

## Kazalo vsebine:

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>GEOMETRIJA .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>MATEMATIČNO MODELIRANJE.....</b>	<b>4</b>
3.1	LASTNOSTI MATERIALOV .....	4
3.2	OBTEŽBA KONSTRUKCIJE .....	5
3.2.1	LC1 – Lastna teža.....	5
3.2.2	LC2 – Stalni vplivi .....	5
3.2.3	LC3 – Mimi zemeljski pritiski.....	5
3.2.4	LC4 – Hidrostatični pritiski .....	5
3.2.5	LC5 – Krčenje .....	6
3.2.6	LC6 – Koristna obtežba črpalnega jaška .....	7
3.3	OBTEŽNE KOMBINACIJE .....	8
<b>4</b>	<b>REZULTATI ANALIZE .....</b>	<b>9</b>
4.1.1	Deformacije.....	9
4.1.2	Notranje sile.....	10
4.1.3	Potrebna armatura .....	15
4.1.4	Kontrola vzgona .....	17

## 1 UVOD

Vodnogospodarska ureditev Mestne Občine Ljubljana zajema hidrotehnične ureditve za povečanje poplavne varnosti na JZ delu Ljubljane. Projekt sestavljajo naslednje ureditve:

- Ureditev Malega grabna od Bokalskega jezua do izliva v Ljubljanico s povečanjem pretočnosti. Dolžina ureditve je 6000 m.
- Izvedba novega Razbremenilnika 6a na Barje z vtokom za odvod dela visokovodnega vala.
- Ureditve struge Šujice in Gradaščice ter preprečitev poplavnega toka na območju Kozarij zahodno od Zahodne obvoznice.

V okviru preprečitve poplavnega toka na območju Kozarij je predvidenih 6 črpališč za odtok zalednih (notranjih vod). Pri tem so 4 črpališča predvidena kot monolitna konstrukcija iz armiranega betona (AB), 2 črpališča v profilih K5 in K11 pa sta predvidena kot enostavna črpalna jaška, ki sta iz betonskih cevi  $\varnothing$  100 cm. Predvideni sta 2 velikosti monolitnih jaškov. Manjša jaška v profilih K34 in K42 sta zunanjih dimenzij 2,75 m / 2,00 m (prekata dimenzij 1,50 m / 1,00 m). Večja jaška sta predvidena v profilu K27 in v nasipu G.VVND.2 v prerezu N11. Zunanje dimenzije teh dveh jaškov so 3,75 m / 2,50 m (prekata dimenzij 2,00 m / 1,50 m).

Črpališča v profilih K34, K42, K27 in N11 so zasnovani kot AB objekti s po dvema prekatoma, ki sta med sabo povezana s protipovratno loputo premera vsaj 300 mm. Vrh zalednega (črpalnega) prekata je tik nad okoliškim terenom. Vanj so speljane drenaže in meteorni kanali, kjer pa je možno, pa tudi površinske vode. Sprednji prekat ima vrh sten na koti visokovodnih zidov oziroma nasipov. Iz tega prekata je v odvodnik skozi nasip ali zid speljan odtok  $\varnothing$  40 cm. Oba prekata se prekrije z montažno pohodno dvodelno rešetko, ki je vroče cinkana. V sprednjem prekatu se pripravi dodatna vodila za eventualno zaporo dotoka vode iz rečne struge v zaledje ob okvari proti-povratne lopute. Ob nizki gladini v Gradaščici ali Horjulki je na ta način omogočen težnostni odtok zalednih in drenažnih vod. Ob visoki vodi, t.j. ko bo gladina višja od zalednega terena, bo proti-povratna loputa zaustavila vtok poplavnih vod. V tem primeru bo potrebno prečrpavanje zalednih vod z mobilno protipoplavno črpalko z avtonomnim napajanjem (dieselski agregat). Dno črpališč je predvideno vsaj 1.50 do 1.80 m pod koto sedanjega terena in sicer tako, da je možen priklop drenaž in kanalov.

Vsi črpalni jaški so iz betona kvalitete C25/30, ki je armiran z rebrasto armaturo B 500 B. Zaščitni sloj armature mora biti minimalno 5,0 cm. Talna plošča je debeline od 0.30 do 0.50 m, stene pa so debeline 0.25 m. AB črpalni jašek je dilatiran glede na visokovodni (VV) zid, pozicioniran pa je vzporedno z njim.

**Pri preračunu vseh konstrukcij so bili uporabljeni naslednji računalniški programi:**

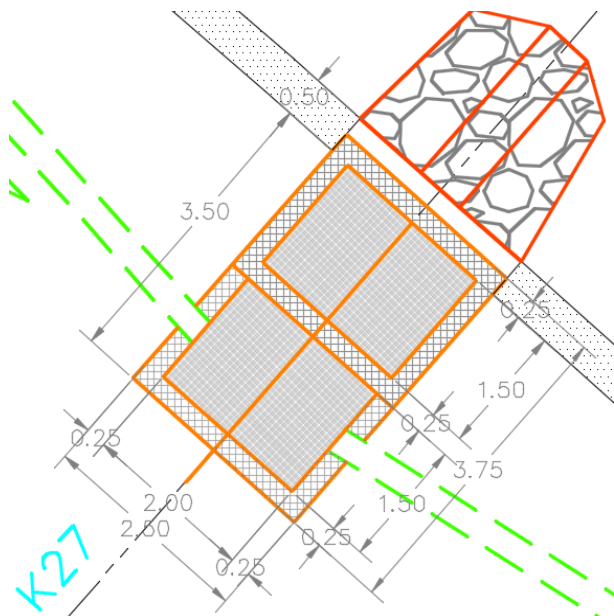
- statična analiza MKE na linijskih modelih: SCIA ENGINEER
- obdelava in prebiranje grafičnih podlog: AUTOCAD

**Uporabljeni standardi:**

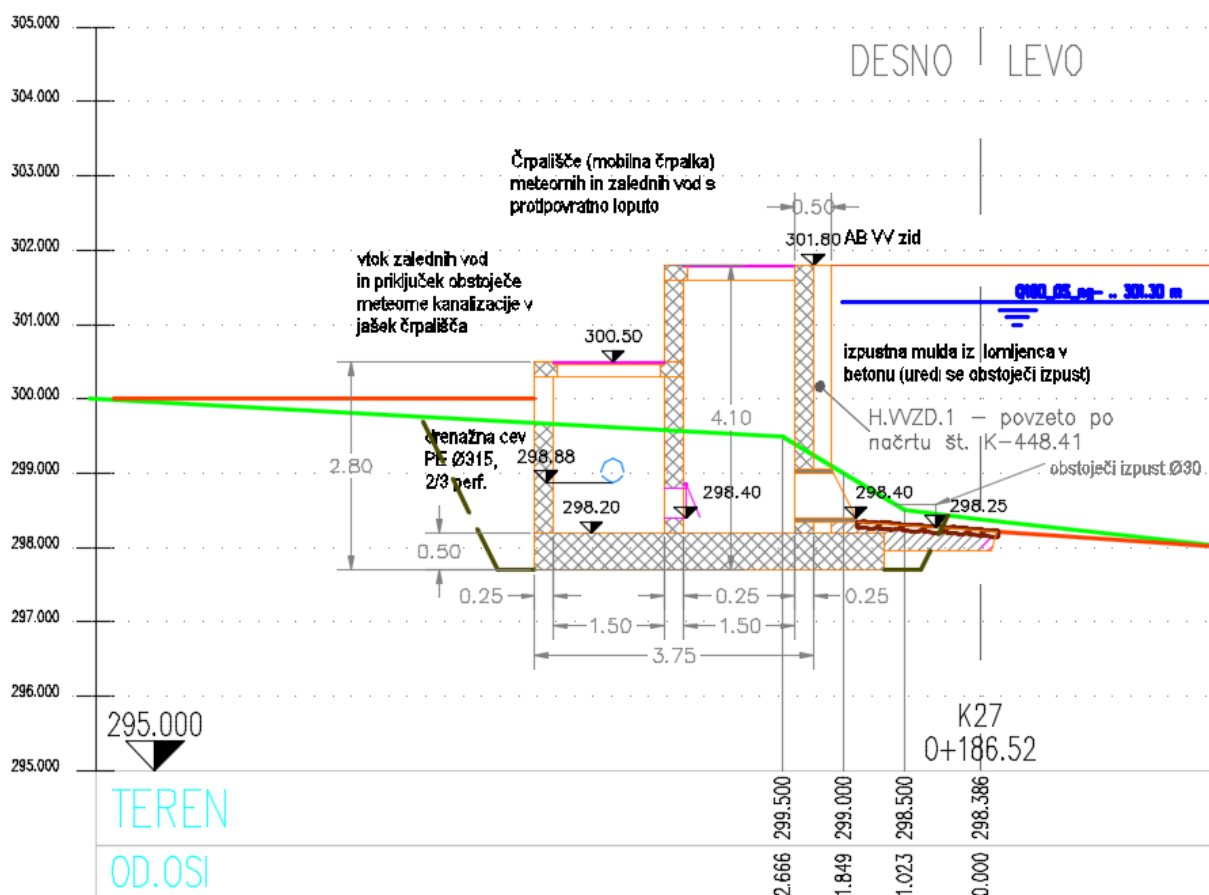
- uporabljeni so standardi, predpisi in pravilniki, ki so veljavni na ozemlju Republike Slovenije.

