



## STATIČKI PRORAČUN NOVE CRKVE U NEUMU

Izv.prof. dr. sc. **Mladen Glibić**, dipl. ing. građ.  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru  
**Mato Raič**, magistar građevinarstva  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

**Sažetak:** Objekt se nalazi u Neumu, u IX MCS zoni, i 3. klimatskoj zoni. Dopuštena nosivost tla je 300 KN/m<sup>2</sup>. Teren na kojem se nalazi objekt je u nagibu, a samim time su temelji kaskadni. Objekt je takvog oblika da ima isturenih i izlomljenih dijelova, ali je u suštini pravokutnog oblika. Tlocrtne dimenzije objekta su 26.60 m x 17.10 m, ukupna visina objekta od nivoa temelja do vrha je 25.7 m. Svi krovovi su dvostrešni sa nagibom od 21°. Nosiva konstrukcija objekta je skelet armiranobetonski zidovi, grede, stupovi i ploče. Vertikalne terete koji su sukladni teretima za velika okupljanja ljudi i horizontalna (seizmičke) sile, preuzima cijela prostorna konstrukcija, odnosno njeni konstruktivni elementi ovisno o krutostima. Svi zidani zidovi u statičkom i dinamičkom smislu tretiraju se kao zidovi ispune.

**Ključne riječi:** Diplomski rad, crkva u Neumu, potres po EC8

## STRUCTURAL DESIGN OF THE NEW CHURCH IN NEUM

**Abstract:** The structure is located in Neum, in the MCS zone IX, and climate zone 3. The allowable bearing capacity of soil is 300 KN/m<sup>2</sup>. The ground on which the structure is located is on a slope, and thereby its foundations are terraced. The building has such a shape that it contains protruding and broken parts, but its shape is essentially rectangular. Ground-plan dimensions of the structure are 26.60 m x 17.10 m, and the total height of the structure from the level of foundation to the top is 25.7 m. All roofs are gabled with the gradient of 21°. The supporting structure of the building is a skeleton, reinforced-concrete walls, beams, columns and slabs. Vertical loads that are consistent with loads for large gatherings of people and horizontal (seismic) forces are taken over by the entire spatial structure, or its structural elements, depending on the stiffness. In static and dynamic terms, all masonry walls are treated as infill walls.

**Key words:** graduation thesis, church in Neum, earthquake according to EC8



## 1. UVOD

Objekt je, računski, razmatran kao prostorni model modeliran u računalnom programu "TOWER 3D BUILDER 6.0", iz kojeg su rezne sile poslužile za dimenzioniranje pojedinih elemenata. Urađena je i statička i dinamička analiza prostorne konstrukcije sukladno važećim zakonskim propisima za seizmičku zonu kojoj pripada Neum. Iz spomenutog programa u statičkom računu prikazane su vrijednosti potrebne armature (od anvelopnog – maksimalnog utjecaja) za temelje i stropne ploče, te grede, stupove i zidove. Stupovi preuzimaju potresne sile i srednjeg su razreda duktilnosti (duktilnost M), dimenzionirani su putem gore spomenutog programa, koji uzima u obzir izvijanje. Koeficijenti izvijanja su ručno računati i uneseni u spomenuti program s tim da je vođeno računa o minimalnom armiranju kojeg diktira važeći propis po izrazu:

$$A_{s,\min} = \left(\frac{0,3}{100}\right) * A_c$$

## 2. OPTEREĆENJE OBJEKTA

Od opterećenja na objekt uračunati su:

- a) stalni teret: Obuhvaća vlastitu težinu konstrukcije i slojeve poda te zidane zidove.
- b) korisni teret: Pokretno opterećenje uzeto sukladno standardu koji je na snazi HRN ENV 1992-2-1 EUROKOD 2. za snijeg HRN ENV 1991-2-3 EUROKOD 2.
- c) horizontalno opterećenje: Imajući u vidu masu objekta očividno je da je kritičnije opterećenje za objekt seizmičko opterećenje. Nakon što je uz pomoć spomenutog softvera urađena modalna analiza, odnosno proračunati periodi i frekvencije osciliranja urađena je i pojednostavljena modalna spektralna analiza.
- d) kombinacije opterećenja: Od kombinacija opterećenja korištene su sve moguće kombinacije opterećenja koje mogu nastupiti na objektu. Programski paket Tower 6.0 uzima u obzir kompletnu shemu opterećenja pri dimenzioniranju armiranobetonskih stupova i zidova, a koja uzima u obzir za konstrukciju najnepovoljniju kombinaciju opterećenja.

### 2.1. Uporabljeno gradivo

- beton:C 25/30 (temelji, zidovi, grede, ploče i stupovi)
- armatura :B500B linijski i površinski elementi

## 2.2. Korišteni propisi

Proračun je izvršen prema propisima:

- EUROCODE 2,
- EUROCODE 8: PROJEKTIRANJE SEIZMIČKI OTPORNIH KONSTRUKCIJA.

## 2.3. Kontrola kvaliteta

### *Beton*

U procesu kontrole kvaliteta betona obuhvatiti:

- kontrolu proizvodne sposobnosti tvornice betona,
- kontrolu komponenata betona,
- kontrolu svježeg betona,
- kontrolu očvrnutog betona i ocjenu postignute marke betona,
- kontrolu ugradnje i njegovanja betona.

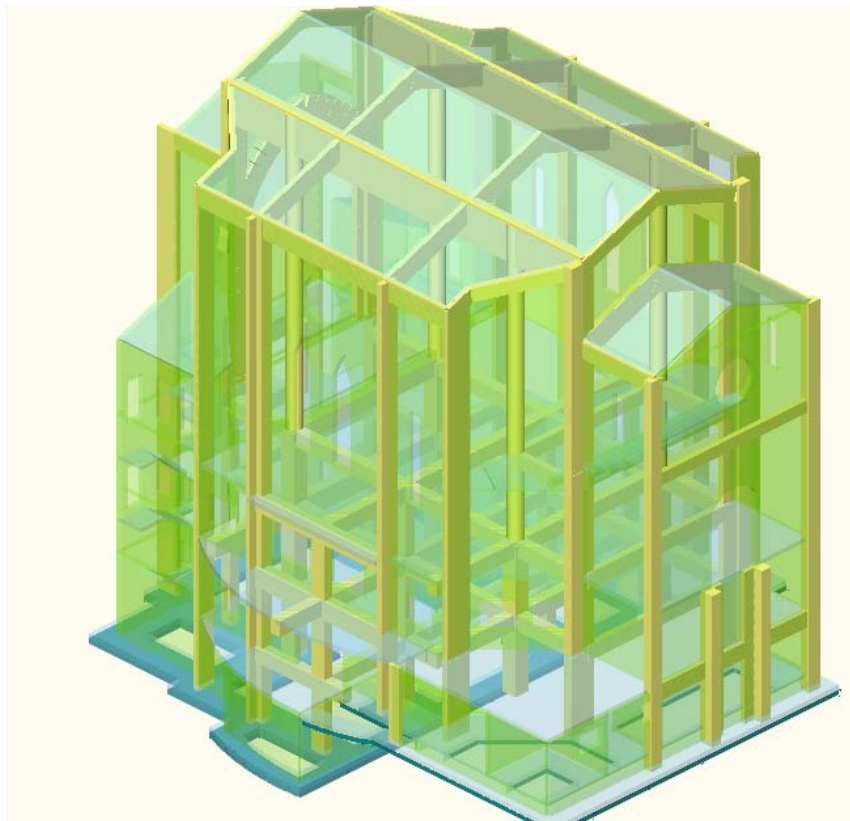
Gore spomenute faze kontrole kvaliteta betona provesti sukladno Pravilniku EUROCODE 2 i važećim standardima.

