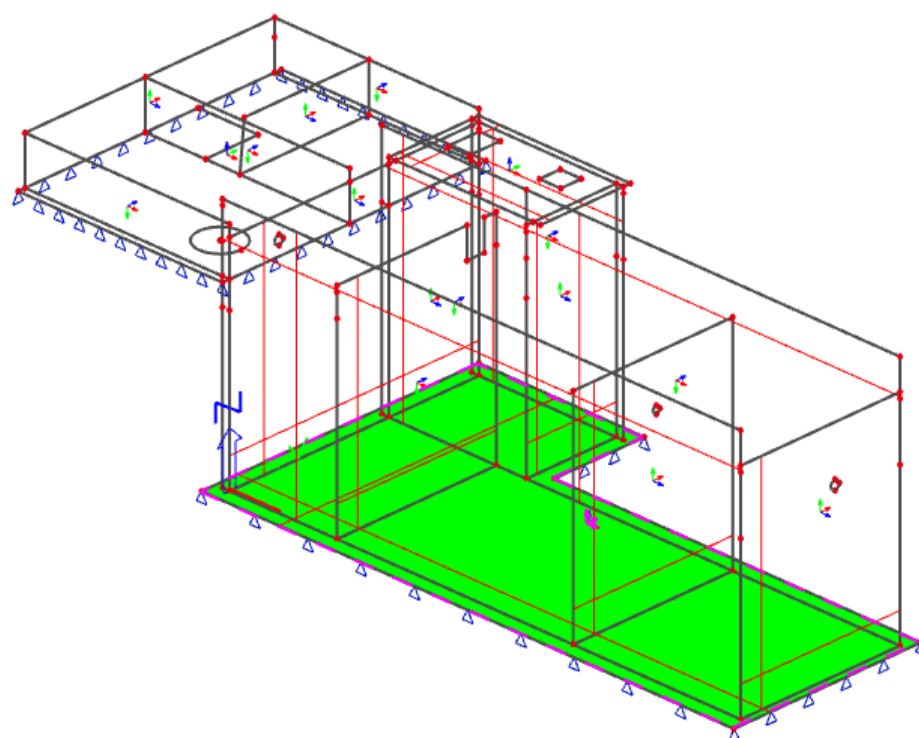
Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při horním povrchu, směr x



Konstantní hodnota 0
 $A_{s,add,req,1} + [mm^2/m]$

Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při horním povrchu, směr y

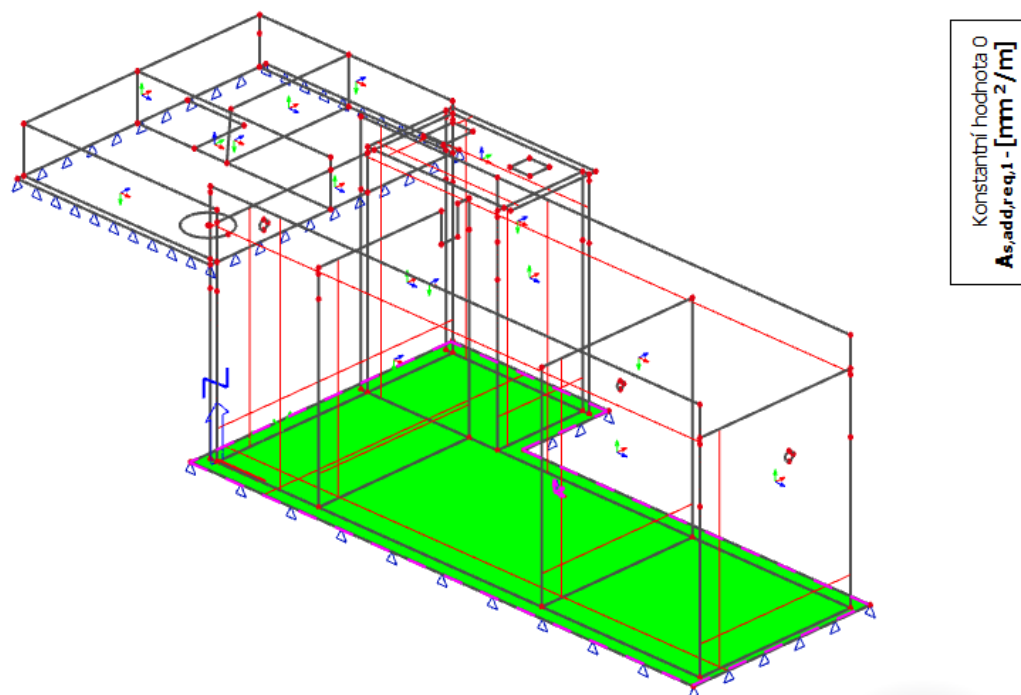


Konstantní hodnota 0
 $A_{s,add,req,2} + [mm^2/m]$

Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

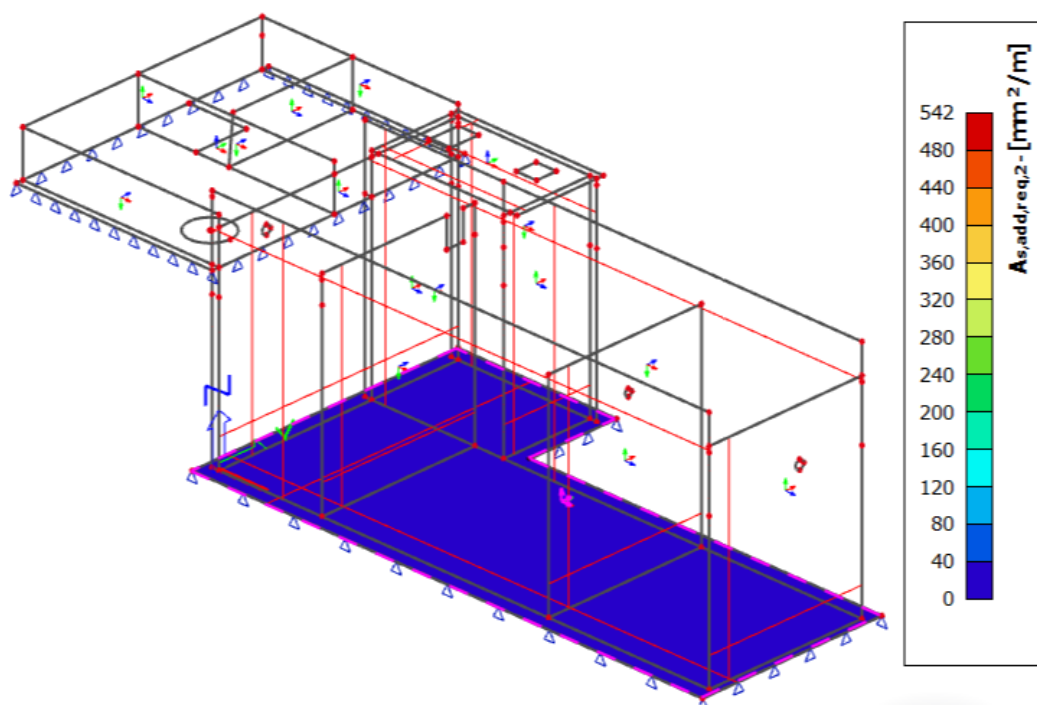


Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při spodním povrchu, směr x



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při spodním povrchu, směr y



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž (lokální extrém lze ignorovat, chyba ve výpočtu)

Výztuž navržená na účinky MSP vyhovuje i v MSÚ. Zesilování není nutné.

**8.4.4 Konstrukční zásady****Minimální plocha výztuže:**

$$\begin{aligned}a_{s,\min} &= \max \left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d; \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} \right) = \\&= \max \left(0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1000 \cdot 348; 0,0013 \cdot 1000 \cdot 348; \frac{0,4 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 4 \cdot 10^5}{200} \right) = \\&= \max (471; 453; 1040) = 1040 \text{ mm}^2 \\a_{s,\min} &= 1040 \text{ mm}^2 < a_{s,\text{prov}} = 2640 \text{ mm}^2 \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže:

$$\begin{aligned}a_{s,\max} &= 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1000 \cdot 400 = 16000 \text{ mm}^2 \\a_{s,\max} &= 16000 \text{ mm}^2 > a_{s,\text{prov}} = 2640 \text{ mm}^2 \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$\begin{aligned}s_1 &= \max (20 \text{ mm}; 1,2 \cdot \varnothing_s; D_{\max} + 5 \text{ mm}) = \\&= \max (20 \text{ mm}; 1,2 \cdot 12; 16 + 5) = \max (20; 14,4; 21) = 21 \text{ mm} \\s_1 &= 21 \text{ mm} < s_y = 138 \text{ mm} \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$\begin{aligned}s &= \min (2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \min (2 \cdot 400; 250) = \min (800; 250) = 250 \text{ mm} \\s &= 250 \text{ mm} > s_y = 200 \text{ mm} \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

8.4.5 Návrh výztuže desky

Směr x při obou površích: Ø12/150

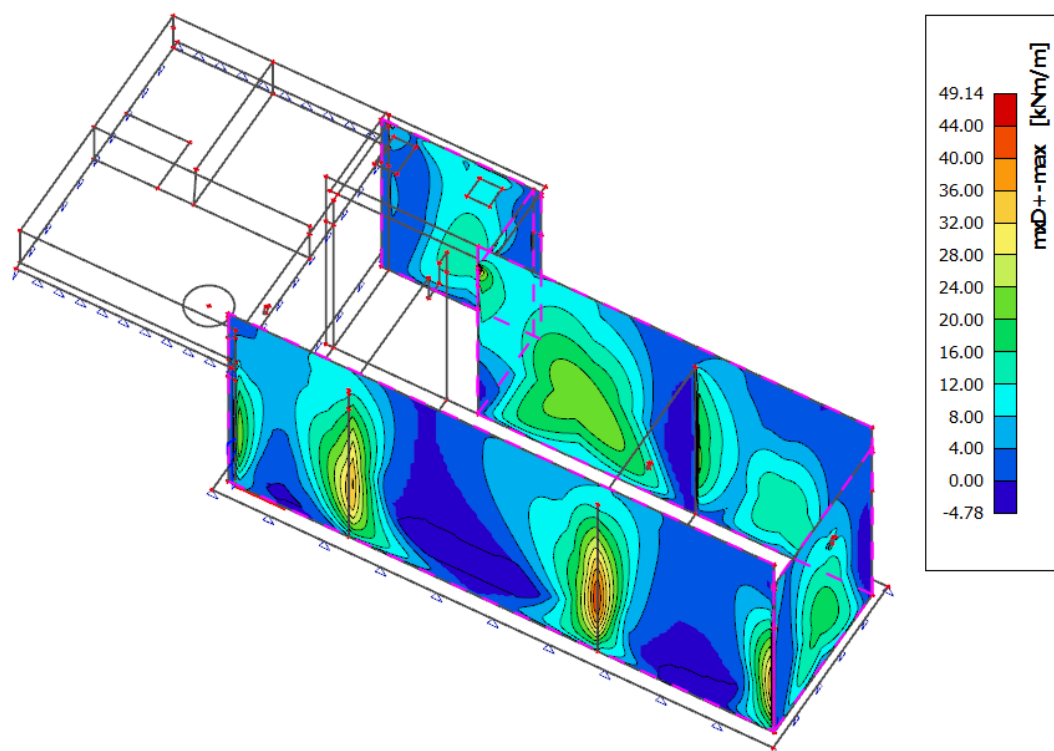
Směr y při obou površích: Ø12/200



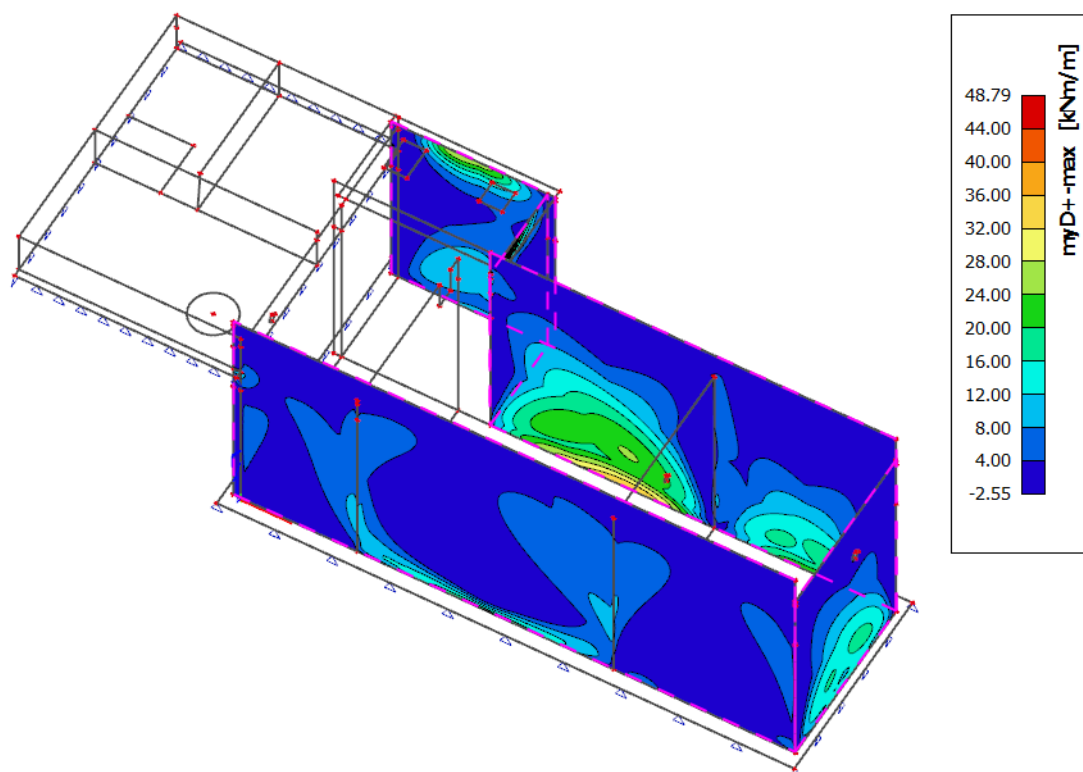
8.5 Vnitřní síly stěn tloušťky 400 mm

8.5.1 Kvazistálá kombinace

Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u prvního povrchu stěny

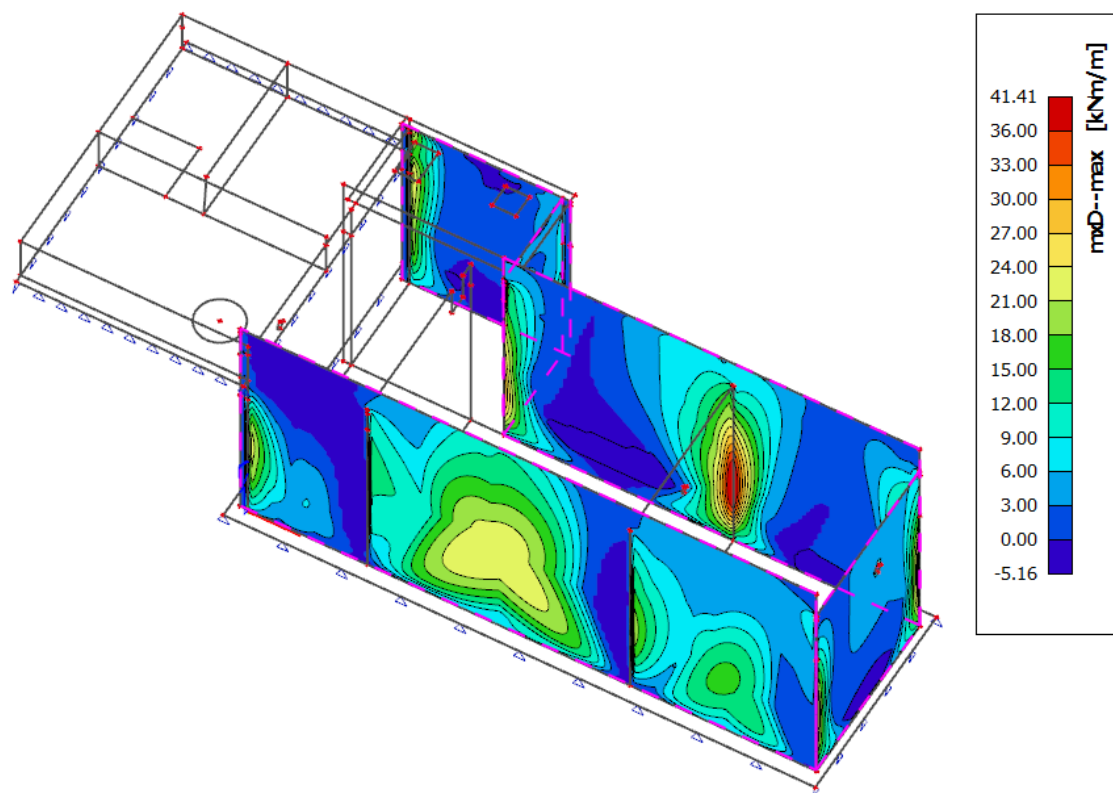


Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u prvního povrchu stěny

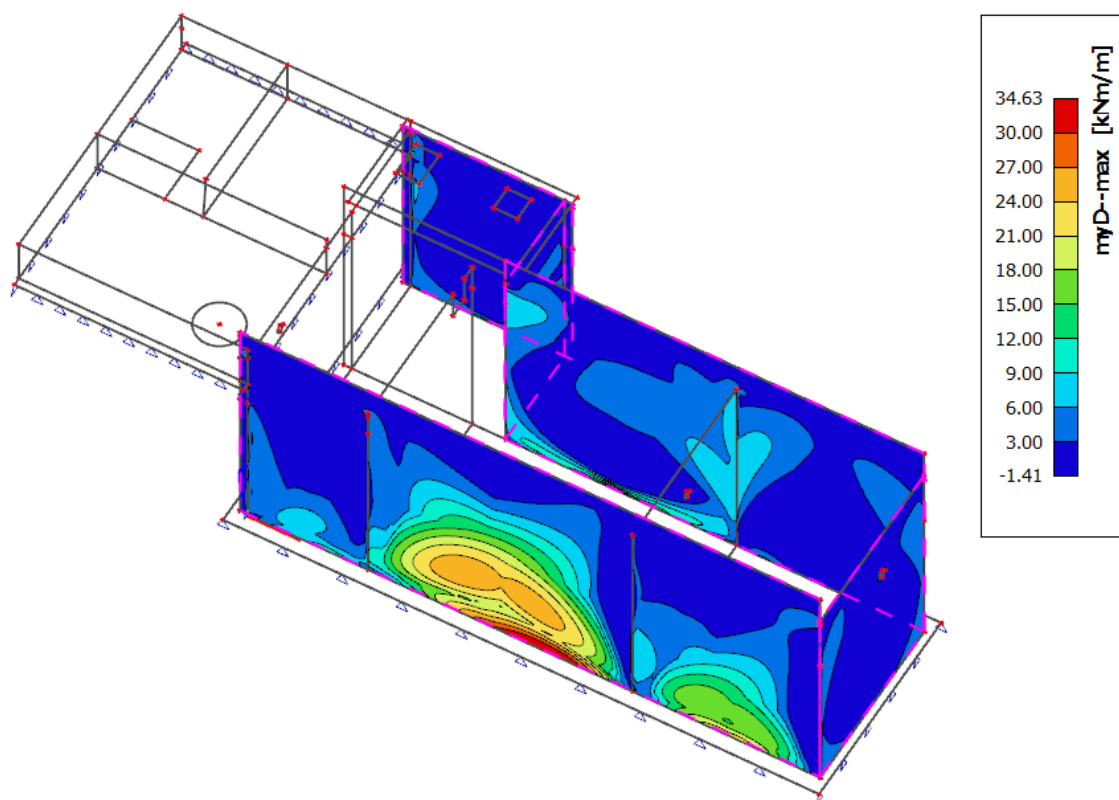




Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u druhého povrchu stěny



Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u druhého povrchu stěny





8.6 Návrh dimenze stěn nádrží tloušťky 400 mm

8.6.1 Návrh svislé výztuže stěn

Návrh výztuže při obou površích: $\varnothing = 12$ mm, $s = 100$ mm, $A_{s,prov} = 1131$ mm²

Posouzení trhlin bylo provedeno pomocí výpočetního programu pro návrh výztuže na šířku trhlin [30].

