

# Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade

---

**Jerbić, Antonio**

**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:157:432148>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-08**



*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**

**Antonio Jerbić**

**Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo  
Konstrukcije  
Betonske i zidane konstrukcije 1**

**Antonio Jerbić  
JMBAG: 0114029307**

**Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade**

**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.

---

Antonio Jerbić

U Rijeci, 18. rujna 2023.

## **ZAHVALA**

Ovim putem bih se zahvalio svome mentoru prof.dr.sc. Davoru Grandiću, dipl.ing.građ. na trudu i pomoći te uloženom vremenu prilikom izrade ovog diplomskog rada. Također zahvalio bih se svojoj obitelji i prijateljima na nesebičnoj potpori i razumijevanju tijekom ovih studentskih godina.

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu proračunana je armiranobetonska konstrukcija poslovne zgrade na području grada Rijeke. Poslovna zgrada sastoji se od podruma, prizemlja i četiri etaže. Za navedenu zgradu proveden je statički proračun konstrukcijskih elemenata uvažavajući i primjenjujući važeće norme i propise. Konstrukcija je modelirana kao prostorni model pomoću proračunskog paketa StaadPRO. Konstrukcija je modelirana na sva horizontalna i vertikalna djelovanja. Proračun potresnog djelovanja i provjera potresne otpornosti konstrukcije provedena je prema linearno-elastičnoj analizi uz primjenu proračuna prema sposobnosti nosivosti i lokalne duktilnosti. Za proračunane elemente izrađeni su nacrti armature sa iskazom armature.

**Ključne riječi:** potresno djelovanje, armiranobetonska konstrukcija, kapacitet nosivosti, dimenzioniranje ploča, dimenzioniranje greda, dimenzioniranje stupova, dimenzioniranje zidova, kritično područje, lokalna duktilnost, armiranje

## ABSTRACT

In this thesis, the reinforced concrete construction of an office building in the area of Rijeka is calculated. The office building consists of a basement, ground floor and four upper floors. For the mentioned building, a static calculation of structural elements was carried out, accepting and applying valid norms and regulations. The construction was modeled as a spacious model using the calculation package StaadPRO. The construction is modeled for all horizontal and vertical actions. Calculation of seismic action and verification of seismic resistance of the structure was carried out according to linear-elastic analysis with the application of calculations according to structural capacity and local ductility. Reinforcement drawings with a statement of the reinforcement were made for the calculated elements.

**Key words:** seismic action, reinforced concrete construction, structural capacity, plate design, beam design, column design, wall design, critical area, local ductility, reinforcement

## Sadržaj:

<b>POPIS TABLICA</b> .....	4
<b>POPIS SLIKA</b> .....	5
<b>1. UVOD</b> .....	8
<b>2. TEHNIČKI OPIS KONSTRUKCIJE</b> .....	9
<b>3. OSNOVNI PODACI</b> .....	10
<b>3.1. Dimenzije konstruktivnih elemenata</b> .....	10
<b>3.2. Karakteristike materijala</b> .....	11
3.2.1. Beton .....	11
3.2.2. Čelik za armiranje.....	12
<b>3.3. Razred izloženosti i debljina zaštitnog sloja betona</b> .....	12
<b>4. ANALIZA OPTEREĆENJA</b> .....	18
<b>4.1. Stalno opterećenje na konstrukciju</b> .....	18
<b>4.2. Promjenjivo opterećenje na konstrukciju</b> .....	21
4.2.1. Uporabno opterećenje .....	21
4.2.2. Opterećenje snijegom .....	22
4.2.3. Opterećenje vjetrom .....	24
<b>5. POTRESNO DJELOVANJE NA KONSTRUKCIJU</b> .....	27
<b>5.1. Određivanje faktora ponašanja</b> .....	31
<b>5.2. Vlastiti oblici vibracija konstrukcije</b> .....	37
<b>5.3. Provjera međukatnih pomaka pri potresnom djelovanju</b> .....	40
<b>5.4. Provjera globalne i lokalne stabilnosti konstrukcije</b> .....	42
<b>5.5. Slučajni torzijski učinci</b> .....	50
<b>6. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE</b> .....	52
<b>7. PRORAČUN KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA</b> .....	53

<b>7.1. Dimenzioniranje stropnih ploča na savijanje</b> .....	53
7.1.1. Proračun krovne armiranobetonske ploče POZ 500 .....	55
7.1.2. Proračun karakteristične armiranobetonske ploče .....	60
<b>7.2. Primjena metode zamjenjujućih trakova</b> .....	65
<b>7.3. Kontrola nosivosti ploče na proboj</b> .....	93
7.3.1. Proračun armature protiv progresivnog sloma (APPS) .....	105
<b>7.4. Dimenzioniranje karakterističnih greda na savijanje</b> .....	106
7.4.1. Proračun grede POZ 504-505-505-504 .....	110
7.4.2. Proračun grede POZ 507-508-507 .....	114
7.4.3. Proračun grede POZ 404-405-405-404 .....	118
7.4.4. Proračun grede POZ 407-408-407 .....	122
<b>7.5. Dimenzioniranje karakterističnih greda na poprečnu silu</b> .....	126
7.5.1. Proračun grede POZ 504-505-505-504 .....	126
7.5.2. Proračun grede POZ 507-508-507 .....	134
7.5.3. Proračun grede POZ 404-405-405-404 .....	140
7.5.4. Proračun grede POZ 407-408-407 .....	145
<b>7.6. Kritično područje grede</b> .....	152
<b>7.7. Dimenzioniranje stupova na moment savijanja</b> .....	164
<b>7.8. Dimenzioniranje stupova na ekscentrični tlak</b> .....	172
<b>7.8.1. Stup III/100</b> .....	172
<b>7.8.2. Stup III/200</b> .....	174
<b>7.8.3. Stup III/300</b> .....	176
<b>7.8.4. Stup III/400</b> .....	178
<b>7.8.5. Stup III/500</b> .....	180
<b>7.9. Dimenzioniranje stupova na poprečnu silu</b> .....	182



7.9.1. Stup III/100 .....	182
7.9.2. Stup III/200 .....	184
7.9.3. Stup III/300 .....	187
7.9.4. Stup III/400 .....	189
7.9.5. Stup III/500 .....	191
7.10. Kritično područje stupa .....	193
7.11. Dimenzioniranje zidova jezgri u kritičnom području ispod i iznad stropne ploče podruma .....	197
7.11.1. Zid POZ Z1, iznad stropne ploče podruma .....	199
7.11.2. Zid POZ Z2, ispod stropne ploče podruma .....	213
7.11.3. Zid POZ Z2, iznad stropne ploče podruma .....	222
8. PRORAČUN DULJINE SIDRENJA I NASTAVLJANJA ARMATURE .....	232
9. ISKAZ ARMATURE .....	237
9.1. Iskaz armature karakteristične ploče .....	237
9.2. Iskaz armature karakteristične grede .....	238
9.3. Iskaz armature karakterističnog stupa .....	239
9.4. Iskaz armature karakterističnog zida .....	239
10. ZAKLJUČAK .....	240
11. LITERATURA .....	241
12. NACRTNA DOKUMENTACIJA .....	242

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Karakteristično opterećenje snijegom ovisno o nadmorskoj visini i pripadajućem snježnom području.....	23
Tablica 2. Koeficijent oblika za određene nagibe krovnih ploha.....	23
Tablica 3. Razredi važnosti za zgrade .....	31
Tablica 4. Osnovna vrijednost faktora ponašanja .....	32
Tablica 5. Vrijednost faktora $k_w$ .....	32
Tablica 6. Vrijednost koeficijenta zauzetosti.....	36
Tablica 7. Prikaz vlastitih vrijednosti za prvih šesnaest tonova .....	38
Tablica 8. Udio masa za pojedine tonove u x smjeru .....	39
Tablica 9. Udio masa za pojedine tonove u y(z) smjeru .....	39
Tablica 10. Rezultantni pomaci kata dobiveni prema vrijednostima iz Staad-a .....	41
Tablica 11. Horizontalna potresna sila $V_{tot}$ u razini pojedine etaže (smjer x) .....	43
Tablica 12. Vertikalno opterećenje $P_{tot}$ u razini svake etaže.....	43
Tablica 13. Međukatni pomak za smjer x .....	43
Tablica 14. Provjera uvjeta (smjer x) .....	44
Tablica 15. Horizontalna potresna sila $V_{tot}$ u razini pojedine etaže (smjer y) .....	44
Tablica 16. Vertikalno opterećenje $P_{tot}$ u razini svake etaže.....	44
Tablica 17. Međukatni pomak za smjer y .....	45
Tablica 18. Provjera uvjeta (smjer y) .....	45
Tablica 19. Vrijednosti torzijskih momenata za zidove u smjeru osi y .....	51
Tablica 20. Vrijednosti torzijskih momenata za zidove u smjeru osi x .....	51
Tablica 21. Raspodjela sile po čvorovima (zidovi u smjeru osi y).....	51
Tablica 22. Raspodjela sile po čvorovima (zidovi u smjeru osi x).....	51
Tablica 23. Tablica kojom se definira raspodjela momenata savijanja duž pojedinog traka.....	66
Tablica 24. Proračun razmaka spona „s“ za trajnu proračunsku situaciju .....	151

## POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz statičkih visina u x i y smjeru.....	15
Slika 2. Prikaz statičke visine stubišta u polju .....	16
Slika 3. Prikaz statičke visine grede dimenzija b <sub>xh</sub> – 30x55 cm .....	17
Slika 4. Prikaz statičke visine grede dimenzija b <sub>xh</sub> – 30x45 cm .....	17
Slika 5. Presjek kroz krovnu ploču sa prikazom slojeva ploče.....	18
Slika 6. Presjek kroz stropnu ploču sa prikazom slojeva ploče .....	19
Slika 7. Presjek kroz stubište sa prikazom slojeva.....	20
Slika 8. Karta snježnih područja za RH .....	22
Slika 9. Karta vjetrovnih područja za RH .....	24
Slika 10. Dijagram faktora izloženosti.....	25
Slika 11. Karta potresnih područja za RH, za povratno razdoblje od 475 godina i tip tla A.....	29
Slika 12. Karta potresnih područja za RH, za povratno razdoblje od 95 godina i tip tla A.....	30
Slika 13. Prvi vlastiti oblik konstrukcije ( $T_1 = 0,843$ s).....	37
Slika 14. Drugi vlastiti oblik konstrukcije ( $T_2 = 0,800$ s) .....	37
Slika 15. Treći vlastiti oblik konstrukcije ( $T_3 = 0,649$ s) .....	38
Slika 16. Vrijednosti međukatnih pomaka dobivenih u Staad-u .....	41
Slika 17. Moment savijanja u krovnoj ploči u smjeru x .....	55
Slika 18. Moment savijanja u krovnoj ploči u smjeru y .....	58
Slika 19. Moment savijanja u karakterističnoj ploči u smjeru x .....	60
Slika 20. Moment savijanja u karakterističnoj ploči u smjeru y .....	63
Slika 21. Podjela ploče na trake u području stupa .....	65
Slika 22. Prikaz položaja oslonca za koji se provodi proračun - POZICIJA A.....	66
Slika 23. Vrijednosti momenta savijanja $M_x$ na karakterističnim udaljenostima od osi stupa.....	67
Slika 24. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru x.....	70
Slika 25. Vrijednosti momenta savijanja $M_y$ na karakterističnim udaljenostima od osi stupa.....	71
Slika 26. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru y.....	74
Slika 27. Prikaz položaja oslonca za koji se provodi proračun - POZICIJA B.....	75

Slika 28. Vrijednosti momenta savijanja $M_x$ na karakterističnim udaljenostima od osi stupa .....	75
Slika 29. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru $x$ .....	79
Slika 30. Vrijednosti momenta savijanja $M_y$ na karakterističnim udaljenostima od osi stupa .....	80
Slika 31. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru $y$ .....	83
Slika 32. Prikaz položaja oslonca za koji se provodi proračun POZ C .....	84
Slika 33. Vrijednosti momenta savijanja $M_x$ na karakterističnim udaljenostima od osi stupa .....	84
Slika 34. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru $x$ .....	88
Slika 35. Vrijednosti momenta savijanja $M_y$ na karakterističnim udaljenostima od osi stupa .....	89
Slika 36. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru $y$ .....	92
Slika 37. Model spoja stupa i ploče sa naznačenim kontrolnim opsegom .....	94
Slika 38. Zavisnost koeficijenta $\beta$ o položaju stupa u konstrukciji .....	95
Slika 39. Kontrolni opseg $u_1$ .....	96
Slika 40. Shematski prikaz T-grede i ploče efektivne širine .....	106
Slika 41. Vrijednost $I_0$ ovisno o nul-točkama momentnog dijagrama.....	108
Slika 42. Parametri za izračun efektivne širine.....	108
Slika 43. Djelovanja na gredu za smjer $x$ .....	126
Slika 44. Djelovanja na gredu za smjer $y$ .....	131
Slika 45. Djelovanja na stup u čvoru 1 za smjer $x$ .....	164
Slika 46. Djelovanja na stup u čvoru 1 za smjer $y$ .....	165
Slika 47. Djelovanja na stup u čvoru 2 za smjer $x$ .....	166
Slika 48. Djelovanja na stup u čvoru 2 za smjer $y$ .....	167
Slika 49. Djelovanja na stup u čvoru 3 za smjer $x$ .....	168
Slika 50. Djelovanja na stup u čvoru 3 za smjer $y$ .....	169
Slika 51. Djelovanja na stup u čvoru 4 za smjer $x$ .....	170
Slika 52. Djelovanja na stup u čvoru 4 za smjer $y$ .....	171
Slika 53. Vrijednost napreznja $S_y$ za određivanje momenta savijanja i uzdužne sile u zidu Z1 iznad stropne ploče podruma, trajna proračunska situacija .....	199

Slika 54. Vrijednost naprezanja $S_{xy}$ za određivanje poprečne sile u zidu Z1 iznad stropne ploče podruma, trajna proračunska situacija.....	202
Slika 55. Vrijednost naprezanja $S_y$ za određivanje momenta savijanja i uzdužne sile u zidu Z1 iznad stropne ploče podruma, potresna proračunska situacija.....	204
Slika 56. Proračunska ovojnica dijagrama momenata savijanja za zid Z1 .....	205
Slika 57. Vrijednost naprezanja $S_{xy}$ za određivanje poprečne sile u zidu Z1 iznad stropne ploče podruma, potresna proračunska situacija .....	208
Slika 58. Proračunska ovojnica dijagrama momenata savijanja za zid Z2 .....	215

## 1. UVOD

Zadatak ovog rada je proračun karakterističnih dijelova armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade. Konstrukcija je dimenzionirana na način da se izbjegne pojava krhkog sloma, odnosno želi se postići duktilno ponašanje konstrukcije i trošenje energije unesene djelovanjem potresa plastičnim deformiranjem. Djelovanje i intenzitet potresa nemoguće je u potpunosti točno predvidjeti ali je moguće konstrukciju proračunati na način da ima zadovoljavajuću potresnu otpornost. Konstrukcija poslovne zgrade nalazi se na području grada Rijeke i proračun je proveden za razred umjerene duktilnosti (DCM). Tip konstrukcijskog sustava je dvojni sustav istovrijedan zidnom što znači da se konstrukcija sastoji od stupova i zidova kao jednih od nosivih elemenata ali sa napomenom da većinu horizontalnog potresnog djelovanja na sebe preuzimaju zidovi raspoređeni duž dva glavna smjera  $x$  i  $y$ . Provedeno je dimenzioniranje stropnih ploča na moment savijanja. Za proračun potrebne armature u polju mjerodavan je moment savijanja u polju dobiven na način da se uporabno djelovanje raspoređuje u najnepovoljniji položaj. Za proračun ležajne armature odnosno armature u području negativnih momenata savijanja korištena je metoda zamjenjujućih trakova. U nastavku je proračunana armatura greda gdje je armatura u području pozitivnih i negativnih momenata određena prema mjerodavnoj proračunskoj kombinaciji, dok je dimenzioniranje greda na poprečne sile provedeno prema sposobnosti nosivosti. Dimenzioniranje stupova provedeno je za jedan od stupova na vanjskom obodu građevine. Stupovi su dimenzionirani na pripadajuću uzdužnu tlačnu silu i pripadajući moment savijanja. Zidovi kao elementi koji na sebe preuzimaju veći dio horizontalne potresne sile proračunani su za trajnu i potresnu proračunsku situaciju. Prilikom odabira armature zida i izrade nacrt armature zida treba voditi računa da se rubni elementi zida moraju oviti odnosno prikladno armirati. Nakon provedenog proračuna konstrukcijskih elemenata izrađeni su nacrti armature sa pripadajućim iskazima armature.

## 2. TEHNIČKI OPIS KONSTRUKCIJE

Konstrukcija poslovne zgrade nalazi se na području grada Rijeke na nadmorskoj visini od 200 mnv. Građevina se sastoji od podruma, prizemlja i četiri etaže. Tlocrtne dimenzije građevine su 30,0 x 21,0 m. Ukupna visina konstrukcije mjereno od kote podruma iznosi 19,10 m. Svijetla visina podruma iznosi 2,65 m, dok visina preostalih etaža iznosi 2,86 m. U podrumskoj etaži predviđa se garažni prostor za parking automobila sa dva stubišta i lifta raspoređena dijagonalno u uglovima garaže. Na preostalim katovima predviđa se smještaj uredskih prostora, kuhinje, muških i ženskih wc-a, te također dva stubišna prostora sa liftom. Krov je izveden kao ravni neprohodni krov sa završnim slojem šljunka u debljini od 6 cm. Duž oboda krova izvodi se betonski zid u visini 36 cm. Nosiva konstrukcija izvodi se kao monolitna armiranobetonska konstrukcija. Međukatne ploče izvode se kao pune armiranobetonske ploče debljine 22 cm nosive u dva smjera oslonjene direktno na stupove, izuzet oboda građevine gdje se nalaze grede. Međukatne ploče prenose horizontalna djelovanja vjetra i potresa na vertikalne elemente konstrukcije (stupovi i zidovi). Stupovi konstrukcije raspoređeni su duž oboda građevine na osnom razmaku 6m odnosno 7 m i dimenzija su 50 x 50 cm u podrumskom dijelu, dok su na preostalim etažama dimenzija 40 x 40 cm. Duž dva glavna smjera x i y raspoređena su po dva armiranobetonska zida u svakom smjeru. Zidovi su duljine 6 m i debljine 30 cm i prenose dominantni dio horizontalne potresne sile. Ispuna između stupova izvodi se opečnim blokovima debljine 30 cm dok se pregradni zidovi unutar građevine izvode od gips kartonskih ploča. Unutar građevine predviđena su dva dvokraka stubišta sa liftom. Konstrukcija se temelji na tlu razreda B na temeljnoj ploči tlocrtne dimenzije 30,50 x 21,50 m i debljine je 60 cm. Statički proračun proveden je za sva vertikalna i horizontalna djelovanja pridržavajući se svih važećih propisa i normi. Konstrukcija je modelirana u programskom paketu StaadPRO kao prostorni model. Za sve nosive elemente koristi se beton razreda C30/37 i čelik za armiranje B500B.

### 3. OSNOVNI PODACI

#### 3.1. Dimenzije konstruktivnih elemenata

##### Stupovi

Odabrani stupovi su kvadratnog poprečnog presjeka.

Usvojene dimenzije stupova: Podrum - b/h → 50/50 cm  
Ostale etaže - b/h → 40/40 cm

##### Grede

Usvojene dimenzije greda: u smjeru osi y - b/h → 30/55 cm  
u smjeru osi x - b/h → 30/45 cm

##### Ploče

Debljina ploče određuje se ovisno o rasponu. Debljinu ploče možemo odrediti prema sljedećem izrazu:

$$h_x \approx \frac{l_{eff,x}}{30} = \frac{600}{30} = 20,0 \text{ cm}; \quad h_y \approx \frac{l_{eff,y}}{30} = \frac{700}{30} = 23,33 \text{ cm}$$

$$h_{sr} = \frac{h_x + h_y}{2} = \frac{20,0 + 23,33}{2} = 21,67 \text{ cm}$$

Usvojena debljina ploče prozilazi iz srednje vrijednosti  $h_x$  i  $h_y$ :  $h = 22 \text{ cm}$



## 3.2. Karakteristike materijala

### 3.2.1. Beton

Odabrani razred betona je C 30/37. Beton tog razreda ima karakterističnu tlačnu čvrstoću  $f_{ck} = 30$  MPa. Za potrebe proračuna potrebno je definirati proračunsku tlačnu čvrstoću betona koja se dobiva prema sljedećem izrazu:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (1)$$

gdje je:

$\gamma_c$  – parcijalni faktor sigurnosti za beton,  $\gamma_c = 1,50$

$\alpha_{cc}$  – koeficijent kojim se u obzir uzimaju dugotrajni učinci i nepovoljni učinci koji su posljedica načina opterećivanja,  $\alpha_{cc} = 1,00$

$f_{cd}$  – proračunska tlačna čvrstoća betona [MPa]

Vrijednost proračunske tlačne čvrstoće betona iznosi:

$$f_{cd} = 1,0 \cdot \frac{30,0}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}$$

Vrijednost sekantnog modula elastičnosti može se dobiti prema sljedećem izrazu:

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} \quad (2)$$

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 9500 \cdot \sqrt[3]{30 + 8} = 31938,77 \text{ MPa}$$

Prema EN 1992-1-1:2004, Tablica 3.1. moguće je očitati vrijednost sekantnog modula elastičnosti ovisno o razredu tlačne čvrstoće betona.

Prema tablici on iznosi  $E_{cm} = 33000,0$  MPa.

