

# Proračun i dimenzioniranje AB zgrade zidnog konstrukcijskog sustava

---

Ćosić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:014589>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Luka Ćosić**

**Proračun i dimenzioniranje AB zgrade zidnog konstrukcijskog  
sustava**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Diplomski sveučilišni studij  
Konstrukcije  
Betonske i zidane konstrukcije 1**

**Luka Ćosić  
JMBAG: 0114032736**

**Proračun i dimenzioniranje AB zgrade zidnog konstrukcijskog  
sustava**

**Diplomski rad**

**Rijeka, rujan 2023.**

## **IZJAVA**

Diplomski rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Luka Ćosić

U Rijeci, 4. rujna 2023.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Paulu Šćulcu na mentorstvu, pomoći te prenesenim znanjima i vještinama pri izradi završnog rada.

Hvala mojoj obitelji na podršci i razumijevanju tijekom studiranja.

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu proveden je statički proračun i dimenzioniranje armiranobetonske zgrade koja se nalazi na području grada Rijeke. Zgrada je stambene namjene te se sastoji od prizemlja, 5 katova i ravnog krova tlocrtnih dimenzija 17,0 x 29,0 m, visine 18,0 m. Osnovni nosivi sustav zgrade sastoji se od zidova. Analiza konstrukcije provedena je u računalnom programu „STAAD.Pro“. Proračun potresne otpornosti zgrade proveden je modalnim proračunom primjenom spektra odziva uz zadovoljenje kriterija proračuna prema sposobnosti nosivosti i lokalne duktilnosti elemenata u skladu s normom HRN EN 1998-1. Za sve dimenzionirane elemente izrađeni su nacrti armiranja s pripadajućim iskazima armature.

*Ključne riječi: armiranobetonska zgrada, zidni konstrukcijski sustav, potresna otpornost, proračun sposobnosti nosivosti, lokalna duktilnost*

## **ABSTRACT**

This final year project presents structural analysis and design of a reinforced concrete building located in Rijeka. The building is for residential use and consists of a ground floor, 5 storeys above and a flat roof with ground-floor dimensions of 17,0 x 29,0 m and a height of 18,0 m. The structure is modeled as a wall structural system, and the analysis of the structure is carried out in the computer program "STAAD.Pro". Seismic design and verification of the seismic resistance of the reinforced concrete building is carried out by using modal response spectrum analysis while satisfying the design criteria according to the capacity design method and local ductility of the structure in accordance with the standard norm HRN EN 1998-1. Reinforcement plans have been made for the designed structural elements.

*Keywords: reinforced concrete building, wall structural system, seismic resistance, capacity design method, local ductility*

## SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS.....	1
1.1. Općenito.....	1
1.2. Lokacija i opterećenja .....	2
1.3. Materijali .....	2
1.4. Preliminarne dimenzije nosivih elemenata konstrukcije .....	3
2. ANALIZA OPTEREĆENJA .....	5
2.1. Opterećenje snijegom.....	5
2.2. Opterećenje vjetrom .....	5
2.3. Potresno opterećenje .....	10
2.4. Opterećenje krova .....	11
2.5. Opterećenje stropa.....	12
2.6. Opterećenje stubišta.....	13
3. Numerički model konstrukcije.....	14
3.1. Općenito.....	14
3.2. Raspodjela uporabnog opterećenja .....	14
3.3. Proračunska (sudjelujuća) širina pojasnica .....	17
3.3.1. Sudjelujuća širina središnje grede POZ. 110.....	17
3.3.2. Sudjelujuća širina rubne grede POZ. 107 .....	18
4. Proračun međukatne konstrukcije.....	20
4.1. Proračun statičke visine .....	20
4.2. Dimenzioniranje donje zone.....	22
4.3. Dimenzioniranje gornje zone .....	25
4.4. Kontrola nosivosti na proboj.....	30
4.5. Duljine prijeklopa mreži i sidrenja dodatnih šipki .....	37
5. Potresno djelovanje na konstrukciju.....	40
5.1. Općenito.....	40
5.2. Zadavanje masa i krutosti.....	40
5.3. Broj vlastitih oblika vibracija (tonova) .....	42
5.4. Proračunski spektar odziva .....	43



5.4.1. Faktor ponašanja .....	44
5.4.2. Horizontalna komponenta proračunskog spektra odziva .....	45
5.4.3. Proračun osnovnog perioda osciliranja .....	46
5.5. Provjera međukatnih pomaka .....	49
5.6. Slučajni torzijski učinci .....	51
6. Dimenzioniranje zidova .....	55
6.1. Dimenzioniranje zida Z1 .....	55
6.2. Dimenzioniranje zida Z2 T-presjeka .....	66
6.2.1. Dimenzioniranje hrpta .....	68
6.2.2. Dimenzioniranje pojasnice .....	69
6.2.3. Dimenzioniranje na poprečne sile .....	69
7. Dimenzioniranje greda POZ. 107 i POZ. 109 .....	72
7.1. Dimenzioniranje greda na momente savijanja .....	72
7.1.1. Lijevi oslonac POZ. 107 .....	73
7.1.2. Polje POZ. 107 .....	74
7.1.3. Oslonac POZ. 107-109 .....	74
7.1.4. Polje POZ. 109 .....	75
7.1.5. Desni oslonac POZ. 109 .....	75
7.2. Dimenzioniranje grede na poprečne sile prema sposobnosti nosivosti .....	77
8. Dimenzioniranje stupa POZ. III/100 .....	85
8.1. Provjera graničnog stanja nosivosti .....	88
8.2. Dimenzioniranje stupa na poprečne sile prema sposobnosti nosivosti .....	91
10. ZAKLJUČAK .....	96
11. LITERATURA .....	98
12. NACRTI .....	99

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za vertikalne zidove.....	7
Tablica 2. Tlak vjetra na vanjske i unutarnje površine .....	8
Tablica 3. Rezultantni tlak vjetra na vertikalne zidove.....	8
Tablica 4. Vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za ravni krov zgrade.....	9
Tablica 5. Tlak vjetra na vanjske i unutarnje površine .....	10
Tablica 6. Rezultantni tlak vjetra na ravni krov.....	10
Tablica 7. Stalno opterećenje krova.....	11
Tablica 8. Stalno opterećenje ploča.....	12
Tablica 9. Stalno opterećenje stubišnog kraka.....	13
Tablica 10. Stalno opterećenje podestne ploče.....	13
Tablica 11. Horizontalna komponenta proračunskog spektra odziva .....	45
Tablica 12. Ukupna proračunska površina nosivih zidova u X smjeru .....	47
Tablica 13. Ukupna proračunska površina nosivih zidova u Z smjeru .....	47
Tablica 14. Provjera ograničenje međukatnog pomaka .....	50
Tablica 15. Težina masa konstrukcije u potresu .....	52
Tablica 16. Proračunski momenti savijanja i proračunska uzdužna armatura po presjecima zida Z1.....	59
Tablica 17. Proračunske poprečne sile i odabrana poprečna armatura po presjecima zida Z1.....	63

## POPIS SLIKA

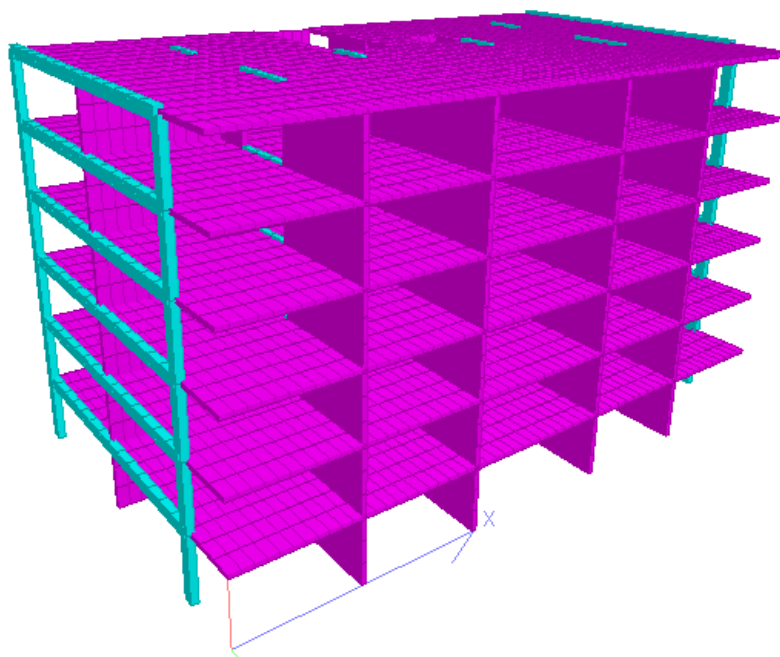
Slika 1. Aksonometrijski prikaz modela u računalnom programu "Staad.Pro" .....	1
Slika 2. Vjetrovne zone vertikalnih zidova zgrade .....	7
Slika 3. Vjetrovne zone ravnog krova zgrade .....	9
Slika 4. Slojevi neprohodnog krova zgrade .....	11
Slika 5. Slojevi ploča zgrade .....	12
Slika 6. Slojevi stubišta .....	13
Slika 7. Shema pozicija .....	15
Slika 8. Slučaj raspodjele 1 i 2 .....	15
Slika 9. Slučaj raspodjele 3 i 4 .....	15
Slika 10. Slučaj raspodjele 5 i 6 .....	16
Slika 11. Slučaj raspodjele 7 i 8 .....	16
Slika 12. Slučaj raspodjele 9 i 10 .....	16
Slika 13. Slučaj raspodjele 11 .....	16
Slika 14. Poprečni presjek središnje grede POZ. 110 .....	17
Slika 15. Poprečni presjek rubne grede POZ. 107 .....	18
Slika 16. Statičke visine donje zone ploče .....	21
Slika 17. Statičke visine gornje zone ploče .....	21
Slika 18. Prikaz momenta savijanja u donjoj zoni za X smjer .....	22
Slika 19. Prikaz potrebne proračunske armature u donjoj zoni za X smjer .....	22
Slika 20. Prikaz momenta savijanja u donjoj zoni za Y smjer .....	23
Slika 21. Prikaz potrebne proračunske armature u donjoj zoni za Y smjer .....	23
Slika 22. Prikaz momenta savijanja u gornjoj zoni za X smjer .....	26
Slika 23. Prikaz potrebne proračunske armature u gornjoj zoni za X smjer .....	26
Slika 24. Prikaz momenta savijanja u gornjoj zoni za Y smjer .....	27
Slika 25. Prikaz potrebne proračunske armature u gornjoj zoni za Y smjer .....	27
Slika 26. Rubni stupovi za kontrolu nosivosti na proboj .....	30
Slika 27. Vrijednosti uzdužnih sila u stupovima za kontrolu nosivosti na proboj .....	30
Slika 28. Područja armiranja najmanjim momentima savijanja po jedinici širine $m_{Ed, z}$ i $m_{Ed, y}$ [5] .....	31
Slika 29. Model za provjeru nosivosti na proboj s kontrolnim presjecima .....	32
Slika 30. Kontrolni opseg $u_{out}$ , $e_f$ kod kojega poprečna armatura nije potrebna .....	36
Slika 31. Armatura protiv progresivnog sloma .....	37
Slika 32. Horizontalna komponenta proračunskog spektra odziva .....	46
Slika 33. Prvi ton - translacija zgrade X smjeru ( $T=0,48s$ ) .....	48
Slika 34. Treći ton - translacija zgrade Z smjeru ( $T=0,25s$ ) .....	48
Slika 35. Katni pomak konstrukcijskog sustava prouzročen potresnim djelovanjem .....	50
Slika 36. Međukatni pomaci katova u odnosu na graničnu vrijednost .....	50
Slika 37. Raspored masa "m" na visini "z" .....	52
Slika 38. Raspodjela momenta torzije od slučajnih torzijskih učinaka na zidove u dva smjera .....	54
Slika 39. Normalno naprezanje u vertikalnom smjeru zida za mjerodavnu potresnu proračunsku kombinaciju .....	55
Slika 40. Poprečni presjek zida .....	58
Slika 41. Proračunska ovojnica momenata savijanja za zid Z1 .....	59

Slika 42. Tangencijalno naprezanje u zidu za mjerodavnu potresnu proračunsku kombinaciju.....	60
Slika 43. Poprečni presjek rubnog elementa zida i raspored armature .....	64
Slika 44. Pozicije potrebne proračunske armature u zidu Z2 u računalnom programu "Gala Reinforcment" .....	66
Slika 45. Normalno naprezanje u vertikalnom smjeru zida za mjerodavnu potresnu proračunsku kombinaciju .....	67
Slika 46. Proračunska armatura zida Z2 u računalnom programu "Gala Reinforcment" .....	67
Slika 47. Provjera nosivosti presjeka za odabranu armaturu.....	68
Slika 48. Tangencijalno naprezanje u zidu za mjerodavnu potresnu proračunsku kombinaciju.....	70
Slika 49. Anvelopa momenta savijanja za grede POZ. 107 i POZ.109 (stalna+potresne kombinacije djelovanja) .....	72
Slika 50. Poprečni presjek grede na osloncu.....	73
Slika 51. Opterećenje grede .....	77
Slika 52. Opterećenje grede .....	79
Slika 53. Proračunske vrijednosti poprečnih sila greda u Staad.Pro-u.....	80
Slika 54. Područje grede uz lijevi oslonac s proračunskom poprečnom armaturom.....	82
Slika 55. Područje grede uz desni oslonac s proračunskom poprečnom armaturom.....	82
Slika 56. Dimenzije stupova i grede .....	85
Slika 57. Poprečni presjek stupa .....	88
Slika 58. Poprečne sile u stupu pri proračunu sposobnosti nosivosti .....	91
Slika 59. Poprečni presjek stupa i raspored armature .....	94

# 1. TEHNIČKI OPIS

## 1.1. Općenito

Stambena armiranobetonska zgrada je pravokutnog tlocrtnog oblika dimenzija 17,0x29,0 m te se sastoji od ukupno 6 etaža (prizemlje + 5), što joj daje ukupnu visinu od 18,0 m. Visina svih katova iznosi 3,0 m, dok svijetla visina iznosi 2,80 m. Na vrhu se nalazi ravni neprohodni krov. Nosivu konstrukciju zgrade čini armiranobetonski zidni sustav (vertikalna i horizontalna opterećenja uglavnom se preuzimaju vertikalnim nosivim zidovima), te armiranobetonska ploča kao stropna konstrukcija. U kutevima zgrade nalaze se stupovi, dok se u poprečnom smjeru iznad otvora u zidovima nalaze grede koje ih povezuju. Stropna konstrukcija se izvodi kao bezgredni ravni strop koja se oslanja direktno na zidove, a samo na pojedinim mjestima na grede. Predviđa se izvedba temeljnih traka ispod zidova te temelja samaca ispod stupova.



Slika 1. Aksonometrijski prikaz modela u računalnom programu "Staad.Pro"

## 1.2. Lokacija i opterećenja

Građevina se nalazi na području grada Rijeka. Sukladno važećim propisima građevina prema geografskom položaju spada u I. snježnu zonu (priobalje i otoci) [3], te u III. kategoriju terena uz osnovnu brzinu vjetra od 30 m/s [4].

Za područje grada Rijeke poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla  $a_{gr}$ , za temeljno tlo tipa A, s vjerojatnošću premašaja 10% u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje potresa  $T_{NCR} = 475$  godina iznosi 0,20g [7].

## 1.3. Materijali

Armiranobetonski elementi konstrukcije izvode se od betona razreda C30/37. Za sve elemente konstrukcije koristi se čelik za armiranje B500B, u obliku rebrastih šipki ili mreža.

Beton C30/37

Karakteristična tlačna čvrstoća:  $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

Srednja osna vlačna čvrstoća:  $f_{ctm} = 2,9 \text{ N/mm}^2$

Modul elastičnosti:  $E_c = 33000 \text{ N/mm}^2$

Gustoća:  $\rho = 25 \text{ kN/m}^2$

Koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj dugotrajnog opterećenja na tlačnu čvrstoću betona i ostali nepovoljni utjecaji:  $\alpha_{cc} = 1$

Parcijalni koeficijent za beton:  $\gamma_c = 1,5$

Proračunska tlačna čvrstoća:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{30}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$$

Čelik za armiranje B500B

Karakteristična granica popuštanja:  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

Parcijalni koeficijent za čelik za armiranje:  $\gamma_s = 1,15$

Proračunska granica popuštanja:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ N/mm}^2$$

#### 1.4. Preliminarne dimenzije nosivih elemenata konstrukcije

##### Debljina ploča

Krajnji raspon:  $h_p = \frac{l_{eff}}{30} = \frac{550}{30} = 18,33 \rightarrow 20 \text{ cm}$

Srednji raspon:  $h_p = \frac{l_{eff}}{30} = \frac{700}{30} = 23,33 \rightarrow 20 \text{ cm}$

##### Dimenzije greda

POZ 107:  $h = \frac{l_{eff}}{15} = \frac{700}{15} = 46,67 \rightarrow 50 \text{ cm}$      $b = \frac{1}{2} \cdot 50 = 25,00 \rightarrow 30 \text{ cm}$

POZ 108:  $h = \frac{l_{eff}}{15} = \frac{200}{15} = 13,33 \rightarrow 40 \text{ cm}$      $b = \frac{1}{2} \cdot 40 = 20,00 \text{ cm}$

POZ 109:  $h = \frac{l_{eff}}{15} = \frac{700}{15} = 46,67 \rightarrow 50 \text{ cm}$      $b = \frac{1}{2} \cdot 50 = 25,00 \rightarrow 30 \text{ cm}$

POZ 110:  $h = \frac{l_{eff}}{15} = \frac{300}{15} = 20,00 \rightarrow 40 \text{ cm}$      $b = \frac{1}{2} \cdot 40 = 20,00 \text{ cm}$

POZ 111:  $h = \frac{l_{eff}}{15} = \frac{200}{15} = 13,33 \rightarrow 40 \text{ cm}$      $b = \frac{1}{2} \cdot 40 = 20,00 \text{ cm}$

##### Dimenzije stupova

I/100:  $h = 0,8 \cdot h_{grede} = 0,8 \cdot 50 = 40 \rightarrow 50 \text{ cm}$      $b = b_{grede} = 30 \text{ cm}$

II/100:  $h = 0,8 \cdot h_{grede} = 0,8 \cdot 50 = 40 \rightarrow 50 \text{ cm}$      $b = b_{grede} = 30 \text{ cm}$

##### Debljina zidova

$$b_{w0} = \max \left\{ \frac{15 \text{ cm}}{h_s} \right\} = \max \left\{ \frac{15}{\frac{300 - 20}{20}} \right\} = \max \left\{ \frac{15}{14} \right\} = 15 \text{ cm}$$

$$b_w = \max \left\{ \frac{20 \text{ cm}}{\frac{h_s}{15}} \right\} = \max \left\{ \frac{20}{\frac{300 - 20}{15}} \right\} = \max \left\{ \frac{15}{18,67} \right\} = 18,67 \text{ cm}$$

$$b_{w0} = b_w = 20 \text{ cm}$$

### Dimenzije stubišta

$$v_k = \frac{h}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ cm}$$

Broj stuba:  $n = \frac{v_k}{18} = \frac{150}{18} = 8,33 \rightarrow 10$

Visina stube:  $s = \frac{v_k}{10} = \frac{150}{10} = 15 \text{ cm}$

Duljina stube:  $a = 63 - 2 \cdot s = 63 - 2 \cdot 15 = 33 \text{ cm}$



## 2. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 2.1. Opterećenje snijegom

Opterećenje od snijega na krov:

$$s = s_k \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t$$

Geografski položaj promatranog objekta: I. snježna zona (priobalje i otoci),  
nadmorska visina  $H \leq 800,00$  m.n.m.

Karakteristično opterećenje snijegom:  $s_k = 0,50$  kN/m<sup>2</sup>

Koeficijent izloženosti:  $C_e = 1,0$

Toplinski koeficijent:  $C_t = 1,0$

Koeficijent oblika opterećenja snijegom (ravni krov,  $\alpha < 30^\circ$ ):  $\mu_i = 0,8$

Opterećenje snijega time iznosi:

$$s = 0,50 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

### 2.2. Opterećenje vjetrom

Geografski položaj promatranog objekta: III. kategorija terena.

Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra:  $v_{b,0} = 30,00$  m/s

Faktor smjera djelovanja vjetra:  $c_{dir} = 1,0$

Faktor godišnjeg doba pojave vjetra:  $c_{season} = 1,0$

Osnovna brzina vjetra:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30 = 30 \text{ m/s}$$

Gustoća zraka:  $\rho_{air} = 1,25$  kg/m<sup>3</sup>

Osnovni pritisak vjetra:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30^2 = 562,5 \text{ Pa} = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

Najmanja visina za III. kategoriju terena:  $z_{\min} = 5 \text{ m}$

Najveća visina:  $z_{\max} = 200 \text{ m}$

Visina objekta:  $z = 18,5 \text{ m}$

$$z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \rightarrow 5 \leq 18,5 \leq 200 \text{ m.n.m.}$$

Duljina hrapavosti za III. kategoriju terena:  $z_0 = 0,3 \text{ m}$

Duljina hrapavosti za II. kategoriju terena:  $z_0 = 0,05 \text{ m}$

Faktor terena:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

Faktor hrapavosti terena:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{18,5}{0,3}\right) = 0,89$$

Faktor orografije:  $c_o(z) = 1,0$

Srednja brzina vjetra:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,89 \cdot 1,0 \cdot 30 = 26,70 \text{ m/s}$$

Faktor turbulencije:  $k_I = 1,0$

Intezitet turbulencije vjetra:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{18,5}{0,3}\right)} = 0,24$$

Vršni pritisak brzine:

$$q_p = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot v_m(z)^2$$

$$q_p = [1 + 7 \cdot 0,24] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 26,70^2 = 1194,09 \text{ Pa} = 1,19 \text{ kN/m}^2$$

Faktor izloženosti:

$$C_e(z) = \frac{q_p}{q_b} = \frac{1,19}{0,56} = 2,13$$

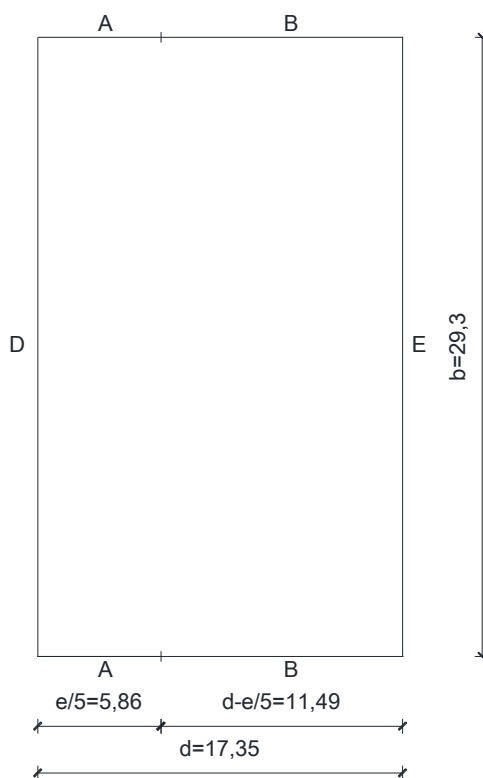
## Djelovanje vjetra na zidove zgrade

Osnovni podaci:

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(29,30; 2 \cdot 18,5) = \min(29,30; 37,00) = 29,30 \text{ m}$$

Raspodjela vjetrovnih zona za uvjet:  $e > d = 29,30 < 17,35 \text{ m}$ .

Slika 2 prikazuje vjetrovne zone vertikalnih zidova zgrade.



Slika 2. Vjetrovne zone vertikalnih zidova zgrade

Tlak vjetra koji djeluje na vanjske površine:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada određen je za odnos  $h/d = 18,5/17,35 = 1,06 \sim 1,00$  prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove

Zona	A	B	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	+0,8	-0,5

Tlak vjetra koji djeluje na unutarnje površine:

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

Vrijednosti koeficijenta unutarnjeg tlaka za vertikalne zidove iznosi:

$c_{pi} = 0,20$  za pozitivan unutarnji tlak;

$c_{pi} = -0,30$  za negativan unutarnji tlak

Tlak vjetra koji djeluje na vanjske i unutarnje površine prikazan je u Tablici 2.

Tablica 2. Tlak vjetra na vanjske i unutarnje površine

Zona	A	B	D	E
$w_e$	-1,44	-0,96	0,96	-0,60
$w_i(+)$	0,24	0,24	0,24	0,24
$w_i(-)$	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36

Rezultantni tlak vjetra:

$$w = w_e - w_i$$

Rezultantni tlak vjetra na vertikalne zidove prikazan je u Tablici 3.

Tablica 3. Rezultantni tlak vjetra na vertikalne zidove

Zona	A	B	D	E
$w = w_e - w_i(+)$	-1,67	-1,20	0,72	-0,84
$w = w_e - w_i(-)$	-1,08	-0,60	1,32	-0,24

### Djelovanje vjetra na krov zgrade

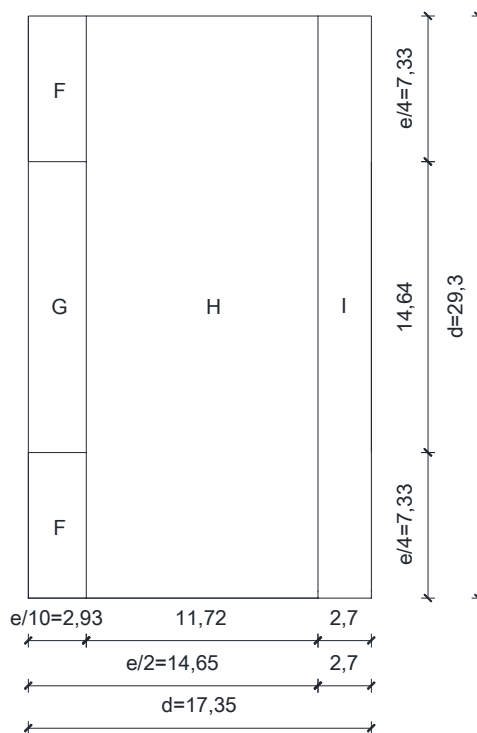
Osnovni podaci:

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(29,30; 2 \cdot 18,5) = \min(29,30; 37,00) = 29,30 \text{ m}$$

Raspodjela vjetrovnih zona za uvjet:  $e > d = 29,30 < 17,35 \text{ m}$

$\alpha = 0^\circ$  (vjetrovne zone za ravni krov)

Slika 3 prikazuje vjetrovne zone ravnog krova zgrade.



Slika 3. Vjetrovne zone ravnog krova zgrade

Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vrstu ravnog krova s nadozidom od 0,5 m određen je za odnos  $h_p/h = 0,5/18,5 = 0,023 \sim 0,025$  prikazani su u Tablici 4.

Tablica 4. Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za ravni krov zgrade

Zona	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,60	-1,10	-0,70	0,20
				-0,60

Vrijednosti koeficijenta unutarnjeg tlaka za ravni krov iznosi:

$c_{pi} = 0,20$  za pozitivan unutarnji tlak;

$c_{pi} = -0,30$  za negativan unutarnji tlak

Tlak vjetra koji djeluje na vanjske i unutarnje površine prikazan je u Tablici 5.

Tablica 5. Tlak vjetra na vanjske i unutarnje površine

Zona	F	G	H	I
w <sub>e</sub>	-1,91	-1,32	-0,84	0,24
				-0,72
w <sub>i</sub> (+)	0,24	0,24	0,24	0,24
w <sub>i</sub> (-)	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36

Rezultantni tlak vjetra na ravni krov prikazan je u Tablici 6.

Tablica 6. Rezultantni tlak vjetra na ravni krov

Zona	F	G	H	I
w=w <sub>e</sub> -w <sub>i</sub> (+)	-2,15	-1,56	-1,08	0,00
				-0,96
w=w <sub>e</sub> -w <sub>i</sub> (-)	-1,56	-0,96	-0,48	0,60
				-0,36

Djelovanje vjetra na ravni krov je pretežito odižuće, pa se u nastavku zanemaruje.

### 2.3. Potresno opterećenje

Poredbeno vršno ubrzanje tla  $a_{gr}$ , za temeljno tlo tipa A, s vjerojatnošću premašaja 10% u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje potresa  $T_{NCR} = 475$  godina, za područje grada Rijeke iznosi 0,20g. Razredi važnosti  $\gamma_I$  za obične zgrade koje ne pripadaju drugim kategorijama iznosi 1,0 [6].

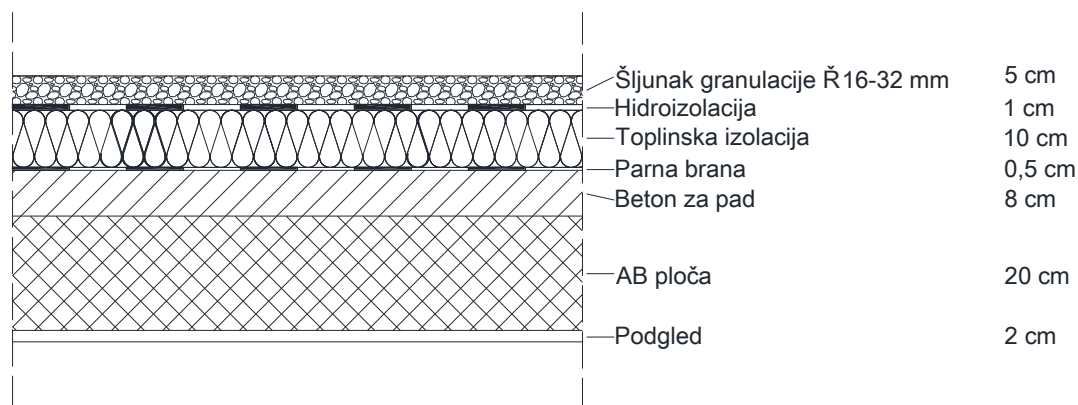
Proračunsko ubrzanje na temeljnom tlu tipa A:

$$a_g = a_{gr} \cdot \gamma_I$$

$$a_g = 0,20 \cdot 1,0 = 0,20g$$

## 2.4. Opterećenje krova

Na slici 4 prikazani su slojevi neprohodnog ravnog krova zgrade, a u tablici 7 prikazan je izračun težine krova po m<sup>2</sup>.



Slika 4. Slojevi neprohodnog krova zgrade

Tablica 7. Stalno opterećenje krova

	h [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$h \cdot \gamma$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Šljunak granulacije $\emptyset$ 16-32 mm	0,05	18,00	0,90
Hidroizolacija + parna brana	0,015	20,00	0,30
Toplinska izolacija	0,10	0,40	0,04
Beton za pad	0,08	21,00	1,68
AB ploča	0,20	25,00	5,00
Podgled (vapnena žbuka)	0,02	19,00	0,38

$$\Sigma = 8,30$$

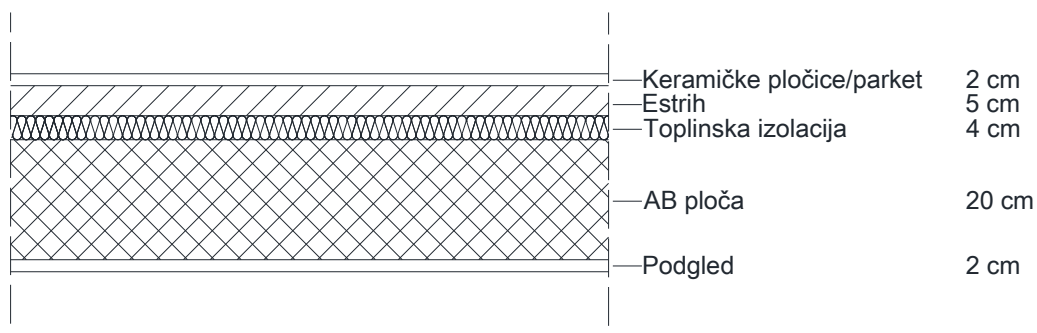
$$g + \Delta g = 5,00 + 3,30$$

Vlastita težina krova, odnosno AB ploče iznosi  $g=5,00$  kN/m<sup>2</sup> te će ona biti automatski definirana u računalnom programu Staad.Pro, dok će ostalo (dodatno) stalno djelovanje krova biti dodano u iznosu  $\Delta g = 3,30$  kN/m<sup>2</sup>.

Uporabno opterećenje za ravne neprohodne krovove kategorije H iznosi  $q_k=0,60$  kN/m<sup>2</sup> [2].

## 2.5. Opterećenje stropa

Na slici 5 prikazani su slojevi ploča zgrade, a u tablici 8 prikazan je izračun težine ploča po m<sup>2</sup>.



Slika 5. Slojevi ploča zgrade

Tablica 8. Stalno opterećenje ploča

	h [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$h \cdot \gamma$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramičke pločice/parket	0,02	24,00	0,48
Estrih	0,05	21,00	1,05
Toplinska izolacija	0,04	0,40	0,02
AB ploča	0,20	25,00	5,00
Podgled (vapnena žbuka)	0,02	19,00	0,38
Pregradni zidovi s vlastitom težinom $g \leq 1,0$ kN/m			0,50

$$\Sigma = 7,43$$

$$g + \Delta g = 5,00 + 2,50$$

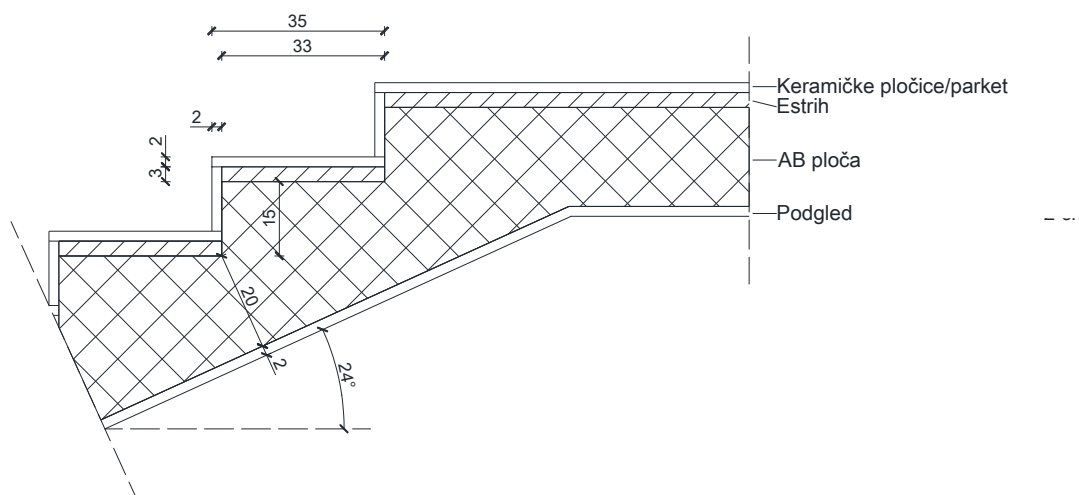
Vlastita težina AB ploča iznosi  $g=5,00$  kN/m<sup>2</sup> te će ona biti automatski definirana u računalnom programu Staad.Pro, dok će ostalo (dodatno) stalno djelovanje stropa biti dodano u iznosu  $\Delta g = 2,50$  kN/m<sup>2</sup>.