## 2 GEOMETRIJA

V nadaljevanju je predstavljena geometrija črpalnega AB jaška v prerezu K27. Ta jašek je izmed vseh največjih tlorisnih dimenzij in je tudi najvišji.



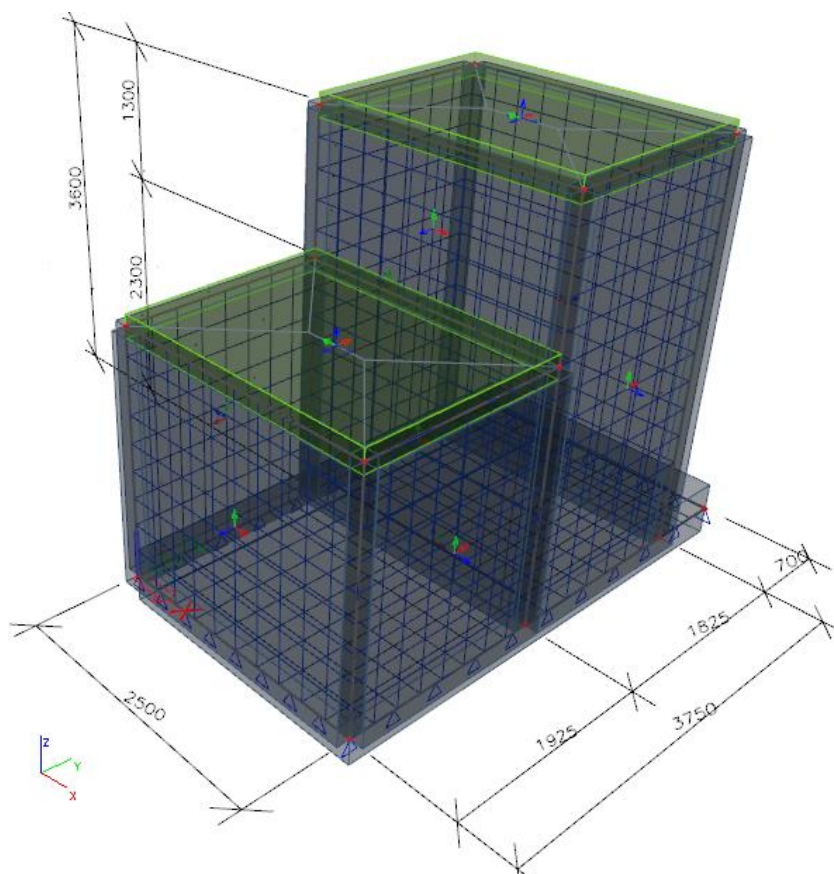
Slika 2-1: Tloris črpalnega AB jaška v prerezu K27.



Slika 2-2: Prečni prerez črpalnega AB jaška v prerezu K27.

### 3 MATEMATIČNO MODELIRANJE

Analiza črpalnega jaška je izvedena za najbolj kritičen črpalni jašek. V konkretnem primeru je to jašek največjih dimenzij, t.j. jašek v prerezu K27. Analiza tega jaška je izvedena s programom SCIA ENGINEER in zajema dimenzioniranje vseh AB elementov v mejnem stanju nosilnosti (MSN). Za računski model konstrukcij so uporabljeni 2D elementi. Za stene so uporabljeni elementi tipa »Wall«, za talno ploščo pa elementi tipa »Plate«. Vplivi stalne in spremenljive obtežbe ter vplivi zemeljskih pritiskov na konstrukcijo so modelirani s pomočjo 2D obtežnih panelov (»Load panel«). Ti ustrezno razporedijo 2D obtežbo na posamezen ploskovni element konstrukcije. Vplivi so modelirani skladno z analizo ploskovnih konstrukcij. Matematični model konstrukcije je prikazan na Sliki 2.3.



Slika 3-1: Matematični model črpalnega jaška v profilu K27.

#### 3.1 Lastnosti materialov

V analizi konstrukcije je bil upoštevan beton kvalitete C25/30 in rebrasta armaturno jeklo kvalitete B500B.

Name	Type	$\rho$ [kg/m³]	$E_{mod}$ [MPa]	$G_{mod}$ [MPa]	$\mu$	$f_{ck}$ [Mpa]
C 25/30	Concrete	2500	3150	1313	0.2	25,0

Name	Type	$\rho$ [kg/m³]	$E_{mod}$ [MPa]	$G_{mod}$ [MPa]	$\mu$	$F_y$ [MPa]	$F_u$ [MPa]
B 500 B	Reinforc. steel	7850,0	20 0000	8333	0.3	500,0	500,0

## 3.2 Obtežba konstrukcije

Vplivi na konstrukcijo so bili preračunani s programskim paketom SCIA ENGINEER. Vsi vplivi so tu modelirani v obliki obtežnih primerov, ki so prikazani v nadaljevanju:

Obtežni primer	Opis obtežbe
LC1	Lastna teža konstrukcije
LC2	Stalni vplivi – mrežne rešetke
LC3	Mirni zemeljski pritiski
LC4	Hidrostatični pritiski
LC5	Krčenje od zaključka gradnje do časa $t = \infty$
LC6	Koristna obtežba črpalnega jaška

### 3.2.1 LC1 – Lastna teža

Lastna teža armiranega betona je bila upoštevana pri vseh elementih, in sicer v velikosti  $25 \text{ kN/m}^3$ .

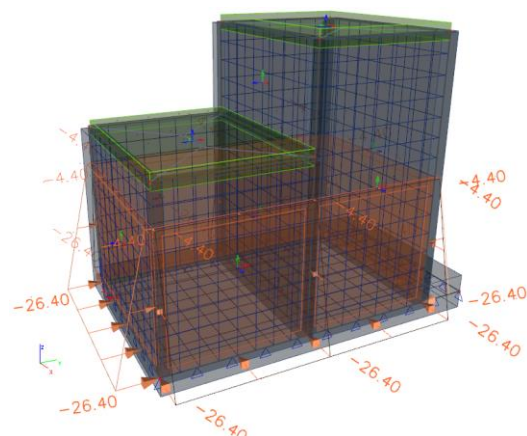
### 3.2.2 LC2 – Stalni vplivi

površinska obtežba	$A$	$m$
Pohodna mrežna rešetka »STABIL 33x33«	$3,0 \text{ m}^2$	$32,0 \text{ kg/m}^2$

### 3.2.3 LC3 – Mirni zemeljski pritiski

V analizi konstrukcije so bili upoštevani mirni zemeljski pritiski, ki delujejo na stene črpalnega jaška.

- Karakteristike zemljine:  $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ ,  $\varphi = 30^\circ$
- Količnik mirnih zemeljskih pritiskov:  $k_0 = 0,581$



### 3.2.4 LC4 – Hidrostatični pritiski

V analizi konstrukcije so bili upoštevani hidrostatični pritiski, ki delujejo na stene črpalnega jaška.

- Karakteristike vode:  $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$

### 3.2.5 LC5 – Krčenje

a) Krčenje AB sten debeline 25 cm.

Karakteristična trdnost betona:

$$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$$

Vrsta cementa:

cement := "N"

- počasi vezoči cementi "S"
- normalno vezoči cementi "N"
- hitro vezoči cementi "R"

Relativna vlažnost okolice:

$$RH := 80 \%$$

Starost betona ob začetku krčenja zaradi sušenja:

$$t_s := 5 \text{ dan}$$

Ploščina prečnega prereza betona:  
(na tekoči meter konstrukcije)

$$A_c := 1.00 \text{ m} \cdot 0.25 \text{ m}$$

Obseg prereza, ki je izpostavljen sušenju:  
(na tekoči meter konstrukcije)

$$u := 1.00 \text{ m} + 1.00 \text{ m}$$

Življenska doba objekta:

$$t_{max} := 100 \text{ leto}$$

**Izračunane količine:**

Nazivna velikost prečnega prereza:

$$h_0 := \frac{2 \cdot A_c}{u}$$

$$h_0 = 250 \text{ mm}$$

Srednja trdnost betona pri starosti 28 dni:

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa}$$

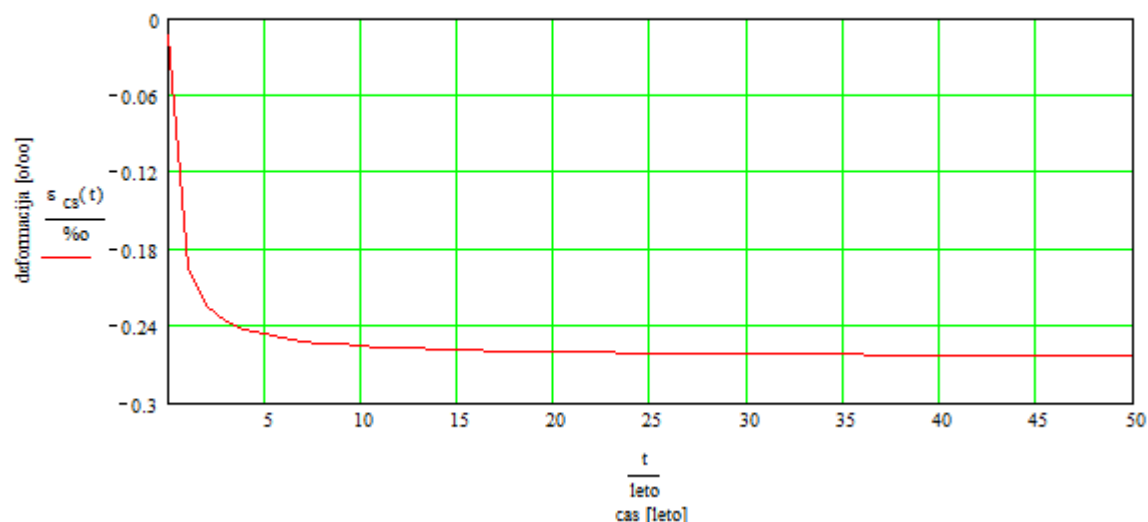
$$f_{cm} = 33 \text{ MPa}$$

**Potek krčenja:**

$$\varepsilon_{cd}(t_{max}) = -0.227 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{ca}(t_{max}) = -0.038 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cs}(t_{max}) = -0.265 \text{ ‰}$$



Krčenje AB sten črpalnega jaška je modelirano kot konstantna sprememba temperature v vrednosti

$$\Delta T = \varepsilon_{cs}(t_{max}) / \alpha_T = -26.5 \text{ °C}.$$

b) Krčenje AB talne plošče debeline 50 cm.