### 3.2.2. Čelik za armiranje

Odabran je čelik za armiranje B500B. Njegova karakteristična granica popuštanja iznosi 500 MPa. Prema sljedećem izrazu možemo odrediti proračunsku granicu popuštanja čelika za armiranje:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (3)$$

gdje je:

$\gamma_s$  – parcijalni faktor sigurnosti za čelik,  $\gamma_s = 1,15$

$f_{yd}$  – proračunska granica popuštanja čelika za armiranje [MPa]

$f_{yk}$  – karakteristična granica popuštanja čelika za armiranje [MPa]

Vrijednost proračunske granice popuštanja čelika za armiranje iznosi:

$$f_{yd} = \frac{500,0}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

### 3.3. Razred izloženosti i debljina zaštitnog sloja betona

Razred izloženost određuju se u skladu s normom koja definira sedam razreda izloženosti. U okviru pojedinih razreda propisana je minimalna tlačna čvrstoća betona, minimalni zaštitni sloj, sastav betona, promjer maksimalnog zrna agregata i sl. Za potrebe ovog proračuna prema EN 1992-1-1:2004 Tablica 4.1 usvaja se razred izloženosti XC1.

Za sve elemente konstrukcije usvojena je klasa betona C30/37. Za projektirani vijek trajanja konstrukcije od 50 godina odabran je razred konstrukcije S4. Prema EN 1992-1-1:2004 Tablica 4.3N moguće je i smanjiti razred konstrukcije prema kriteriju geometrije elementa.

Nominalni zaštitni sloj betona određuje se prema sljedećem izrazu:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (4)$$

gdje su:

$c_{nom}$  – nazivna vrijednost zaštitnog sloja

$c_{min}$  – najmanja vrijednost zaštitnog sloja

$\Delta c_{dev}$  – odstupanje vrijednosti zaštitnog sloja,  $\Delta c_{dev} = 10$  mm

Određivanje najmanje vrijednosti zaštitnog sloja prema sljedećem izrazu:

$$c_{min} = \max \left\{ c_{min,dur} + \frac{c_{min,b}}{10 \text{ mm}} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} \right. \quad (5)$$

gdje je:

$c_{min,b}$  – najmanji zaštitni sloj zbog zahtjeva prijanjanja

$c_{min,dur}$  – najmanji zaštitni sloj zbog uvjeta okoliša, definiran prema EN 1992-1-1:2004  
Tablica 4.4N

$c_{dur,\gamma}$  – dodatni element sigurnosti za zaštitni sloj

$\Delta c_{dur,st}$  – smanjenje najmanjeg zaštitnog sloja pri uporabi nehrđajućeg čelika

$\Delta c_{dur,add}$  – smanjenje najmanjeg zaštitnog sloja pri uporabi dodatne zaštite

Najmanja vrijednost zaštitnog sloja iznosi:

- za stubište i ploče,  $c_{min} = (10; 10; 10) = 10$  mm

- za stupove i grede,  $c_{min} = (10; 15; 10) = 15$  mm

Nominalna vrijednost zaštitnog sloja iznosi:

- za stubište i ploče,  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$

- za stupove i grede,  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$

Udaljenosti donjeg ruba presjeka ploče do težišta armature u x i y smjeru:

$$d_{1x} = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} \quad (6)$$

$$d_{1y} = d_{1x} + \emptyset \quad (7)$$

gdje je:

$\emptyset$  - pretpostavljeni promjer šipke armature,  $\emptyset = 10,0 \text{ mm}$

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

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

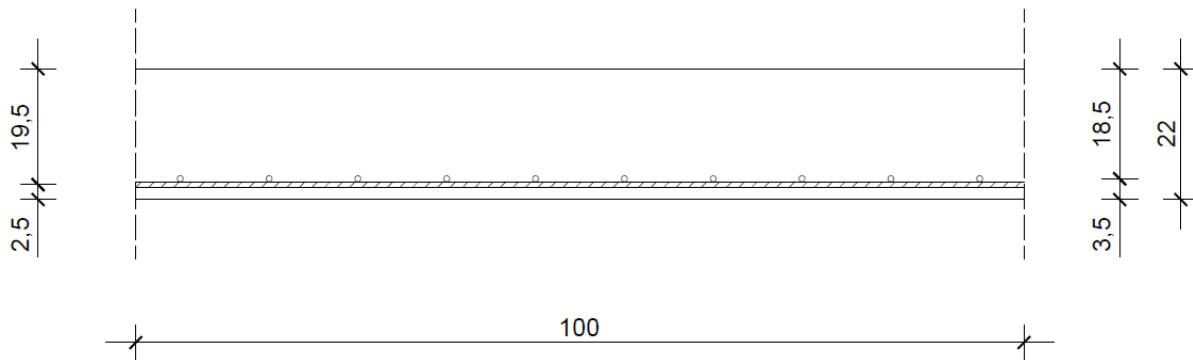
Statičke visine presjeka u x i y smjeru:

$$d_x = h - d_{1x} \quad (8)$$

$$d_y = h - d_{1y} \quad (9)$$

$$d_x = h - d_{1x} = 22,0 - 2,5 = 19,5 \text{ cm}$$

$$d_y = h - d_{1y} = 22,0 - 3,5 = 18,5 \text{ cm}$$



Slika 1. Prikaz statičkih visina u x i y smjeru

Udaljenosti donjeg ruba presjeka ploče stubišta do težišta armature u polju i nad ležajem:

$$d_{1p} = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} \quad (10)$$

$$d_{1l} = c_{nom} + \emptyset_{kr} + \frac{\emptyset}{2} \quad (11)$$

gdje je:

$\emptyset$  - pretpostavljeni promjer šipke armature,  $\emptyset = 12,0$  mm

$\emptyset_{kr}$  - pretpostavljeni promjer poprečne šipke armature,  $\emptyset_{kr} = 10,0$  mm

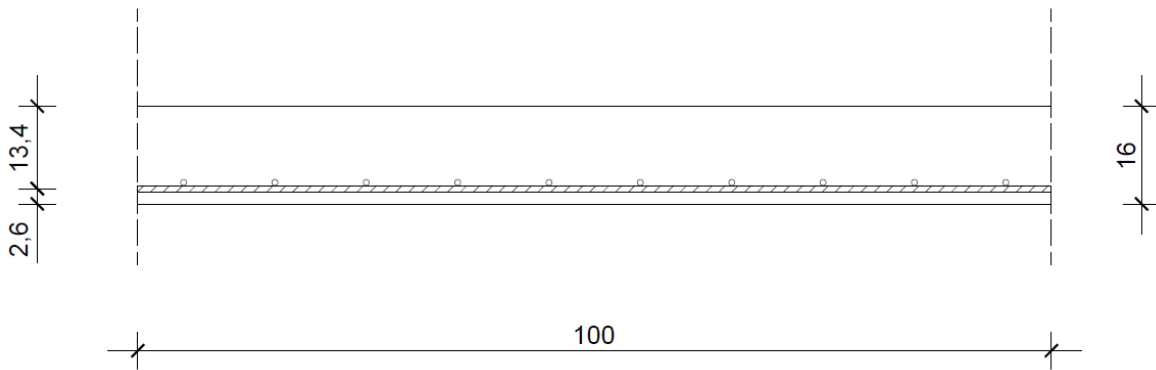
$$d_{1p} = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} = 2,0 + \frac{1,2}{2} = 2,6 \text{ cm}$$

$$d_{1l} = c_{nom} + \emptyset_{kr} + \frac{\emptyset}{2} = 2,0 + 1,0 + \frac{1,2}{2} = 3,6 \text{ cm}$$

Statičke visine presjeka u x i y smjeru:

$$d_p = h - d_{1p} = 16,0 - 2,6 = 13,4 \text{ cm}$$

$$d_l = h - d_{1l} = 16,0 - 3,6 = 12,4 \text{ cm}$$



Slika 2. Prikaz statičke visine stubišta u polju

Udaljenosti donjeg ruba presjeka grede do težišta armature:

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing_w + \frac{\varnothing}{2} = 2,5 + 0,8 + \frac{2,0}{2} = 4,3 \text{ cm} \approx 4,5 \text{ cm}$$

gdje je:

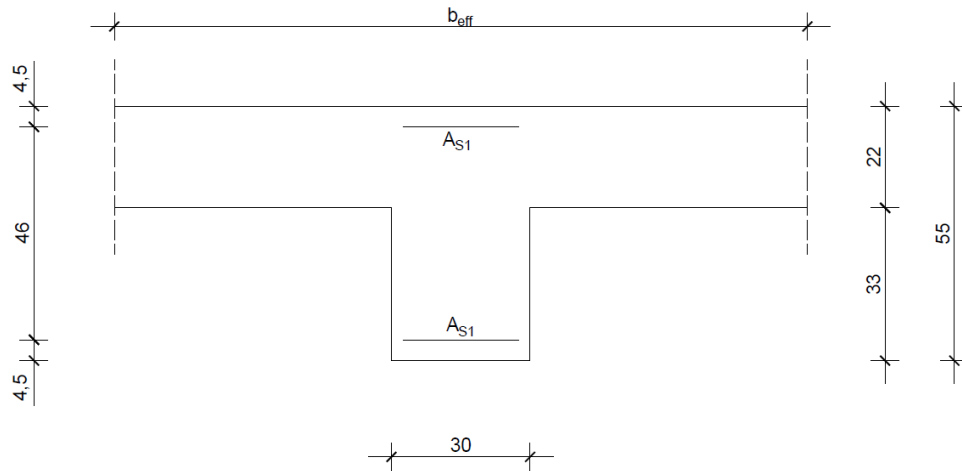
$\varnothing_w$  - pretpostavljeni promjer šipke poprečne armature,  $\varnothing = 8,0 \text{ mm}$

$\varnothing$  - pretpostavljeni promjer šipke armature,  $\varnothing_{kr} = 20,0 \text{ mm}$

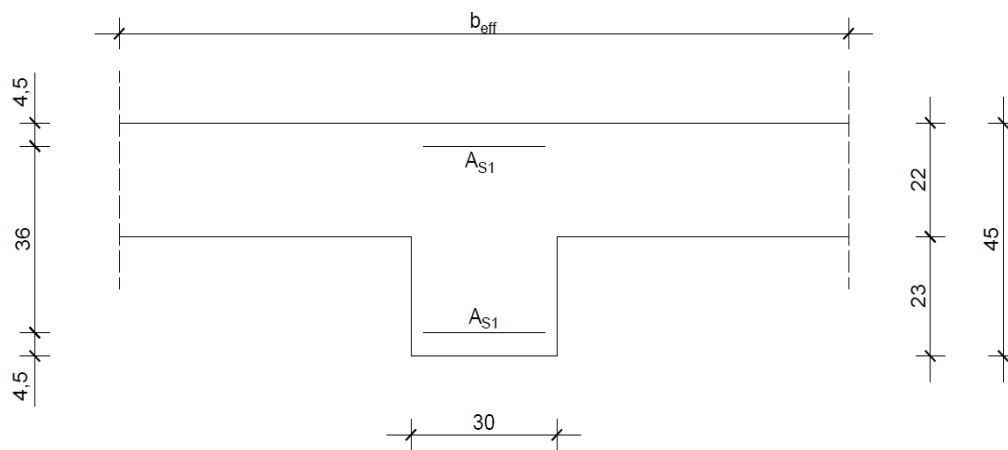
Statičke visine grede:

$$d_{1g} = h_{1g} - d_1 = 55,0 - 4,5 = 50,5 \text{ cm}$$

$$d_{2g} = h_{2g} - d_1 = 45,0 - 4,5 = 40,5 \text{ cm}$$



Slika 3. Prikaz statičke visine grede dimenzija  $b \times h - 30 \times 55$  cm

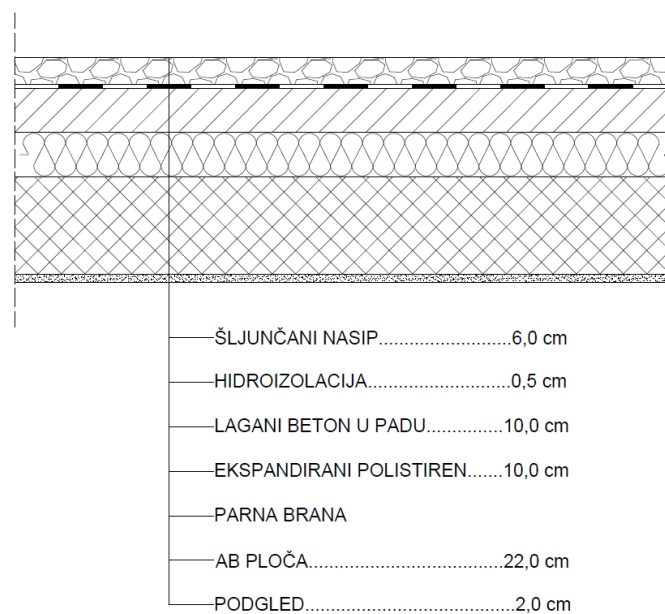


Slika 4. Prikaz statičke visine grede dimenzija  $b \times h - 30 \times 45$  cm

## 4. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 4.1. Stalno opterećenje na konstrukciju

Stalno opterećenje dobiva se kao umnožak prostorne težine pojedinog sloja i njegove debljine. U ovom proračunskom primjeru stalno opterećenje na konstrukciju uneseno je kroz naredbu „selfweight“ u programskom paketu StaadPro. Dalje u nastavku dan je proračun stalnog opterećenja krovne ploče konstrukcije, ostalih međukatnih ploča građevine i stubišta sa grafičkim prikazom slojeva.



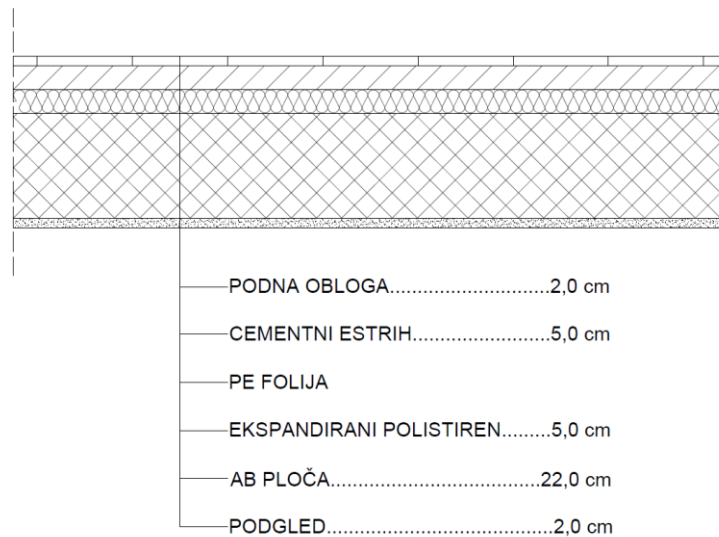
Slika 5. Presjek kroz krovnu ploču sa prikazom slojeva ploče

Krovna ploča  $h = 22,0$  cm

1. Šljunčani nasip..... $0,06 \times 20,0 \text{ kN/m}^3 = 1,20 \text{ kN/m}^2$
2. Hidroizolacija..... =  $0,30 \text{ kN/m}^2$
3. Beton u padu..... $0,10 \times 20,0 \text{ kN/m}^3 = 2,00 \text{ kN/m}^2$
4. Ekspandirani polistiren..... $0,10 \times 0,25 \text{ kN/m}^3 = 0,025 \text{ kN/m}^2$
5. AB ploča..... $0,22 \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 5,5 \text{ kN/m}^2$
6. Podgled žbuka..... $0,02 \times 18,0 \text{ kN/m}^3 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

$$\sum G_{k1} = 9,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



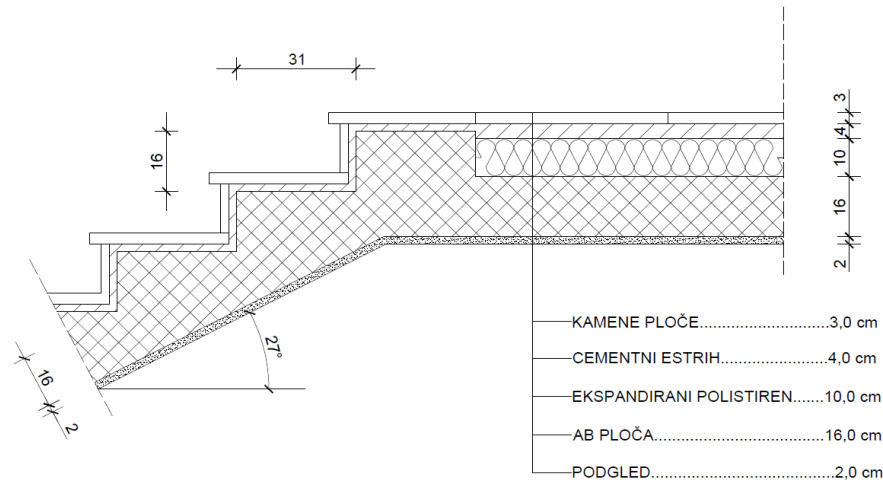


Slika 6. Presjek kroz stropnu ploču sa prikazom slojeva ploče

Međukatna ploča  $h = 22,0$  cm

1. Podna obloga..... =  $0,10 \text{ kN/m}^2$
2. Cementni estrih..... $0,05 \times 23,0 \text{ kN/m}^3 = 1,15 \text{ kN/m}^2$
3. Ekspandirani polistiren..... $0,05 \times 0,25 \text{ kN/m}^3 = 0,013 \text{ kN/m}^2$
4. AB ploča..... $0,22 \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 5,5 \text{ kN/m}^2$
5. Podgled..... $0,02 \times 18,0 \text{ kN/m}^3 = 0,36 \text{ kN/m}^2$
6. Pregradni zidovi..... =  $1,00 \text{ kN/m}^2$

$$\sum G_{k2} = 8,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 7. Presjek kroz stubište sa prikazom slojeva

### Opterećenje stubišta

#### - stubišni krak

1. Kamene ploče gazišta stube..... $0,03 \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 0,75 \text{ kN/m}^2$
2. Kamene ploče na čelu stube..... $0,02 \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 0,50 \text{ kN/m}^2$
3. Cementni estrih..... $0,04 \times 23,0 \text{ kN/m}^3 = 0,46 \text{ kN/m}^2$
4. Stube..... $0,16 \times 0,50 \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 2,0 \text{ kN/m}^2$
5. AB ploča..... $\frac{0,16}{\cos(27)} \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 4,49 \text{ kN/m}^2$
6. Podgled (žbuka)..... $\frac{0,02}{\cos(27)} \times 18,0 \text{ kN/m}^3 = 0,40 \text{ kN/m}^2$

$$\sum G_{kk} = 8,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

#### - podest

1. Kamene ploče..... $0,03 \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 0,75 \text{ kN/m}^2$
2. Cementni estrih..... $0,04 \times 23,0 \text{ kN/m}^3 = 0,46 \text{ kN/m}^2$
3. AB ploča..... $0,16 \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 4,00 \text{ kN/m}^2$
4. Podgled (žbuka)..... $0,02 \times 18,0 \text{ kN/m}^3 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

$$\sum G_{kp} = 5,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 4.2. Promjenjivo opterećenje na konstrukciju

### 4.2.1. Uporabno opterećenje

Uporabno opterećenje definira se ovisno o namjeni konstrukcije. Projektnim zadatkom predviđena je namjena konstrukcije u svrhu poslovne zgrade koji prema EN 1991-1-1:2004 Tablica 6.2 pripadaju B kategoriji. Vrijednost uporabnog opterećenja iznosi:

$$g_{k1} = 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

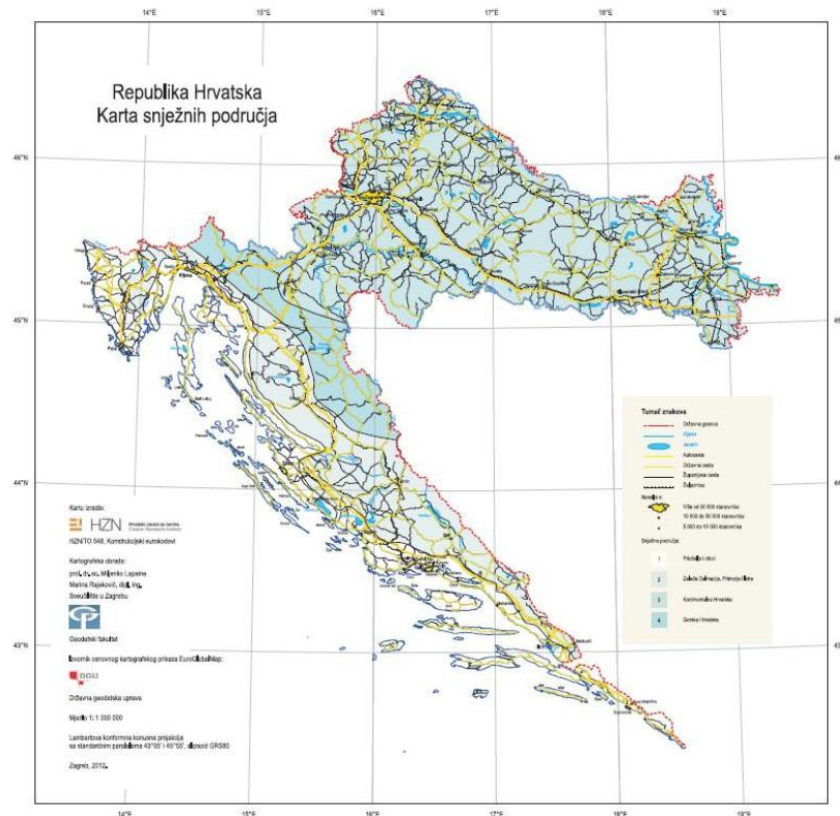
Stubište zgrade prema Tablici 6.2 pripada kategoriji S1 pa vrijednost uporabnog opterećenja iznosi:

$$g_{k2} = 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

#### 4.2.2. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom definira se prema karti snježnih područja prikazanih na Slici 8.

Građevina je smještena na području grada Rijeke na nadmorskoj visini od 200 mnv i kao takva pripada I. zoni.