Uporabno opterećenje za stropove zgrada kategorije A stambene namjene iznosi  $q_k=2,00$  kN/m<sup>2</sup> [2].



## 2.6. Opterećenje stubišta

Na slici 6 prikazani su slojevi stubišta, u tablici 9 prikazan je izračun težine stubišnih krakova po m<sup>2</sup>, a u tablici 10 prikazan je izračun težine podestne ploče po m<sup>2</sup>.



Slika 6. Slojevi stubišta

Tablica 9. Stalno opterećenje stubišnog kraka

	h [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$h \cdot \gamma$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramičke pločice nagazne površine	0,02	24,00	0,48
Keramičke pločice vertikalne gazišta stubišta	0,02	24,00	$h \cdot \gamma \cdot (0,15/0,33) = 0,22$
Estrih na nagaznoj površini stube	0,03	21,00	0,63
AB stuba	0,15	24,00	$(h/2) \cdot \gamma = 1,80$
AB ploča	0,20	25,00	$h \cdot \gamma / \cos(24) = 5,47$
Pogled (vapnena žbuka)	0,02	19,00	$h \cdot \gamma / \cos(24) = 0,40$
		$\Sigma (g + \Delta g) =$	5,50 + 3,50 = 9,00

Tablica 10. Stalno opterećenje podestne ploče

	h [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$h \cdot \gamma$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Keramičke pločice	0,02	24,00	0,48
Estrih	0,03	21,00	0,63
AB ploča	0,20	25,00	5,00
Pogled (vapnena žbuka)	0,02	19,00	0,38
		$\Sigma (g + \Delta g) =$	5,00 + 1,50 = 6,50

Uporabno opterećenje za stubišta i stubišne podeste iznosi  $q_k = 3,00$  kN/m<sup>2</sup> [2].

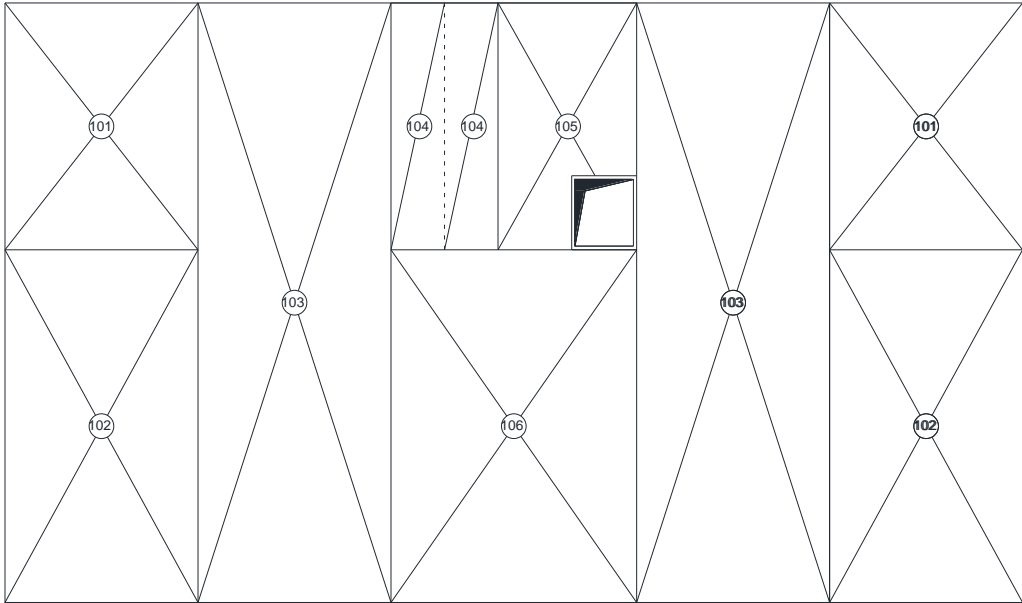
### **3. Numerički model konstrukcije**

#### **3.1. Općenito**

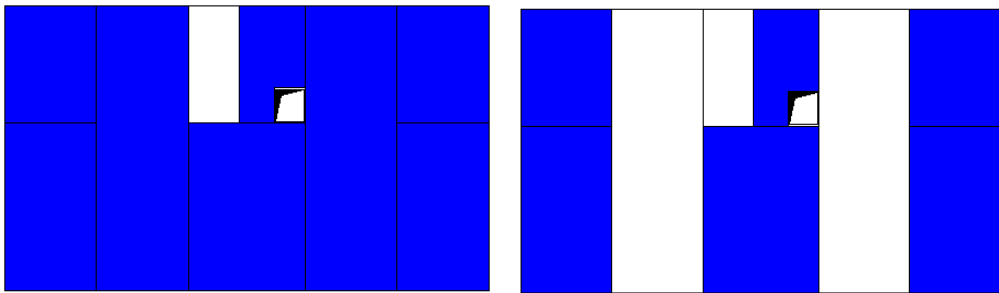
Numerički model izrađen je u računalnom programu „Staad.Pro“. Modelom su obuhvaćeni nosivi zidovi, stupovi, grede i ploče. Stropne ploče i zidovi modelirani su kao 2D elementi, odnosno kao pločasti elementi. Pri proračunu unutarnjih sila u pločama i zidovima korištena je metoda konačnih elemenata, zbog čega je napravljena mreža pločastih elemenata. Grede i stupovi modelirani su kao gredni konačni elementi. Model je opterećen stalnim opterećenjem (vlastita težina konstrukcije i dodatno stalno opterećenje - nekonstruktivni elementi), uporabnim opterećenjem, snijegom i potresnim opterećenjem. Vlastita težina elemenata uključena je u proračun vlastitom naredbom programa, dok su sva ostala opterećenja unesena ručno. Područje stubišta i okna dizala definirano je otvorom, odnosno bez elemenata.

#### **3.2. Raspodjela uporabnog opterećenja**

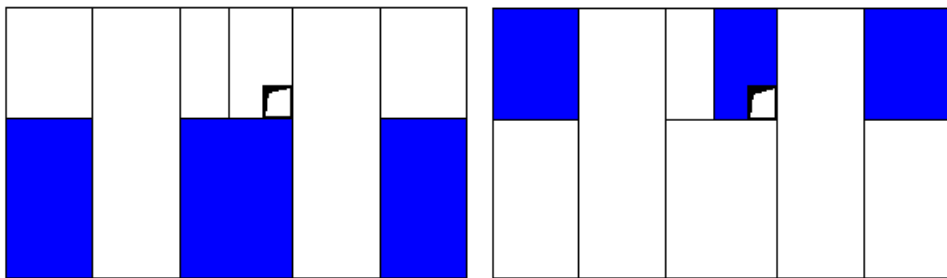
Raspodjela uporabnog opterećenja za proračun međukatne konstrukcije provedena je "šahovskom metodom". Uporabno opterećenje raspodijeljeno je za 11 kombinacija po pozicijama ploča za koje je pretpostavljeno da će rezultirati maksimalnim unutarnjim silama u poljima i na osloncima. Plavom bojom označena su opterećena polja uporabnim opterećenjem, dok su bijelom bojom označena neopterećena polja.



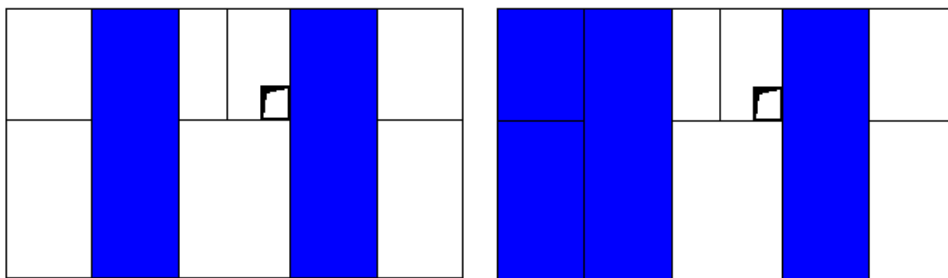
Slika 7. Shema pozicija



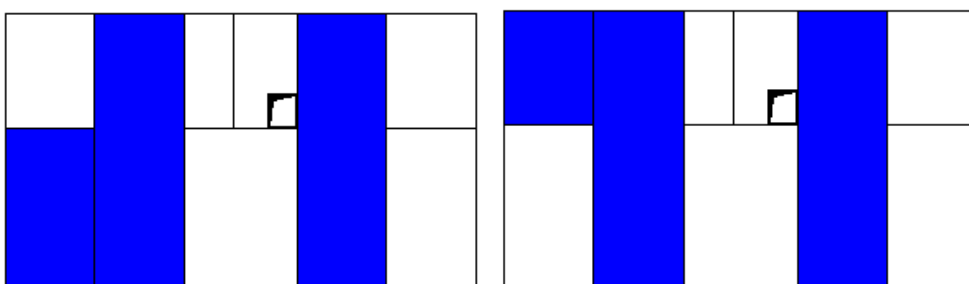
Slika 8. Slučaj raspodjele 1 i 2



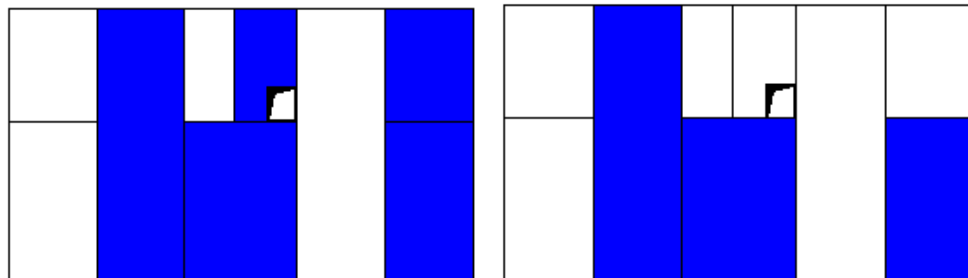
Slika 9. Slučaj raspodjele 3 i 4



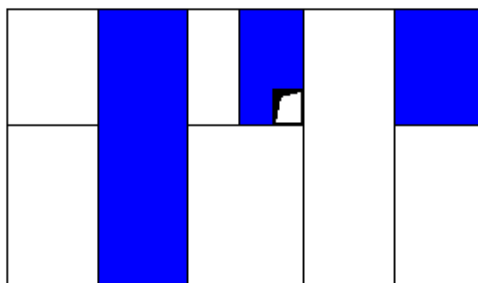
Slika 10. Slučaj raspodjele 5 i 6



Slika 11. Slučaj raspodjele 7 i 8



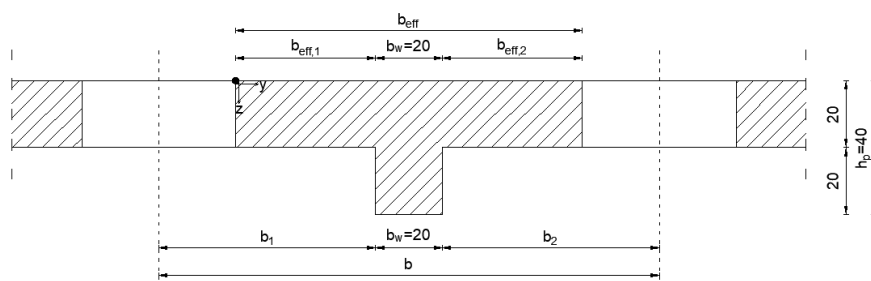
Slika 12. Slučaj raspodjele 9 i 10



Slika 13. Slučaj raspodjele 11

### 3.3. Proračunska (sudjelujuća) širina pojasnica

#### 3.3.1. Sudjelujuća širina središnje grede POZ. 110



Slika 14. Poprečni presjek središnje grede POZ. 110

$$b_1 = \frac{530}{2} = 265 \text{ cm}$$

$$b_2 = \frac{525}{2} = 262,5 \text{ cm}$$

$$b_i \approx b_1 \approx b_2 \approx 264 \text{ cm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$b = b_1 + b + b_2 = 265 + 20 + 262,5 = 547,5 \text{ cm}$$

$$l_0 = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 200 = 140 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \\ 0,2 \cdot l_0 \\ b_i \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \cdot 264 + 0,1 \cdot 140 \\ 0,2 \cdot 140 \\ 264 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 66,8 \\ 28 \\ 264 \end{array} \right\}$$

$$b_{eff,i} = 28 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b + b_{eff,2} = 28 + 20 + 28 = 76 \text{ cm}$$

Težište poprečnog presjeka:

$$y_t = \frac{\sum[A \cdot y]}{\sum A} = \frac{(76 \cdot 20) \cdot 10 + (20 \cdot 20) \cdot 30}{(76 \cdot 20) + (20 \cdot 20)} = 14,17 \text{ cm}$$

Moment tromosti grede:

$$I_{greda} = \frac{76 \cdot 20^3}{12} + 76 \cdot 20 \cdot (14,17 - 10)^2 + \frac{20 \cdot 20^3}{12} + 20 \cdot 20 \cdot (30 - 14,17)^2$$

$$I_{greda} = 190666,69 \text{ cm}^4$$

Moment tromosti ploče:

$$I_{ploča} = \frac{76 \cdot 20^3}{12} = 50666,67 \text{ cm}^4$$

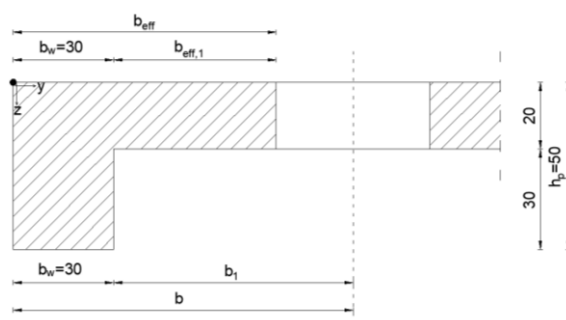
Moment tromosti zamjenske grede:

$$I'_{greda} = I_{greda} - I_{ploča} = 190666,69 - 50666,67 = 140000 \text{ cm}^4$$

Gredama POZ. 108, 110 i 111 se usvaja jednaki zamjenski moment tromosti:

$$I'_{greda} = 140000 \text{ cm}^4$$

### 3.3.2. Sudjelujuća širina rubne grede POZ. 107



Slika 15. Poprečni presjek rubne grede POZ. 107

$$b_1 = \frac{525}{2} = 262,5 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$b = b_1 + b = 262,5 + 30 = 292,5 \text{ cm}$$

$$l_0 = 0,85 \cdot L = 0,85 \cdot 700 = 595 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \\ 0,2 \cdot l_0 \\ b_i \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \cdot 262,5 + 0,1 \cdot 595 \\ 0,2 \cdot 595 \\ 262,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 112 \\ 119 \\ 262,5 \end{array} \right\}$$

$$b_{eff,i} = 112 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b = 112 + 30 = 142 \text{ cm}$$

Težište poprečnog presjeka:

$$y_t = \frac{\sum[A \cdot y]}{\sum A} = \frac{(142 \cdot 20) \cdot 10 + (30 \cdot 30) \cdot 35}{(142 \cdot 20) + (30 \cdot 30)} = 16,02 \text{ cm}$$

Moment tromosti grede:

$$I_{greda} = \frac{142 \cdot 20^3}{12} + 142 \cdot 20 \cdot (16,02 - 10)^2 + \frac{30 \cdot 30^3}{12} + 30 \cdot 30 \cdot (35 - 16,02)^2$$

$$I_{greda} = 589305,70 \text{ cm}^4$$

Moment tromosti ploče:

$$I_{ploča} = \frac{142 \cdot 20^3}{12} = 94666,67 \text{ cm}^4$$

Moment tromosti zamjenske grede:

$$I'_{greda} = I_{greda} - I_{ploča} = 589305,70 - 94666,67 = 494639,04 \text{ cm}^4$$

Gredama POZ. 107 i 109 se usvaja jednaki zamjenski moment tromosti:

$$I'_{greda} = 500000 \text{ cm}^4$$

## 4. Proračun međukatne konstrukcije

Proračun unutarnjih sila stropnih ploča proveden je u računalnom programu "Staad.Pro", dok je proračun armature proveden u računalnom programu "RC" (Reinforced Concrete). Za granično stanje nosivosti pri proračunu stropnih ploča korištena je stalna proračunska kombinacija:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,j} \cdot Q_{k,j}$$

Kao karakteristična vrijednost stalnog djelovanja  $G_{k,j}$  definirana je vlastita težina konstrukcije i dodatno stalno opterećenje - nekonstruktivni elementi. Kao karakteristična vrijednost promjenjivog djelovanja uzeto je u obzir samo uporabno opterećenje, odnosno 11 slučajeva raspodjele uporabnog opterećenja. Parcijalni koeficijent za stalno djelovanje  $\gamma_{G,j}$  iznosi 1,35, a parcijalni koeficijent za promjenjivo djelovanje  $\gamma_{Q,j}$  iznosi 1,50 [1].

U računalnom program RC (Reinforced concrete) definirana je anvelopa koja obuhvaća 11 proračunskih kombinacija na temelju koje je izračunata potrebna proračunska armatura.

### 4.1. Proračun statičke visine

Nazivni zaštitni sloj:

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

Razredi izloženosti konstrukcije u ovisnosti o uvjetima okoliša u skladu s EN 206-1 za suh ili trajno vlažan okoliš, odnosno za beton unutar zgrada s malom vlažnošću zraka je XC1. Preporučeni razred konstrukcije čiji proračunski uporabni vijek iznosi 50 godina je S4. Sukladno normi HRN EN 1992-1-1 [5] preporučeni razred konstrukcije S4 potrebno je smanjiti na S2 zbog uporabe betona razreda C30/37 i zbog elemenata pločaste geometrije.



Najmanji zaštitni sloj s obzirom na uvjete okoliša (trajnost)  $c_{min,dur}$  za razred konstrukcije S2 i razred izloženosti XC1 iznosi 10 mm.

Najmanji zaštitni sloj:

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \emptyset \leq 10 \text{ mm} \\ c_{min,dur} = 10 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 10 \text{ mm}$$

Dodatak debljine zaštitnog sloja za osiguranje odstupanja:  $\Delta c_{min,dev} = 10 \text{ mm}$

$$c_{nom} = 1,0 + 1,0 = 2,0 \text{ cm}$$

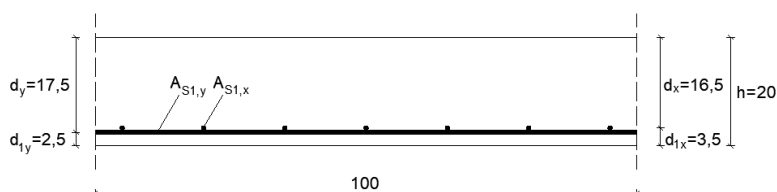
Donja armatura ploča postavlja se u smjeru kraćeg raspona (sve ploče imaju kraći raspon u uzdužnom smjeru):

$$d_{1,y} = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} = 2,0 + \frac{1,0}{2} = 2,5 \text{ cm}$$

$$d_{1,x} = d_{1,y} + \emptyset = 2,5 + 1,0 = 3,5 \text{ cm}$$

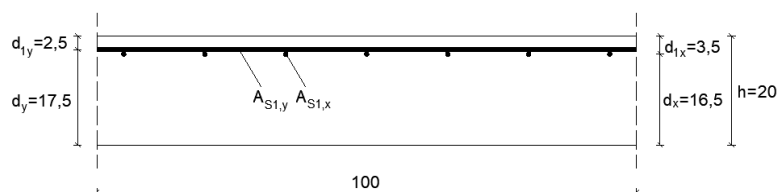
$$d_y = h - d_{1,x} = 20 - 3,5 = 16,5 \text{ cm}$$

$$d_x = h - d_{1,y} = 20 - 2,5 = 17,5 \text{ cm}$$



Slika 16. Statičke visine donje zone ploče

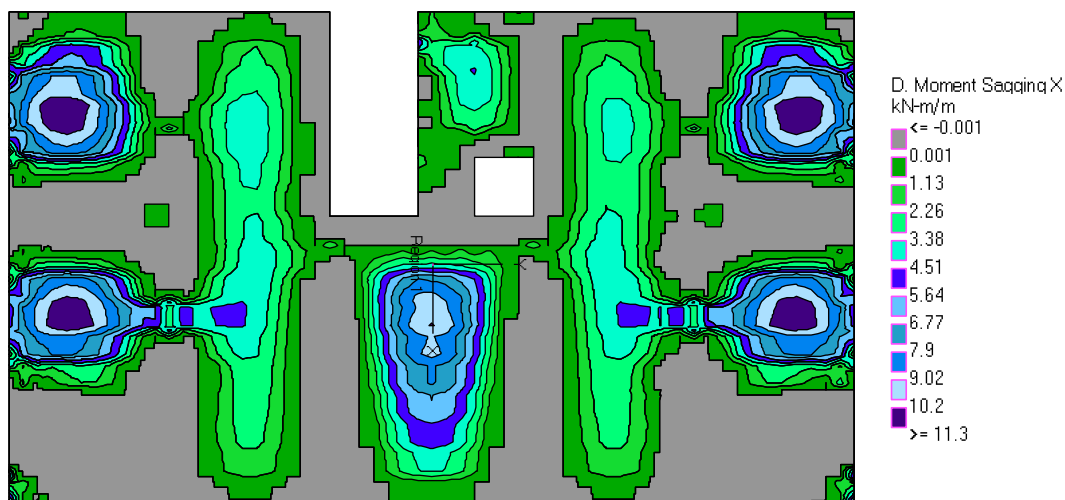
Gornja armatura ploča postavlja se u smjeru kraćeg raspona (sve ploče imaju kraći raspon u uzdužnom smjeru):



Slika 17. Statičke visine gornje zone ploče

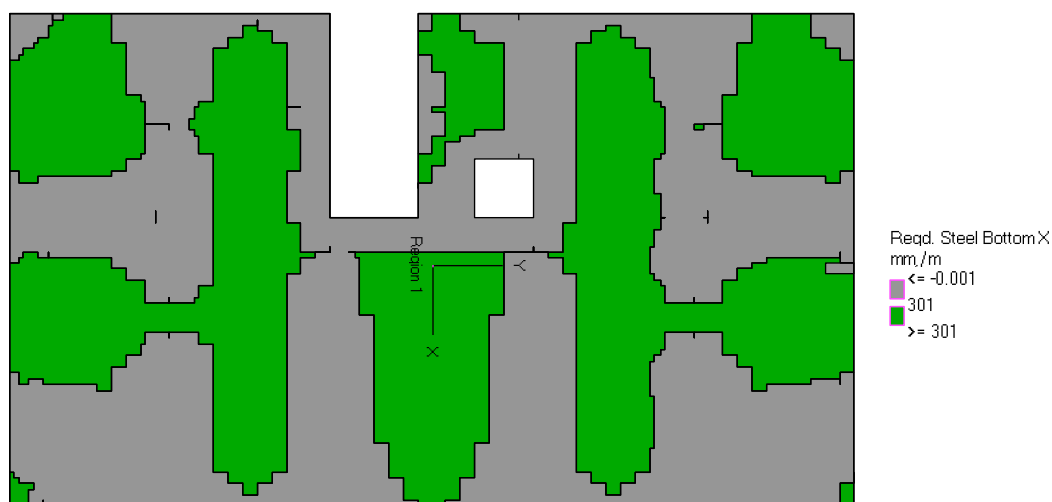
## 4.2. Dimenzioniranje donje zone

Na slici 18 prikazani su momenti savijanja u donjoj zoni za X smjer, odnosno u poprečnom smjeru. Najveći moment savijanja nalazi se u pozicijama 101 i 102 te iznosi 11,30 kNm/m'.



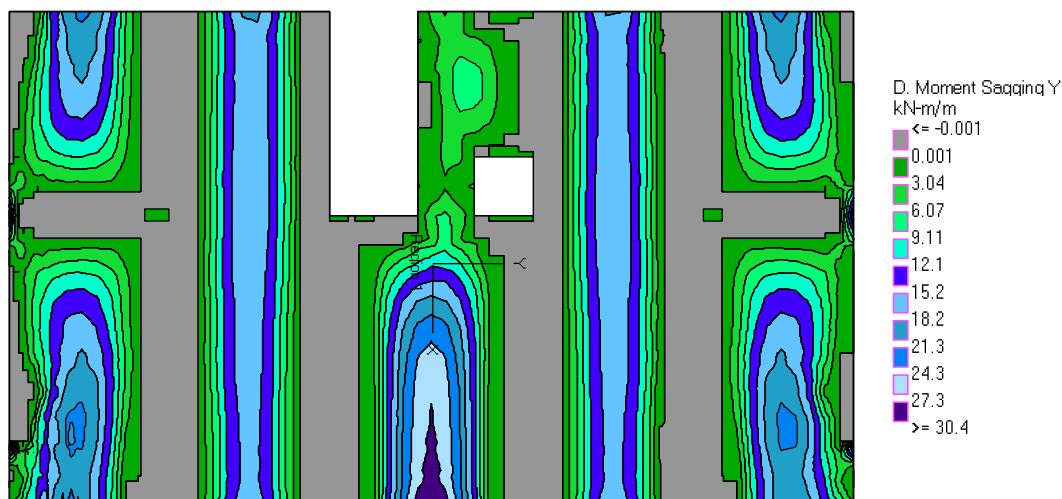
Slika 18. Prikaz momenta savijanja u donjoj zoni za X smjer

Na slici 19 prikazana je grafička raspodjela potrebne armature za X smjer. Sivom bojom osjenčana područja predstavljaju područja manjih momenata savijanja gdje je potrebna armatura do 3,01 cm<sup>2</sup>/m'. Zelenom bojom osjenčana područja predstavljaju područja većih momenata savijanja u kojima armatura mora biti jednaka ili veća od 3,01 cm<sup>2</sup>/m'.



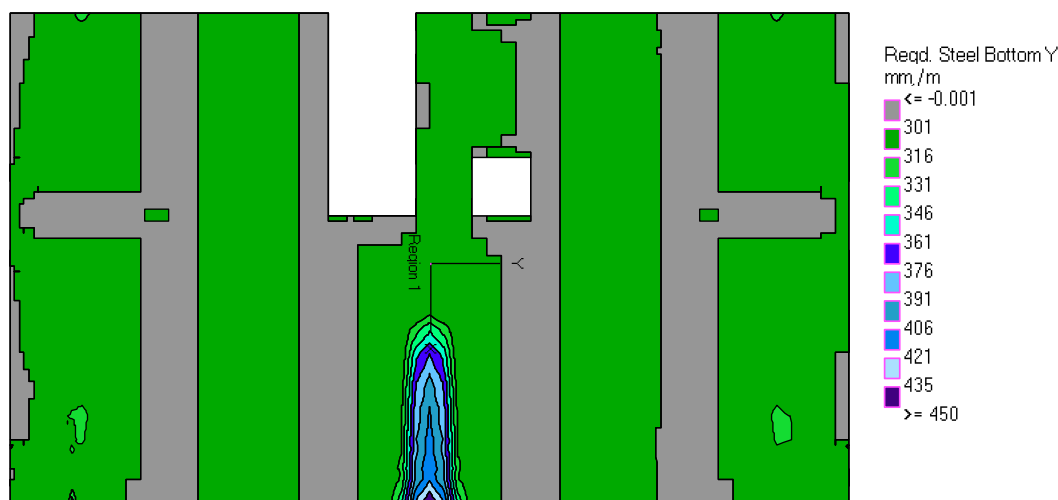
Slika 19. Prikaz potrebne proračunske armature u donjoj zoni za X smjer

Na slici 20 prikazani su momenti savijanja u donjoj zoni za Y smjer, odnosno u uzdužnom smjeru. Najveći moment savijanja nalazi se u poziciji 106 te iznosi 30,40 kNm/m'. U pozicijama 101 i 102 moment iznosi 24,30 kNm/m'.



Slika 20. Prikaz momenta savijanja u donjoj zoni za Y smjer

Na slici 21 prikazana je grafička raspodjela potrebne armature za Y smjer. Sivom bojom osjenčana područja predstavljaju područja manjih momenata savijanja gdje je potrebna armatura do 3,01  $\text{cm}^2/\text{m}'$ . Tamno zelenom bojom osjenčana područja predstavljaju područja koja zahtjevaju armaturu od 3,01 do 3,16  $\text{cm}^2/\text{m}'$ , dok se na vrlo malom području u pozicijama 102 pojavljuju područja koja zahtjevaju armaturu od 3,16 do 3,31  $\text{cm}^2/\text{m}'$ . U poziciji 106 gdje se javljaju najveći momenti savijanja, potrebna armatura varira od 3,01 do 4,50  $\text{cm}^2/\text{m}'$ .



Slika 21. Prikaz potrebne proračunske armature u donjoj zoni za Y smjer

Za armiranje donje zone ploča odabire se armaturna mreža nosiva u dva smjera, Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m'), kojom će se pokriti cijela ploča. Pozicija 106 dodatno će se armirati u Y smjeru sa šipkama Ø6/20 cm (1,41 cm<sup>2</sup>/m).

$$\Sigma A_{s1,y} = 3,35 + 1,41 = 4,76 \text{ cm}^2/\text{m} > 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

a) Računska provjera potrebne armature za X smjer za najveći moment savijanja u polju:

$$M_{Eds} = 11,30 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1130}{100 \cdot 16,5^2 \cdot 2,0} = 0,021 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,985$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{1130}{0,985 \cdot 16,5 \cdot 43,48} = 1,60 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_x \geq 0,0013 \cdot b \cdot d_x$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{0,29}{50} \cdot 100 \cdot 16,5 \geq 0,0013 \cdot 100 \cdot 16,5$$

$$A_{s,min} = 2,49 > 2,15 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura za X smjer veća je od potrebne proračunske i minimalne armature:

$$A_{s1,x} = 3,35 > 2,49 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

b) Računska provjera potrebne armature za Y smjer za najveći moment savijanja u polju POZ. 106:

$$M_{Eds} = 30,40 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3040}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,050 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,973$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{3040}{0,973 \cdot 17,5 \cdot 43,48} = 4,11 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_x \geq 0,0013 \cdot b \cdot d_x$$

$$A_{S,min} = 0,26 \cdot \frac{0,29}{50} \cdot 100 \cdot 17,5 \geq 0,0013 \cdot 100 \cdot 17,5$$

$$A_{S,min} = 2,64 > 2,28 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura za Y smjer za poziciju 106 veća je od potrebne proračunske i minimalne armature:

$$A_{s1,y} = 4,76 > 4,11 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

c) Računska provjera potrebne armature za Y smjer za najveći moment savijanja u polju POZ. 101 i 102:

$$M_{Eds} = 24,30 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2430}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,040 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,978$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{2430}{0,978 \cdot 17,5 \cdot 43,48} = 3,27 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

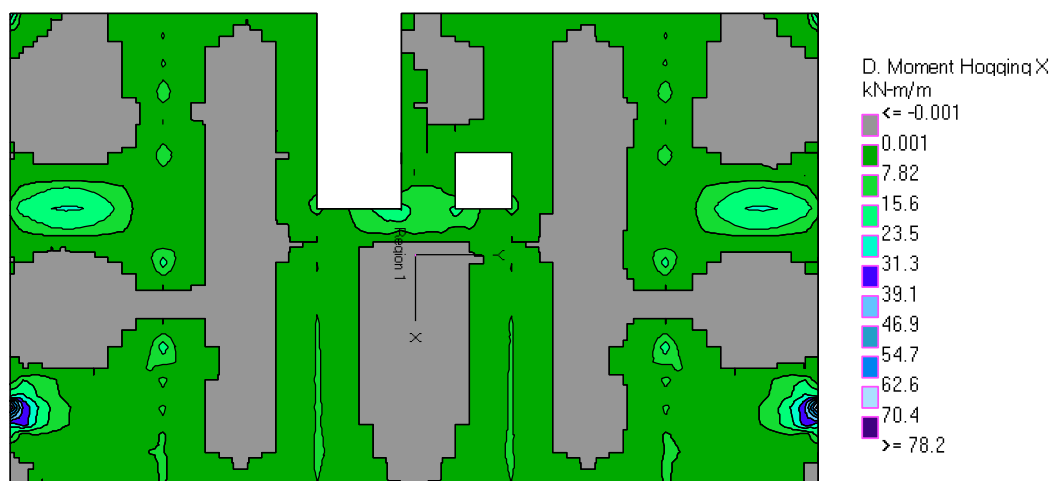
$$A_{S,min} = 2,64 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura za Y smjer za poziciju 101 i 102 veća je od potrebne proračunske i minimalne armature:

$$A_{s1,y} = 3,35 > 3,27 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

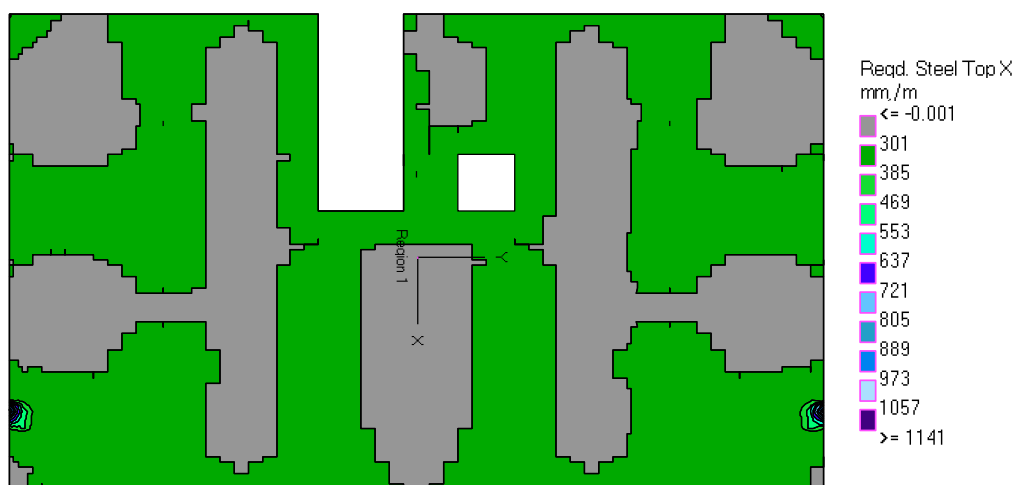
### 4.3. Dimenzioniranje gornje zone

Na slici 22 prikazani su momenti savijanja u gornjoj zoni za X smjer, odnosno u poprečnom smjeru. Najveći momenti savijanja na ležajevima nalaze se na osloncima POZ 101-102 koji iznose 31,30 kNm/m'. Na kutnim stupovima najveći moment iznosi 31,30 kNm/m', a na rubnim 78,20 kNm/m'.