### *Armatura*

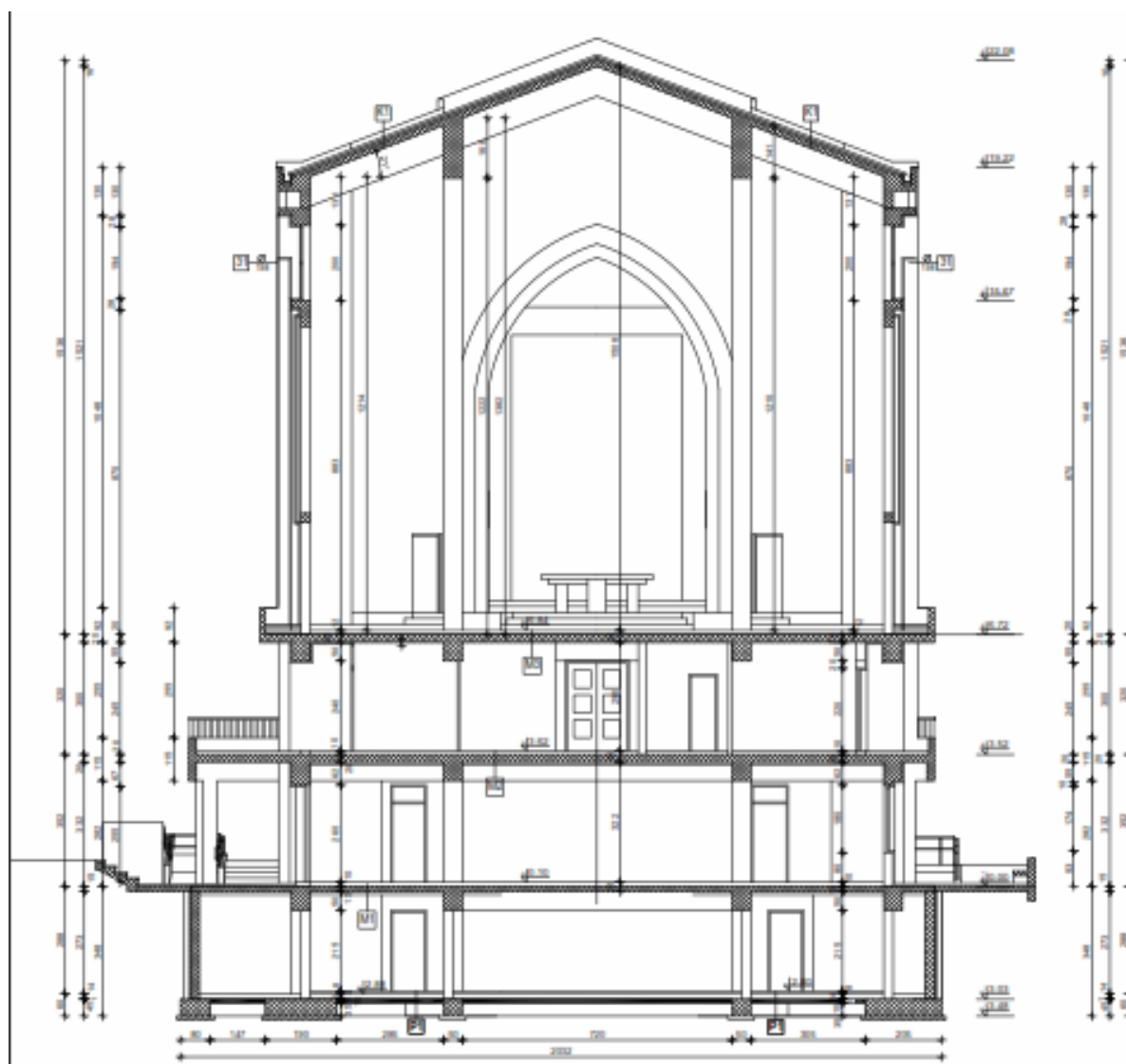
U procesu kontrole kvaliteta armature koja se ugrađuje obuhvatiti:

- kontrolu šipkaste armature (laboratorijsko ispitivanje čvrstoće na kidalici)
- kontrolu mrežaste armature.

Pri kontroli kvaliteta armature u svemu postupiti po Pravilniku EUROCODE 2 i važećim standardima.