Slika 8. Karta snježnih područja za RH

Opterećenje snijegom određuje se prema sljedećem izrazu:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (12)$$

gdje je:

$s_k$  – karakteristično opterećenje snijegom prema Tablici 1. ovisno o pripadajućoj zoni i nadmorskoj visini,  $s_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$

$C_t$  – toplinski koeficijent koji uzima u obzir uvjete zagrijavanja zgrade i izolaciju krova,

$$C_t = 1,0$$

$C_e$  – koeficijent izloženosti koji uzima u obzir uvjete puhanja vjetra,  $C_e = 1,0$

$\mu_i$  – koeficijent oblika opterećenja snijegom ovisan o nagibu krova  $\alpha$  prikazan u Tablici 2.,

$$\mu_i = 0,80$$

Tablica 1. Karakteristično opterećenje snijegom ovisno o nadmorskoj visini i pripadajućem snježnom području

Nadmorska visina do [m]	1.područje – priobalje i otoci [kN/m <sup>2</sup> ]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m <sup>2</sup> ]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,0	3,00	3,00	4,50
1000	2,0	4,00	3,50	5,00
1100	3,0	5,00	4,00	5,50
1200	4,0	6,00	4,50	6,00
1300	5,0	7,00		7,00
1400	6,0	8,00		8,00
1500		9,00		9,00
1600		10,00		10,00
1700		11,00		11,00
1800		12,00		

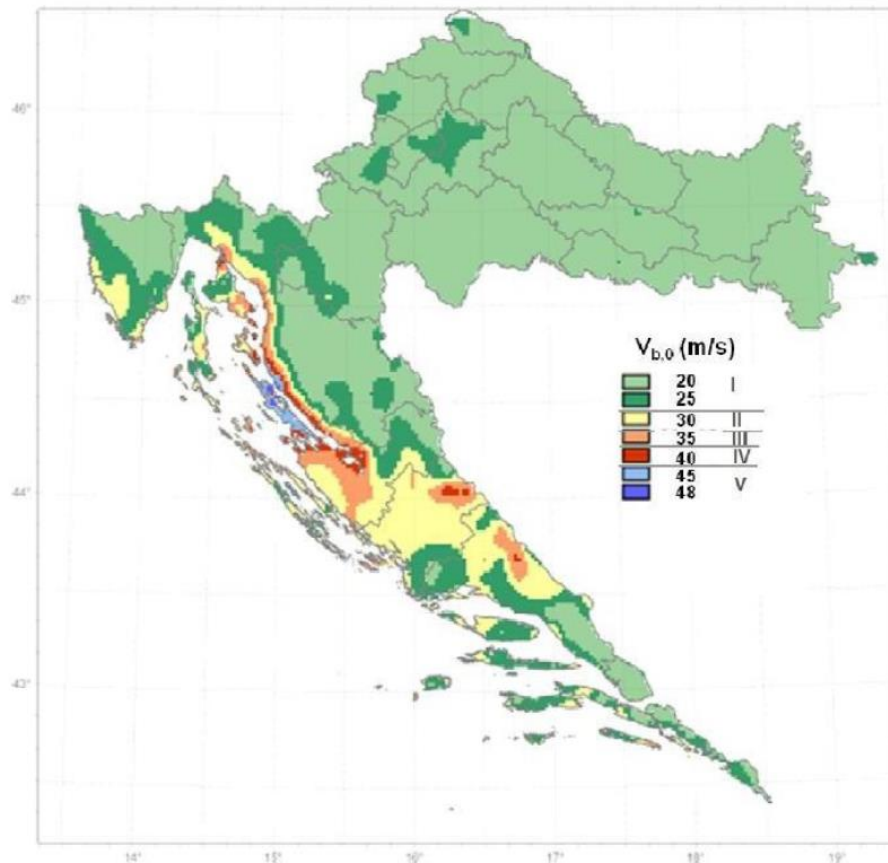
Tablica 2. Koeficijent oblika za određene nagibe krovnih ploha

Kut nagiba krova $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha/30$	1,6	–

Opterećenje snijegom iznosi:

$$s = 0,80 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,50 = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

### 4.2.3. Opterećenje vjetrom



Slika 9. Karta vjetrovnih područja za RH

Osnovna vrijednost brzine vjetra prema Slici 9. iznosi:

$$v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$$

Tlak vjetra na vanjske površine konstrukcije iznosi:

$$W_e = q_p(z_e) \cdot C_{pe} \quad (13)$$

gdje je:

$q_p(z_e)$  – vršni tlak vjetra

$z_e$  – referentna visina

$C_{pe}$  – koeficijent tlaka

Koeficijent vanjskog tlaka na vertikalne zidove uzimamo kao:

$$C_{pe}^D = 0,8 - \text{tlak}$$

$$C_{pe}^E = -0,5 - \text{usis}$$

Djelovanje vjetra na ravni krov pretežno je odižuće, a kako je ovdje riječ o projektu armiranobetonske konstrukcije koja je masivna i njena vlastita težina je velika, može se djelovanje vjetra zanemariti.

$$\sum C_{pe} = 0,8 + 0,5 = 1,3$$

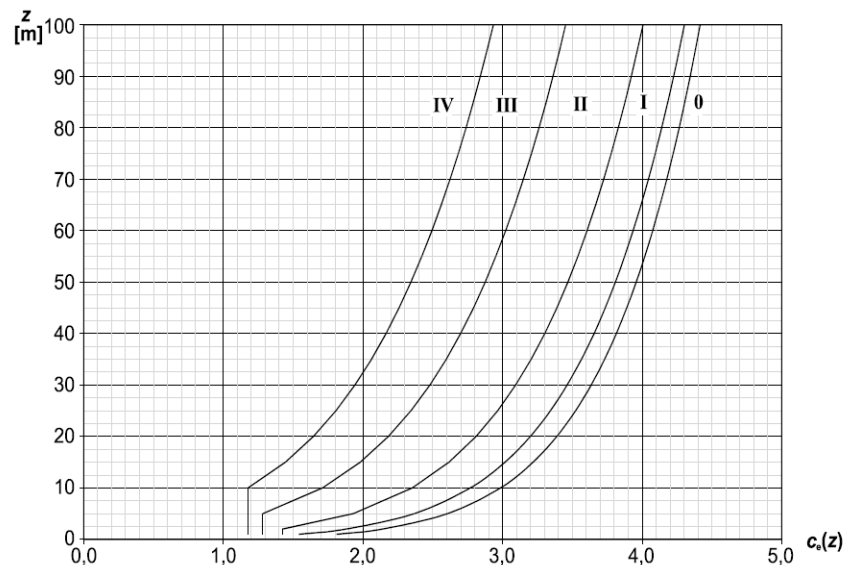
$$q_p(z_e) = C_e(z) \cdot q_b \quad (14)$$

gdje je:

$C_e(z)$  – koeficijent izloženosti

$q_b$  – osnovni tlak vjetra

$C_0 = 1,0$  – koeficijent topografije



Slika 10. Dijagram faktora izloženosti

Iz dijagrama se može očitati da je:  $C_e(z) = C_e(10) = 2,20$

Osnovni tlak vjetra određuje se prema sljedećem izrazu:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (15)$$

gdje je:

$\rho$  – gustoća zraka

$v_b$  – osnovna brzina vjetra

Osnovna brzina vjetra određuje se prema sljedećem izrazu:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (16)$$

gdje je:

$c_{dir}$  – koeficijent smjera vjetra,  $c_{dir} = 1,0$

$c_{season}$  – koeficijent doba godine,  $c_{season} = 1,0$

Osnovna brzina vjetra iznosi:

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30,0 = 30,0 \text{ m/s}$$

Osnovni tlak vjetra iznosi:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30^2 = 0,563 \text{ kN/m}^2$$

Vršni tlak vjetra iznosi:

$$q_p(z_e) = 2,20 \cdot 0,563 = 1,24 \text{ kN/m}^2$$

Ukupan vanjski tlak vjetra na zidove iznosi:

$$\sum W_e = 1,24 \cdot 1,30 = 1,61 \text{ kN/m}^2$$

Kako horizontalno djelovanje vjetra nije mjerodavno ono neće biti uzeto u obzir u proračunu. Mjerodavno djelovanje na konstrukciju je potresno djelovanje!



## 5. POTRESNO DJELOVANJE NA KONSTRUKCIJU

Projektiranje građevina na potresnim područjima zahtijeva zadovoljavanje dva osnovna uvjeta: Prvi uvjet je uvjet neurušavanja konstrukcije. Taj uvjet kaže da konstrukcija mora biti projektirana i izvedena tako da izdrži projektna seizmička opterećenja bez lokalnog ili globalnog urušavanja konstrukcije, odnosno cjelovitost konstrukcije mora biti očuvana i sa dostatnim kapacitetom nosivosti nakon potresa. Drugi uvjet je uvjet ograničenja oštećenja. Ovaj uvjet zahtijeva da se konstrukcija projektira i izvede tako da izdrži potrese manjeg intenziteta od projektne vrijednosti (vjerojatnost pojave takvih potresa je veća). Kod pojave takvih potresa slabijeg intenziteta konstrukcija neće pretrpjeti veća oštećenja niti će njena uporaba biti ugrožena. Kod projektiranja konstrukcija u potresnim područjima trebalo bi se pridržavati nekih od sljedećih pravila: pravilnost konstrukcije tlocrtno i po visini, ravnomjerno raspoređena krutost, statička neodređenost konstrukcije itd. Proračun potresnog djelovanja na konstrukciju može se provesti na više načina. U ovom primjeru korištena je metoda modalne spektralne analize.

Primjena modalne spektralne analize zasniva se na određivanju horizontalnog i vertikalnog spektra odziva za lokaciju na kojoj se nalazi projektom predviđena građevina. Osim lokacije građevine važno je poznavati njezin faktor važnosti i tip temeljnog tla na kojem se nalazi. Prilikom pojave potresa dolazi do horizontalnog gibanja tla. Prema Eurokodu 8 gibanje tla prilikom pojave potresa sastoji se od tri komponente, dvije horizontalne i jedne vertikalne.

Za određivanje proračunskog spektra odziva primjenjuju se sljedeći izrazi:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_g S \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left( \frac{2,50}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (17)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g S \frac{2,50}{q} \quad (18)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g S \frac{2,50}{q} \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta a_g \end{cases} \quad (19)$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g S \frac{2,50}{q} \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta a_g \end{cases} \quad (20)$$

gdje je:

$S_d(T)$  – proračunski elastični spektar odziva

$q$  – faktor ponašanja

$T$  – period vibracija sustava s jednim stupnjem slobode

$T_B, T_C$  – granice perioda s vrijednostima konstantnog spektralnog ubrzanja

$T_D$  – vrijednost koja definira početak raspona odziva spektra sa konstantnim pomacima

$\beta$  – donja vrijednost faktora horizontalnog spektra odziva

$a_g$  – proračunsko ubrzanje na temeljnom tlu tipa A

$a_{gr}$  – referentno vršno ubrzanje temeljnog tla tipa A

Proračunsko ubrzanje na temeljnom tlu tipa A:

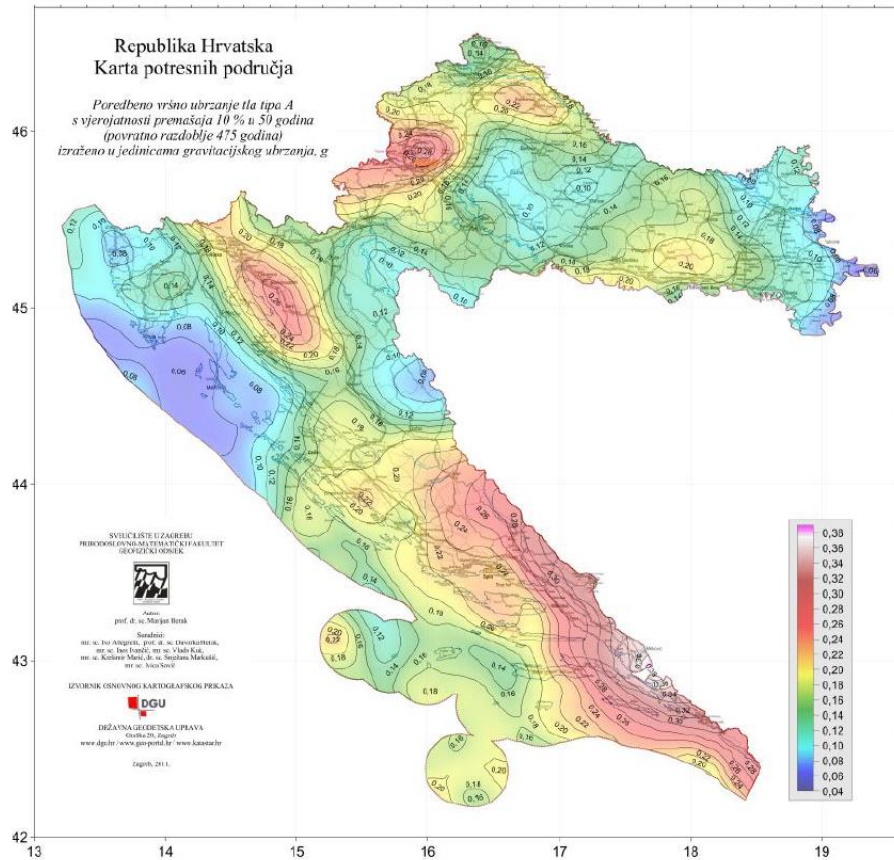
$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} \quad (21)$$

gdje je:

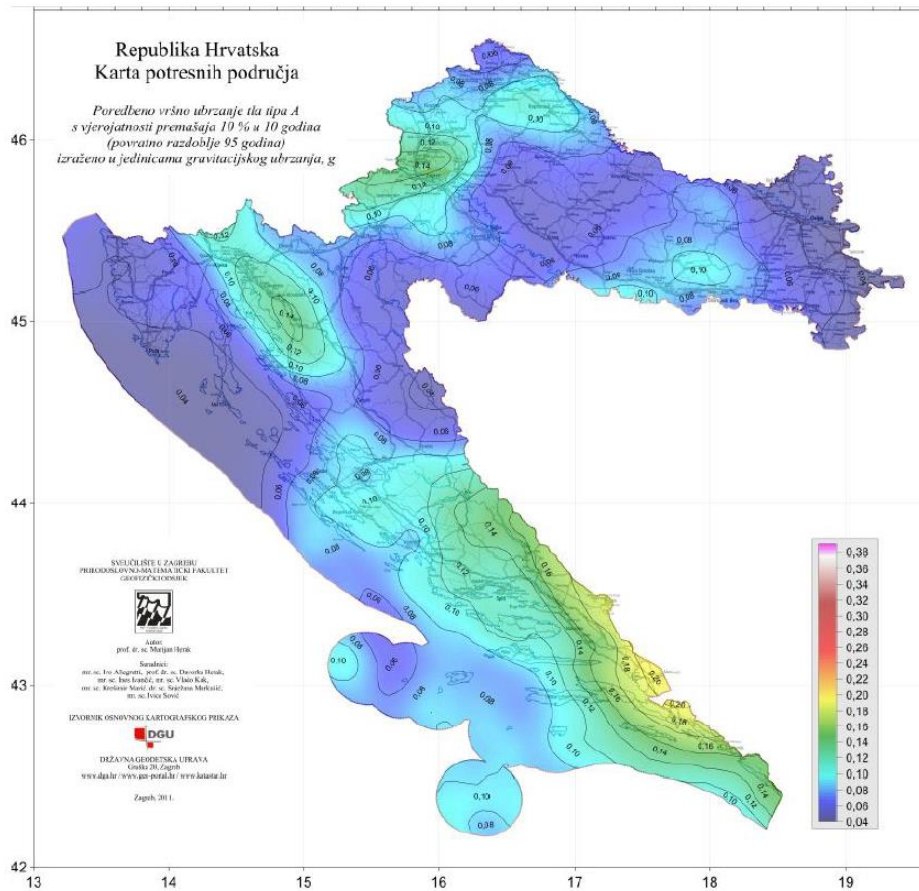
$a_g$  – proračunsko ubrzanje na temeljnom tlu tipa A, Slika 11. i 12.

$\gamma_I$  – faktor važnosti određen prema Tablici 3.

$a_{gR}$  – poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla tipa A



Slika 11. Karta potresnih područja za RH, za povratno razdoblje od 475 godina i tip tla A



Slika 12. Karta potresnih područja za RH, za povratno razdoblje od 95 godina i tip tla A

Građevina se nalazi na području grada Rijeke te ima poslovnu namjenu stoga je njezin faktor važnosti  $\gamma_I = 1,0$ . Tlo ispod građevine pripada B kategoriji koju karakteriziraju pjeskovite naslage na površinskom sloju tla dok se na većoj dubini nalazi raspucala stijena čija se kvaliteta povećava sa porastom dubine.

Prema karti potresnih područja poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla za područje Rijeke iznosi:

$$a_{gR} = 0,21 \text{ g} - \text{ za povratno razdoblje od 475 godina, proračun prema GSN}$$

$$a_{gR} = 0,106 \text{ g} - \text{ za povratno razdoblje od 95 godina, proračun prema GSU}$$

Razred važnosti prema Tablici 3. iznosi:

Tablica 3. Razredi važnosti za zgrade

Razred važnosti	Zgrade	Faktor važnosti $\gamma$
I	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost npr. poljoprivredne zgrade itd.	0,8
II	Obične zgrade koje ne pripadaju drugim kategorijama	1,0
III	Zgrade čija je potresna otpornost važna s obzirom na posljedice vezane s rušenjem npr. škole, dvorane za skupove, kulturne institucije itd.	1,2
IV	Zgrade čija je cjelovitost tijekom potresa od životne važnosti za civilnu zaštitu npr. bolnice, vatrogasne postaje, energane itd.	1,4

$$\gamma_I = 1,0$$

Proračunsko ubrzanje temeljnog tla iznosi:

$$a_g = 1,0 \cdot 0,21g = 0,21g \text{ - za povratno razdoblje od 475 godina, proračun prema GSN}$$

$$a_g = 1,0 \cdot 0,106g = 0,106g \text{ - za povratno razdoblje od 95 godina, proračun prema GSU}$$

### 5.1. Određivanje faktora ponašanja

Faktor ponašanja  $q$  predstavlja sposobnost konstrukcije da troši energiju unesenu za vrijeme djelovanja potresa. Pri djelovanja potresa gibanje konstrukcije može se odviti u bilo kojem smjeru stoga je potrebno odrediti faktor ponašanja u oba glavna smjera. Projektiranje konstrukcije primjenom faktora ponašanja postiže se poželjno duktilno ponašanje. U nastavku je zapisan izraz kojim se može izračunati faktor ponašanja.

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,50 \quad (22)$$

gdje je:

$q$  – faktor ponašanja

$q_0$  – osnovna vrijednost faktora ponašanja ovisna o tipu konstrukcije i njejoj pravilnosti

(Tablica 4.)

Tablica 4. Osnovna vrijednost faktora ponašanja

Tip konstrukcije	Razred duktilnosti	
	DCM	DCH
okvirni sustav, dvojni sustav, sustav povezanih zidova	$3 \alpha_u / \alpha_1$	$4,5 \alpha_u / \alpha_1$
sustav nepovezanih zidova	3,0	$4 \alpha_u / \alpha_1$
torzijski savitljiv sustav	2,0	3,0
sustav obrnutog njihala	1,5	2,0

$k_w$  – faktor koji odražava prevladavajući oblik sloma (Tablica 5.)

Tablica 5. Vrijednost faktora  $k_w$

Vrsta konstrukcije	$k_w$
okvirne konstrukcije i dvojni sustavi istovrijedni okvirnim	1,0
zidni sustavi	$0,5 \leq (1 + \alpha_0) / 3 \leq 1,0$
sustavi istovrijedni zidnim sustavima	
torzijski savitljivi sustavi	

Osnovna vrijednost faktora ponašanja za zadani konstrukcijski sustav i razred duktilnosti DCM iznosi:

$$q_0 = 3 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} \quad (23)$$

gdje je:

$\alpha_u$  – vrijednost kojom se uvećava djelovanje horizontalnih seizmičkih sila kako bi se postigla otpornost na savijanje u elementima konstrukcije

$\alpha_1$  – vrijednost kojom se uvećava djelovanje horizontalnih seizmičkih sila za koju će se u određenom presjeku otvoriti plastični zglobovi

Konstrukcijski sustav pripada dvojnog sustavu istovrijednom zidnom i višekatna je zgrada stoga vrijednost odnosa  $\frac{\alpha_u}{\alpha_1}$  iznosi 1,20 EN 1998-1:2004, 5.2.2.2.5a.

Da bi konstrukcijski sustav pripadao u kategoriju dvojnog sustava istovrijednog zidnom potrebno je da barem 50 % seizmičke sile u podnožju građevine preuzimaju zidovi, EN 1998-1:2004 5.1.2. Prema podacima dobivenim nakon proračunske analize u Staad-u, odnosno nakon izračuna sile u podnožju koju na sebe prihvaćaju zidovi i ukupne sile koja se javlja uslijed djelovanja potresa može se zaključiti da zidovi preuzimaju više od 50% potresnih sila. U nastavku je prikazan izračun gdje je  $V_{Ed}$  sila koja se javlja u podnožju zida (sila koju zid preuzima), a  $H_{Ed}$  je vrijednost ukupne horizontalne potresne sile koja se javlja u konstrukciji.