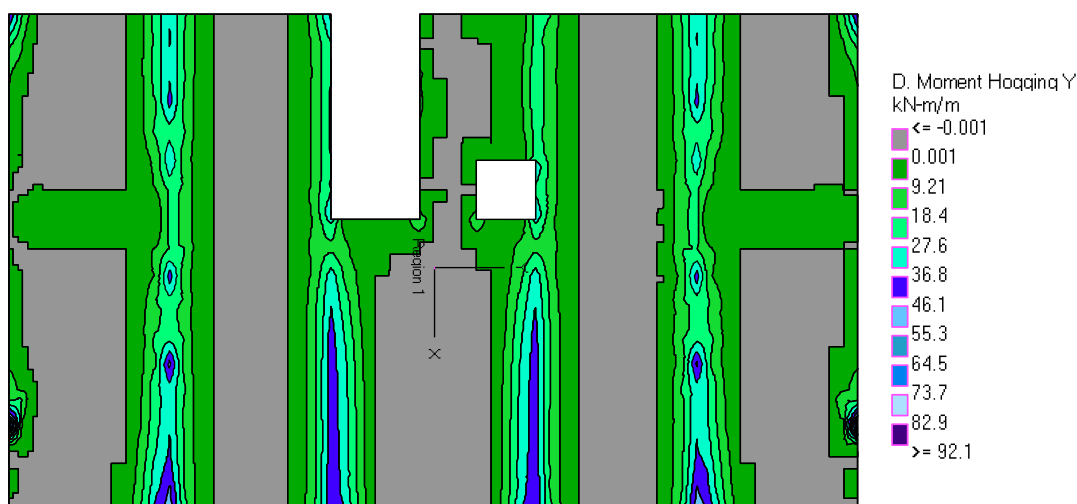
Slika 22. Prikaz momenta savijanja u gornjoj zoni za X smjer

Na slici 23 prikazana je grafička raspodjela potrebne armature za X smjer. Sivom bojom osjenčana područja predstavljaju područja manjih momenata savijanja gdje je potrebna armatura do  $3,01 \text{ cm}^2/\text{m}'$ . Tamno zelenom bojom osjenčana područja predstavljaju područja koja zahtjevaju armaturu od  $3,01$  do  $3,85 \text{ cm}^2/\text{m}'$ . Područja rubnih stupova potrebno je armirati sa armaturom od  $11,41 \text{ cm}^2/\text{m}'$ .



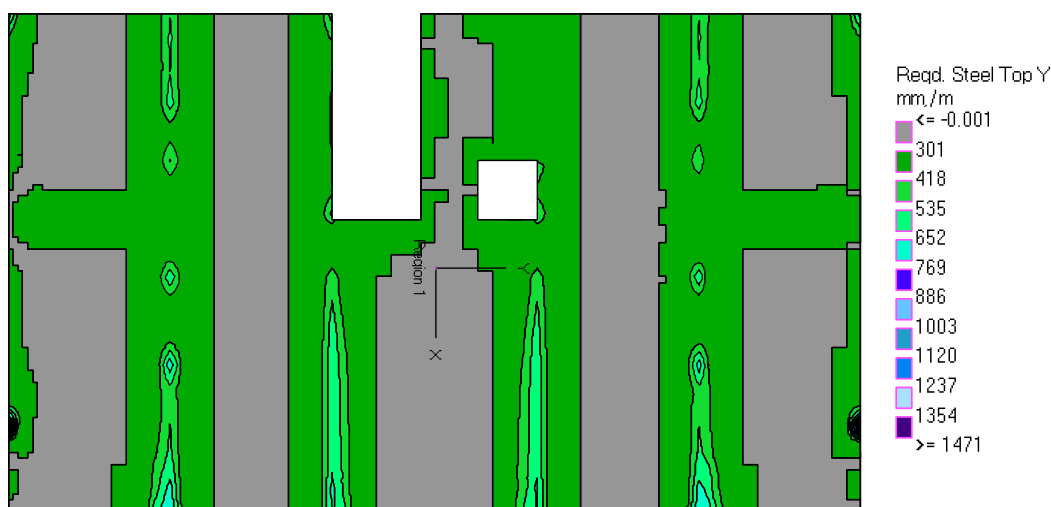
Slika 23. Prikaz potrebne proračunske armature u gornjoj zoni za X smjer

Na slici 24 prikazani su momenti savijanja u gornjoj zoni za Y smjer, odnosno u uzdužnom smjeru. Najveći momenti savijanja nalaze se na unutrašnjim osloncima i stupovima. Na unutrašnjim osloncima i kutnim stupovima momenti savijanja iznose  $46,10 \text{ kNm}/\text{m}'$ . Na rubnim stupovima momenti savijanja iznose  $92,10 \text{ kNm}/\text{m}'$ .



Slika 24. Prikaz momenta savijanja u gornjoj zoni za Y smjer

Na slici 25 prikazana je grafička raspodjela potrebne armature za Y smjer. Sivom bojom osjenčana područja predstavljaju područja manjih momenata savijanja gdje je potrebna armatura do  $3,01 \text{ cm}^2/\text{m}'$ . Tamno zelenom bojom osjenčana područja predstavljaju područja koja zahtjevaju armaturu od  $3,01$  do  $4,18 \text{ cm}^2/\text{m}'$ . Na unutarnjim osloncima pojavljuju se područja koja zahtjevaju armaturu od  $4,18$  do  $7,69 \text{ cm}^2/\text{m}'$ . S obzirom na to da je armatura od  $7,69 \text{ cm}^2/\text{m}'$  na unutrašnjim osloncima (osijenčano svijetlo plavo bojom) potrebna samo na malom području na rubovima ploča, unutrašnji oslonci dodatno će se armirati za vrijednost do  $6,52 \text{ cm}^2/\text{m}'$ . Područja kutnih stupova potrebno je armirati sa armaturom od  $6,52 \text{ cm}^2/\text{m}'$ . Područja rubnih stupova potrebno je armirati sa armaturom od  $14,71 \text{ cm}^2/\text{m}'$ .



Slika 25. Prikaz potrebne proračunske armature u gornjoj zoni za Y smjer

Za armiranje gornje zone ploča odabire se armaturna mreža nosiva u dva smjera, Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m'), kojom će se pokriti cijela ploča.

Područje rubnih stupova potrebno je u X smjeru dodatno armirati sa šipkama Ø10/11 cm (7,14 cm<sup>2</sup>/m').

$$\Sigma A_{S1,x} = 5,03 + 7,14 = 12,17 \text{ cm}^2/m > 11,41 \text{ cm}^2/m$$

Područje rubnih stupova potrebno je u Y smjeru dodatno armirati sa šipkama Ø10/8 cm (9,82 cm<sup>2</sup>/m').

$$\Sigma A_{S1,y} = 5,03 + 9,82 = 14,85 \text{ cm}^2/m > 14,71 \text{ cm}^2/m$$

Područje unutrašnjih oslonca i kutnih stupova potrebno je u Y smjeru dodatno armirati sa šipkama Ø6/18cm (1,57 cm<sup>2</sup>/m').

$$\Sigma A_{S1,y} = 5,03 + 1,57 = 6,60 \text{ cm}^2/m > 6,52 \text{ cm}^2/m$$

a) Računska provjera potrebne armature za X smjer za najveći moment savijanja na osloncu POZ. 101 i 102 i na kutnom stupu:

$$M_{Eds} = 31,30 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3130}{100 \cdot 16,5^2 \cdot 2,0} = 0,057 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,970$$

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{3130}{0,970 \cdot 16,5 \cdot 43,48} = 4,50 \text{ cm}^2/m'$$

$$A_{S,min} = 2,49 \text{ cm}^2/m'$$

Odabrana armatura za X smjer na osloncu POZ. 101 i 102 te na kutnom stupu veća je od potrebne proračunske i minimalne armature:

$$A_{s1,x} = 5,03 > 4,50 \text{ cm}^2/m'$$

b) Računska provjera potrebne armature za X smjer za najveći moment savijanja na rubnom stupu:

$$M_{Eds} = 78,20 \text{ kNm}$$



$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7820}{100 \cdot 16,5^2 \cdot 2,0} = 0,144 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,919$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{7820}{0,919 \cdot 16,5 \cdot 43,48} = 11,86 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s,min} = 2,49 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura za X smjer na rubnom stupu veća je od potrebne proračunske i minimalne armature:

$$A_{s1,x} = 12,17 > 11,86 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

c) Računska provjera potrebne armature za Y smjer za najveći moment savijanja na unutrašnjim osloncima i kutnim stupovima:

$$M_{Eds} = 46,10 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4610}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,075 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,960$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{4610}{0,960 \cdot 17,5 \cdot 43,48} = 6,31 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s,min} = 2,64 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura za Y smjer na unutrašnjim osloncima i kutnim stupovima veća je od potrebne proračunske i minimalne armature:

$$A_{s1,y} = 6,60 > 6,52 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

d) Računska provjera potrebne armature za Y smjer za najveći moment savijanja na rubnim stupovima:

$$M_{Eds} = 92,10 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9210}{100 \cdot 17,5^2 \cdot 2,0} = 0,150 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,914$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{9210}{0,914 \cdot 17,5 \cdot 43,48} = 13,24 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

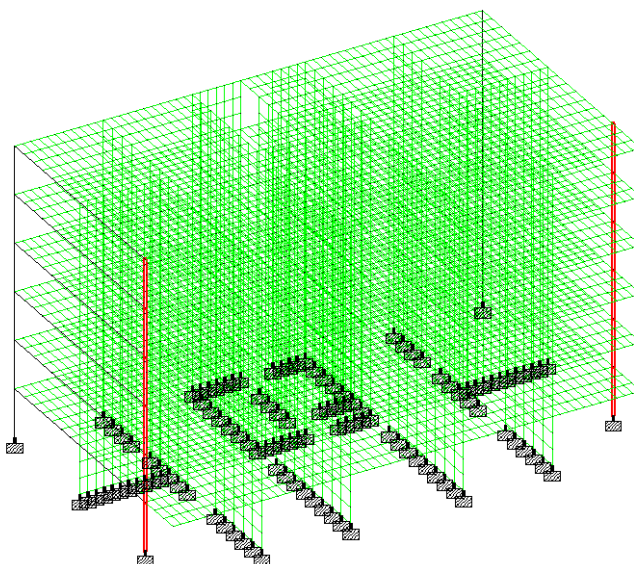
$$A_{s,min} = 2,64 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura za Y smjer na rubnim stupovima veća je od potrebne proračunske i minimalne armature:

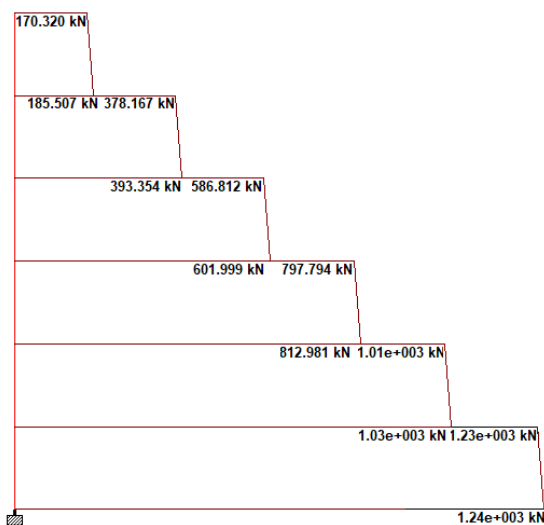
$$A_{s1,y} = 14,85 > 14,71 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

#### 4.4. Kontrola nosivosti na proboj

Kontrola nosivosti na proboj provodi se za prednje, odnosno rubne stupove na koje se nastavlja konzola. U rubnim stupovima djeluju veće sile nego u kutnim, a mjerodavna sila za dimenzioniranje na proboj iznosi 200 kN.



Slika 26. Rubni stupovi za kontrolu nosivosti na proboj



Slika 27. Vrijednosti uzdužnih sila u stupovima za kontrolu nosivosti na proboj

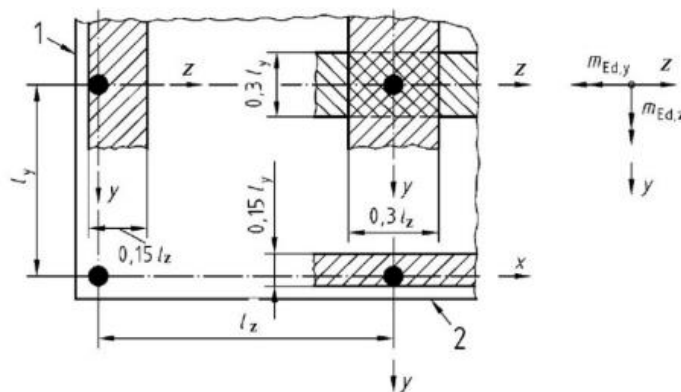
$$V_{Ed} = 1,23 \cdot 10^3 - 1,03 \cdot 10^3 = 200 \text{ kN}$$

Kako bi se osiguralo aktiviranje prostornog mehanizma nosivosti u probojnom području ploče ploču treba dimenzionirati na najmanje momente savijanja po jedinici širine  $m_{Ed,z}$  i  $m_{Ed,y}$  u području stupova osim ako proračunom unutarnjih sila nisu dobivene veće vrijednosti [5].

$$m_{Ed,z} = \eta_z \cdot V_{Ed}$$

$$m_{Ed,y} = \eta_y \cdot V_{Ed}$$

Položaj stupa	$\eta_z$			$\eta_y$		
	gornja strana ploče	donja strana ploče	proračunska širina	gornja strana ploče	donja strana ploče	proračunska širina
Unutarnji stup	-0,125	0	$0,30 l_y$	-0,125	0	$0,30 l_z$
Rubni stup, rub ploče usporedan s osi z	-0,250	0	$0,15 l_y$	-0,125	0,125	po m šir. ploče
Rubni stup, rub ploče usporedan s osi y	-0,125	0,125	po m širine pl.	-0,250	0	$0,15 l_z$
Stup u kutu	-0,500	0,500	po m širine pl.	0,500	-0,500	po m šir. ploče



Slika 28. Područja armiranja najmanjim momentima savijanja po jedinici širine  $m_{Ed,z}$  i  $m_{Ed,y}$  [5]

Za rubni stup, rub ploče usporedan s osi Y koeficijent  $\eta_z$  za gornju stranu ploče iznosi -0,125, dok koeficijent  $\eta_y$  za gornju stranu ploče iznosi -0,250.

$$m_{Ed,z} = -0,125 \cdot 200 = 25 \text{ kN/m'}$$

$$m_{Ed,y} = -0,250 \cdot 200 = 50 \text{ kN/m'}$$

Proračunska širina na kojoj se određuje moment savijanja za provjeru proboja trebala bi iznositi 1 metar, ali kako u računskom programu RC nije moguće

odrediti raspon područja djelovanja momenata, jer su rezultati prikazani grafički uz navedene vrijednosti momenata, dimenzioniranje je provedeno za maksimalne momente koji se pojavljuju na stupu:

$$M_{Eds,x} = 78,20 \text{ kNm}$$

$$M_{Eds,y} = 92,10 \text{ kNm}$$

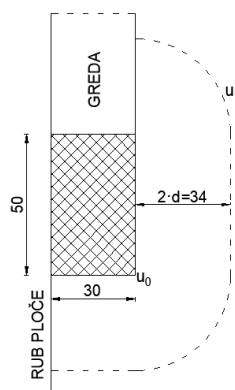
Momenti dobiveni proračunom unutarnjih sila za koje je provedeno dimenzioniranje su veći od najmanjih momenata savijanja po jedinici širine  $m_{Ed,z}$  i  $m_{Ed,y}$ .

Dimenzije stupa:

$$c_1/c_2 = 50/30 \text{ cm}$$

Srednja proračunska visina ploče:

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{16,5 + 17,5}{2} = 17 \text{ cm}$$



Slika 29. Model za provjeru nosivosti na proboj s kontrolnim presjecima

Duljine kontrolnih presjeka:

a) Lice stupa

$$u_0 = c_1 + c_2 = 50 + 30 = 80 \text{ cm}$$

b) Osnovni kontrolni opseg

$$u_1 = c_1 + c_2 + \frac{(2 \cdot r \cdot \pi)}{2} = 50 + 30 + \frac{2 \cdot (2 \cdot 17) \cdot \pi}{2} = 186,81 \text{ cm}$$

Provjera najveće proračunske posmične nosivosti na proboj ploče:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max}$$

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,53 \cdot 20 = 4,24 \text{ MPa}$$

a) na licu stupa

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d}$$

Ekscentričnost oslonačke reakcije uzima se u obzir koeficijentom  $\beta$ . Za rubni stup iznosi 1,40.

$$v_{Ed} = \frac{1,4 \cdot 200000}{800 \cdot 170} = 2,06 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max}$$

$$2,06 < 4,24$$

b) na osnovnom kontrolnom opsegu

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d}$$

$$v_{Ed} = \frac{1,4 \cdot 200000}{1868,10 \cdot 170} = 0,88 \text{ MPa}$$

Provjera proračunske posmične nosivosti na proboj ploče bez poprečne armature:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_I \cdot f_{ck})^{1/3} \geq 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right\} = \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{170}} \right\} = \min \left\{ \frac{2,09}{2} \right\} = 2,0$$

$$\rho_{I,x} = \frac{A_{s1,x}}{b_x \cdot d_x}$$

$$b_x = c_1 + 2 \cdot (3 \cdot d) = 50 + 2 \cdot (3 \cdot 17) = 152 \text{ cm}$$

$$\rho_{I,x} = \frac{12,17}{100 \cdot 16,5} = 0,007$$

$$\rho_{I,y} = \frac{A_{s1,y}}{b_y \cdot d_y}$$

$$b_y = c_2 + (3 \cdot d) = 50 + (3 \cdot 17) = 81 \text{ cm}$$

$$\rho_{I,y} = \frac{14,85}{100 \cdot 17,5} = 0,0085$$

$$\rho_I = \min \left\{ \frac{\sqrt{\rho_{I,x} \cdot \rho_{I,y}}}{0,02} \right\} = \min \left\{ \frac{\sqrt{0,007 \cdot 0,0085}}{2} \right\} = \min \left\{ \frac{0,0077}{0,02} \right\} = 0,0077$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,0077 \cdot 30)^{1/3} \geq 0,035 \cdot 2^{2/3} \cdot 30^{1/2}$$

$$v_{Rd,c} = 0,68 > 0,30$$

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$$

$$0,88 > 0,68 \text{ MPa}$$

Potrebna je poprečna armatura protiv proboja.

Prema njemačkom DIN EN 1992-1-1/NA  $v_{Rd,max}$  se određuje na osnovnom kontrolnom opsegu  $u_1$  prema izrazu:

$$v_{Ed,u_1} \leq v_{Rd,u_1,max} = 1,4 \cdot v_{Rd,c,u_1}$$

$$0,88 < 1,4 \cdot 0,68 = 0,95 \text{ MPa}$$

Provjera proračunske posmične nosivosti na proboj ploče sa poprečnom armaturom:

$$v_{Rd,cs} \leq 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd,ef}}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c}$$

Radijalni razmak opsega poprečne armature:

$$s_r \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 170 = 127,5 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm}$$

Učinkovita proračunska granica popuštanja poprečne armature:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d = 250 + 0,25 \cdot 170 = 292,50 \text{ MPa} \leq 434,8 \text{ MPa}$$

Kut između poprečne armature i ravnine ploče:

$$\alpha = 90^\circ$$

Koeficijent za ograničenje najveće nosivosti koja se može postići uz primjenu armiranja poprečnom armaturom:

$$k_{max} = 1,5$$

Razmak krakova spona u tangencijalnom smjeru (izvan opsega):

$$s_t \leq 2 \cdot d = 2 \cdot 170 = 340 \text{ mm}$$

Razmak krakova spona unutar kontrolnog opsega:

$$s_t \leq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 170 = 255 \text{ mm}$$

Ukupna površina presjeka poprečne armature u jednom opsegu određuje se iz uvjeta:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,cs}$$

$$A_{sw} = \frac{(v_{Ed} - 0,75 \cdot v_{Rd,c}) \cdot u_1 \cdot d \cdot s_r}{1,5 \cdot d \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin\alpha} = \frac{(0,88 - 0,75 \cdot 0,68) \cdot 1868,1 \cdot 170 \cdot 100}{1,5 \cdot 170 \cdot 292,5 \cdot \sin 90}$$

$$A_{sw} = 157,54 \text{ mm}^2 = 1,58 \text{ cm}^2$$

Minimalna površina poprečne armature protiv proboja:

$$A_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot s_r \cdot s_t}{f_{yk} \cdot (1,5 \cdot \sin\alpha + \cos\alpha)} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{30} \cdot 100 \cdot 340}{500 \cdot (1,5 \cdot \sin 90 + \cos 90)}$$

$$A_{sw,min} = 19,81 \text{ mm}^2 = 0,20 \text{ cm}^2$$

Ograničenje promjera spona prema DIN EN 1992-1-1/NA:

$$d_s \leq 0,05 \cdot d = 0,05 \cdot 170 = 8,5 \text{ mm}$$

Odabire se Ø8 (0,50 cm<sup>2</sup>) za sve opsege poprečne armature.

Treba povećati količine poprečne armature koja se postavlja na prvom opsegu množenjem faktorom 2,5, a armature koja se postavlja u drugom opsegu množenjem faktorom 1,4.

Prvi opseg poprečne armature:

$$A_{sw,1} = 2,5 \cdot A_{sw} = 2,5 \cdot 1,58 = 3,95 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Drugi opseg poprečne armature:

$$A_{sw,2} = 1,4 \cdot A_{sw} = 1,4 \cdot 1,58 = 2,21 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Broj krakova spona u prvom opsegu (potreban broj šipki):

$$n = \frac{3,95}{0,50} = 7,9 \rightarrow 8$$

Broj krakova spona u drugom opsegu (potreban broj šipki):

$$n = \frac{2,21}{0,50} = 4,4 \rightarrow 5$$

Broj krakova spona u ostalim opsezima (potreban broj šipki):

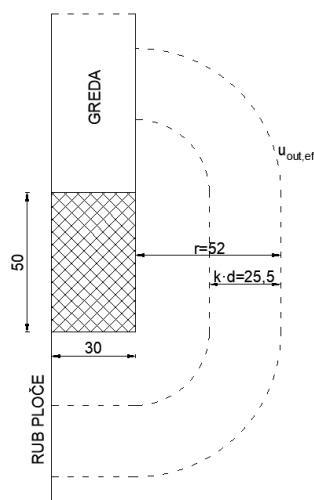
$$n = \frac{A_{sw}}{A_{sw,min}} = \frac{1,58}{0,50} = 3,16 \rightarrow 4$$

Kontrolni opseg kod kojega poprečna armatura nije potrebna:

$$u_{out,ef} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = \frac{1,4 \cdot 200000}{0,68 \cdot 170} = 2422,15 \text{ mm} \approx 242 \text{ cm}$$

Radijus kontrolnog opsega kod kojega poprečna armatura nije potrebna:

$$r = \frac{u_{out,ef} - c_1 - c_2}{\pi} = \frac{242 - 50 - 30}{\pi} = 52 \text{ cm}$$



Slika 30. Kontrolni opseg  $u_{out,ef}$  kod kojega poprečna armatura nije potrebna

Broj opsega:

$$n_1 = \frac{r - k \cdot d}{s_r} = \frac{52 - 1,5 \cdot 17}{10} = 2,65 \rightarrow 3$$



### Armatura protiv progresivnog sloma prema DIN EN 1992-1-1/NA

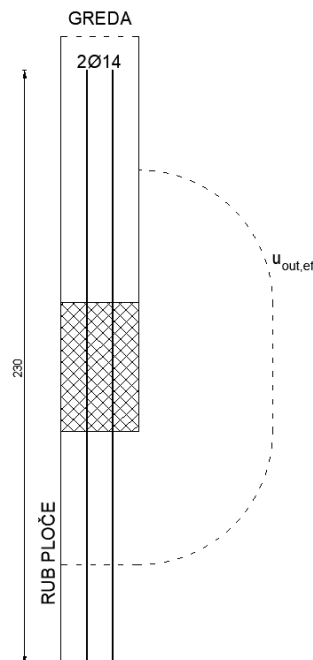
Na rubnim stupovima armatura protiv progresivnog sloma postavlja se paralelno uz rub ploče. Za projektni model predviđa se postavljanje dvije šipke u X smjeru.

$$V_{Ek} = \frac{V_{Ed}}{1,4} = \frac{200}{1,4} = 142,86 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{V_{Ek}}{f_{yk}} = \frac{142,86}{50} = 2,86 \text{ cm}^2$$

Odabire se 2Ø14 (3,08 cm<sup>2</sup>).

Sidri se izvan kritičnog područja, u donjoj zoni.



Slika 31. Armatura protiv progresivnog sloma

### **4.5. Duljine prijeklopa mreži i sidrenja dodatnih šipki**

Osnovna duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Proračunska čvrstoća prijanjanja  $f_{bd}$  za dobre uvjete prijanjanja iznosi 3,0 MPa.

Proračunsko naprezanje armaturne šipke  $\sigma_{sd}$  na strani sigurnosti je za čelik B500B jednako 434,8 MPa.

$$\emptyset 6: \quad l_{b,rqd} = \frac{6}{4} \cdot \frac{434,8}{3} = 217,4 \text{ mm} \approx 22 \text{ cm}$$

$$\emptyset 10: \quad l_{b,rqd} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,8}{3} = 362,33 \text{ mm} \approx 37 \text{ cm}$$

$$\emptyset 14: \quad l_{b,rqd} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,8}{3} = 507,27 \text{ mm} \approx 51 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja ravnih šipki:

$$l_{bd,1} = l_{b,rqd}$$

Proračunska duljina sidrenja šipki sa kutnom kukom:

$$l_{bd,2} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$\alpha_1 = 1,0; \alpha_2 = 1,0; \alpha_3 = 1,0; \alpha_4 = 0,7; \alpha_5 = 1,0$$

Za vlačne i tlačne armaturne šipke koeficijenti su odabrani na strani sigurnosti.

Za sidrenje u vlaku:

$$l_{b,min} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{b,rqd} \\ 10\emptyset \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

Za sidrenje u tlaku:

$$l_{b,min} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot l_{b,rqd} \\ 10\emptyset \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

$\emptyset 6$ :

$$l_{bd,1} = 22 \text{ cm}$$

$$l_{bd,2} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 22 = 15,4 \approx 16 \text{ cm}$$

$$l_{b,min} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 220 \\ 10 \cdot 6 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 66 \\ 60 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 10 \text{ cm}$$

$$l_{b,min} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot 220 \\ 10 \cdot 6 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 132 \\ 60 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 13,2 \text{ cm}$$

Ø10:

$$l_{bd,1} = 37 \text{ cm}$$

$$l_{bd,2} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 37 = 25,9 \approx 26 \text{ cm}$$

$$l_{b,min} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot 370 \\ 10 \cdot 10 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 222 \\ 100 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 22,2 \text{ cm}$$

Ø14:

$$l_{bd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 51 = 35,7 \approx 36 \text{ cm}$$

$$l_{b,min} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 510 \\ 10 \cdot 14 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 153 \\ 140 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 15,3 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljajem:

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

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

Koeficijenti su odabrani na strani sigurnosti. Ako je postotak preklapljene armature veći od 50%:

$$\alpha_6 = 1,5$$

Dopušteni postotak armature koja se smije preklopiti iznosi 100%:

$$A_s = 3,35 < 12 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_s = 5,03 < 12 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Mreže Q-335 i Q-503:

Ø8:

$$l_{b,rqd} = \frac{8}{4} \cdot \frac{434,8}{3} = 289,89 \text{ mm} \approx 29 \text{ cm}$$

$$l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 29 = 43,5 \approx 45 \text{ cm}$$

$$l_{0,min} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15\emptyset \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 1,5 \cdot 290 \\ 15 \cdot 8 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 130,5 \\ 120 \\ 200 \text{ mm} \end{array} \right\} = 20 \text{ cm}$$

## 5. Potresno djelovanje na konstrukciju

### 5.1. Općenito

Proračun potresnog djelovanja na konstrukciju provodi se primjenom različitih metoda, dok je u ovom radu primjenjena višemodalna spektralna analiza. Modalna analiza je prvi korak kojim se određuju periodi, a zatim se pomoću spektralne analize određuje ukupno djelovanje. Pri određivanju spektralne analize u računalnom programu „Staad.Pro“ korištena je CQC metoda [9].

### 5.2. Zadavanje masa i krutosti

Kako bi se provela višemodalna analiza potrebno je generirati mase. Mase elemenata (ploče, zidovi, grede i stupovi) definirane su automatski korištenjem opcije “Selfweight” u program, dok su ručno generirane mase dodatnog stalnog opterećenja krova i stropa. Kombinacija masa koja se koristi pri višemodalnoj analizi je nazovistalna kombinacija opterećenja.

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{Ei} * Q_{k,i}$$

Koeficijent kombinacije  $\psi_{Ei}$  može se za proračun učinaka potresnog djelovanja proračunati prema izrazu:

$$\psi_{Ei} = \rho \cdot \psi_{2i}$$

Vrijednost  $\rho$  pri proračunu  $\psi_{Ei}$ :

$\rho = 1,0$  - krov

$\rho = 0,8$  - katovi s povezanom zauzetošću

Vrijednost  $\psi_2$  pri proračunu  $\psi_{Ei}$ :

$\psi_2 = 0,3$  - uporabna opterećenja u zgradama kategorije A - stambene zgrade

$\psi_2 = 0,0$  - uporabna opterećenja u zgradama kategorije H - krovovi

$\psi_2 = 0,0$  - opterećenja snijegom u zgradama

$\psi_2 = 0,0$  - opterećenja vjetrom na zgrade

Koeficijent kombinacije  $\psi_{Ei}$  za katove:

$$\psi_{Ei} = 0,3 \cdot 0,8 = 0,24$$

a) Masa krovne konstrukcije u trenutku potresa:

$$\sum (g + \Delta g) + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{k,i}$$

Vlastita težina konstrukcije krova:  $g = \text{Selfweight Staad.Pro}$

Dodatna stalna težina krova:  $\Delta g = 3,3 \text{ kN/m}^2$

Uporabno opterećenje krova:  $q = 0,6 \text{ kN/m}^2$

$$\sum (g + 3,3) + \sum 0,0 \cdot 0,6 = g + 3,3 \text{ kN/m}^2$$

b) Masa stropa u trenutku potresa:

$$\sum (g + \Delta g) + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{k,i}$$

Vlastita težina konstrukcije stropa:  $g = \text{Selfweight Staad.Pro}$

Dodatna stalna težina stropa:  $\Delta g = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Uporabno opterećenje stropa:  $q = 2,0 \text{ kN/m}^2$

$$\sum (g + 2,5) + \sum 0,24 \cdot 2,0 = g + 3,0 \text{ kN/m}^2$$

Pretpostavlja se da će prije pojave potresa koji uzrokuje otkazivanje konstrukcije skupljanje, temperatura i drugi manji potresi uzrokovati raspucavanje svih elemenata konstrukcije. Prema normi HRN EN 1998-1 [6] predlaže se smanjenje krutosti na 50% početne vrijednosti (neraspucani beton bez puzanja). Kako se ploča smatra krutom njena krutost nije umanjena, dok su umanjene vrijednosti krutosti zidova, stupova i greda.

Kombinacije djelovanja:

a) Stalna proračunska situacija (uporabno opterećenje zadaje se preko svih polja)

1.  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$

## b) Potresne proračunske situacije

2.  $1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q_{uporabno,strop} + 1,0 \cdot Potres_x + 0,3 \cdot Potres_z$
3.  $1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q_{uporabno,strop} + 1,0 \cdot Potres_x - 0,3 \cdot Potres_z$
4.  $1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q_{uporabno,strop} - 1,0 \cdot Potres_x + 0,3 \cdot Potres_z$
5.  $1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q_{uporabno,strop} - 1,0 \cdot Potres_x - 0,3 \cdot Potres_z$
6.  $1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q_{uporabno,strop} + 0,3 \cdot Potres_x + 1,0 \cdot Potres_z$
7.  $1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q_{uporabno,strop} + 0,3 \cdot Potres_x - 1,0 \cdot Potres_z$
8.  $1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q_{uporabno,strop} - 0,3 \cdot Potres_x + 1,0 \cdot Potres_z$
9.  $1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q_{uporabno,strop} - 0,3 \cdot Potres_x - 1,0 \cdot Potres_z$

### 5.3. Broj vlastitih oblika vibracija (tonova)

Prema normi HRN EN 1998-1 zahtijeva se da količina aktivirane mase upotrebom modalne analize bude veća od 90%. U proračunskom modelu se u X smjeru aktiviralo 82,7% mase, a u Z smjeru 71,3% mase čime ovaj uvjet nije zadovoljen. Razlog tome je značajan doprinos od torzijskih učinaka, pa u tom slučaju minimum "k" oblika vibriranja razmatranih u proračunu treba zadovoljiti sljedeće uvjete:

$$k \geq 3\sqrt{n}$$

$$T_k \leq 0,20 \text{ s}$$

$n$  - broj katova iznad temelja ili gornje razine krutog šupljeg temelja

$T_k$  - period osciliranja oblika "k".

$$k \geq 3\sqrt{6} = 7,35$$

Usvojeno je  $k=10$ , odnosno proračun je proveden za 10 tonova. Period osciliranja oblika  $k=10$  iznosi 0,11 s čime je zadovoljen i drugi uvjet:

$$T_{10} = 0,11 \text{ s} \leq 0,20 \text{ s}$$

Kako bi se uključilo više od 90% mase, naposljetku je uključena naredba "Missing mass".