Karakteristična trdnost betona:  $f_{ck} := 25 \text{ MPa}$

Vrsta cementa: cement := "N"

- počasi vezoči cementi "S"
- normalno vezoči cementi "N"
- hitro vezoči cementi "R"

Relativna vlažnost okolice: RH := 80 %

Starost betona ob začetku krčenja zaradi sušenja:  $t_s := 5 \text{ dan}$

Ploščina prečnega prereza betona:  $A_c := 1.00 \text{ m} \cdot 0.50 \text{ m}$   
(na tekoči meter konstrukcije)

Obseg prereza, ki je izpostavljen sušenju:  $u := 1.00 \text{ m}$   
(na tekoči meter konstrukcije)

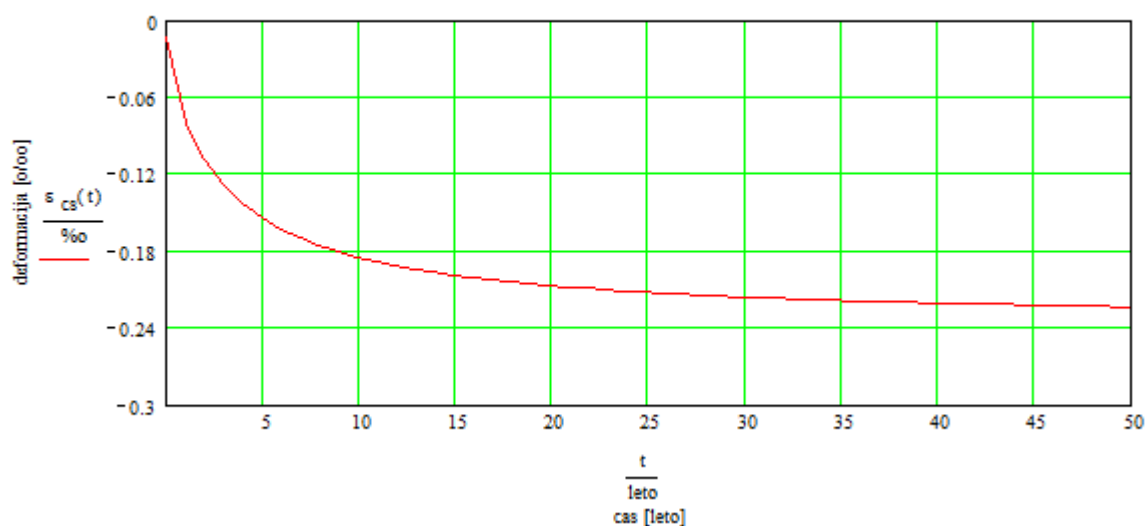
Življenska doba objekta:  $t_{max} := 100 \text{ leto}$

#### Izračunane količine:

Nazivna velikost prečnega prereza:  $h_0 := \frac{2 \cdot A_c}{u}$   $h_0 = 1000 \text{ mm}$

Srednja trdnost betona pri starosti 28 dni:  $f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa}$   $f_{cm} = 33 \text{ MPa}$

Potek krčenja:  $\varepsilon_{cd}(t_{max}) = -0.193 \text{ ‰}$   $\varepsilon_{ca}(t_{max}) = -0.038 \text{ ‰}$   $\varepsilon_{cs}(t_{max}) = -0.231 \text{ ‰}$



Krčenje AB talne plošče črpalnega jaška je modelirano kot konstantna sprememba temperature v vrednosti:  
 $\Delta T = \varepsilon_{cs}(t_{max}) / \alpha_T = -23.0 \text{ °C}$ .

### 3.2.6 LC6 – Koristna obtežba črpalnega jaška

Kategorija uporabe	teža [ kN/m <sup>2</sup> ]
Površine, na katerih lahko pride do gneče – SIST EN 1991-1-1: Kategorija C5 (5,00 – 7,50 kN/m <sup>2</sup> )	7,50

### 3.3 Obtežne kombinacije

Za kontrolo nosilnosti je bila v skladu s SIST EN 1990 in pripadajočimi nacionalnimi dodatki upoštevana obtežna kombinacija za mejno stanje nosilnosti (MSN):

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

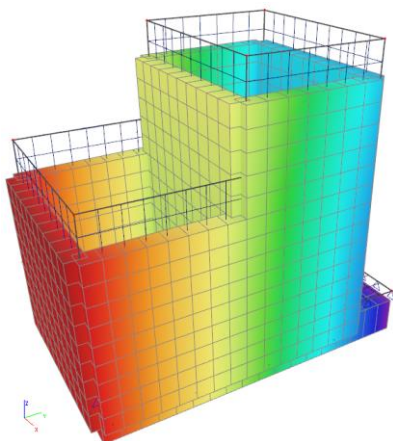


## 4 REZULTATI ANALIZE

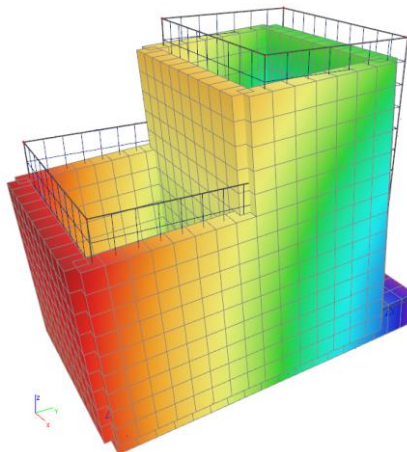
### 4.1.1 Deformacije

Prikazane so deformacije za posamezne obtežne primere. Merilo ni usklajeno.

