



KONSTRUKCIJE CRKVE SV. TOME APOSTOLA

prof.dr.sc. **Mladen Glibi** , dipl.ing.gra .

Jelena Hrka , mag.gra .

Gra evinski fakultet

Sveu ilišta u Mostaru

Sažetak: Na osnovu arhitektonskih podloga, dopuštene nosivosti tla, seizmičkih i klimatskih zona u kojima se objekt nalazi, potrebno je izraditi projekt konstrukcije crkve sv. Tome Apostola na Bijelom Brijegu u Mostaru. Objekt se nalazi u VIII. MCS zoni, I. klimatskoj zoni, a nosivost tla u tom području je 250kPa. Crkva je križnog tlocrta, duljine 29.7 m, širine 24 m s visinom, od temelja do vrha, 25 m. Krov crkve je izveden kao ravni neprohodni krov. Središte crkve natkriveno je kupolom presjeka $D = 12.20$ m i visine 5.20 m. Konstrukcija kupole izvedena je od čeličnih šipki. Crkva se sastoji od dvije etaže suterena + prizemlje. Visina suterena kod crkve iznosi od 4.00 do 4.96 m, a prizemlje 10.00 m. Tlocrtna dimenzija zvonika su 5.50 x 5.00 m sa visinom 45 m.

ključne riječi: crkva sv. Tome Apostola u Mostaru, projekt konstrukcije.

CONSTRUCTION OF THE ST. THOMAS THE APOSTLE CHURCH

Abstract: Based on architectural data, allowable bearing capacity of soil, seismic and climatic zones in which the structure is situated, it is necessary to develop the structural design of the Church of St. Thomas the Apostle in Bijeli Brijeg in Mostar. The structure is situated in VIII zone MCS, climatic zone I, and the bearing capacity of soil in the area is 250kPa. The church has a cross-shaped layout, the length of 29.7 m, width of 24 m with the height of 25 m from the foundation to the top. The church roof is designed as a flat impassable roof. The church center is roofed by a dome $D = 12.20$ m in diameter and 5.20 m in height. The dome structure is made of steel bars. The church consists of two floors, basement + ground floor. The height of the basement by the church is from 4.00 to 4.96 m, and the height of the ground floor 10.00 m. The plan dimensions of the bell tower are 5.50 x 5.00 m with the height of 45 m.

Key words: St. Thomas the Apostle Church in Mostar, construction design.



1. KONSTRUKTIVNI SUSTAV OBJEKTA

Temeljnu konstrukciju crkve čine temeljne trake i temelji samci (ispod stupova), dok temeljnu konstrukciju zvonika čini temeljna ploha. Konstruktivni sustav je mješoviti i sastoji se od stubova, vertikalnih AB zidova, AB ploha i horizontalnih AB greda.

Zidovi crkve su izvedeni kao AB platna debljine 40 cm. AB stupovi su šupljeg poprečnog presjeka dimenzija $D/d = 100/10$ cm.

Vertikalna komunikacija u objektu je osigurana armiranobetonskim i čeličnim stubištima.

Zidovi zvonika su izvedeni kao AB platna debljina 50 i 25 cm.

Stubovi i zidovi su dimenzionirani prema Eurocode 2: Projektiranje betonskih konstrukcija i Eurocode 8: Projektiranje seizmički otpornih konstrukcija. Klasa duktilnosti koja je usvojena za stubove, grede i zidove po Eurocode 8 je srednja klasa duktilnosti (DCM). Srednja klasa duktilnosti odgovara konstrukcijama za koje su projekt, dimenzioniranje i konstrukcijski detalji urađeni prema posebnim zahtjevima za seizmičku otpornost, koji osiguravaju da konstrukcija pri ponovljenim ciklima opterećenjima znatno zađe u područje neelastičnog ponašanja, bez krčkog loma. Za tu klasu duktilnosti ne dopušta se normalna sila veća od:

$0.65 \times b \times h \times f_{cd}$ u stanju eksploatacije i

$0.4 \times b \times h \times f_{cd}$ za zidove u stanju eksploatacije,

za seizmičku kombinaciju opterećenja:

$$S_{sd} = \sum_i G_{ki} + \sum_i (\Psi_{2i} * Q_{ki}) + \gamma_i * A_d + P_k.$$

Gdje su:

$\sum_i G_{ki}$ – ukupna vrijednost stalnog opterećenja

Q_{ki} - korisno opterećenje

Ψ_{2i} - kvazistalna vrijednost koeficijenta za korisno opterećenje,

A_d – seizmičko opterećenje

γ_i - koeficijent važnosti: za objekte normalne važnosti $\gamma_i = 1,0$

P_k – prednapinjanje: u ovom objektu nije bilo prednapinjanja.

Sljedeći uvjet koji su zidovi morali ispuniti za srednju klasu duktilnosti prema Eurocode 8 je nosivost tla na dijagonale:

-U kritičnoj oblasti:

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} = 0,4 \times \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200} \right) \times f_{cd} \times b_{w0} \times z$$

-Izvan kritične oblasti:

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} = 0,5 \times \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{200} \right) \times f_{cd} \times b_{w0} \times z$$

Grede su dimenzija 50×130 cm.

Međukatna konstrukcija je monolitna AB ploha debljine 30 cm.



2. NA IN PRORA UNA I SOFTWARE

Model objekta sa gore navedenim konstruktivnim elementima razmatran je kao prostorna konstrukcija u programskom paketu Tower 3D model builder 6.0 (licenciran od tvrtke "Radimpex" Beograd, Srbija).

Za dobivanje utjecaja u temeljnoj konstrukciji, unesen je cijeli model u program i formirana je mreža kona nih elemenata kvadratnog oblika stranica veli ine 0.5 m. Modalnom analizom su dobiveni podaci za seizmi ki prora un, tj. periodi osciliranja konstrukcije.