Ohybový moment M_{kd} [kNm] 48,79	Tahová výztuž A_s [mm ²] 1131 ϕ [mm] 12 c [mm] 54 d [mm] 340 s [mm] 100	α_e [-] 6.55738 β [-] 1	Parametry průřezu s trhlami x [mm] 63.6091 I_{ir} [mm ³] 652439175 σ_s [MPa] 135.533 σ'_s [MPa] -1.76977 σ'_c [MPa] -4.75675 F_s [N] 153288 F'_s [N] -2001.61 F'_c [N] -151286 $h_{c,eff}$ [mm] 112.13 (b)
Rozměry průřezu b [mm] 1000 h [mm] 400	Tahová výztuž A'_s [mm ²] 1131 d' [mm] 60	Parametry průřezu bez trhl A_i [mm ²] 414833 a_{gi} [mm] 200 I_i [mm ³] 5624055956 σ_s [MPa] 7.96415 σ'_s [MPa] -7.96415 σ_c [MPa] 1.73505 σ'_c [MPa] -1.73505	σ'_c [MPa] -1.73505 F_s [N] 153288 F'_s [N] -2001.61 F'_c [N] -151286 $h_{c,eff}$ [mm] 112.13 (b)
Parametry materiálů E_s [MPa] 200000 E_{cm} [MPa] 30500 $f_{ct,eff}$ [MPa] 1,3	Tahová výztuž A'_s [mm ²] 1131 d' [mm] 60	Moment při vzniku trhlin M_{cr} [kNm] 36.5564	$A_{c,eff}$ [mm ²] 112130 $\rho_{p,eff}$ [-] 0.0100865 $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [%] 0.4066 (b)
Koeficienty k_t 0.4 k_1 0.8	VÝPOČET	Moment od zatížení M_{kd} [kNm] 48.79	$s_{r,max}$ [mm] 385.851 (a)
Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 36.6$ kNm). Šířka trhlin $w_k = 0.1569$ mm. 		Trhliny vzniknou!	w_k [mm] 0.156886

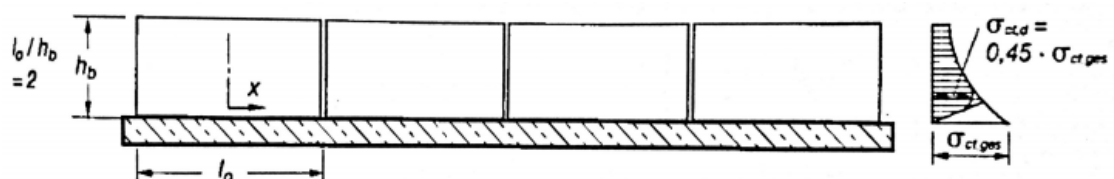
$$w_k = 0,157 \text{ mm} < w_{klim} = 0,16 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

8.6.2 Návrh vodorovné výztuže stěn

Návrh výztuže při obou površích: $\varnothing = 14$ mm, $s = 100$ mm, $A_{s,prov} = 1539$ mm²

Šířka trhlin od účinků hydratačního tepla



Cement: CEM II/B 42,5 N

Množství cementu v 1 m³ betonu: $c = 320$ kg/m³

Hydratační teplo cementu: $H_w = 110$ J/g

Tahové napětí ve stěnách: $\sigma_{ct,ges} = k \cdot \alpha_T \cdot E_{ct} \cdot \Delta T_{b,wF}$

Součinitel možnosti posunu prvků: obvyklá hodnota: $k = 1,0$

Součinitel teplotní roztažnosti: $\alpha_T = 1,0 \cdot 10^{-5}$ 1/K



Čas dosažení max rozdílu teplot v jádře betonu a na povrchu:

$$t_{\text{matT}} = 0,8 \cdot h + 1 = 0,8 \cdot 0,4 + 1 = 1,32 \text{ dní}$$

Poměr $E_{\text{ct}}/E_{\text{c28}} = 0,72$

$$\Delta T_{\text{b,WF}} = T_{\text{c,m}} - T_{\text{F}}$$

Teplota základové desky: $T_{\text{F}} = 10 \text{ °C}$

$$\text{Teplota stěny: } T_{\text{c,m}} = k_{\text{TV}} \cdot T_{\text{c0}} + \Delta T_{\text{c,H}}$$

Součinitel průběhu teplot: pro tloušťku stěny 400 mm: $k_{\text{TV}} = 0,6$

Výchozí teplota čerstvého betonu: $T_{\text{c0}} = 15 \text{ °C}$

Vzrůst teploty vlivem hydratačního tepla: $\Delta T_{\text{c,H}} = \alpha_{\text{c}} \cdot c \cdot H_{\text{w}} / Q_{\text{c0}}$

Součinitel: $\alpha_{\text{c}} = 0,75$

Tepelná kapacita betonu: $Q_{\text{c0}} = 2500 \text{ kJ/(m}^3 \cdot \text{K)}$

$$\Delta T_{\text{c,H}} = 0,75 \cdot 320 \cdot 110 / 2500 = 10,56 \text{ K} = 10,56 \text{ °C}$$

$$T_{\text{c,m}} = 0,6 \cdot 15 + 10,56 = 19,56 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{\text{b,WF}} = 19,56 - 10 = 9,56 \text{ °C} = 9,56 \text{ K}$$

Modul pružnosti mladého betonu:

$$E_{\text{ct}} = E_{\text{c28}} \cdot E_{\text{ct}}/E_{\text{c28}} = 30500 \cdot 0,72 = 21960 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ct,ges}} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 21960 \cdot 9,56 = 2,1 \text{ MPa}$$

Největší napětí: $\sigma_{\text{ct,d}} = k_{\text{ct,d}} \cdot \sigma_{\text{ct,ges}}$

Součinitel přepočtu napětí: $k_{\text{ct,d}} = 0,51$

$$l_0/h_{\text{b}} = 14,9/6,55 = 2,3$$

$$\sigma_{\text{ct,d}} = 0,51 \cdot 2,1 = 1,07 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{ct,eff}} = 1,3 \text{ MPa} > \sigma_{\text{ct,d}} = 1,07 \text{ MPa}$$

... Trhliny nevzniknou

Šířka trhlin dle ČSN EN 1992-3 (vetknutí podél jednoho okraje)

Součinitel omezení přetvoření: u základu: $R_{\text{ax}} = 0,5$

Relativní vlhkost okolního prostředí: $RH = 50 \text{ %}$, $RH_0 = 50 \text{ %}$

Přetvoření na zcela volném prvku: $\varepsilon_{\text{free}} = \varepsilon_{\text{cd}} + \varepsilon_{\text{ca}}$

Poměrné smrštění vysycháním:

$$\varepsilon_{\text{cd}} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot \alpha_{\text{ds1}}) \cdot \exp(-\alpha_{\text{ds2}} \cdot f_{\text{ctm}}/10)] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{\text{RH}}$$

$$\beta_{\text{RH}} = 1,55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3] = 1,55 \cdot [1 - (50/100)^3] = 1,36$$

Součinitel cementu $\alpha_{\text{ds1}} = 4,0$

Součinitel cementu $\alpha_{\text{ds2}} = 0,12$

$$\varepsilon_{\text{cd}} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot 4,0) \cdot \exp(-0,12 \cdot 33/10)] \cdot 10^{-6} \cdot 1,36 = 0,00051$$



Poměrné autogenní smršťování:

$$\varepsilon_{ca} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (25 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,0000375$$

$$\varepsilon_{free} = 0,00071 + 0,0000375 = 0,000548$$

Rozdíl poměrných přetvoření: $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = R_{ax} \cdot \varepsilon_{free} = 0,5 \cdot 0,000548 = 0,00027$

Výška účinné plochy taženého betonu:

$$\begin{aligned} h_{c,eff} &= \min [2,5 \cdot (h - d); h/2; (h - x)/3] = \\ &= \min [2,5 \cdot (400 - 353); 400/2; (400 - 0)/3] = \min [118; 200; 133] = \\ &= 118 \text{ mm} \end{aligned}$$

Účinná tažená plocha:

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} \cdot b = 118 \cdot 1000 = 118 \cdot 10^3 \text{ mm}^2/\text{bm}$$

Účinný stupeň vyztužení:

$$\rho_{eff} = A_{s,prov}/A_{c,eff} = 1539/(118 \cdot 10^3) = 0,013$$

Maximální vzdálenost trhlin: $s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sigma/\rho_{eff}$

Součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže:

pruty s velkou soudržností: $k_1 = 0,8$

Součinitel zohledňující rozdělení poměrného přetvoření:

pro prostý tah: $k_2 = 1,0$

Součinitel vyjadřující vliv poškozené soudržnosti betonu a výztuže

v bezprostřední blízkosti trhliny: $k_3 = 3,4 \cdot (25/c)^{2/3} = 2,5 \leq 3,4$

Součinitel vyjadřující vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu:

dle doporučení ČSN EN 1992-1-1: $k_4 = 0,425$

$$s_{r,max} = 2,5 \cdot 40 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 14/0,013 = 462 \text{ mm}$$

Charakteristická šířka trhlin: $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 462 \cdot 0,00027 = 0,12$

$$w_k = 0,12 \text{ mm} < w_{klim} = 0,16 \text{ mm}$$

...Vyhovuje



Šířka trhlin od zatížení

Posouzení trhlin bylo provedeno pomocí výpočetního programu pro návrh výztuže na šířku trhlin [30].

Ohybový moment M_{kd} [kNm] 49,14	Tahová výztuž A_s [mm ²] 1539 ϕ [mm] 14 c [mm] 40 d [mm] 353 s [mm] 100	α_e [-] 6.55738 β [-] 1	Parametry průřezu s trhlami x [mm] 71.9078 I_{ir} [mm ³] 927581472 σ_s [MPa] 97.6477 σ'_s [MPa] -8.65263 σ'_c [MPa] -3.80942 F_s [N] 150280 F'_s [N] -13316.4 F'_c [N] -136963 $h_{c,eff}$ [mm] 109.364 (b) $A_{c,eff}$ [mm ²] 109364 $\rho_{p,eff}$ [-] 0.0140723 $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [‰] 0.29294 (b) $s_{r,max}$ [mm] 305.127 (a) w_k [mm] 0.0893849
Rozměry průřezu b [mm] 1000 h [mm] 400	Tahová výztuž A'_s [mm ²] 1539 d' [mm] 47	Parametry průřezu bez trhlin A_i [mm ²] 420184 a_{gi} [mm] 200 I_i [mm ³] 5805811379 σ_s [MPa] 8.49168 σ'_s [MPa] -8.49168 σ_c [MPa] 1.69279 σ'_c [MPa] -1.69279	
Parametry materiálů E_s [MPa] 200000 E_{cm} [MPa] 30500 $f_{ct,eff}$ [MPa] 1,3	Tahová výztuž A'_s [mm ²] 1539 d' [mm] 47	Moment při vzniku trhlin M_{cr} [kNm] 37.7378	
Koeficienty k_t 0.4 k_1 0.8	VÝPOČET	Moment od zatížení M_{kd} [kNm] 49.14	
Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 37.7$ kNm). Šířka trhlin $w_k = 0.0894$ mm. 		Trhliny vzniknou!	

$$w_k = 0,09 \text{ mm} < w_{klim} = 0,16 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

8.6.3 Posouzení MSÚ

Výztuž vypočtena z MSP byla vložena do programu SCIA Engineer a konstrukce následně v modulu BETON posouzena na MSÚ.

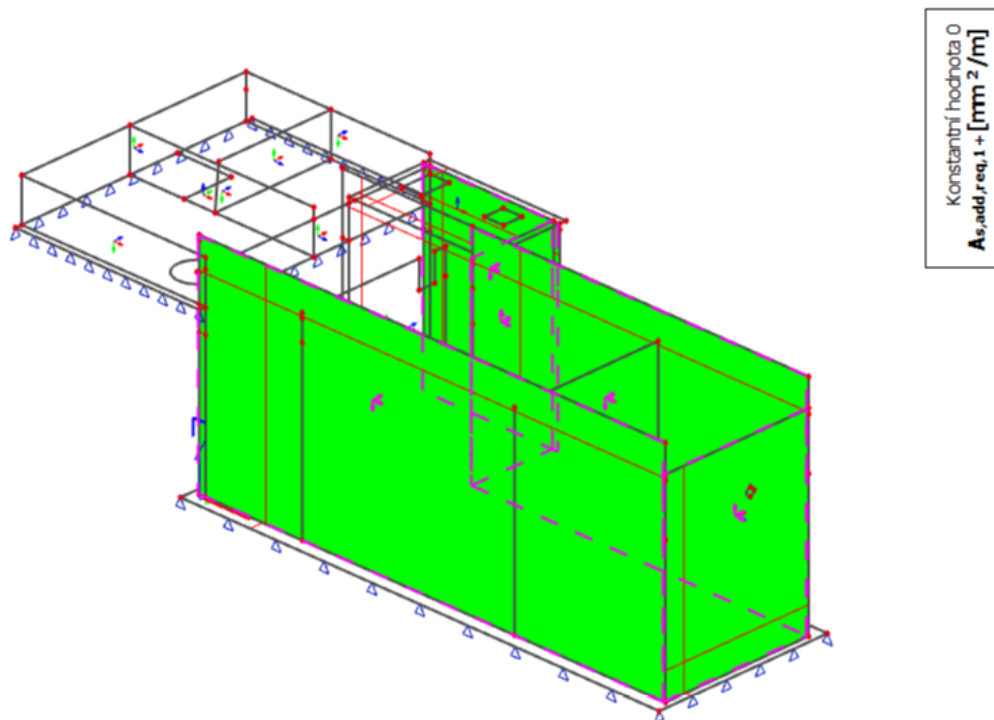
Navržená výztuž:

Vodorovná výztuž (při obou površích): $\phi = 14$ mm, $s = 100$ mm, $A_{s,prov} = 1539$ mm²

Svislá výztuž (při obou površích): $\phi = 12$ mm, $s = 100$ mm, $A_{s,prov} = 1131$ mm²

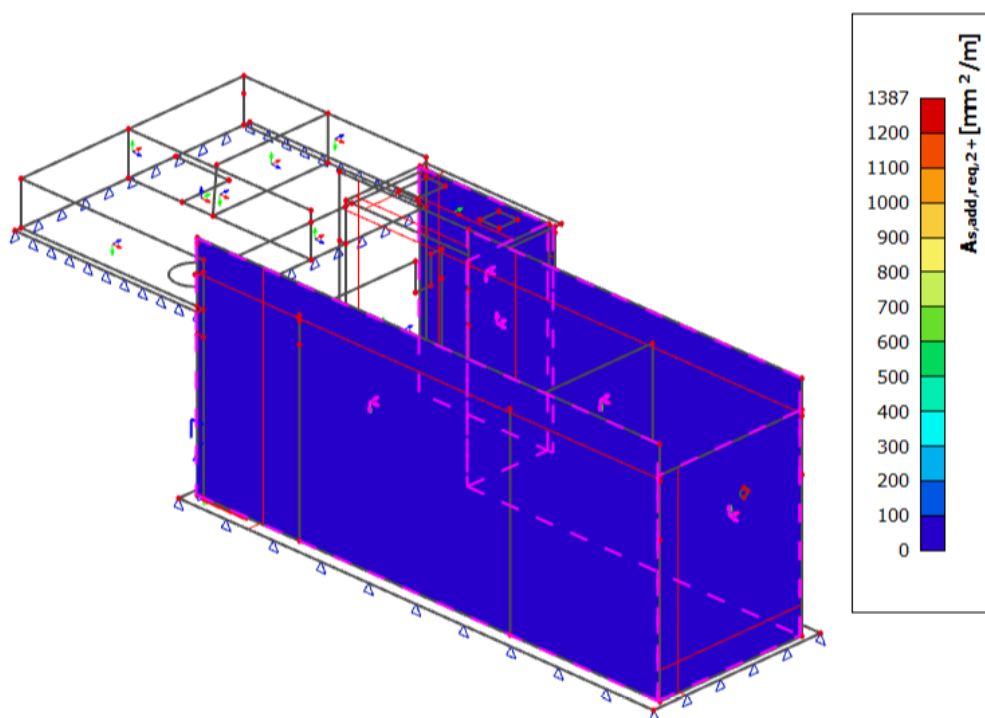


Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při prvním povrchu, směr x



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

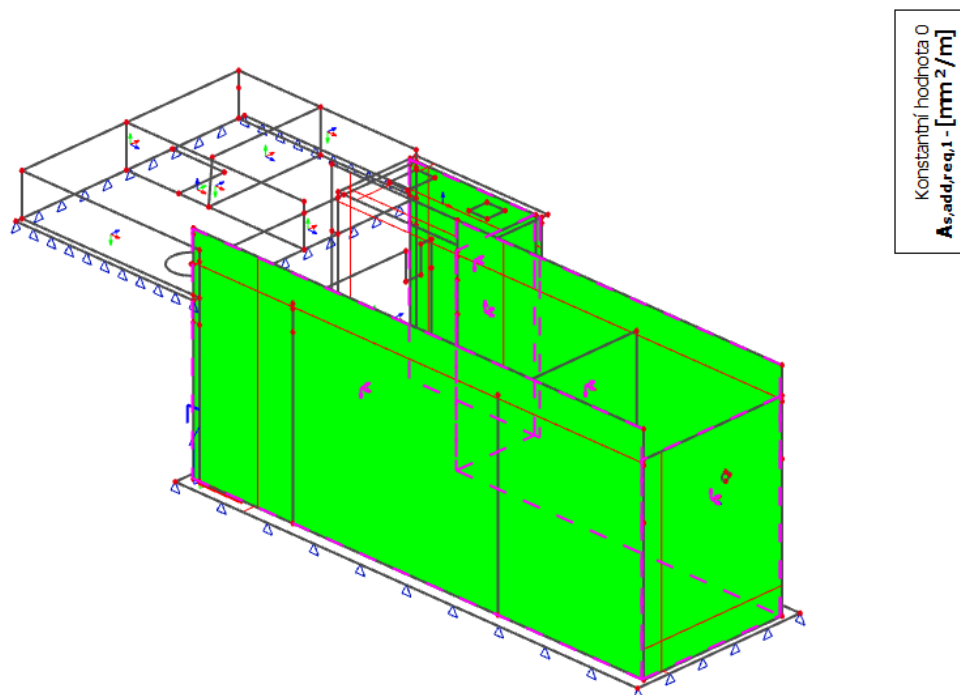
Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při prvním povrchu, směr y



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž (lokální extrémy lze ignorovat, chyba ve výpočtu)

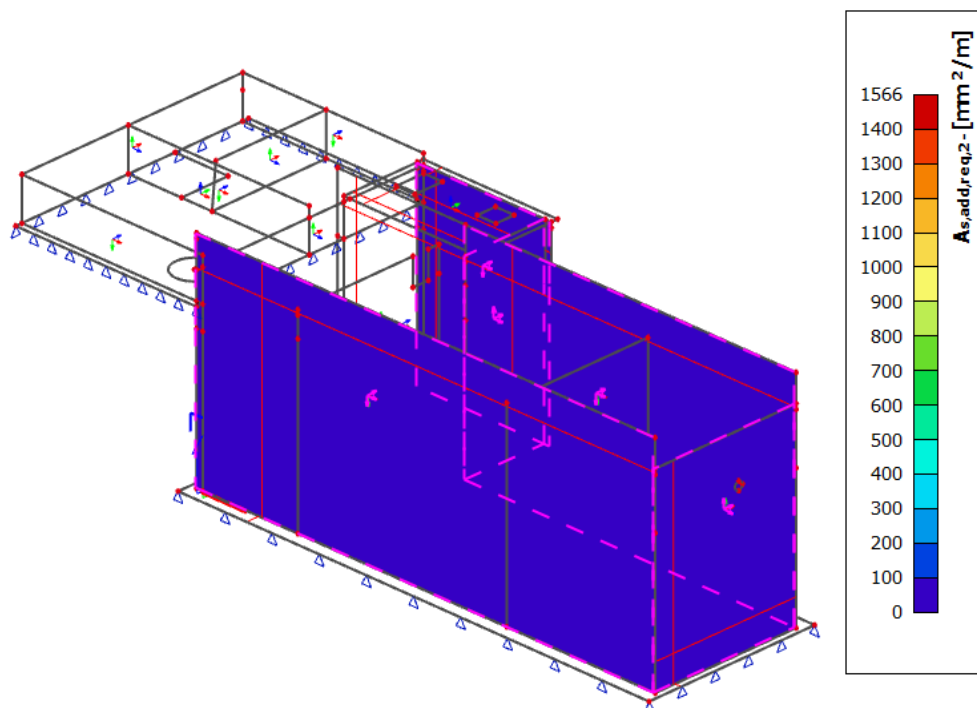


Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při druhém povrchu, směr x



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při druhém povrchu, směr y



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž (lokální extrém lze ignorovat, chyba ve výpočtu)

Výztuž navržená na účinky MSP vyhovuje i v MSÚ. Zesilování není nutné.