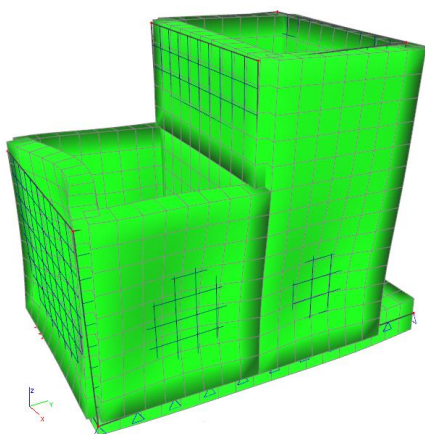
**LC1 – Lastna teža:**



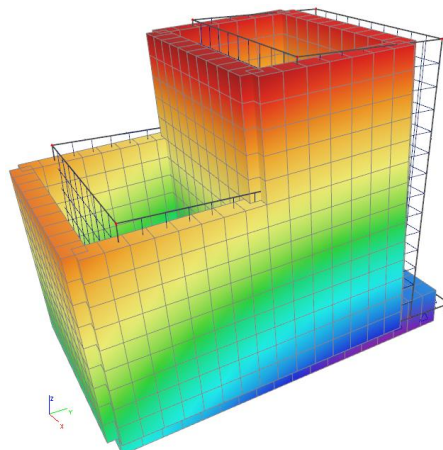
**LC2 – Stalna obtežba:**



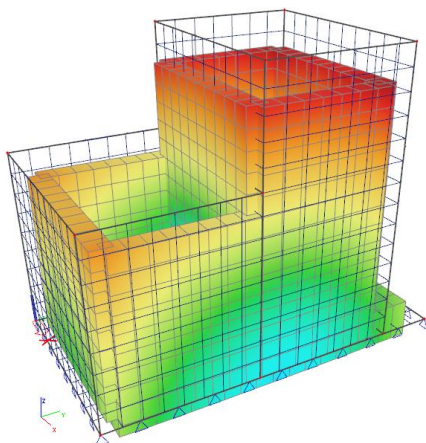
**LC3 – Mirni zemeljski pritiski:**



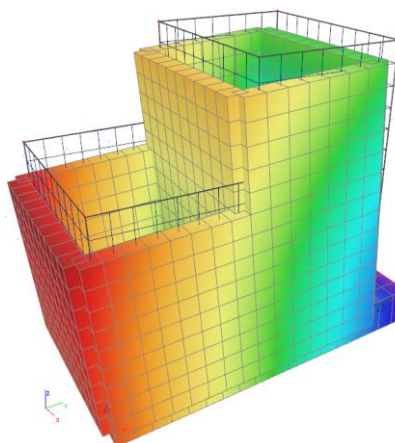
**LC4 – Hidrostatični pritiski:**



**LC5 – Krčenje:**



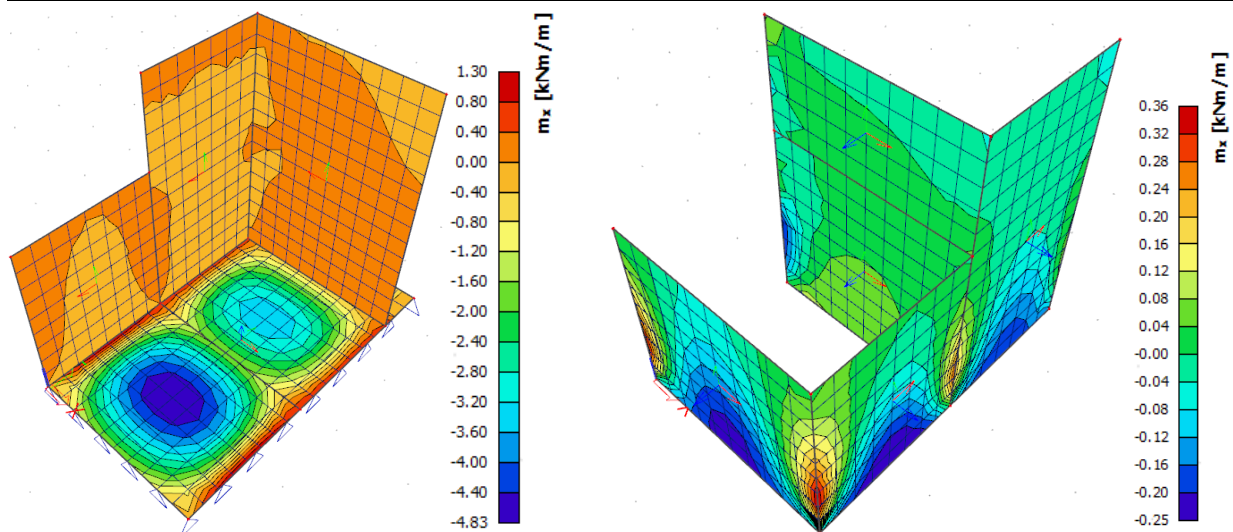
**LC6 – Koristna obtežba:**



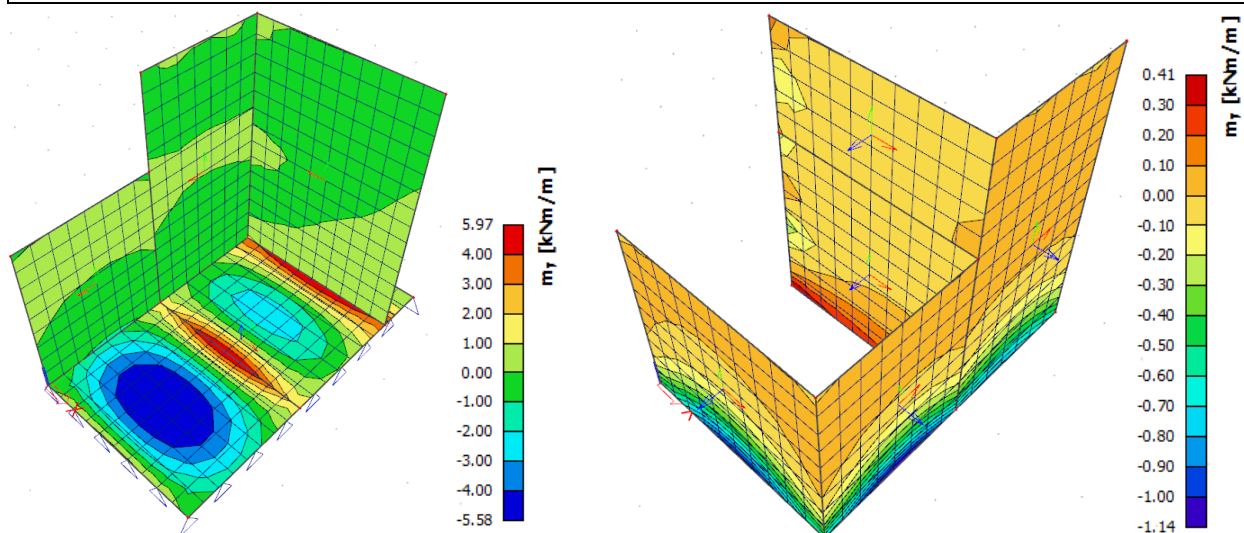
#### 4.1.2 Notranje sile

Prikazane so notranje sile  $m_x$  [kNm / m] in  $m_y$  [kNm / m] za posamezen obtežni primer, poleg tega pa še iste količine za ovojnico v mejnem stanju nosilnosti (MSN). Lokalna os X je za posamezen element označena z rdečo barvo, lokalna os Y pa z zeleno barvo.

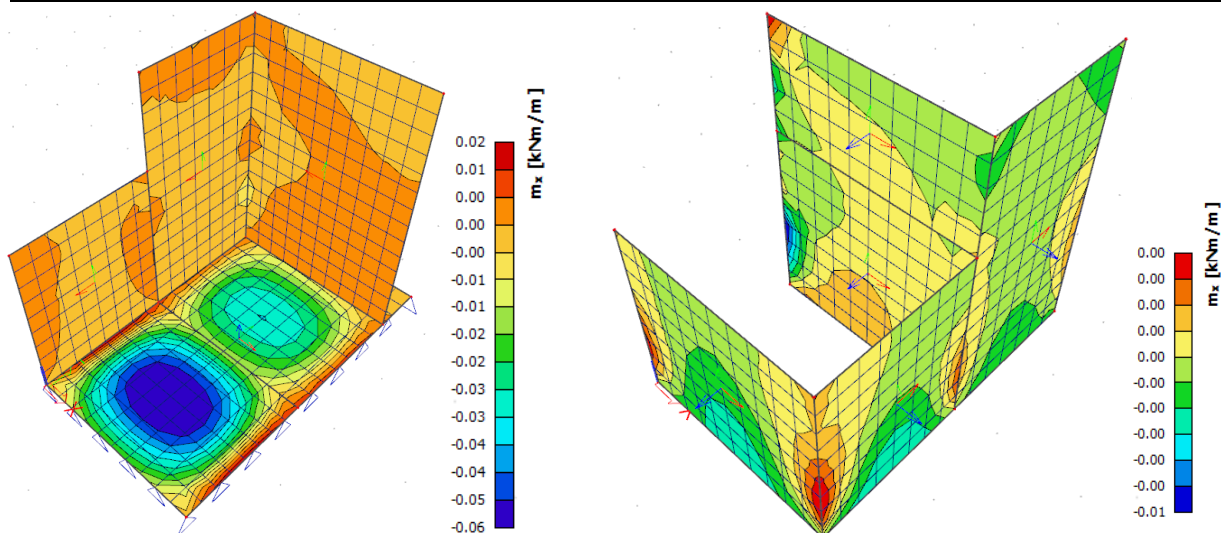
(a) LC1 – Lastna teža ( $m_x$ ):



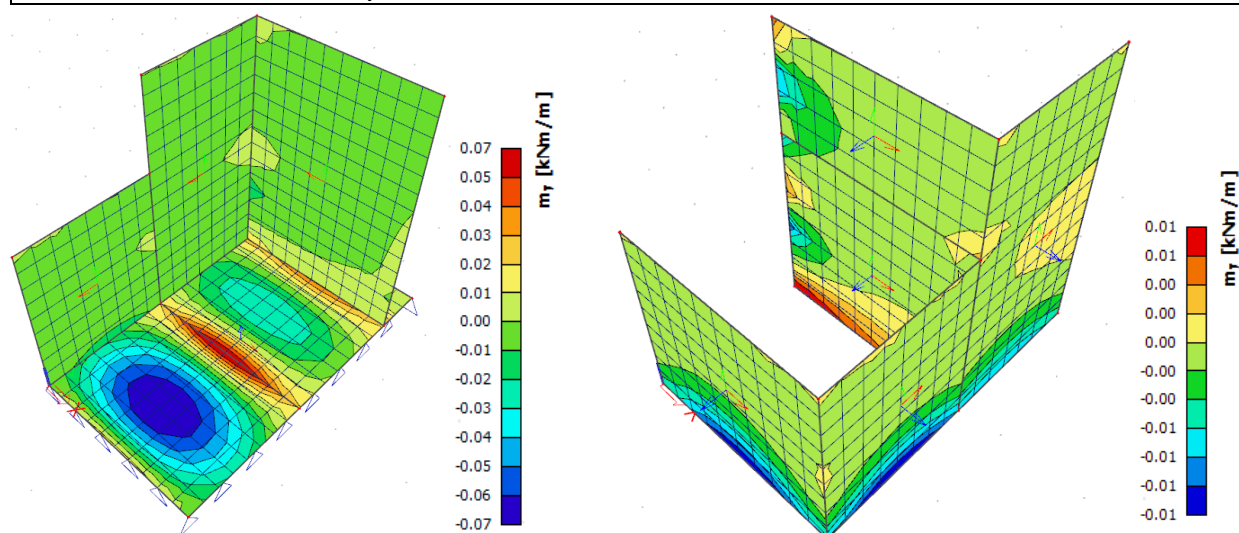
(b) LC1 – Lastna teža ( $m_y$ ):