Prema Eurocode 8:Projektiranje seizmi ki otpornih konstrukcija, potrebno je bilo unijeti:

Kategorija tla: B – Duboke naslage srednje gustog pijeska, šljunka ili srednje krutih glina debljine od nekoliko desetina do više stotina metara, sa brzinom smi u ih valova v_s od najmanje 200 m/s na dubini od 10 m s pove anjem na najmanje 350 m/s na dubini od 50 m.

Kategorija zna aja: $\gamma=2$ - zgrade ija je seizmi ka otpornost od zna aja sa stanovišta posljedica u slu aju rušenja.

Faktor ponašanja: dat je za razli iti materijal, konstrukcijski sustav i klasu duktilnosti. Koristi se u projektiranju za smanjenje sila dobivenih linearnom analizom u namjeri da se uzme nelinearan odgovor konstrukcije povezano sa materijalom, konstrukcijskim sustavom i postupcima projektiranja.

$$q = q_0 \times k_D \times k_R \times k_W \quad 1.5$$

q_0 - osnovna vrijednost faktora ponašanja zavisna od vrste konstrukcijskog sustava

$$q_0 = 4$$

k_D - faktor koji uzima u obzir klasu duktilnosti

$$k_D = 0.75 \text{ – srednja klasa duktilnosti (DCM)}$$

k_R – faktor koji uzima u obzir pravilnost konstrukcije po visini

$$k_R = 1 \text{ – za pravilne konstrukcije}$$

$k_W = 1/(2.5 - 0.5a_0)$ $^{-1}$ - faktor koji uzima u obzir prevladavaju u vrstu loma konstrukcijskih sustava sa zidovima

$$k_W = 0.67$$

$$q = q_0 \times k_D \times k_R \times k_W = 4 \times 0.75 \times 1 \times 0.67 = 2$$

Odnos projektnog ubrzanja tla i ubrzanja zeljine teže $a_g/g=0,20$ – VIII. seizmi ka zona.

Donja granica elasti nog spektra: 0.2 – preporuka iz Pravilnika

Postotak viskoznog prigušenja: 5% – preporuka iz Pravilnika

Parametar tla: $S=1.2$ – za kategoriju tla B

Donja granica intervala konstantnog spektralnog ubrzanja: $T_B = 0.15$ – za parametar tla $S=1.2$ I kategoriju tla B

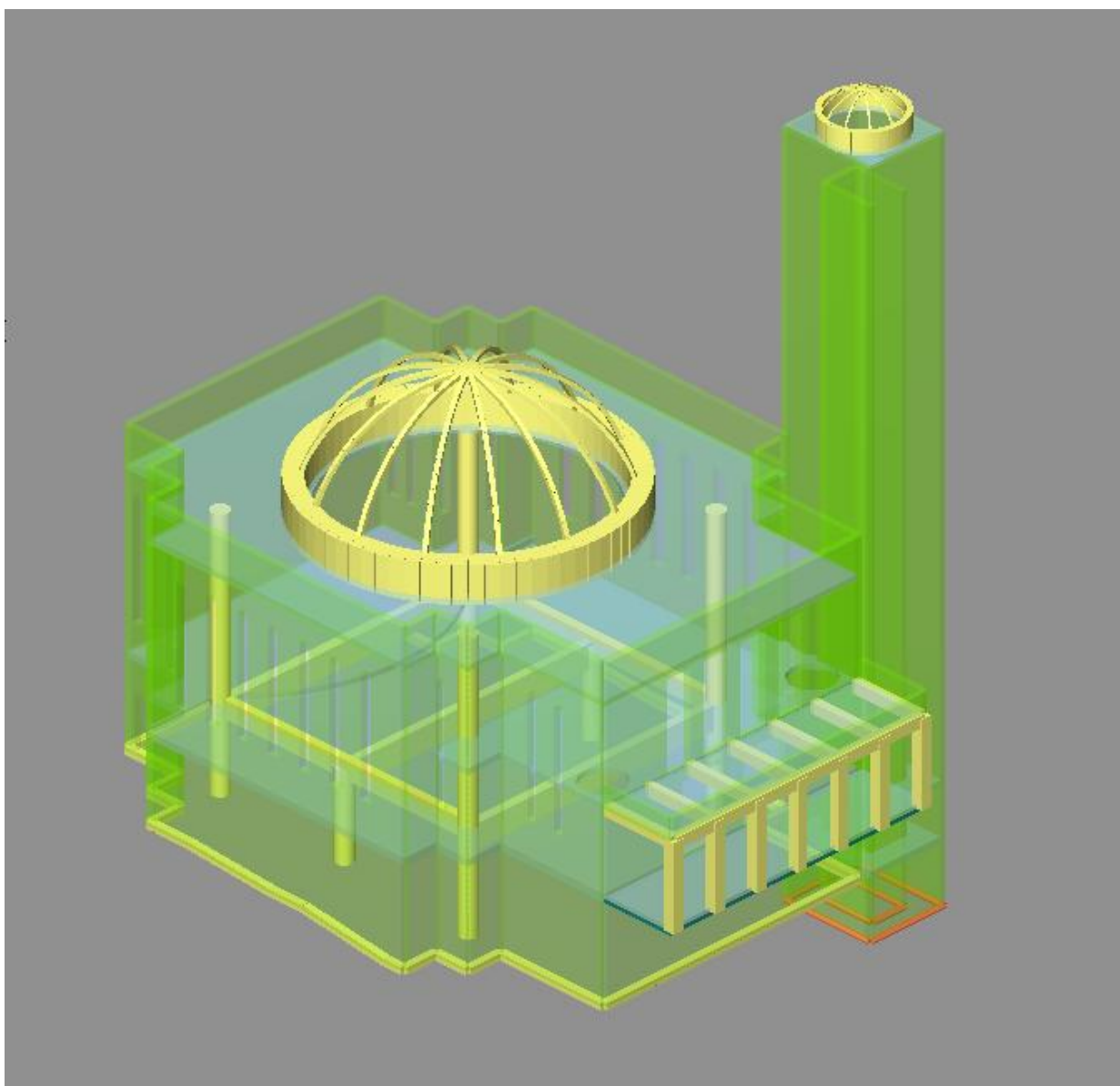
Gornja granica intervala konstantnog spektralnog ubrzanja: $T_c = 0.5$ – za parametar tla $S=1.2$ I kategoriju tla B



Vrijednost koja definira po etak oblasti spektra sa konstantnim pomjeranjem: $T_D = 2$ - za parametar tla $S=1.2$ I kategoriju tla B.