**8.6.4 Konstrukční zásady****Minimální plocha výztuže:**

$$\begin{aligned}a_{s,\min} &= \max \left(0,002 \cdot A_c; \frac{k_c \cdot k_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} \right) = \\&= \max \left(0,002 \cdot 400 \cdot 10^3; \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 400 \cdot 1000}{200} \right) = \max (800; 1040) = 1040 \text{ mm}^2 \\a_{s,\min} &= 1040 \text{ mm}^2 < a_{s,\text{prov}} = 5340 \text{ mm}^2 \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže:

$$\begin{aligned}a_{s,\max} &= 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1000 \cdot 400 = 16000 \text{ mm}^2 \\a_{s,\max} &= 16000 \text{ mm}^2 > a_{s,\text{prov}} = 5340 \text{ mm}^2 \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$\begin{aligned}s_1 &= \max (20 \text{ mm}; 1,2 \cdot \varnothing_s; D_{\max} + 5 \text{ mm}) = \\&= \max (20; 1,2 \cdot 14; 16 + 5) = \max (20; 17; 21) = 21 \text{ mm} \\s_1 &= 21 \text{ mm} < s_y = 88 \text{ mm} \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$\begin{aligned}s &= \min (2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \min (2 \cdot 400; 250) = 250 \text{ mm} \\s &= 250 \text{ mm} > s_y = 100 \text{ mm} \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

8.6.5 Návrh výztuže

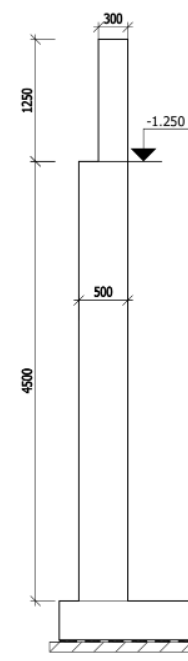
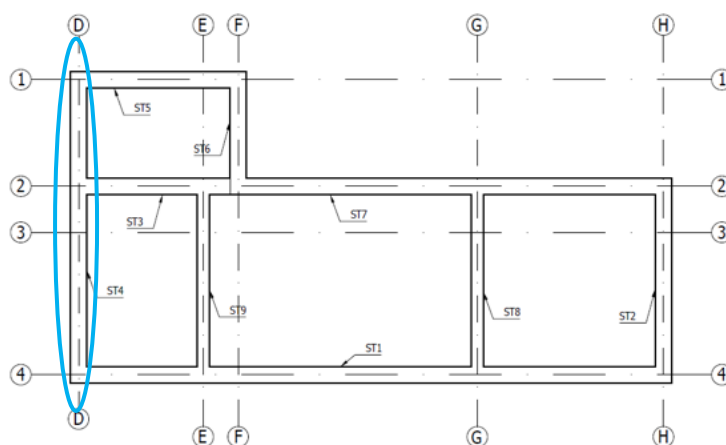
Vodorovná výztuž při obou površích: Ø14/100

Svislá výztuž při obou površích: Ø12/100



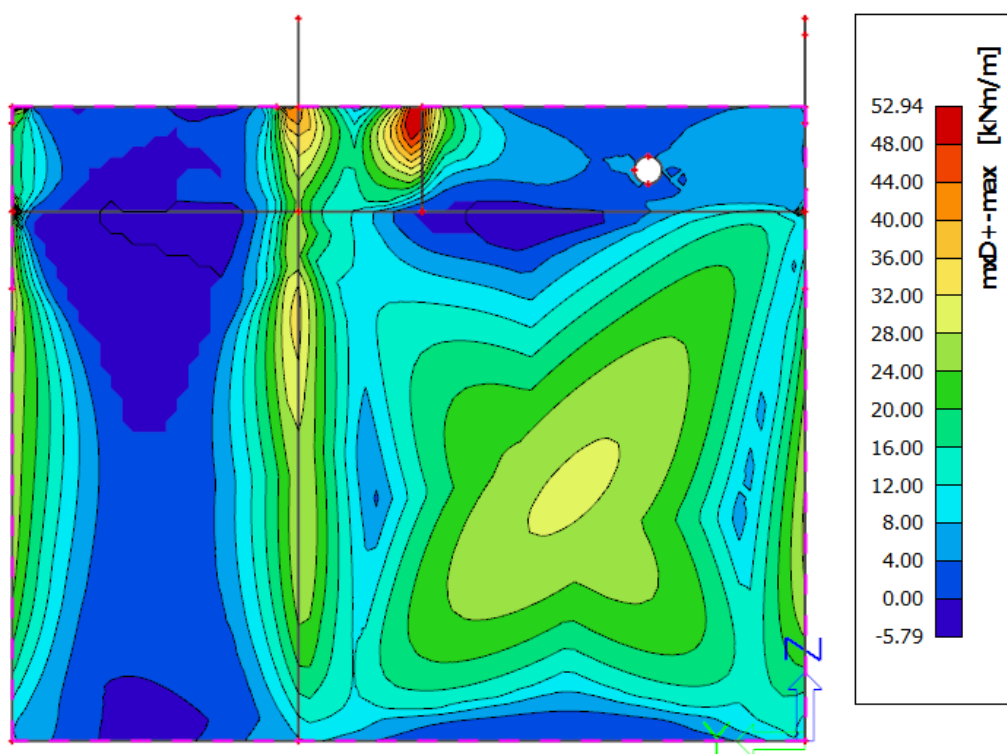
8.7 Vnitřní síly stěny ST4

Jedná se o stěnu s proměnnou tloušťkou po výšce stěny.



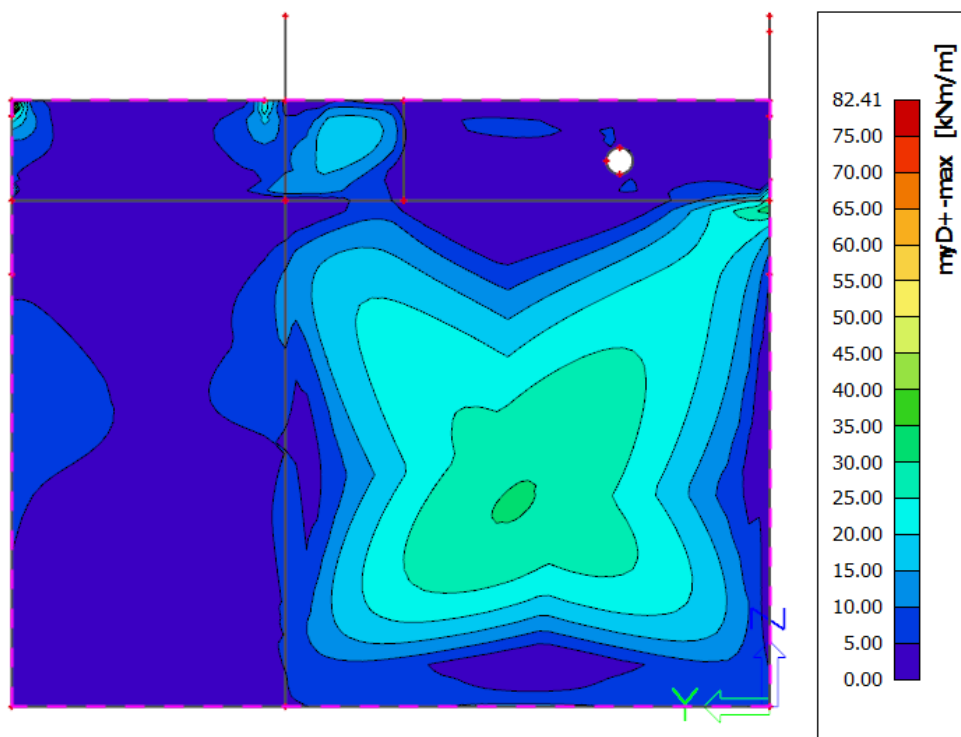
8.7.1 Kvazistálá kombinace

Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u prvního povrchu stěny

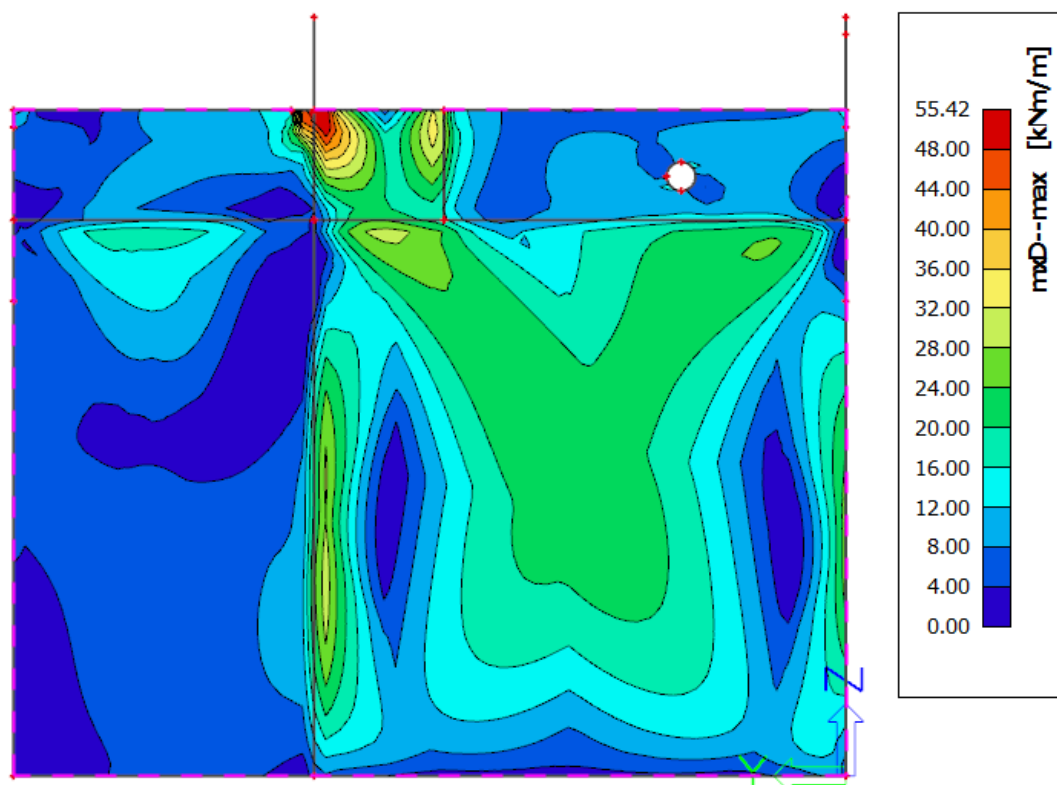


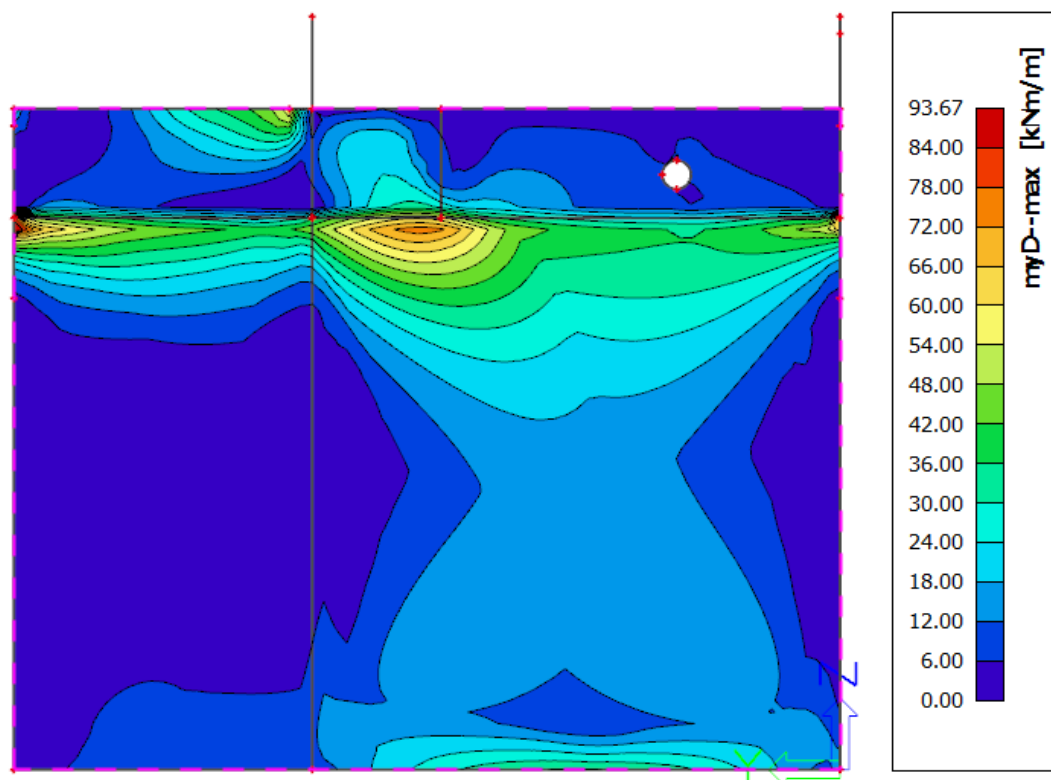


Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u prvního povrchu stěny



Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u druhého povrchu stěny



Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u druhého povrchu stěny**8.8 Návrh dimenze stěn nádrží ST4****8.8.1 Návrh svislé výztuže stěn**

Návrh výztuže při obou površích: $\varnothing = 14 \text{ mm}$, $s = 100 \text{ mm}$, $A_{s,prov} = 1539 \text{ mm}^2$

Posouzení trhlin bylo provedeno pomocí výpočetního programu pro návrh výztuže na šířku trhlin [30].



Stěna tloušťky 500 mm (Spodní část stěny)

Ohybový moment M_{kd} [kNm] 80	Tahová výztuž A_s [mm ²] 1539 ϕ [mm] 14 c [mm] 54 d [mm] 439 s [mm] 100	α_e [-] 6.55738 β [-] 1	Parametry průřezu s trhlínami x [mm] 82.2819 I_{ir} [mm ³] 1474421919 σ_s [MPa] 126.918 σ'_s [MPa] -7.57197 σ_c [MPa] -4.4645 F_s [N] 195327 F'_s [N] -11653.3 F_c [N] -183674 $h_{c,eff}$ [mm] 139.239 (b) $A_{c,eff}$ [mm ²] 139239 $\rho_{p,eff}$ [-] 0.0110529 $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [%] 0.38231 (a)
Rozměry průřezu b [mm] 1000 h [mm] 500	Tlaková výztuž A'_s [mm ²] 1539 d' [mm] 61	Parametry průřezu bez trhlín A_i [mm ²] 520184 a_{gi} [mm] 250 I_i [mm ³] 11137645277 σ_s [MPa] 8.90202 σ'_s [MPa] -8.90202 σ_c [MPa] 1.79571 σ'_c [MPa] -1.79571	σ_s [MPa] 8.90202 σ'_s [MPa] -8.90202 σ_c [MPa] 1.79571 σ'_c [MPa] -1.79571
Parametry materiálů E_s [MPa] 200000 E_{cm} [MPa] 30500 $f_{ct,eff}$ [MPa] 1,3	Koeficienty k_t 0.4 k_1 0.8	Moment při vzniku trhlin M_{cr} [kNm] 57.9158	Moment od zatížení M_{kd} [kNm] 80
Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 57.9$ kNm). Šířka trhlín $w_k = 0.1525$ mm.		Trhliny vzniknou!	w_k [mm] 0.152514

$$w_k = 0,15 \text{ mm} < w_{klim} = 0,17 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

Stěna tloušťky 300 mm (horní část stěny)

Posouzení trhlin bylo provedeno pomocí výpočetního programu pro návrh výztuže na šířku trhlín [30].