MASS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KN			
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z	
1	54.81	0.00	0.01	54.805	0.000	0.009	2288.38	0.00	0.00	
2	16.15	0.00	0.10	70.957	0.000	0.111	826.49	0.00	0.00	
3	0.00	0.01	71.11	70.961	0.009	71.221	0.23	0.00	0.00	
4	11.01	0.00	0.00	81.969	0.010	71.221	550.63	0.00	0.00	
5	0.00	1.78	0.07	81.970	1.793	71.286	0.00	0.00	0.00	
6	0.37	0.00	0.00	82.337	1.793	71.286	18.00	0.00	0.00	
7	0.00	1.59	0.02	82.337	3.385	71.307	0.01	0.00	0.00	
8	0.00	0.06	0.00	82.337	3.442	71.307	0.01	0.00	0.00	
9	0.26	0.00	0.00	82.599	3.442	71.307	12.73	0.00	0.00	
10	0.06	0.63	0.03	82.661	4.068	71.335	2.99	0.00	0.00	
ZPA	17.34	0.00	0.00	100.000	0.000	0.000	745.66	0.00	0.00	
							TOTAL SRSS SHEAR	2603.74	0.00	0.00
							TOTAL 10PCT SHEAR	2603.86	0.00	0.00
							TOTAL ABS SHEAR	4445.13	0.00	0.00
							TOTAL CQC SHEAR	2713.89	0.00	0.00

MASS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KN			
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z	
1	54.81	0.00	0.01	54.805	0.000	0.009	0.00	0.00	0.36	
2	16.15	0.00	0.10	70.957	0.000	0.111	0.00	0.00	5.26	
3	0.00	0.01	71.11	70.961	0.009	71.221	0.00	0.00	3638.80	
4	11.01	0.00	0.00	81.969	0.010	71.221	0.00	0.00	0.03	
5	0.00	1.78	0.07	81.970	1.793	71.286	0.00	0.00	3.20	
6	0.37	0.00	0.00	82.337	1.793	71.286	0.00	0.00	0.00	
7	0.00	1.59	0.02	82.337	3.385	71.307	0.00	0.00	0.99	
8	0.00	0.06	0.00	82.337	3.442	71.307	0.00	0.00	0.00	
9	0.26	0.00	0.00	82.599	3.442	71.307	0.00	0.00	0.01	
10	0.06	0.63	0.03	82.661	4.068	71.335	0.00	0.00	1.38	
ZPA	0.00	0.00	28.66	0.000	0.000	100.000	0.00	0.00	1232.72	
							TOTAL SRSS SHEAR	0.00	0.00	3841.94
							TOTAL 10PCT SHEAR	0.00	0.00	3841.94
							TOTAL ABS SHEAR	0.00	0.00	4882.75
							TOTAL CQC SHEAR	0.00	0.00	3842.29

## 5.4. Proračunski spektar odziva

Sposobnost konstrukcijskih sustava da se odupru potresnim djelovanjima u nelinearnom području općenito dopušta da se one proračunaju na potresne sile manje od onih koje odgovaraju linearnom elastičnom odzivu. Da bi se izbjegao izravan neelastični proračun konstrukcije, u obzir se uzima sposobnost konstrukcije da troši energiju pretežito duktilnim ponašanjem svojih elemenata i/ili drugih mehanizama, te se provodi elastični proračun utemeljen na spektru odziva koji je smanjen u odnosu na elastični spektar. Takav spektar se naziva proračunski spektar. Smanjenje se postiže uvođenjem faktora ponašanja  $q$ . Faktor ponašanja  $q$  je približno omjer potresnih sila koje bi djelovale na konstrukciju ako bi njezin odziv u cijelosti bio elastičan uz 5 %-tno viskozno prigušenje i potresnih

sila koje se smiju uzeti u proračunu uz uobičajeni elastični model, još uvijek osiguravajući zadovoljavajući odziv konstrukcije [9].

#### 5.4.1. Faktor ponašanja

Prema HRN EN 1998-1 [6], gornja granica vrijednost faktora ponašanja za betonske konstrukcije određena je sljedećim izrazom:

$$q = q_0 \cdot k_w$$

$q_0$  - osnovna vrijednost faktora ponašanja  $q$  ovisna o vrsti konstrukcije

$k_w$  - faktor koji odražava prevladavajući oblik sloma konstrukcije

Razred duktilnosti promatrane AB konstrukcije je DCM (umjereni razred duktilnosti), a kako je riječ o vrsti konstrukcije koja spada u zidni sistem sa nepovezanim zidovima osnovna vrijednost faktora ponašanja  $q_0$  jednaka je 3.

Vrijednosti faktora prevladavajućeg sloma konstrukcije za zidne sustave iznosi:

$$0,5 \leq k_w \leq 1,0$$

a) Određivanje faktora ponašanja u smjeru X

$$k_w = \frac{1 + \alpha_0}{3}$$

$\alpha_0$  – prevladavajući geometrijski omjer zidova konstrukcijskoga sustava

$$\alpha_0 = \frac{\Sigma h_{wi}}{\Sigma l_{wi}} = \frac{2 \cdot 18,5 + 3 \cdot 18,5 + 2 \cdot 18,5}{2 \cdot 5,55 + 3 \cdot 1,75 + 2 \cdot 3,05} = 5,77$$

$$k_w = \frac{1 + \alpha_0}{3} = \frac{1 + 5,77}{3} = 2,26 \rightarrow k_w = 1,0$$

$$q_x = 3,0 \cdot 1,0 = 3,0$$

b) Određivanje faktora ponašanja u smjeru Z

$$\alpha_0 = \frac{\Sigma h_{wi}}{\Sigma l_{wi}} = \frac{2 \cdot 18,5 + 2 \cdot 18,5 + 2 \cdot 18,5 + 2 \cdot 18,5 + 2 \cdot 18,5 + 18,5}{2 \cdot 5,10 + 2 \cdot 8,10 + 2 \cdot 4,00 + 2 \cdot 3,25 + 2 \cdot 7,20 + 2,97} = 3,49$$

$$k_w = \frac{1 + \alpha_0}{3} = \frac{1 + 3,49}{3} = 1,50 \rightarrow k_w = 1,0$$

$$q_z = 3,0 \cdot 1,0 = 3,0$$



### 5.4.2. Horizontalna komponenta proračunskog spektra odziva

Vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični spekter odziva tipa 1 za tip temeljnog tla A:

$$S = 1,0; T_B = 0,15 \text{ s}; T_C = 0,40 \text{ s}; T_D = 2,0 \text{ s}; \beta = 0,2$$

Proračunski spekter za horizontalne komponente potresnog djelovanja definiran je na sljedeći način:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

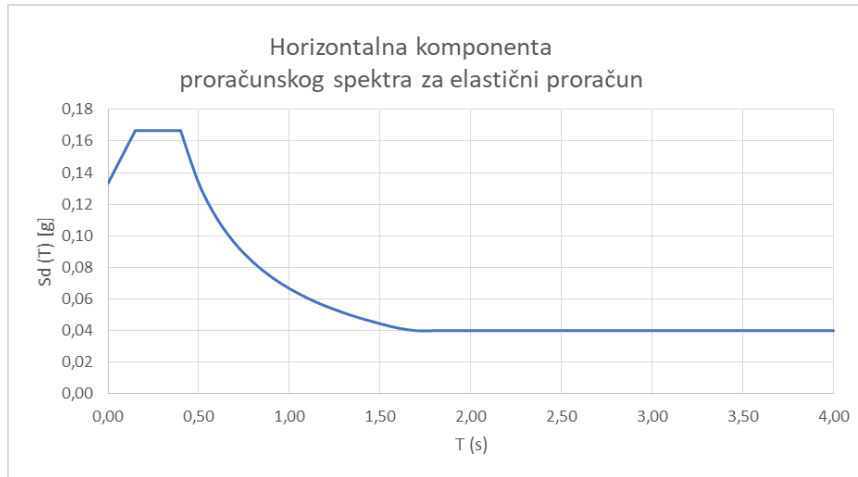
$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

Tablica 11. Horizontalna komponenta proračunskog spektra odziva

Raspon	T [s]	Sd (T) [g]
$0 \leq T \leq T_b$	0,00	0,13
	0,05	0,14
	0,10	0,16
	0,15	0,17
$T_b \leq T \leq T_c$	0,15	0,17
	0,23	0,17
	0,32	0,17
$T_c \leq T \leq T_d$	0,40	0,17
	0,90	0,07
	1,40	0,05
	2,00	0,04
$T_d \leq T$	2,00	0,04
	2,70	0,04
	3,40	0,04
	4,00	0,04



Slika 32. Horizontalna komponenta proračunskog spektra odziva

### 5.4.3. Proračun osnovnog perioda osciliranja

Za zgrade visine do 40 m vrijednosti vlastitog perioda osciliranja  $T_1$  [s] smije se približno odrediti iz izraza:

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4}$$

$H$  - ukupna visina zgrade

$C_t$  - koeficijent kojim se uzima u obzir konstruktivni sustav

$$C_t = \frac{0,075}{\sqrt{A_C}}$$

$$A_C = \sum \left[ A_i \cdot \left( 0,2 + \left( \frac{l_{wi}}{H} \right)^2 \right) \right]$$

$A_C$  - ukupna proračunska površina nosivih zidova

$A_i$  - proračunska površina presjeka nosivog zida "i" u promatranom smjeru

$l_{wi}$  - duljina nosivog zida "i" uz ograničenje  $l_{wi}/H \leq 0,9$

Tablica 12. Ukupna proračunska površina nosivih zidova u X smjeru

Ukupna proračunska površina presjeka nosivih zidova u X smjeru				
Zid	Duljina zida $l_{wi}$ [m]	Debljina zida $b_{wi}$ [m]	$A_{ci}=l_{wi} \cdot b_{wi}$ [m <sup>2</sup> ]	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]
Z3	5,5	0,2	1,1	0,32
Z4	5,5	0,2	1,1	0,32
Z11	3	0,2	0,6	0,14
Z12	3	0,2	0,6	0,14
Z14	2	0,2	0,4	0,08
Z15	2	0,2	0,4	0,08
Z16	2	0,2	0,4	0,08
$\Sigma$				1,17

$$C_{t,x} = \frac{0,075}{\sqrt{1,17}} = 0,069$$

$$T_{1,x} = 0,069 \cdot 18^{3/4} = 0,61 \text{ s}$$

Tablica 13. Ukupna proračunska površina nosivih zidova u Z smjeru

Ukupna proračunska površina presjeka nosivih zidova u Z smjeru				
Zid	Duljina zida $l_{wi}$ [m]	Debljina zida $b_{wi}$ [m]	$A_{ci}=l_{wi} \cdot b_{wi}$ [m <sup>2</sup> ]	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]
Z1	3	0,2	0,6	0,14
Z2	3	0,2	0,6	0,14
Z5	4	0,2	0,8	0,20
Z6	4	0,2	0,8	0,20
Z7	5	0,2	1	0,28
Z8	5	0,2	1	0,28
Z9	7	0,2	1,4	0,49
Z10	7	0,2	1,4	0,49
Z13	3	0,2	0,6	0,14
Z17	8	0,2	1,6	0,64
Z18	8	0,2	1,6	0,64
$\Sigma$				3,62

$$C_{t,z} = \frac{0,075}{\sqrt{3,62}} = 0,039$$

$$T_{1,z} = 0,039 \cdot 18^{3/4} = 0,34 \text{ s}$$

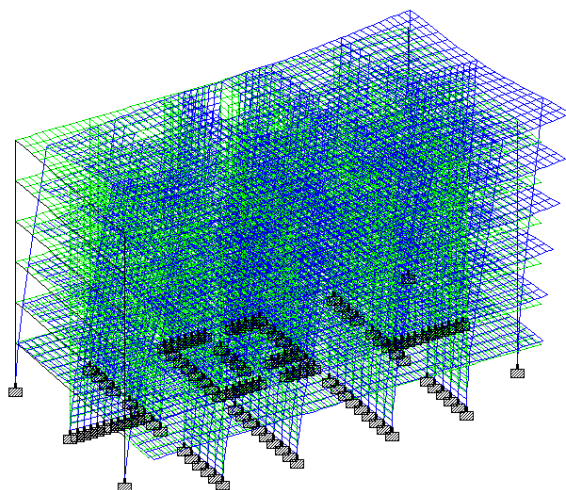
U računalnom programu „Staad.Pro“ na proračunskom modelu su dobivene sljedeće vrijednosti vlastitog perioda osciliranja:

$$\text{Prvi ton: } T_1 = 0,48 \text{ s (smjer X)}$$

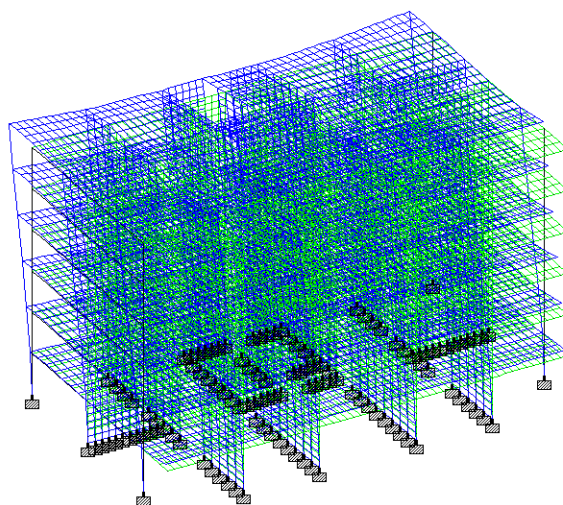
$$\text{Treći ton: } T_3 = 0,25 \text{ s (smjer Z)}$$

U prvom tonu vrijednost vlastitog perioda osciliranja u proračunskom modelu iznosi 0,48s, dok izračunom na ruke iznosi 0,61s. Na dijagramu prikazanom na slici 32. i u tablici 11. očitane vrijednosti proračunskog spektra odziva za period osciliranja od 0,61s iznosi 0,11g, a za period osciliranja od 0,48s iznosi 0,13g.

U trećem tonu vrijednost vlastitog perioda osciliranja u proračunskom modelu iznosi 0,25s, dok izračunom na ruke iznosi 0,34s. Na dijagramu prikazanom na slici 32. i u tablici 11. očitane vrijednosti proračunskog spektra odziva za period osciliranja od 0,15s do 0,40s u kojim granicama se nalazi treći ton iznosi 0,17g.



Slika 33. Prvi ton - translacija zgrade X smjeru (T=0,48s)



Slika 34. Treći ton - translacija zgrade Z smjeru (T=0,25s)

## 5.5. Provjera međukatnih pomaka

Zahtjev ograničenog oštećenja“ smatra se ispunjenim ako su za potresno djelovanje koje ima veću vjerojatnost pojave od proračunskog potresnog djelovanja koje odgovara „zahtjevu da ne smije doći do rušenja“ te kako su međukatni pomaci ograničeni. [9]

Ograničenje međukatnog pomaka provedeno je za najstroži uvet:

$$d_r \cdot v \cdot v' \leq 0,005 \cdot h$$

$d_r$  - pomak točke nosivog sustava izazvan proračunskim seizmičkim djelovanjem

$h = 3 \text{ m}$  - visina kata

$v = 1,0$  - faktor smanjenja kojim se u obzir uzima najkraće povratno razdoblje potresnog djelovanja vezano sa zahtjevom ograničenog oštećenja.

Za proračun graničnog stanja ograničenog oštećenja primjenjuje se karta područja potresa za 95-godišnje povratno razdoblje. S obzirom na to su katni pomaci određeni u računalnom programu Staad.Pro za kartu područja potresa za 475-godišnje povratno razdoblje uvodi se korekcijski faktor:

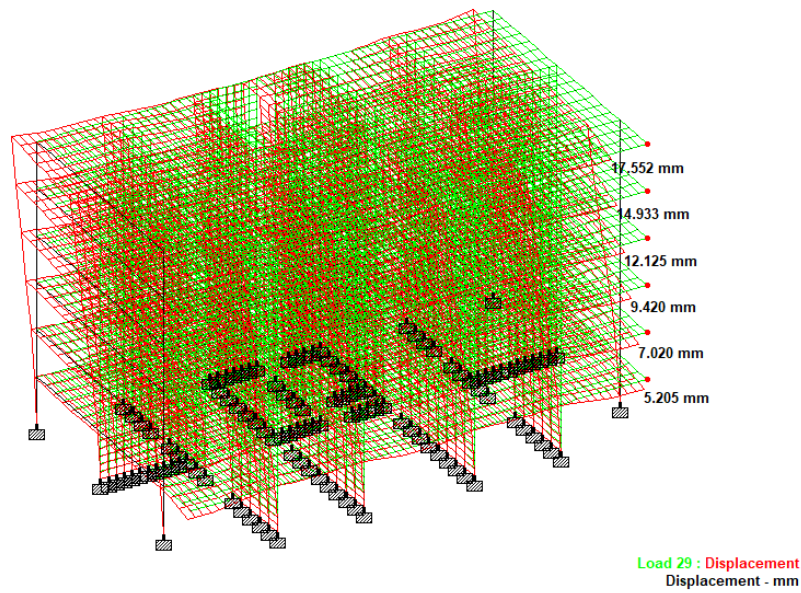
$$v' = \frac{a_{g,95}}{a_{g,475}} = \frac{0,10}{0,20} = 0,50$$

Ako se provodi linearni proračun, pomaci prouzročeni proračunskim potresnim djelovanjem mogu se proračunati na temelju elastičnih deformiranja konstrukcijskoga sustava uz sljedeći pojednostaljeni izraz:

$$d_r = q_d \cdot d_e$$

$q_d = 3$  - faktor ponašanja za pomak koji se pretpostavlja jednakim  $q$

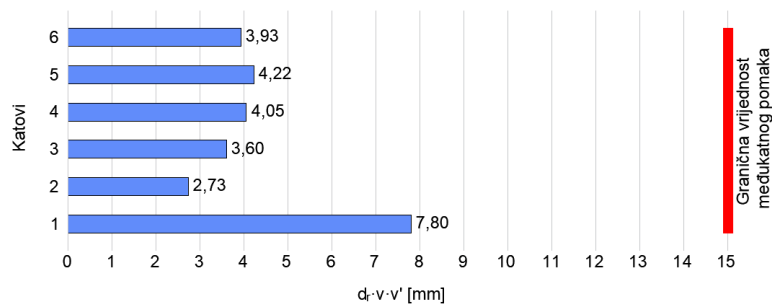
$d_e$  - proračunski međukatni pomak određen kao razlika pomaka pri vrhu i dnu kata koji se promatra



Slika 35. Katni pomak konstrukcijskog sustava prouzročen potresnim djelovanjem

Tablica 14. Provjera ograničenje međukatnog pomaka

Kat	Katni pomak [mm]	$d_e$ [mm]	$d_r$ [mm]	$d_r \cdot v \cdot v'$ [mm]	$\leq$	$0,005 \cdot h$ [mm]
6	17,55	2,62	7,86	3,93	$\leq$	15,00
5	14,93	2,81	8,43	4,22	$\leq$	15,00
4	12,12	2,70	8,10	4,05	$\leq$	15,00
3	9,42	2,40	7,20	3,60	$\leq$	15,00
2	7,02	1,82	5,46	2,73	$\leq$	15,00
1	5,20	5,20	15,60	7,80	$\leq$	15,00



Slika 36. Međukatni pomaci katova u odnosu na graničnu vrijednost

## 5.6. Slučajni torzijski učinci

Momenti torzije uslijed horizontalnog opterećenja potresnim silama nastaje ukoliko se centar masa i centar krutosti ne nalaze u istoj točki. Računalni program Staad.Pro uzima u obzir utjecaj momenta torzije na temelju trodimenzionalnog modela ukoliko su centar masa i centar krutosti u različitim točkama, no u proračunu je potrebno definirati i slučajni ekscentricitet. Dodatni ekcentricitet kojim se uzima u obzir moment torzije od slučajnih torzijskih učinaka kod potresa iznosi 5% duljine konstrukcije:

$$e_x = 0,05 \cdot L_x = 0,05 \cdot 29 = 1,45 \text{ m}$$

$$e_z = 0,05 \cdot L_z = 0,05 \cdot 17 = 0,85 \text{ m}$$

Moment torzije potrebno je nanijeti zasebno na svaki kat, a određuje se prema formuli:

$$M_{t,i} = \pm F_{x,i} \cdot e_z \pm F_{z,i} \cdot e_x$$

Potresna poprečna sila u podnožju – Base Shear „ $F_b$ “ se raspodjeljuje po katovima ovisno o njihovoj visini ( $z$ ) i težini ( $m$ ) u X i Z smjeru:

$$F_i = F_b \cdot \frac{m_i \cdot z_i}{\sum m_j \cdot z_j}$$

$F_i$  – horizontalna sila koja djeluje na katu „ $i$ “

$m_i, m_j$  – mase katova

$z_i, z_j$  – visine masa  $m_i$  i  $m_j$  iznad potresnog djelovanja (temelja ili gornjeg ruba krutog podruma)

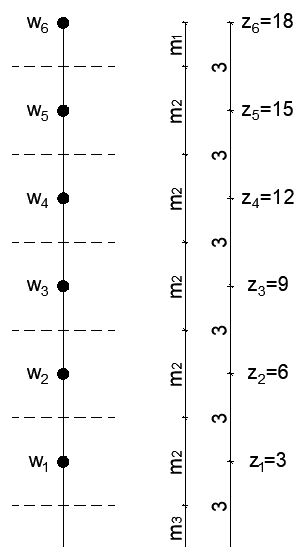
Potresna poprečna sila u podnožju određena je za dva smjera. U računalnom programu „Staad.Pro“ proračunate su vrijednosti:

$$F_{b,x} = 2713,90 \text{ kN}$$

$$F_{b,z} = 3842,17 \text{ kN}$$

Težina katova kao i ukupna težina konstrukcije određena je u računalnom programu „Staad.Pro“. Težina krova  $w_6$  određuje se kao zbroj težine stropne konstrukcije te stupova i zidova visine polovine kata ispod stropa. Težina kata

$w_1 - w_5$  određuje se kao zbroj težine međukatne konstrukcije te stupova i zidova visine polovine kata iznad i ispod međukatne konstrukcije.



Slika 37. Raspored masa "m" na visini "z"

Tablica 15. Težina masa konstrukcije u potresu

Težina masa konstrukcije u potresu [kN]		
	Krov $w_6$	Strop $w_5, w_4, w_3, w_2, w_1$
$W_{\text{stalno}}$	3095,50	3718,00
$W_{\text{dodatno stalno}}$	1544,40	1170,00
$\Psi_{Ei} \cdot W_{\text{uporabno}}$	280,80	936,00
$\Sigma$	4639,90	5112,64

Težina ukupne konstrukcije određuje se kao suma pojedinih masa:

$$\Sigma W = w_1 + 5 \cdot w_2 = 4639,90 + 5 \cdot 5112,64 = 30203,10 \text{ kN}$$

Raspodjela potresne poprečne sile u podnožju konstrukcije  $F_{b,x}$  na pojedine katove u X smjeru:

$$F_x^{6. \text{ kat}} = 2713,90 \cdot \frac{4639,90 \cdot 18}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 722,80 \text{ kN}$$

$$F_x^{5. \text{ kat}} = 2713,90 \cdot \frac{5112,64 \cdot 15}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 663,70 \text{ kN}$$

$$F_x^{4. \text{ kat}} = 2713,90 \cdot \frac{5112,64 \cdot 12}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 530,96 \text{ kN}$$

$$F_x^{3. \text{ kat}} = 2713,90 \cdot \frac{5112,64 \cdot 9}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 398,22 \text{ kN}$$



$$F_x^{2. kat} = 2713,90 \cdot \frac{5112,64 \cdot 6}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 265,48 \text{ kN}$$

$$F_x^{1. kat} = 2713,90 \cdot \frac{5112,64 \cdot 3}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 132,74 \text{ kN}$$

Raspodjela potresne poprečne sile u podnožju konstrukcije  $F_{b,z}$  na pojedine katove u Z smjeru:

$$F_z^{6. kat} = 3842,17 \cdot \frac{4639,90 \cdot 18}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 1023,29 \text{ kN}$$

$$F_z^{5. kat} = 3842,17 \cdot \frac{5112,64 \cdot 15}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 939,63 \text{ kN}$$

$$F_z^{4. kat} = 3842,17 \cdot \frac{5112,64 \cdot 12}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 751,70 \text{ kN}$$

$$F_z^{3. kat} = 3842,17 \cdot \frac{5112,64 \cdot 9}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 563,78 \text{ kN}$$

$$F_z^{2. kat} = 3842,17 \cdot \frac{5112,64 \cdot 6}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 375,85 \text{ kN}$$

$$F_z^{1. kat} = 3842,17 \cdot \frac{5112,64 \cdot 3}{4639,9 \cdot 18 + 5112,64 \cdot (15 + 12 + 9 + 6 + 3)} = 187,93 \text{ kN}$$

Momenti torzije od slučajnih torzijskih učinaka po katovima (najnepovoljnije kombinacije):

$$M_t^{6. kat} = 722,80 \cdot 0,85 + 1023,29 \cdot 1,45 = 1668,09 \text{ kNm}$$

$$M_t^{5. kat} = 663,70 \cdot 0,85 + 939,63 \cdot 1,45 = 1531,70 \text{ kNm}$$

$$M_t^{4. kat} = 530,96 \cdot 0,85 + 751,70 \cdot 1,45 = 1225,36 \text{ kNm}$$

$$M_t^{3. kat} = 398,22 \cdot 0,85 + 563,78 \cdot 1,45 = 919,02 \text{ kNm}$$

$$M_t^{2. kat} = 265,48 \cdot 0,85 + 375,85 \cdot 1,45 = 612,68 \text{ kNm}$$

$$M_t^{1. kat} = 132,74 \cdot 0,85 + 187,93 \cdot 1,45 = 306,34 \text{ kNm}$$

Moment torzije se zadaje u modelu kao dodatno opterećenje: raspodjeljuje se na dvije koncentrirane sile koje djeluje na dva zida ( $n=2$ ) u spoju zida sa pločom. Nanose se u dva smjera. Udaljenost oba zida od centra krutosti iznosi  $L=9$  metara.

$$F^{6. kat} = \frac{M_{t,6}}{n \cdot L} = \frac{1668,09}{2 \cdot 9} = 92,67 \text{ kN}$$

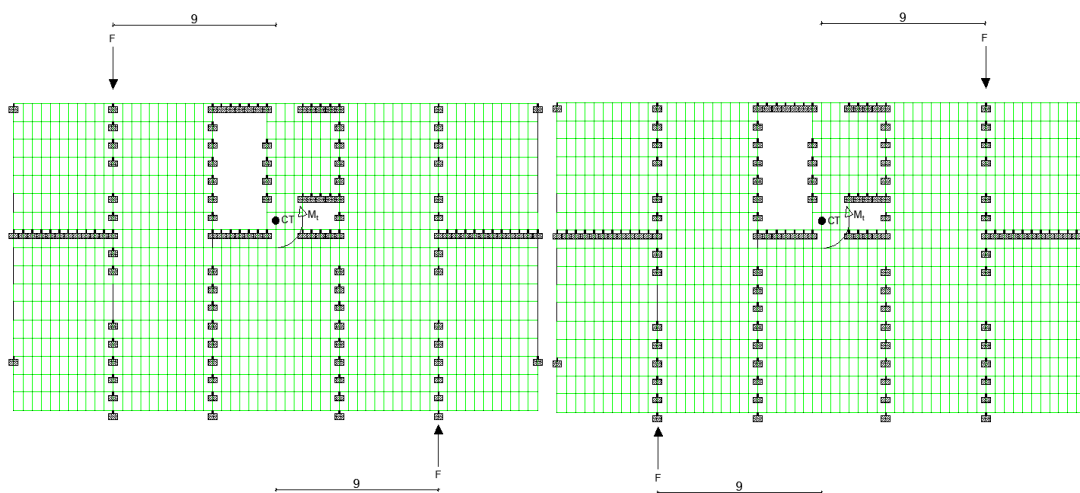
$$F^{5. kat} = \frac{M_{t,5}}{n \cdot L} = \frac{1531,70}{2 \cdot 9} = 85,09 \text{ kN}$$

$$F^{4. kat} = \frac{M_{t,4}}{n \cdot L} = \frac{1225,36}{2 \cdot 9} = 68,08 \text{ kN}$$

$$F^{3. kat} = \frac{M_{t,3}}{n \cdot L} = \frac{919,02}{2 \cdot 9} = 51,06 \text{ kN}$$

$$F^{2. kat} = \frac{M_{t,2}}{n \cdot L} = \frac{612,68}{2 \cdot 9} = 34,04 \text{ kN}$$

$$F^{1. kat} = \frac{M_{t,1}}{n \cdot L} = \frac{306,34}{2 \cdot 9} = 17,02 \text{ kN}$$



Slika 38. Raspodjela momenta torzije od slučajnih torzijskih učinaka na zidove u dva smjera

## 6. Dimenzioniranje zidova

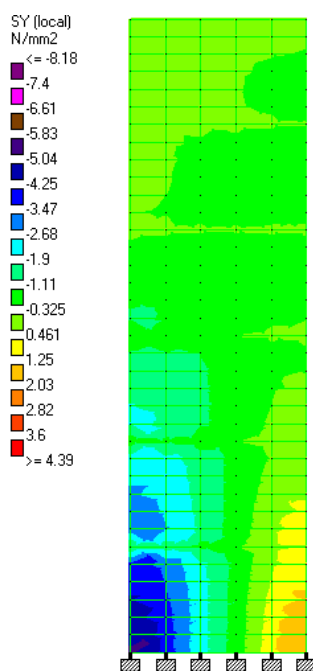
### 6.1. Dimenzioniranje zida Z1

Uzdužna sila u zidu:

$$N_{Ed} = \Sigma \sigma_y \cdot A_{c,plate}$$

$\sigma_y$  - normalno naprezanje u vertikalnom smjeru zida

$A_{c,plate}$  - površina poprečnog presjeka konačnog elementa zida



Slika 39. Normalno naprezanje u vertikalnom smjeru zida za mjerodavnu potresnu proračunsku kombinaciju

$$N_{Ed} = (-5,1 - 3,04 - 1,52 - 0,04 + 1,88) \cdot 1000 \cdot (0,2 \cdot 1,0) = -1564 \text{ kN}$$

Provjera bezdimenzijske uzdužne sile za umjereni razred duktilnosti DCM:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1564}{(20 \cdot 500) \cdot 2} = 0,08 < 0,40$$

Moment savijanja u zidu:

$$M_{Ed} = \frac{I}{z} \cdot \left( \sigma_y - \frac{N}{A_c} \right)$$

$\sigma_y$  - normalno naprezanje u vertikalnom smjeru zida

$A_c$  - površina poprečnog presjeka zida

$I$  - moment tromosti zida

$z$  - udaljenost točke u kojoj se promatra normalno naprezanje od težišta presjeka

$$M_{Ed} = \frac{I}{z} \cdot \left( \sigma_y - \frac{N}{A_c} \right) = \frac{0,2 \cdot 5^3}{2} \cdot \left( 5,1 \cdot 1000 - \frac{1564}{0,2 \cdot 5} \right) = 3683,33 \text{ kNm}$$

Dimenzioniranje zida na moment savijanja i uzdužnu tlačnu silu:

$$M_{Eds} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e$$

Duljina ovijenog rubnog elementa:

$$l_c = x_u \cdot \left( 1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}} \right)$$

$x_u$  - visina tlačnog područja poprečnog presjeka zida

$$x_u = (v_{Ed} + \omega_{vd}) \cdot \frac{l_w \cdot b_w}{b_o}$$

$b_o$  - debljina ovijene betonske jezgre

$$b_o = b_w - 2 \cdot c_{nom} - \emptyset = 20 - 2 \cdot 2,5 - 0,8 = 14,2 \text{ cm}$$

$\omega_{vd}$  - mehanički omjer armiranja vertikalne armature hrpta

$$\omega_{vd} = \frac{A_{s,v}}{l_w \cdot b_w} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

Vertikalna armatura hrpta (izvan kritičnog područja):

$$A_{S,vmin}^{hrpt} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot (20 \cdot 500) = 20 \text{ cm}^2$$

$$A_{S,vmin}^{hrpt} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot (20 \cdot 100) = 4 \text{ cm}^2/m'$$

Maksimalni razmak vertikalne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot b_w \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot 20 \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 60 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right\} = 40 \text{ cm}$$

Područje hrpta potrebno je armirati sa  $\emptyset 8/25 \text{ cm}$  ( $2,01 \text{ cm}^2$ ) uz svako lice zida.

Ukupna armatura hrpta iznosi  $2 \cdot 2,01 = 4,02 \text{ cm}^2/m'$ , odnosno  $20,10 \text{ cm}^2$  u ukupnom presjeku zida.

$$\omega_{vd} = \frac{20,10}{500 \cdot 20} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,044$$

$$x_u = (0,08 + 0,044) \cdot \frac{500 \cdot 20}{14,2} = 87,32 \text{ cm}$$

$\varepsilon_{cu2}$  – tlačna deformacija betona kod čega dolazi do odvajanja zaštitnog sloja betona od armature

$$\varepsilon_{cu2} = 0,0035$$

$\varepsilon_{cu2,c}$  – granična deformacija ovijenog betona

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd}$$

Za zidove pravokutnog poprečnog presjeka mehanički obujamski omjer ovijenih spona u u rubnim elementima  $\omega_{wd}$  treba zadovoljiti sljedeći izraz:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot u_o \cdot (v_{Ed} + \omega_{vd}) \cdot \varepsilon_{Sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_o} - 0,035$$

U kritičnim područjima s uzdužnom armaturom od čelika razreda B, faktor duktilnosti s obzirom na zakrivljenost  $u_o$  mora biti najmanje 1,5 puta veći:

$$u_o = 1,5 \cdot (2 \cdot q_o - 1) = 1,5 \cdot (2 \cdot 3 - 1) = 7,5$$

$\varepsilon_{Sy,d}$  – proračunska vrijednost deformacije vlačne armature na granici popuštanja

$$\varepsilon_{Sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} = 0,002174$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot 7,5 \cdot (0,08 + 0,044) \cdot 0,002174 \cdot \frac{20}{14,2} - 0,035$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} = 0,05$$

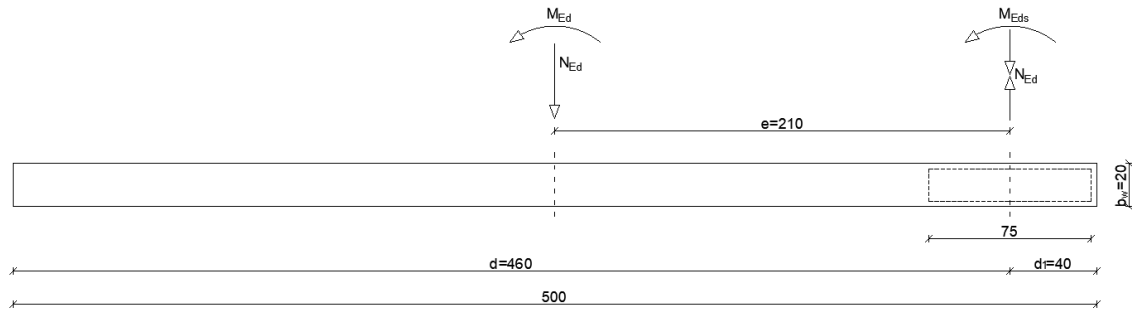
$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot 0,05 = 0,0085$$

$$l_c = 87,32 \cdot \left(1 - \frac{0,0035}{0,0085}\right) = 51,37 \text{ cm}$$

Minimalna duljina ovijenog rubnog elementa:

$$l_c = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \cdot l_w \\ 1,5 \cdot b_w \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \cdot 500 \\ 1,5 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 75 \\ 30 \end{array} \right\} = 75 \text{ cm}$$

Mjerodavna je minimalna duljina ovijenog rubnog elementa.