Vertikalna komponenta potresa u z smjeru je zanemarena, jer nije mjerodavna. Daljnjim prora unom su dobiveni statiki i dinamički utjecaji na konstrukciju. Ovaj programski paket omogućava da sve konstruktivne elemente lako dimenzioniramo na kompletnu shemu opterećenja.

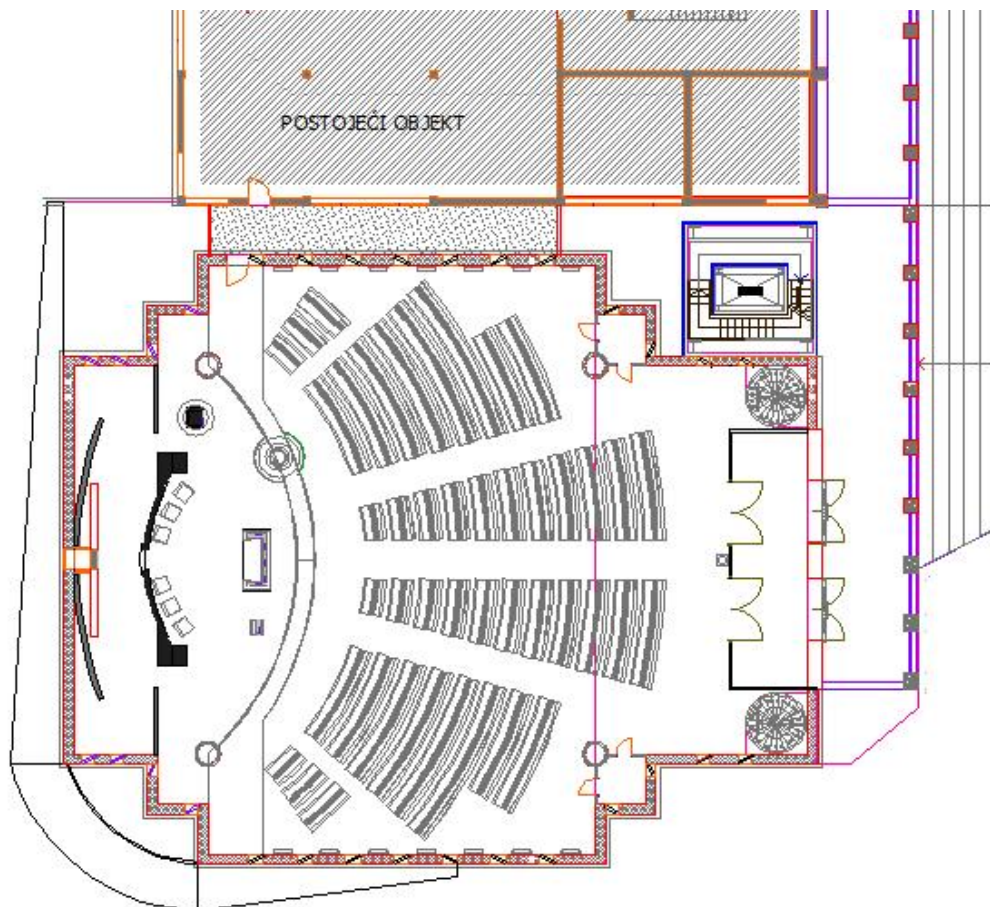
Iz spomenutog programa u prora unu konstrukcije prikazane su vrijednosti potrebne i odabrane armature za armiranobetonske ploče, stupove, zidove i grede.



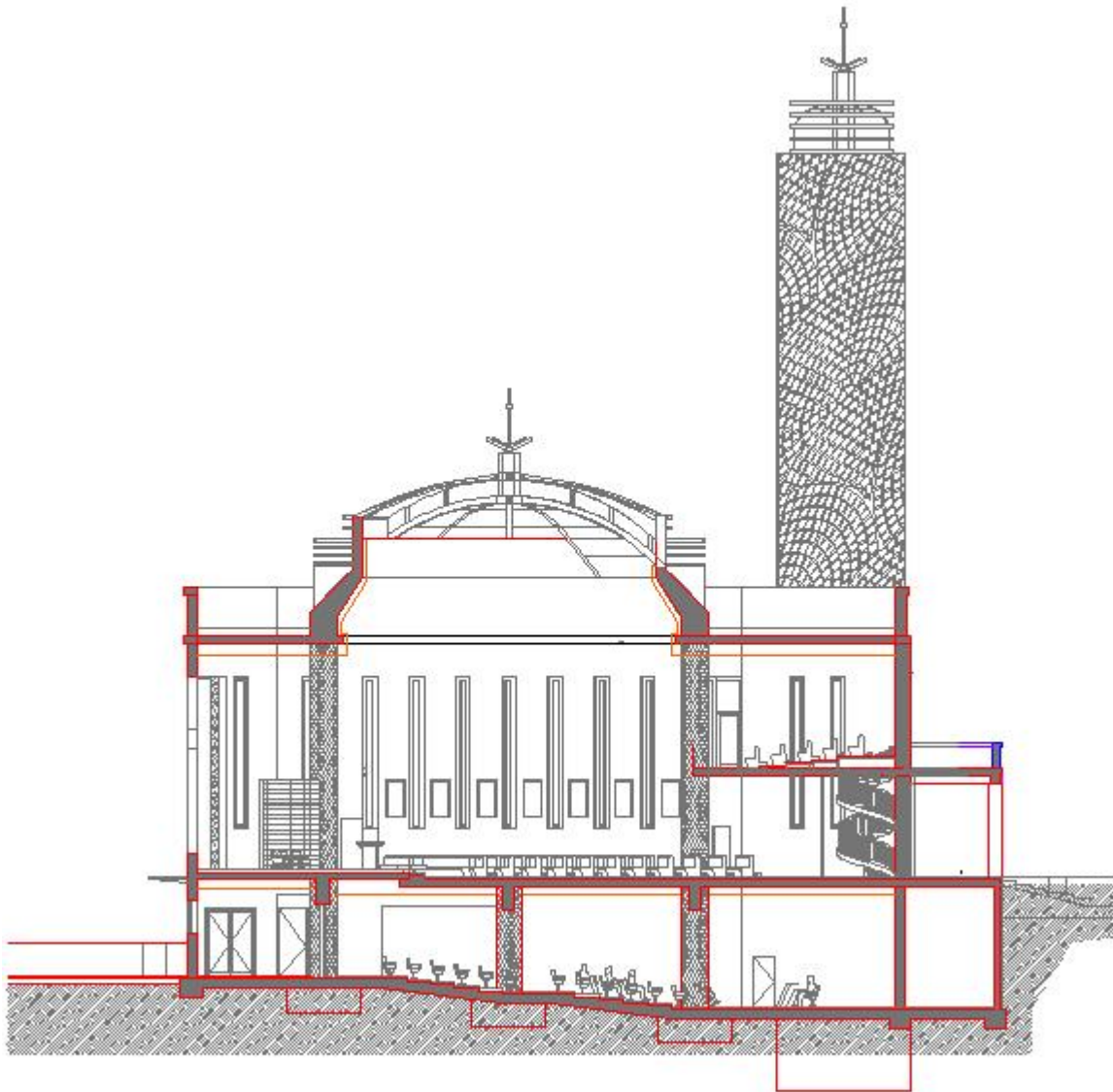
Slika 1. Model crkve izrađen u programu tower6 - 3d model builder