Ohybový moment M_{kd} [kNm] 36	Tahová výztuž A_s [mm ²] 1539 ϕ [mm] 14 c [mm] 54 d [mm] 239 s [mm] 100	α_e [-] 6.55738 β [-] 1	Parametry průřezu s trhlínami x [mm] 60.2058 I_{ir} [mm ³] 395358158 σ_s [MPa] 106.757 σ'_s [MPa] 0.474199 σ_c [MPa] -5.48214 F_s [N] 164299 F'_s [N] 729.792 F_c [N] -165028 $h_{c,eff}$ [mm] 79.9314 (b) $A_{c,eff}$ [mm ²] 79931.4 $\rho_{p,eff}$ [-] 0.019254 $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [%] 0.3817 (a)
Rozměry průřezu b [mm] 1000 h [mm] 300	Tlaková výztuž A'_s [mm ²] 1539 d' [mm] 61	Parametry průřezu bez trhlín A_i [mm ²] 320184 a_{gi} [mm] 150 I_i [mm ³] 2409874348 σ_s [MPa] 8.71823 σ'_s [MPa] -8.71823 σ_c [MPa] 2.24078 σ'_c [MPa] -2.24078	σ_s [MPa] 8.71823 σ'_s [MPa] -8.71823 σ_c [MPa] 2.24078 σ'_c [MPa] -2.24078
Parametry materiálů E_s [MPa] 200000 E_{cm} [MPa] 30500 $f_{ct,eff}$ [MPa] 1,3	Koeficienty k_t 0.4 k_1 0.8	Moment při vzniku trhlin M_{cr} [kNm] 20.8856	Moment od zatížení M_{kd} [kNm] 36
Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 20.9$ kNm). Šířka trhlín $w_k = 0.1173$ mm.		Trhliny vzniknou!	w_k [mm] 0.117262

$$w_k = 0,12 \text{ mm} < w_{klim} = 0,14 \text{ mm}$$

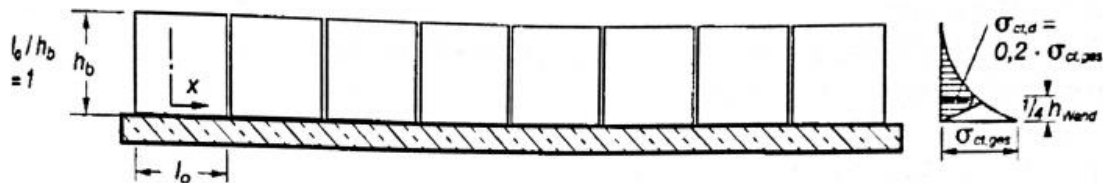
...Vyhovuje



8.8.2 Návrh vodorovné výztuže stěn

Návrh výztuže při obou površích: $\varnothing = 14 \text{ mm}$, $s = 100 \text{ mm}$, $A_{s,prov} = 1539 \text{ mm}^2$

Šířka trhlin od účinků hydratačního tepla - tl. stěny 500 mm



Cement: CEM II/B 42,5 N

Množství cementu v 1 m^3 betonu: $c = 320 \text{ kg/m}^3$

Hydratační teplo cementu: $H_w = 110 \text{ J/g}$

Tahové napětí ve stěnách: $\sigma_{ct,ges} = k \cdot \alpha_T \cdot E_{ct} \cdot \Delta T_{b,WF}$

Součinitel možnosti posunu prvků: obvyklá hodnota: $k = 1,0$

Součinitel teplotní roztažnosti: $\alpha_T = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$

Čas dosažení max rozdílu teplot v jádře betonu a na povrchu:

$$t_{matT} = 0,8 \cdot h + 1 = 0,8 \cdot 0,5 + 1 = 1,4 \text{ dní}$$

Poměr $E_{ct}/E_{c28} = 0,73$

$$\Delta T_{b,WF} = T_{c,m} - T_F$$

Teplota základové desky: $T_F = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Teplota stěny: $T_{c,m} = k_{Tv} \cdot T_{c0} + \Delta T_{c,H}$

Součinitel průběhu teplot: pro stěnu tloušťky 500 mm: $k_{Tv} = 0,7$

Výchozí teplota čerstvého betonu: $T_{c0} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

Vzrůst teploty vlivem hydratačního tepla: $\Delta T_{c,H} = \alpha_c \cdot c \cdot H_w / Q_{c0}$

Součinitel: $\alpha_c = 0,78$

Tepelná kapacita betonu: $Q_{c0} = 2500 \text{ kJ/(m}^3 \cdot \text{K)}$

$$\Delta T_{c,H} = 0,78 \cdot 320 \cdot 110 / 2500 = 10,98 \text{ K} = 10,98 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{c,m} = 0,7 \cdot 15 + 10,98 = 21,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{b,WF} = 21,48 - 10 = 11,48 \text{ }^\circ\text{C} = 11,48 \text{ K}$$

Modul pružnosti mladého betonu:

$$E_{ct} = E_{c28} \cdot E_{ct}/E_{c28} = 30500 \cdot 0,73 = 22265 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,ges} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 22265 \cdot 11,48 = 2,56 \text{ MPa}$$



Největší napětí: $\sigma_{ct,d} = k_{ct,d} \cdot \sigma_{ct,ges}$

Součinitel přepočtu napětí: $k_{ct,d} = 0,2$

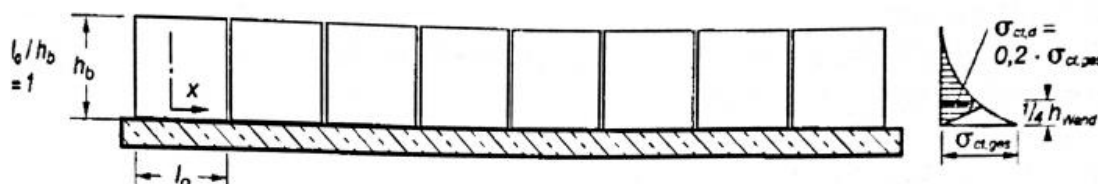
$$l_0/h_b < 1,0$$

$$\sigma_{ct,d} = 0,2 \cdot 2,56 = 0,512 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,eff} = 1,3 \text{ MPa} > \sigma_{ct,d} = 0,512 \text{ MPa}$$

... Trhliny nevzniknou

Šířka trhlin od účinků hydratačního tepla - tl. stěny 300 mm



Cement: CEM II/B 42,5 N

Množství cementu v 1 m³ betonu: $c = 320 \text{ kg/m}^3$

Hydratační teplo cementu: $H_w = 110 \text{ J/g}$

Tahové napětí ve stěnách: $\sigma_{ct,ges} = k \cdot \alpha_T \cdot E_{ct} \cdot \Delta T_{b,WF}$

Součinitel možnosti posunu prvků: obvyklá hodnota: $k = 1,0$

Součinitel teplotní roztažnosti: $\alpha_T = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$

Čas dosažení max rozdílu teplot v jádře betonu a na povrchu:

$$t_{matT} = 0,8 \cdot h + 1 = 0,8 \cdot 0,3 + 1 = 1,24 \text{ dní}$$

Poměr $E_{ct}/E_{c28} = 0,70$

$$\Delta T_{b,WF} = T_{c,m} - T_F$$

Teplota základové desky: $T_F = 10 \text{ K}$

Teplota stěny: $T_{c,m} = k_{Tv} \cdot T_{c0} + \Delta T_{c,H}$

Součinitel průběhu teplot: pro stěnu tloušťky 300 mm: $k_{Tv} = 0,5$

Výchozí teplota čerstvého betonu: $T_{c0} = 15 \text{ K}$

Vzrůst teploty vlivem hydratačního tepla: $\Delta T_{c,H} = \alpha_c \cdot c \cdot H_w / Q_{c0}$

Součinitel: $\alpha_c = 0,75$

Tepelná kapacita betonu: $Q_{c0} = 2500 \text{ kJ/(m}^3 \cdot \text{K)}$

$$\Delta T_{c,H} = 0,75 \cdot 320 \cdot 110 / 2500 = 10,56 \text{ K}$$

$$T_{c,m} = 0,5 \cdot 15 + 10,56 = 18,06 \text{ K}$$

$$\Delta T_{b,WF} = 18,06 - 10 = 8,06 \text{ K}$$



Modul pružnosti mladého betonu:

$$E_{ct} = E_{c28} \cdot E_{ct}/E_{c28} = 30500 \cdot 0,70 = 21350 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct,ges} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 21350 \cdot 8,06 = 1,7 \text{ MPa}$$

Největší napětí: $\sigma_{ct,d} = k_{ct,d} \cdot \sigma_{ct,ges}$

Součinitel přepočtu napětí: $k_{ct,d} = 0,2$

$$l_0/h_b = 4,6/5,75 = 0,8$$

$$\sigma_{ct,d} = 0,2 \cdot 1,7 = 0,34 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,eff} = 1,3 \text{ MPa} > \sigma_{ct,d} = 0,34 \text{ MPa}$$

... Trhliny nevzniknou

Šířka trhlin dle ČSN EN 1992-3 (vetknutí podél jednoho okraje) - tl. stěny 500 mm

Součinitel omezení přetvoření: $R_{ax} = 0,5$

Relativní vlhkost okolního prostředí: $RH = 50 \% , RH_0 = 50\%$

Přetvoření na zcela volném prvku: $\varepsilon_{free} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$

Poměrné smrštění vysycháním:

$$\varepsilon_{cd} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp(-\alpha_{ds2} \cdot f_{ctm}/10)] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3] = 1,55 \cdot [1 - (50/100)^3] = 1,36$$

Součinitel cementu $\alpha_{ds1} = 4,0$

Součinitel cementu $\alpha_{ds2} = 0,12$

$$\varepsilon_{cd} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot 4,0) \cdot \exp(-0,12 \cdot 33/10)] \cdot 10^{-6} \cdot 1,36 = 0,00051$$

Poměrné autogenní smršťování:

$$\varepsilon_{ca} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (25 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,0000375$$

$$\varepsilon_{free} = 0,00071 + 0,0000375 = 0,000548$$

Rozdíl poměrných přetvoření: $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = R_{ax} \cdot \varepsilon_{free} = 0,5 \cdot 0,000548 = 0,00027$

Výška účinné plochy taženého betonu:

$$\begin{aligned} h_{c,eff} &= \min [2,5 \cdot (h - d); h/2; (h - x)/3] = \\ &= \min [2,5 \cdot (500 - 453); 500/2; (500 - 0)/3] = \min [118; 250; 167] = \\ &= 118 \text{ mm} \end{aligned}$$

Účinná tažená plocha:

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} \cdot b = 118 \cdot 1000 = 118 \cdot 10^3 \text{ mm}^2/\text{bm}$$

Účinný stupeň vyztužení:

$$\rho_{eff} = A_{s,prov}/A_{c,eff} = 1539/(118 \cdot 10^3) = 0,013$$



Maximální vzdálenost trhlin: $s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sigma / \rho_{eff}$

Součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže:

pruty s velkou soudržností: $k_1 = 0,8$

Součinitel zohledňující rozdělení poměrného přetvoření:

pro prostý tah: $k_2 = 1,0$

Součinitel vyjadřující vliv poškozené soudržnosti betonu a výztuže

v bezprostřední blízkosti trhliny: $k_3 = 3,4 \cdot (25/c)^{2/3} = 2,5 \leq 3,4$

Součinitel vyjadřující vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu:

dle doporučení ČSN EN 1992-1-1: $k_4 = 0,425$

$$s_{r,max} = 2,5 \cdot 40 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 14 / 0,013 = 462 \text{ mm}$$

Charakteristická šířka trhlin: $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 462 \cdot 0,00027 = 0,12$

$$w_k = 0,12 \text{ mm} < w_{klim} = 0,17 \text{ mm}$$

... Vyhovuje

Šířka trhlin dle ČSN EN 1992-3 (vetknutí podél jednoho okraje) - tl. stěny 300 mm

Součinitel omezení přetvoření: $R_{ax} = 0,5$

Relativní vlhkost okolního prostředí: $RH = 50 \% , RH_0 = 50\%$

Přetvoření na zcela volném prvku: $\varepsilon_{free} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$

Poměrné smrštění vysycháním:

$$\varepsilon_{cd} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp(-\alpha_{ds2} \cdot f_{ctm}/10)] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3] = 1,55 \cdot [1 - (50/100)^3] = 1,36$$

Součinitel cementu $\alpha_{ds1} = 4,0$

Součinitel cementu $\alpha_{ds2} = 0,12$

$$\varepsilon_{cd} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot 4,0) \cdot \exp(-0,12 \cdot 33/10)] \cdot 10^{-6} \cdot 1,36 = 0,00051$$

Poměrné autogenní smršťování:

$$\varepsilon_{ca} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (25 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,0000375$$

$$\varepsilon_{free} = 0,00071 + 0,0000375 = 0,000548$$

Rozdíl poměrných přetvoření: $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = R_{ax} \cdot \varepsilon_{free} = 0,5 \cdot 0,000548 = 0,00027$

Výška účinné plochy taženého betonu:

$$\begin{aligned} h_{c,eff} &= \min [2,5 \cdot (h - d); h/2; (h - x)/3] = \\ &= \min [2,5 \cdot (300 - 253); 300/2; (300 - 0)/3] = \min [118; 150; 100] = \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Účinná tažená plocha:

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} \cdot b = 100 \cdot 1000 = 100 \cdot 10^3 \text{ mm}^2/\text{bm}$$



Účinný stupeň vyztužení:

$$\rho_{\text{eff}} = A_{s,\text{prov}}/A_{c,\text{eff}} = 1539/(100 \cdot 10^3) = 0,015$$

Maximální vzdálenost trhlín: $s_{r,\text{max}} = k_3 \cdot c + k_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sigma / \rho_{\text{eff}}$

Součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže:

pruty s velkou soudržností: $k_1 = 0,8$

Součinitel zohledňující rozdělení poměrného přetvoření:

pro prostý tah: $k_2 = 1,0$

Součinitel vyjadřující vliv poškozené soudržnosti betonu a výztuže

v bezprostřední blízkosti trhliny: $k_3 = 3,4 \cdot (25/c)^{2/3} = 2,5 \leq 3,4$

Součinitel vyjadřující vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu:

dle doporučení ČSN EN 1992-1-1: $k_4 = 0,425$

$$s_{r,\text{max}} = 2,5 \cdot 40 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 14 / 0,015 = 418 \text{ mm}$$

Charakteristická šířka trhlín: $w_k = s_{r,\text{max}} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 418 \cdot 0,00027 = 0,12$

$$w_k = 0,12 \text{ mm} < w_{\text{klim}} = 0,14 \text{ mm}$$

...Vyhovuje



Šířka trhlin od zatížení

Posouzení trhlin bylo provedeno pomocí výpočetního programu pro návrh výztuže na šířku trhlin [30].

Stěna tloušťky 500 mm (Spodní část stěny)

Ohybový moment M_{kd} [kNm] 55,42	Tahová výztuž A_s [mm ²] 1539 ϕ [mm] 14 c [mm] 40 d [mm] 453 s [mm] 100	α_e [-] 6.55738 β [-] 1
Rozměry průřezu b [mm] 1000 h [mm] 500	Parametry materiálů E_s [MPa] 200000 E_{cm} [MPa] 30500 $f_{ct,eff}$ [MPa] 1,3	Parametry průřezu bez trhlin A_i [mm ²] 520184 a_{gi} [mm] 250 I_i [mm ³] 11248412905 σ_s [MPa] 6.55845 σ'_s [MPa] -6.55845 σ_c [MPa] 1.23173 σ'_c [MPa] -1.23173
Koeficienty k_t 0.4 k_1 0.8	Tlaková výztuž A'_s [mm ²] 1539 d' [mm] 47	Moment při vzniku trhlin M_{cr} [kNm] 58.4917 Moment od zatížení M_{kd} [kNm] 55.42
VÝPOČET		Trhliny nevzniknou!
Trhliny nevzniknou ($M_{cr} = 58.5$ kNm).		

$$w_k = 0,00 \text{ mm} < w_{klim} = 0,17 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

Posouzení trhlin bylo provedeno pomocí výpočetního programu pro návrh výztuže na šířku trhlin [30].

Stěna tloušťky 300 mm (horní část stěny)

Ohybový moment M_{kd} [kNm] 55,42	Tahová výztuž A_s [mm ²] 1711 ϕ [mm] 14 c [mm] 40 d [mm] 253 s [mm] 90	α_e [-] 6.55738 β [-] 1	Parametry průřezu s trhlami x [mm] 62.6214 I_{ir} [mm ³] 491239188 σ_s [MPa] 140.839 σ'_s [MPa] -11.5564 σ'_c [MPa] -7.06474 F_s [N] 240975 F'_s [N] -19773 F'_c [N] -221202 $h_{c,eff}$ [mm] 79.1262 (b) $A_{c,eff}$ [mm ²] 79126.2 $\rho_{p,eff}$ [-] 0.0216237 $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [‰] 0.56691 (a) $s_{r,max}$ [mm] 246.065 (a) w_k [mm] 0.139495
Rozměry průřezu b [mm] 1000 h [mm] 300	Parametry materiálů E_s [MPa] 200000 E_{cm} [MPa] 30500 $f_{ct,eff}$ [MPa] 1,3	Parametry průřezu bez trhlin A_i [mm ²] 322439 a_{gi} [mm] 150 I_i [mm ³] 2488059003 σ_s [MPa] 15.0443 σ'_s [MPa] -15.0443 σ_c [MPa] 3.34116 σ'_c [MPa] -3.34116	
Koeficienty k_t 0.4 k_1 0.8	Tlaková výztuž A'_s [mm ²] 1711 d' [mm] 47	Moment při vzniku trhlin M_{cr} [kNm] 21.5632 Moment od zatížení M_{kd} [kNm] 55.42	
VÝPOČET		Trhliny vzniknou!	
Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 21.6$ kNm). Šířka trhlin $w_k = 0.1395$ mm.			

$$w_k = 0,1395 \text{ mm} < w_{klim} = 0,14 \text{ mm}$$

...Vyhovuje



8.8.3 Posouzení MSÚ

Výztuž vypočtena z MSP byla vložena do programu SCIA Engineer a konstrukce následně v modulu BETON posouzena na MSÚ.