Slika 40. Poprečni presjek zida

$$e = \frac{l_w}{2} - \frac{l_c}{2} = \frac{500}{2} - \frac{75}{2} - 2 \cdot 2,5 = 210 \text{ cm}$$

$$M_{Eds} = 3683,33 + 1564 \cdot 2,1 = 6967,73 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{696773}{20 \cdot 460^2 \cdot 2,0} = 0,082 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,953$$

$$A_{s,v} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{696773}{0,953 \cdot 460 \cdot 43,48} - \frac{1564}{43,48} = 0,59 \text{ cm}^2$$

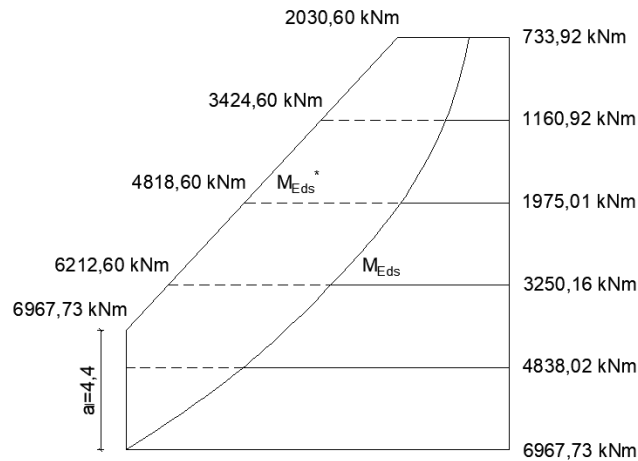
Minimalna vertikalna armatura u rubnom elementu (kritično područje):

$$A_{S,vmin}^{crit} = 0,005 \cdot l_c \cdot b_w = 0,005 \cdot 75 \cdot 20 = 7,5 \text{ cm}^2$$

Područje rubnog elementa potrebno je armirati sa 6Ø10 (4,71 cm<sup>2</sup>) uz svako lice zida. Ukupna armatura rubnog elementa iznosi 12Ø10 (9,42 cm<sup>2</sup>).

Odredbama za zidove umjerene duktilnosti trebaju se obuhvatiti nesigurnosti koje se odnose na raspodjelu momenata po visini potresnih zidova. To se ispunjava tako da proračunski dijagram momenata savijanja po visini zida bude ovojnica dijagrama momenata savijanja iz proračuna, vertikalno pomaknuta za vrijednost vlačnog pomaka  $a_l$ . Može se pretpostaviti da je ovojnica linearna ako u konstrukciji po visini nema znatnih diskontinuiteta mase, krutosti ili otpornosti [9].

$$a_l = z \cdot ctg\theta = (0,953 \cdot 460) \cdot ctg(45^\circ) = 438,38 \text{ cm} \approx 440 \text{ cm}$$



Slika 41. Proračunska ovojnica momenata savijanja za zid Z1

Tablica 16. Proračunski momenti savijanja i proračunska uzdužna armatura po presjecima zida Z1

Proračunski momenti savijanja i proračunska uzdužna armatura zida Z1						
	Podnožje	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat
$M_{Ed}$ [kNm]	3683,33	2178,1	1114,98	378,78	84,65	262,45
$N_{Ed}$ [kN]	1564,00	1266,63	1016,75	760,11	512,51	224,51
$M_{Eds}$ [kNm]	6967,73	4838,02	3250,16	1975,01	1160,92	733,92
$M_{Eds}^*$ [kNm]	6967,73	6967,73	6212,6	4818,6	3424,6	2030,6
$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	0,58	7,42	9,21	7,80	6,18	5,49

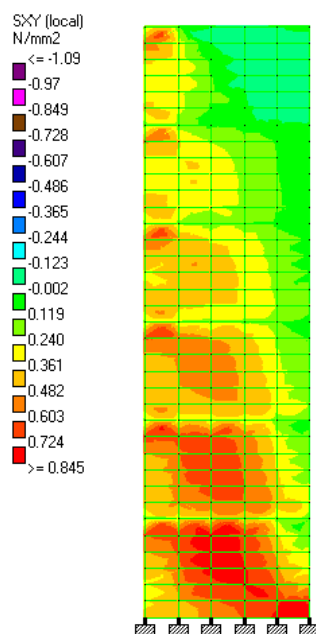
Po cijeloj visini zida zadovoljava odabrana armatura  $12\emptyset 10$  ( $9,42 \text{ cm}^2$ ).

Poprečna sila u zidu:

$$V'_{Ed} = \Sigma \sigma_{xy} \cdot A_{c,plate}$$

$\sigma_{xy}$  - tangencijalno naprezanje u zidu

$A_{c,plate}$  – površina poprečnog presjeka konačnog elementa zida



Slika 42. Tangencijalno naprezanje u zidu za mjerodavnu potresnu proračunsku kombinaciju

Poprečna sila u podnožju zida:

$$V'_{Ed} = (0,37 + 0,46 + 0,57 + 0,64 + 0,84) \cdot 1000 \cdot (0,2 \cdot 1,0) = 576 \text{ kN}$$

Dimenzioniranje na poprečne sile provodi se za 50% povećanu silu iz proračuna, kako bi se uzelo u obzir moguće povećanje poprečnih sila nakon popuštanja armature u podnožju zidu:

$$V_{Ed} = 1,5 \cdot V'_{Ed} = 1,5 \cdot 576 = 864 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova (kriterij tlačne čvrstoće betona):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$\alpha_{cw} = 1$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 \cdot 20 \cdot (0,9 \cdot 460) \cdot 0,53 \cdot 2}{ctg(45^\circ) + tg(45^\circ)} = 4388,40 \text{ kN}$$

$$864 < 4388,40 \text{ kN}$$



Provjera nosivosti na poprečne sile bez poprečne armature:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_e \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \\ [0,035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2} + k_l \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \end{array} \right\}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right\} = \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{4600}} \right\} = \min \left\{ \frac{1,21}{2} \right\} = 1,21$$

$$\rho_e = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot d} = \frac{7,86}{20 \cdot 460} = 0,0009$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{1564 \cdot 1000}{(200 \cdot 5000)} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$k_l = 0,15$$

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} [0,12 \cdot 1,21 \cdot (100 \cdot 0,0009 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 1,56] \cdot 200 \cdot 4600 \\ [0,035 \cdot 1,21^{2/3} \cdot 30^{1/2} + 0,15 \cdot 1,56] \cdot 200 \cdot 4600 \end{array} \right\}$$

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} 401292,60 \text{ N} \\ 415545,78 \text{ N} \end{array} \right\} = 415545,78 \text{ N} = 415,55 \text{ kN}$$

$$864 > 415,55 \text{ kN}$$

Potreban je proračun poprečne armature.

Određivanje minimalne poprečne armature:

a) Najveći uzdužni razmak poprečne armature iz uvjeta najmanje poprečne armature

Spone  $\emptyset 8$ , reznost  $m = 2$ ,  $A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$ :

$$s_{1,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,50 \cdot 2}{20 \cdot 0,001} = 50 \text{ cm}$$

b) Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{1,max}$  u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$110,01 < 0,3 \cdot 4388,40 = 1316,52 \text{ kN}$$

$$s_{1,max} = \min \left\{ \frac{0,75 \cdot d}{300 \text{ mm}} \right\} = \min \left\{ \frac{0,75 \cdot 46}{300 \text{ mm}} \right\} = \min \left\{ \frac{34,5}{30 \text{ cm}} \right\} = 30 \text{ cm}$$

Usvaja se minimalna poprečna armatura  $\emptyset 8/30 \text{ cm}$ .

Glavna poprečna armatura proračunava se iz uvjeta:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{s}$$

Odabiru se spone  $\emptyset 8$ , reznost  $m=2$ ,  $A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$ :

$$s = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{V_{Ed}} = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 460) \cdot ctg(45^\circ)}{864} = 20,83 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 460) \cdot ctg(45^\circ)}{20} = 900,04 \text{ kN}$$

$$864 < 900,04 \text{ kN}$$

Poprečna sila u u razini prvog kata:

$$V'_{Ed} = (0,48 + 0,48 + 0,60 + 0,54 + 0,39) \cdot 1000 \cdot (0,2 \cdot 1,0) = 498 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1,5 \cdot V'_{Ed} = 1,5 \cdot 498 = 747 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

$$747 < 900,04 \text{ kN}$$

Poprečna sila u u razini drugog kata:

$$V'_{Ed} = (0,50 + 0,37 + 0,47 + 0,42 + 0,27) \cdot 1000 \cdot (0,2 \cdot 1,0) = 406 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1,5 \cdot V'_{Ed} = 1,5 \cdot 406 = 609 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

$$609 < 900,04 \text{ kN}$$

Poprečna sila u u razini trećeg kata:

$$V'_{Ed} = (0,50 + 0,28 + 0,36 + 0,31 + 0,17) \cdot 1000 \cdot (0,2 \cdot 1,0) = 324 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1,5 \cdot V'_{Ed} = 1,5 \cdot 324 = 486 \text{ kN}$$

Odabiru se spone  $\emptyset 8$ , reznost  $m=2$ ,  $A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$ :

$$s = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{V_{Ed}} = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 460) \cdot ctg(45^\circ)}{486} = 37,04 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 460) \cdot \operatorname{ctg}(45^\circ)}{30} = 600,02 \text{ kN}$$

$$486 < 600,02 \text{ kN}$$

Minimalna horizontalna armatura u zidu:

$$A_{s,hmin} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot A_{s,v} \\ 0,001 \cdot A_c \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 4 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 \cdot (20 \cdot 100) \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 2 \end{array} \right\} = 2 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Horizontalna armatura postavljena obostrano po cijeloj plohi zida ne smije biti manja od  $2 \text{ cm}^2/\text{m}'$ . Razmak horizontalne armature treba biti manji od 40 cm.

Područje od podnožja zida do trećeg kata armira se poprečnom armaturom  $\emptyset 8/20 \text{ cm}$  ( $2 \cdot 2,51 = 5,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$ ). Ostatak zida se po visini armira minimalnom poprečnom armaturom  $\emptyset 8/30 \text{ cm}$  ( $2 \cdot 1,68 = 3,36 \text{ cm}^2/\text{m}'$ ).

Tablica 17. Proračunske poprečne sile i odabrana poprečna armatura po presjecima zida Z1

Proračunske poprečne sile i odabrana poprečna armatura zida Z1						
	Podnožje	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat
$V_{ed}$ [kN]	576,00	498	406	324	190	66
$V_{Ed}$ [kN]	864,00	747,00	609,00	486,00	285,00	99,00
$A_{s,h}$	$\emptyset 8/20 \text{ cm}$	$\emptyset 8/20 \text{ cm}$	$\emptyset 8/20 \text{ cm}$	$\emptyset 8/30 \text{ cm}$	$\emptyset 8/30 \text{ cm}$	$\emptyset 8/30 \text{ cm}$

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} l_w \\ h_w/6 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 500 \\ 1800/6 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 500 \\ 300 \end{array} \right\} = 300 \text{ cm}$$

$$h_{cr} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot l_w \\ h_s \text{ za } n \leq 6 \text{ katova} \\ 2 \cdot h_s \text{ za } n \geq 7 \text{ katova} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot 500 \\ 280 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1000 \\ 280 \end{array} \right\} = 280 \text{ cm}$$

Usvaja se visina kata  $h_{cr} = 300 \text{ cm}$ .

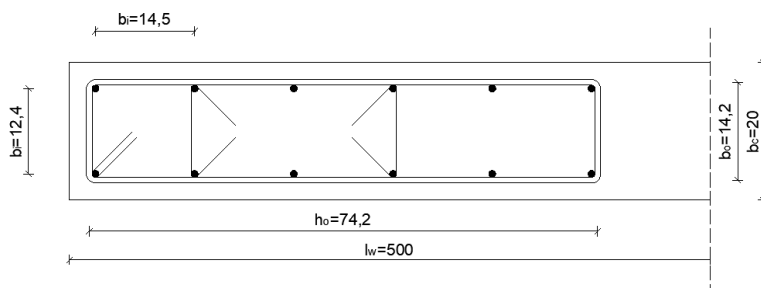
U kritičnom području se ograničava razmak spona:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} b_o/2 \\ 17,5 \text{ cm} \\ 8 \cdot d_{bl} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 14,2/2 \\ 17,5 \text{ cm} \\ 8 \cdot 1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 7,1 \\ 17,5 \text{ cm} \\ 8 \end{array} \right\} = 7 \text{ cm}$$

## Osiguranje lokalne duktilnosti zida

Kako bi se osigurala dovoljna razina ovijanja mora biti zadovoljena nejednakost:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot u_o \cdot (v_{Ed} + \omega_{vd}) \cdot \varepsilon_{Sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_o} - 0,035$$



Slika 43. Poprečni presjek rubnog elementa zida i raspored armature

$\alpha$  – faktor djelotvornosti ovijanja za pravokutni presjek

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$$

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_o \cdot h_o}$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_o}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_o}\right)$$

$n$  – ukupni broj šipki uzdužne armature ovijen sponama

$b_i$  – razmak između susjednih obuhvaćenih šipki

$b_o$  – širina ovijene jezgre

$$\alpha_n = 1 - \frac{2 \cdot 12,4^2 + 2 \cdot 14,5^2 + 4 \cdot 29^2}{6 \cdot 14,2 \cdot 74,2} = 0,35$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{7}{2 \cdot 14,2}\right) \cdot \left(1 - \frac{7}{2 \cdot 74,2}\right) = 0,72$$

$$\alpha = 0,35 \cdot 0,72 = 0,25$$

$$\omega_{wd} = \frac{V_{sw}}{V_c} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$V_{sw}$  – volumen ovijenih spona

$V_c$  – volumen betonske jezgre

$$V_{sw} = A_{sw}^1 \cdot [(2 \cdot b_o + 2 \cdot h_o) + 2 \cdot b_o]$$

$$V_{sw} = 0,50 \cdot [(2 \cdot 14,2 + 2 \cdot 74,2) + 2 \cdot 14,2] = 95,5 \text{ cm}^3$$

$$V_c = b_o \cdot h_o \cdot s = 14,2 \cdot 74,2 \cdot 7 = 7375,48 \text{ cm}^3$$

$$\omega_{wd} = \frac{95,5}{7375,48} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,28$$

$$0,25 \cdot 0,28 \geq 30 \cdot 7,5 \cdot (0,08 + 0,044) \cdot 0,002174 \cdot \frac{20}{14,2} - 0,035$$

$$0,07 > 0,05$$

Odabiru se spona unutar kritičnog područja  $\emptyset 8/7 \text{ cm}$ .

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

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

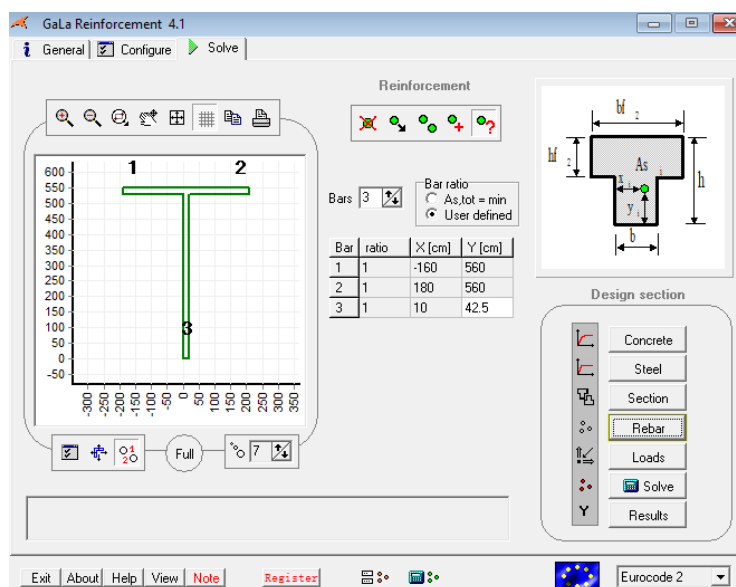
$$\alpha_1 = 1,0; \alpha_2 = 1,0; \alpha_3 = 1,0; \alpha_5 = 1,0; \alpha_6 = 1,5$$

$$\emptyset 8 \quad l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot \left( \frac{8}{4} \cdot \frac{434,8}{3} \right) = 434,8 \text{ mm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$\emptyset 10 \quad l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot \left( \frac{10}{4} \cdot \frac{434,8}{3} \right) = 543,5 \text{ mm} \approx 55 \text{ cm}$$

## 6.2. Dimenzioniranje zida Z2 T-presjeka

Dimenzioniranje zida Z2 provedeno je u računalnom programu Gala Reinforcement. Potrebna proračunska armatura definirana je u težištima rubnih elementa zida prema slici 44.



Slika 44. Pozicije potrebne proračunske armature u zidu Z2 u računalnom programu "Gala Reinforcement"

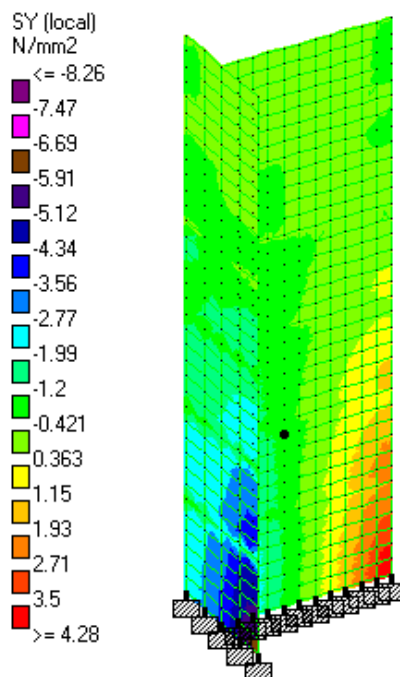
Dimenzioniranje zida T-presjeka provodi se na ukupnu uzdužnu silu u zidu te na dvoosno savijanje (momenti savijanja oko pojasnice i hrpta). Razmatrane su potresne kombinacije i stalna kombinacija, a najveće opterećenje dobiveno je za potresnu kombinaciju. Rezne sile određene su u podnožju zida pomoću naredbe "Result along line" u računalnom programu Staad.Pro:

$$N_{Ed}^{Hrba} = 85,08 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{Pojasnica} = 2915,73 \text{ kN}$$

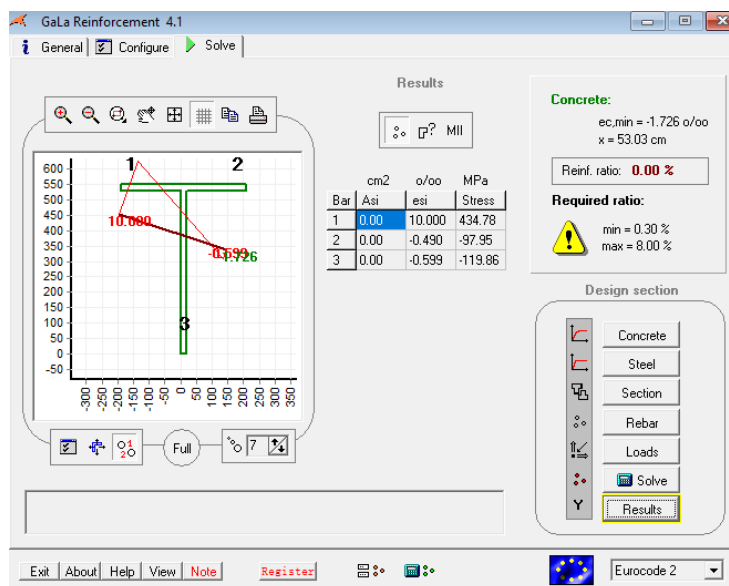
$$M_{Ed}^{Hrba} = 4055,72 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{Pojasnica} = 2068,3 \text{ kNm}$$

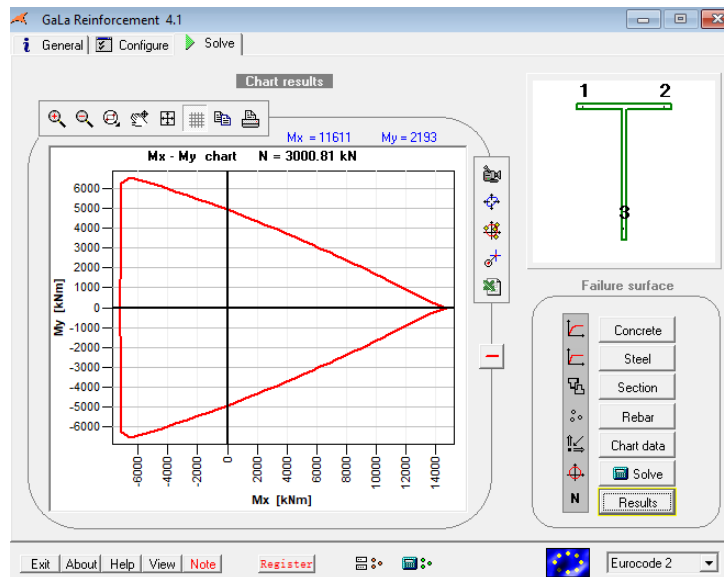


Slika 45. Normalno naprezanje u vertikalnom smjeru zida za mjerodavnu potresnu proračunsku kombinaciju

Proračunom zida Z2 T-presjeka u računalnom programu Gala Reinforcement nije potrebna uzdužna armatura. Mjerodavna je minimalna armatura.



Slika 46. Proračunska armatura zida Z2 u računalnom programu "Gala Reinforcement"



Slika 47. Provjera nosivosti presjeka za odabranu armaturu

### 6.2.1. Dimenzioniranje hrpta

Duljina ovijenog rubnog elementa:

$$l_c = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \cdot l_w \\ 1,5 \cdot b_w \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \cdot 550 \\ 1,5 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 82,5 \\ 30 \end{array} \right\} = 85 \text{ cm}$$

Minimalna vertikalna armatura u rubnom elementu (kritično područje):

$$A_{S,vmin}^{crit} = 0,005 \cdot l_c \cdot b_w = 0,005 \cdot 85 \cdot 20 = 8,5 \text{ cm}^2$$

Područje rubnog elementa potrebno je armirati sa 6Ø10 (4,71 cm<sup>2</sup>) uz svako lice zida. Ukupna armatura u rubnom elementu iznosi 12Ø10 (9,42 cm<sup>2</sup>).

Vertikalna armatura hrpta (izvan kritičnog područja):

$$A_{S,vmin}^{hrpt} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot (20 \cdot 550) = 22 \text{ cm}^2$$

$$A_{S,vmin}^{hrpt} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot (20 \cdot 100) = 4 \text{ cm}^2/m'$$

Maksimalni razmak vertikalne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot b_w \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot 20 \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 60 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right\} = 40 \text{ cm}$$



Područje hrpta potrebno je armirati sa  $\emptyset 8/25$  cm ( $2,01$   $cm^2$ ) uz svako lice zida. Ukupna armatura hrpta iznosi  $2 \cdot 2,01 = 4,02$   $cm^2/m'$ , odnosno  $22,11$   $cm^2$  u ukupnom presjeku zida.

### 6.2.2. Dimenzioniranje pojasnice

Duljina ovijenog rubnog elementa kraćeg dijela zida:

$$l_c = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \cdot l_w \\ 1,5 \cdot b_w \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \cdot 400 \\ 1,5 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 60 \\ 30 \end{array} \right\} = 60 \text{ cm}$$

Minimalna vertikalna armatura u rubnom elementu (kritično područje):

$$A_{S,vmin}^{crit} = 0,005 \cdot l_c \cdot b_w = 0,005 \cdot 60 \cdot 20 = 6 \text{ cm}^2$$

Područje rubnog elementa potrebno je armirati sa  $6\emptyset 10$  ( $4,71$   $cm^2$ ) uz svako lice zida. Ukupna armatura u rubnom elementu iznosi  $12\emptyset 10$  ( $9,42$   $cm^2$ ).

Vertikalna armatura hrpta (izvan kritičnog područja):

$$A_{S,vmin}^{hrpt} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot (20 \cdot 400) = 16 \text{ cm}^2$$

$$A_{S,vmin}^{hrpt} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot (20 \cdot 100) = 4 \text{ cm}^2/m'$$

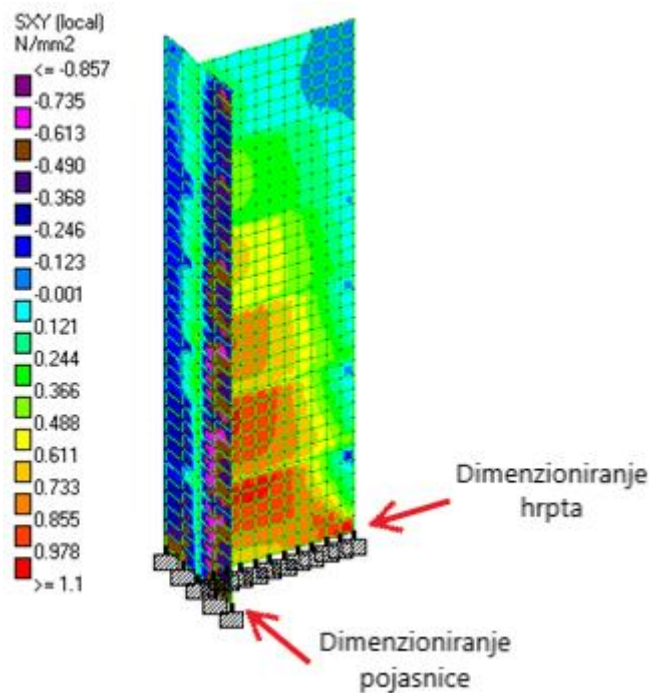
Maksimalni razmak vertikalne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot b_w \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot 20 \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 60 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right\} = 40 \text{ cm}$$

Područje hrpta potrebno je armirati sa  $\emptyset 8/25$  cm ( $2,01$   $cm^2$ ) uz svako lice zida. Ukupna armatura hrpta iznosi  $2 \cdot 2,01 = 4,02$   $cm^2/m'$ , odnosno  $16,08$   $cm^2$  u ukupnom presjeku zida.

### 6.2.3. Dimenzioniranje na poprečne sile

Horizontalna armatura se postavlja jednaka u hrbatu i pojasnici, a dimenzioniranje se provodi na najveću poprečnu silu koju se javlja u presjeku zida Z2.



Slika 48. Tangencijalno naprezanje u zidu za mjerodavnu potresnu proračunsku kombinaciju

Rezultati dobiveni opcijom “Result along line” u podnožju zida:

$$V'_{Ed} = 1067 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1,5 \cdot V'_{Ed} = 1,5 \cdot 1067 = 1600,5 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova (kriterij tlačne čvrstoće betona):

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$\alpha_{cw} = 1$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$d = \frac{L}{2} - \frac{l_c}{2} - 2,5 = \frac{400}{2} - \frac{60}{2} - 2,5 = 367,5 \approx 368 \text{ cm}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 \cdot 20 \cdot (0,9 \cdot 368) \cdot 0,53 \cdot 2}{ctg(45^\circ) + tg(45^\circ)} = 3510,72 \text{ kN}$$

$$1660,5 < 3510,72 \text{ kN}$$

Glavna horizontalna armatura proračunava se iz uvjeta:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{s}$$

Odabiru se spone  $\emptyset 10$ , reznost  $m=2$ ,  $A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2$ :

$$s = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{V_{Ed}} = \frac{0,79 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 368) \cdot ctg(45^\circ)}{1600,5} = 14,22 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0,79 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 368) \cdot ctg(45^\circ)}{14} = 1625,21 \text{ kN}$$

$$1696,07 < 1625,21 \text{ kN}$$

Minimalna horizontalna armatura u zidu:

$$A_{s,hmin} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot A_{s,v} \\ 0,001 \cdot A_c \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 4 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 \cdot (20 \cdot 100) \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 2 \end{array} \right\} = 2 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Razmak horizontalne armature treba biti manji od 40 cm.

Zid se armira horizontalnom armaturom  $\emptyset 10/14 \text{ cm}$  ( $5,61 \text{ cm}^2/\text{m}'$ ) uz svako lice zida.

Visina kritičnog područja:

$$h_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} l_w \\ h_w/6 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 550 \\ 1800/6 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 550 \\ 300 \end{array} \right\} = 300 \text{ cm}$$

$$h_{cr} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot l_w \\ h_s \text{ za } n \leq 6 \text{ katova} \\ 2 \cdot h_s \text{ za } n \geq 7 \text{ katova} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot 550 \\ 280 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1100 \\ 280 \end{array} \right\} = 280 \text{ cm}$$

Usvaja se visina kata  $h_{cr} = 300 \text{ cm}$ .

U kritičnom području se ograničava razmak spona:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} b_o/2 \\ 17,5 \text{ cm} \\ 8 \cdot d_{bl} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 14,2/2 \\ 17,5 \text{ cm} \\ 8 \cdot 1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 7,1 \\ 17,5 \text{ cm} \\ 8 \end{array} \right\} = 7 \text{ cm}$$

Odabiru se spone unutar kritičnog područja  $\emptyset 10/7 \text{ cm}$ .

## 7. Dimenzioniranje greda POZ. 107 i POZ. 109

### 7.1. Dimenzioniranje greda na momente savijanja

Za dimenzioniranje greda na momente savijanja u računalnom programu Staad.Pro napravljena je anvelopa momenata savijanja za potresne i stalnu kombinaciju djelovanja.



Slika 49. Anvelopa momenata savijanja za grede POZ. 107 i POZ.109 (stalna+potresne kombinacije djelovanja)

Na momente savijanje grede dodaje se i momenti savijanja iz ploča na proračunskoj sudjelujućoj širini pojasnice  $b_{eff}$ :

Lijevi oslonac POZ.107:  $\Delta M = 21,81 \text{ kNm}$

Polje POZ. 107:  $\Delta M = -3,14 \text{ kNm}$

Oslonac POZ. 107-109:  $\Delta M = 2,45 \text{ kNm}$

Polje POZ. 109:  $\Delta M = -3,62 \text{ kNm}$

Desni oslonac POZ.109:  $\Delta M = 24,60 \text{ kNm}$

Ukupni proračunski moment savijanja:  $M_{Eds} = M_{Env} + \Delta M \cdot b_{eff}$

Lijevi oslonac POZ. 107:  $M_{Eds} = -89,40 - 21,81 \cdot 1,42 = -121 \text{ kNm}$

Polje POZ. 107:  $M_{Eds} = 57,18 + 3,14 \cdot 1,42 = 62 \text{ kNm}$

Oslonac POZ. 107-109:  $M_{Eds} = -101,22 - 2,45 \cdot 1,42 = -105 \text{ kNm}$

Polje POZ. 109:  $M_{Eds} = 51,13 + 3,62 \cdot 1,42 = 57 \text{ kNm}$

Desni oslonac POZ. 109:  $M_{Eds} = -59,58 - 24,60 \cdot 1,42 = -95 \text{ kNm}$

## Statička visina grede

Najmanji zaštitni sloj:

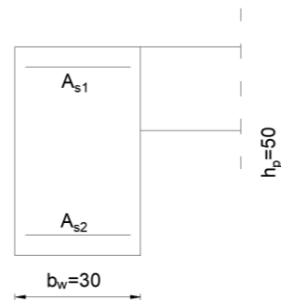
$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \emptyset \leq 20 \text{ mm} \\ c_{min,dur} = 10 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 20 \text{ mm}$$

Dodatak debljine zaštitnog sloja za osiguranje odstupanja:  $\Delta c_{min,dev} = 10 \text{ mm}$

$$c_{nom} = 2,0 + 1,0 = 3,0 \text{ cm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_w + \frac{\emptyset}{2} = 3,0 + 0,8 + \frac{2}{2} = 4,8 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 50 - 4,8 = 45,2 \text{ cm}$$



Slika 50. Poprečni presjek grede na osloncu

### **7.1.1. Lijevi oslonac POZ. 107**

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12100}{30 \cdot 45,2^2 \cdot 2,0} = 0,099 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,946$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{12100}{0,946 \cdot 45,2 \cdot 43,48} = 6,51 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{0,29}{50} \cdot 30 \cdot 45,2 \geq 0,0013 \cdot 30 \cdot 45,2$$

$$A_{s,min} = 2,05 > 1,76 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura prema omjeru armiranja u vlačnom području  $\rho_{min}$  prema HRN EN 1998-1 [6]:

$$\rho_{min} = 0,5 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 \cdot \frac{0,29}{50} = 0,0029$$

$$A_{S,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,0029 \cdot 30 \cdot 45,2 = 3,93 \text{ cm}^2$$

Minimalni razmak šipki:

$$s = \max \left\{ \begin{array}{l} \emptyset \\ \emptyset_g + 5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}$$

U vlačnoj zoni na lijevom osloncu odabire se armatura: 6Ø12 (6,79 cm<sup>2</sup>).

Kod potresne proračunske situacije, kako bi se osigurala lokalna duktilnost potrebno je najmanje 50% vlačne armature staviti u tlačno područje. Odabire se: 5Ø10 (3,93 cm<sup>2</sup>).