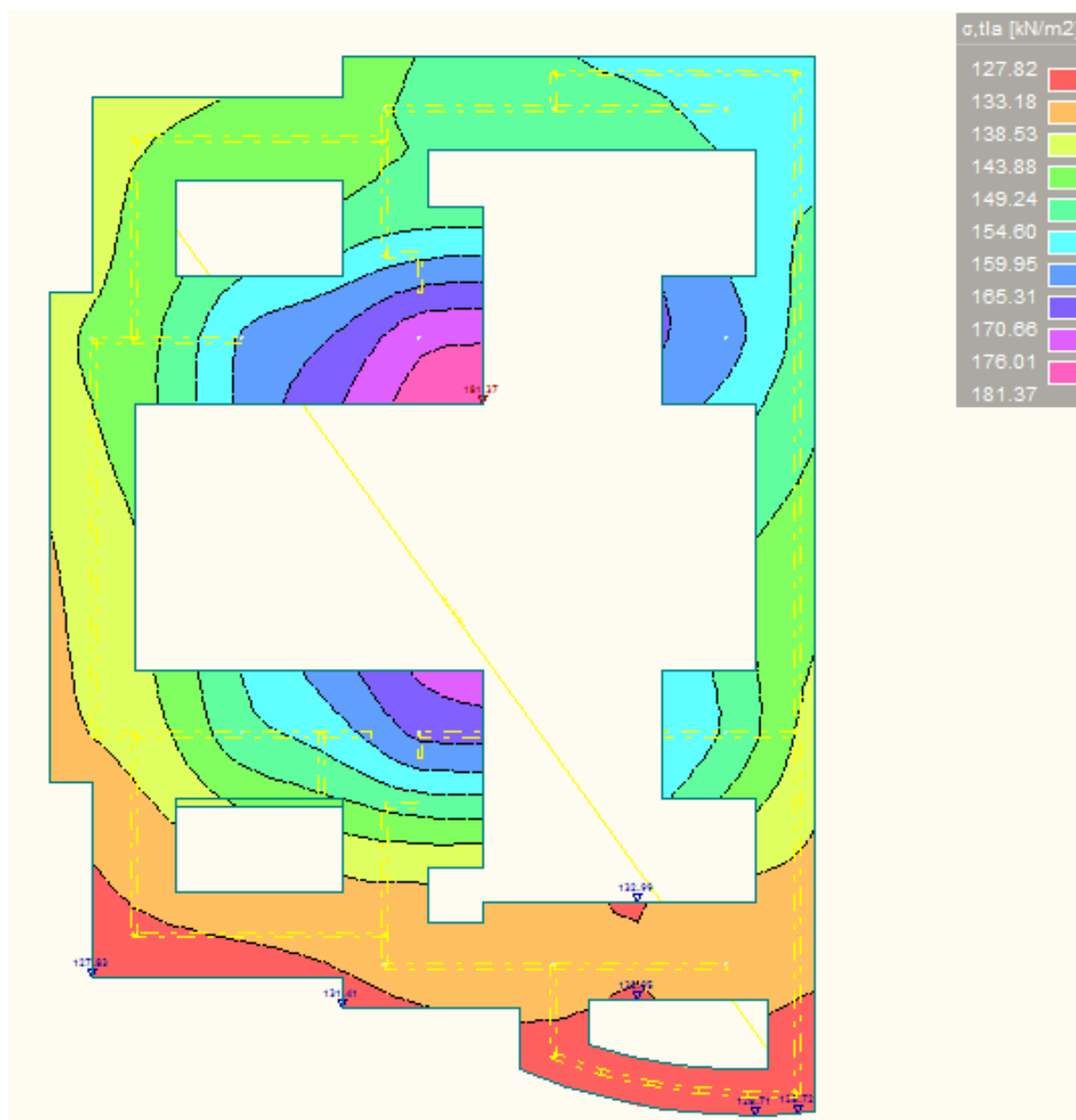


Slika 1. Izgled crkve 3D izvedeno iz programskog paketa Tower 3D

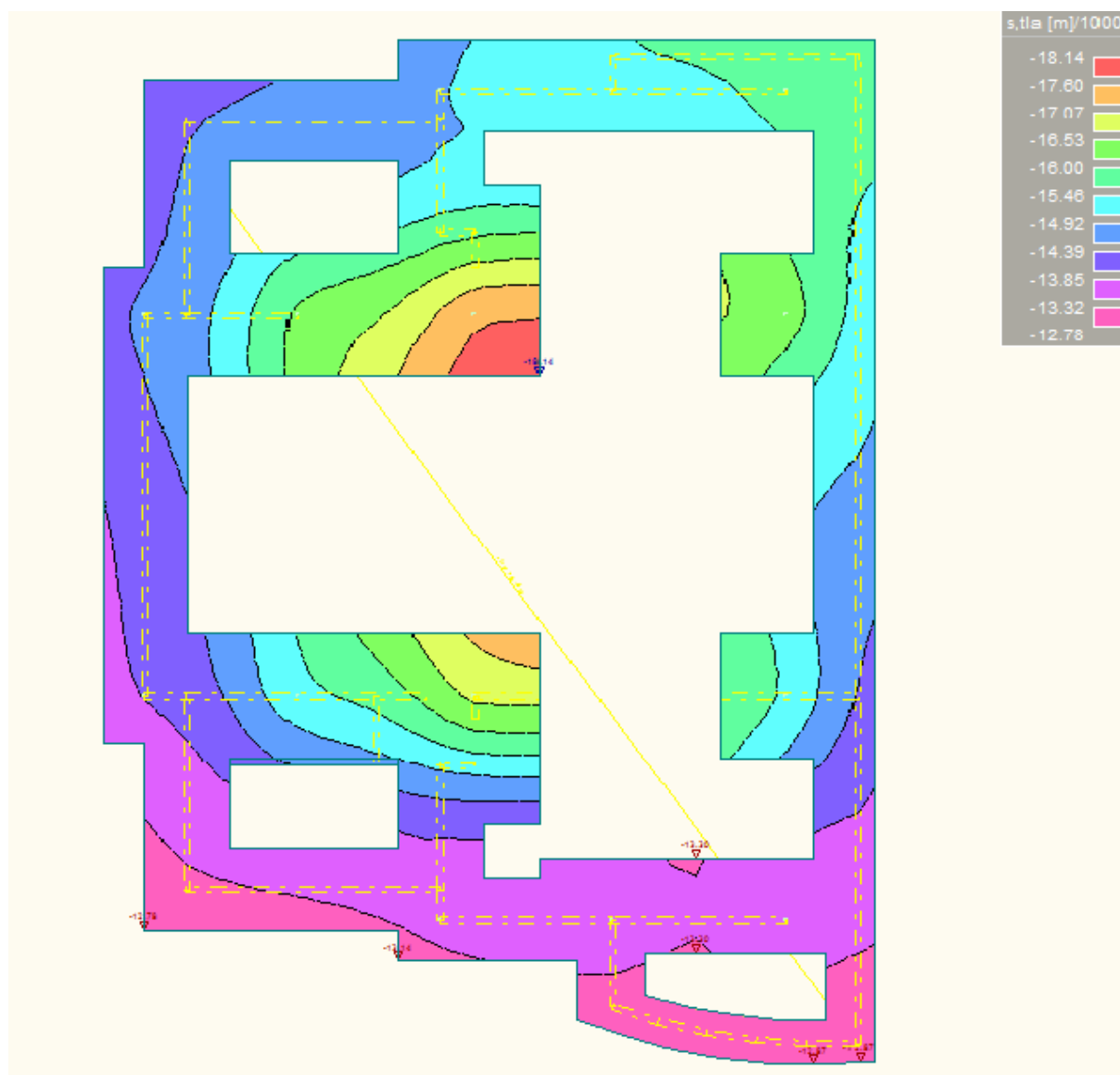


Slika 2. Poprečni presjek kroz crkvu

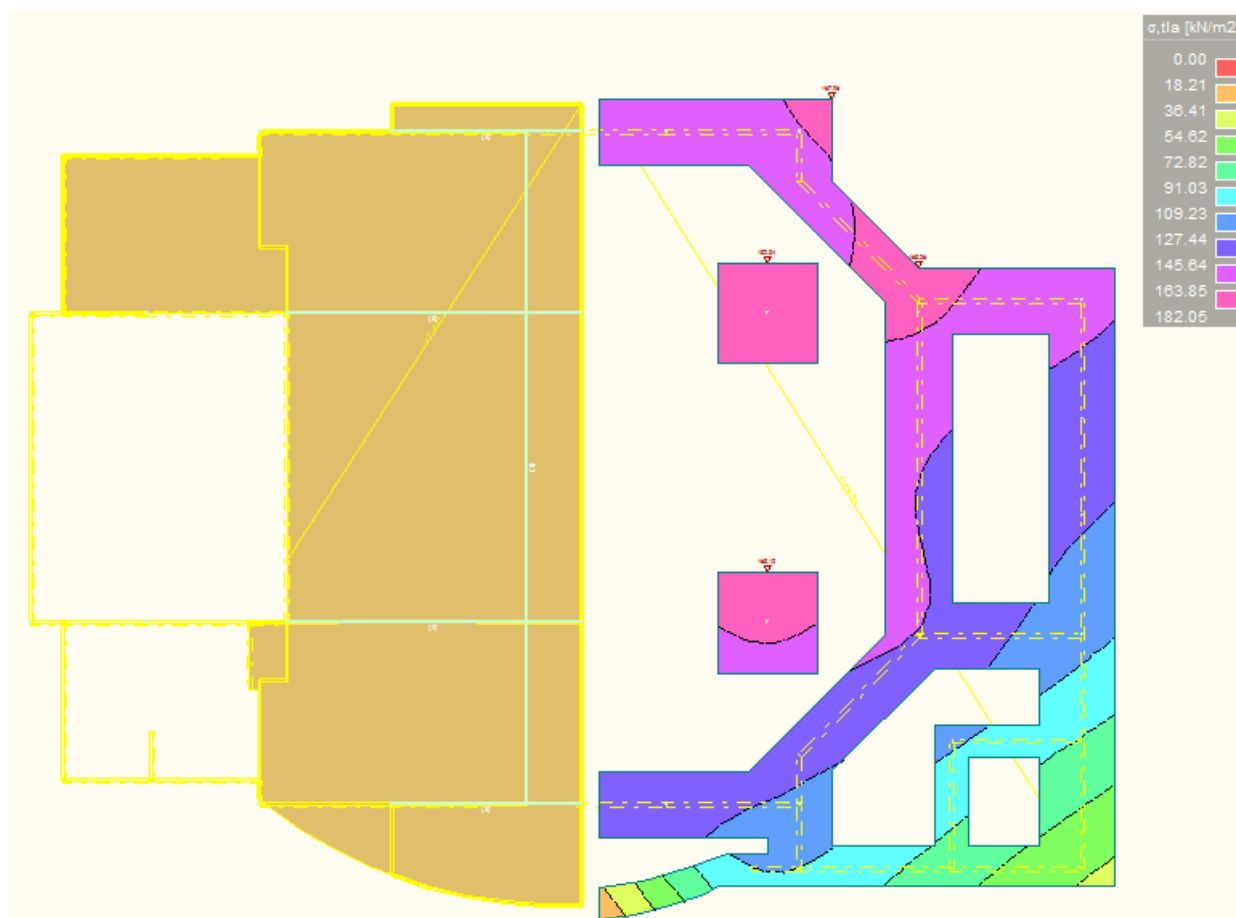
Nakon provedene analize opterećenja, uređen je statički proračun uz pomoć spomenutog programa Tower 3 D.