Slika 2. Model crkve u arhivad-u



Slika 3. Tlocrt prizemlja



Slika 4. Presjek objekta

3. OPTERE ENJA

3.1. Stalno optere enje

Program sam uzima u obzir vlastitu težinu konstrukcije. Slojevi poda i optere enje od ravnog neprohodnog krova su unijeti u model kao površinsko optere enje.

Stubišta su razmatrana i dimenzionirana tako er u Toweru 6.0.



3.1.1. Stalno optere enje - crkva

Me ukatne konstrukcije

- POZ +100, POZ +200, POZ +300:

Slojevi poda

- | | |
|------------------|--|
| - estrih | $g = 0.06 \times 22 \text{ kN/m}^3 = 1.32 \text{ kN/m}^2$ |
| - termoizolacija | $g = 0.05 \times 0.25 \text{ kN/m}^3 = 0.125 \text{ kN/m}^3$ |
| - kamene plo e | $g = 0.03 \times 26 \text{ kN/m}^3 = 0.54 \text{ kN/m}^3$ |

Ukupno optere enje: $g = 2.5 \text{ kN/m}^2$

Ravni neprohodni krov

- POZ 400 (CRKVA):

- | | |
|------------------|--|
| - nagibni beton | $g = 0.10 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2.4 \text{ kN/m}^2$ |
| - termoizolacija | $g = 0.05 \times 0.25 \text{ kN/m}^3 = 0.125 \text{ kN/m}^3$ |
| - hidroizolacija | $g = 0.02 \times 0.14 \text{ kN/m}^3 = 0.28 \text{ kN/m}^3$ |
| - šljunak | $g = 0.05 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 0.9 \text{ kN/m}^2$ |