### 7.1.2. Polje POZ. 107

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{6200}{142 \cdot 45,2^2 \cdot 2,0} = 0,011$$

$$\zeta = 0,990 \quad \xi = 0,025$$

$x = \xi \cdot d = 0,025 \cdot 45,2 = 1,13 \text{ cm} < h_f = 20 \text{ cm}$       Neutralna os prolazi kroz ploču.

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{6200}{0,990 \cdot 45,2 \cdot 43,48} = 3,19 \text{ cm}^2$$

$$A_{S,min} = 3,93 \text{ cm}^2$$

U vlačnoj zoni u polju grede odabire se armatura: 5Ø10 (3,93 cm<sup>2</sup>).

50% vlačne armature postavlja se u tlačno područje. Odabire se: 3Ø10 (2,36 cm<sup>2</sup>).

### 7.1.3. Oslonac POZ. 107-109

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10500}{30 \cdot 45,2^2 \cdot 2,0} = 0,086 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,953$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{10500}{0,953 \cdot 45,2 \cdot 43,48} = 5,61 \text{ cm}^2$$

$$A_{S,min} = 3,93 \text{ cm}^2$$

U vlačnoj zoni na središnjem osloncu odabire se armatura: 6Ø12 (6,79 cm<sup>2</sup>).

50% vlačne armature postavlja se u tlačno područje. Odabire se: 5Ø10 (3,93 cm<sup>2</sup>).

#### 7.1.4. Polje POZ. 109

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5700}{142 \cdot 45,2^2 \cdot 2,0} = 0,001$$

$$\zeta = 0,995 \quad \xi = 0,012$$

$x = \xi \cdot d = 0,012 \cdot 45,2 = 0,54 \text{ cm} < h_f = 20 \text{ cm}$       Neutralna os prolazi kroz ploču.

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5700}{0,995 \cdot 45,2 \cdot 43,48} = 2,91 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 3,93 \text{ cm}^2$$

U vlačnoj zoni u polju grede odabire se armatura: 5Ø10 (3,93 cm<sup>2</sup>).

50% vlačne armature postavlja se u tlačno područje. Odabire se: 3Ø10 (2,36 cm<sup>2</sup>).

#### 7.1.5. Desni oslonac POZ. 109

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9500}{30 \cdot 45,2^2 \cdot 2,0} = 0,078 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,957$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9500}{0,957 \cdot 45,2 \cdot 43,48} = 5,05 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 3,93 \text{ cm}^2$$

U vlačnoj zoni na desnom osloncu odabire se armatura: 6Ø12 (6,79 cm<sup>2</sup>).

50% vlačne armature postavlja se u tlačno područje. Odabire se: 5Ø10 (3,93 cm<sup>2</sup>).

Proračun vrijednosti potrebnih za crtanje dijagrama vlačnih sila:

- Pomak vlačnih sila:

$$a_l = \frac{ctg\theta - ctg\alpha}{2} \cdot z = \frac{ctg(40^\circ) - ctg(90^\circ)}{2} \cdot z = 0,60 \cdot z$$

Lijevi oslonac POZ. 107:

$$d = 45,2 \text{ cm}; \zeta = 0,946; z = d \cdot \zeta = 45,2 \cdot 0,946 = 42,76 \text{ cm}$$

$$a_l = 0,60 \cdot 42,76 = 25,66 \approx 26 \text{ cm}$$

Polje POZ. 107:

$$d = 45,2 \text{ cm}; \zeta = 0,990; z = d \cdot \zeta = 45,2 \cdot 0,99 = 44,75 \text{ cm}$$

$$a_l = 0,60 \cdot 44,75 = 26,85 \approx 27 \text{ cm}$$

Oslonac POZ. 107-109

$$d = 45,2 \text{ cm}; \zeta = 0,975; z = d \cdot \zeta = 45,2 \cdot 0,975 = 44,07 \text{ cm}$$

$$a_l = 0,60 \cdot 44,07 = 26,44 \approx 27 \text{ cm}$$

Polje POZ. 109:

$$d = 45,2 \text{ cm}; \zeta = 0,995; z = d \cdot \zeta = 45,2 \cdot 0,995 = 44,97 \text{ cm}$$

$$a_l = 0,60 \cdot 44,97 = 26,98 \approx 27 \text{ cm}$$

Desni oslonac POZ. 109:

$$d = 45,2 \text{ cm}; \zeta = 0,953; z = d \cdot \zeta = 45,2 \cdot 0,953 = 43,08 \text{ cm}$$

$$a_l = 0,60 \cdot 43,08 = 25,85 \approx 26 \text{ cm}$$

- Nosivost šipki:

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd}$$

$$\emptyset 10 \quad A_{s1} = 0,79 \text{ cm}^2 \quad F_{s1} = 0,79 \cdot 43,48 = 34,35 \text{ kN}$$

$$\emptyset 12 \quad A_{s1} = 1,13 \text{ cm}^2 \quad F_{s1} = 1,13 \cdot 43,48 = 49,13 \text{ kN}$$

- Duljine sidrenja uzdužnih šipki u gredama:

$$l_{bd} = l_{bd,rqd} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 = \left( \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{434,8}{3} \right) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 36,23 \cdot \emptyset$$

$$\emptyset 10 \quad l_{bd} = 36,23 \cdot 1,0 = 36,23 \approx 40 \text{ cm}$$

$$\emptyset 12 \quad l_{bd} = 36,23 \cdot 1,2 = 43,48 \approx 45 \text{ cm}$$



- Duljina prijeklopa nastavljajem:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot \left( \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{434,8}{3} \right) = 54,35 \cdot \emptyset$$

$$\emptyset 10 \quad l_0 = 54,35 \cdot 1,0 = 54,35 \approx 55 \text{ cm}$$

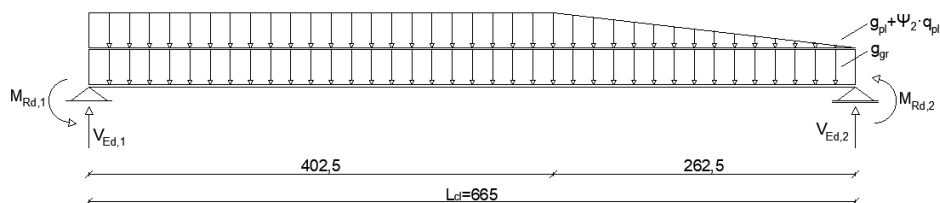
$$\emptyset 12 \quad l_0 = 54,35 \cdot 1,2 = 65,22 \approx 70 \text{ cm}$$

## 7.2. Dimenzioniranje grede na poprečne sile prema sposobnosti nosivosti

Projektiranjem prema sposobnosti (kapacitetu) nosivosti potrebno je ostvariti hijerarhiju formiranja plastičnih zglobova radi osiguranja prikladnog plastičnog mehanizma uz izbjegavanje krhkih oblika sloma. Popuštanje elemenata zbog savijanja treba nastupiti bez krhkih oblika sloma (poprečnom silom, sidrenjem ili izvijanjem), odnosno potrebno je osigurati da pri opterećenju koje uzrokuje otkazivanje savijanjem grede ne dolazi do sloma posmikom [9].

Greda POZ. 107 i greda POZ. 109 su armirane jednakom armaturom, te je u obje grede armatura na lijevom osloncu simetrična armaturi na desnom osloncu.

### a) Smjer 1



Slika 51. Opterećenje grede

$L_{cl}$  – svijetla visina grede

$$L_{cl} = 7,0 - \frac{0,50}{2} - \frac{0,20}{2} = 6,65 \text{ m}$$

Proračunski moment nosivosti grede  $M_{Rd,1}$  ( $A_{s1} = 6,79 \text{ cm}^2$ ):

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{6,79}{30 \cdot 45,2} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,109 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,944$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,944 \cdot 45,2 \cdot 43,48 \cdot 6,79 = 12597,08 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd,1} = 125,97 \text{ kNm}$$

Proračunski moment nosivosti grede  $M_{Rd,2}$  ( $A_{s1} = 3,93 \text{ cm}^2$ ):

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{3,93}{30 \cdot 45,2} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,063 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,967$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,967 \cdot 45,2 \cdot 43,48 \cdot 3,93 = 7468,73 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd,2} = 74,69 \text{ kNm}$$

Vertikalno opterećenje grede:

Vlastita težina grede:  $g_{gr} = (0,3 \cdot 0,5) \cdot 25 = 3,75 \text{ kN/m}'$

Vlastita težina ploče:  $g_{pl} = 7,5 \cdot 2,63 = 19,73 \text{ kN/m}'$

Uporabno opterećenje ploče:  $q_{pl} = 2 \cdot 2,63 = 5,26 \text{ kN/m}'$

Suma momenata oko lijevog oslonca:

$$V_{Ed,2} \cdot 6,65 + Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2}) - g_{gr} \cdot \frac{6,65^2}{2} - (g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot \frac{4,03^2}{2} - \frac{(g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot 2,63}{2} \cdot \left(4,03 + \frac{1}{3} \cdot 2,63\right) = 0$$

$$V_{Ed,2} \cdot 6,65 = -1 \cdot (125,97 + 74,69) + 3,75 \cdot \frac{6,65^2}{2} + (19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot \frac{4,03^2}{2} + \frac{(19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot 2,63}{2} \cdot \left(4,03 + \frac{1}{3} \cdot 2,63\right)$$

$$V_{Ed,2} \cdot 6,65 = 192,77$$

$$V_{Ed,2} = 28,99 \text{ kN}$$

Suma momenata oko desnog oslonca:

$$V_{Ed,1} \cdot 6,65 - Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2}) - g_{gr} \cdot \frac{6,65^2}{2} - (g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot 4,03 \cdot \left(\frac{4,03}{2} + 2,63\right) - \frac{(g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot 2,63}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2,63\right) = 0$$

$$V_{Ed,1} \cdot 6,65 = 1 \cdot (125,97 + 74,69) + 3,75 \cdot \frac{6,65^2}{2} + (19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot 4,03$$

$$\cdot \left( \frac{4,03}{2} + 2,63 \right) + \frac{(19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot 2,63}{2} \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot 2,63 \right) = 0$$

$$V_{Ed,1} \cdot 6,65 = 731,58$$

$$V_{Ed,1} = 110,01 \text{ kN}$$

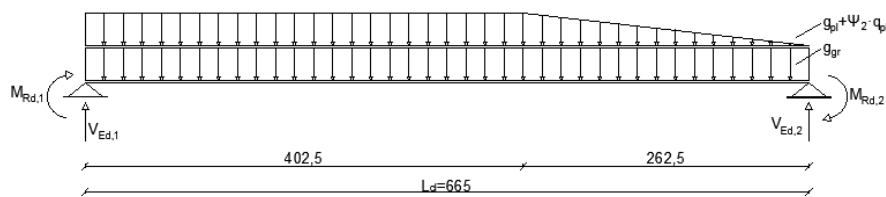
Provjera sume vertikalnih sila:

$$g_{gr} \cdot 6,65 + (g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot \left( 4,03 + \frac{2,63}{2} \right) = V_{Ed,2} + V_{Ed,1}$$

$$3,75 \cdot 6,65 + (19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot \left( 4,03 + \frac{2,63}{2} \right) = 110,01 + 28,99$$

$$138,83 \approx 139,00 \text{ kN}$$

b) Smjer 2



Slika 52. Opterećenje grede

Suma momenata oko lijevog oslonca:

$$V_{Ed,2} \cdot 6,65 - Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2}) - g_{gr} \cdot \frac{6,65^2}{2} - (g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot \frac{4,03^2}{2}$$

$$- \frac{(g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot 2,63}{2} \cdot \left( 4,03 + \frac{1}{3} \cdot 2,63 \right) = 0$$

$$V_{Ed,2} \cdot 6,65 = 1 \cdot (125,97 + 74,69) + 3,75 \cdot \frac{6,65^2}{2} + (19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot \frac{4,03^2}{2}$$

$$+ \frac{(19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot 2,63}{2} \cdot \left( 4,03 + \frac{1}{3} \cdot 2,63 \right)$$

$$V_{Ed,2} \cdot 6,65 = 594,09$$

$$V_{Ed,2} = 89,34 \text{ kN}$$

Suma momenata oko desnog oslonca:

$$V_{Ed,1} \cdot 6,65 + Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2}) - g_{gr} \cdot \frac{6,65^2}{2} - (g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot 4,03 \cdot \left(\frac{4,03}{2} + 2,63\right) - \frac{(g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot 2,63}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2,63\right) = 0$$

$$V_{Ed,1} \cdot 6,65 = -1 \cdot (125,97 + 74,69) + 3,75 \cdot \frac{6,65^2}{2} + (19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot 4,03 \cdot \left(\frac{4,03}{2} + 2,63\right) + \frac{(19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot 2,63}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2,63\right) = 0$$

$$V_{Ed,1} \cdot 6,65 = 330,26$$

$$V_{Ed,1} = 49,66 \text{ kN}$$

Provjera sume vertikalnih sila:

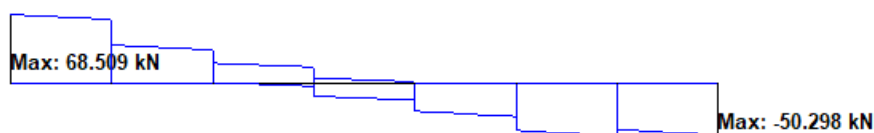
$$g_{gr} \cdot 6,65 + (g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}) \cdot \left(4,03 + \frac{2,63}{2}\right) = V_{Ed,2} + V_{Ed,1}$$

$$3,75 \cdot 6,65 + (19,73 + 5,26 \cdot 0,3) \cdot \left(4,03 + \frac{2,63}{2}\right) = 89,34 + 49,66$$

$$138,83 \approx 139,00 \text{ kN}$$

Proračunom poprečnih sila prema sposobnosti nosivosti za dva slučaja djelovanja utvrđeno je da se lijevi oslonac grede dimenzionira na poprečnu silu  $V_{Ed,1} = 110,01 \text{ kN}$ , a desni oslonac na poprečnu silu  $V_{Ed,2} = 89,34 \text{ kN}$ .

Proračunske poprečne sile za stalnu kombinaciju djelovanja prikazane su na slici 53. Vidljivo je da su poprečne sile određene prema kapacitetu nosivosti veće od proračunskih iz modela, pa se dimenzioniranje provodi na poprečne sile određene prema kapacitetu nosivosti.



Slika 53. Proračunske vrijednosti poprečnih sila grede u Staad.Pro-u

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$\alpha_{cw} = 1$$

$$\theta = 40^\circ$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 \cdot 30 \cdot (0,9 \cdot 45,2) \cdot 0,53 \cdot 2}{ctg(40^\circ) + tg(40^\circ)} = 636,99 \text{ kN}$$

$$110,01 \leq 636,99 \text{ kN}$$

Određivanje minimalne poprečne armature:

a) Najveći uzdužni razmak poprečne armature iz uvjeta najmanje poprečne armature

Koeficijent armiranja najmanjom poprečnom armaturom  $\rho_{w,min}$  za razred tlačne čvrstoće betona C30/37 iznosi 0,0010.

Spone  $\emptyset 8$ , reznost  $m = 2$ ,  $A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$ :

$$s_{1,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,5 \cdot 2}{30 \cdot 0,0010} = 33,33 \text{ cm}$$

b) Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{1,max}$  u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$110,01 < 0,3 \cdot 636,99 = 191,10 \text{ kN}$$

$$s_{1,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d \\ 300 \text{ mm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot 45,2 \\ 300 \text{ mm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 33,9 \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\} = 30 \text{ cm}$$

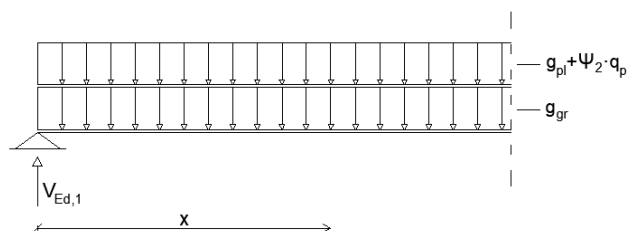
Usvaja se minimalna poprečna armatura  $\emptyset 8/30 \text{ cm}$ .

Nosivost na poprečne sile za minimalnu poprečnu armaturu:

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{s} = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 45,2) \cdot ctg(40^\circ)}{30}$$

$$V_{Rd,s}^{min} = 70,27 \text{ kN}$$

Određivanje područja grede uz lijevi oslonac u kojemu je potrebna proračunska poprečna armatura:



Slika 54. Područje grede uz lijevi oslonac s proračunskom poprečnom armaturom

$$V_{Rd,s}^{min} = V_{Ed,1} - g_{gr} \cdot x - \frac{g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}}{2} \cdot x$$

$$70,27 = 110,01 - 3,75 \cdot x - 19,73 + 5,26 \cdot 0,3 \cdot x$$

$$70,27 - 110,01 = -25,06 \cdot x$$

$$x = 1,59 \approx 1,60 \text{ m}$$

Proračunska poprečna armatura na duljini  $L_x = 1,60 \text{ m}$  mjereno od lijevog oslonca proračunava se iz uvjeta:

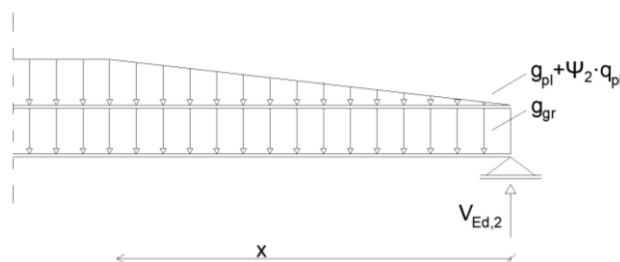
$$V_{Ed,2} \leq V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{s}$$

Odabiru se spone  $\emptyset 8$ , reznost  $m = 2$ ,  $A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$ :

$$s = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{V_{Ed,2}} = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 45,2) \cdot ctg(40^\circ)}{110,01} = 19,16 \text{ cm}$$

Na duljini  $L_{x,2} = 1,60 \text{ m}$  mjereno od lijevog oslonca potrebna je poprečna armatura  $\emptyset 8/19 \text{ cm}$ .

Određivanje područja grede uz desni oslonac u kojemu je potrebna proračunska poprečna armatura:



Slika 55. Područje grede uz desni oslonac s proračunskom poprečnom armaturom

$$V_{Rd,s}^{min} = V_{Ed,2} - g_{gr} \cdot x - \frac{g_{pl} + \Psi_2 \cdot q_{pl}}{2} \cdot x$$

$$70,27 = 89,49 - 3,75 \cdot x - \frac{19,73 + 5,26 \cdot 0,3}{2} \cdot x$$

$$70,27 - 89,49 = -14,41 \cdot x$$

$$x = 1,33 \approx 1,40 \text{ m}$$

Proračunska poprečna armatura na duljini  $L_x = 1,40 \text{ m}$  mjereno od desnog oslonca proračunava se iz uvjeta:

$$V_{Ed,2} \leq V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{s}$$

Odabiru se spone  $\emptyset 8$ , reznost  $m = 2$ ,  $A_{sw}^1 = 0,50 \text{ cm}^2$ :

$$s = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{V_{Ed,2}} = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 45,2) \cdot ctg(40^\circ)}{89,49} = 23,55 \text{ cm}$$

Na duljini  $L_{x,2} = 1,40 \text{ m}$  mjereno od desnog oslonca potrebna je poprečna armatura  $\emptyset 8/20 \text{ cm}$ .

Radi jednostavnijeg armiranja na duljini  $L_x = 1,60 \text{ m}$  mjereno od lijevog i desno oslonca odabire se poprečna armatura  $\emptyset 8/19 \text{ cm}$ . Ostatak grede u kojemu je dovoljna minimalna poprečna armatura (između dijelova greda sa proračunskom armaturom) armira se sa  $\emptyset 8/30 \text{ cm}$ .

#### Osiguranje lokalne duktilnosti grede

Kritično područje grede iznosi:

$$l_{crit} = h_w = 50 \text{ cm}$$

Omjer armiranja  $\rho$  u vlačnom području ne smije premašivati vrijednost  $\rho_{max}$ :

$$\rho \leq \rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{u_o \cdot \varepsilon_{Sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Omjer armiranja  $\rho$  u vlačnom području:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,79}{30 \cdot 45,2} = 0,005$$

Omjer armiranja  $\rho'$  u tlačnom području:

$$\rho' = \frac{A_{s2}}{b_w \cdot d} = \frac{3,93}{30 \cdot 45,2} = 0,003$$

$$\rho_{max} = 0,003 + \frac{0,0018}{7,5 \cdot 0,002174} \cdot \frac{2}{43,48} = 0,008$$

$$\rho \leq \rho_{max}$$

$$0,005 < 0,008$$

Duž cijele grede omjer armiranja u vlačnom području  $\rho$  mora biti veći od  $\rho_{min}$ :

$$\rho > \rho_{min}$$

$$0,0050 > 0,0029$$

Promjer spona mora biti veći od 6mm. Minimalni razmak spona:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_w}{4} \\ 24 \cdot d_{bw} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bl} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{50}{4} \\ 24 \cdot 0,8 \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot 1,2 \end{array} \right\} \min \left\{ \begin{array}{l} 12,5 \\ 19,2 \\ 22,5 \text{ cm} \\ 9,6 \end{array} \right\} = 10 \text{ cm}$$

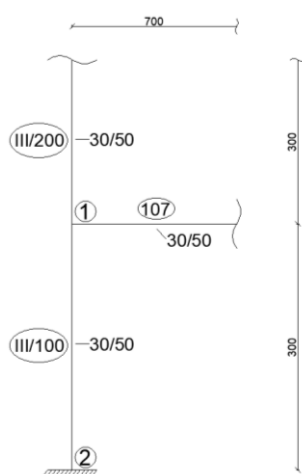
U kritičnom području grede odabire se poprečna armatura  $\emptyset 8/10 \text{ cm}$ .



## 8. Dimenzioniranje stupa POZ. III/100

Provjera graničnog stanja nosivosti vitkih elemenata i konstrukcija provodi se na deformiranom sustavu, odnosno po teoriji II. reda. Dopušten je pojednostavljeni postupak proračuna učinaka teorije II. reda na pojedinačnim vitkim stupovima. Za taj postupak potrebno je odrediti duljinu izvijanja stupa. Postupak se provodi za stup POZ III/100, koji je naprezan najvećom uzdužnom tlačnom silom, pa je opasnost da se taj stup izvije najveća [9].

Postupak se provodi za vrijednosti iz stalne proračunske situacije.



Slika 56. Dimenzije stupova i grede

### Vitkost stupa - smjer y

Rotacijska krutost čvora:

$$k = \frac{\sum \left[ E \cdot \frac{I_{col}}{L_{col}} \right]}{4 \cdot E \cdot \frac{I_b^{II}}{L_b}}$$

Moment tromosti stupa:

$$I_{col}^{III/100} = I_{col}^{III/200} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{30 \cdot 50^3}{12} = 312500 \text{ cm}^4$$

Duljina stupa:  $L_{col} = 300 \text{ cm}$

Moment tromosti grede za raspucalo stanje presjeka:

$$I_b^{II} = 50\% \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,5 \cdot \frac{30 \cdot 50^3}{12} = 156250 \text{ cm}^4$$

Raspon grede:  $L_b = 700 \text{ cm}$

Rotacijska krutost čvora 1:

$$k_1 = \frac{E \cdot \left[ \frac{312500}{300} + \frac{312500}{300} \right]}{4 \cdot E \cdot \frac{156250}{700}} = 2,33$$

Rotacijska krutost čvora 2:

U slučaju upetog stupa teoretska krutost je  $k = 0$ , ali budući da se u praksi teško može postići potpuna upetost, preporuča se minimalna vrijednost  $k = 0,1$ .

$$k_2 = 0,1$$

Efektivna duljina za pridržane elemente:

$$L_{0,y} = 0,5 \cdot L_{col} \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)}$$

$$L_{0,y} = 0,5 \cdot 3 \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{2,33}{0,45 + 2,33}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,1}{0,45 + 0,1}\right)} = 2,21 \text{ m}$$

Vitkost stupa:

$$\lambda_y = \frac{L_{0,y}}{i} = \frac{L_{0,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{221}{0,289 \cdot 50} = 15,29$$

Granična vitkost:

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}}$$

Usvajaju se vrijednosti koeficijenta na strani sigurnosti:  $A = 0,7$ ;  $B = 1,1$ ;

Vrijednosti koeficijenta C određuje se prema HRN EN 1992-1-1 [5]:

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - \frac{M_{01}}{M_{02}}$$

$M_{01}, M_{02}$  - krajnji momenti prvog reda na vrhu i dnu stupa

Ako krajnji momenti  $M_{01}$  i  $M_{02}$  daju vlačna naprezanja na istoj strani  $r_m$  treba biti pozitivan ( $C \leq 1,7$ ), a ukoliko daju vlačna naprezanja na suprotnim stranama  $r_m$  treba biti negativan ( $C \geq 1,7$ ). Na strani sigurnosti uzima se da je omjer krajnjih momenata  $M_{01}/M_{02} = 0$ .

$$C = 1,7 - 0 = 1,7$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{1282}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,43$$

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 1,7 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,43}} = 39,92$$

$$\lambda_y \leq \lambda_{lim}$$

$$15,29 < 39,92$$

Za smjer y nije potrebno uzimati u obzir učinke II. reda.

#### Vitkost stupa - smjer z

Stup je u z smjeru pridržan samo s pločom. Kako je stup pridržan zidovima i u ovom smjeru efektivna duljina iznosi:  $L/2 \leq L_{0,z} \leq L$ . Konzervativno se odabire  $L_{0,z} = L = 300 \text{ cm}$ .

$$\lambda_z = \frac{L_{0,z}}{i} = \frac{L_{0,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{300}{0,289 \cdot 30} = 34,60$$

$$\lambda_z \leq \lambda_{lim}$$

$$34,60 < 39,92$$

Za smjer z nije potrebno uzimati u obzir učinke II. reda.

Odvojene proračune za y i z smjer zanemarujući dvoosno savijanje je moguće provesti ako su zadovoljeni uvjeti:

$$\frac{\lambda_y}{\lambda_z} \leq 2$$

$$\frac{\lambda_z}{\lambda_y} \leq 2$$

$$\frac{15,29}{34,60} = 0,44 < 2$$

$$\frac{34,60}{15,29} = 2,26 > 2$$

Potrebno je napraviti provjeru prema dijagramima interakcije za dvoosno savijanje stupova za slučaj armature raspodijeljene po stranama pravokutnog presjeka [10].

## Statička visina stupa

Najmanji zaštitni sloj:

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \emptyset \leq 20 \text{ mm} \\ c_{min,dur} = 10 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 20 \text{ mm}$$

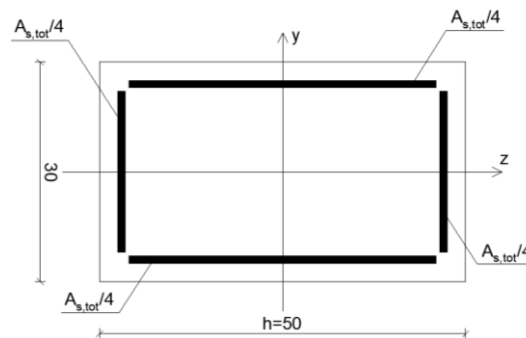
Dodatak debljine zaštitnog sloja za osiguranje odstupanja:  $\Delta c_{min,dev} = 10 \text{ mm}$

$$c_{nom} = 2,0 + 1,0 = 3,0 \text{ cm}$$

$$d_1 = c_{nom} + \emptyset_w + \frac{\emptyset}{2} = 3,0 + 1,0 + \frac{2}{2} = 5 \text{ cm}$$

$$d_h = h - d_1 = 50 - 5 = 45 \text{ cm}$$

$$d_b = b - d_1 = 30 - 5 = 25 \text{ cm}$$



Slika 57. Poprečni presjek stupa

## 8.1. Provjera graničnog stanja nosivosti

a) Stalna situacija – donji presjek stupa

$$M_{Ed,y} = 6,44 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 15,18 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1282 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_{Ed,y} &= \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{644}{30 \cdot 50^2 \cdot 2,0} = 0,004 = \mu_2 \\ \mu_{Ed,z} &= \frac{M_{Ed,z}}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{1518}{30^2 \cdot 50 \cdot 2,0} = 0,017 = \mu_1 \\ \nu_{Ed} &= \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1282}{30 \cdot 50 \cdot 2,0} = -0,43 \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = 0$$

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0 \text{ cm}^2$$

Proračun minimalne armature:

$$A_{S,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \cdot \frac{|N_{Ed}|}{f_{yd}} \\ 0,003 \cdot b \cdot h \\ 4\emptyset 12 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \cdot \frac{|1282|}{43,48} \\ 0,003 \cdot 30 \cdot 50 \\ 4\emptyset 12 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 4,42 \\ 4,5 \\ 4,52 \end{array} \right\} = 4,52 \text{ cm}^2$$

b) Stalna situacija – gornji presjek stupa

$$M_{Ed,y} = 12,59 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 31,18 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1266,82 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_{Ed,y} &= \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1259}{30 \cdot 50^2 \cdot 2,0} = 0,008 = \mu_2 \\ \mu_{Ed,z} &= \frac{M_{Ed,z}}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{3118}{30^2 \cdot 50 \cdot 2,0} = 0,035 = \mu_1 \\ \nu_{Ed} &= \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1266,82}{30 \cdot 50 \cdot 2,0} = -0,43 \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = 0$$

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je minimalna armatura:  $A_{S,min} = 4,52 \text{ cm}^2$

c) Potresna situacija – donji presjek stupa

$$M_{Ed,y} = 3,12 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 16,81 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -922,74 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_{Ed,y} &= \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{312}{30 \cdot 50^2 \cdot 2,0} = 0,002 = \mu_2 \\ \mu_{Ed,z} &= \frac{M_{Ed,z}}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{1681}{30^2 \cdot 50 \cdot 2,0} = 0,019 = \mu_1 \\ \nu_{Ed} &= \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-922,74}{30 \cdot 50 \cdot 2,0} = -0,31 \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = 0$$

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je minimalna armatura.

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 30 \cdot 50 = 15 \text{ cm}^2$$

d) Potresna situacija – donji presjek stupa

$$M_{Ed,y} = 6,31 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 23,72 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -911,49 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_{Ed,y} &= \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{631}{30 \cdot 50^2 \cdot 2,0} = 0,004 = \mu_2 \\ \mu_{Ed,z} &= \frac{M_{Ed,z}}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{2372}{30^2 \cdot 50 \cdot 2,0} = 0,026 = \mu_1 \\ \nu_{Ed} &= \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-911,49}{30 \cdot 50 \cdot 2,0} = -0,30 \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = 0$$

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je minimalna armatura:  $A_{s,min} = 15 \text{ cm}^2$

Odabire se 10Ø14(15,39 cm<sup>2</sup>).

Duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot \left( \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{434,8}{3} \right) = 54,35 \cdot \emptyset$$

$$\emptyset 14 \quad l_0 = 54,35 \cdot 1,4 = 76,09 \approx 80 \text{ cm}$$

## 8.2. Dimenzioniranje stupa na poprečne sile prema sposobnosti nosivosti

U primarnim stupovima poprečne sile određuju se na temelju ravnoteže stupa za momente na krajevima  $M_{i,d}$  [6].



Slika 58. Poprečne sile u stupu pri proračunu sposobnosti nosivosti

$$V_{Ed,1} = V_{Ed,2} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot (M_{1,d} + M_{2,d})}{L_{cl}}$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed,1} = -922,74 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,2} = -911,49 \text{ kN}$$

Odabrana uzdužna armatura u stupu:

$$A_{S,1} = A_{S,2} = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$A_{S,1} = A_{S,2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h$$

$$\omega = \frac{A_{S,1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{6,16 \cdot 43,48}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,09$$

$$v_{Ed,1} = \frac{N_{Ed,1}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-922,74}{30 \cdot 50 \cdot 2,0} = -0,31$$

$$v_{Ed,2} = \frac{N_{Ed,2}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-911,49}{30 \cdot 50 \cdot 2,0} = -0,30$$

$$\mu_{Rd} = \mu_{Ed}$$

$$\mu_{Rd,1} = f(\omega, v_{Ed,1}) = 0,17$$

$$\mu_{Rd,2} = f(\omega, v_{Ed,2}) = 0,17$$

$$M_{Rd,1} = M_{Rd,2} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,17 \cdot 30 \cdot 50^2 \cdot 2 = 25500 \text{ kNcm} = 255 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1} = V_{Ed,2} = \frac{1,1 \cdot (255 + 255)}{2,8} = 201 \text{ kN}$$

Nosivost tlačnih štapova:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$\alpha_{cw} = 1$$

$$\theta = 40^\circ$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 \cdot 30 \cdot (0,9 \cdot 45) \cdot 0,53 \cdot 2}{ctg(40^\circ) + tg(40^\circ)} = 634,17 \text{ kN}$$

$$201 \leq 634,17 \text{ kN}$$

Određivanje minimalne poprečne armature:

a) Najveći uzdužni razmak poprečne armature iz uvjeta najmanje poprečne armature

Spone  $\emptyset 10$ , reznost  $m = 4$ ,  $A_{sw}^1 = 0,79 \text{ cm}^2$ :

$$s_{1,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,79 \cdot 4}{30 \cdot 0,0010} = 105,33 \text{ cm}$$

b) Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{1,max}$  u ovisnosti o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot V_{Rd,max}$$

$$110,01 < 0,3 \cdot 634,17 = 191,25 \text{ kN}$$

$$s_{1,max} = \min \left\{ \frac{0,75 \cdot d}{300 \text{ mm}} \right\} = \min \left\{ \frac{0,75 \cdot 45}{300 \text{ mm}} \right\} = \min \left\{ \frac{33,75}{30 \text{ cm}} \right\} = 30 \text{ cm}$$

Usvaja se minimalna poprečna armatura  $\emptyset 10/30 \text{ cm}$ ,  $m = 4$ .



Nosivost na poprečne sile uz minimalnu poprečnu armaturu:

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot ctg\theta}{s} = \frac{0,79 \cdot 4 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 45) \cdot ctg(40^\circ)}{30}$$

$$V_{Rd,s}^{min} = 221,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

$$201 < 221,05 \text{ kN}$$

Proračun uzdužnog razmaka spona u stupu prema HRN EN 1992-1-1 [5]:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 12 \cdot \emptyset_1 \\ b_{min} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 12 \cdot 1,4 \\ 30 \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 16,8 \\ 30 \\ 30 \end{array} \right\} = 16 \text{ cm}$$

Odabiru se spona  $\emptyset 10/16 \text{ cm}$ ,  $m = 4$ .