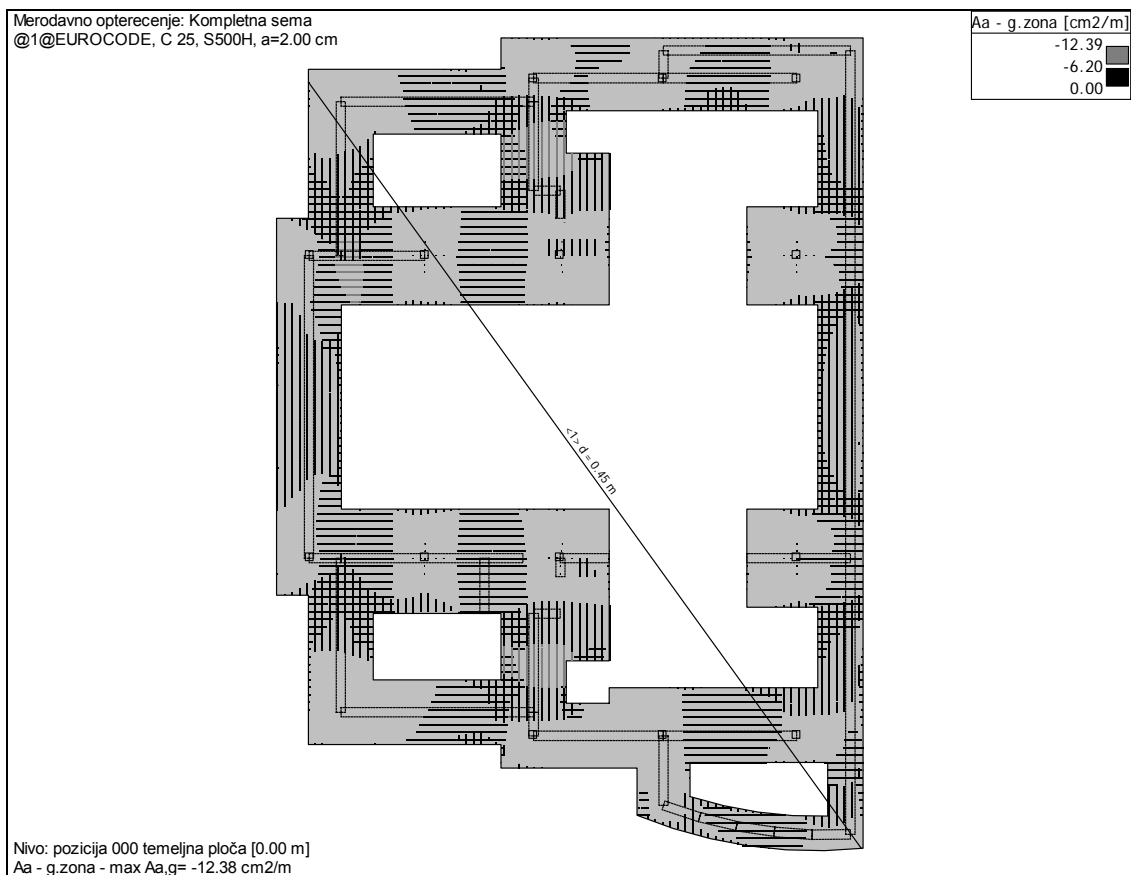
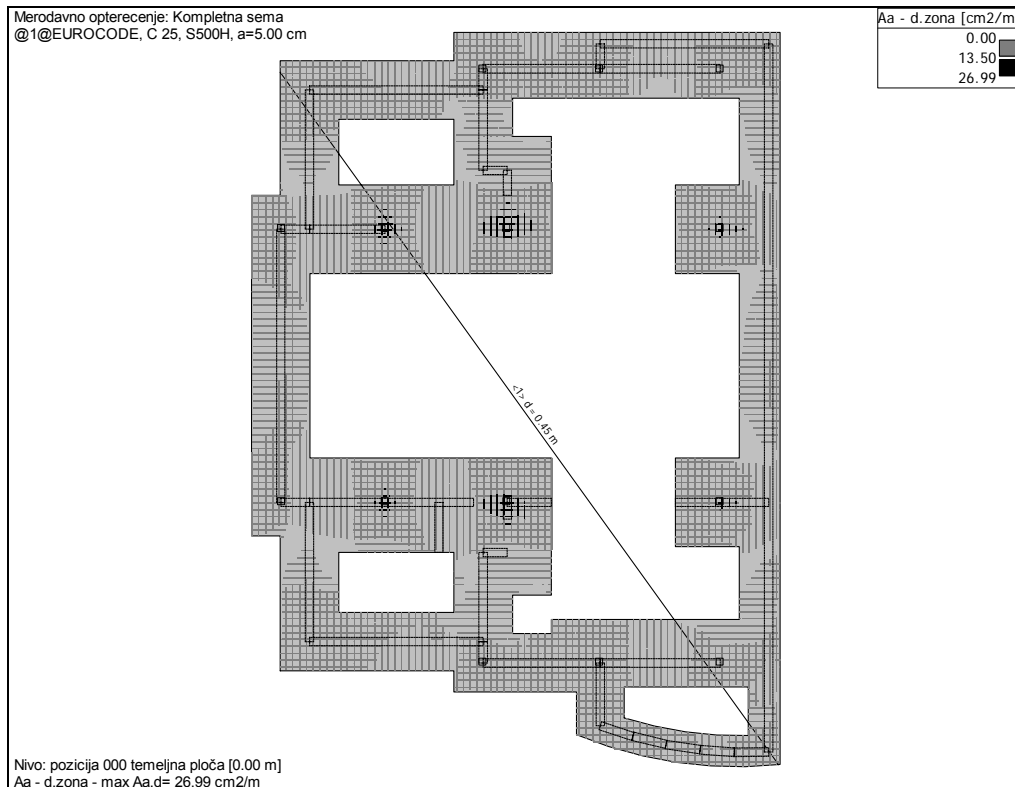
Slika 3. Naprezanja u temeljima 1. ne prelaze dopuštena naprezanja  
 $181.37 \text{ kN/m}^2 < 300 \text{ kN/m}^2$



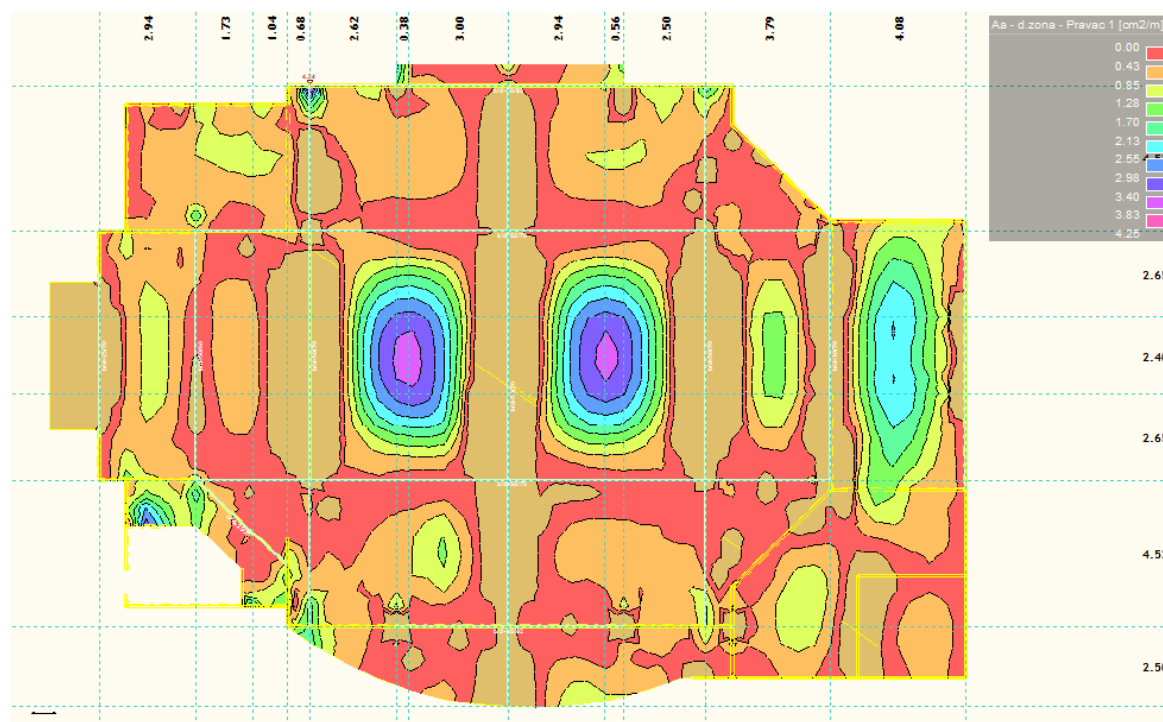
Slika 4. Prikaz slijeganja u temeljima 1



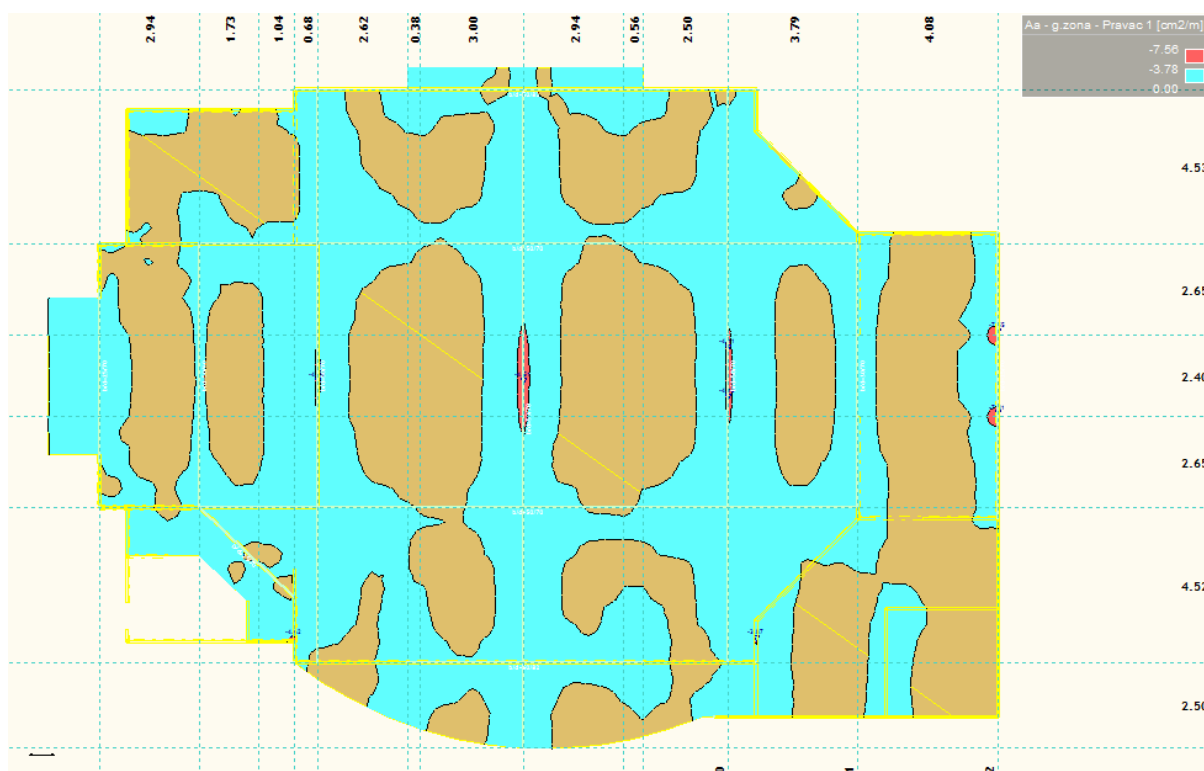
Slika 5. Naprezanja u temeljima 2 ne prelaze dopuštena naprezanja  
 $182.05 \text{ kN/m}^2 < 300 \text{ kN/m}^2$







Slika 6. Prikaz potrebne armature ploče POZ 200 donja zona smjer x



Slika 7. Prikaz potrebne armature POZ 200 gornja zona smjer x



Pošto gore navedeni program, nema mogućnost proračuna koeficijenta upetosti u čvorovima (koji je potreban kod izvijanja stupova), taj proračun se morao raditi „pješke“. Nakon toga uz pomoć Jackson-Morelandovih nomograma potrebno je pronaći koeficijent  $\beta$  kako za smjer x tako i za smjer y.