Ukupno optere enje: $g = 3.7 \text{ kN/m}^2$

Kupola

Ukupno optere enje: $g = 0.25 \text{ kN/m}^2$

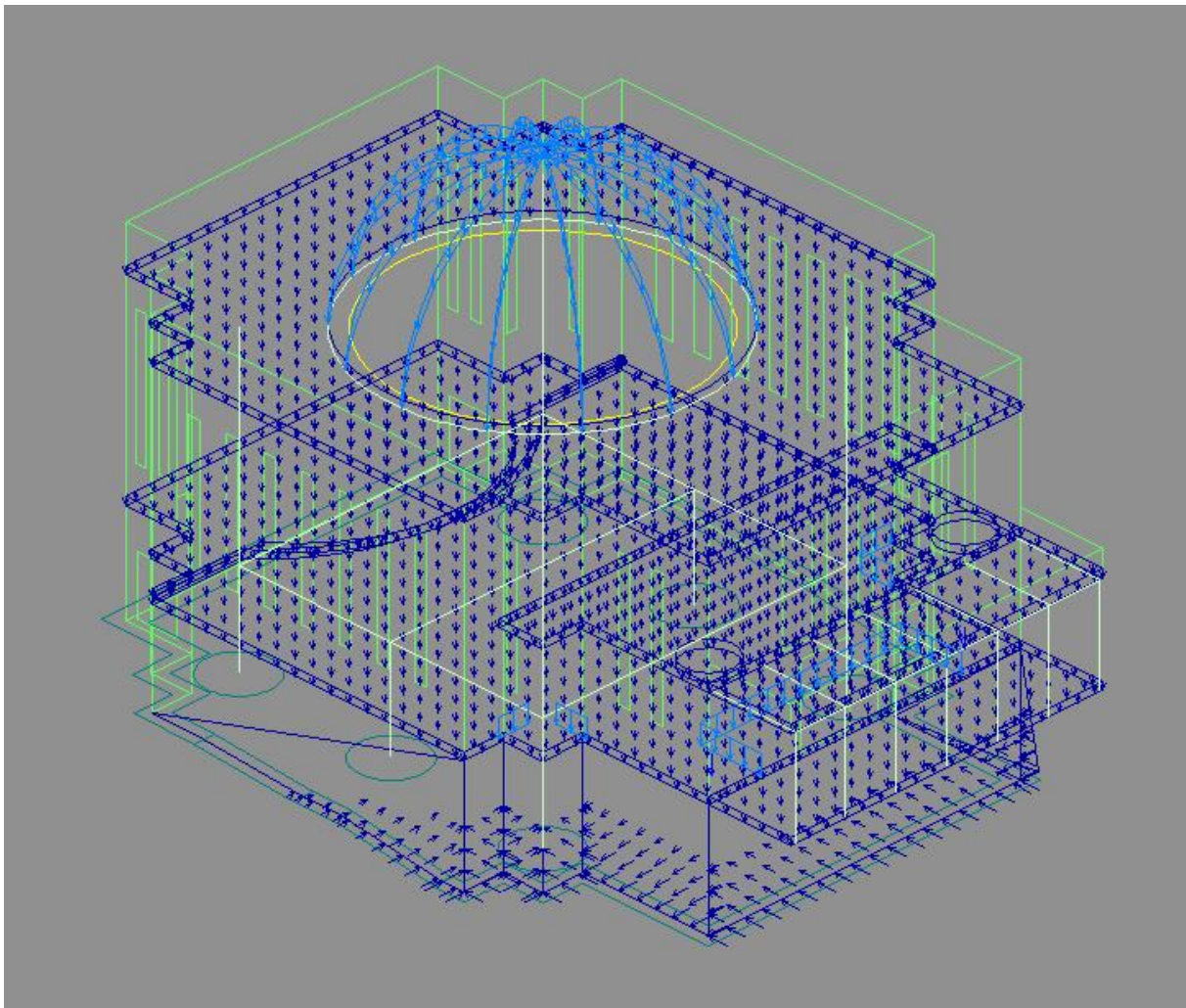
Montažno stubište

Ukupno optere enje: $P = 5.0 \text{ kN}$

Optere enje na zidove od okolnog tla (aktivni tlak tla):

-Vanjski dio gra evine:

Ukupno optere enje: $g = 34.20 \text{ kN/m}^2$ (na koti -5.36 m)
 $g = 15.70 \text{ kN/m}^2$ (na koti -4.88 m)
 $g = 4.67 \text{ kN/m}^2$ (na koti -4.10 m)



Slika 5. Zadana opterećenja na crkvi u tower6 - 3d model builder

3.1.2. Stalno opterećenje – zvonik

Stubište

- PODEST :
- keramika $g = 0.01 \times 27 \text{ kN/m}^3 = 0.24 \text{ kN/m}^2$
 - cementni mort $g = 0.05 \times 21 \text{ kN/m}^3 = 1.05 \text{ kN/m}^2$

Ukupno opterećenje: $g = 1.3 \text{ kN/m}^2$

- KRAKOVI :

Stubište (stube visine 17 cm) :

- keramika $g = 0.01 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 0.24 \text{ kN/m}^2$
- cementni mort $g = 0.05 \times 0.21 \text{ kN/m}^3 = 1.05 \text{ kN/m}^2$
- stube $g = 0.17/2 \times 24 = 2.04 \text{ kN/m}^2$



Ukupno opterećenje: $g = 3.35 \text{ kN/m}^2$
 Stubište (stube visine 15 cm) :

- keramika $g = 0.01 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 0.24 \text{ kN/m}^2$
- cementni mort $g = 0.05 \times 0.21 \text{ kN/m}^3 = 1.05 \text{ kN/m}^2$
- stube $g = 0.15/2 \times 24 = 1.80 \text{ kN/m}^2$

Ukupno opterećenje: $g = 3.10 \text{ kN/m}^2$

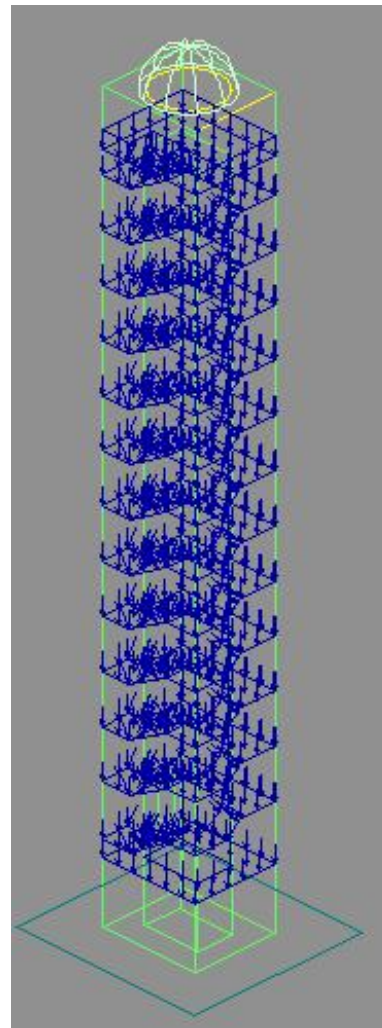
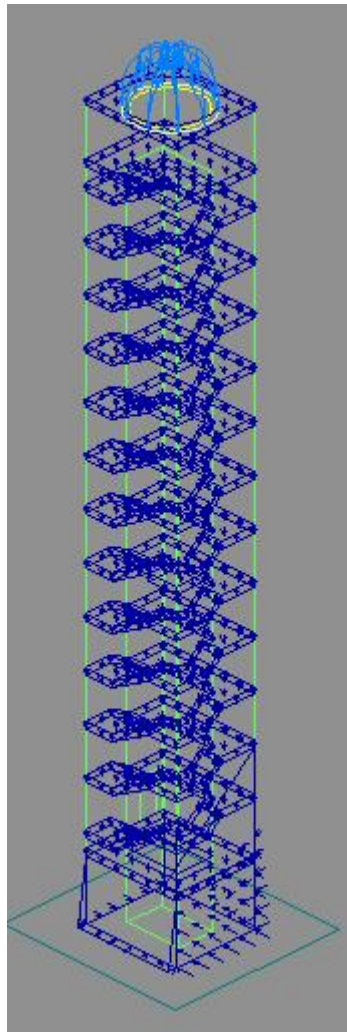
Kupola