Kritično područje stupa:

Kritična područja stupa su područja do udaljenosti  $l_{cr}$  od oba kraja stupa:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c \\ \frac{l_{cl}}{6} \\ 45 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 50 \\ \frac{280}{6} \\ 45 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 50 \\ 46,67 \\ 45 \end{array} \right\} = 50 \text{ cm}$$

Razmak spona  $s$  u kritičnom području:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_0}{2} \\ 17,5 \text{ cm} \\ 8 \cdot d_{bl} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{22,6}{2} \\ 17,5 \text{ cm} \\ 8 \cdot 1,4 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 11,3 \\ 17,5 \\ 11,2 \end{array} \right\} = 11,2 \text{ cm}$$

U kritičnom području odabiru se spona  $\emptyset 10/10 \text{ cm}$ ,  $m = 4$ .

Kako bi se osigurala dovoljna razina ovijanja mora biti zadovoljena nejednakost:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot u_o \cdot v_d \cdot \varepsilon_{Sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_o} - 0,035$$

$\alpha$  – faktor djelotvornosti ovijanja za pravokutni presjek

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$$

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_o \cdot h_o}$$

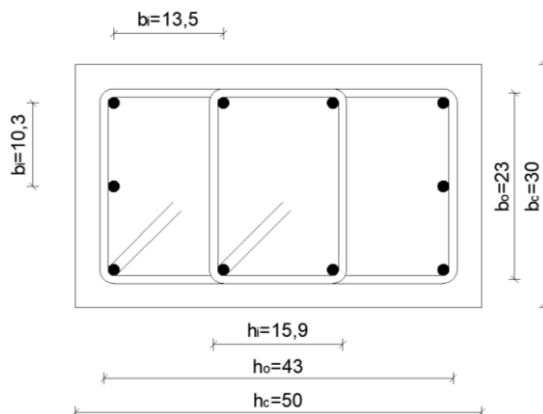
$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_o}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_o}\right)$$

$n$  – ukupni broj šipki uzdužne armature ovijen sponama

$b_i$  – razmak između susjednih ovijenih šipki uzdužne armature

$b_o, h_o, h_i$  – širina ovijene jezgre do osi spona

$\omega_{wd}$  – mehanički obujmski omjer spona unutar kritičnog područja



Slika 59. Poprečni presjek stupa i raspored armature

$$\alpha_n = 1 - \frac{4 \cdot 10,3^2 + 6 \cdot 13,5^2}{6 \cdot 23 \cdot 43} = 0,74$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{10}{2 \cdot 43}\right) \cdot \left(1 - \frac{10}{2 \cdot 43}\right) = 0,69$$

$$\alpha = 0,74 \cdot 0,69 = 0,51$$

$$\omega_{wd} = \frac{V_{sw}}{V_c} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$V_{sw}$  – volumen ovijenih spona

$V_c$  – volumen betonske jezgre

$$V_{sw} = A_{sw}^1 \cdot [(2 \cdot b_o + 2 \cdot h_o) + (2 \cdot b_o + 2 \cdot h_i)]$$

$$V_{sw} = 0,79 \cdot [(2 \cdot 23 + 2 \cdot 43) + (2 \cdot 23 + 2 \cdot 15,9)] = 165,74 \text{ cm}^3$$

$$V_c = b_o \cdot h_o \cdot s = 23 \cdot 43 \cdot 10 = 9890 \text{ cm}^3$$

$$\omega_{wd} = \frac{165,74}{9890} \cdot \frac{43,48}{2} = 0,36$$

Bezdimenzijska uzdužna sila:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{923,31}{30 \cdot 50 \cdot 2} = 0,31 < 0,65$$

$$0,51 \cdot 0,36 \geq 30 \cdot 7,5 \cdot 0,31 \cdot 0,002174 \cdot \frac{30}{23} - 0,035$$

$$0,184 > 0,163$$

Razmak spona izvan kritičnog područja u području prijeklopa:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{4} \\ 10 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{50}{4} \\ 10 \text{ cm} \end{array} \right\} = \min \{12,5\} = 10 \text{ cm}$$

Odabiru se spona u području prijeklopa stupa  $\emptyset 10/10 \text{ cm}$ .

## 10. ZAKLJUČAK

U ovom radu cilj je bio proračunati i dimenzionirati armiranobetonsku zgradu zidnog konstrukcijskog sustava te razraditi detalje armiranja kako bi bio zadovoljen zahtjev da ne smije doći do rušenja i zahtjev ograničenja oštećenja. Konstruktivni elementi zgrade su pravilno raspoređeni što je utjecalo na povoljno ponašanje konstrukcije zgrade u potresnoj situaciji. Zgrada nije u potpunosti simetrična što je uzrokovalo torzijske učinke. Na povoljno ponašanje konstrukcije također je utjecao veliki broj duktilnih zidova. Uvjet ograničenja oštećenja zadovoljen je provjerom međukatnih pomaka konstrukcije u potresnoj kombinaciji opterećenja.

Stropna konstrukcija dimenzionirana je u računalnom programu „Reinforcement Concrete“, u kojemu je dobivena proračunska armatura. Za usporedbu je proveden proračun na ruke prema momentima savijanja iz modela u „Staad.Pro“-u. U donjoj i gornjoj zoni armatura određena u programu „Reinforcement Concrete“ veća je od armature dobivene proračunom na ruke, čime je stropna konstrukcija dimenzionirana na strani sigurnosti. Stropna konstrukcija je provjerena i na proboj stupa, čime je ustanovljeno da je potrebna probojna armatura.

Provjera potresne otpornosti konstrukcije zgrade provedena je na temelju modalnog proračuna primjenom spektra odziva uz zadovoljenje kriterija proračuna prema sposobnosti nosivosti i lokalne duktilnosti konstrukcije za umjereni razred duktilnosti DCM. Armiranobetonski zid zbog velike krutosti i nosivost sposoban je prenositi vertikalna opterećenje te trošiti potresnu energiju. Trošenje potresne energije postignuto je dimenzioniranjem i razradom detalja armiranja u kritičnim područjima zida čime je osigurano duktilno ponašanje zida. U skladu s kriterijem sposobnosti nosivosti, dimenzioniranje na poprečnu sila provedeno je na 50% uvećanu proračunsku vrijednost.

Grede su dimenzionirane na momente savijanja te na poprečne sile prema pravilu kapaciteta nosivosti, dok su stupovi dimenzionirani na momente savijanja, uzdužne sile i poprečne sile prema pravilu kapaciteta nosivosti uz zadovoljenje lokalne duktilnosti. Projektiranjem prema kapacitetu nosivosti dobivene su poprečne sile veće od onih dobivenih u računalnom programu Staad.Pro, na koje

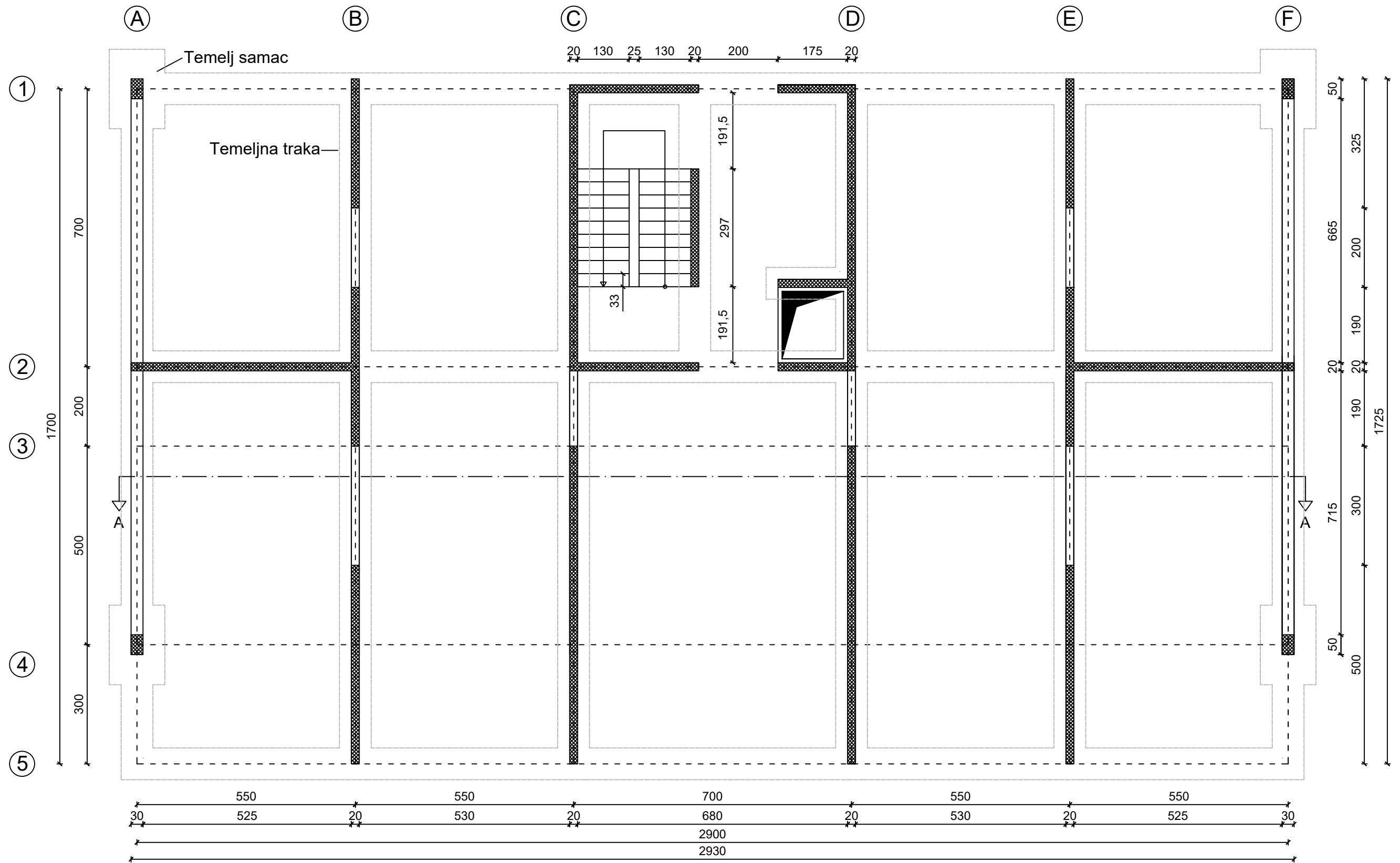
su konstruktivni elementi i dimenzionirani. Time je osigurano da popuštanje zbog savijanja elemenata u kritičnim područjima (plastični zglobovi) nastupi bez krhkih oblika slomova.

## 11. LITERATURA

- [1] HRN EN 1990:2011 - Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija (EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010)
- [2] HRN EN 1991-1-1:2012/ NA:2012 - Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1 - 1: Opća djelovanja - Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada -- Nacionalni dodatak
- [3] HRN EN 1991-1-3:2012 / NA:2016 - Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja - Opterećenja snijegom -- Nacionalni dodatak
- [4] HRN EN 1991-1-4 2012/ NA:2012 - Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1- 4: Opća djelovanja - Djelovanja vjetra -- Nacionalni dodatak
- [5] HRN EN 1992-1-1:2013 - Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004+AC:2010)
- [6] HRN EN 1998-1:2011 - Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. Dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004+AC:2009)
- [7] HRN EN 1998-1:2011/NA:2011 - Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade -- Nacionalni dodatak
- [8] Grandić, D.: Betonske i zidane konstrukcije 1, Separati s predavanja i auditornih vježbi, Rijeka, Akademska godina 2021/22.
- [9] Grandić, D.: Potresno inženjerstvo, Separati s predavanja i auditornih vježbi, Građevinski fakultet Rijeka, Akademska godina 2022/23.
- [10] Sorić Z., Kišiček T.: Betonske konstrukcije 2, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb 2018.

## 12. NACRTI

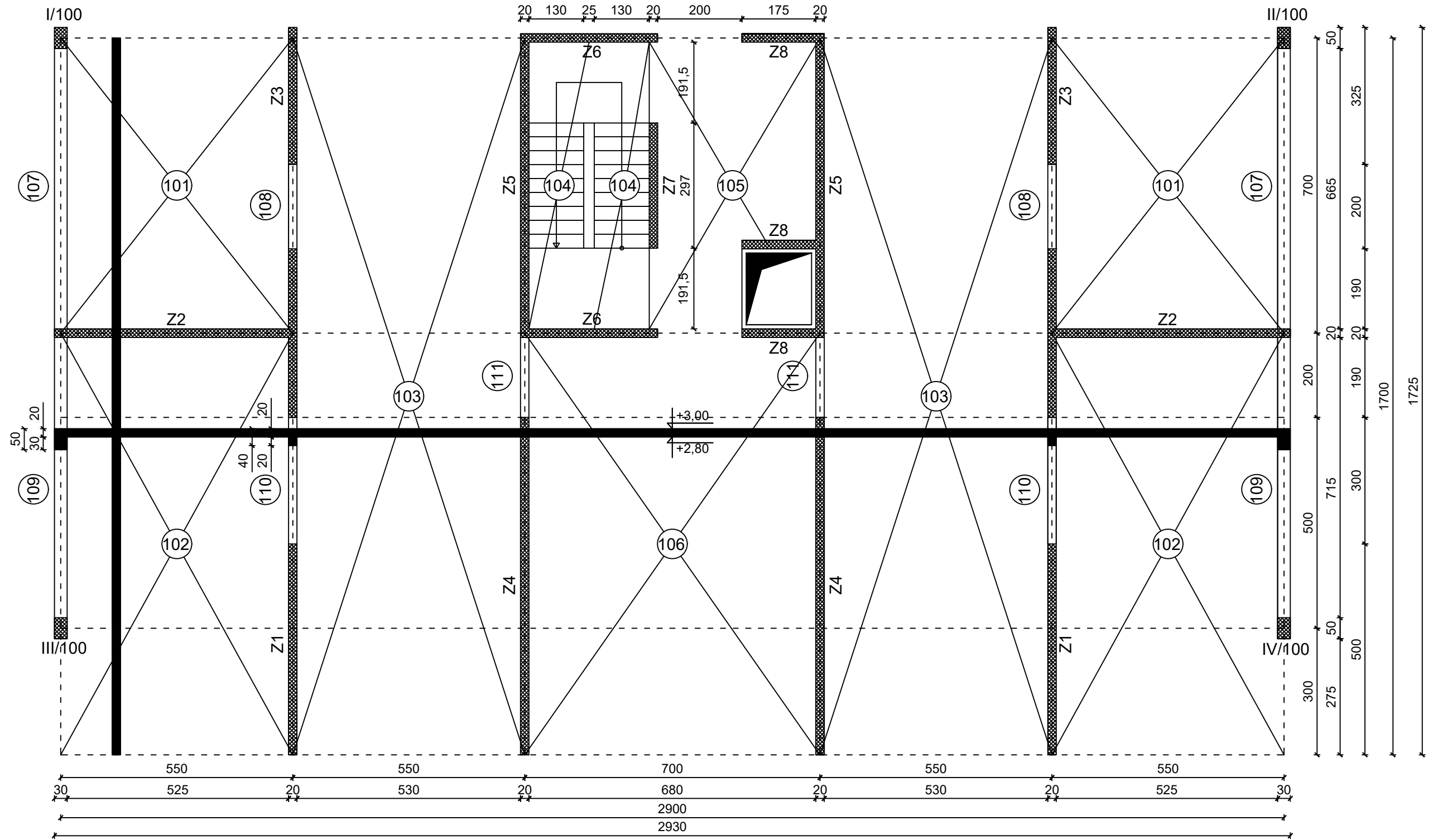
# TLOCRT ZGRADE M1:100



 GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: <b>PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE          AB ZGRADE ZIDNOG          KONSTRUKCIJSKOG SUSTAVA</b>		Sadržaj nacрта: <b>TLOCRT ZGRADE</b>	
Student: <b>Luka Čosić</b>		Kolegij: <b>Betonske i zidane konstrukcije I</b>	
Mentor: Doc. dr. sc. <b>Paulo Ščulac</b>		Datum: IX. 2023	Mjerilo: M1:100
		List: 1	

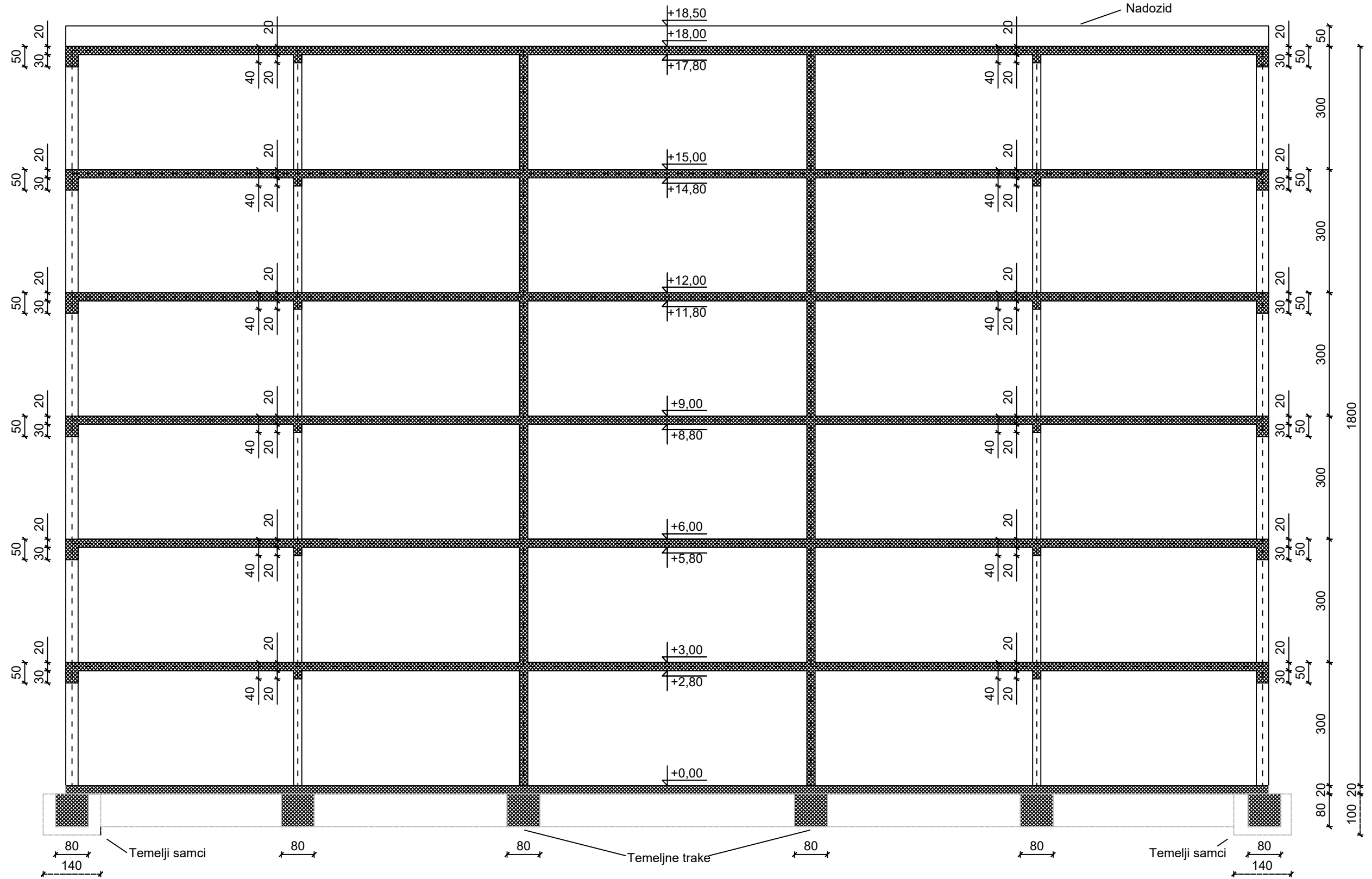



# SHEMA POZICIJA - POZ.100 M1:100



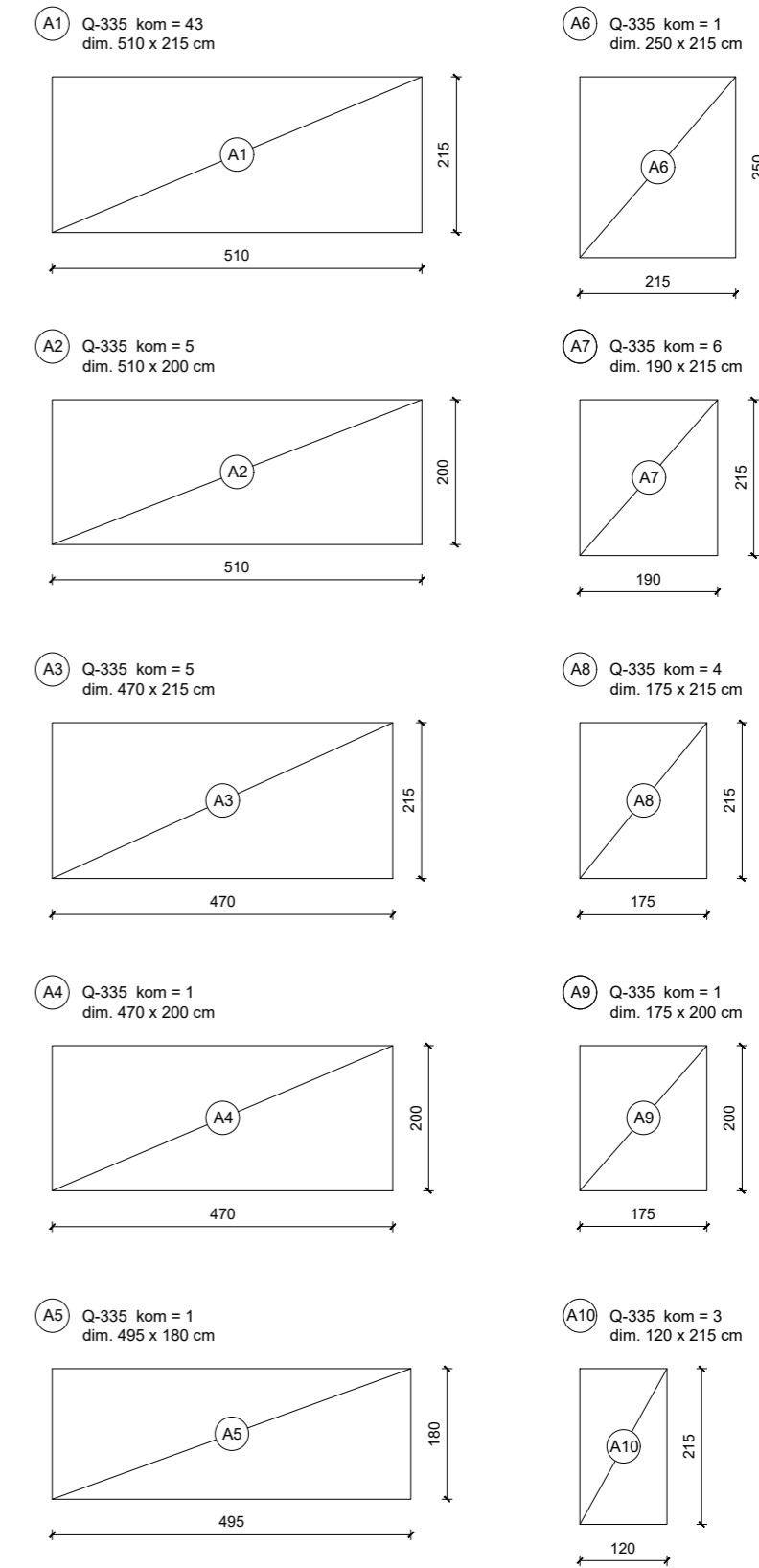
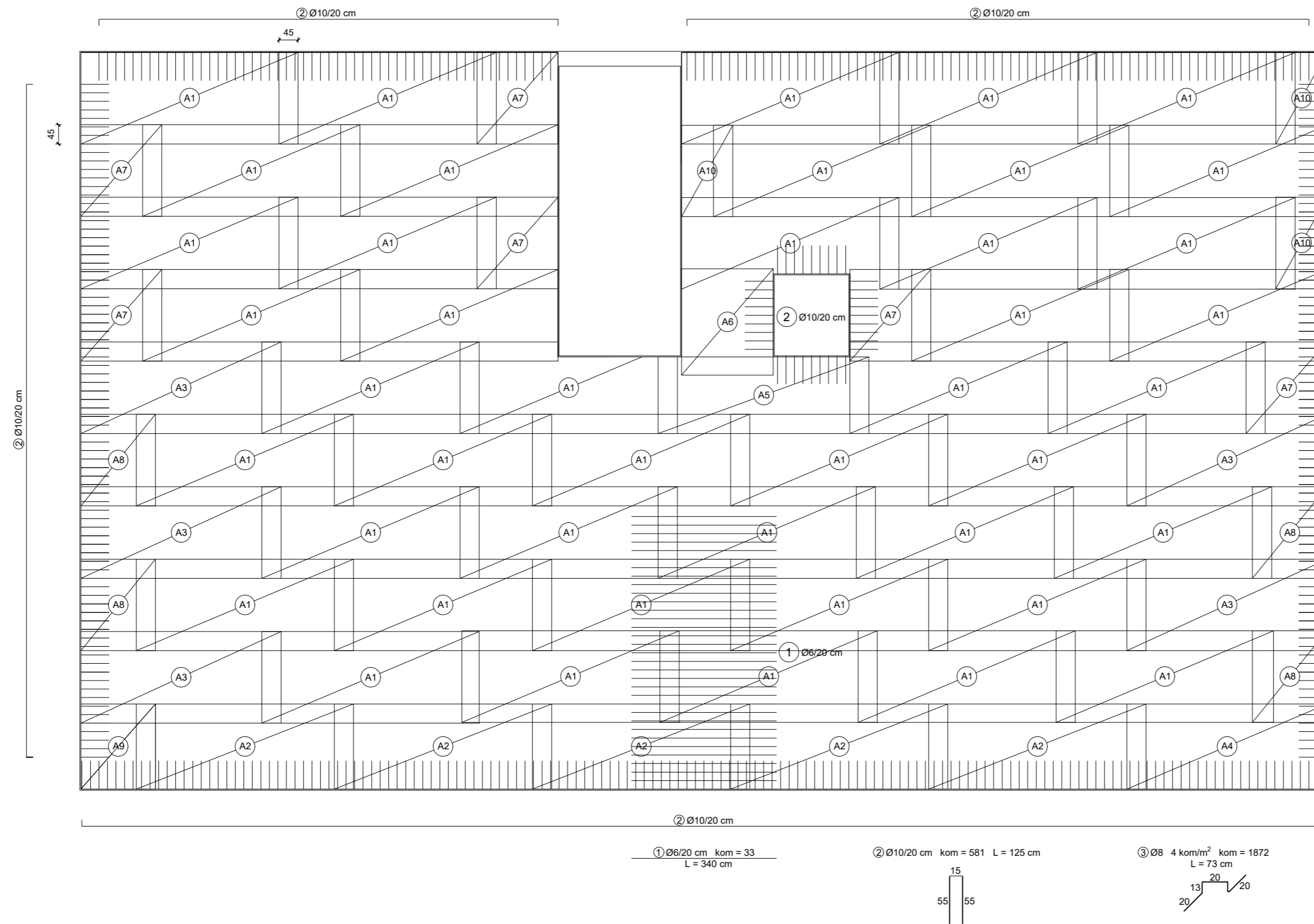
GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: <b>PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE          AB ZGRADE ZIDNOG          KONSTRUKCIJSKOG SUSTAVA</b>		Sadržaj nacрта: <b>SHEMA POZICIJA - POZ. 100</b>	
Student: <b>Luka Čosić</b>		Kolegij: <b>Betonske i zidane konstrukcije I</b>	
Mentor: Doc. dr. sc. <b>Paulo Ščulac</b>		Datum: IX. 2023	Mjerilo: M1:100
		List: 2	

# PRESJEK A-A M1:100



 GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: <b>PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE          AB ZGRADE ZIDNOG          KONSTRUKCIJSKOG SUSTAVA</b>		Sadržaj nacрта: <b>PRESJEK A-A</b>	
Student: <b>Luka Čosić</b>		Kolegij: <b>Betonske i zidane konstrukcije I</b>	
Mentor: Doc. dr. sc. <b>Paulo Ščulac</b>		Datum: IX. 2023	Mjerilo: M1:100
		List: 3	

# NACRT ARMATURE PLOČE - DONJA ZONA M1:100



Nazivni zaštitni sloj betona:

$c_{nom} = 2,5$  cm gornja zona ploče  
 $c_{nom} = 2,5$  cm donja zona ploče  
 $c_{nom} = 2,5$  cm bočna strana ploče

Čelik: B 500B

Beton: C 30/37

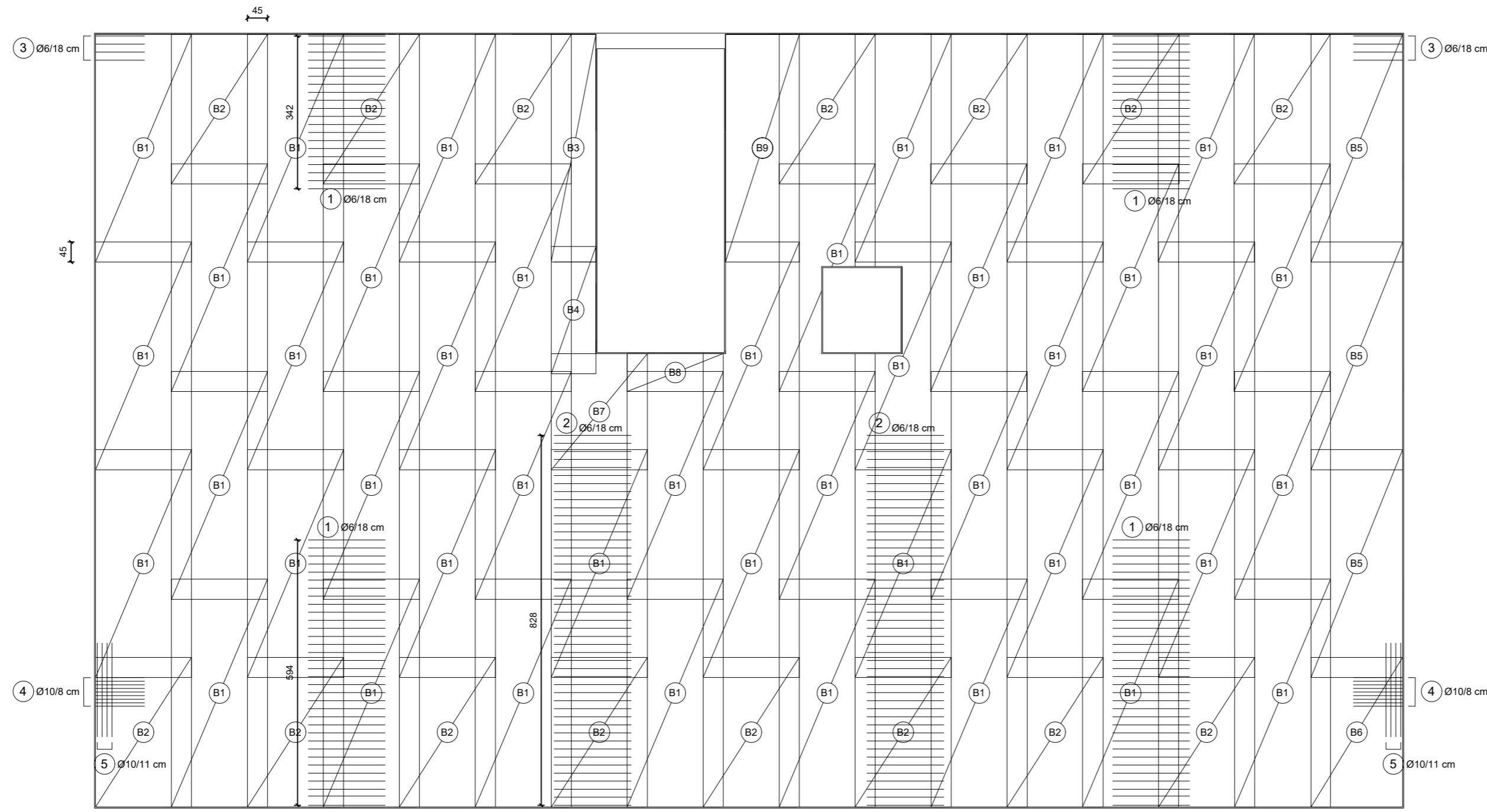
Duljina preklopa mreža:  $L_0 = 45$  cm

ISKAZ ARMATURE PLOČE - DONJA ZONA						
POZ	Ø [mm]	Duljina [m]	Kom	Ukupna duljina [m]		
				Ø6	Ø8	Ø10
1	6	3,40	33	112,20		
2	10	1,25	581			726,25
3	8	0,73	1872		1366,56	
Ukupno [m <sup>3</sup> ]				112,20	1366,56	726,25
Masa [kg/m <sup>3</sup> ]				0,222	0,395	0,617
Ukupno po promjerima [kg]				24,91	539,7912	448,10
Sveukupno [kg]				1012,80		