### 3. PRORAČUN KOEFICIJENTA UPETOSTI U ČVOROVIMA

#### 3.1. Provjera posmične krutosti

Horizontalno nepomični sustavi moraju zadovoljiti:

$$n \leq 3 \quad \alpha_{x,y} = h_{\text{rot}} * \sqrt{\left(\frac{F_v}{\sum E_c I_c}\right)} \leq 0,2 + 0,1n$$

$$n \geq 4 \quad \alpha_{x,y} = h_{\text{rot}} * \sqrt{\left(\frac{F_v}{\sum E_c I_c}\right)} \leq 0,6$$

$h_{\text{rot}}=25,71\text{m}$  (ukupna visina objekta od temelja do vrha)

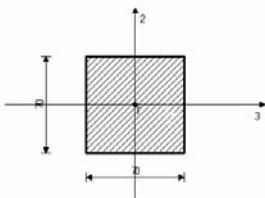
$F_v=2377,38\text{KN}$  ( stalno + korisno)  $\gamma_F = 1,00$

$I_c$  – suma momenata tromosti svih poprečnih ukrčenja

$E_c$  – modul elastičnosti betona

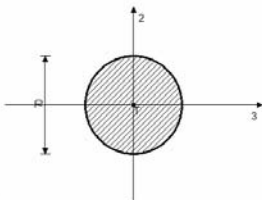
n-broj katova

Stup 70cm x 70cm



Moment tromosti za kvadratni stup iznosi  $I_c = \frac{70^4 * 70}{12} = 2000833,33\text{cm}^4$

Stup D=70 cm



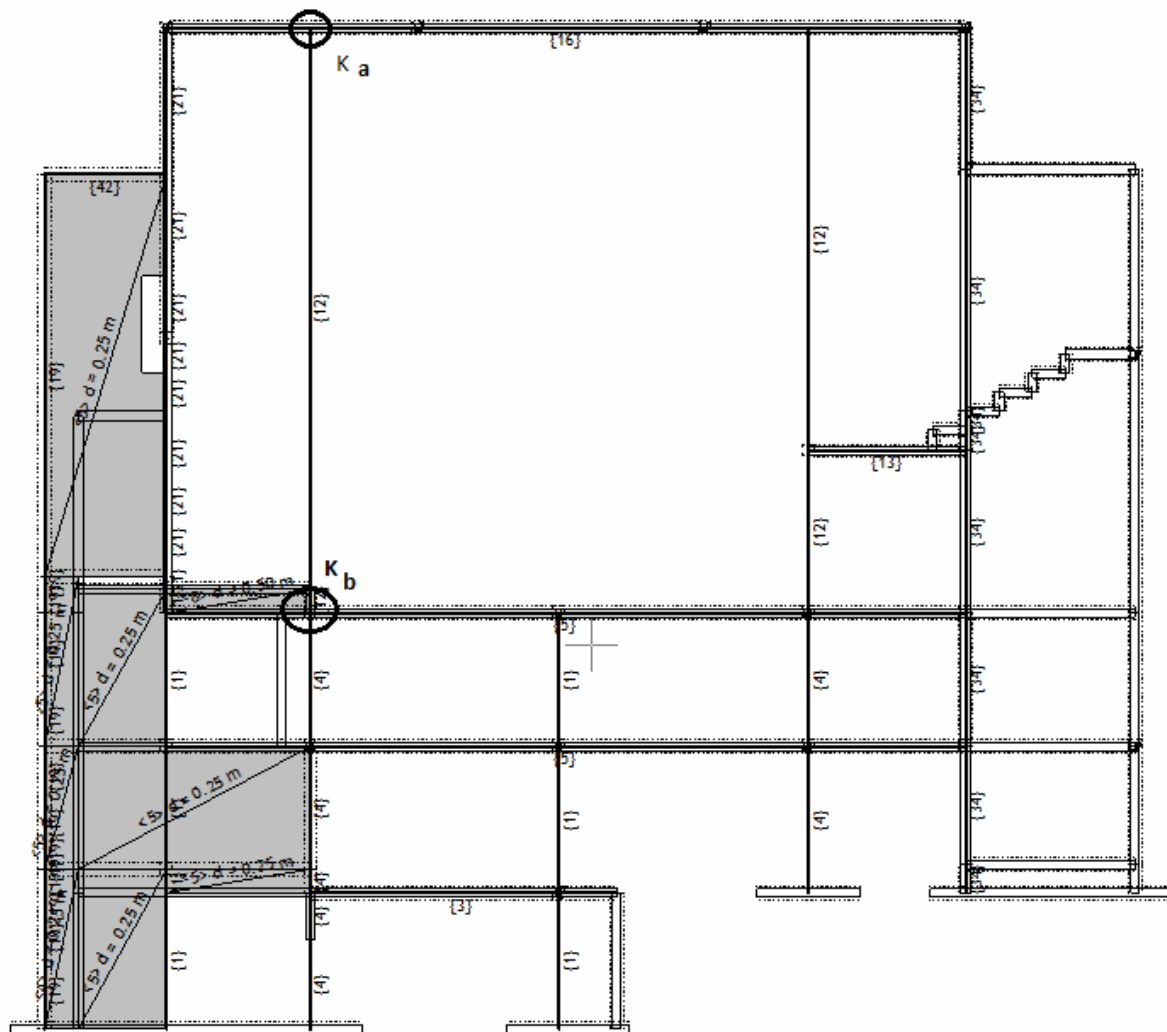
Moment tromosti za stup kružnog presjeka iznosi  $I_c = \frac{70^4 * \pi}{32} = 2357176,24\text{cm}^4$

$$E_c = 30500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{C 25/30}$$

$$\alpha_{x,y} = 2571 * \sqrt{\left(\frac{2377,38}{3050 * [(2000833,33) * 3 + 2357176,24]}\right)} \leq 0,6$$

$$\alpha_{x,y} = 0,8 > 0,6 \rightarrow \text{sustav je pomičan}$$

### 3.2. Proračun koeficijenta $K_a$ i $K_b$ za smjer x i smjer y



$$K_b = K_a = \frac{\frac{\sum E_{cm} * I_{col}}{l_{col}}}{\frac{\sum E_{cm} * \alpha * I_b}{l_b}}$$

$I_{col}$  – tromost stupa

$l_{col}$  – duljina stupa

$I_b$  – tromost grede

$l_b$  – duljina grede

$\alpha$  – koeficijent ovisan o oslanjanju grede

$\alpha = 1,00$  – suprotni kraj grede elastično ili kruto upet

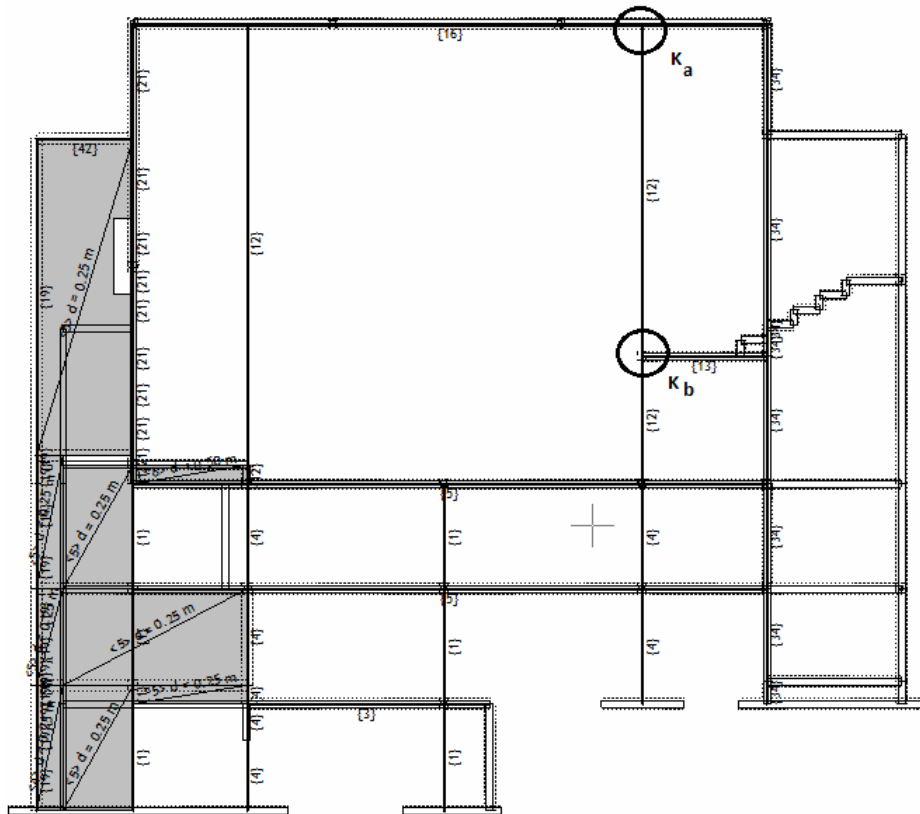
$\alpha = 0,5$  – suprotni kraj grede zglobno oslonjen