Navržená výztuž:

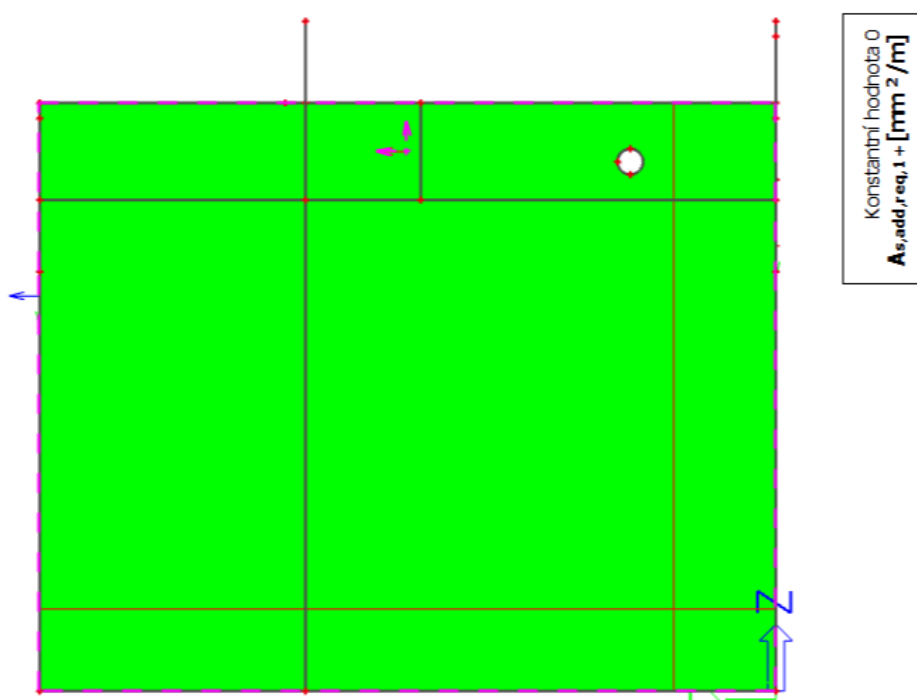
Vodorovná výztuž (při obou površích):

Tloušťka stěny 500 mm: $\varnothing = 14$ mm, $s = 100$ mm, $A_{s,prov} = 1539$ mm²

Tloušťka stěny 300 mm: $\varnothing = 14$ mm, $s = 90$ mm, $A_{s,prov} = 1711$ mm²

Svislá výztuž (při obou površích): $\varnothing = 14$ mm, $s = 100$ mm, $A_{s,prov} = 1539$ mm²

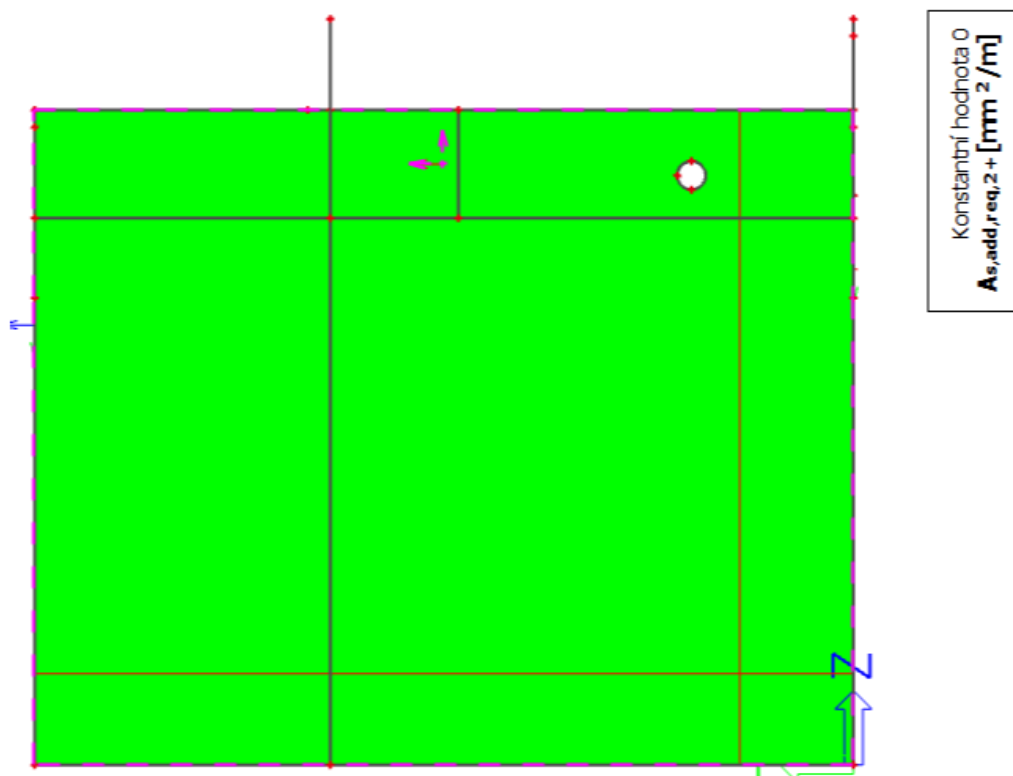
Ověření potřebné přídatné plochy výztuže při prvním povrchu, směr x



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

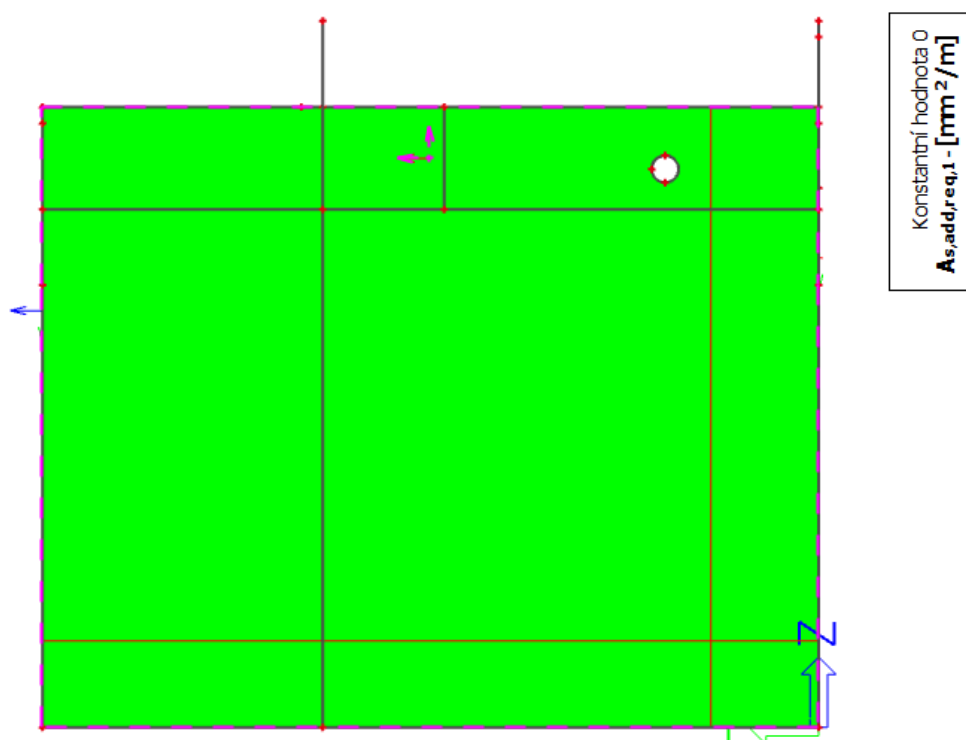


Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při prvním povrchu, směr y



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

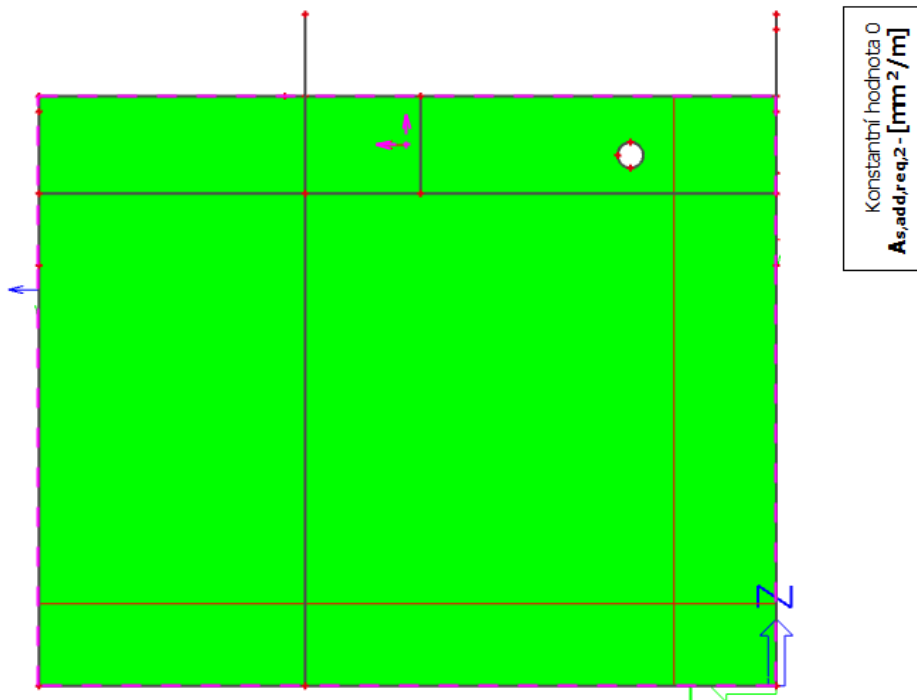
Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při druhém povrchu, směr x



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.



Ověření potřebné přídatné plochy výztuže při druhém povrchu, směr y



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

Výztaž navržená na účinky MSP vyhovuje i v MSÚ. Zesilování není nutné.

8.8.4 Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže:

$$\begin{aligned}
 a_{s,\min} &= \max(0,002 \cdot A_c; \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}) = \\
 &= \max(0,002 \cdot 500 \cdot 10^3; \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 500 \cdot 1000}{200}) = \max(1000; 1040) = 1300 \text{ mm}^2 \\
 a_{s,\min} &= 1300 \text{ mm}^2 < a_{s,\text{prov}} = 6500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

...Vyhovuje

Maximální plocha výztuže:

$$a_{s,\max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1000 \cdot 500 = 20000 \text{ mm}^2$$
$$a_{s,\max} = 20000 \text{ mm}^2 > a_{s,\text{prov}} = 6500 \text{ mm}^2$$

...Vyhovuje

Minimální světla vzdálenost výztuže:

$$\begin{aligned} s_1 &= \max(20 \text{ mm}; 1,2 \cdot \varnothing_s; D_{\max} + 5 \text{ mm}) = \\ &= \max(20; 1,2 \cdot 14; 16 + 5) = \max(20; 17; 21) = 21 \text{ mm} \\ s_1 &= 21 \text{ mm} < s_y = 86 \text{ mm} \end{aligned}$$

...Vyhovuje



Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s = \min (2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \min (2 \cdot 500; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s = 250 \text{ mm} > s_y = 200 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

8.8.5 Návrh výztuže

Vodorovná výztuž při obou površích:

Tloušťka stěny 500 mm: Ø14/100

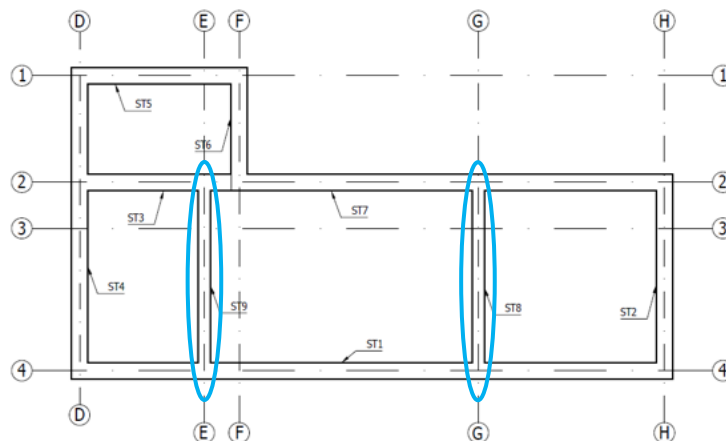
Tloušťka stěny 300 mm: Ø14/90

Svislá výztuž při obou površích: Ø14/100

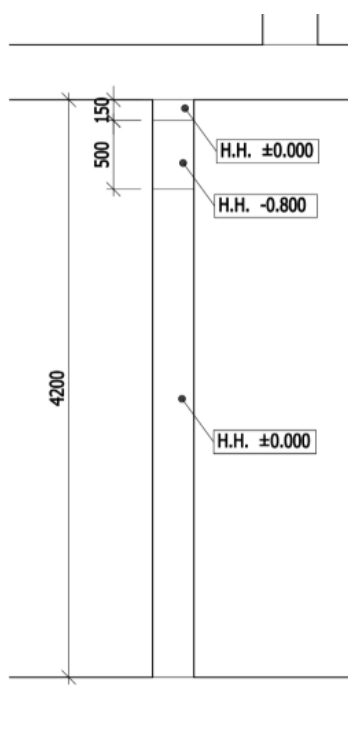


8.9 Vnitřní síly stěn ST8, ST9

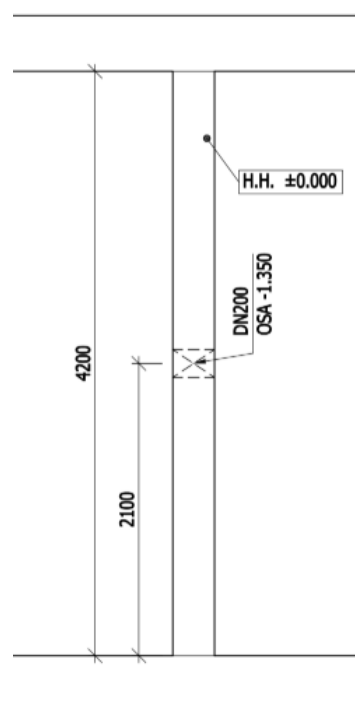
Jedná se o vnitřní stěny tloušťky 300 mm.



ST9



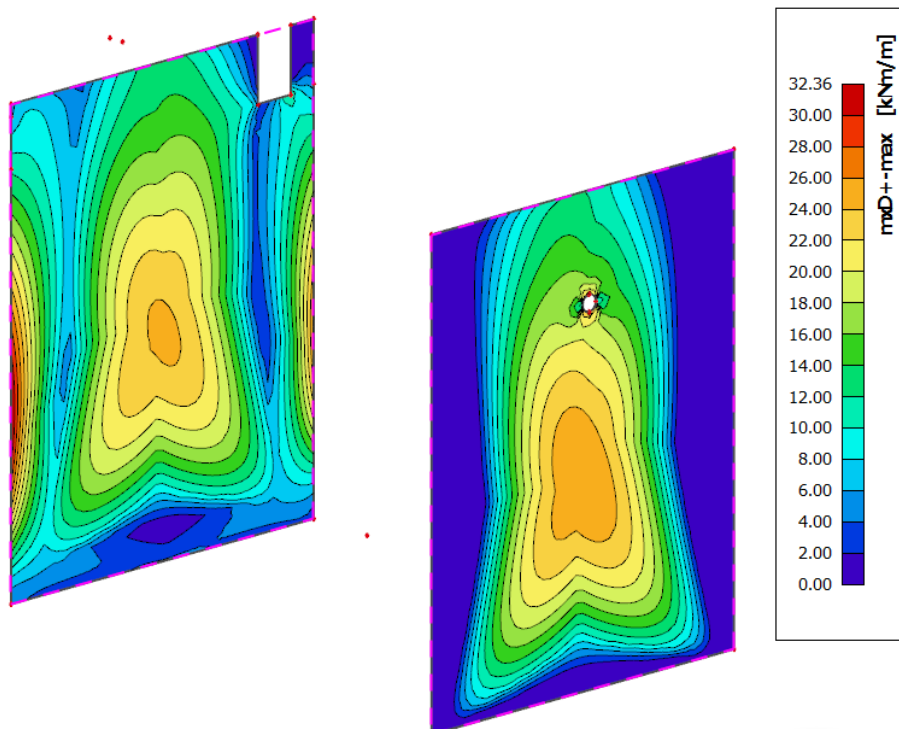
ST8



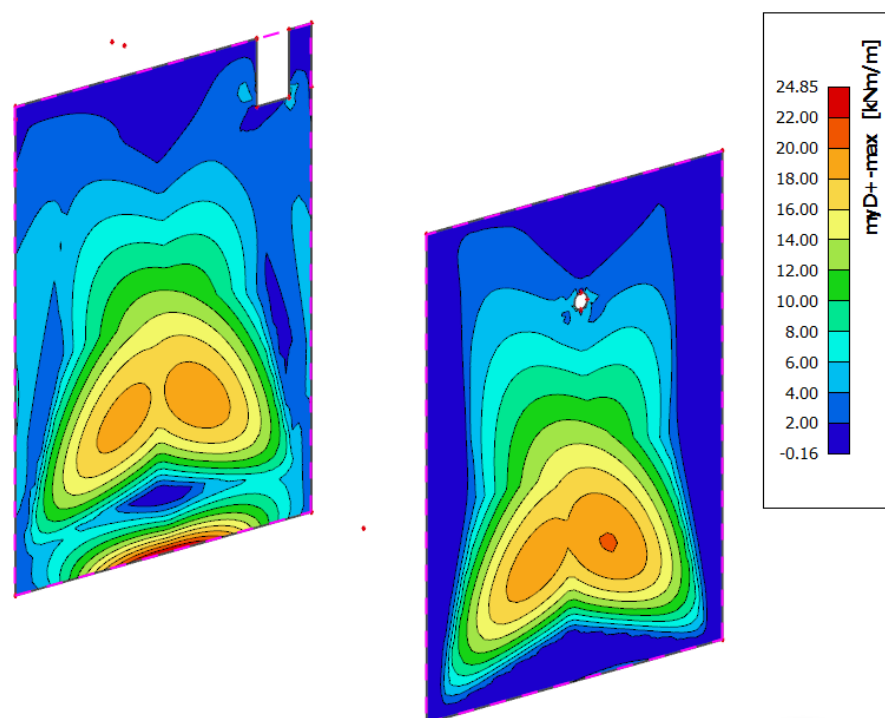


8.9.1 Kvazistálá kombinace

Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u prvního povrchu stěny

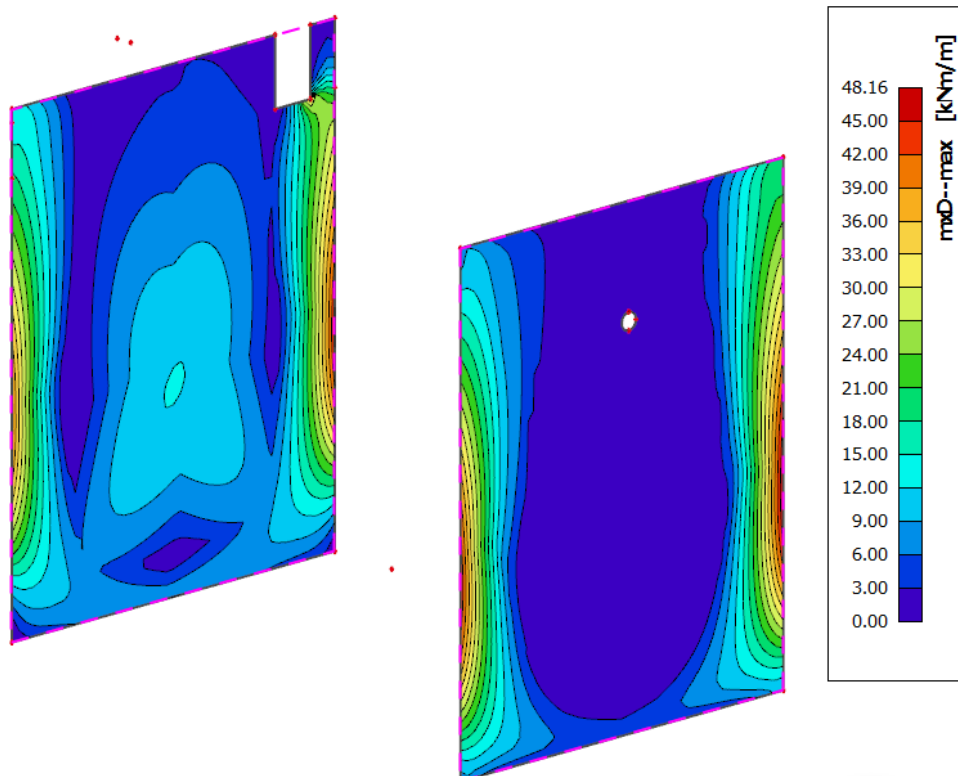


Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u prvního povrchu stěny

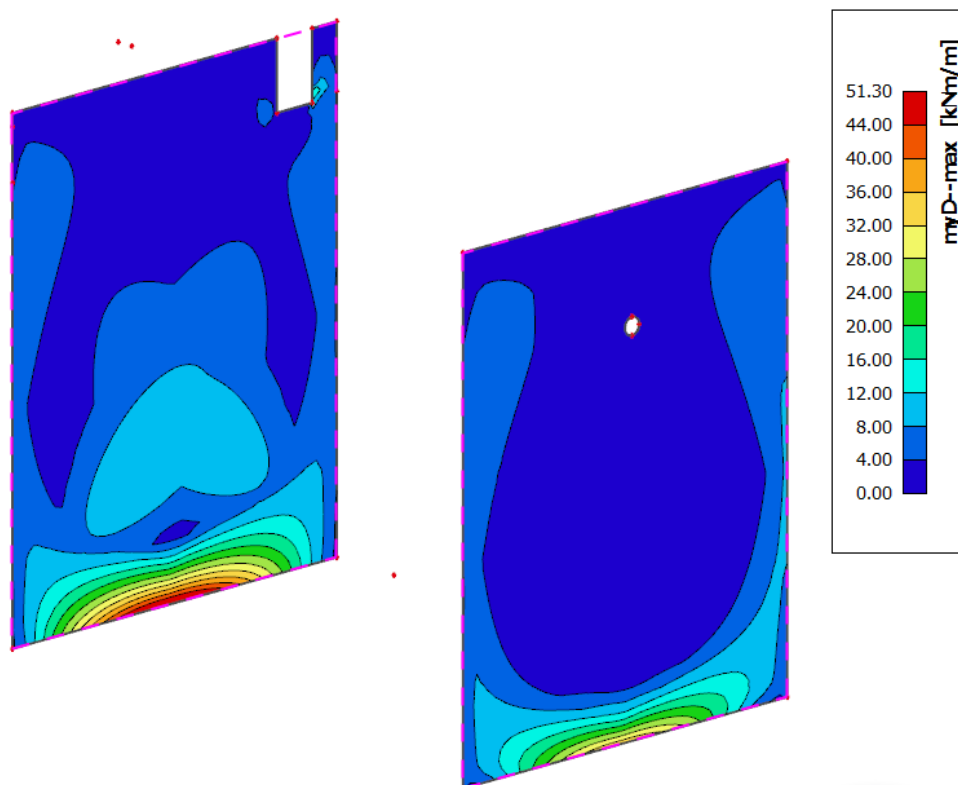




Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u druhého povrchu stěny



Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u druhého povrchu stěny





8.10 Návrh dimenze stěn nádrží ST8, ST9

8.10.1 Návrh svislé výztuže stěn

Návrh výztuže při obou površích: $\varnothing = 16 \text{ mm}$, $s = 100 \text{ mm}$, $A_{s,prov} = 2011 \text{ mm}^2$

Posouzení trhlin bylo provedeno pomocí výpočetního programu pro návrh výztuže na šířku trhlin [30].