- za smjer x

$$V_{Ed,x} = (1,07 + 0,95 + 0,94 + 0,85 + 0,65 + 0,40) \cdot 300,0 \cdot 1000,0 = 1458000 \text{ N}$$

$$V_{Ed,x} = 1458,0 \text{ kN} \rightarrow \text{za dva zida iznosi } \sum V_{Ed,x} = 2916,0 \text{ kN}$$

Ukupna horizontalna potresna sila u smjeru x iznosi:

$$H_{Ed,x} = 4119,65 \text{ kN}$$

$$\frac{\sum V_{Ed,x}}{H_{Ed,x}} = \frac{2916,0}{4119,65} = 0,71 \rightarrow 71\%$$

- za smjer y

$$V_{Ed,y} = (0,53 + 0,18 + 0,29 + 0,28 + 0,83 + 2,31) \cdot 300,0 \cdot 1000,0 = 1326000 \text{ N}$$

$$V_{Ed,y} = 1326,0 \text{ kN} \rightarrow \text{za dva zida iznosi } \sum V_{Ed,y} = 2652,0 \text{ kN}$$

Ukupna horizontalna potresna sila u smjeru x iznosi:

$$H_{Ed,y} = 4087,05 \text{ kN}$$

$$\frac{\sum V_{Ed,y}}{H_{Ed,y}} = \frac{2652,0}{4087,05} = 0,65 \rightarrow 65\%$$

Vrijednost faktora  $k_w$  može se odrediti iz sljedećeg izraza:

$$0,50 \leq \frac{1 + \alpha_0}{3} \leq 1,0 \quad (24)$$

gdje je:

$\alpha_0$  – prevladavajući omjer oblika zidova konstrukcijskog sustava određen prema izrazu (25)

$$\alpha_0 = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}} \quad (25)$$

Vrijednost faktora ponašanja u x smjeru:

$$\alpha_0 = \frac{2 \cdot 19,0}{2 \cdot 6,0} = 3,17$$

$$k_w = \frac{1 + 3,17}{3} = 1,39 > 1,0 \rightarrow k_w = 1,0$$

$$q_x = (3 \cdot 1,20) \cdot 1,0 = 3,60 > 1,50$$

Vrijednost faktora ponašanja u y smjeru:

$$\alpha_0 = \frac{2 \cdot 19,0}{2 \cdot 6,0} = 3,17$$

$$k_w = \frac{1 + 3,17}{3} = 1,39 > 1,0 \rightarrow k_w = 1,0$$

$$q_y = (3 \cdot 1,20) \cdot 1,0 = 3,60 > 1,50$$

Faktor ponašanja jednak je za oba smjera i iznosi:

$$q = q_x = q_y = 3,60$$

### **Napomena:**

Usvojen je koordinatni sustav gdje os x predstavlja horizontalnu os, dok os y predstavlja vertikalnu os. U programskom paketu StaadPro. os x je horizontalna os dok je os z vertikalna, stoga se os y u daljnjem tekstu odnosi na os z iz programskog modela.



Potresna kombinacija djelovanja može se proračunati prema sljedećem izrazu:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "A_{Ed}" + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (26)$$

gdje je:

$G_{k,j}$  – stalno djelovanje na konstrukciju

$P$  – učinci prednapinjanja

$A_{Ed}$  – proračunsko potresno djelovanje

$\psi_{2,i}$  – kombinacijski faktor

$Q_{k,i}$  – promjenjivo djelovanje na konstrukciju

Proračunsko potresno djelovanje  $A_{Ed}$  može se odrediti na sljedeći način:

- za glavni smjer x  $\rightarrow E_d = E_{Edx} + 0,30 \cdot E_{Edy}$
- za glavni smjer y  $\rightarrow E_d = 0,30 \cdot E_{Edx} + E_{Edy}$

gdje je:

$E_{Edx}$  – proračunsko potresno djelovanje u smjeru osi x

$E_{Edy}$  – proračunsko potresno djelovanje u smjeru osi y

Ukupna težina zgrade potrebna kako bi se odredilo potresno djelovanje na konstrukciju može se odrediti koristeći izraz u nastavku:

$$W = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad (27)$$

gdje je:

$G_{k,j}$  – stalno djelovanje na konstrukciju

$\psi_{E,i}$  – koeficijent kombinacije za promjenjivo djelovanje

$Q_{k,i}$  – promjenjivo djelovanje na konstrukciju

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i} \quad (28)$$

Koeficijent  $\varphi$  definira zauzetost katova te je ovisan o razredu konstrukcije i odabranom katu.

Tablica 6. Vrijednost koeficijenta zauzetosti

Vrsta promjenljivog djelovanja	Kat	$\varphi$
Za razrede građevine A – C	• krov	1,00
	• katovi s povezanom zauzetošću	0,80
	• neovisno zauzeti katovi	0,50
Za razrede građevine D – F i arhive		1,00

Za razred konstrukcije B koeficijent zauzetosti iznosi:

- za krov  $\rightarrow \varphi = 1,0$
- za neovisno zauzete katove  $\rightarrow \varphi = 0,50$

Koeficijent  $\psi_{2,i}$  za nazovistalnu kombinaciju djelovanja te za razred konstrukcije B iznosi:

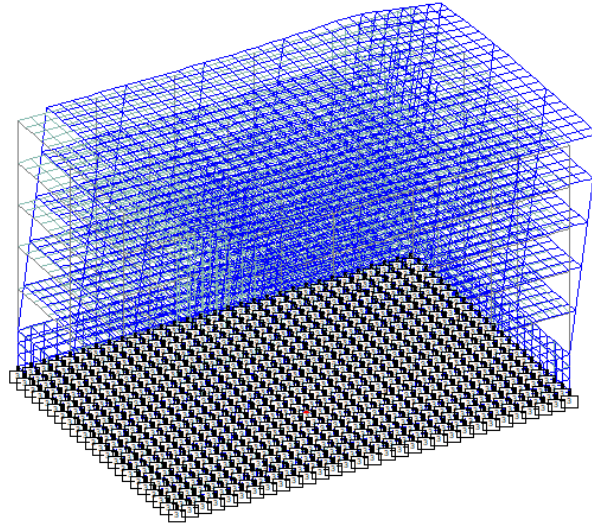
$$\psi_{2,i} = 0,30 \text{ - za preostale katove}$$

$$\psi_{2,i} = 0,0 \text{ - za krov}$$

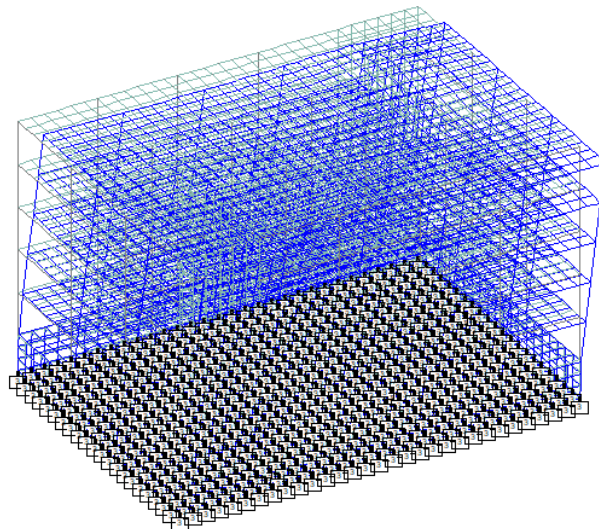
Vrijednost koeficijenta kombinacije iznosi:

- za krov  $\rightarrow \psi_{E,i} = 1,0 \cdot 0,0 = 0,0$
- za preostale katove  $\rightarrow \psi_{E,i} = 0,50 \cdot 0,30 = 0,15$

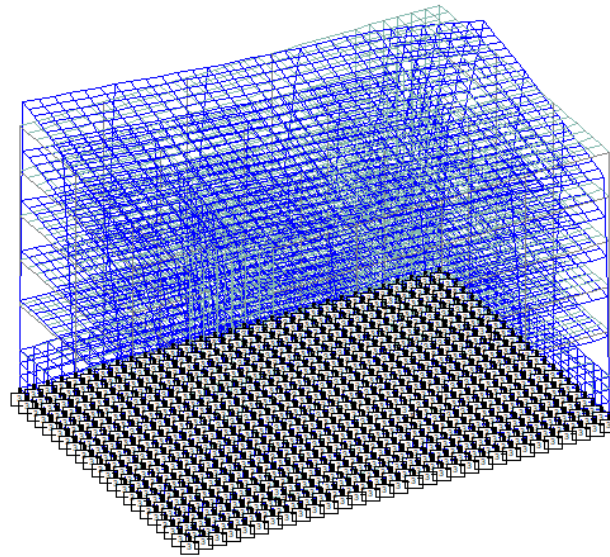
## 5.2. Vlastiti oblici vibracija konstrukcije



Slika 13. Prvi vlastiti oblik konstrukcije ( $T_1 = 0,843$  s)



Slika 14. Drugi vlastiti oblik konstrukcije ( $T_2 = 0,800$  s)



Slika 15. Treći vlastiti oblik konstrukcije ( $T_3 = 0,649$  s)

Tablica 7. Prikaz vlastitih vrijednosti za šesnaest tonova

MODE	FREQUENCY(CYCLES/SEC)	PERIOD(SEC)
1	1.186	0.84326
2	1.251	0.79966
3	1.540	0.64942
4	4.738	0.21107
5	4.827	0.20716
6	5.080	0.19687
7	5.362	0.18650
8	5.412	0.18478
9	5.458	0.18321
10	5.802	0.17234
11	5.879	0.17009
12	5.911	0.16919
13	5.967	0.16760
14	6.007	0.16648
15	6.038	0.16563
16	6.124	0.16329

Tablica 8. Udio masa za pojedine tonove u x smjeru

MODE	MASS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT						BASE SHEAR IN KN			
	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z	
1	52.75	0.00	1.92	52.747	0.000	1.918	2704.66	0.00	0.00	
2	1.72	0.00	53.91	54.466	0.000	55.833	92.94	0.00	0.00	
3	0.05	0.00	0.00	54.512	0.001	55.833	3.07	0.00	0.00	
4	0.00	35.35	0.00	54.513	35.355	55.833	0.06	0.00	0.00	
5	0.01	0.67	0.00	54.522	36.020	55.834	0.77	0.00	0.00	
6	0.02	1.26	0.00	54.539	37.277	55.834	1.46	0.00	0.00	
7	6.91	0.00	0.10	61.451	37.280	55.935	597.75	0.00	0.00	
8	4.38	0.05	0.00	65.828	37.330	55.937	378.47	0.00	0.00	
9	0.31	2.60	0.00	66.141	39.930	55.939	27.14	0.00	0.00	
10	0.00	0.26	0.01	66.142	40.193	55.945	0.04	0.00	0.00	
11	0.00	0.19	0.02	66.142	40.381	55.965	0.00	0.00	0.00	
12	0.00	0.03	5.77	66.146	40.411	61.732	0.37	0.00	0.00	
13	0.03	0.00	4.05	66.178	40.412	65.787	2.79	0.00	0.00	
14	0.10	0.14	3.19	66.277	40.555	68.973	8.52	0.00	0.00	
15	0.00	0.03	0.00	66.277	40.588	68.974	0.01	0.00	0.00	
16	0.00	0.30	0.00	66.277	40.886	68.974	0.00	0.00	0.00	
ZPA	33.72	0.00	0.00	100.000	0.000	0.000	2823.15	0.00	0.00	
							TOTAL SRSS SHEAR	3974.34	0.00	0.00
							TOTAL 10PCT SHEAR	4099.64	0.00	0.00
							TOTAL ABS SHEAR	6641.18	0.00	0.00
							TOTAL CQC SHEAR	4087.05	0.00	0.00

Tablica 9. Udio masa za pojedine tonove u y(z) smjeru

MODE	MASS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT						BASE SHEAR IN KN			
	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z	
1	52.75	0.00	1.92	52.747	0.000	1.918	0.00	0.00	98.37	
2	1.72	0.00	53.91	54.466	0.000	55.833	0.00	0.00	2915.26	
3	0.05	0.00	0.00	54.512	0.001	55.833	0.00	0.00	0.01	
4	0.00	35.35	0.00	54.513	35.355	55.833	0.00	0.00	0.01	
5	0.01	0.67	0.00	54.522	36.020	55.834	0.00	0.00	0.08	
6	0.02	1.26	0.00	54.539	37.277	55.834	0.00	0.00	0.00	
7	6.91	0.00	0.10	61.451	37.280	55.935	0.00	0.00	8.74	
8	4.38	0.05	0.00	65.828	37.330	55.937	0.00	0.00	0.16	
9	0.31	2.60	0.00	66.141	39.930	55.939	0.00	0.00	0.12	
10	0.00	0.26	0.01	66.142	40.193	55.945	0.00	0.00	0.57	
11	0.00	0.19	0.02	66.142	40.381	55.965	0.00	0.00	1.66	
12	0.00	0.03	5.77	66.146	40.411	61.732	0.00	0.00	498.78	
13	0.03	0.00	4.05	66.178	40.412	65.787	0.00	0.00	350.62	
14	0.10	0.14	3.19	66.277	40.555	68.973	0.00	0.00	275.52	
15	0.00	0.03	0.00	66.277	40.588	68.974	0.00	0.00	0.07	
16	0.00	0.30	0.00	66.277	40.886	68.974	0.00	0.00	0.01	
ZPA	0.00	0.00	31.03	0.000	0.000	100.000	0.00	0.00	2597.37	
							TOTAL SRSS SHEAR	0.00	0.00	3962.63
							TOTAL 10PCT SHEAR	0.00	0.00	4135.14
							TOTAL ABS SHEAR	0.00	0.00	6747.36
							TOTAL CQC SHEAR	0.00	0.00	4119.65

### 5.3. Provjera međukatnih pomaka pri potresnom djelovanju

Provjera međukatnih pomaka provodi se kako bi se provjerilo da li pomaci konstrukcije pri potresnom djelovanju prekoračavaju maksimalno dopuštene pomake. Kontrola međukatnih pomaka u konstrukciji provodi se za projektno ubrzanje tla  $a_{gr} = 0,106 g$  i povratni period od  $T_{NCR} = 95$  godina. Kako je u programu Staad.Pro proračunsko ubrzanje tla zadano kao  $a_{gr} = 0,21 g$ , a povratni period iznosi  $T_{NCR} = 475$  godina može se uvesti korekcijski faktor  $v'$  koji je definiran sljedećim izrazom.

$$v' = \frac{a_{gr}95}{a_{gr}475} = \frac{0,106g}{0,21g} = 0,505$$

Ograničenje pomaka definirano je prema sljedećem izrazu:

$$d_r \cdot v \cdot v' \leq 0,005 \cdot h \quad (29)$$

gdje je:

$d_r$  – proračunski katni pomak dobiven kao razlika pomaka na vrhu i pri dnu kata

$h$  – katna visina

$v$  – faktor smanjenja ovisan o razredu važnosti zgrade (za razred važnosti II iznosi 1,0)

Kod linearnog proračuna pomaci konstrukcije nastali uslijed potresnog djelovanja na konstrukciju proračunavaju se na pretpostavci elastičnog deformiranja konstrukcijskog sustava prema pojednostavljenom izrazu:

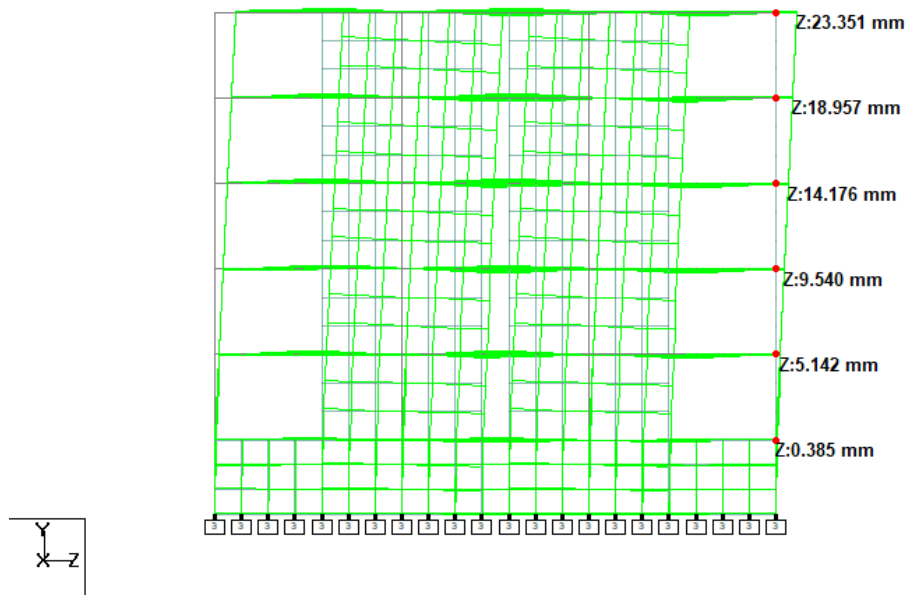
$$d_s = q_d \cdot d_e \quad (30)$$

gdje je:

$d_s$  – pomak na vrhu i dnu promatranog kata

$q_d$  – faktor ponašanja za pomak, pretpostavlja se da je  $q_d = q$

$d_e$  – pomak točke konstrukcijskog sustava dobiven linearnim proračunom



Slika 16. Vrijednosti međukatnih pomaka dobivenih u Staad-u

Tablica 10. Rezultantni pomaci kata dobiveni prema vrijednostima iz Staad-a

Pomak u razini etaže - mm	Razlika pomaka - mm	
Etaža VI.	23.351	de
Etaža V.	18.957	4.394
Etaža IV.	14.176	4.781
Etaža III.	9.540	4.636
Etaža II.	5.142	4.398
Etaža I.	0.385	4.757

Najveća razlika međukatnog pomaka dobivena je između etaže V i etaže IV:

$$d_{s, \text{etaža V}} = 18,957 \text{ mm}$$

$$d_{s, \text{etaža IV}} = 14,176 \text{ mm}$$

$$d_s = q_d \cdot d_e$$

$$d_s = 3,60 \cdot (18,957 - 14,176) = 17,21 \text{ mm}$$

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

$$17,21 \cdot 1,0 \cdot 0,505 \leq 0,005 \cdot 3200$$

$$8,69 \text{ mm} \leq 16,0 \text{ mm}$$

Uvjet ograničenja međukatnih pomaka zadovoljen!

#### 5.4. Provjera globalne i lokalne stabilnosti konstrukcije

Učinci teorije drugog reda mogu se zanemariti ako je zadovoljen sljedeći izraz za svaku pojedinu etažu zgrade i za oba smjera potresnog djelovanja:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0,10 \quad (31)$$

gdje je:

$\theta$  – koeficijent međukatnog pomaka

$P_{tot}$  – ukupno vertikalno opterećenje promatranog kata i katova iznad dobiveno prema potresnoj proračunskoj situaciji

$d_r$  – međukatni pomak

$V_{tot}$  – ukupna horizontalna potresna sila

$h$  – katna visina

Provjera s obzirom na potresno djelovanje u x smjeru:

U Tablici 11 vidljive su vrijednosti horizontalne potresne sile za smjer djelovanja x. Vrijednosti sile izračunate su za svaku pojedinu razinu čvorova konstrukcije ali one vrijednosti koje su korištene u proračunu su vrijednosti u razini etaža. Vrijednosti u tablici dobivene su prema rezultatima dobivenim u programskom paketu Staad.Pro.



Tablica 11. Horizontalna potresna sila  $V_{tot}$  u razini pojedine etaže (smjer x)

Raspodjela horizontalne sile po razinama čvorova zgrade $V_{tot}$		
Čvor 19 - Krovna ploča	1027.57	kN
Čvor 18	1162.67	kN
Čvor 17	1187.29	kN
Čvor 16 - IV. Kat	1295.95	kN
Čvor 15	1899.97	kN
Čvor 14	1918.11	kN
Čvor 13 - III. Kat	2043.84	kN
Čvor 12	2627.10	kN
Čvor 11	2645.53	kN
Čvor 10 - II. Kat	2900.60	kN
Čvor 9	3546.50	kN
Čvor 8	3564.53	kN
Čvor 7 - I. kat	3607.84	kN
Čvor 6	4115.28	kN
Čvor 5	4126.35	kN
Čvor 4 - Prizemlje	5023.43	kN
Čvor 3	5089.53	kN
Čvor 2	5097.63	kN
Čvor 1 - Temeljna ploča	7894.03	kN

U sljedećoj tablici prikazane su proračunske vrijednosti vertikalnog opterećenja u razini svake etaže dobivene prema potresnoj proračunskoj situaciji.

Tablica 12. Vertikalno opterećenje  $P_{tot}$  u razini svake etaže

	Stalno opterećenje	Promjenjivo opterećenje	Ukupno - proračunska vrijednost - $P_{tot}$ [kN]
U razini etaže VI.	11678.40	1200.00	12038.40
U razini etaže V.	17716.80	1200.00	18076.80
U razini etaže IV.	23755.20	1200.00	24115.20
U razini etaže III.	29793.60	1200.00	30153.60
U razini etaže II.	35832.00	1200.00	36192.00
U razini etaže I.	41870.40	1200.00	42230.40

U Tablici 13 prikazane su vrijednosti pomaka u razini svake etaže, zatim je izračunana razlika pomaka između etaža i množenjem dobivene vrijednosti sa faktorom ponašanja dolazi se do vrijednosti  $d_s$ .

Tablica 13. Međukatni pomak za smjer x

Međukatni pomak smjer x			
Pomak u razini etaže - mm	Razlika pomaka - mm	Faktor ponašanja	Pomak sustava
Etaža VI.	23.638	de	ds
Etaža V.	18.836	4.802	17.287
Etaža IV.	14.016	4.820	17.352
Etaža III.	9.345	4.671	16.816
Etaža II.	5.138	4.207	15.145
Etaža I.	1.880	3.258	11.729
Etaža 0.	0.109	1.771	6.376

Tablica 14. Provjera uvjeta (smjer x)

Etaža VI.	$\theta \leq 0,10$	→	0.0494	TRUE	0.10
Etaža V.			0.0475	TRUE	0.10
Etaža IV.			0.0434	TRUE	0.10
Etaža III.			0.0393	TRUE	0.10
Etaža II.			0.0263	TRUE	0.10
Etaža I.			0.0123	TRUE	0.10

Uvrštavanjem sada poznatih vrijednosti dobivamo koeficijent međukatnog pomaka prema kojem se može zaključiti da se učinci teorije drugog reda mogu zanemariti (Tablica 14).