$\alpha = 0$  – konzola

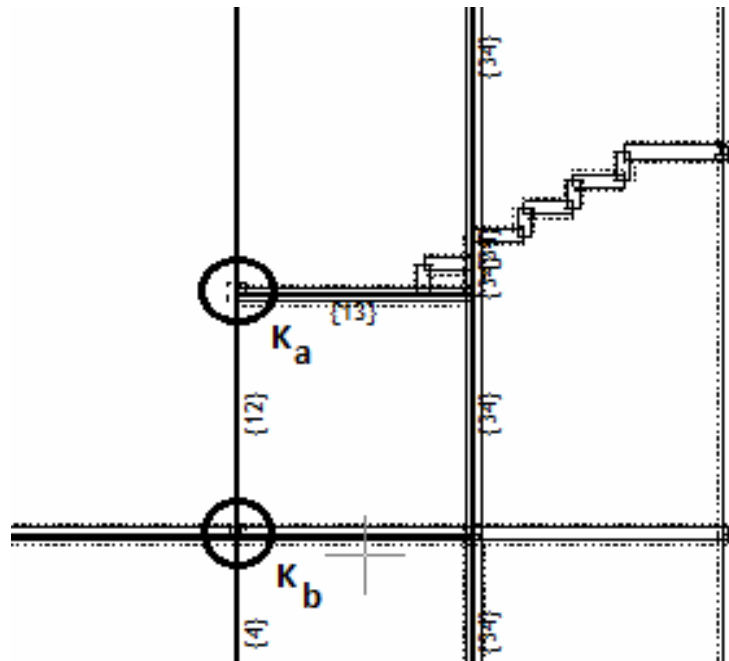
$\beta_{xy}$  – koeficijent dužine izvijanja oko ose x i ose y

$K_a = 0$   $K_b = 3,2 \rightarrow \beta_x = 1,4$  očitano iz nomograma za pomične okvire (smjer x)

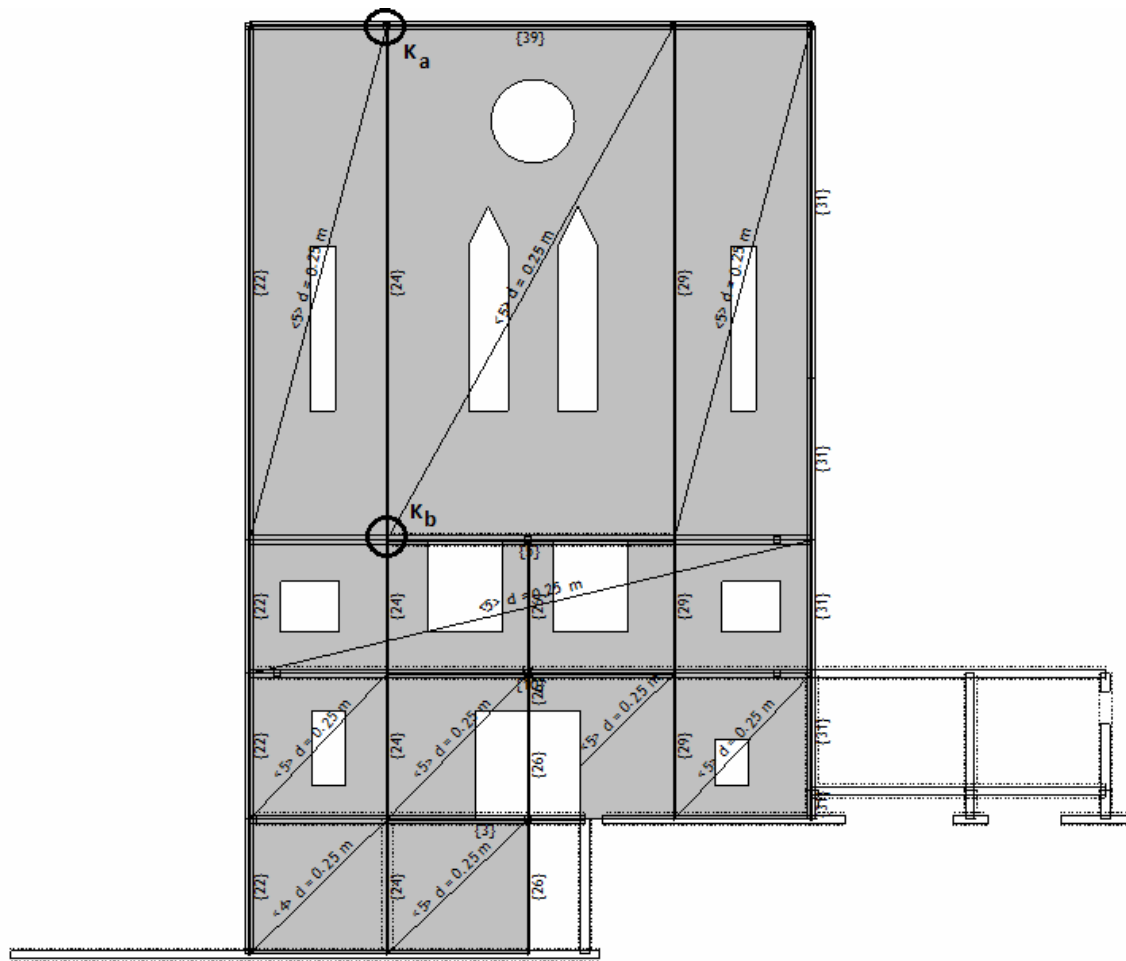
$K_a = 1,2$   $K_b = 0,3 \rightarrow \beta_y = 1,2$  očitano iz nomograma za pomične okvire (smjer y)



$K_a = 0$   $K_b = 5,82 \rightarrow \beta_x = 1,55$  očitano iz nomograma za pomične okvire (smjer x)  
 $K_a = 0,26$   $K_b = 3,16 \rightarrow \beta_y = 1,45$  očitano iz nomograma za pomične okvire (smjer y)

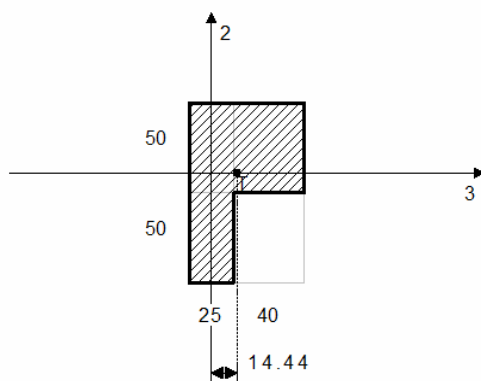


$K_a = 3,16$   $K_b = 1,33 \rightarrow \beta_x = 2$  očitano iz nomograma za pomične okvire (smjer x)  
 $K_a = 0,26$   $K_b = 3,16 \rightarrow \beta_y = 1,61$  očitano iz nomograma za pomične okvire (smjer y)



Izvijanje stupa na slici je spriječeno u osi x, jer kao što možemo vidjeti sa slike u toj osi su zidani zidovi.