Ukupno opterećenje: $g = 0.25 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje na zidove od okolnog tla (aktivni tlak tla):

-Vanjski dio građevine:

Ukupno opterećenje: $g = 38.53 \text{ kN/m}^2$ (na koti -8.86 m)
 $g = 20.25 \text{ kN/m}^2$ (na koti -8.86 m)



Slika 6. Zadana stalna opterećenja na zvonik Slika 7. Zadana korisna opterećenja na zvonik



3.1.3. Korisno optere enje- crkva

Me ukatne konstrukcije

- POZ +100, POZ +200, POZ +300:

$$p = 5.0 \text{ kN/m}^2$$

Prilaz: $p = 2.0 \text{ kN/m}^2$

3.1.4. Korisno optere enje- zvonik

Stubište i podest:

$$p=1.5 \text{ kN/m}^2$$

Optere enje od snijega:

$$s = 0.75 \text{ kN/m}^2$$

Seizmi ko optere enje:

S_x i S_y (u dva okomita smjera)

3.2. Pokretno optere enje

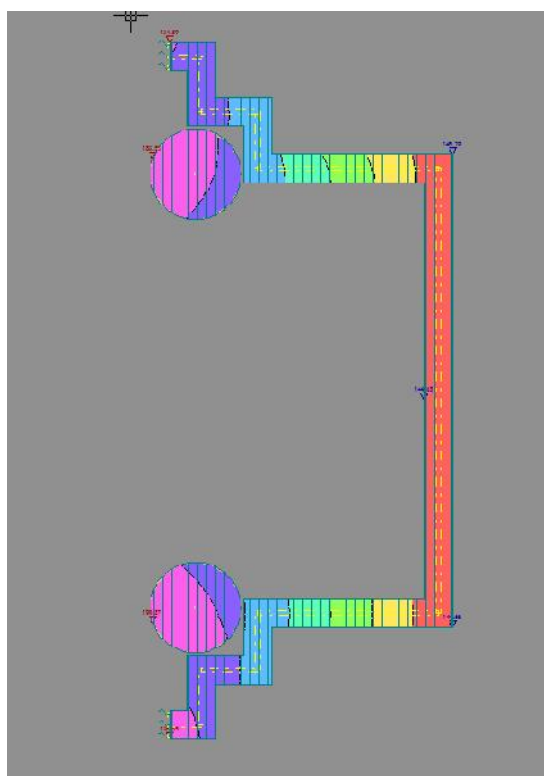
Iz Eurocode 1_Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije, uzeto je pokretno optere enje koje ovisi o namjeni objekta i prostorija u njemu.

3.3. Seizmi ko optere enje

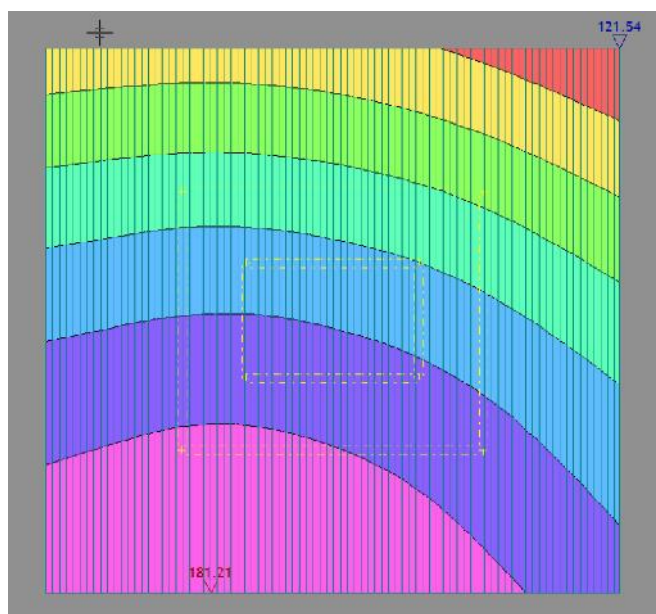
Optere enje od seizmike je zadano u dva okomita pravca. Seizmi ki prora un po Eurocode 8 zasni va se na multimodalnoj analizi konstrukcije, pri emu se uzima u obzir utjecaj svih prora unatih tonova iz modalne analize.

3.4. Kombinacije optere enja

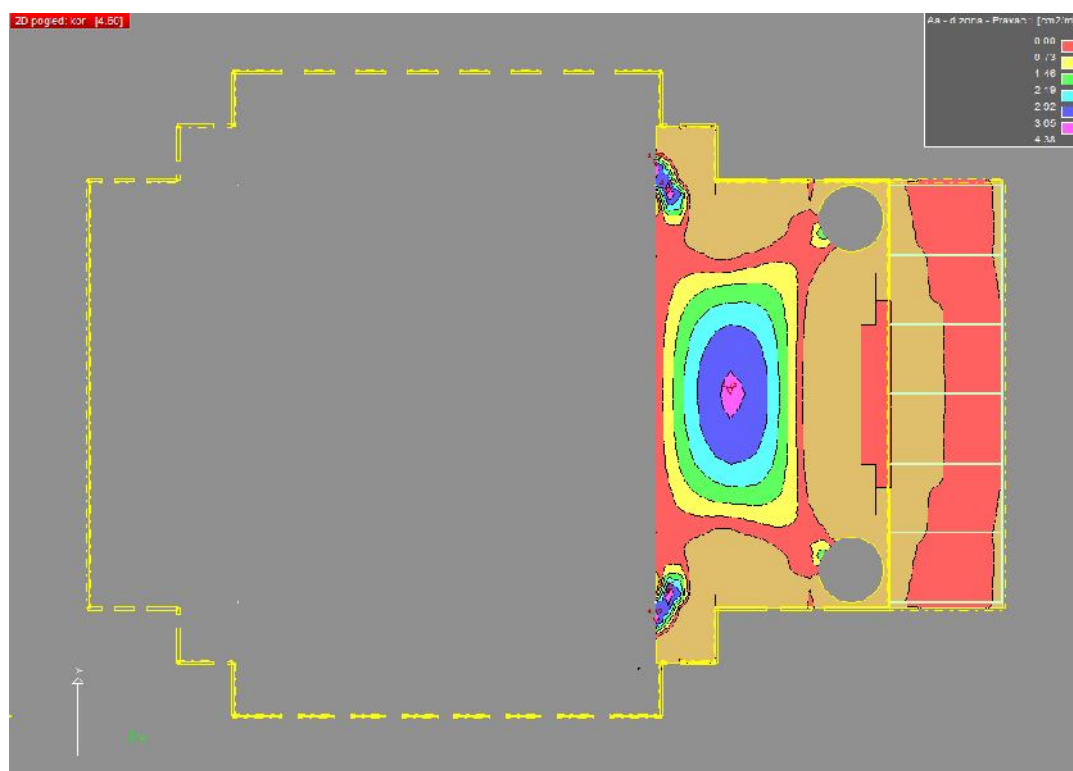
Programski paket Tower 6.0 omogu uje praviti sve kombinacije optere enja.