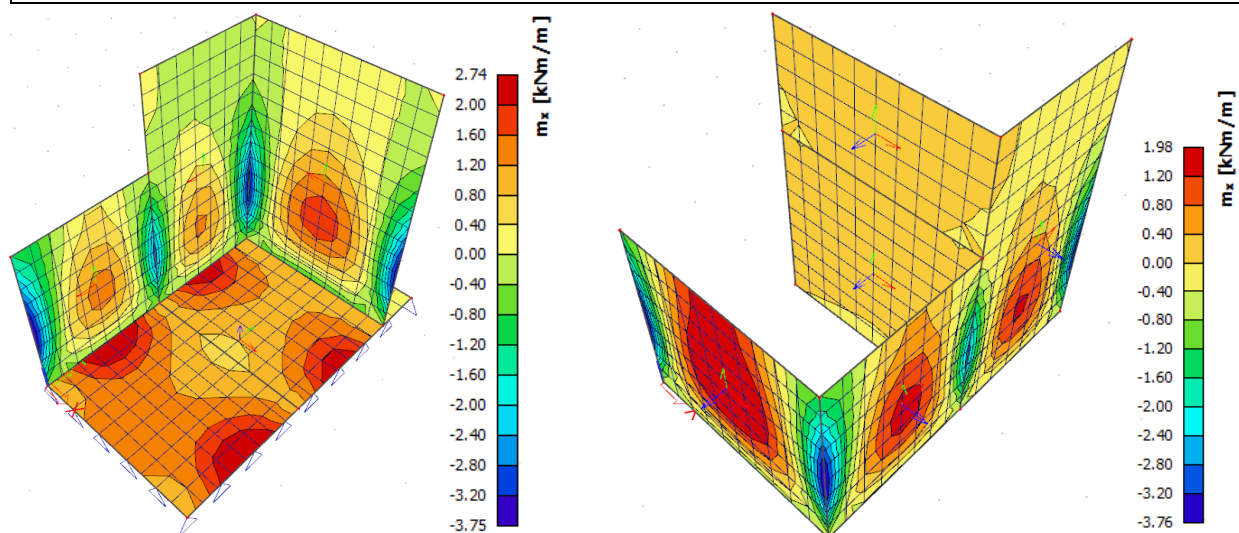
(a) LC2 – Stalna obtežba ( $m_x$ ):



(b) LC2 – Stalna obtežba ( $m_y$ ):

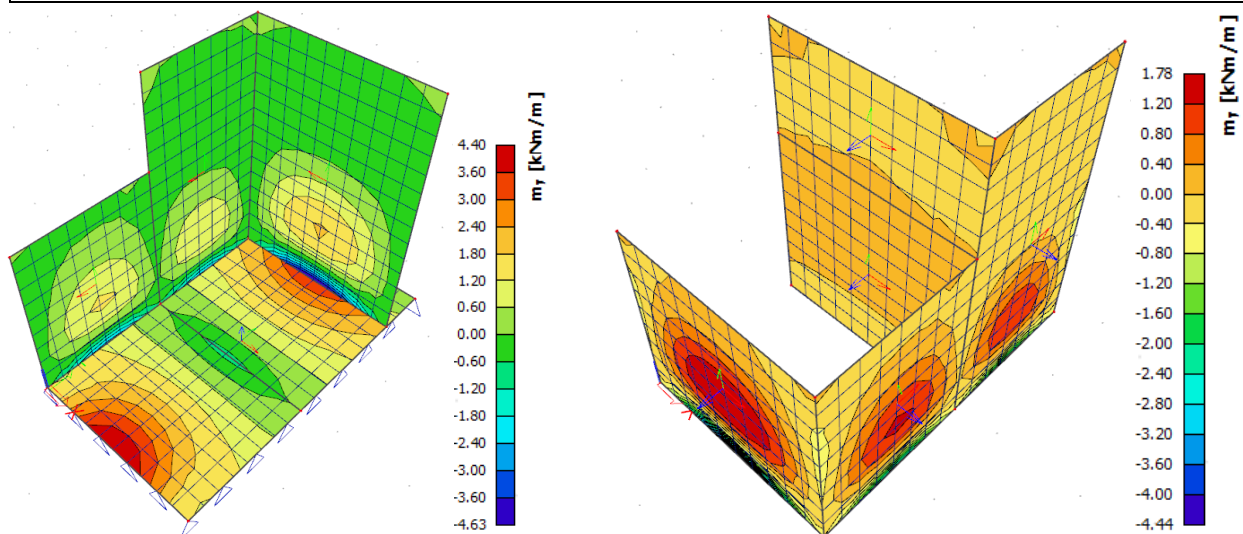


(a) LC3 – Mirni zemeljski pritiski ( $m_x$ ):

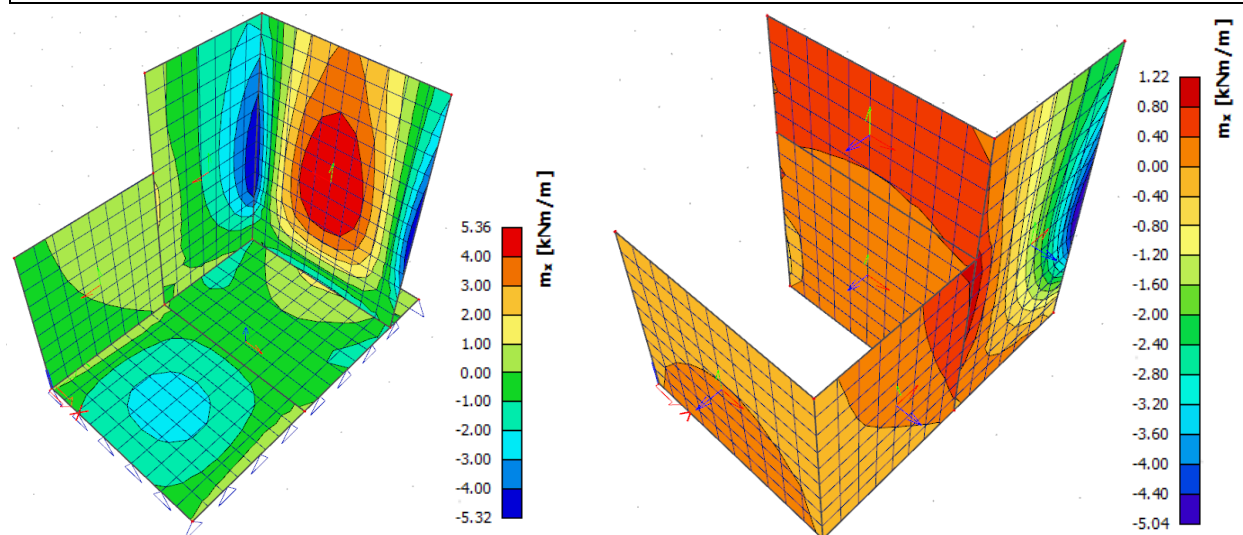




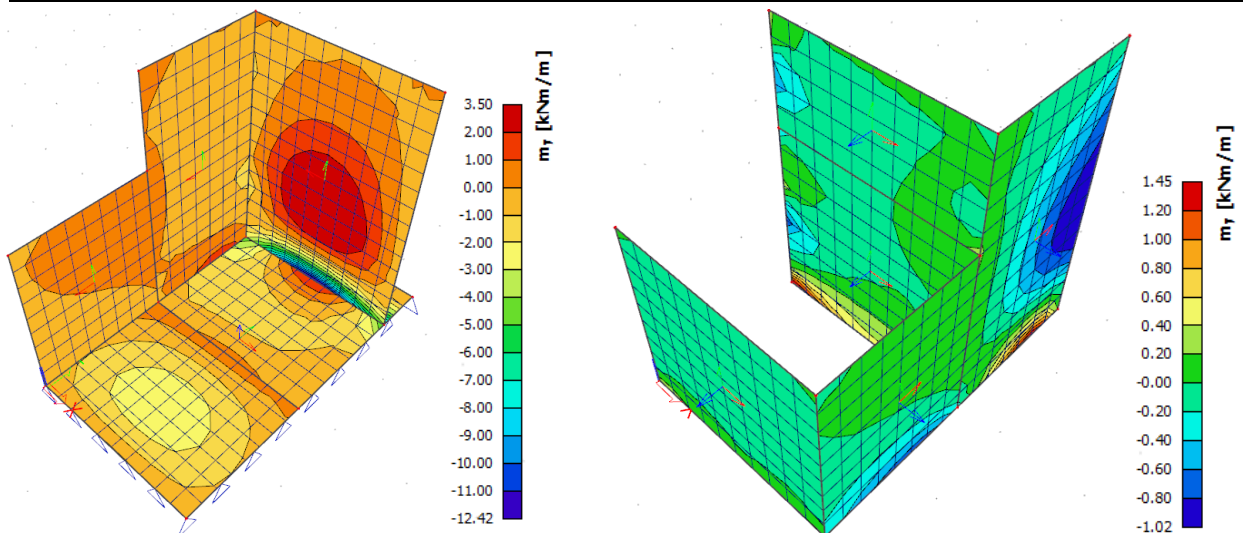
(b) LC3 – Mirni zemeljski pritiski ( $m_y$ ):