Provjera s obzirom na potresno djelovanje u y smjeru:

Tablica 15. Horizontalna potresna sila  $V_{tot}$  u razini pojedine etaže (smjer y)

Raspodjela horizontalne sile po razinama čvorova zgrade $V_{tot}$		
Čvor 19 - Krovna ploča	1064.64	kN
Čvor 18	1206.31	kN
Čvor 17	1234.70	kN
Čvor 16 - IV. Kat	1327.06	kN
Čvor 15	1973.10	kN
Čvor 14	1994.60	kN
Čvor 13 - III. Kat	2158.16	kN
Čvor 12	2727.07	kN
Čvor 11	2747.69	kN
Čvor 10 - II. Kat	3038.59	kN
Čvor 9	3586.63	kN
Čvor 8	3605.89	kN
Čvor 7 - I. kat	3671.63	kN
Čvor 6	4134.39	kN
Čvor 5	4146.70	kN
Čvor 4 - Prizemlje	4834.60	kN
Čvor 3	4968.61	kN
Čvor 2	4978.98	kN
Čvor 1 - Temeljna ploča	7549.28	kN

Tablica 16. Vertikalno opterećenje  $P_{tot}$  u razini svake etaže

	Stalno opterećenje	Promjenjivo opterećenje	Ukupno - proračunska vrijednost - $P_{tot}$ [kN]
U razini etaže VI.	11678.40	1200.00	12038.40
U razini etaže V.	17716.80	1200.00	18076.80
U razini etaže IV.	23755.20	1200.00	24115.20
U razini etaže III.	29793.60	1200.00	30153.60
U razini etaže II.	35832.00	1200.00	36192.00
U razini etaže I.	41870.40	1200.00	42230.40

Tablica 17. Međukatni pomak za smjer y

Međukatni pomak smjer y			
Pomak u razini etaže - mm	Razlika pomaka - mm	Faktor ponašanja	Pomak sustava
Etaža VI.	23.351	de	ds
Etaža V.	18.957	4.394	15.818
Etaža IV.	14.176	4.781	17.212
Etaža III.	9.540	4.636	16.690
Etaža II.	5.142	4.398	15.833
Etaža I.	0.385	4.757	17.125
Etaža 0.	0.142	0.243	0.875

Tablica 18. Provjera uvjeta (smjer y)

Etaža VI.	θ ≤ 0,10	→	0.0442	TRUE	0.10
Etaža V.			0.0446	TRUE	0.10
Etaža IV.			0.0411	TRUE	0.10
Etaža III.			0.0404	TRUE	0.10
Etaža II.			0.0399	TRUE	0.10
Etaža I.			0.0018	TRUE	0.10

Prema EN1992.1.12004. 5.8.3.3 također treba provjeriti sljedeći izraz kako bi se globalni učinci teorije drugog reda mogli zanemariti.

$$F_{V,Ed} \leq k_1 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,60} \cdot \frac{\sum E_{cd} \cdot I_c}{L^2} \quad (31a)$$

gdje je:

$F_{V,Ed}$  – ukupno vertikalno opterećenje

$k_1$  – iznos tlocrtne dimenzije objekta, mjereno okomito na smjer potresnog djelovanja

$n_s$  – broj katova

$E_{cd}$  – proračunska vrijednost modula elastičnosti

$I_c$  – moment tromosti pridržajnih elemenata

$L$  – visina građevine, mjereno od ploče krutog podruma

$k_1 = 0,31$  – preporučena vrijednost

$n_s = 5$  – broj etaža iznad ploče krutog podruma

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_c} = \frac{33000,0}{1,20} = 27500,0 \text{ MPa}$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{300 \cdot 6000^3}{12} = 5,40 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$$

- za dva zida ukupni moment tromosti iznosi  $I_c = 1,08 \cdot 10^{13} \text{ mm}^4$

$$L = 16,0 \text{ m} = 16000,0 \text{ mm}$$

Vertikalno opterećenje konstrukcije iznosi 48595,93 kN, dok uporabno opterećenje iznosi 5460,0 kN. Ove vrijednosti očitane su u modelu i karakteristične su stoga ih treba uvećati za faktor sigurnosti.

$$V_{konstrukcije} = 48595,93 \cdot 1,35 + 5460,0 \cdot 1,50 = 73794,51 \text{ kN}$$

Od vrijednosti  $V_{konstrukcije}$  treba oduzeti težinu temeljne ploče građevine, stupova u podrumskoj etaži, zidove u podrumu i ploču iznad podruma.

Težina temeljne ploče:  $V_{temelj} = 21,50 \cdot 31,0 \cdot 0,60 \cdot 25,0 = 9997,50 \text{ kN}$

Težina stupova u podrumu:  $V_{stupovi} = 2,87 \cdot 0,50 \cdot 0,50 \cdot 24,0 \cdot 25,0 = 430,50 \text{ kN}$

Težina zidova u podrumu:

$$V_{zidovi} = (5,50 \cdot 0,30 \cdot 2,87 \cdot 9 + 6,50 \cdot 0,30 \cdot 2,87 \cdot 6 + 6,0 \cdot 0,30 \cdot 2,87 \cdot 2) \cdot 25,0$$

$$V_{zidovi} = 2163,25 \text{ kN}$$

Težina ploče iznad podruma:  $V_{ploča} = 30,0 \cdot 21,0 \cdot 0,22 \cdot 25,0 = 3465,0 \text{ kN}$

$$F_{V,Ed} = V_{konstrukcije} - (V_{temelj} + V_{stupovi} + V_{zidovi} + V_{ploča}) \cdot 1,35$$

$$F_{V,Ed} = 73794,51 - (9997,50 + 430,50 + 2163,25 + 3465,0) \cdot 1,35$$

$$F_{V,Ed} = 52118,57 \text{ kN}$$

$$52118,57 \text{ kN} < 0,31 \cdot \frac{5}{5 + 1,60} \cdot \frac{1,08 \cdot 10^{13} \cdot 27500,0}{16000,0^2} = 272460,94 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen stoga se globalni učinci teorije drugog reda mogu zanemariti!

Prema EN1992.1.12004. 5.8.3 također treba provjeriti da li je  $\lambda < \lambda_{lim}$  kako bi se lokalni učinci teorije drugog reda mogli zanemariti.

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} \quad (31b)$$

gdje je:

$$A = \frac{1}{1 + 0,2\varphi_{ef}} - \text{ako } \varphi_{ef} \text{ nije poznat može se uzeti da je } A = 0,70$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} - \text{ako } \omega \text{ nije poznat može se uzeti da je } B = 1,10$$

$$C = 1,70 - r_m - \text{ako } r_m \text{ nije poznat može se uzeti da je } C = 0,70$$

$\varphi_{ef}$  – proračunski koeficijent puzanja

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} - \text{mehanički koeficijent armiranja}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} - \text{relativna uzdužna sila}$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} - \text{omjer momenata}$$

$M_{01}, M_{02}$  – krajnji moment prvog reda,  $|M_{02}| \geq |M_{01}|$

- koeficijent  $r_m$

$$M_{01} = 62,97 \text{ kNm}$$

$$M_{02} = 79,52 \text{ kNm}$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{62,97}{79,52} = 0,792$$

$$C = 1,70 - r_m = 1,70 + 0,792 = 2,49$$

- relativna uzdužna sila  $n$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1848,78}{0,40 \cdot 0,40 \cdot 20000,0} = 0,577$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,70 \cdot 1,10 \cdot 2,49}{\sqrt{0,577}} = 50,48$$

Vitkost:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (31c)$$

gdje je:

$l_0$  – proračunska duljina

$i$  – polumjer tromosti neraspucalog betonskog presjeka

$$l_0 = 0,50 \cdot l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)} \quad (31d)$$

$$I_{col} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{400 \cdot 400^3}{12} = 2,13 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$l_{col} = 2750 \text{ mm}$$

$$I_b = 0,50 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,50 \cdot \frac{300 \cdot 450^3}{12} = 1,14 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$l_b = 5600 \text{ mm}$$

$$k_1 = \frac{\sum \frac{EI_{col}}{l_{col}}}{\sum M_{R,1}} = 2 \cdot \frac{2,13 \cdot 10^9 \cdot 5600,0}{2 \cdot 1,14 \cdot 10^9 \cdot 2750,0} = 3,805$$

$$k_2 = 0,10$$

$$M_{R,1} = \frac{2EI_b}{l_b}$$

$$l_0 = 0,50 \cdot 2750 \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{3,80}{0,45 + 3,80}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,10}{0,45 + 0,10}\right)} = 2,06 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{2,06 \cdot 1000}{\sqrt{\frac{2,13 \cdot 10^9}{400 \cdot 400}}} = 17,85$$

$$\lambda \leq \lambda_{lim} \quad (31e)$$

$$17,85 < 50,48$$

Uvjet za lokalnu stabilnost je zadovoljen stupovi se mogu proračunavati prema teoriji prvog reda.

## 5.5. Slučajni torzijski učinci

Torzija u konstrukciji javlja se u slučaju da se centar masa i centar krutosti ne poklapaju odnosno ne nalaze se na istom mjestu (ako promatramo konstrukciju tlocrtno). U tom slučaju pri pojavi potresa, rezultantna sila aktivirala bi se u centru masa. Kako je prethodno napisano centar masa i centar krutosti se ne nalaze u istoj točki stoga bi ta aktivirana sila u centru masa djelovala na nekoj udaljenosti od centra krutosti odnosno postojao bi krak sile. Konstrukcija bi se stoga „počela rotirati“ oko centra krutosti usred djelovanja potresne sile u centru masa odnosno došlo bi do torzije. U ovom primjeru promatra se konstrukcija koja je simetrična stoga do torzije nebi trebalo doći, ali kako se ne može garantirati da će u stvarno izvedenom stanju ta tvrdnja biti potpuno točna (npr. nepravilnosti pri izvedbi i sl.) potrebno je uzeti u obzir slučajne torzijske učinke.

Kako bi uzeli u obzir slučajne torzijske učinke zadajemo slučajni ekscentricitet  $e_a$ .

$$e_a = \pm 0,05 \cdot L \quad (32)$$

gdje je:

$L$  – iznos tlocrtno dimenzije objekta, mjereno okomito na smjer potresnog djelovanja

Za smjer x:

$$e_y = \pm 0,05 \cdot 21,0 = \pm 1,05 \text{ m}$$

Za smjer y:

$$e_x = \pm 0,05 \cdot 30,0 = \pm 1,50 \text{ m}$$

Torzijski moment  $M_{ai}$  određuje se tako da se horizontalne seizmičke sile određene spektralnim proračunom (Tablica 11. i 15.) na razini svake etaže pomnože sa vrijednosti slučajnog ekscentriciteta.

$$M_{ai} = e_{ai} \cdot F_i \quad (33)$$

gdje je:

$F_i$  – horizontalna seizmička sila određena spektralnim proračunom



Tablica 19. Vrijednosti torzijskih momenata za zidove u smjeru osi y

Zidovi u smjeru osi y		
Mx	1078.952	kNm
Mx	1360.747	kNm
Mx	2146.035	kNm
Mx	3045.632	kNm
Mx	3788.232	kNm
Mx	5274.607	kNm

Tablica 20. Vrijednosti torzijskih momenata za zidove u smjeru osi x

Zidovi u smjeru osi x		
My	1596.96	kNm
My	1990.59	kNm
My	3237.23	kNm
My	4557.88	kNm
My	5507.44	kNm
My	7251.90	kNm

Izraz kojim možemo odrediti raspodjelu sile po čvorovima ukurućujućih zidova u razini etaža za pojedini smjer:

$$F_n = \frac{M_{ai}}{L_i} \quad (34)$$

gdje je:

$L_i$  – udaljenost između dva ukurućujuća zida mjereno okomito na smjer djelovanja potresa

Tablica 21. Raspodjela sile po čvorovima (zidovi u smjeru osi y)

Sile u čvorovima zida u razini etaža u smjeru osi y		
F	59.942	kN
F	75.597	kN
F	119.224	kN
F	169.202	kN
F	210.457	kN
F	293.034	kN

Tablica 22. Raspodjela sile po čvorovima (zidovi u smjeru osi x)

Sile u čvorovima zida u razini etaža u smjeru osi x		
F	76.046	kN
F	94.790	kN
F	154.154	kN
F	217.042	kN
F	262.259	kN
F	345.329	kN

## 6. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE

Model konstrukcije izrađen u svrhu proračuna konstrukcijskih elemenata napravljen je pomoću programskog paketa StaadPro. Ulazni parametri korišteni pri modeliranju su u prvom redu dimenzije konstrukcijskih elemenata. Nakon što se definira geometrija konstrukcije u modelu, potrebno je definirati značajke materijala od kojih se izvodi konstrukcija. Sljedeći korak bio je definirati temeljnu podlogu građevine. U ovom proračunskom primjeru korišten je Winklerov model gdje se u svakom čvoru odnosno mjestu gdje se temeljna ploča oslanja na podlogu pretpostavlja da je reakcija temeljnog tla proporcionalna njegovom progibu. Karakteristike te vertikalne deformacije temelja definirane su pomoću neovisnih linearno elastičnih opruga. Koeficijent proporcionalnosti tih opruga nazivamo koeficijent reakcije tla. Ova pretpostavka u potpunosti nije točna jer utjecaj jedne točke prenosi se i na okolne točke, ali za potrebe ovog proračuna može se primjeniti. Modul reakcije tla koji je usvojen za potrebe ovog proračuna iznosi 20000 kN/m<sup>2</sup>. Sljedeći korak u modeliranju je definiranje opterećenja na konstrukcije. Pored stalnog opterećenja koje se unosi naredbom "selfweight" potrebno je unijeti i uporabno opterećenje. Uporabno opterećenje raspoređeno je tako da se kod proračuna ploča dobije najnepovoljnija situacija. Potresno djelovanje definira se za dva glavna smjera djelovanja potresa. U ovom primjeru korištena je metoda modalne spektralne analize. Parametri potrebni za definiranje potresnog djelovanja su: ubrzanje tla, faktor ponašanja, tip temeljnog tla. Nakon što definiraju navedeni paramteri program sam konstruira proračunski spektar odziva. Isto tako u program možemo zadati koliko tonova želimo da nam izračuna prilikom analize. Za ovaj primjer definirano je 16 tonova i također je korištena naredba ZPA. Naredba ZPA koristi se kako bi nam program dao podatak o "preostaloj masi" koju nije uzeo u obzir među navedenih 16 tonova.

ZPA – zero period acceleration, naredba koja podrazumijeva period pri kojem je spektralno ubrzanje jednako ubrzanju tla, zadana vrijednost je 1/33 s.

## 7. PRORAČUN KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA

### 7.1. Dimenzioniranje stropnih ploča na savijanje

Za dimenzioniranje stropnih ploča mjerodavne su vrijednosti momenata savijanja  $M_x$  i  $M_y$  dobivene analizom u programskom paketu Staad.Pro. Mjerodavne vrijednosti za proračun ploče dobivene su iz kombinacije stalnog i promjenjivog djelovanja smještenog u najnepovoljniji položaj kako bi se dobile najveće vrijednosti momenata savijanja. Ploče su nosive u x i y smjeru pa je i armatura proračunana sukladno tome. U nastavku su prikazani izrazi korišteni za proračun potrebne ploštine armature.

Bezdimenzijska vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad (35)$$

gdje je:

$\mu_{Ed}$  – bezdimenzijska vrijednost momenta savijanja u x odnosno y smjeru

$M_{Ed}$  – proračunska vrijednost momenta savijanja

$b$  – širina ploče (u proračunu se uzima kao 100 cm)

$d$  – statička visina ploče

$f_{cd}$  – proračunska tlačna čvrstoća betona

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (36)$$

gdje je:

$A_{s1}$  – potrebna ploština armature

$\zeta$  – koeficijent kraka unutrašnjih sila

$d$  – statička visina ploče

$f_{yd}$  – proračunska granica popuštanja čelika

Najmanja armatura može se odrediti prema izrazu:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d \leq 0,0013 \cdot b \cdot d \quad (37)$$

gdje je:

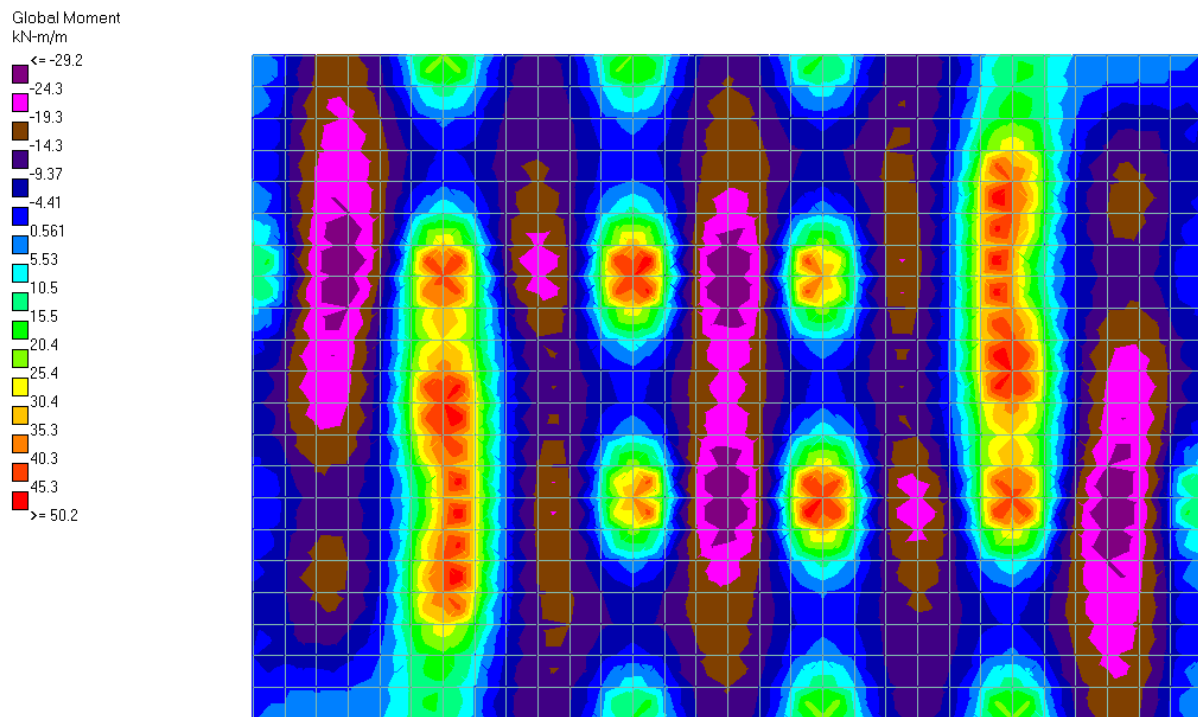
$A_{s,min}$  – minimalna potrebna ploština armature

$f_{ctm}$  – srednja vlačna čvrstoća betona ovisna o klasi betona

$f_{yk}$  – karakteristična granica popuštanja čelika

### 7.1.1. Proračun krovne armiranobetonske ploče POZ 500

#### - smjer x



Slika 17. Moment savijanja u krovnoj ploči u smjeru x

#### Presjek uz POZ 501-503

$$M_{Ed,x} = 28,08 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{28,08 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,037$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,039 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{28,08 \cdot 100}{0,979 \cdot 19,5 \cdot 43,48} = 3,38 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Odabire se Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m')

Najmanja armatura može se odrediti prema sljedećem izrazu:

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

$$= 0,26 \cdot \frac{2,90}{500} \cdot 100 \cdot 19,50 \leq 0,0013 \cdot 100 \cdot 19,50$$

$$A_{s,min} = 2,94 \text{ cm}^2/\text{m}' > 2,54 \text{ cm}^2/\text{m}' \quad \rightarrow \quad A_{s,min} = 2,94 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s1,x} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,94 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

### Presjek uz POZ 502-504-501

$$M_{Ed,x} = 22,57 \text{ kNm}/\text{m}'$$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{22,57 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,029$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,030 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,037 \quad \zeta = 0,985$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{22,57 \cdot 100}{0,985 \cdot 19,5 \cdot 43,48} = 2,70 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m')

Najmanja armatura:

$$A_{s1,x} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,94 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

**Presjek uz POZ 502-505-502**

$$M_{Ed,x} = 29,21 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{29,21 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,038$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,039 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{29,21 \cdot 100}{0,979 \cdot 19,5 \cdot 43,48} = 3,52 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

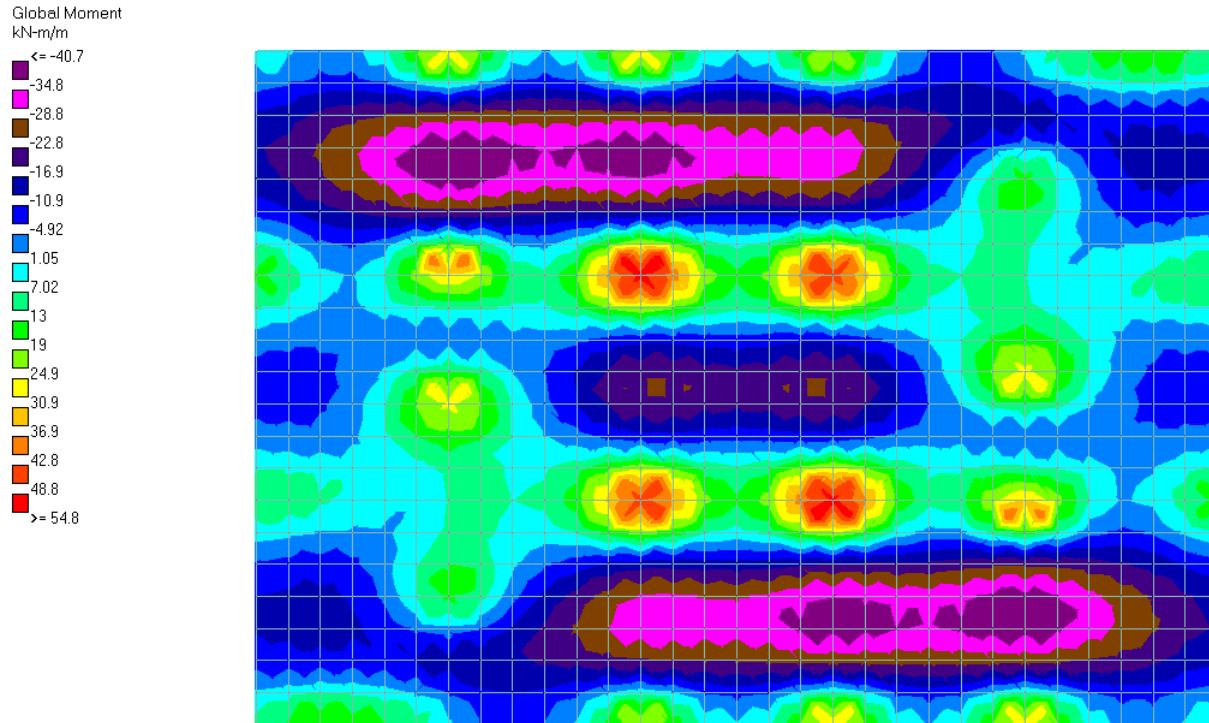
Odabire se Q-385 (3,85 cm<sup>2</sup>/m')

Najmanja armatura:

$$A_{s1,x} = 3,85 \text{ cm}^2/\text{m'} > A_{s,min} = 2,94 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Odabrana armatura zadovoljava!