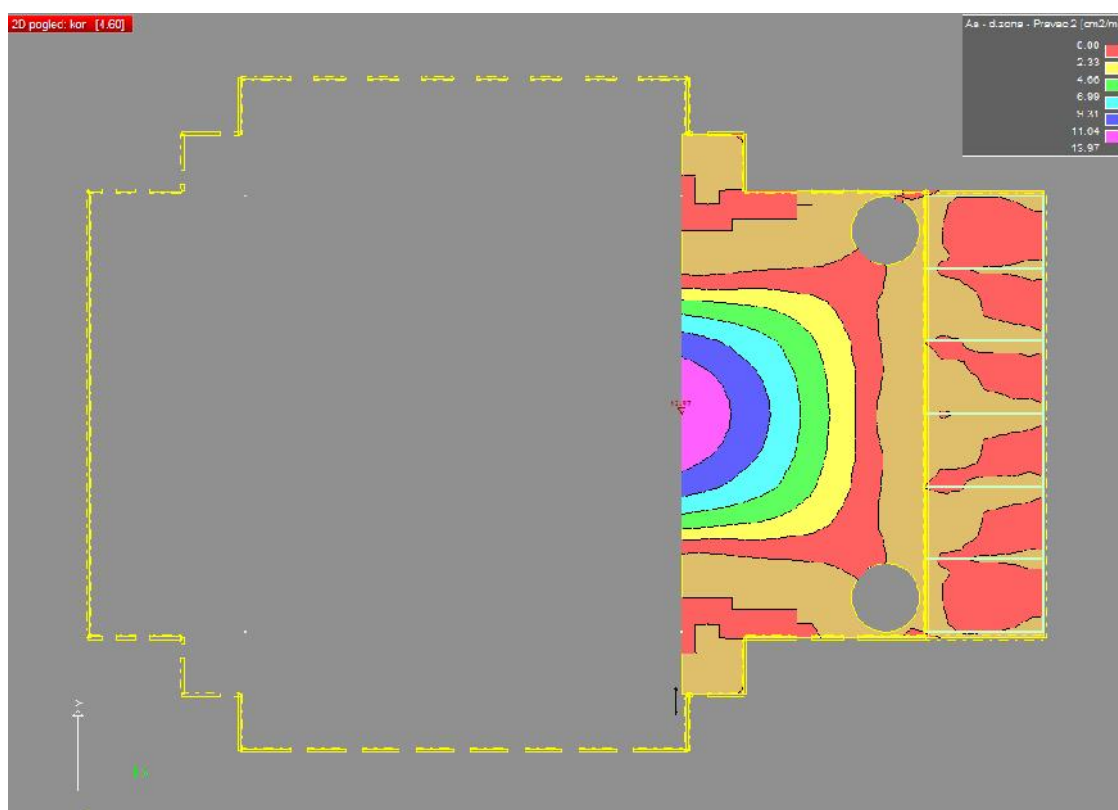
Slika 8. Prikaz napona u tlu – crkva



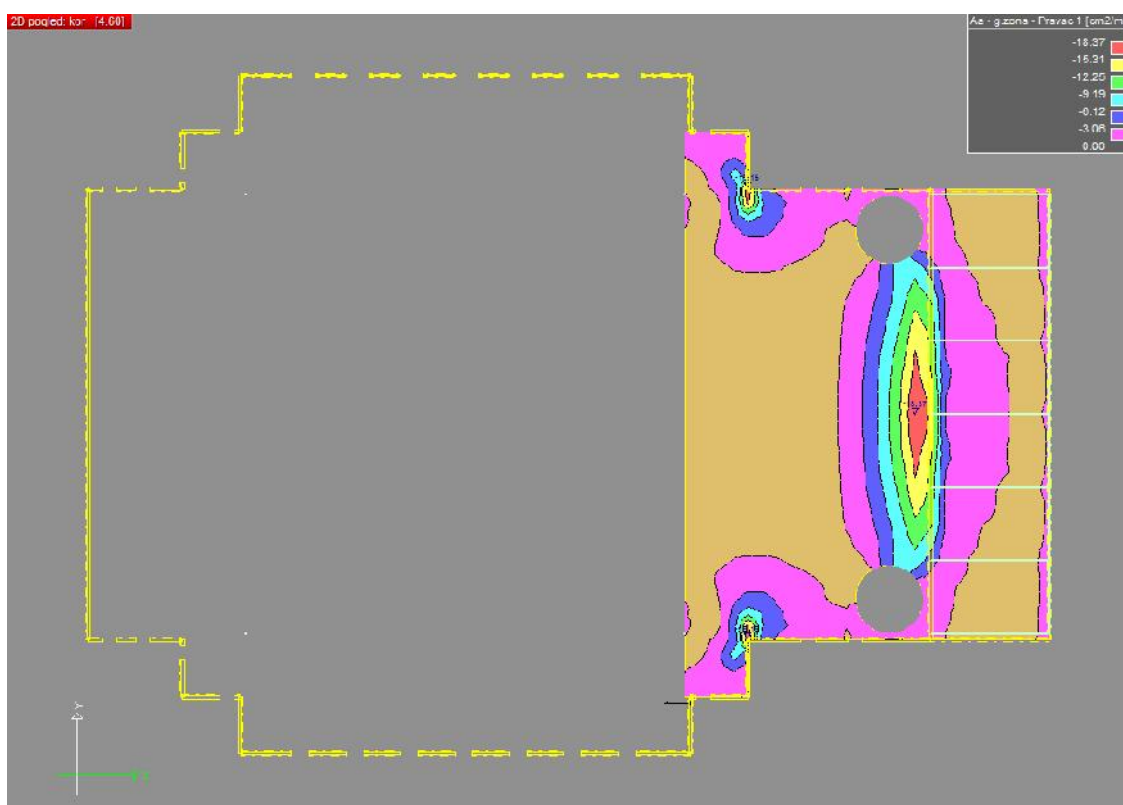
Slika 9. Prikaz napona u tlu - zvonik



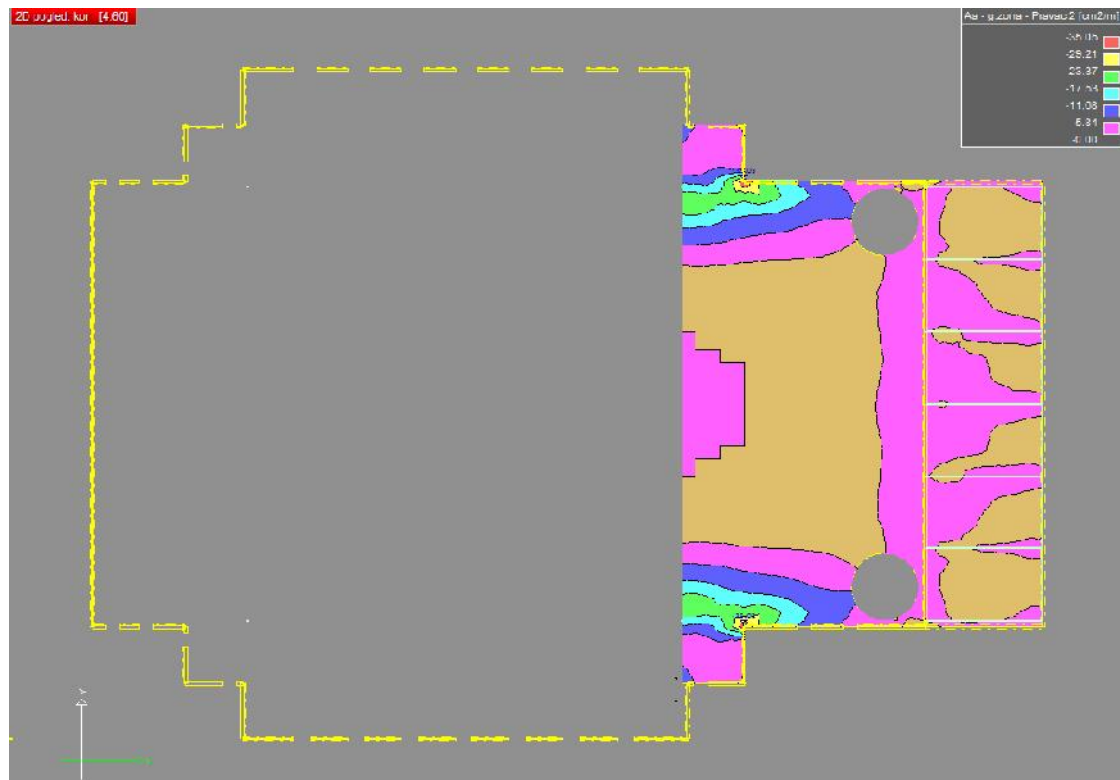
Slika 10. Potrebna armatura, plo a kora, pravac 1,dz



Slika 11. Potrebna armatura, plo a kora, pravac 2,dz



Slika 12. Potrebna armatura, plo a kora, pravac 1,gz



Slika 13. Potrebna armatura, ploča kora, pravac 2,gz

4. UGRA ENI MATERIJALI

- Beton C 25/30 ugra en je u temeljnu konstrukciju, me ukatne ploče, stubišta i armiranobetonске zidove.
- Armatura: S500H ugra ena u površinske i linijske elemente
MA 500/560 ugra ena u površinske elemente

5. PRAVILNICI I PROPISI

Proračun konstrukcije izvršen je prema propisima:

- Eurocode 1_Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije
- Eurocode 2_Projektiranja betonskih konstrukcija
- Eurocode 8_Projektiranje seizmički otpornih konstrukcija

6. PROGRAM KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE

BETON (projekt betona):

- kontrola proizvodnje betona
- ispitivanje proizvodnje sposobnosti tvornice betona
- ispitivanje komponenata betona



- ispitivanje svježeg betona
- ispitivanje o vrslog betona
- dokaz kakvo e betona
- na ina transportta i ugradnje betona
- plan betoniranja organizacija i oprema

ARMATURA

Kontrola kvalitete armature obuhvata :

- kontrolu mrežaste armature
- kontrolu rebraste armature

Gore navedene kontrole kvalitete materijala provesti prema Eurocode 2 i važe im standardima.

LITERATURA

1. Igor Gukov, Betonske konstrukcije I, Zagreb, 2010.
2. Ivan Tomić, Betonske konstrukcije, DHGK, Zagreb, 1996.
3. Vahid Hasanović, Proračun i konstrukcija: EC_2, GF Sarajevo
4. Jure Radi i suradnici, Betonske konstrukcije, Građevine
5. EC8: Projektiranje seizmičkih otpornih konstrukcija

Računalni programi

- AutoCAD 2007
- ArmCAD 2005
- TOWER 3D MODEL BUILDER 6.0