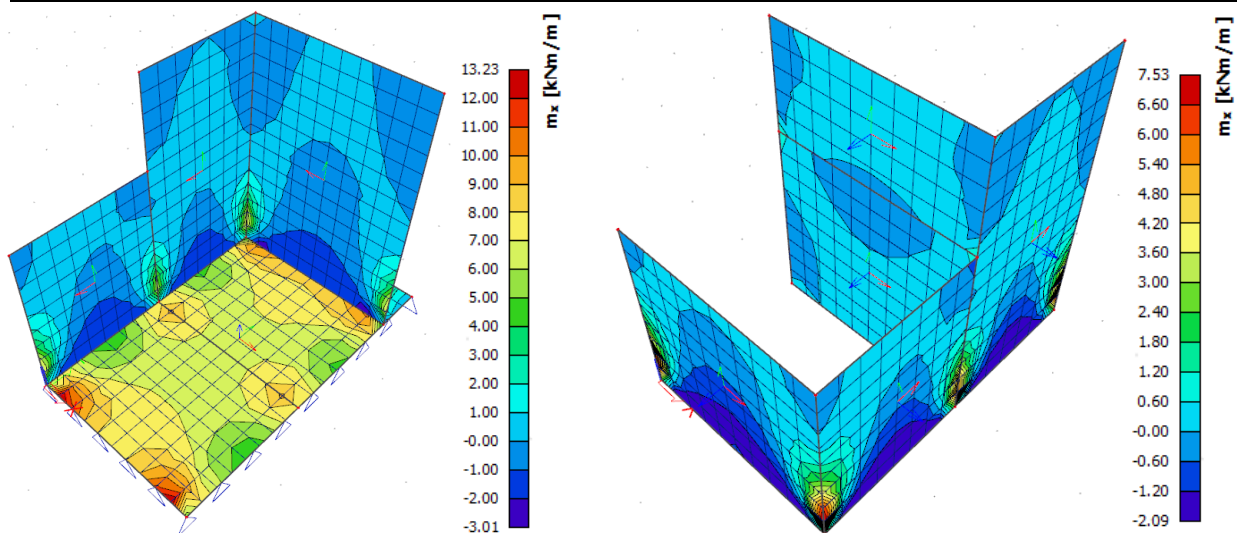
(a) LC4 – Hidrostatični pritiski ( $m_x$ ):



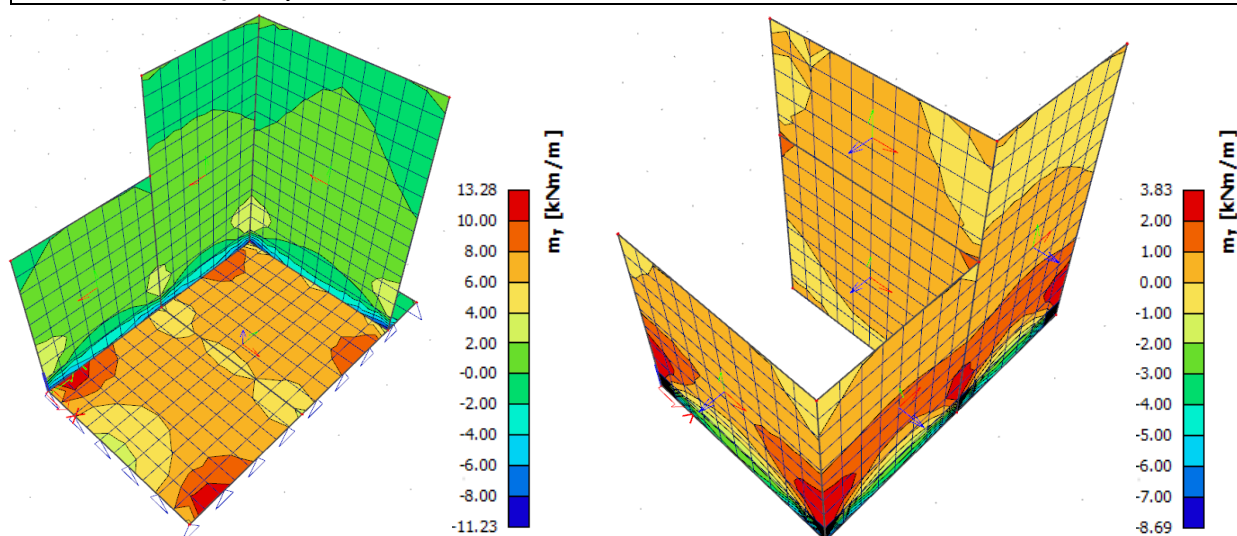
(b) LC4 – Hidrostatični pritiski ( $m_y$ ):



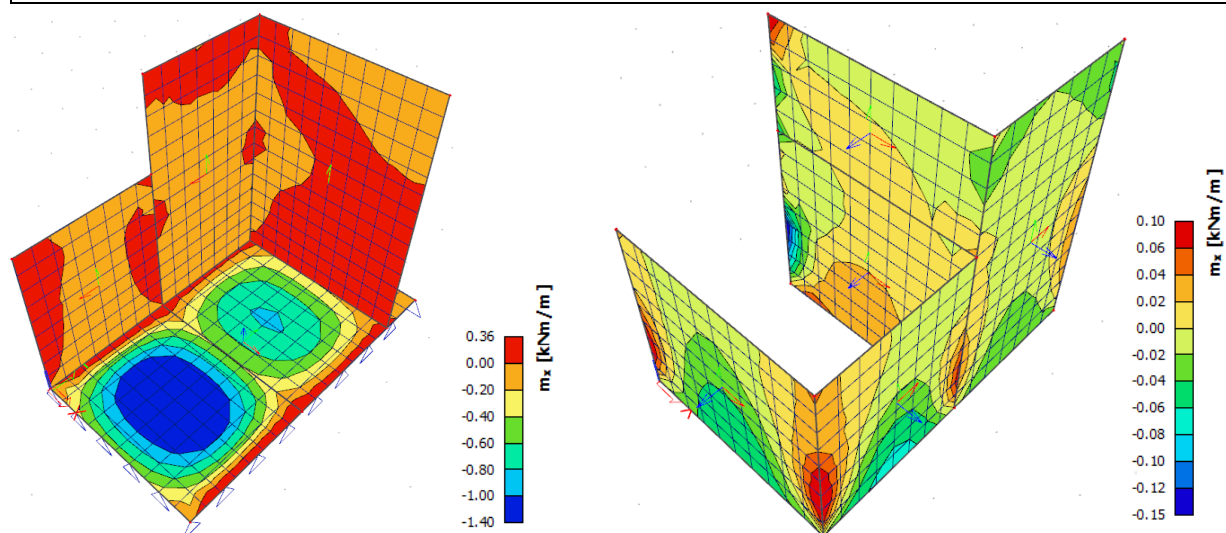
(a) LC5 – Krčenje ( $m_x$ ):



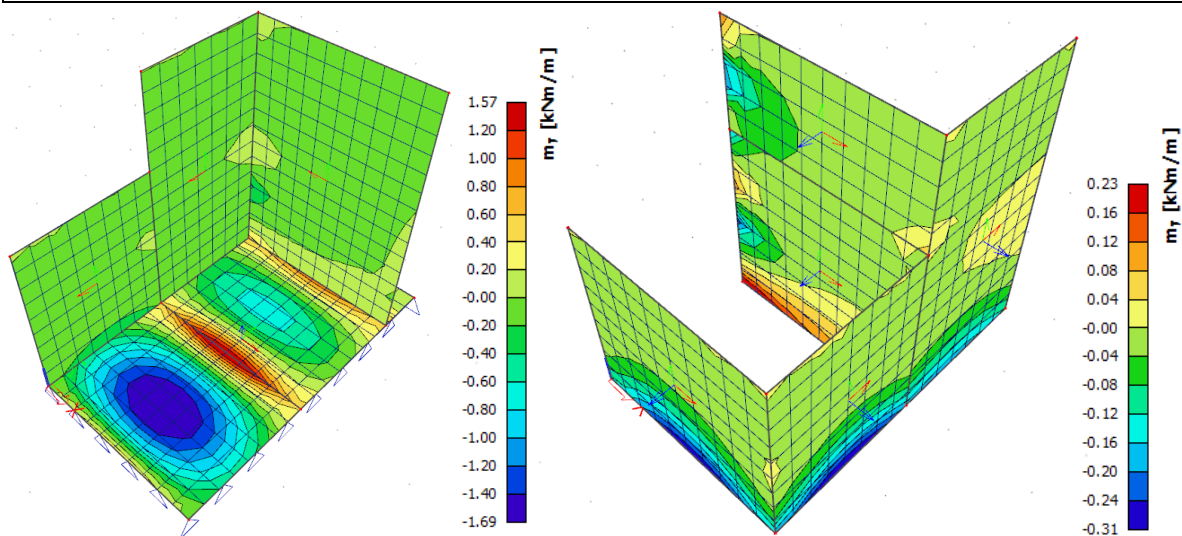
(b) LC5 – Krčenje ( $m_y$ ):