**- smjer y**



Slika 18. Moment savijanja u krovnoj ploči u smjeru y

**Presjek uz POZ 501-502-502-501**

$$M_{Ed,y} = 42,64 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{42,64 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,062$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,063 \rightarrow \xi = 0,080 \quad \zeta = 0,967$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{42,64 \cdot 100}{0,967 \cdot 18,5 \cdot 43,48} = 5,48 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Odabire se Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi 8/20 \text{ cm}$  (2,51 cm<sup>2</sup>/m')



Najmanja armatura može se odrediti prema sljedećem izrazu:

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

$$= 0,26 \cdot \frac{2,90}{500} \cdot 100 \cdot 18,50 \leq 0,0013 \cdot 100 \cdot 18,50$$

$$A_{s,min} = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m}' > 2,41 \text{ cm}^2/\text{m}' \quad \rightarrow \quad A_{s,min} = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{s1,y} = 5,86 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

### Presjek uz POZ 503-504-505-504-503

$$M_{Ed,y} = 26,17 \text{ kNm}/\text{m}'$$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{26,17 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,038$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,039 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{26,17 \cdot 100}{0,979 \cdot 18,5 \cdot 43,48} = 3,32 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m')

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

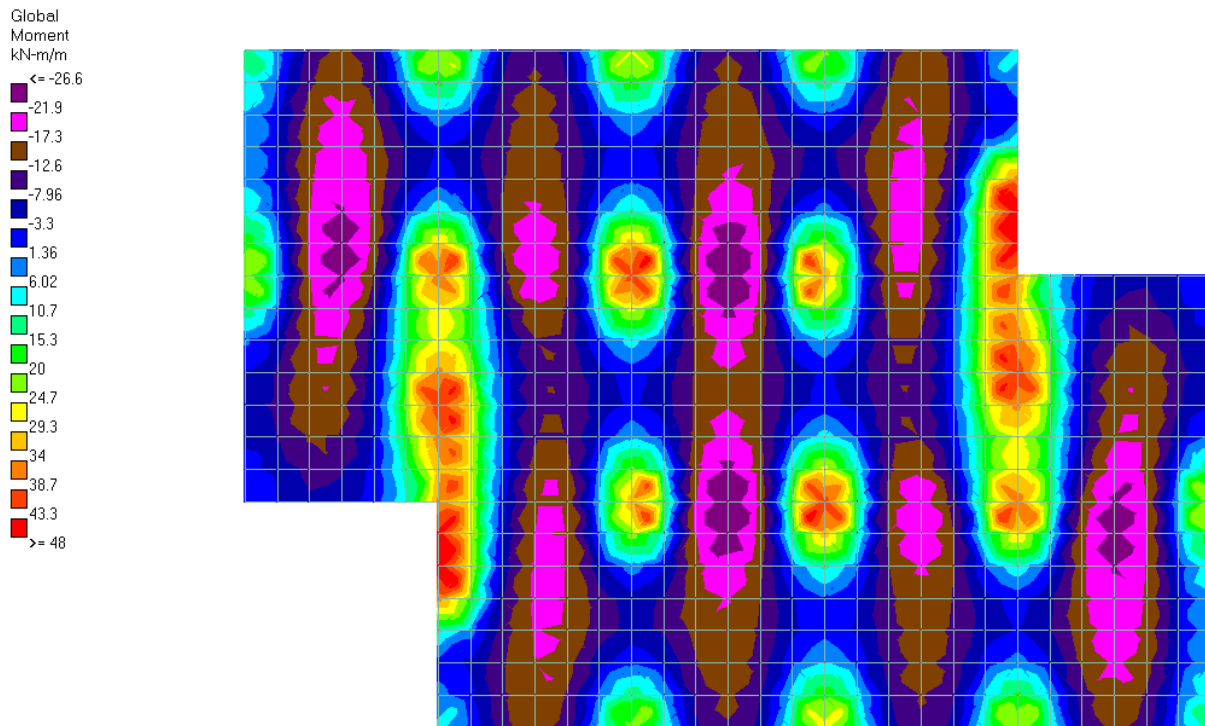
Najmanja armatura:

$$A_{s1,y} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

### 7.1.2. Proračun karakteristične armiranobetonske ploče

#### - smjer x



Slika 19. Moment savijanja u karakterističnoj ploči u smjeru x

#### Presjek uz POZ 401-403

$$M_{Ed,x} = 27,58 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{27,58 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,036$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,039 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{27,58 \cdot 100}{0,979 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 3,32 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Odabire se Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m')

Najmanja armatura:

$$A_{s1,x} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,94 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

**Presjek uz POZ 402-404-401**

$$M_{Ed,x} = 25,80 \text{ kNm}/\text{m}'$$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{25,80 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,034$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,039 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{25,80 \cdot 100}{0,979 \cdot 19,5 \cdot 43,48} = 3,11 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m')

Najmanja armatura:

$$A_{s1,x} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,94 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

**Presjek uz POZ 402-405-402**

$$M_{Ed,x} = 31,02 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{31,02 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,041$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,042 \rightarrow \xi = 0,053 \quad \zeta = 0,978$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{31,02 \cdot 100}{0,978 \cdot 19,5 \cdot 43,48} = 3,74 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

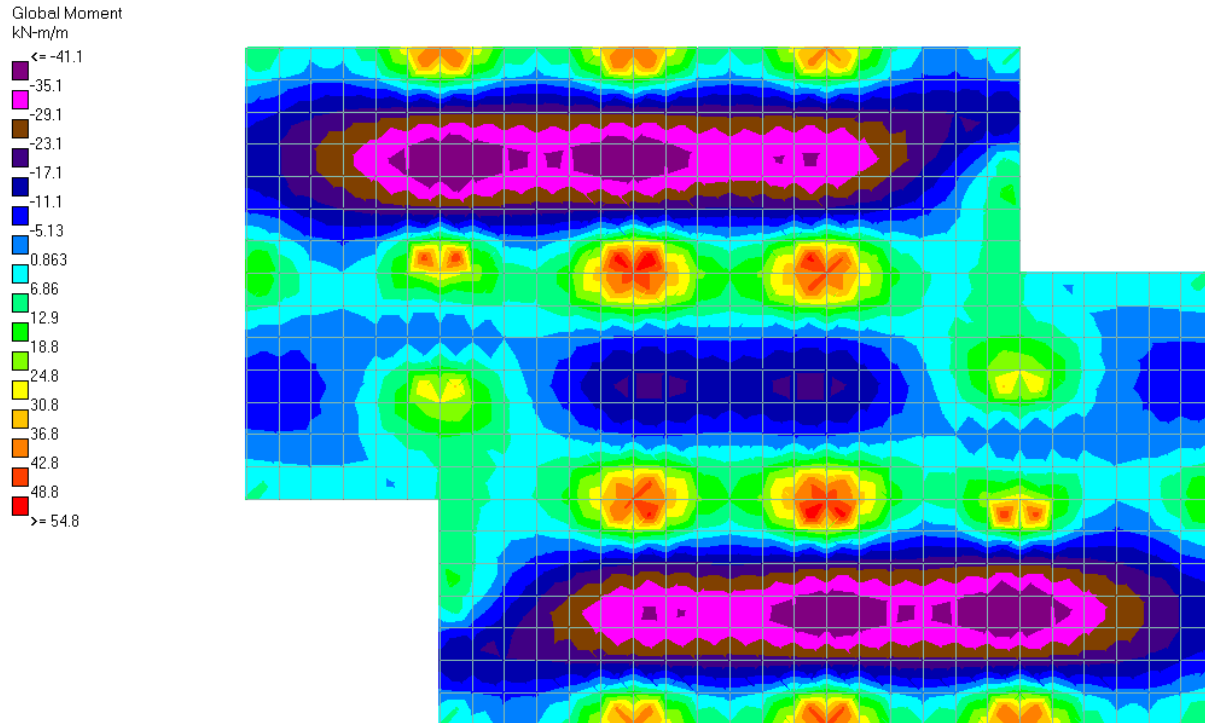
Odabire se Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi 6/20$  cm (1,41 cm<sup>2</sup>/m')

Najmanja armatura:

$$A_{s1,x} = 5,26 \text{ cm}^2/\text{m'} > A_{s,min} = 2,94 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Odabrana armatura zadovoljava!

**- smjer y**



Slika 20. Moment savijanja u karakterističnoj ploči u smjeru y

**Presjek uz POZ 401-402-402-401**

$$M_{Ed,y} = 41,10 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{41,10 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,060$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,060 \rightarrow \xi = 0,076 \quad \zeta = 0,968$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{41,10 \cdot 100}{0,968 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 5,28 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Odabire se Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi 8/20 \text{ cm}$  (2,51 cm<sup>2</sup>/m')

Najmanja armatura:

$$A_{s1,y} = 5,86 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

**Presjek uz POZ 403-404-405-404-403**

$$M_{Ed,y} = 31,63 \text{ kNm}/\text{m}'$$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{31,63 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,046$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,047 \rightarrow \xi = 0,060 \quad \zeta = 0,975$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{31,63 \cdot 100}{0,975 \cdot 18,5 \cdot 43,48} = 4,03 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi 6/20 \text{ cm}$  (1,41 cm<sup>2</sup>/m')

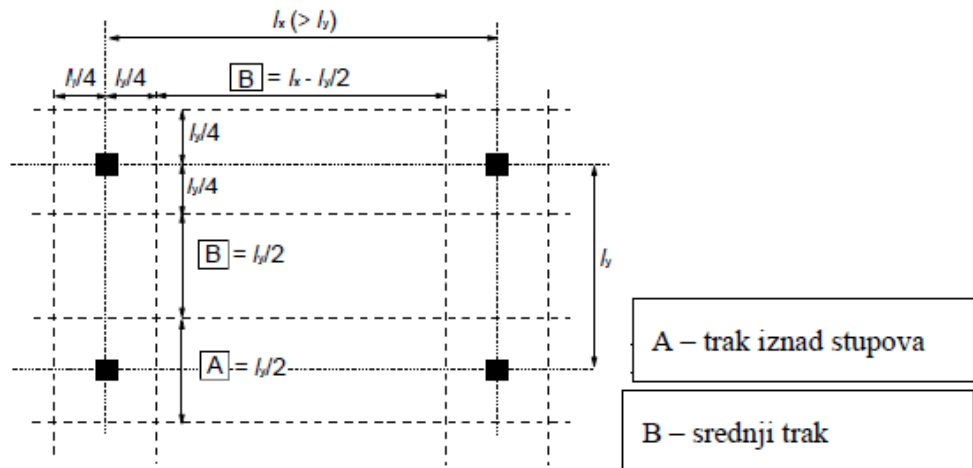
Najmanja armatura:

$$A_{s1,y} = 4,76 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

## 7.2. Primjena metode zamjenjujućih trakova

Iz rezultata dobivenih korištenjem proračunskog modela u programu Staad.Pro vidljivo je da su negativni momenti savijanja u području stupa značajne veličine dok se već na maloj udaljenosti od stupa oni značajnije smanjuju. Kada bi armaturu u području ležaja (stupa) proračunali na najveću vrijednost momenta savijanja takvo rješenje ne bi bilo racionalno stoga će se proračun armature u području stupova dimenzionirati primjenom metode zamjenjujućih trakova gdje se maksimalna vrijednost momenta savijanja raspodjeljuje duž raspona i time se postiže racionalnije rješenje. Postupak dimenzioniranja definiran je u EC2, gdje je kod ravnih ploča sa stupovima potrebno 50% armature smjestiti na udaljenosti  $0,125l$  od stupa. Prema EC2 definirana je podjela ploče u području stupa na trakove, pri čemu razlikujemo područje srednjeg traka te područje traka iznad stupova (slika 21).



Slika 21. Podjela ploče na trake u području stupa

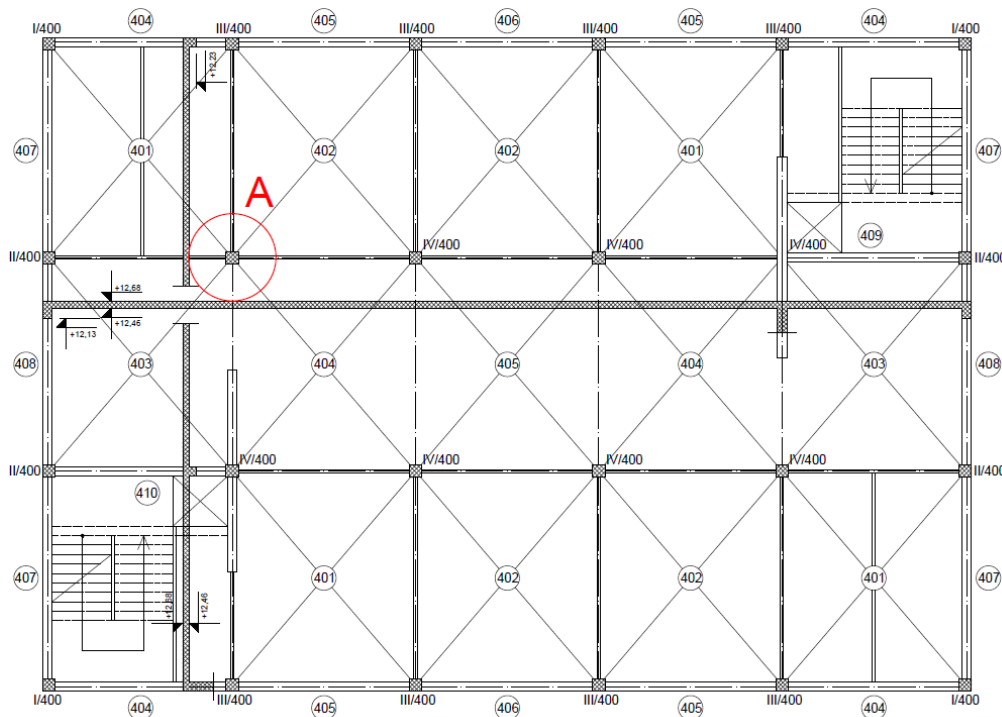
U nastavku je prikazana Tablica 23 u kojoj su dana pojednostavljena pri određivanju momenata u pojedinim trakovima.

Tablica 23. Tablica kojom se definira raspodjela momenata savijanja duž pojedinog traka

	NEGATIVNI MOMENTI	POZITIVNI MOMENTI
Trak iznad stupova	60-80%	50-70%
Srednji trak	40-20%	50-30%
Napomena : Ukupna vrijednost zbroja svih pozitivnih i negativnih momenata koji djeluju u srednjem traku i traku iznad stupova mora uvijek biti 100%.		

Proračun potrebne armature na mjestima oslanjanja ploče na stup (ležajna mjesta).

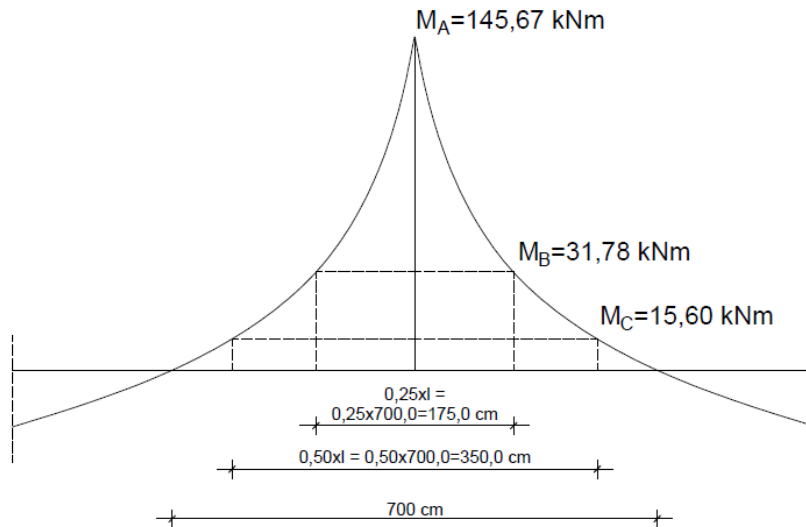
**Pozicija „A“**



Slika 22. Prikaz položaja oslonca za koji se provodi proračun - POZICIJA A



## - proračun armature u smjeru x



Slika 23. Vrijednosti momenta savijanja  $M_x$  na karakterističnim udaljenostima od osi stupa

Vrijednosti momenata savijanja na koje će biti dimenzionirana ploča iznad stupa:

$$M_1 = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{145,67 + 31,78}{2} = 88,73 \text{ kNm/m'}$$

$$M_2 = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{31,78 + 15,60}{2} = 23,69 \text{ kNm/m'}$$

$$M_3 = M_C = 15,60 \text{ kNm/m'}$$

Vrijednosti momenta na definiranim udaljenostima:

$$l_1 = 1,75 \text{ m}$$

$$M_{Ed,1} = 88,73 \text{ kNm/m'}$$

$$l_2 = 0,875 \text{ m}$$

$$M_{Ed,2} = 23,69 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed,3} = 15,60 \text{ kNm/m'}$$

Dimenzioniranje:

a)  $M_{Ed,1} = 88,73 \text{ kNm/m'}$

$$d = h - c - \frac{\phi}{2} = 22,0 - 2,0 - \frac{1,0}{2} = 19,5 \text{ cm}$$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{88,73 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,117$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,118 \rightarrow \xi = 0,156 \quad \zeta = 0,935$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,1}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{88,73 \cdot 100}{0,935 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 11,19 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

b)  $M_{Ed,2} = 23,69 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,2}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23,69 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,031$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,039 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,2}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{23,69 \cdot 100}{0,979 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 2,85 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

c)  $M_{Ed,3} = 15,60 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,3}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{15,60 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,021$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,030 \rightarrow \xi = 0,037 \quad \zeta = 0,985$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,3}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{15,60 \cdot 100}{0,985 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 1,87 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Posebni zahtjevi prema EC2:

U traci iznad stupa potrebno je postaviti 50% armature na širini 0,125l sa svake strane stupa.

Ukupna potrebna površina:

$$\sum A_s = A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}$$

$$\sum A_s = 11,19 \cdot 1,75 + 2,85 \cdot 1,75 + 1,87 \cdot 3,50 = 31,12 \text{ cm}^2$$

Potrebna armatura:

$$\frac{0,50 \cdot \sum A_s}{1,75 \text{ m}} = \frac{0,50 \cdot 31,12}{1,75 \text{ m}} = 8,89 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 10mm/20 cm (3,93 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,x} = 8,96 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

U traci izvan stupa, izvan područja na duljini 1,75m.

Potrebna površina preostale armature:

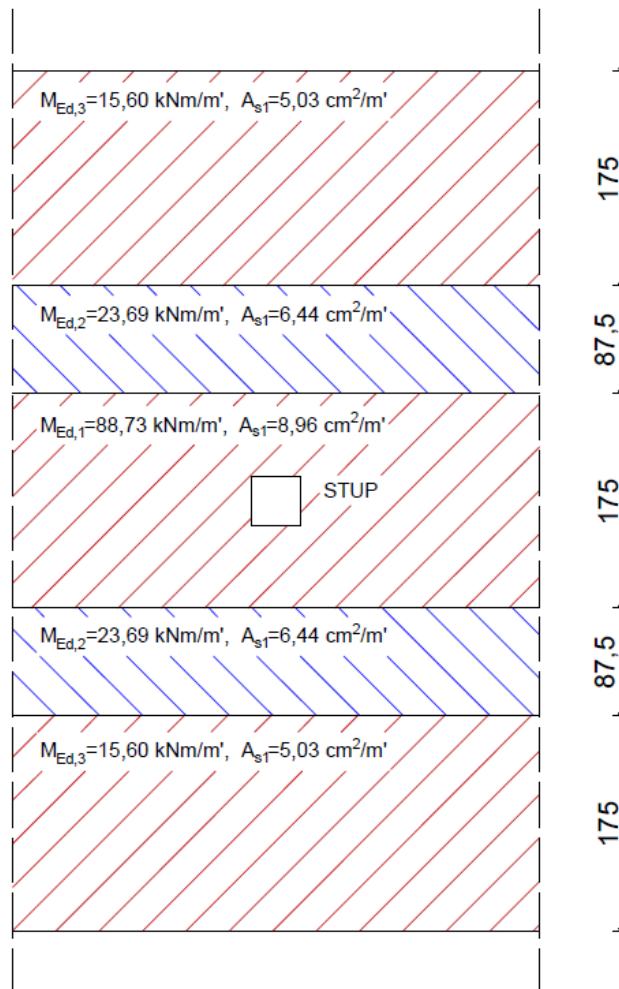
$$A_{s1} + A_{s2} - 8,89 \text{ cm}^2/\text{m}' = 11,19 + 2,85 - 8,89 = 5,15 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 6mm/20 cm (1,41 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,x} = 6,44 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

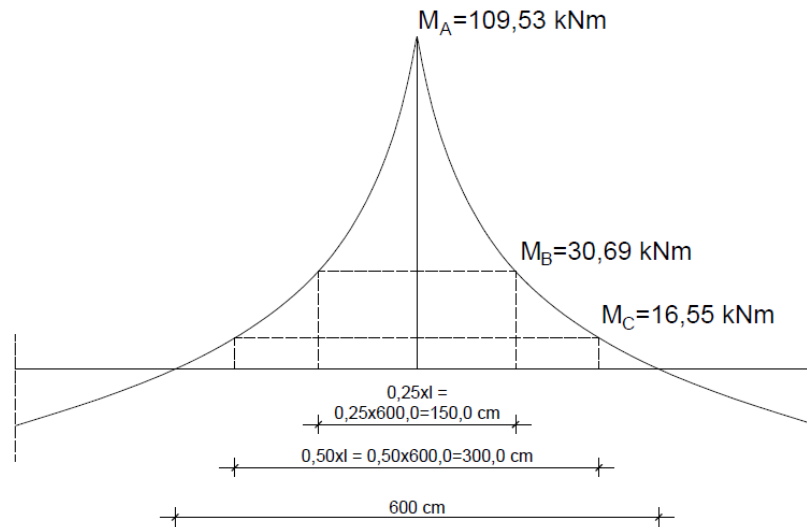
Srednja traka, preostalih 3,50m.