Ohybový moment M_{kd} [kNm] 51,3	Tahová výztuž A_s [mm ²] 2011 ϕ [mm] 16 c [mm] 54 d [mm] 238 s [mm] 100	α_e [-] 6.55738 β [-] 1	Parametry průřezu s trhlami x [mm] 66.404 I_{ir} [mm ³] 486148686 σ_s [MPa] 118.737 σ'_s [MPa] -3.04734 σ_c [MPa] -7.00716 F_s [N] 238780 F'_s [N] -6128.21 F_c [N] -232652 $h_{c,eff}$ [mm] 77.8653 (b) $A_{c,eff}$ [mm ²] 77865.3 $\rho_{p,eff}$ [-] 0.0258266 $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [‰] 0.47596 (a)
Rozměry průřezu b [mm] 1000 h [mm] 300	Tlaková výztuž A'_s [mm ²] 2011 d' [mm] 62	Parametry průřezu bez trhlin A_i [mm ²] 326374 a_{gi} [mm] 150 I_i [mm ³] 2454238479 σ_s [MPa] 12.0618 σ'_s [MPa] -12.0618 σ_c [MPa] 3.13539 σ'_c [MPa] -3.13539	σ_s [MPa] 12.0618 σ'_s [MPa] -12.0618 σ_c [MPa] 3.13539 σ'_c [MPa] -3.13539 Moment při vzniku trhlin M_{cr} [kNm] 21.2701 Moment od zatížení M_{kd} [kNm] 51.3 Trhliny vzniknou!
Parametry materiálů E_s [MPa] 200000 E_{cm} [MPa] 30500 $f_{ct,eff}$ [MPa] 1,3	Koeficienty k_t 0.4 k_1 0.8	VÝPOČET	$\sigma_{ct,d} = 0,2 \cdot \sigma_{ct,ges}$ $\sigma_{ct,ges}$ $\frac{1}{4} h_{wend}$
Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 21.3 \text{ kNm}$). Šířka trhlin $w_k = 0.1375 \text{ mm}$. 		Trhliny vzniknou! w_k [mm] 0.137514	

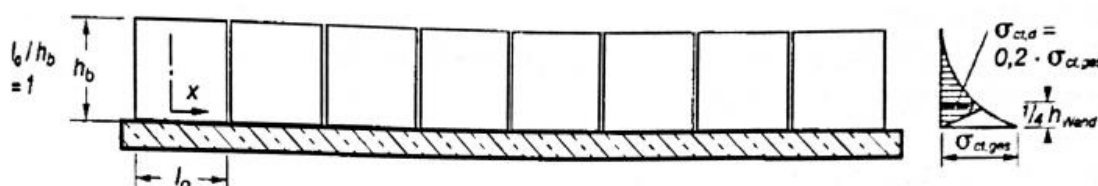
$$w_k = 0,138 \text{ mm} < w_{klim} = 0,14 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

8.10.2 Návrh vodorovné výztuže stěn

Návrh výztuže při obou površích: $\varnothing = 12 \text{ mm}$, $s = 100 \text{ mm}$, $A_{s,prov} = 1131 \text{ mm}^2$

Šířka trhlin od účinků hydratačního tepla



Cement: CEM II/B 42,5 N

Množství cementu v 1 m³ betonu: $c = 320 \text{ kg/m}^3$

Hydratační teplo cementu: $H_w = 110 \text{ J/g}$

Tahové napětí ve stěnách: $\sigma_{ct,ges} = k \cdot \alpha_T \cdot E_{ct} \cdot \Delta T_{b,wf}$

Součinitel možnosti posunu prvků: obvyklá hodnota: $k = 1,0$

Součinitel teplotní roztažnosti: $\alpha_T = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$



Čas dosažení max rozdílu teplot v jádře betonu a na povrchu:

$$t_{\text{matT}} = 0,8 \cdot h + 1 = 0,8 \cdot 0,3 + 1 = 1,24 \text{ dní}$$

Poměr $E_{\text{ct}}/E_{\text{c28}} = 0,70$

$$\Delta T_{\text{b,WF}} = T_{\text{c,m}} - T_{\text{F}}$$

Teplota základové desky: $T_{\text{F}} = 10 \text{ °C}$

$$\text{Teplota stěny: } T_{\text{c,m}} = k_{\text{TV}} \cdot T_{\text{c0}} + \Delta T_{\text{c,H}}$$

Součinitel průběhu teplot: pro stěnu tloušťky 300 mm: $k_{\text{TV}} = 0,5$

Výchozí teplota čerstvého betonu: $T_{\text{c0}} = 15 \text{ °C}$

Vzrůst teploty vlivem hydratačního tepla: $\Delta T_{\text{c,H}} = \alpha_{\text{c}} \cdot c \cdot H_{\text{w}} / Q_{\text{c0}}$

Součinitel: $\alpha_{\text{c}} = 0,75$

Tepelná kapacita betonu: $Q_{\text{c0}} = 2500 \text{ kJ/(m}^3 \cdot \text{K)}$

$$\Delta T_{\text{c,H}} = 0,75 \cdot 320 \cdot 110 / 2500 = 10,56 \text{ K} = 10,56 \text{ °C}$$

$$T_{\text{c,m}} = 0,5 \cdot 15 + 10,56 = 18,06 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{b,WF}} = 18,06 - 10 = 8,06 \text{ °C} = 8,06 \text{ K}$$

Modul pružnosti mladého betonu:

$$E_{\text{ct}} = E_{\text{c28}} \cdot E_{\text{ct}}/E_{\text{c28}} = 30500 \cdot 0,70 = 21350 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ct,ges}} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 21350 \cdot 8,06 = 1,7 \text{ MPa}$$

Největší napětí: $\sigma_{\text{ct,d}} = k_{\text{ct,d}} \cdot \sigma_{\text{ct,ges}}$

Součinitel přepočtu napětí: $k_{\text{ct,d}} = 0,2$

$$l_0/h_{\text{b}} = 4,6/5,75 = 0,8$$

$$\sigma_{\text{ct,d}} = 0,2 \cdot 1,7 = 0,34 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{ct,eff}} = 1,3 \text{ MPa} > \sigma_{\text{ct,d}} = 0,34 \text{ MPa}$$

... Trhliny nevzniknou

Šířka trhlin dle ČSN EN 1992-3 (vetknutí podél jednoho okraje)

Součinitel omezení přetvoření: $R_{\text{ax}} = 0,5$

Relativní vlhkost okolního prostředí: $RH = 50 \text{ %}$, $RH_0 = 50 \text{ %}$

Přetvoření na zcela volném prvku: $\varepsilon_{\text{free}} = \varepsilon_{\text{cd}} + \varepsilon_{\text{ca}}$

Poměrné smrštění vysycháním:

$$\varepsilon_{\text{cd}} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot \alpha_{\text{ds1}}) \cdot \exp(-\alpha_{\text{ds2}} \cdot f_{\text{ctm}}/10)] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{\text{RH}}$$

$$\beta_{\text{RH}} = 1,55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3] = 1,55 \cdot [1 - (50/100)^3] = 1,36$$

Součinitel cementu $\alpha_{\text{ds1}} = 4,0$

Součinitel cementu $\alpha_{\text{ds2}} = 0,12$

$$\varepsilon_{\text{cd}} = 0,85 \cdot [(220 + 110 \cdot 4,0) \cdot \exp(-0,12 \cdot 33/10)] \cdot 10^{-6} \cdot 1,36 = 0,00051$$



Poměrné autogenní smršťování:

$$\varepsilon_{ca} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (25 - 10) \cdot 10^{-6} = 0,0000375$$

$$\varepsilon_{free} = 0,00071 + 0,0000375 = 0,000548$$

Rozdíl poměrných přetvoření: $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = R_{ax} \cdot \varepsilon_{free} = 0,5 \cdot 0,000548 = 0,00027$

Výška účinné plochy taženého betonu:

$$\begin{aligned} h_{c,eff} &= \min [2,5 \cdot (h - d); h/2; (h - x)/3] \\ &= \min [2,5 \cdot (300 - 254); 300/2; (300 - 0)/3] = \min [115; 150; 100] = \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Účinná tažená plocha:

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} \cdot b = 100 \cdot 1000 = 100 \cdot 10^3 \text{ mm}^2/\text{bm}$$

Účinný stupeň vyztužení:

$$\rho_{eff} = A_{s,prov}/A_{c,eff} = 1131/(100 \cdot 10^3) = 0,011$$

Maximální vzdálenost trhlin: $s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sigma/\rho_{eff}$

Součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže:

pruty s velkou soudržností: $k_1 = 0,8$

Součinitel zohledňující rozdělení poměrného přetvoření:

pro prostý tah: $k_2 = 1,0$

Součinitel vyjadřující vliv poškozené soudržnosti betonu a výztuže

v bezprostřední blízkosti trhliny: $k_3 = 3,4 \cdot (25/c)^{2/3} = 2,5 \leq 3,4$

Součinitel vyjadřující vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu:

dle doporučení ČSN EN 1992-1-1: $k_4 = 0,425$

$$s_{r,max} = 2,5 \cdot 40 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 12/0,011 = 471 \text{ mm}$$

Charakteristická šířka trhlin: $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 471 \cdot 0,00027 = 0,13$

$$w_k = 0,13 \text{ mm} < w_{klim} = 0,14 \text{ mm}$$

...Vyhovuje



Šířka trhlin od zatížení

Posouzení trhlin bylo provedeno pomocí výpočetního programu pro návrh výztuže na šířku trhlin [30].

Výztuž: $\varnothing = 12$ mm, $s = 100$ mm

Ohybový moment M_{kd} [kNm] 48,16	Tahová výztuž A_s [mm ²] 1131 ϕ [mm] 12 c [mm] 40 d [mm] 254 s [mm] 100	α_e [-] 6.55738 β [-] 1	Parametry průřezu s trhlami x [mm] 53.5035 I_{ir} [mm ³] 349601500 σ_s [MPa] 181.113 σ'_s [MPa] -6.77809 σ'_c [MPa] -7.37047 F_s [N] 204839 F'_s [N] -7666.01 F'_c [N] -197173 $h_{c,eff}$ [mm] 82.1655 (b) $A_{c,eff}$ [mm ²] 82165.5 $\rho_{p,eff}$ [-] 0.0137649 $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [‰] 0.69963 (a)
Rozměry průřezu b [mm] 1000 h [mm] 300	Tlaková výztuž A'_s [mm ²] 1131 d' [mm] 46	Parametry průřezu bez trhlin A_i [mm ²] 314833 a_{gi} [mm] 150 I_i [mm ³] 2410431423 σ_s [MPa] 13.6256 σ'_s [MPa] -13.6256 σ_c [MPa] 2.99697 σ'_c [MPa] -2.99697	Moment při vzniku trhlin M_{Cr} [kNm] 20.8904 Moment od zatížení M_{kd} [kNm] 48.16 Trhliny vzniknou!
Parametry materiálů E_s [MPa] 200000 E_{cm} [MPa] 30500 $f_{ct,eff}$ [MPa] 1,3	Koeficienty k_t 0.4 k_1 0.8	VÝPOČET Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 20.9$ kNm). Šířka trhlin $w_k = 0.1988$ mm.	

$$w_k = 0,2 \text{ mm} > w_{klim} = 0,14 \text{ mm}$$

...Nevyhovuje

Návrh výztuže při obou površích: $\varnothing = 14$ mm, $s = 100$ mm, $A_{s,prov} = 1539$ mm²

Ohybový moment M_{kd} [kNm] 48,16	Tahová výztuž A_s [mm ²] 1539 ϕ [mm] 14 c [mm] 40 d [mm] 253 s [mm] 100	α_e [-] 6.55738 β [-] 1	Parametry průřezu s trhlami x [mm] 60.2058 I_{ir} [mm ³] 449611693 σ_s [MPa] 135.417 σ'_s [MPa] -9.27565 σ'_c [MPa] -6.44893 F_s [N] 208407 F'_s [N] -14275.2 F'_c [N] -194131 $h_{c,eff}$ [mm] 79.9314 (b) $A_{c,eff}$ [mm ²] 79931.4 $\rho_{p,eff}$ [-] 0.019254 $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [‰] 0.525 (a)
Rozměry průřezu b [mm] 1000 h [mm] 300	Tlaková výztuž A'_s [mm ²] 1539 d' [mm] 47	Parametry průřezu bez trhlin A_i [mm ²] 320184 a_{gi} [mm] 150 I_i [mm ³] 2464127882 σ_s [MPa] 13.2005 σ'_s [MPa] -13.2005 σ_c [MPa] 2.93167 σ'_c [MPa] -2.93167	Moment při vzniku trhlin M_{Cr} [kNm] 21.3558 Moment od zatížení M_{kd} [kNm] 48.16 Trhliny vzniknou!
Parametry materiálů E_s [MPa] 200000 E_{cm} [MPa] 30500 $f_{ct,eff}$ [MPa] 1,3	Koeficienty k_t 0.4 k_1 0.8	VÝPOČET Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 21.4$ kNm). Šířka trhlin $w_k = 0.1363$ mm.	

$$w_k = 0,136 \text{ mm} < w_{klim} = 0,14 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

8.10.3 Posouzení MSÚ

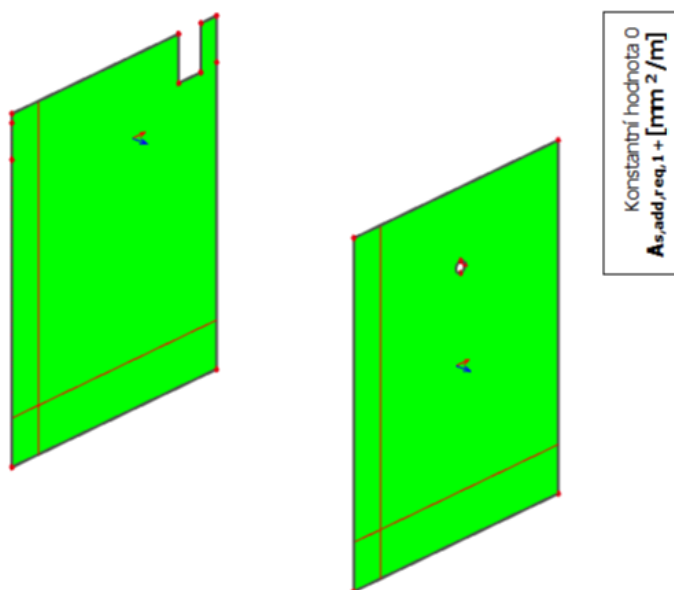
Výztuž vypočtena z MSP byla vložena do programu SCIA Engineer a konstrukce následně v modulu BETON posouzena na MSÚ.

Navržená výztuž:

Vodorovná výztuž (při obou površích): $\varnothing = 14 \text{ mm}$, $s = 100 \text{ mm}$, $A_{s,prov} = 1539 \text{ mm}^2$

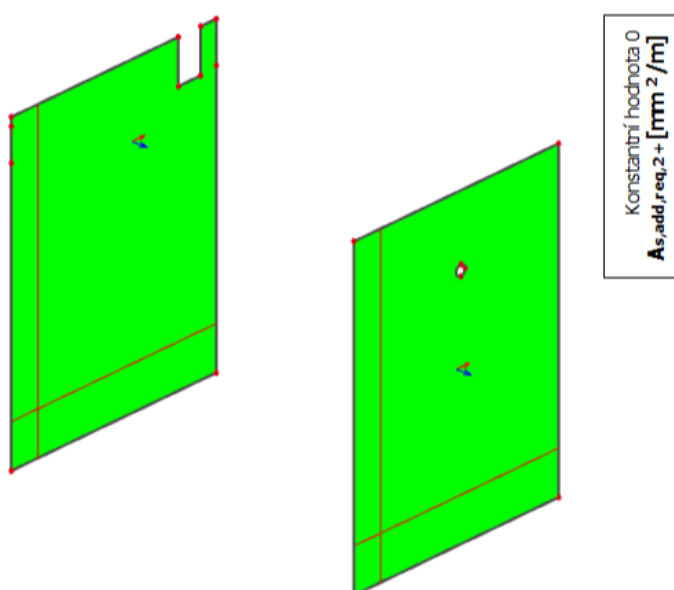
Svislá výztuž (při obou površích): $\varnothing = 16 \text{ mm}$, $s = 100 \text{ mm}$, $A_{s,prov} = 2011 \text{ mm}^2$

Ověření potřebné přídatné plochy výztuže při prvním povrchu, směr x



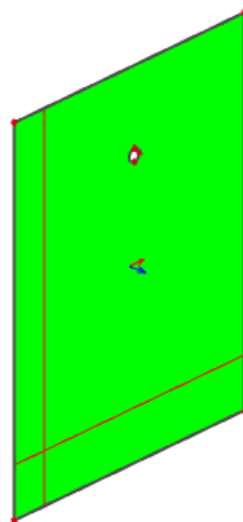
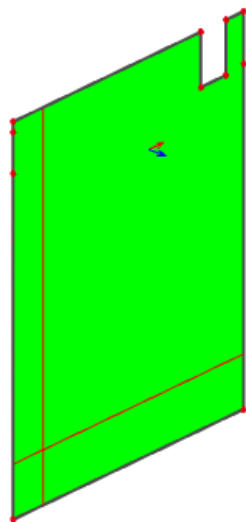
Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

Ověření potřebné přídatné plochy výztuže při prvním povrchu, směr y



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

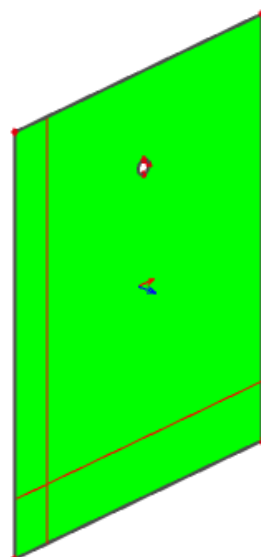
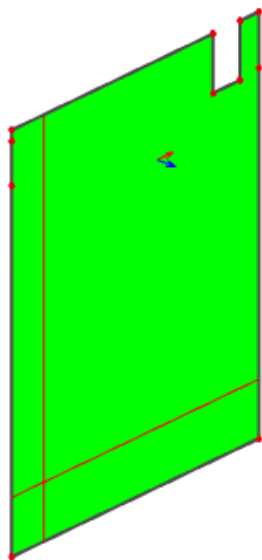
Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při druhém povrchu, směr x



Konstantní hodnota 0
 $A_{s,add,req,1} - [mm^2/m]$

Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při druhém povrchu, směr y



Konstantní hodnota 0
 $A_{s,add,req,2} - [mm^2/m]$

Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

Výztuž navržená na účinky MSP vyhovuje i v MSÚ. Zesilování není nutné.