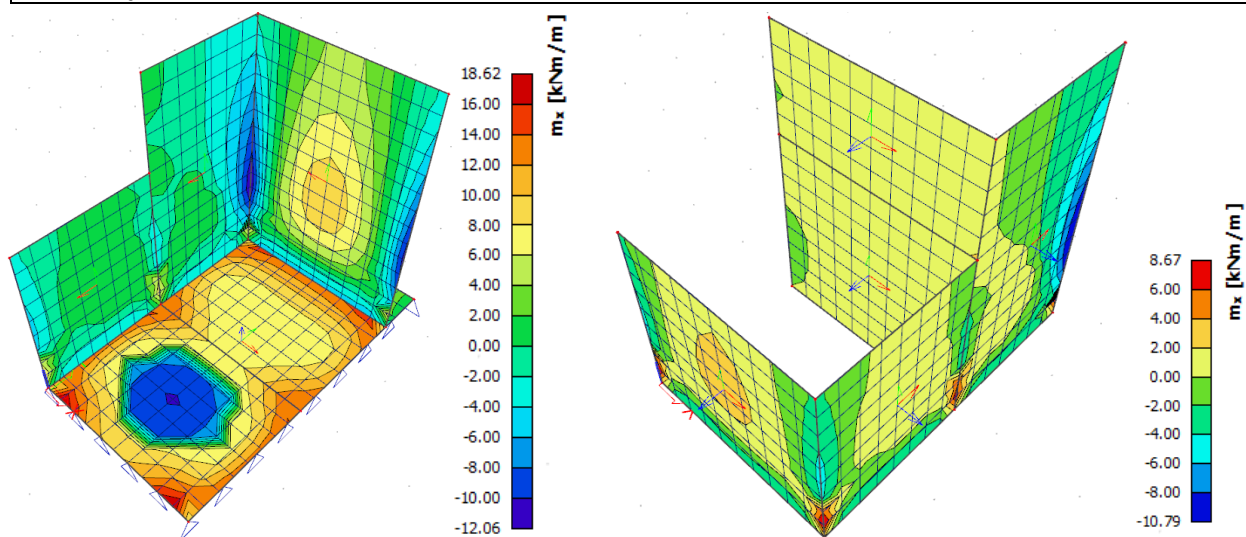
(a) LC6 – Koristna obtežba ( $m_x$ ):



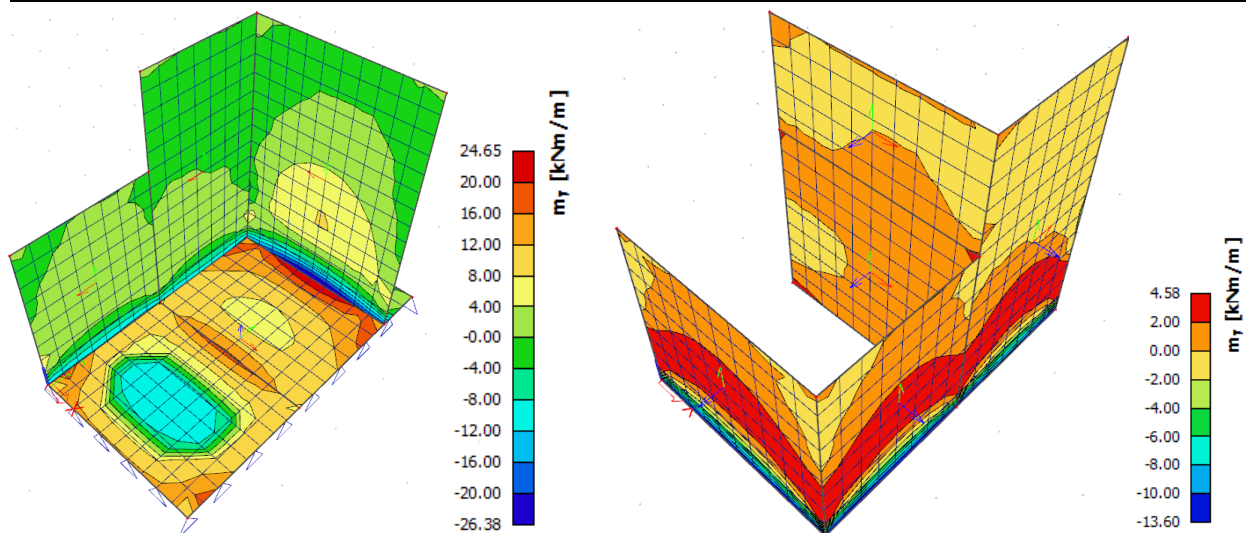
(b) LC6 – Koristna obtežba ( $m_y$ ):



(a) Ovojnica v MSN ( $m_x$ ):



(b) Ovojnica v MSN ( $m_y$ ):





### 4.1.3 Potrebna armatura

#### (a) AB TALNA PLOŠČA:

AB talna plošča črpalnega jaška je dimenzij  $A / B / H = 400 / 250 / 50$  cm. Za določitev vzdolžne armature sta definirani dve smeri plošče, pri čemer je vzdolžna smer plošče označena s smerjo 1, prečna smer plošče pa je označena s smerjo 2.

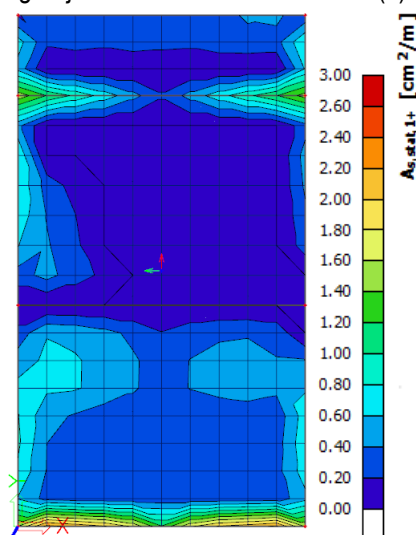
V skladu s poglavjem 9.3.1 v SIST EN 1992-1-1 je na zgornji in spodnji strani talne plošče v obeh smereh potrebno vgraditi minimalno potrebno (natezno) armaturo, ki je v konkretnem primeru enaka:

$$A_{s,min} = \max \{ 0,26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \cdot b_t \cdot d ; 0,0013 \cdot b_t \cdot d \} = 6,08 \text{ cm}^2/\text{m}.$$

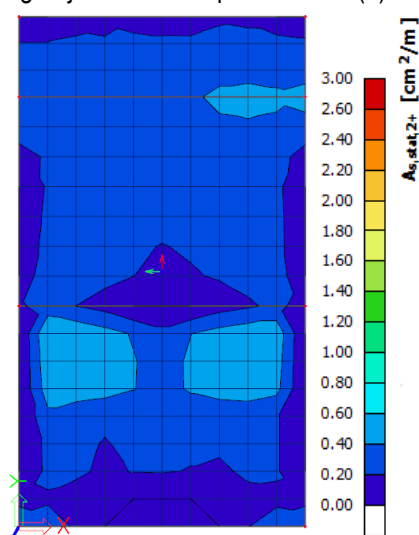
To ustreza armaturi Q636 oz. armaturi  $\Phi 9/100$  mm ( $A_s = 6,36 \text{ cm}^2/\text{m}$ ).

Računsko potrebna armatura, ki ustreza obremenitvam iz poglavja 4.1.2, je v konkretnem primeru enaka:

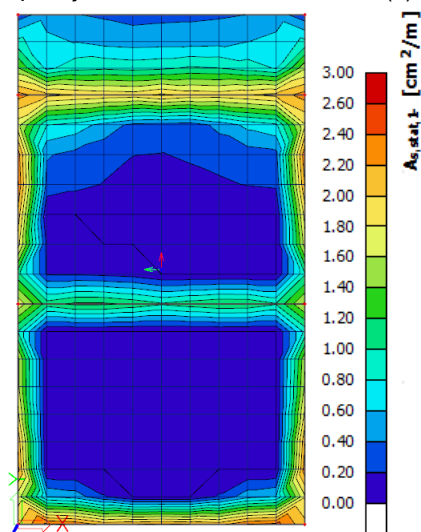
Zgornja armatura – vzdolžna smer (1)



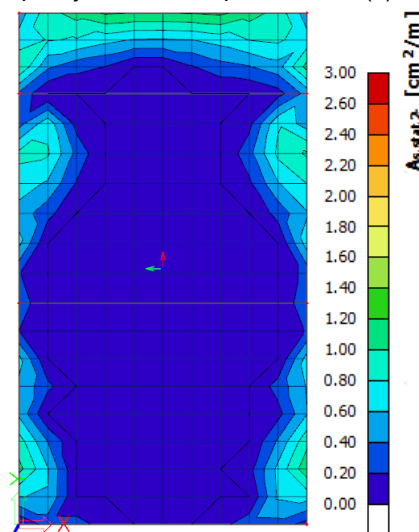
Zgornja armatura – prečna smer (2)



Spodnja armatura – vzdolžna smer (1)



Spodnja armatura – prečna smer (2)



Minimalno potrebna armatura je v konkretnem primeru večja kot računsko potrebna. Na podlagi teh rezultatov izberem armaturo:

- Spodnja armatura ; smer 1: armaturne mreže Q636
- Spodnja armatura ; smer 2: armaturne mreže Q636
- Zgornja armatura ; smer 1: armaturne mreže Q636
- Zgornja armatura ; smer 2: armaturne mreže Q636