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m')



Slika 24. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru x

## - proračun armature u smjeru y


 Slika 25. Vrijednosti momenta savijanja  $M_y$  na karakterističnim udaljenostima od osi stupa

Vrijednosti momenata savijanja na koje će biti dimenzionirana ploča iznad stupa:

$$M_1 = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{109,53 + 30,69}{2} = 70,11 \text{ kNm/m'}$$

$$M_2 = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{30,69 + 16,55}{2} = 23,62 \text{ kNm/m'}$$

$$M_3 = M_C = 16,55 \text{ kNm/m'}$$

Vrijednosti momenta na definiranim udaljenostima:

$$l_1 = 1,50 \text{ m}$$

$$M_{Ed,1} = 70,11 \text{ kNm/m'}$$

$$l_2 = 0,75 \text{ m}$$

$$M_{Ed,2} = 23,62 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed,3} = 16,55 \text{ kNm/m'}$$

Dimenzioniranje:

a)  $M_{Ed,1} = 70,11 \text{ kNm/m'}$

$$d = h - c - \frac{\phi}{2} = 22,0 - 3,0 - \frac{1,0}{2} = 18,5 \text{ cm}$$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{70,11 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,102$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,103 \rightarrow \xi = 0,135 \quad \zeta = 0,944$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,1}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{70,11 \cdot 100}{0,944 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 9,23 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

b)  $M_{Ed,2} = 23,62 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,2}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23,62 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,035$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,039 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,2}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{23,62 \cdot 100}{0,979 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 3,00 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

c)  $M_{Ed,3} = 16,55 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{16,55 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,024$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,030 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,1}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{16,55 \cdot 100}{0,979 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 2,10 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Posebni zahtjevi prema EC2:

U traci iznad stupa potrebno je postaviti 50% armature na širini 0,125l sa svake strane stupa.

Ukupna potrebna površina:

$$\sum A_s = A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}$$

$$\sum A_s = 9,23 \cdot 1,50 + 3,00 \cdot 1,50 + 2,10 \cdot 3,0 = 24,65 \text{ cm}^2$$

Potrebna armatura:

$$\frac{0,50 \cdot \sum A_s}{1,50 \text{ m}} = \frac{0,50 \cdot 24,65}{1,50 \text{ m}} = 8,22 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 10mm/20 cm (3,93 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,y} = 8,96 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

U traci izvan stupa, izvan područja na duljini 1,5m.

Potrebna površina preostale armature:

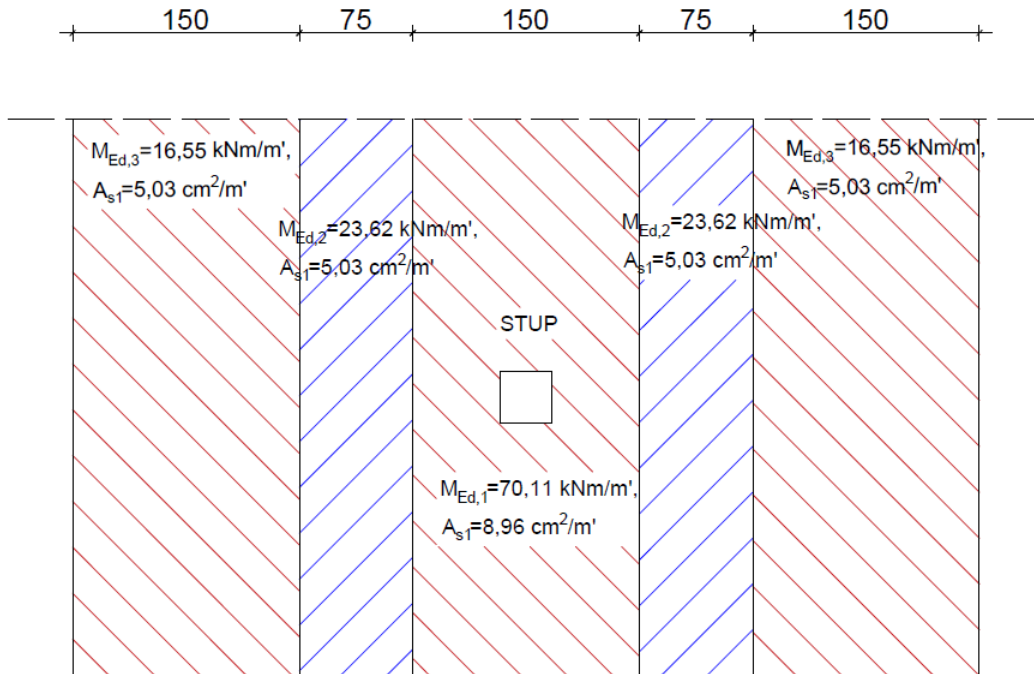
$$A_{s1} + A_{s2} - 8,22 \text{ cm}^2/\text{m}' = 9,23 + 3,00 - 8,22 = 4,01 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,y} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Srednja traka, preostalih 3,0m.

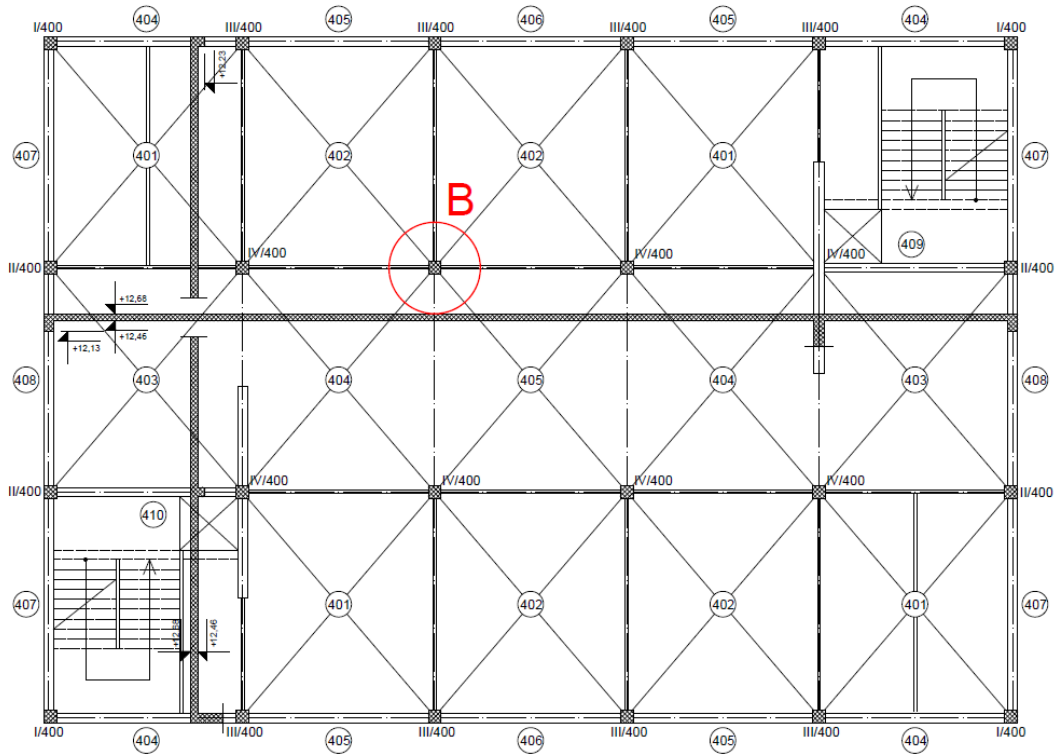
Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m')



Slika 26. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru y

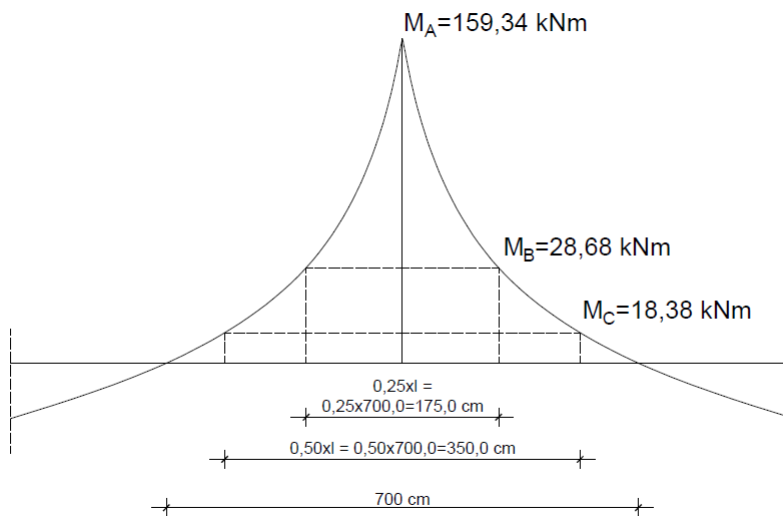


**Pozicija „B“**



Slika 27. Prikaz položaja oslonca za koji se provodi proračun - POZICIJA B

**- proračun armature u smjeru x**



Slika 28. Vrijednosti momenta savijanja  $M_x$  na karakterističnim udaljenostima od osi stupa

Vrijednosti momenata savijanja na koje će biti dimenzionirana ploča iznad stupa:

$$M_1 = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{159,34 + 28,68}{2} = 94,01 \text{ kNm/m'}$$

$$M_2 = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{28,68 + 18,38}{2} = 23,53 \text{ kNm/m'}$$

$$M_3 = M_C = 18,38 \text{ kNm/m'}$$

Vrijednosti momenta na definiranim udaljenostima:

$$l_1 = 1,75 \text{ m}$$

$$M_{Ed,1} = 94,01 \text{ kNm/m'}$$

$$l_2 = 0,875 \text{ m}$$

$$M_{Ed,2} = 23,53 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed,3} = 18,38 \text{ kNm/m'}$$

Dimenzioniranje:

a)  $M_{Ed,1} = 94,01 \text{ kNm/m'}$

$$d = h - c - \frac{\emptyset}{2} = 22,0 - 2,0 - \frac{1,0}{2} = 19,5 \text{ cm}$$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{94,01 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,124$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,126 \rightarrow \xi = 0,167 \quad \zeta = 0,931$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,1}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{94,01 \cdot 100}{0,931 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 11,91 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

b)  $M_{Ed,2} = 23,53 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,2}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23,53 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,031$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,039 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,2}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{23,53 \cdot 100}{0,979 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

c)  $M_{Ed,3} = 18,38 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,3}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{18,38 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,024$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,030 \rightarrow \xi = 0,037 \quad \zeta = 0,985$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,3}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{18,38 \cdot 100}{0,985 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 2,20 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Posebni zahtjevi prema EC2:

U traci iznad stupa potrebno je postaviti 50% armature na širini 0,125l sa svake strane stupa.

Ukupna potrebna površina:

$$\sum A_s = A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}$$

$$\sum A_s = 11,91 \cdot 1,75 + 2,83 \cdot 1,75 + 2,20 \cdot 3,50 = 33,50 \text{ cm}^2$$

Potrebna armatura:

$$\frac{0,50 \cdot \sum A_s}{1,75 \text{ m}} = \frac{0,50 \cdot 33,50}{1,75 \text{ m}} = 9,57 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 10mm/16 cm (4,91 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,x} = 9,94 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

U traci izvan stupa, izvan područja na duljini 1,75m.

Potrebna površina preostale armature:

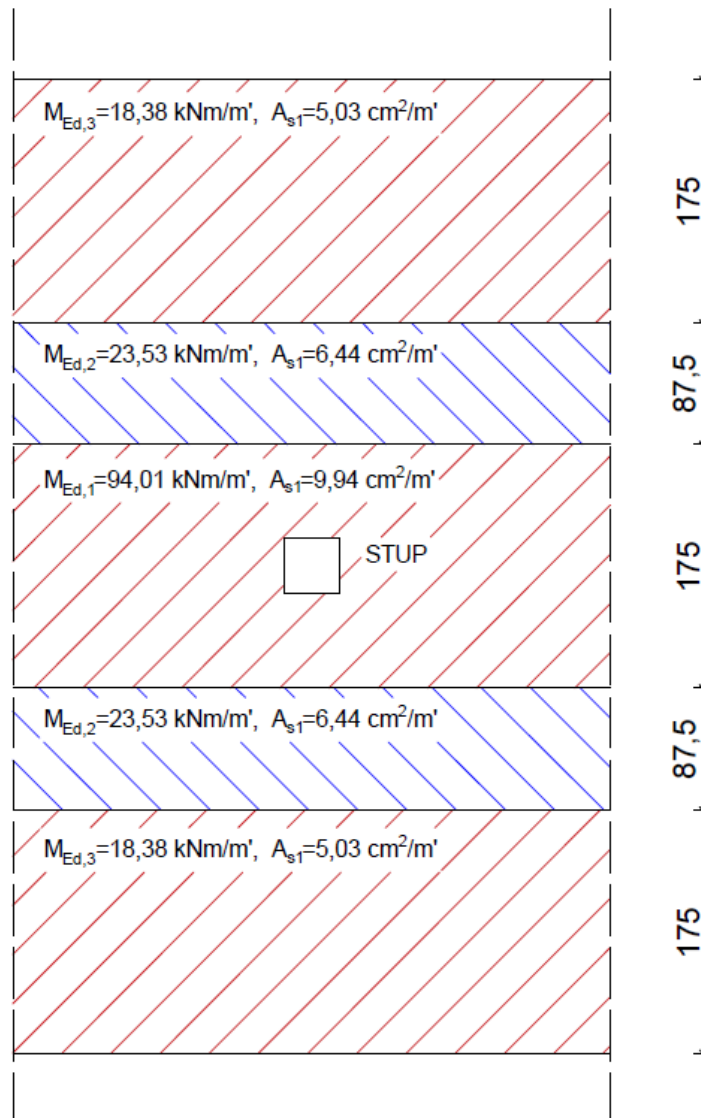
$$A_{s1} + A_{s2} - 9,57 \text{ cm}^2/\text{m}' = 11,91 + 2,83 - 9,57 = 5,17 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 6mm/20 cm (1,41 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,x} = 6,44 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

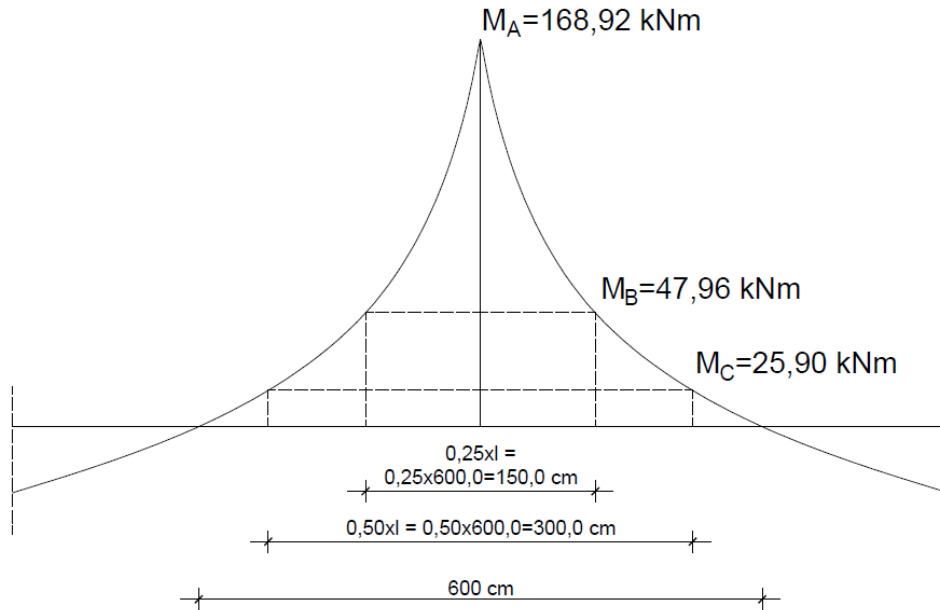
Srednja traka, preostalih 3,50m.

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m')



Slika 29. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru x

- proračun armature u smjeru y



Slika 30. Vrijednosti momenta savijanja  $M_y$  na karakterističnim udaljenostima od osi stupa

Vrijednosti momenata savijanja na koje će biti dimenzionirana ploča iznad stupa:

$$M_1 = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{168,92 + 47,96}{2} = 108,44 \text{ kNm/m'}$$

$$M_2 = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{47,96 + 25,90}{2} = 36,93 \text{ kNm/m'}$$

$$M_3 = M_C = 25,90 \text{ kNm/m'}$$

Vrijednosti momenta na definiranim udaljenostima:

$$l_1 = 1,50 \text{ m}$$

$$M_{Ed,1} = 108,44 \text{ kNm/m'}$$

$$l_2 = 0,75 \text{ m}$$

$$M_{Ed,2} = 36,93 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed,3} = 25,90 \text{ kNm/m'}$$

Dimenzioniranje:

a)  $M_{Ed,1} = 108,44 \text{ kNm/m'}$

$$d = h - c - \frac{\phi}{2} = 22,0 - 3,0 - \frac{1,0}{2} = 18,5 \text{ cm}$$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{108,44 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,158$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,161 \rightarrow \xi = 0,219 \quad \zeta = 0,909$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,1}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{108,44 \cdot 100}{0,909 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 14,83 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

b)  $M_{Ed,2} = 36,93 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,2}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{36,93 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,054$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,054 \rightarrow \xi = 0,069 \quad \zeta = 0,971$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,2}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{36,93 \cdot 100}{0,971 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 4,73 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

c)  $M_{Ed,3} = 25,90 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{25,90 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,038$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,039 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,1}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{25,90 \cdot 100}{0,979 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 3,29 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Posebni zahtjevi prema EC2:

U traci iznad stupa potrebno je postaviti 50% armature na širini 0,125l sa svake strane stupa.

Ukupna potrebna površina:

$$\sum A_s = A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}$$

$$\sum A_s = 14,83 \cdot 1,50 + 4,73 \cdot 1,50 + 3,29 \cdot 3,0 = 39,21 \text{ cm}^2$$

Potrebna armatura:

$$\frac{0,50 \cdot \sum A_s}{1,50 \text{ m}} = \frac{0,50 \cdot 39,21}{1,50 \text{ m}} = 13,07 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 12mm/14 cm (8,08 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,y} = 13,11 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

U traci izvan stupa, izvan područja na duljini 1,5m.