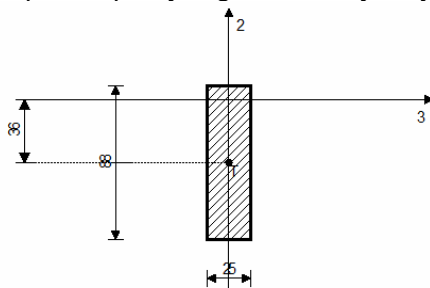
Poprečni presjek stupa



$I_{col} = 1044400 \text{ cm}^4$  moment inercije stupa

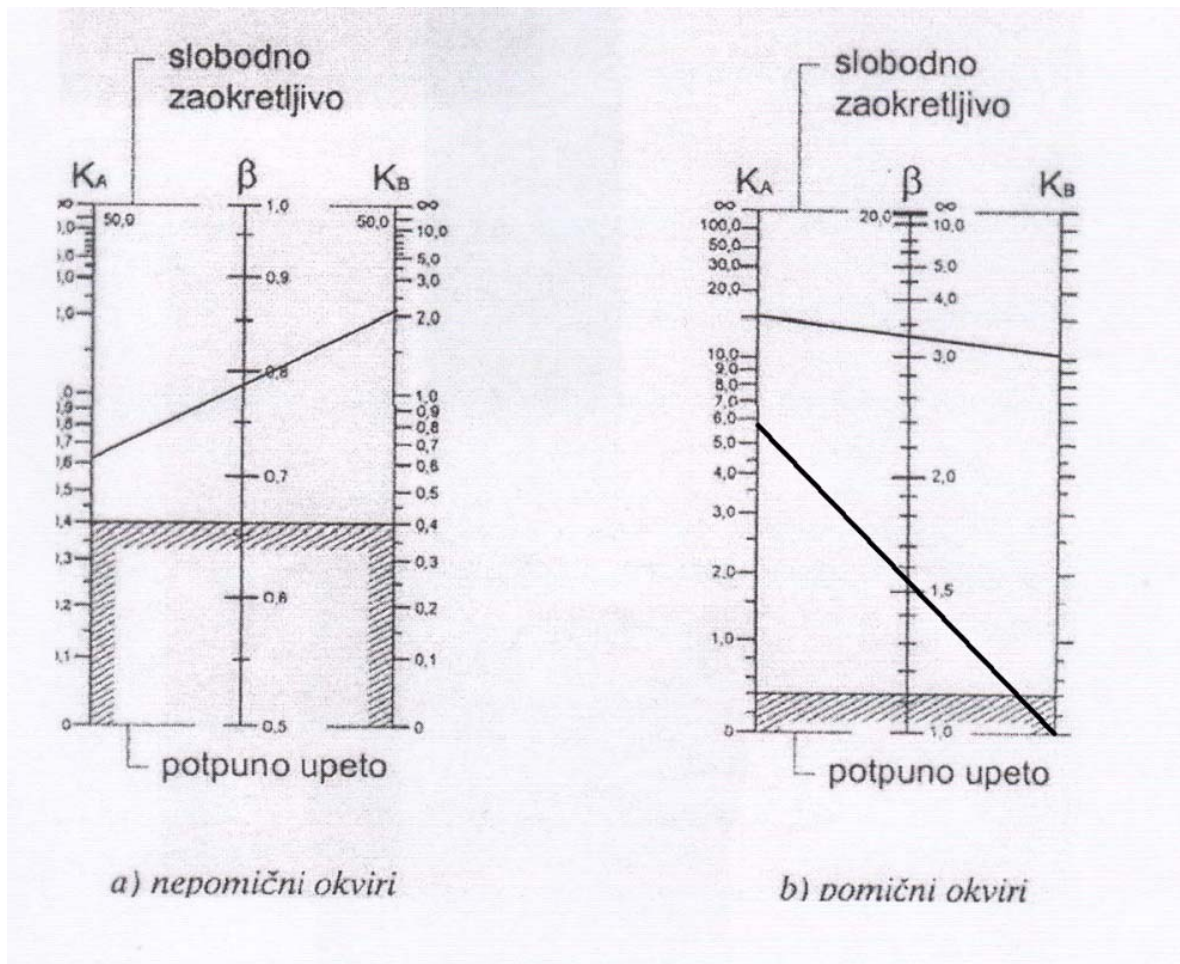


Poprečni presjek grede u smjeru y

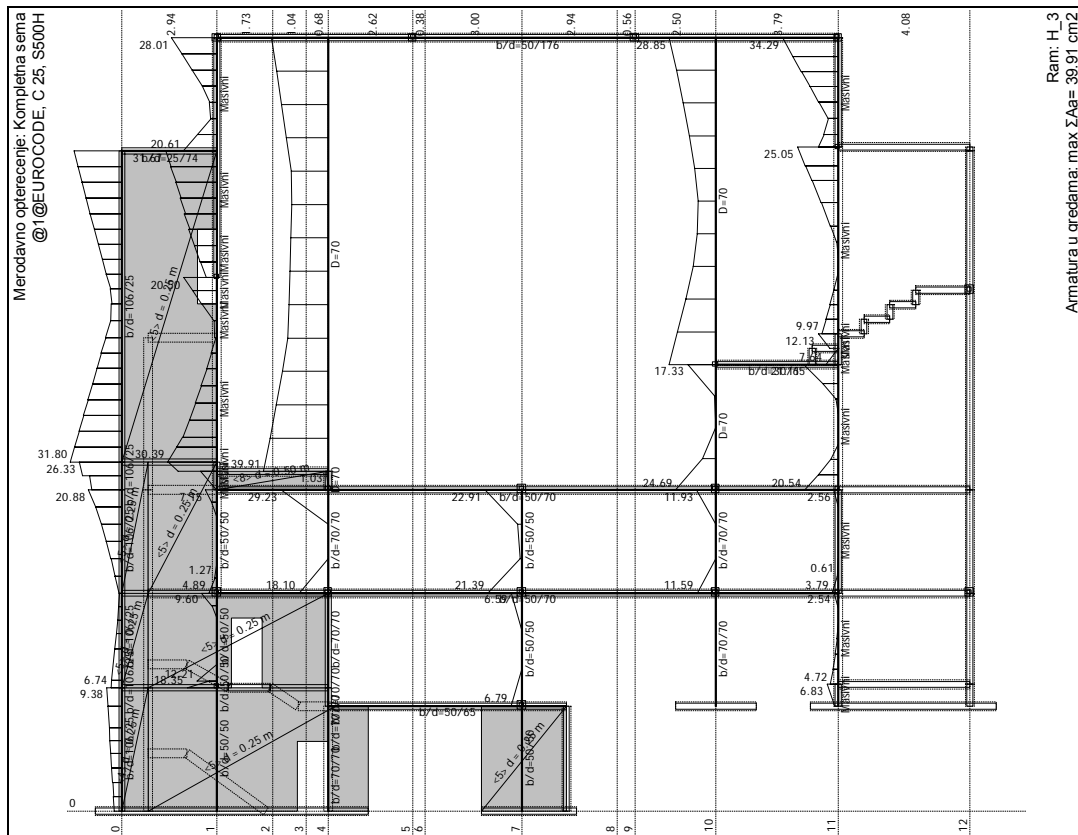


$I_b = 114583,33 \text{ cm}^4$  moment inercije grede

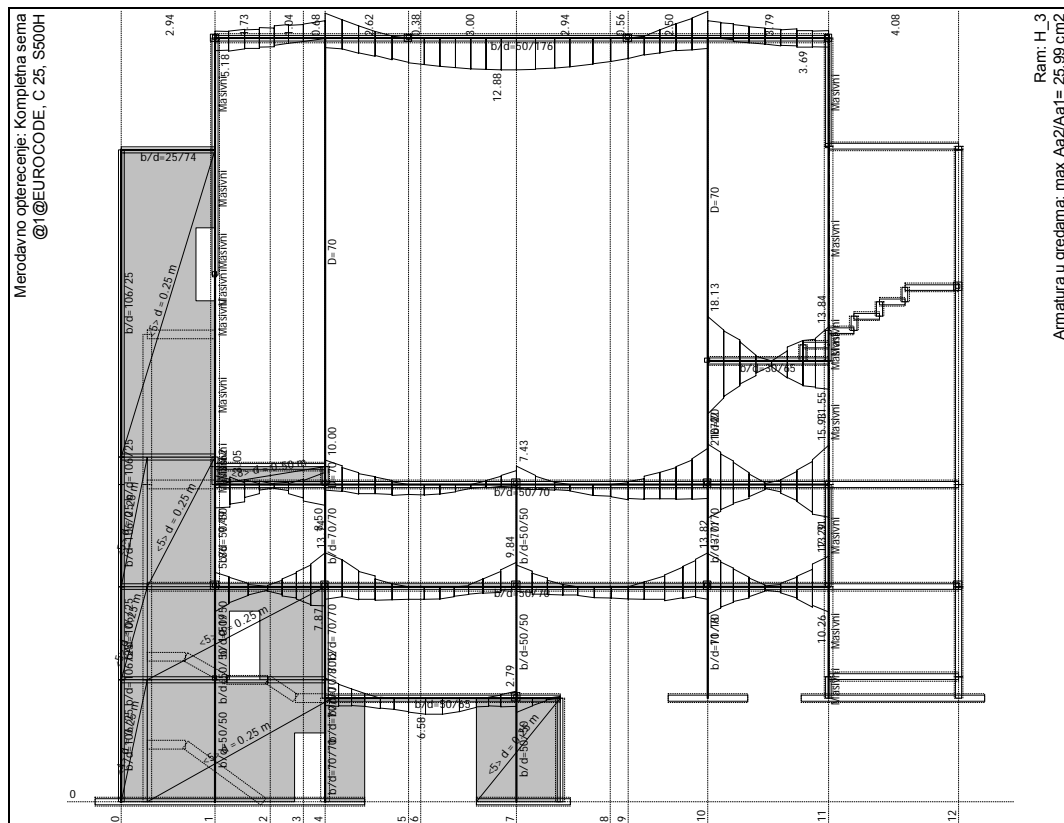
$K_a = 6,57$   $K_b = 0 \rightarrow \beta_y = 1,57$  očitano iz nomograma za pomične okvire (smjer y)