**8.10.4 Konstrukční zásady****Minimální plocha výztuže:**

$$a_{s,min} = \max \left(0,002 \cdot A_c; \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} \right) =$$
$$= \max \left(0,002 \cdot 300 \cdot 10^3; \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 300 \cdot 1000}{200} \right) = \max (600; 780) = 780 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min} = 1300 \text{ mm}^2 < a_{s,prov} = 7100 \text{ mm}^2$$

...Vyhovuje

Maximální plocha výztuže:

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1000 \cdot 300 = 12000 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,max} = 12000 \text{ mm}^2 > a_{s,prov} = 7100 \text{ mm}^2$$

...Vyhovuje

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$s_1 = \max (20 \text{ mm}; 1,2 \cdot \varnothing_s; D_{max} + 5 \text{ mm}) =$$

$$= \max (20; 1,2 \cdot 16; 16 + 5) = \max (20; 19; 21) = 21 \text{ mm}$$

$$s_1 = 21 \text{ mm} < s_y = 84 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$s = \min (2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \min (2 \cdot 300; 250) = 250 \text{ mm}$$

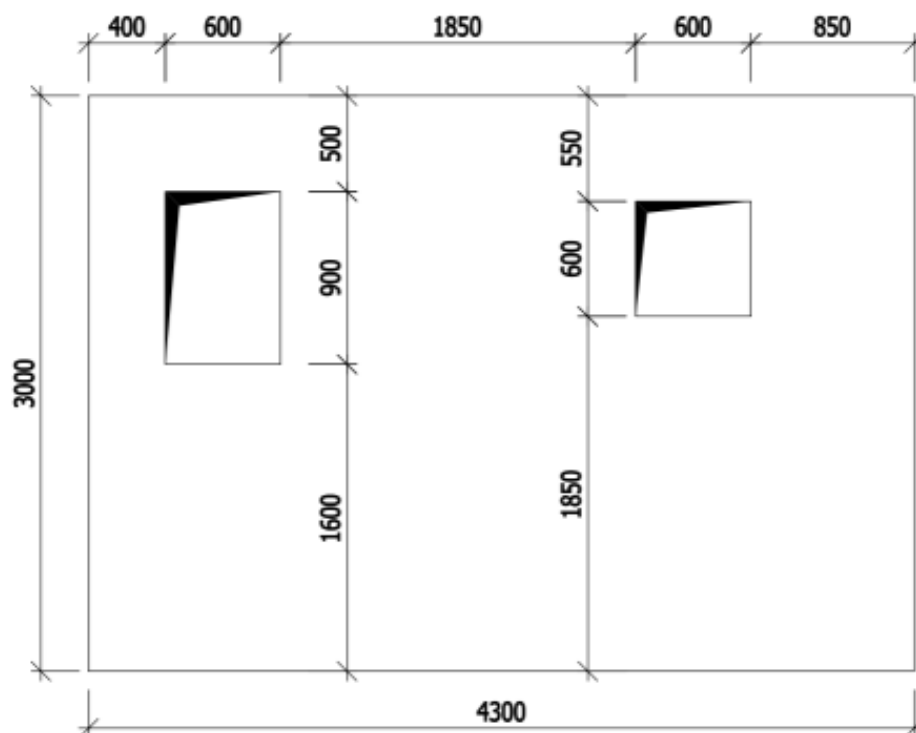
$$s = 250 \text{ mm} > s_y = 200 \text{ mm}$$

...Vyhovuje

8.10.5 Návrh výztuže**Vodorovná výztuž při obou površích: Ø14/100****Svislá výztuž při obou površích: Ø16/100**

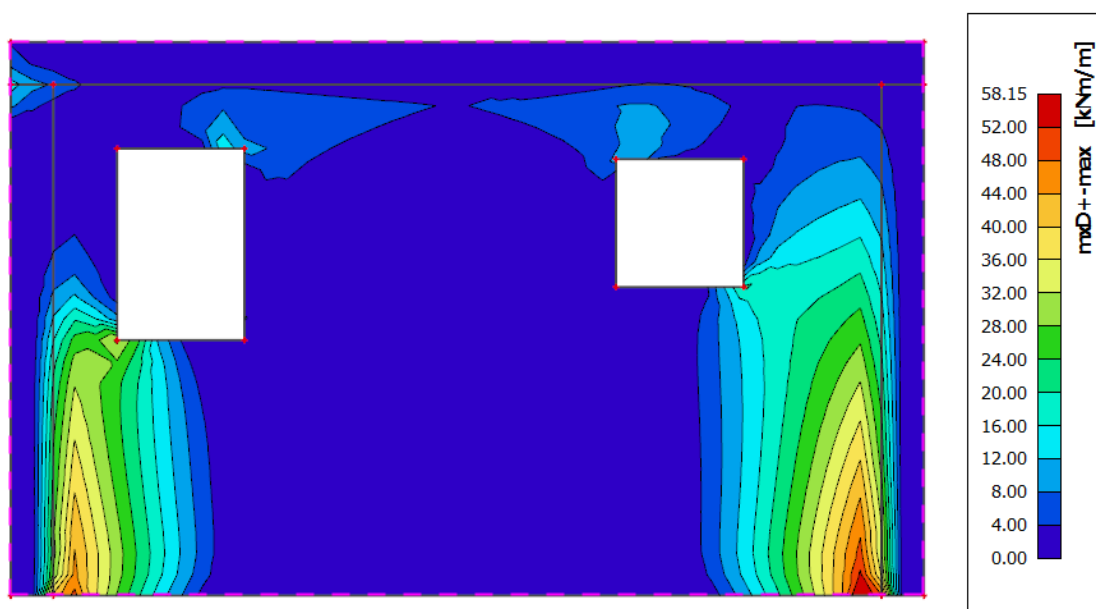


8.11 Vnitřní síly desky nad kalojemem



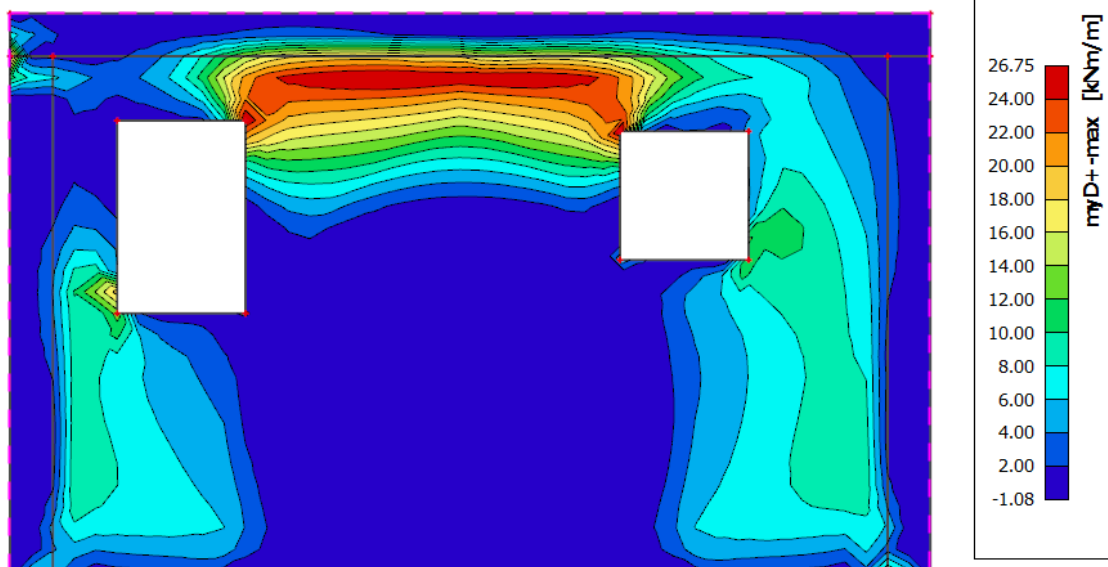
8.11.1 Kvazistálá kombinace

Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u horního povrchu desky

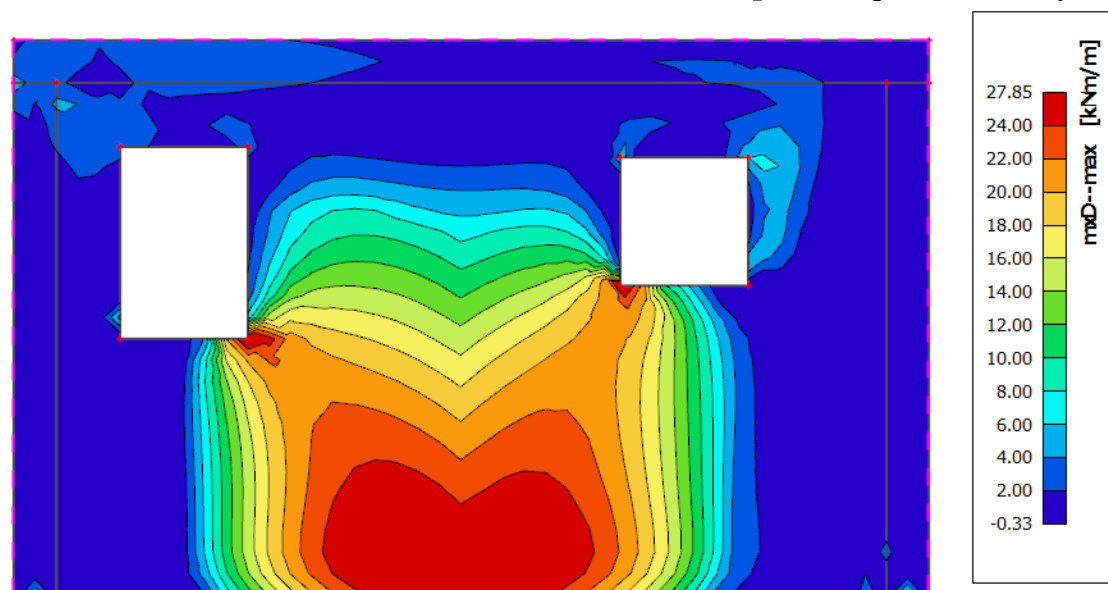




Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u horního povrchu desky

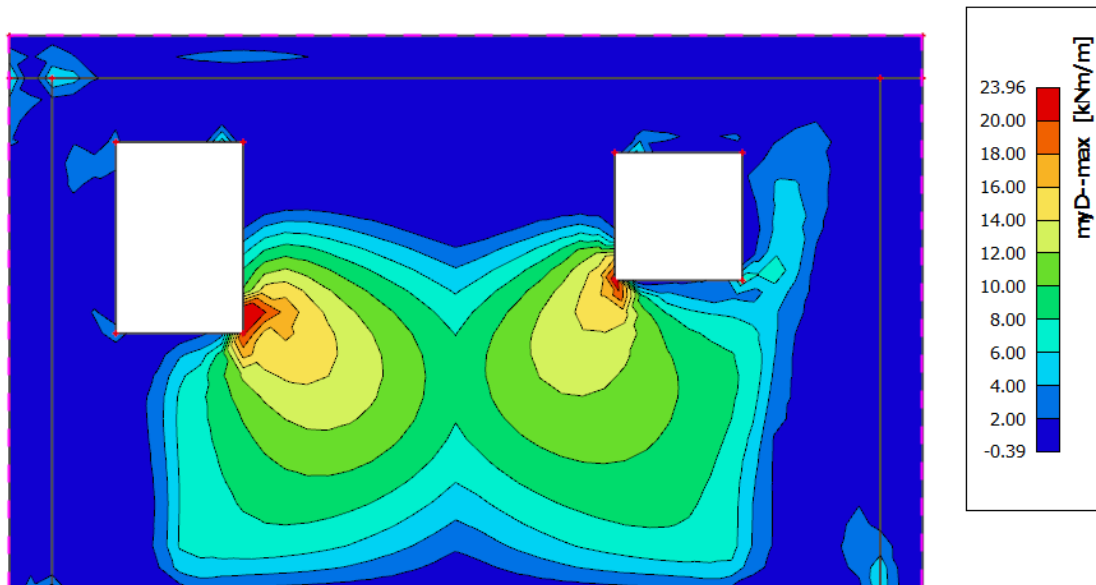


Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru x u spodního povrchu desky





Kvazistálá kombinace zatížení – moment ve směru y u spodního povrchu desky



8.12 Návrh dimenze desky nad kalojemem

Geometrie průřezu

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$c = 40 \text{ mm}$$

$$d = 204 \text{ mm}$$

Návrh výztuže

Horní výztuž: $\varnothing_x = 12 \text{ mm}$, $s_x = 100 \text{ mm}$,

$$A_{sx,prov} = 1131 \text{ mm}^2$$

Spodní výztuž: $\varnothing_x = 12 \text{ mm}$, $s_x = 100 \text{ mm}$,

$$A_{sx,prov} = 1131 \text{ mm}^2$$

$$\underline{A_{sx,prov} = 2262 \text{ mm}^2}$$

Horní výztuž: $\varnothing_y = 12 \text{ mm}$, $s_y = 100 \text{ mm}$,

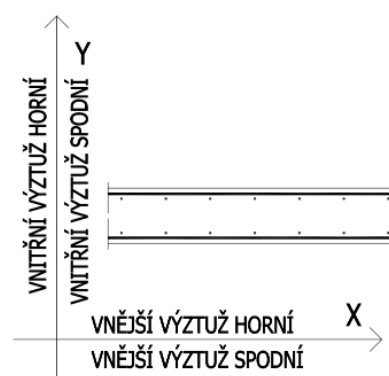
$$A_{sy,prov} = 1131 \text{ mm}^2$$

Spodní výztuž: $\varnothing_y = 12 \text{ mm}$, $s_y = 100 \text{ mm}$,

$$A_{sy,prov} = 1131 \text{ mm}^2$$

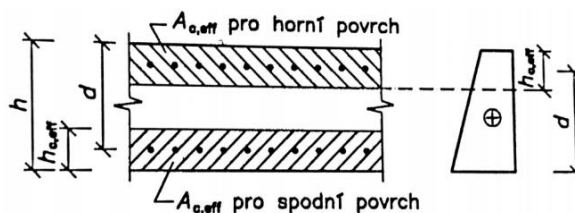
$$\underline{A_{sy,prov} = 2262 \text{ mm}^2}$$

SCHÉMA KLADENÍ VÝZTUŽE





8.12.1 Posouzení šířky trhlin dle ČSN 1992-3



Výška účinné plochy taženého betonu: $h_{c,eff} = \min[2,5 \cdot (h - d); h/2; (h - x)/3]$

$$\begin{aligned} \text{Směr x: } h_{cx,eff} &= \min [2,5 \cdot (250 - 204); 250/2; (250 - 0)/3] = \\ &= \min [115; 175; 83] = 83 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Směr y: } h_{cy,eff} &= \min [2,5 \cdot (250 - 192); 250/2; (250 - 0)/3] = \\ &= \min [145; 175; 83] = 83 \text{ mm} \end{aligned}$$

Účinná tažená plocha: $A_{c,eff} = 2 \cdot h_{c,eff} \cdot b$

$$\text{Směr x: } A_{cx,eff} = 2 \cdot 83 \cdot 1000 = 166 \cdot 10^3 \text{ mm}^2/\text{bm}$$

$$\text{Směr y: } A_{cy,eff} = 2 \cdot 83 \cdot 1000 = 166 \cdot 10^3 \text{ mm}^2/\text{bm}$$

Účinný stupeň vyztužení: $\rho_{eff} = A_{s,prov}/A_{c,eff}$

$$\text{Směr x: } \rho_{effx} = 2262/(166 \cdot 10^3) = 13,6 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Směr y: } \rho_{effy} = 2262/(166 \cdot 10^3) = 13,6 \cdot 10^{-3}$$

Stupeň vyztužení: $\rho = A_s/A_{ct}$

$$\text{Směr x: } \rho = 2262/(400 \cdot 10^3) = 5,66 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Směr y: } \rho = 2262/(400 \cdot 10^3) = 5,66 \cdot 10^{-3}$$

Napětí ve výztuži při vzniku trhliny: $\sigma_s = kc \cdot k \cdot f_{ct,eff}/\rho$

$$kc = k = 1,0$$

$$\text{Směr x: } \sigma_{sx} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3/5,66 \cdot 10^{-3} = 229,68 \text{ MPa}$$

$$\text{Směr y: } \sigma_{sy} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3/5,66 \cdot 10^{-3} = 229,68 \text{ MPa}$$

Maximální vzdálenost trhlin: $s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sigma/\rho_{eff}$

Součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže:

$$\text{pruty s velkou soudržností: } k_1 = 0,8$$

Součinitel zohledňující rozdělení poměrného přetvoření:

$$\text{pro prostý tah: } k_2 = 1,0$$

Součinitel vyjadřující vliv poškozené soudržnosti betonu a výztuže v bezprostřední blízkosti trhliny:

$$\text{dle doporučení ČSN EN 1992-1-1: } k_3 = 3,4$$

Součinitel vyjadřující vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu:

$$\text{dle doporučení ČSN EN 1992-1-1: } k_4 = 0,425$$



$$s_{rx,max} = 3,4 \cdot 40 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 12 / 13,6 \cdot 10^{-3} = 436 \text{ mm}$$

$$s_{ry,max} = 3,4 \cdot 52 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 12 / 13,6 \cdot 10^{-3} = 477 \text{ mm}$$

$$\text{Rozdíl poměrných přetvoření: } \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{0,5 \cdot \alpha_e \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot (1 + 1/(\alpha_e \cdot \rho))}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 200 / 30,5 = 6,6$$

$$k_t = 0,6$$

$$\begin{aligned} \text{Směr x: } \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= \frac{0,5 \cdot 6,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot (1 + 1/(6,6 \cdot 5,66 \cdot 10^{-3}))}{200 \cdot 10^3} \geq 0,6 \cdot \frac{229,68}{200200 \cdot 10^3} = \\ &= 6,89 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Směr y: } \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= \frac{0,5 \cdot 6,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot (1 + 1/(6,6 \cdot 5,66 \cdot 10^{-3}))}{200 \cdot 10^3} \geq 0,6 \cdot \frac{229,68}{200200 \cdot 10^3} = \\ &= 6,89 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\text{Šířka trhliny: } w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \cdot R_{ax}$$

$$\text{Součinitel omezení přetvoření: } R_{ax} = 0,5$$

$$\text{Směr x: } w_{kx} = 0,5 \cdot 436 \cdot 6,89 \cdot 10^{-4} = 0,15 \text{ mm}$$

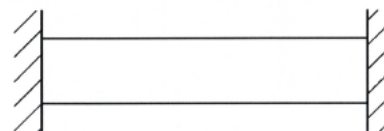
$$\text{Směr y: } w_{ky} = 0,5 \cdot 477 \cdot 6,89 \cdot 10^{-4} = 0,17 \text{ mm}$$

$$w_{kx} = 0,15 \text{ mm} < w_{klim} = 0,20 \text{ mm}$$

... Vyhovuje

$$w_{ky} = 0,17 \text{ mm} < w_{klim} = 0,20 \text{ mm}$$

... Vyhovuje



(a) větknutí prvku na jeho koncích



8.12.2 Posouzení šířky trhlin dle ČSN 1992-1-1

Posouzení trhlin bylo provedeno pomocí výpočetního programu pro návrh výztuže na šířku trhlin [30].