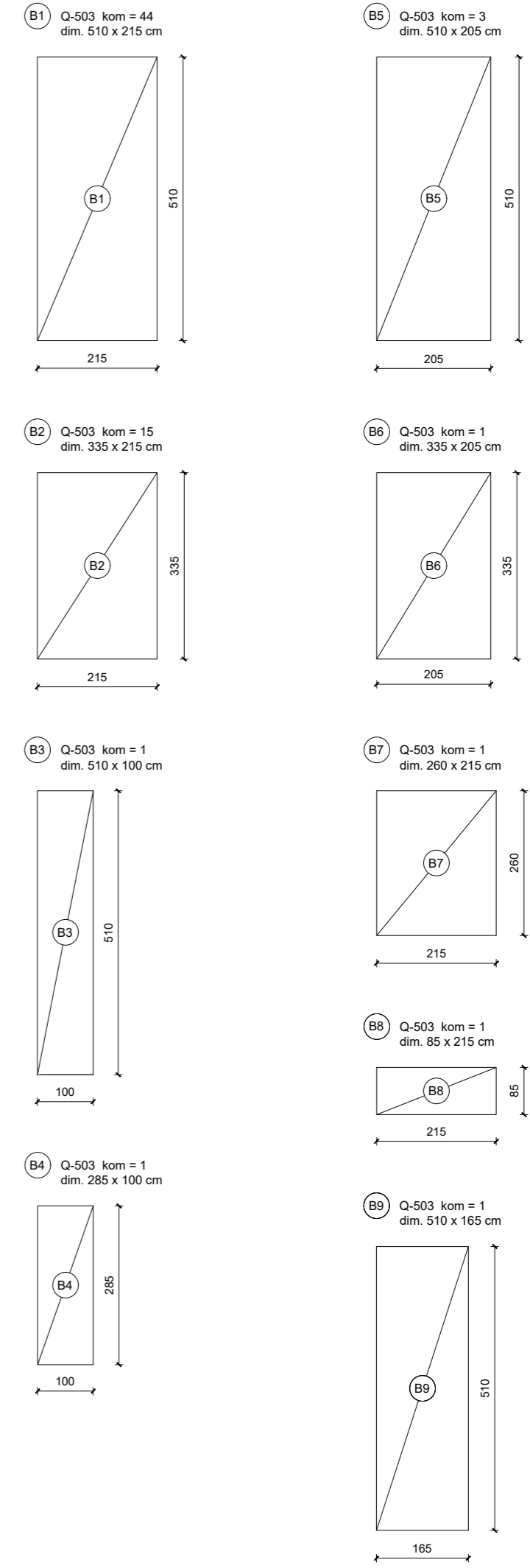
ISKAZ ARMATURE PLOČE - DONJA ZONA					
Armature mreže Q-335					
POZ	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Kom	Ukupna površina [m <sup>2</sup> ]
1	5,10	2,15	10,97	43	471,495
2	5,10	2,00	10,20	5	51
3	4,70	2,15	10,11	5	50,525
4	4,70	2,00	9,40	1	9,4
5	4,95	1,80	8,91	1	8,91
6	2,50	2,15	5,38	1	5,375
7	1,90	2,15	4,09	6	24,51
8	1,75	2,15	3,76	4	15,05
9	1,75	2,00	3,50	1	3,5
10	1,20	2,15	2,58	3	7,74
Ukupno [m <sup>2</sup> ]					647,51
Masa [kg/m <sup>2</sup> ]					5,44
Sveukupno [kg]					3522,43

G F GRADEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: <b>PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE AB ZGRADE ZIDNOG KONSTRUKCIJSKOG SUSTAVA</b>		Sadržaj nacрта: <b>NACRT ARMATURE PLOČE - DONJA ZONA</b>	
Student: <b>Luka Čosić</b>		Kolegij: <b>Betonske i zidane konstrukcije I</b>	
Mentor: Doc. dr. sc. <b>Paulo Ščulac</b>	Datum: IX. 2023	Mjerilo: M1:100	List: 4

# NACRT ARMATURE PLOČE - GORNJA ZONA M1:100



- ③ Ø6/18 cm kom = 8 L = 180 cm
- ① Ø6/18 cm kom = 108 L = 172 cm
- ⑤ Ø10/11 cm kom = 8 L = 210 cm
- ④ Ø10/8 cm kom = 18 L = 180 cm
- ① Ø6/18 cm kom = 108 L = 172 cm
- ② Ø6/18 cm kom = 94 L = 172 cm
- ⑥ Ø10/11 cm kom = 8 L = 210 cm
- ④ Ø10/8 cm kom = 18 L = 180 cm
- ① Ø6/18 cm kom = 108 L = 172 cm
- ② Ø6/18 cm kom = 94 L = 172 cm
- ① Ø6/18 cm kom = 108 L = 172 cm
- ④ Ø10/8 cm kom = 18 L = 180 cm



Nazivni zaštitni sloj betona:

$c_{nom}$  = 2,5 cm gornja zona ploče  
 $c_{nom}$  = 2,5 cm donja zona ploče  
 $c_{nom}$  = 2,5 cm bočna strana ploče

Čelik: B 500B

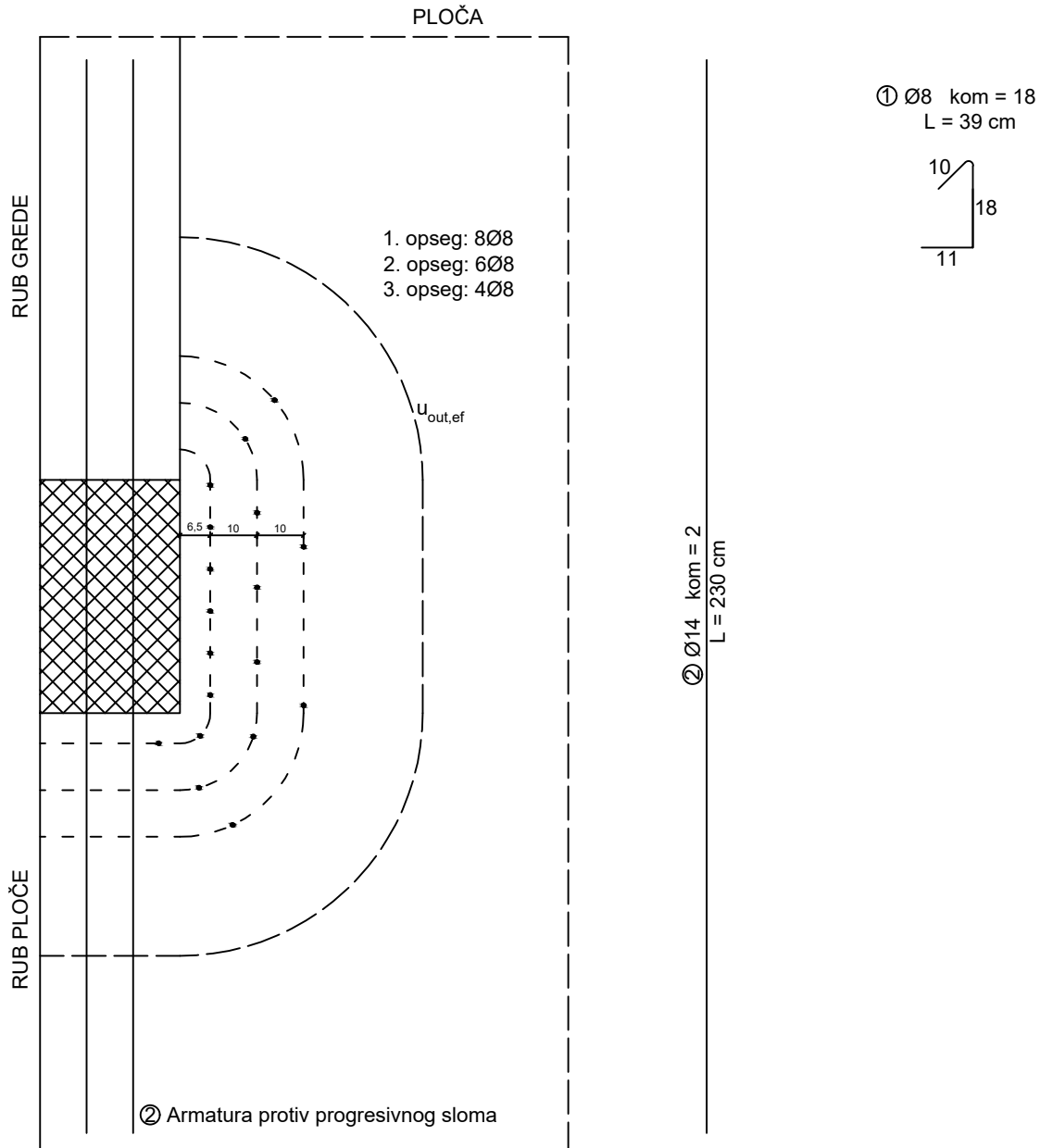
Beton: C 30/37

Duljina preklapa mreža:  $L_o = 45$  cm


ISKAZ ARMATURE PLOČE - GORNJA ZONA					
Armaturene šipke					
POZ	Ø [mm]	Duljina [m]	Kom	Ukupna duljina [m]	
				Ø6	Ø10
1	6	1,72	108	185,76	
2	6	1,72	94	161,68	
3	6	1,8	8	14,40	
4	10	1,8	18		32,40
5	10	2,1	8		16,80
Ukupno [m']				361,84	49,20
Masa [kg/m³]				0,222	0,617
Ukupno po promjerima [kg]				80,33	30,36
Sveukupno [kg]				110,68	

ISKAZ ARMATURE PLOČE - GORNJA ZONA					
Armaturene mreže Q-503					
POZ	Duljina [m]	Širina [m]	Površina [m²]	Kom	Ukupna površina [m²]
1	5,10	2,15	10,97	44	482,46
2	3,35	2,15	7,20	15	108,04
3	5,10	1,00	5,10	1	5,10
4	2,85	1,00	2,85	1	2,85
5	5,10	2,05	10,46	3	31,37
6	3,35	2,05	6,87	1	6,87
7	2,60	2,15	5,59	1	5,59
8	0,85	2,15	1,83	1	1,83
9	5,10	1,65	8,42	1	8,42
Ukupno [m²]					652,51
Masa [kg/m²]					7,90
Sveukupno [kg]					5154,85

# ARMATURA PROTIV PROBOJA I PROGRESIVNOG SLOMA M1:15



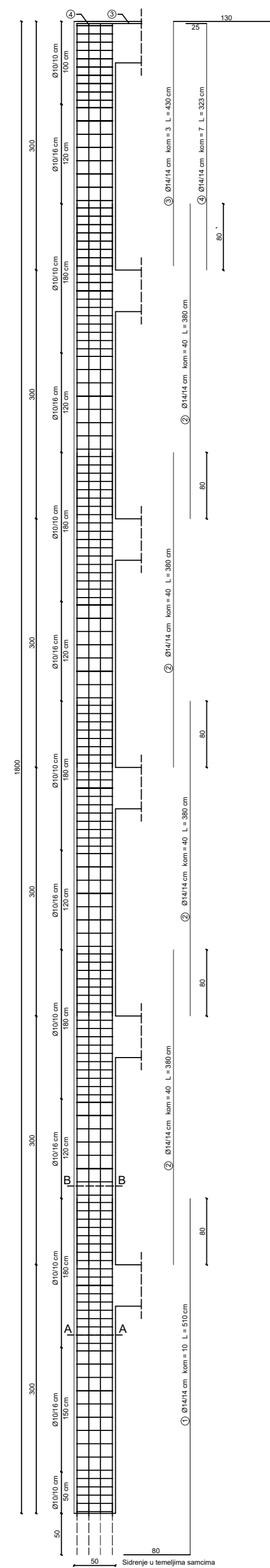
ISKAZ ARMATURE PROTIV PROBOJA I PROGRESIVNOG SLOMA					
Armaturene šipke					
POZ	Ø [mm]	Duljina [m]	Kom	Ukupna duljina [m]	
				Ø8	Ø14
1	8	0,39	18	7,02	
2	14	2,3	2		4,60
Ukupno [m']				7,02	4,60
Masa [kg/m']				0,395	1,210
Ukupno po promjerima [kg]				2,77	5,57
Sveukupno [kg]				8,34	

 GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: <b>PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE AB ZGRADE ZIDNOG KONSTRUKCIJSKOG SUSTAVA</b>		Sadržaj nacрта: <b>ARMATURA PROTIV PROBOJA I PROGRESIVNOG SLOMA</b>	
Student: <b>Luka Ćosić</b>		Kolegij: <b>Betonske i zidane konstrukcije I</b>	
Mentor: Doc. dr. sc. <b>Paulo Ščulac</b>	Datum: IX. 2023	Mjerilo: M1:15	List: 6

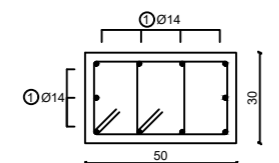


# NACRT ARMATURE STUPA POZ III/100 M1:50

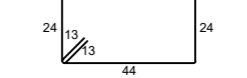
# NACRT ARMATURE ZIDA Z1 M1:50



**Presjek A-A M1:25**



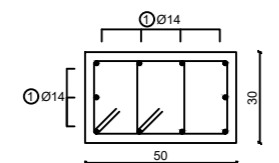
⑤ Ø10/10 cm kom = 155 L = 162 cm



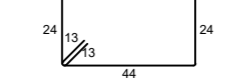
⑥ Ø10/10 cm kom = 155 L = 106 cm



**Presjek B-B M1:25**



⑤ Ø10/16 cm kom = 155 L = 162 cm



⑥ Ø10/16 cm kom = 155 L = 106 cm



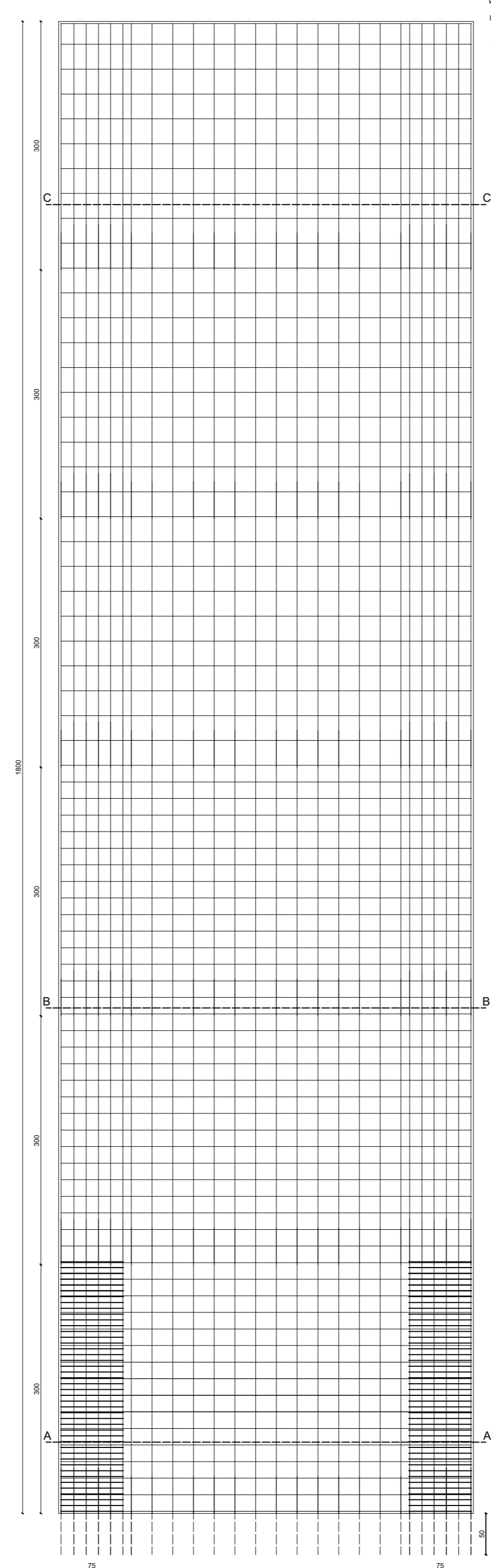
Nazivni zaštitni sloj betona:  
c<sub>nom</sub> = 3,0 cm

Čelik: B 500B

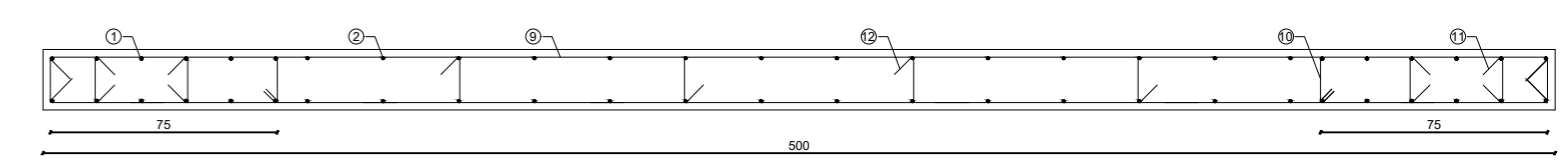
Beton: C 30/37

Duljina preklopa Ø14: L<sub>0</sub> = 80 cm

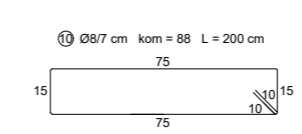
ISKAZ ARMATURE PLOČE STUPA III/100					
Armaturene šipke					
POZ	ø [mm]	Duljina [m]	Kom	Ukupna duljina [m]	
				ø10	ø14
1	14	5,10	10,00		51,00
2	14	3,80	40,00		152,00
3	14	4,30	3,00		12,90
4	14	3,23	7,00		22,61
5	10	1,62	155,00	251,10	
6	10	1,06	155,00	164,30	
Ukupno [m']				415,40	238,51
Masa [kg/m']				0,617	1,210
Ukupno po promjerima [kg]				256,30	288,60
Sveukupno [kg]				544,90	



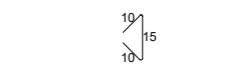
**Presjek A-A M1:25**



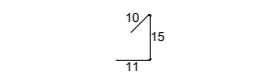
④ Ø8/20 cm kom = 92 L = 520 cm



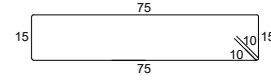
① Ø8/7 cm kom = 88 L = 200 cm



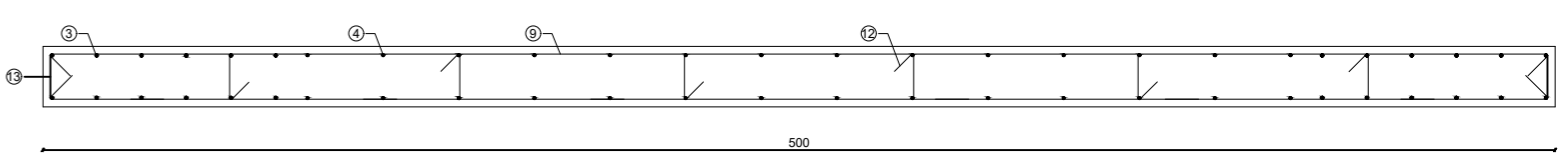
③ Ø8 (4kom/m<sup>2</sup>) kom = 342 L = 36 cm



⑤ Ø8/7 cm kom = 88 L = 200 cm

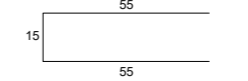


**Presjek B-B M1:25**

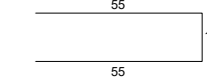


⑥ Ø8/20 cm kom = 92 L = 520 cm

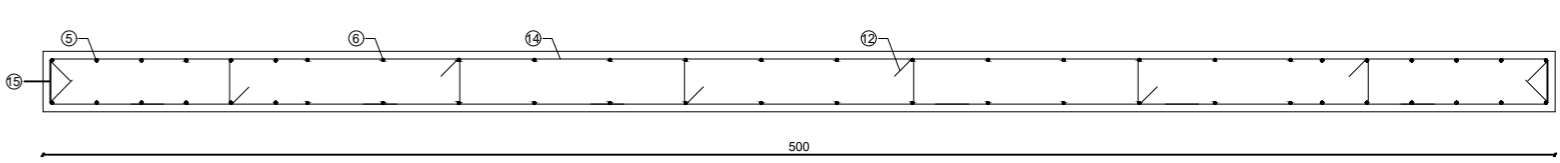
③ Ø10/20 cm kom = 64 L = 125 cm



⑤ Ø10/20 cm kom = 64 L = 125 cm

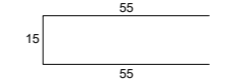


**Presjek C-C M1:25**

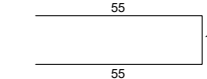


④ Ø8/30 cm kom = 62 L = 520 cm

⑤ Ø10/30 cm kom = 62 L = 125 cm



⑥ Ø10/30 cm kom = 62 L = 125 cm



Nazivni zaštitni sloj betona:  
c<sub>nom</sub> = 2,5 cm

Čelik: B 500B

Beton: C 30/37

Duljina preklopa Ø8: L<sub>0</sub> = 45 cm

Duljina preklopa Ø10: L<sub>0</sub> = 55 cm

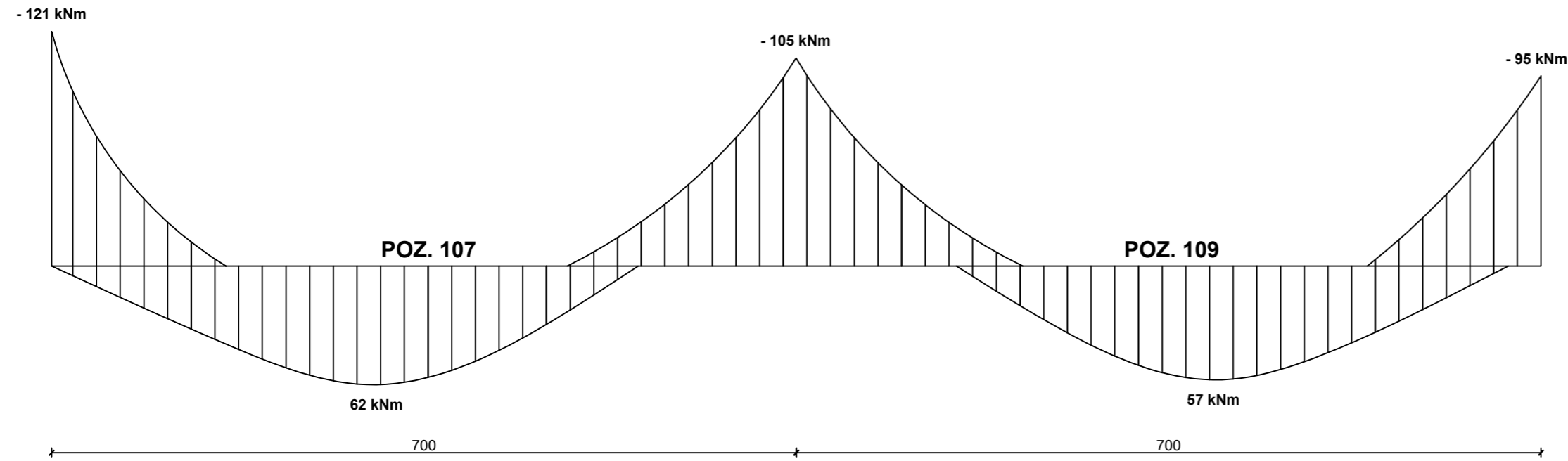
ISKAZ ARMATURE PLOČE ZIDA Z1					
Armaturene šipke					
POZ	ø [mm]	Duljina [m]	Kom	Ukupna duljina [m]	
				ø8	ø10
1	10	4,50	24,00		108,00
2	8	4,40	28,00	123,20	
3	10	3,55	96,00		340,80
4	8	3,45	112,00	386,40	
5	10	2,98	24,00		71,52
6	8	2,98	28,00	83,44	
7	10	1,05	12,00		12,60
8	8	1,05	14,00	14,70	
9	8	5,20	92,00	478,40	
10	8	2,00	88,00	176,00	
11	8	0,35	176,00	61,60	
12	8	0,37	342,00	126,54	
13	10	1,25	64,00		80,00
14	8	5,20	62,00	322,40	
15	10	1,25	62,00		77,50
Ukupno [m']				1772,68	690,42
Masa [kg/m']				0,395	0,617
Ukupno po promjerima [kg]				700,21	425,99
Sveukupno [kg]				1126,20	

G F GRADEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI		
Diplomski rad: <b>PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE AB ZGRADE ZIDNOG KONSTRUKCIJSKOG SUSTAVA</b>	Sadržaj nacrt: <b>NACRT ARMATURE STUPA III/100 I ZIDA Z1</b>	
Student: <b>Luka Čosić</b>	Kolegiji: <b>Betonske i zidane konstrukcije I</b>	
Mentor: <b>Doc. dr. sc. Paulo Ščulac</b>	Datum: <b>IX. 2023</b>	Mjerilo: <b>M1:50</b>
		List: <b>7</b>

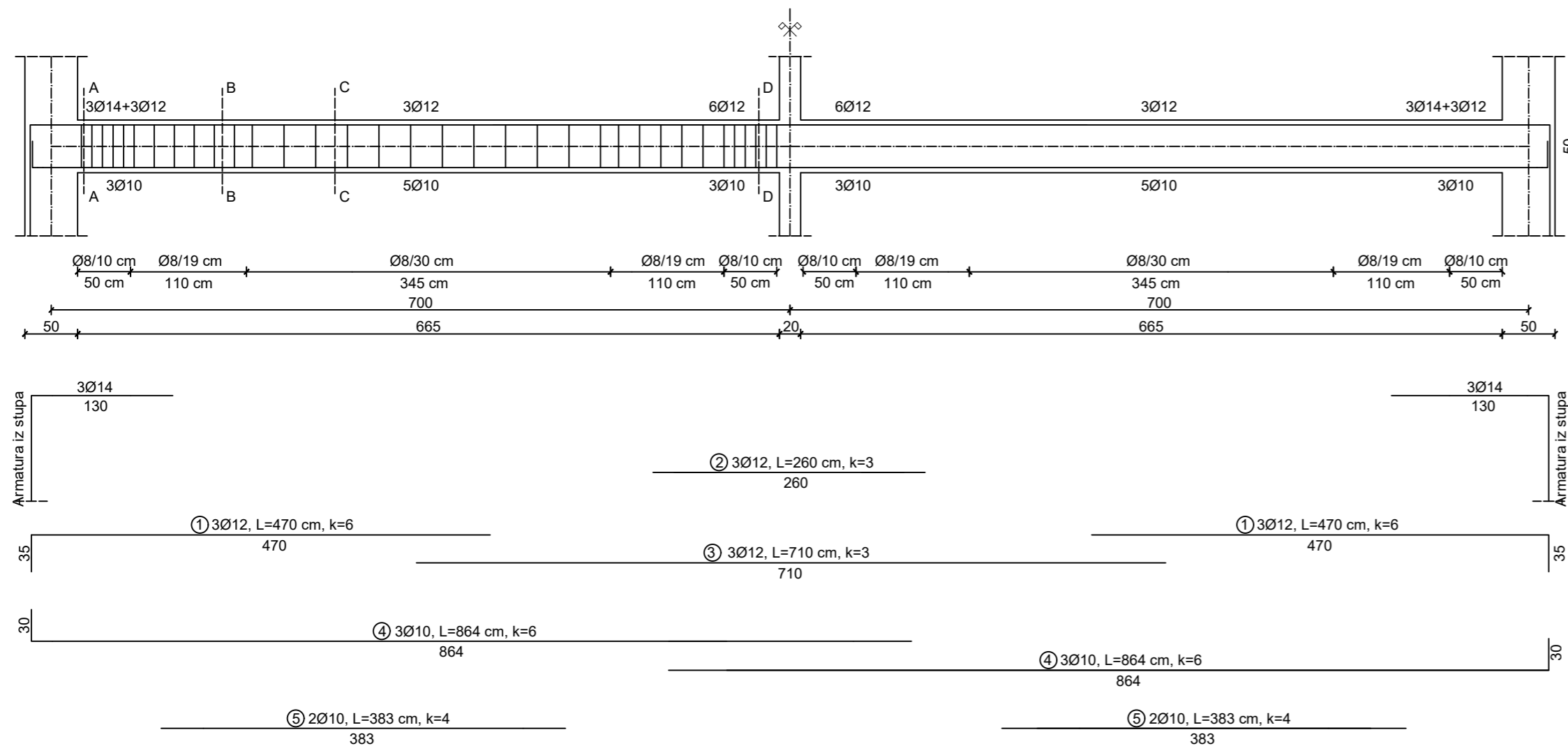
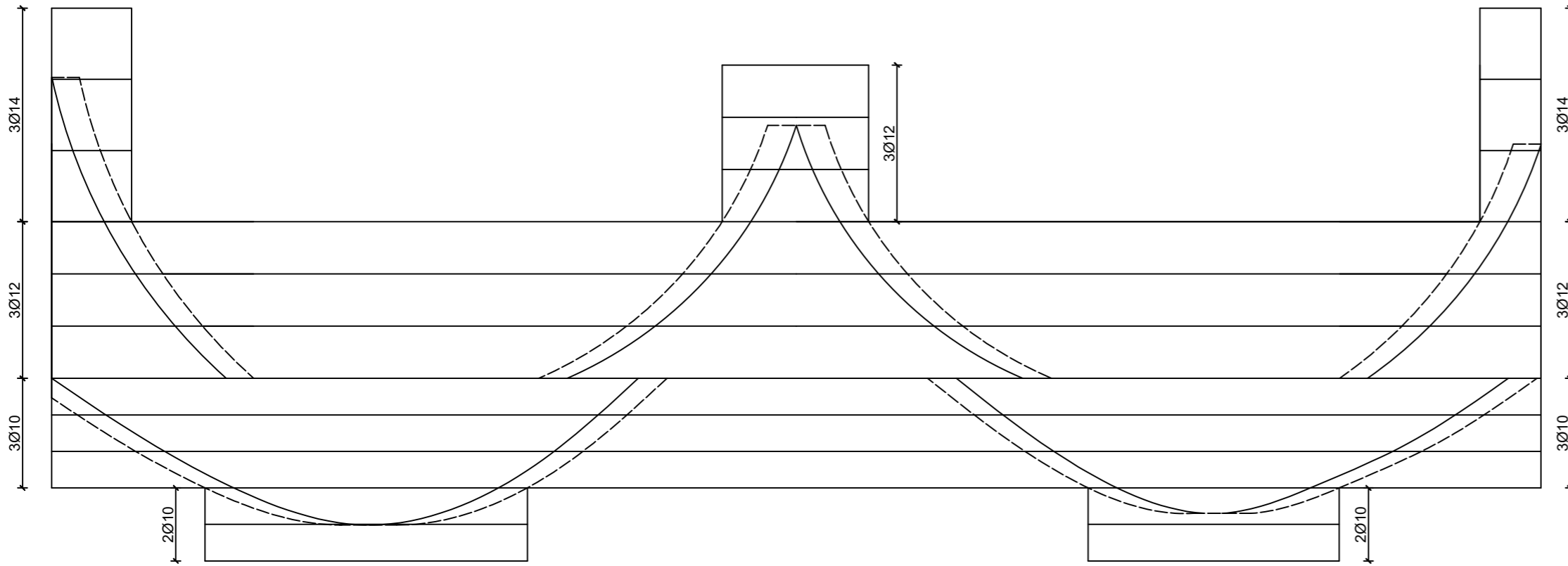


# NACRT ARMATURE GREDE POZ. 107 I POZ. 109 M1:50

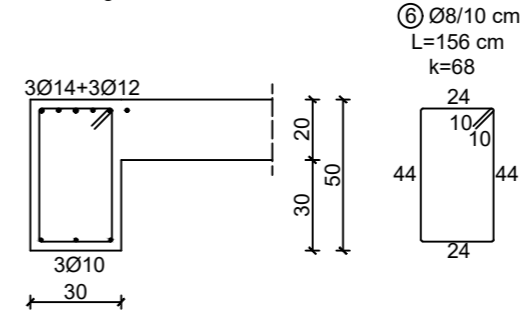
## Envelopa $M_{Eds}$



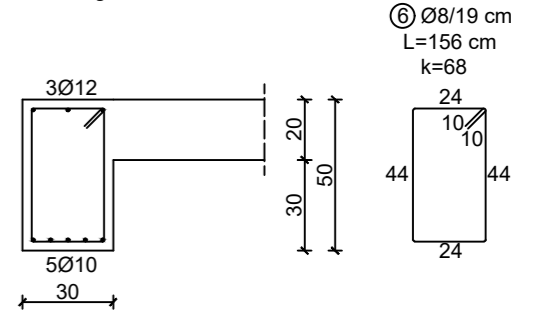
## Dijagram $F_{Sd} = M_{Eds}/z$



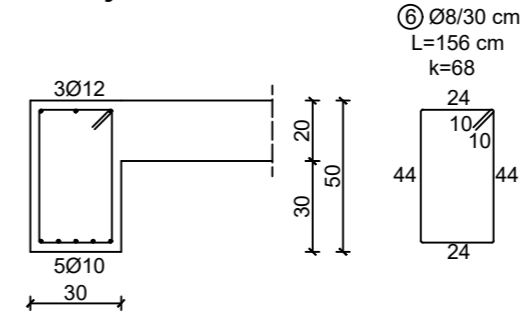
### Presjek A-A M1:25



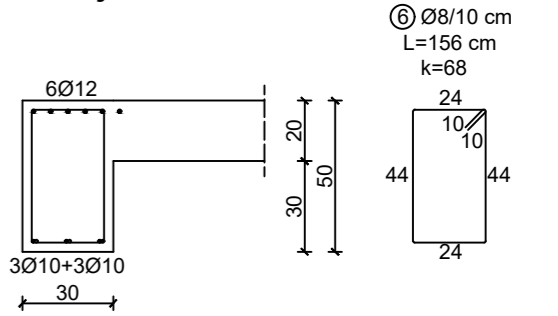
### Presjek B-B M1:25



### Presjek C-C M1:25



### Presjek D-D M1:25



Nazivni zaštitni sloj betona:  
 $c_{nom} = 3,0$  cm

Čelik: B 500B

Beton: C 30/37

Duljina preklopa Ø10:  $L_o = 55$  cm  
Duljina preklopa Ø12:  $L_o = 70$  cm

Duljina sidrenja Ø10:  $L_{bd} = 30$  cm  
Duljina sidrenja Ø12:  $L_{bd} = 35$  cm  
Duljina sidrenja Ø14:  $L_{bd} = 40$  cm

ISKAZ ARMATURE GREDA POZ. 107 I POZ. 109						
Armaturne šipke						
POZ	Ø [mm]	Duljina [m]	Kom	Ukupna duljina [m]		
				Ø8	Ø10	Ø12
1	12	4,70	6,00			28,20
2	12	2,60	3,00			7,80
3	12	7,10	3,00			21,30
4	10	8,64	6,00		51,84	
5	10	3,83	4,00		15,32	
6	8	1,56	68,00	106,08		
Ukupno [m']				106,08	67,16	57,30
Masa [kg/m']				0,40	0,62	0,89
Ukupno po promjerima [kg]				41,90	41,44	50,88
Sveukupno [kg]				134,22		

G F GRADEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE AB ZGRADE ZIDNOG KONSTRUKCIJSKOG SUSTAVA		Sadržaj nacрта: NACRT ARMATURE GREDE POZ 107. I POZ. 109	
Student: Luka Čosić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije I	
Mentor: Doc. dr. sc. Paulo Ščulac		Datum: IX. 2023	Mjerilo: M1:50
		List: 9	