Slika 8. Jackson-Morelandovi nomogrami



Slika 9. Prikaz potrebne armature u stupovima ram H\_3



Slika 10. Prikaz potrebne armature u gredama ram\_9

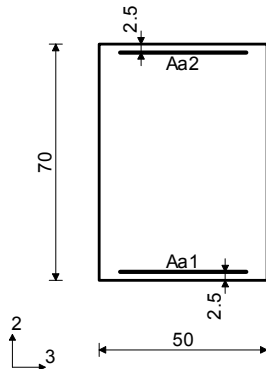
**Greda 6272-13433**

@1@EUROCODE

C 25

S500H

Kompletna shema opterećenja

Presjek 1-1 x = 4.52m

Mjerodavna kombinacija za savijanje:

1.00xI+0.30xII+0.30xIV+0.30xV

-1.00xVII

N1u = -9.21 kN

M2u = 0.00 kNm

M3u = 510.5 kNm

Mjerodavna kombinacija za torziju:

1.00xI+0.30xII+0.30xIV-1.00xVI

M1u = -0.82 kNm

Mjerodavna kombinacija za smicanje:

1.35xI+1.05xII+0.75xIII+1.50xIV

+1.05xV

T2u = 252.6 kN

T3u = -2.27 kN

M1u = -0.53 kNm

 $\epsilon_b/\epsilon_a = -3.500/14.862 \text{ ‰}$ Aa1 = 1.97 cm<sup>2</sup>Aa2 = 18.72 cm<sup>2</sup>Aa3 = 0.00 cm<sup>2</sup>Aa4 = 0.00 cm<sup>2</sup>Aa,u= 4.80 cm<sup>2</sup>/m (m=2)



Presjek 2-2 x = 8.14m

Mjerodavna kombinacija za savijanje:

$$1.35xI+1.05xII+1.50xIV+1.05xV$$

$$N1u = 9.39 \text{ kN}$$

$$M2u = 0.00 \text{ kNm}$$

$$M3u = 272.1 \text{ kNm}$$

Mjerodavna kombinacija za torziju:

$$1.00xI+0.30xII+0.30xIV+0.30xV$$

$$+1.00xVII$$

$$M1u = 0.04 \text{ kNm}$$

Mjerodavna kombinacija za smicanje:

$$1.00xI+0.30xII+0.30xIV+0.30xV$$

$$+1.00xVII$$

$$T2u = 50.00 \text{ kN}$$

$$T3u = 1.70 \text{ kN}$$

$$M1u = 0.04 \text{ kNm}$$

$$\epsilon_b/\epsilon_a = -3.110/25.000 \text{ ‰}$$

$$Aa1 = 9.82 \text{ cm}^2$$

$$Aa2 = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$Aa3 = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$Aa4 = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$Aa,u = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (m=2)$$

Presjek 3-3 x = 12.22m

Mjerodavna kombinacija za savijanje:

$$1.00xI+0.30xIV+0.30xV-1.00xVII$$

$$N1u = -23.16 \text{ kN}$$

$$M2u = 0.00 \text{ kNm}$$

$$M3u = 515.4 \text{ kNm}$$

Mjerodavna kombinacija za torziju:

$$1.00xI+0.30xII+0.30xIV+1.00xVI$$

$$M1u = 0.90 \text{ kNm}$$

Mjerodavna kombinacija za smicanje:

$$1.35xI+1.05xII+1.50xIV+1.05xV$$

$$T2u = 250.6 \text{ kN}$$

$$T3u = 2.55 \text{ kN}$$

$$M1u = 0.48 \text{ kNm}$$

$$\epsilon_b/\epsilon_a = -3.500/14.491 \text{ ‰}$$

$$Aa1 = 1.97 \text{ cm}^2$$

$$Aa2 = 18.75 \text{ cm}^2$$

$$Aa3 = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$Aa4 = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$Aa,u = 4.76 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (m=2)$$

**Presjek 4-4  $x = 16.15\text{m}$** 

Mjerodavna kombinacija za savijanje:

$$1.35xI+1.05xII+1.05xIV+1.50xV$$

$$N1u = -0.18 \text{ kN}$$

$$M2u = 0.00 \text{ kNm}$$

$$M3u = 25.61 \text{ kNm}$$

Mjerodavna kombinacija za torziju:

$$1.00xI+0.30xV+1.00xVI$$

$$M1u = 1.38 \text{ kNm}$$

Mjerodavna kombinacija za smicanje:

$$1.00xI+0.30xV+1.00xVI$$

$$T2u = 27.43 \text{ kN}$$

$$T3u = 0.94 \text{ kN}$$

$$M1u = 1.38 \text{ kNm}$$

$$\varepsilon_b/\varepsilon_a = -0.682/25.000 \text{ ‰}$$

$$A1 = 0.88 + 0.02' = 0.90 \text{ cm}^2$$

$$Aa2 = 0.00 + 0.02' = 0.02 \text{ cm}^2$$

$$Aa3 = 0.00 + 0.04' = 0.04 \text{ cm}^2$$

$$Aa4 = 0.00 + 0.04' = 0.04 \text{ cm}^2$$

$$Aa_{uz} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (m=2)}$$

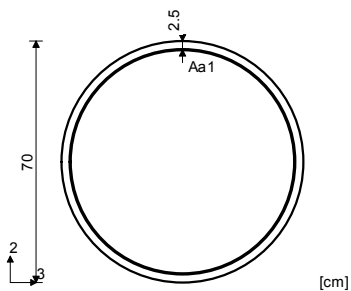
') - dodatna podužna armatura za prijem torzije.

**Greda 10773-4578****@1@EUROCODE**

C 25

S500H

Kompletna shema opterećenja



$$l_{i,2} = 18.79 \text{ m} \text{ (}\lambda_2 = 107.36\text{)}$$

$$l_{i,3} = 16.10 \text{ m} \text{ (}\lambda_3 = 92.02\text{)}$$

Pomjerljiva konstrukcija

**Presjek 1-1  $x = 13.42\text{m}$** 

Mjerodavna kombinacija za savijanje:

$$1.00xI+0.30xII-1.00xVI$$

$$N1u = 659.7 \text{ kN}$$

$$M2u = 223.6 \text{ kNm}$$

$$M3u = -49.44 \text{ kNm}$$



Mjerodavna kombinacija za torziju:

$$1.00xI+0.30xII+0.30xIV+0.30xV$$

$$+1.00xVII$$

$$M_{1u} = 0.13 \text{ kNm}$$

Mjerodavna kombinacija za smicanje:

$$1.00xI+0.30xII+0.30xIV+0.30xV$$

$$+1.00xVII$$

$$T_{2u} = 15.65 \text{ kN}$$

$$T_{3u} = 11.61 \text{ kN}$$

$$M_{1u} = 0.13 \text{ kNm}$$

$$\Delta e_2 = 8.1\langle e_0 \rangle + 35.1\langle e_{II} \rangle = 43.2 \text{ cm}$$

$$|\Delta M_2| = 284.5 \text{ kNm}$$

0

$$\Delta e_3 = 7.4\langle e_0 \rangle + 28.9\langle e_{II} \rangle = 36.3 \text{ cm}$$

$$|\Delta M_3| = 239.4 \text{ kNm}$$

2

$$\epsilon_b/\epsilon_a = -3.500/7.089 \text{ ‰}$$

$$A_{a1} = 39.9 \text{ cm}^2$$

1

$$A_{a2} = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$A_{a3} = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$A_{a4} = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$A_{a,uz} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (m=2)$$



## LITERATURA

1. Jure Radić i suradnici, Betonske konstrukcije riješeni primjeri
2. Jure Radić i suradnici, Betonske konstrukcije priručnik
3. Ivan Tomičić , Betonske konstrukcije, Zagreb, 1996.
4. Eurocode 8 projektiranje seizmički otpornih konstrukcija

### *Računalni programi*

- AUTOCAD 2007
- TOWER 3D MODEL BUILDER 6.0