Ohybový moment M_{kd} [kNm] <input type="text" value="40"/>	Tahová výztuž A_s [mm ²] <input type="text" value="1131"/> ϕ [mm] <input type="text" value="12"/> c [mm] <input type="text" value="40"/> d [mm] <input type="text" value="204"/> s [mm] <input type="text" value="100"/>	α_e [-] <input type="text" value="6.55738"/> β [-] <input type="text" value="1"/>	Parametry průřezu s trhlami x [mm] <input type="text" value="47.8426"/> I_{ir} [mm ³] <input type="text" value="217377463"/> σ_s [MPa] <input type="text" value="188.425"/> σ'_s [MPa] <input type="text" value="-2.22338"/> σ'_c [MPa] <input type="text" value="-8.80361"/> F_s [N] <input type="text" value="213108"/> F'_s [N] <input type="text" value="-2514.65"/> F'_c [N] <input type="text" value="-210594"/> $h_{c,eff}$ [mm] <input type="text" value="67.3858"/> (b) $A_{c,eff}$ [mm ²] <input type="text" value="67385.8"/> $\rho_{p,eff}$ [-] <input type="text" value="0.016784"/> $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [‰] <input type="text" value="0.77017"/> (a) $s_{r,max}$ [mm] <input type="text" value="257.545"/> (a) w_k [mm] <input type="text" value="0.198352"/>
Rozměry průřezu b [mm] <input type="text" value="1000"/> h [mm] <input type="text" value="250"/>	Tlaková výztuž A'_s [mm ²] <input type="text" value="1131"/> d' [mm] <input type="text" value="46"/>	Parametry průřezu bez trhlin A_i [mm ²] <input type="text" value="264833"/> a_{gi} [mm] <input type="text" value="125"/> I_i [mm ³] <input type="text" value="1394654756"/> σ_s [MPa] <input type="text" value="14.8577"/> σ'_s [MPa] <input type="text" value="-14.8577"/> σ_c [MPa] <input type="text" value="3.58512"/> σ'_c [MPa] <input type="text" value="-3.58512"/>	
Parametry materiálů E_s [MPa] <input type="text" value="200000"/> E_{cm} [MPa] <input type="text" value="30500"/> $f_{ct,eff}$ [MPa] <input type="text" value="1,3"/>		Moment při vzniku trhlin M_{cr} [kNm] <input type="text" value="14.5044"/>	
Koeficienty k_t <input type="text" value="0.4"/> k_1 <input type="text" value="0.8"/>		Moment od zatížení M_{kd} [kNm] <input type="text" value="40"/>	
VÝPOČET		Trhliny vzniknou!	
Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 14.5$ kNm). Šířka trhlin $w_k = 0.1984$ mm.			

$$w_{kx} = 0,198 \text{ mm} < w_{klim} = 0,20 \text{ mm}$$

... Vyhovuje

Ohybový moment M_{kd} [kNm] <input type="text" value="26,75"/>	Tahová výztuž A_s [mm ²] <input type="text" value="1131"/> ϕ [mm] <input type="text" value="12"/> c [mm] <input type="text" value="52"/> d [mm] <input type="text" value="192"/> s [mm] <input type="text" value="100"/>	α_e [-] <input type="text" value="6.55738"/> β [-] <input type="text" value="1"/>	Parametry průřezu s trhlami x [mm] <input type="text" value="47.8426"/> I_{ir} [mm ³] <input type="text" value="191390420"/> σ_s [MPa] <input type="text" value="132.121"/> σ'_s [MPa] <input type="text" value="9.30925"/> σ'_c [MPa] <input type="text" value="-6.68681"/> F_s [N] <input type="text" value="149428"/> F'_s [N] <input type="text" value="10528.8"/> F'_c [N] <input type="text" value="-159957"/> $h_{c,eff}$ [mm] <input type="text" value="67.3858"/> (b) $A_{c,eff}$ [mm ²] <input type="text" value="67385.8"/> $\rho_{p,eff}$ [-] <input type="text" value="0.016784"/> $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ [‰] <input type="text" value="0.48864"/> (a) $s_{r,max}$ [mm] <input type="text" value="298.345"/> (a) w_k [mm] <input type="text" value="0.145784"/>
Rozměry průřezu b [mm] <input type="text" value="1000"/> h [mm] <input type="text" value="250"/>	Tlaková výztuž A'_s [mm ²] <input type="text" value="1131"/> d' [mm] <input type="text" value="58"/>	Parametry průřezu bez trhlin A_i [mm ²] <input type="text" value="264833"/> a_{gi} [mm] <input type="text" value="125"/> I_i [mm ³] <input type="text" value="1368667714"/> σ_s [MPa] <input type="text" value="8.58679"/> σ'_s [MPa] <input type="text" value="-8.58679"/> σ_c [MPa] <input type="text" value="2.44307"/> σ'_c [MPa] <input type="text" value="-2.44307"/>	
Parametry materiálů E_s [MPa] <input type="text" value="200000"/> E_{cm} [MPa] <input type="text" value="30500"/> $f_{ct,eff}$ [MPa] <input type="text" value="1,3"/>		Moment při vzniku trhlin M_{cr} [kNm] <input type="text" value="14.2341"/>	
Koeficienty k_t <input type="text" value="0.4"/> k_1 <input type="text" value="0.8"/>		Moment od zatížení M_{kd} [kNm] <input type="text" value="26.75"/>	
VÝPOČET		Trhliny vzniknou!	
Trhliny vzniknou ($M_{cr} = 14.2$ kNm). Šířka trhlin $w_k = 0.1458$ mm.			

$$w_{ky} = 0,15 \text{ mm} < w_{klim} = 0,20 \text{ mm}$$

... Vyhovuje



8.12.3 Posouzení MSÚ

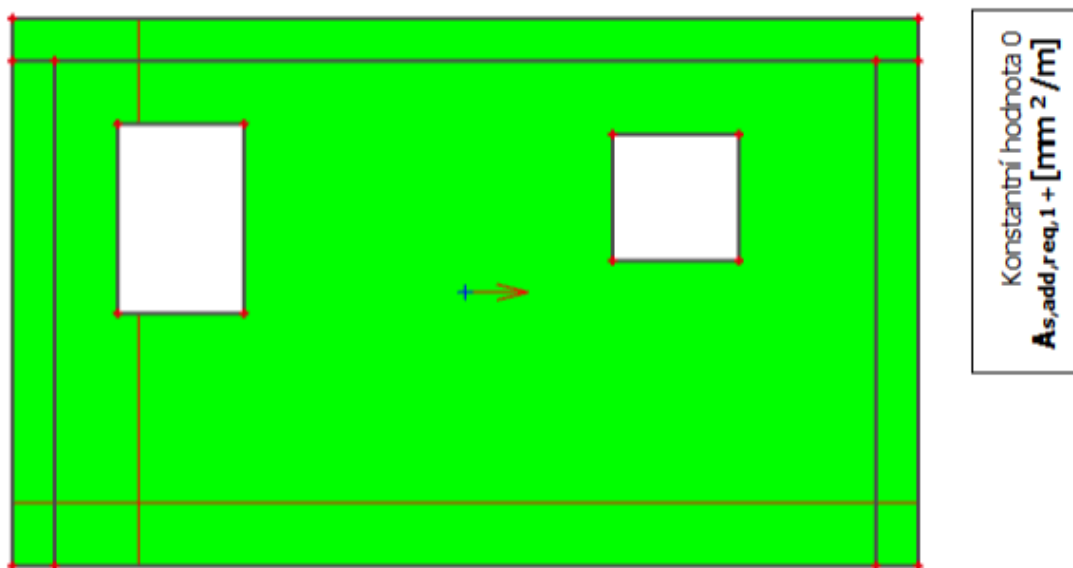
Výztuž vypočtena z MSP byla vložena do programu SCIA Engineer a konstrukce následně v modulu BETON posouzena na MSÚ.

Navržená výztuž:

Směr x při obou površích: Ø12/100

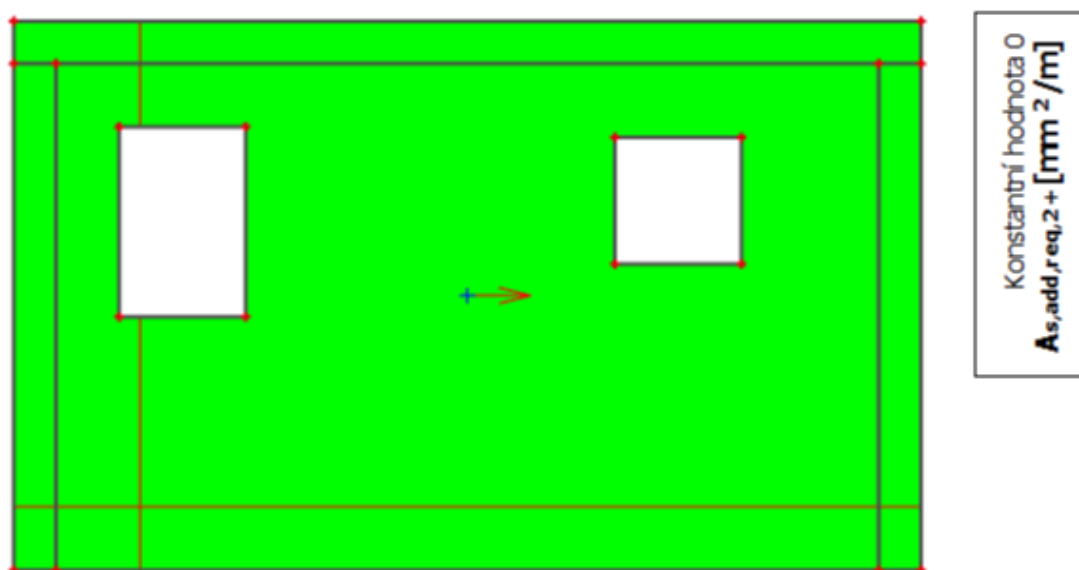
Směr y při obou površích: Ø12/100

Ověření potřebné přídatné plochy výztuže při horním povrchu, směr x



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

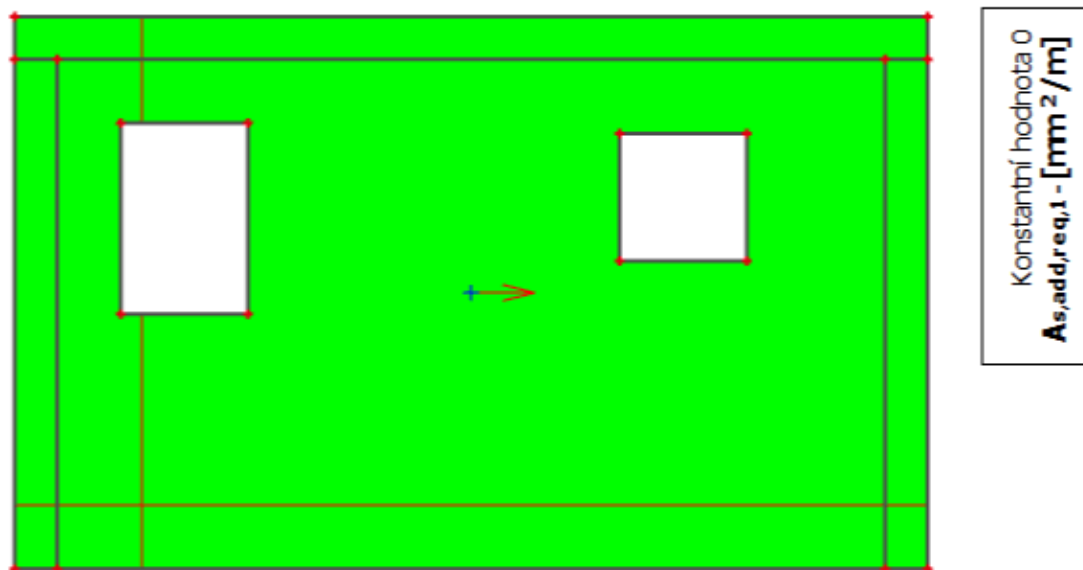
Ověření potřebné přídatné plochy výztuže při horním povrchu, směr y



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

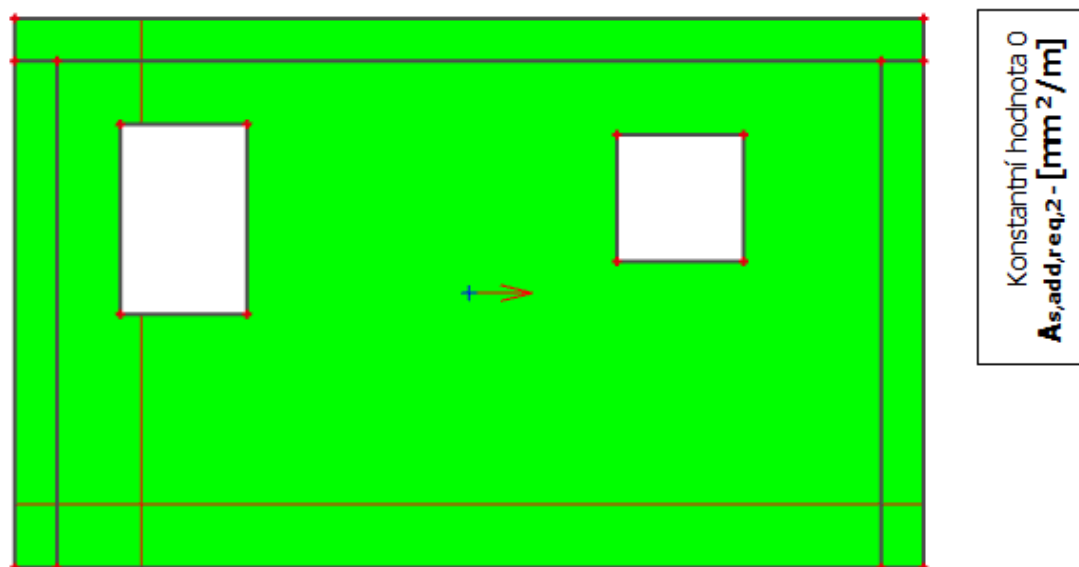


Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při spodním povrchu, směr x



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

Ověření potřebné přídavné plochy výztuže při spodním povrchu, směr y



Z hlediska MSÚ není nutné přidávat výztuž.

Výztuž navržená na účinky MSP vyhovuje i v MSÚ. Zesilování není nutné.

**8.12.4 Konstrukční zásady****Minimální plocha výztuže:**

$$\begin{aligned}a_{s,\min} &= \max \left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d; \frac{k_c \cdot k_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} \right) = \\&= \max \left(0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1000 \cdot 198; 0,0013 \cdot 1000 \cdot 198; \frac{0,4 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 2,5 \cdot 10^5}{200} \right) = \\&= \max (268; 258; 650) = 650 \text{ mm}^2 \\a_{s,\min} &= 650 \text{ mm}^2 < a_{s,\text{prov}} = 4524 \text{ mm}^2 \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže:

$$\begin{aligned}a_{s,\max} &= 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1000 \cdot 400 = 16000 \text{ mm}^2 \\a_{s,\max} &= 16000 \text{ mm}^2 > a_{s,\text{prov}} = 4524 \text{ mm}^2 \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže:

$$\begin{aligned}s_1 &= \max (20 \text{ mm}; 1,2 \cdot \varnothing_s; D_{\max} + 5 \text{ mm}) = \\&= \max (20 \text{ mm}; 1,2 \cdot 12; 16 + 5) = \max (20; 14,4; 21) = 21 \text{ mm} \\s_1 &= 21 \text{ mm} < s_y = 88 \text{ mm} \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

Maximální osová vzdálenost výztuže:

$$\begin{aligned}s &= \min (2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \min (2 \cdot 250; 250) = \min (500; 250) = 250 \text{ mm} \\s &= 250 \text{ mm} > s_y = 100 \text{ mm} \\&\dots \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

8.12.5 Návrh výztuže desky

Směr x při obou površích: Ø12/100

Směr y při obou površích: Ø12/100



9 Kotevní a přesahové délky

9.1 Kotevní délka

Základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\sigma_s}{4 \cdot f_{bd}}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

Součinitel zohledňující kvalitu soudržnosti – dobré podmínky: $\eta_1 = 1,0$

Součinitel zohledňující průměr prutu $\emptyset \leq 32$ mm: $\eta_2 = 1,0$

Návrhová pevnost betonu v tahu: $f_{ctd} = f_{ctk,0,05}/1,5 = 1,8/1,5 = 1,2$ MPa

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{12 \cdot 434,8}{4 \cdot 2,7} = 484 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1,0$$

Tažené pruty: $l_{b,min,tah} > \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm})$

$$l_{bd} \geq l_{b,min,tah}$$

Tlačené pruty: $l_{b,min,tlak} > \max(0,6 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm})$

$$l_{bd} \geq l_{b,min,tlak}$$

Výztuž	$l_{b,rqd}$ [mm]	$l_{b,min,tah}$ [mm]	$l_{b,min,tlak}$ [mm]	l_{bd} [mm]	Návrh [mm]
Ø12	484	145	290	484	500
Ø14	564	169	338	564	570
Ø16	644	193	389	644	650

**9.2 Přesahová délka****Návrhová délka přesahu**

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

$$\alpha_6 = 1,5$$

$$l_{0,min} > \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \varnothing; 200 \text{ mm})$$

$$l_0 \geq l_{0,min}$$

Výztuž	$l_{b,rqd}$ [mm]	l_0 [mm]	$l_{0,min}$ [mm]	Návrh [mm]
Ø12	484	726	218	730
Ø14	564	846	254	850
Ø16	644	966	290	970



Použitý software

MS Office 2016 - Word

SCIA Engineer 19.1

AutoCAD 2018

Výpočetní program pro návrh výztuže při předepsané šířce trhlin