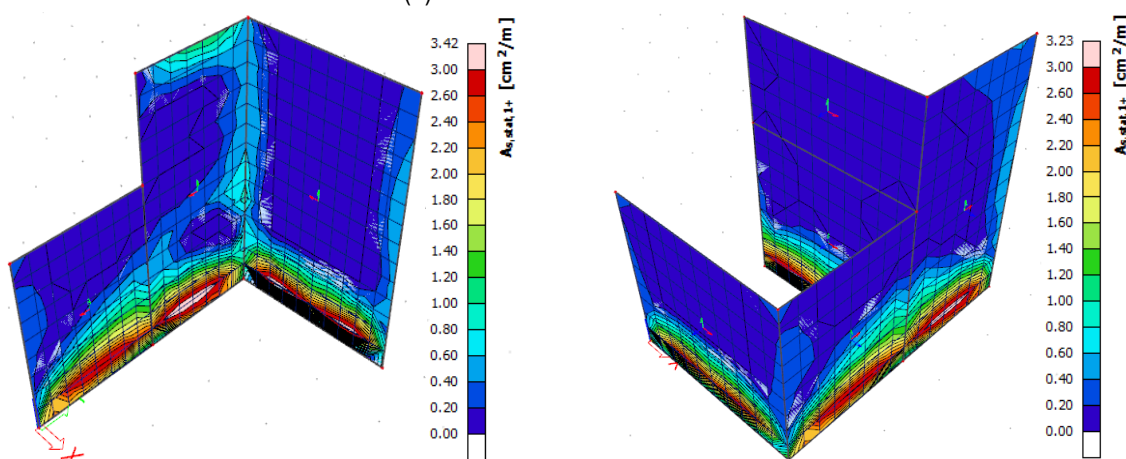
#### (b) AB STENE:

AB stene črpalnega jaška so debeline 25 cm. Za določitev vzdolžne armature sta definirani dve smeri plošče, pri čemer je vertikalna smer sten označena s smerjo 1, horizontalna smer sten pa je označena s smerjo 2. Pozitivna smer stene je zasuta stran stene, negativna smer pa je nezasuta stran stene.

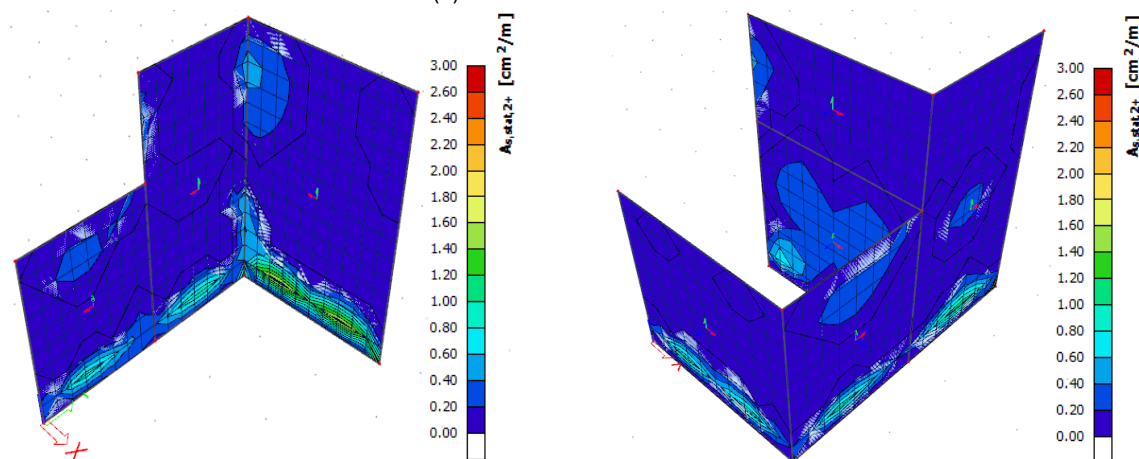
V skladu s poglavjem 9.6.2 v SIST EN 1992-1-1 je v vertikalni smeri sten minimalno potrebna (skupna) armatura enaka  $A_{s,min} = 0.003 \cdot A_c = 0.003 \cdot b \cdot h = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$ . To ustreza armaturi  $3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$  na zasuti in nezasuti strani stene oz. armaturi Q385 ( $A_s = 3,85 \text{ cm}^2/\text{m}$ ). V horizontalni smeri je minimalno potrebna (skupna) armatura enaka  $A_{s,min} = 0.002 \cdot A_c = 0.002 \cdot b \cdot h = 5,00 \text{ cm}^2/\text{m}$ , kar ustreza armaturi  $2,50 \text{ cm}^2/\text{m}$  zasuti in nezasuti strani stene.

Računsko potrebna armatura, ki ustreza obremenitvam iz poglavja 4.1.2, je v konkretnem primeru enaka:

Zasuta stran stene – vertikalna smer (1):

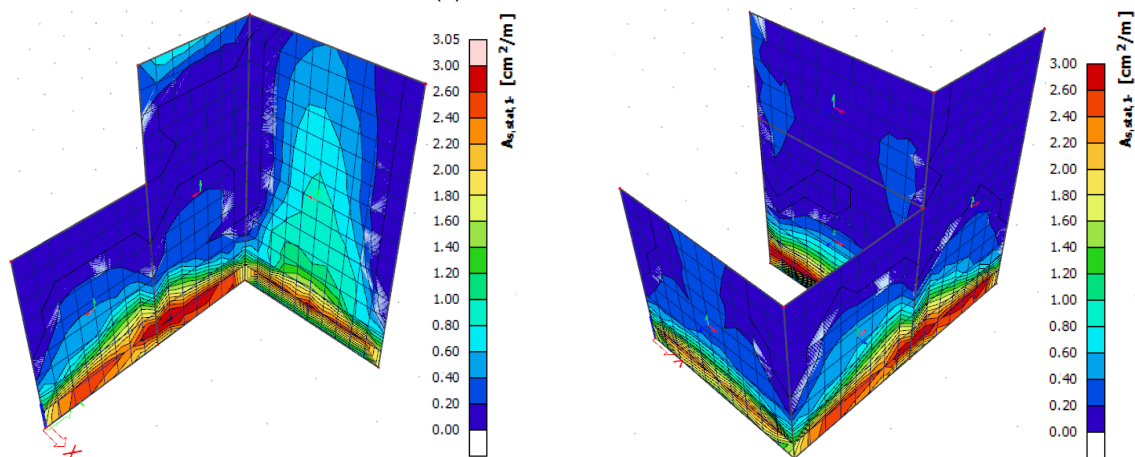


Zasuta stran stene – horizontalna smer (2):

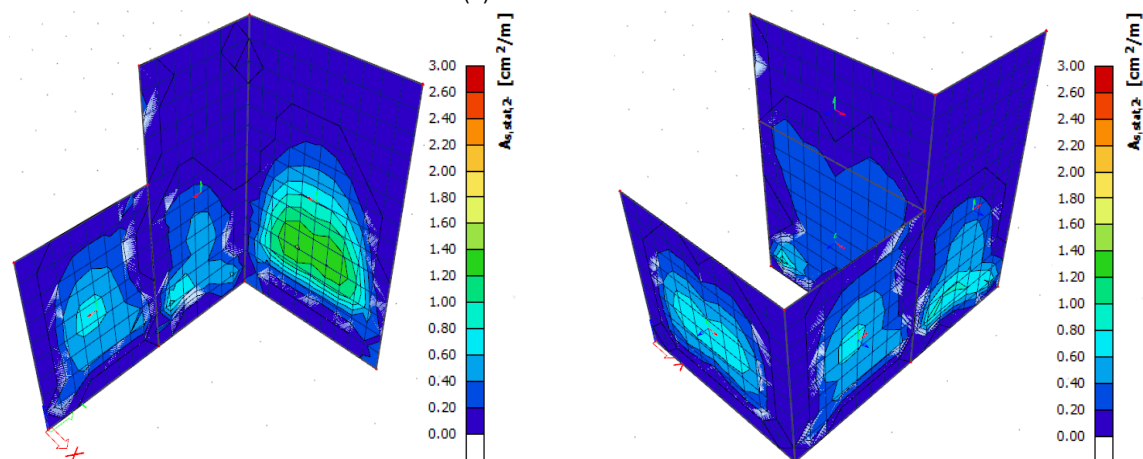




Nezasuta stran stene – vertikalna smer (1):



Nezasuta stran stene – horizontalna smer (2):



Minimalno potrebna armatura je v konkretnem primeru večja kot računska potrebna. Na podlagi teh rezultatov izberem armaturo:

- Zasuta stran ; smer 1: armaturne mreže Q385
- Zasuta stran ; smer 2: armaturne mreže Q385
- Nezasuta stran ; smer 1: armaturne mreže Q385
- Nezasuta stran ; smer 2: armaturne mreže Q385

#### 4.1.4 Kontrola vzgona

Preverjen je morebiten dvig črpalnega jaška zaradi vzgona talne vode.

Maksimalna sila vzgona je enaka:  $F_{vzg} = a \cdot b \cdot H \cdot \gamma_v = 3,75\text{m} \cdot 2,50\text{m} \cdot 2,30\text{m} \cdot 10\text{kN/m}^3 = 216\text{ kN}$

Teža črpalnega jaška je enaka:  $F_{jaška} = 398\text{ kN}$

Na podlagi zgornjih podatkov je vzgon obravnavanega črpalnega jaška onemogočen.