Potrebna površina preostale armature:

$$A_{s1} + A_{s2} - 13,07 \text{ cm}^2/\text{m}' = 14,83 + 4,73 - 13,07 = 6,49 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

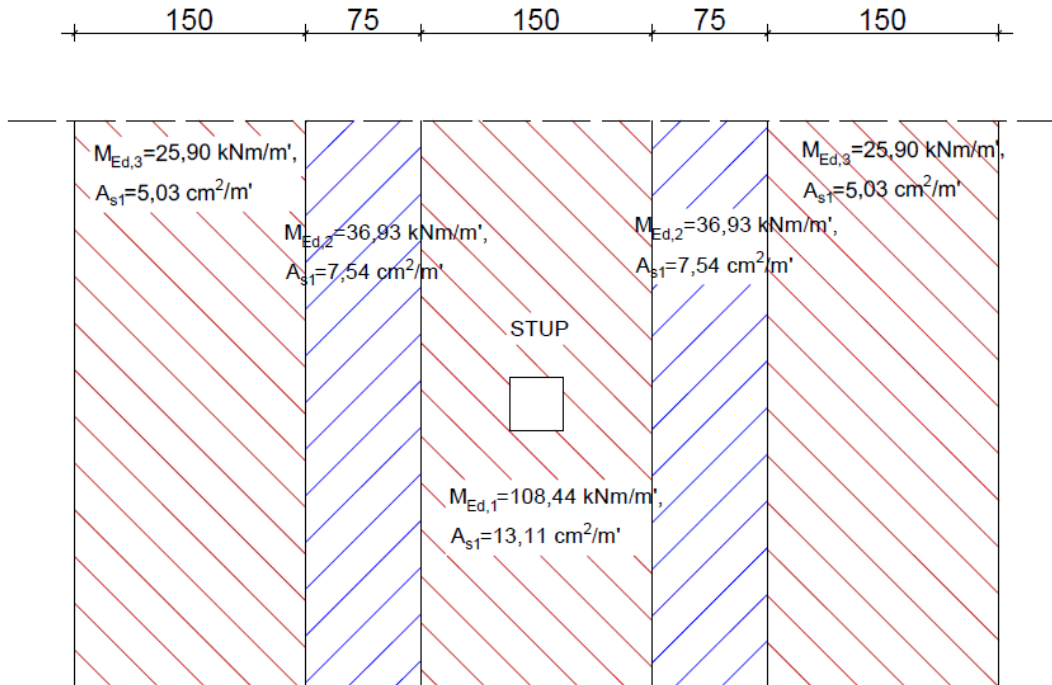
Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 8mm/20 cm (2,51 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,y} = 7,54 \text{ cm}^2/\text{m}'$$



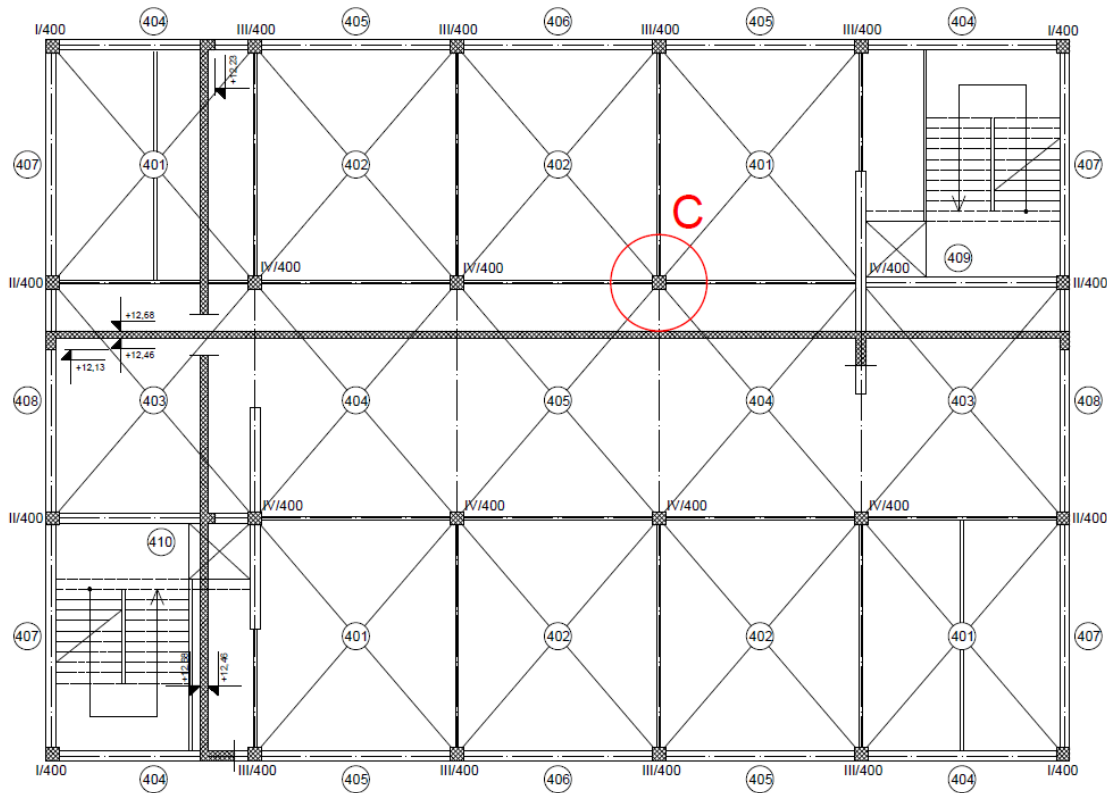
Srednja traka, preostalih 3,0m.

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m')



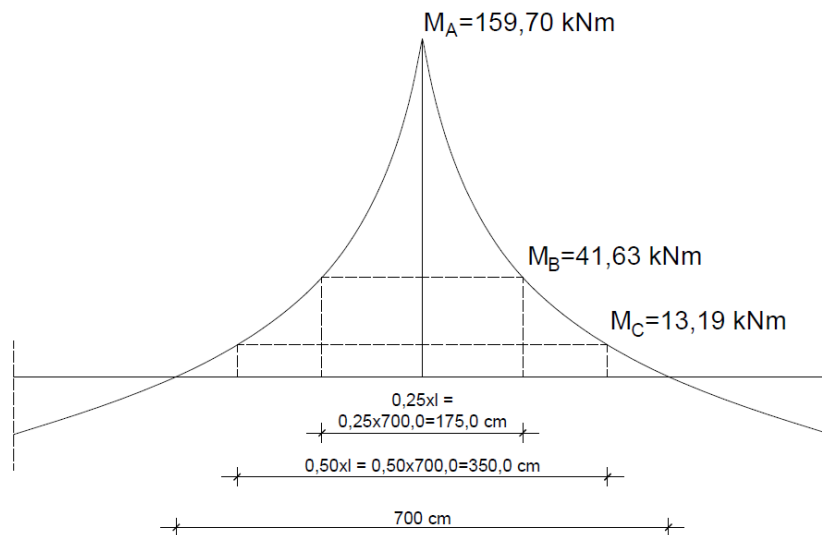
Slika 31. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru y

**Pozicija „C“**



Slika 32. Prikaz položaja oslonca za koji se provodi proračun POZ C

- proračun armature u smjeru x



Slika 33. Vrijednosti momenta savijanja  $M_x$  na karakterističnim udaljenostima od osi stupa

Vrijednosti momenata savijanja na koje će biti dimenzionirana ploča iznad stupa:

$$M_1 = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{159,70 + 41,63}{2} = 100,67 \text{ kNm/m'}$$

$$M_2 = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{41,63 + 13,19}{2} = 27,41 \text{ kNm/m'}$$

$$M_3 = M_C = 13,19 \text{ kNm/m'}$$

Vrijednosti momenta na definiranim udaljenostima:

$$l_1 = 1,75 \text{ m}$$

$$M_{Ed,1} = 100,67 \text{ kNm/m'}$$

$$l_2 = 0,875 \text{ m}$$

$$M_{Ed,2} = 27,41 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed,3} = 13,19 \text{ kNm/m'}$$

Dimenzioniranje:

a)  $M_{Ed,1} = 100,67 \text{ kNm/m'}$

$$d = h - c - \frac{\emptyset}{2} = 22,0 - 2,0 - \frac{1,0}{2} = 19,5 \text{ cm}$$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{100,67 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,132$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,134 \rightarrow \xi = 0,179 \quad \zeta = 0,925$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,1}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{100,67 \cdot 100}{0,925 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 12,84 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

b)  $M_{Ed,2} = 27,41 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,2}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{27,41 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,036$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,039 \rightarrow \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,2}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{27,41 \cdot 100}{0,979 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 3,30 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

c)  $M_{Ed,3} = 13,19 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,x} = \frac{M_{Ed,3}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{13,19 \cdot 100}{100 \cdot 19,5^2 \cdot 2,0} = 0,017$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,x} = 0,020 \rightarrow \xi = 0,025 \quad \zeta = 0,990$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,x} = \frac{M_{Ed,3}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{13,19 \cdot 100}{0,990 \cdot 19,50 \cdot 43,48} = 1,57 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Posebni zahtjevi prema EC2:

U traci iznad stupa potrebno je postaviti 50% armature na širini 0,125l sa svake strane stupa.

Ukupna potrebna površina:

$$\sum A_s = A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}$$

$$\sum A_s = 12,84 \cdot 1,75 + 3,30 \cdot 1,75 + 1,57 \cdot 3,50 = 33,74 \text{ cm}^2$$

Potrebna armatura:

$$\frac{0,50 \cdot \sum A_s}{1,75 \text{ m}} = \frac{0,50 \cdot 33,74}{1,75 \text{ m}} = 9,64 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 10mm/16 cm (4,91 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,x} = 9,94 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

U traci izvan stupa, izvan područja na duljini 1,75m.

Potrebna površina preostale armature:

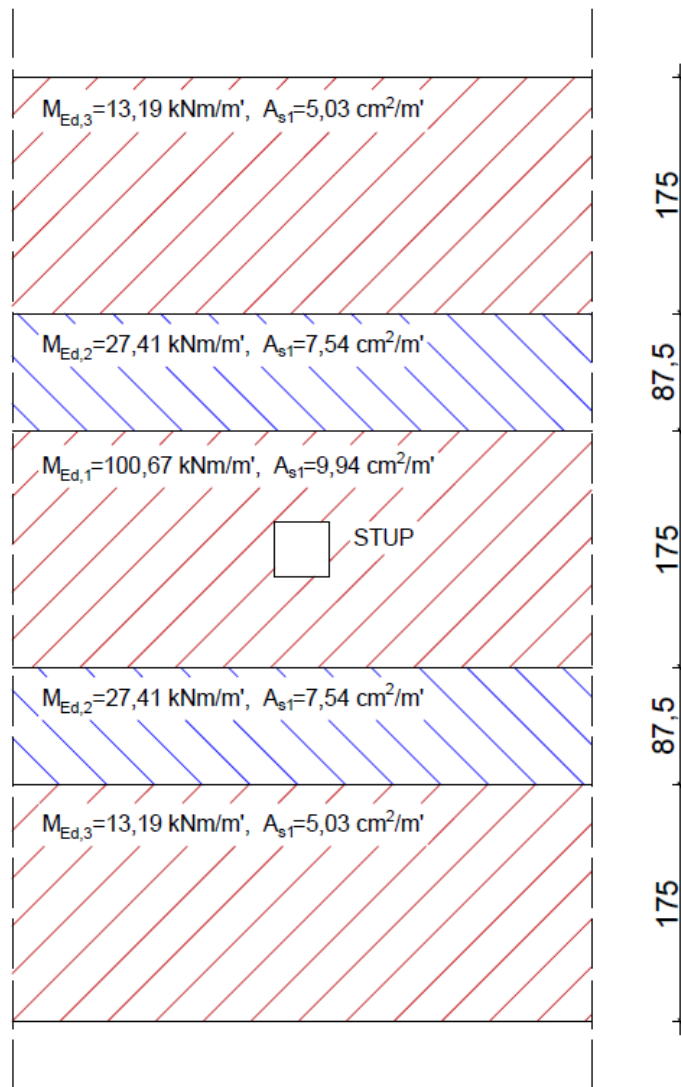
$$A_{s1} + A_{s2} - 9,64 \text{ cm}^2/\text{m}' = 12,84 + 3,30 - 9,64 = 6,50 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 8mm/20 cm (2,51 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,x} = 7,54 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

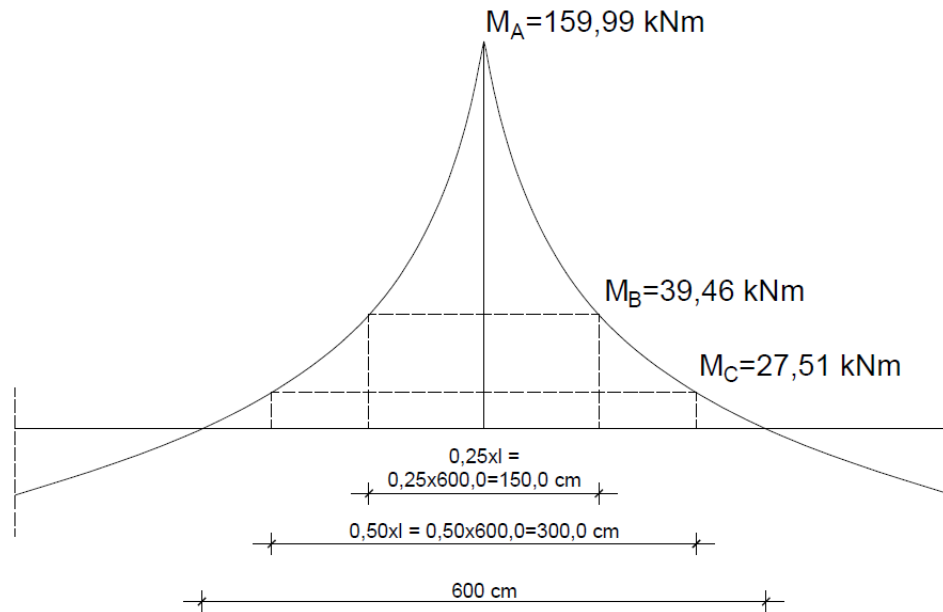
Srednja traka, preostalih 3,50m.

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m')



Slika 34. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru x

## - proračun armature u smjeru y


 Slika 35. Vrijednosti momenta savijanja  $M_y$  na karakterističnim udaljenostima od osi stupa

Vrijednosti momenata savijanja na koje će biti dimenzionirana ploča iznad stupa:

$$M_1 = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{159,99 + 39,46}{2} = 99,73 \text{ kNm/m'}$$

$$M_2 = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{39,46 + 27,51}{2} = 33,49 \text{ kNm/m'}$$

$$M_3 = M_C = 27,51 \text{ kNm/m'}$$

Vrijednosti momenta na definiranim udaljenostima:

$$l_1 = 1,50 \text{ m}$$

$$M_{Ed,1} = 99,73 \text{ kNm/m'}$$

$$l_2 = 0,75 \text{ m}$$

$$M_{Ed,2} = 33,49 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed,3} = 27,51 \text{ kNm/m'}$$

Dimenzioniranje:

a)  $M_{Ed,1} = 99,73 \text{ kNm/m'}$

$$d = h - c - \frac{\phi}{2} = 22,0 - 3,0 - \frac{1,0}{2} = 18,5 \text{ cm}$$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{99,73 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,146$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,148 \rightarrow \xi = 0,200 \quad \zeta = 0,917$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,1}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{99,73 \cdot 100}{0,917 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 13,52 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

b)  $M_{Ed,2} = 33,49 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,2}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{33,49 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,049$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,049 \rightarrow \xi = 0,063 \quad \zeta = 0,974$

Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,2}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{33,49 \cdot 100}{0,974 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 4,27 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

c)  $M_{Ed,3} = 27,51 \text{ kNm/m'}$

$$\mu_{Ed,y} = \frac{M_{Ed,1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{27,51 \cdot 100}{100 \cdot 18,5^2 \cdot 2,0} = 0,040$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed,y} = 0,042 \rightarrow \xi = 0,053 \quad \zeta = 0,978$



Potrebna armatura:

$$A_{s1,y} = \frac{M_{Ed,1}}{\zeta \cdot d^2 \cdot f_{yd}} = \frac{27,51 \cdot 100}{0,978 \cdot 18,50 \cdot 43,48} = 3,50 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Posebni zahtjevi prema EC2:

U traci iznad stupa potrebno je postaviti 50% armature na širini 0,125l sa svake strane stupa.

Ukupna potrebna površina:

$$\sum A_s = A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}$$

$$\sum A_s = 13,52 \cdot 1,50 + 4,27 \cdot 1,50 + 3,50 \cdot 3,0 = 37,19 \text{ cm}^2$$

Potrebna armatura:

$$\frac{0,50 \cdot \sum A_s}{1,50 \text{ m}} = \frac{0,50 \cdot 37,19}{1,50 \text{ m}} = 12,40 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 12mm/15 cm (7,54 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,y} = 12,57 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

U traci izvan stupa, izvan područja na duljini 1,5m.

Potrebna površina preostale armature:

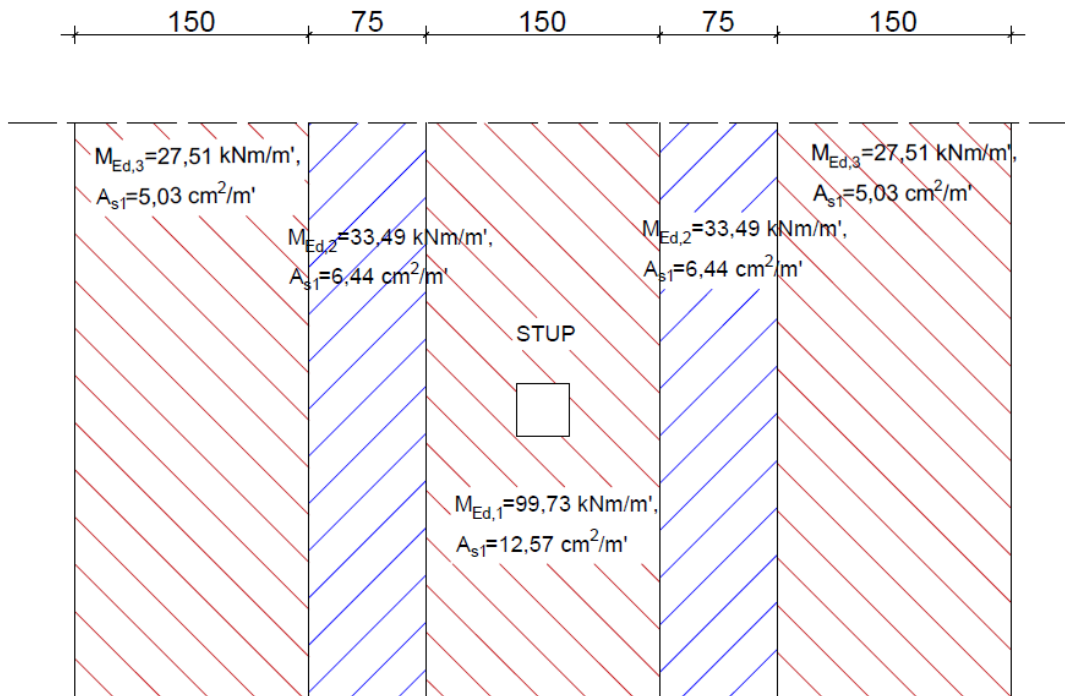
$$A_{s1} + A_{s2} - 12,40 \text{ cm}^2/\text{m}' = 13,52 + 4,27 - 12,40 = 5,39 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m') + dodatna armatura  $\phi$ 6mm/20 cm (1,41 cm<sup>2</sup>/m')

$$A_{s1,y} = 6,44 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Srednja traka, preostalih 3,0m.

Odabire se Q-503 (5,03 cm<sup>2</sup>/m')



Slika 36. Skica zamjenjujućih trakova sa prikazom raspodjele momenta savijanja i proračunanom armaturom u smjeru y

### 7.3. Kontrola nosivosti ploče na proboj

Kod izravnog oslanjanja ploče na stup svakako je potrebno provjeriti nosivost ploče na proboj. Kako se u samome stupu pojavljuju velike osne sile postoji opasnost od formiranja kosog stošca u ploči zbog naglog uvođenja koncentriranih sila u ploču te u tom slučaju može doći do proboja. U svrhu spriječavanja takvog efekta potrebno je provjeriti nosivost ploče na proboj te ukoliko je potrebno ugraditi dodatnu armaturu u predjelu stupa protiv proboja. Kontrola nosivosti na proboj provodi se u stropnoj ploči podruma na najveću uzdužnu silu u stupu. Također u nastavku je provjereno je li ploča dimenzionirana na najmanje momente savijanja po jedinici širine. Ove uvjete (38) i (39) dobro je provjeriti kako bi se osiguralo aktiviranje prostornog mehanizma nosivosti u probnoj zoni ploče.

Provjera nosivosti ploče na proboj provedena je za tri stupa odnosno za stupove na pozicijama A, B i C kako je prikazano ranije na slikama 22., 27. i 32.

#### Pozicija „A“

Vrijednost proračunske reakcije na mjestu oslonca  $V_{Ed}$  dobivena je kao razlika sile na vrhu stupa u podrumskoj etaži i sile na dnu stupa u prizemnoj etaži.

$$m_{Ed,x} = \eta_x \cdot V_{Ed} \quad (38)$$

$$m_{Ed,y} = \eta_y \cdot V_{Ed} \quad (39)$$

$$V_{Ed} = 2849,74 - 2383,24 = 466,50 \text{ kN}$$

$$m_{Ed,x} = -0,125 \cdot 466,50 < \frac{1,75 \cdot 88,73 + 0,35 \cdot 23,69}{2,10}$$

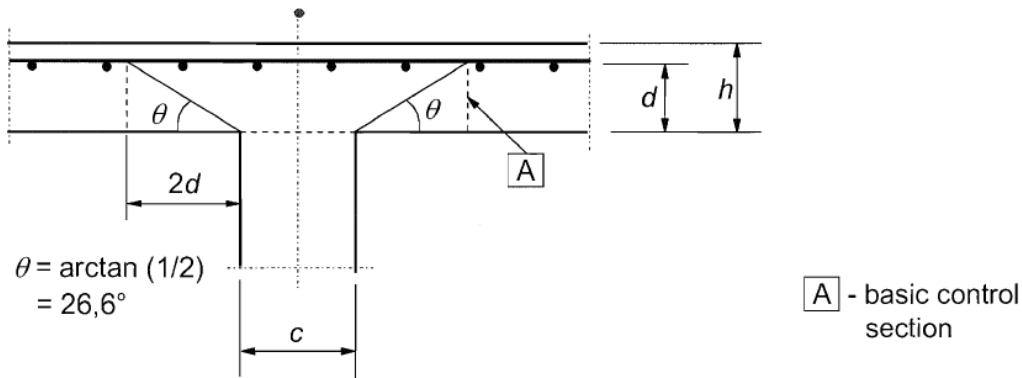
$$\rightarrow -58,31 \text{ kNm/m}' < 77,89 \text{ kNm/m}'$$

$$m_{Ed,y} = -0,125 \cdot 466,50 < \frac{1,50 \cdot 70,11 + 0,3 \cdot 23,62}{1,80}$$

$$\rightarrow -58,31 \text{ kNm/m}' < 62,36 \text{ kNm/m}'$$

Uvjeti su zadovoljeni!

Kontrola nosivosti ploče na proboj provodi se na temelju sljedećeg modela spoja stupa i ravne ploče:



Slika 37. Model spoja stupa i ploče sa naznačenim kontrolnim opsegom

a) Provjera posmične nosivosti na licu stupa opterećene površine

Dimenzije stupa:  $b/h \rightarrow 50/50$  cm

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} \quad (40)$$

gdje je:

$v_{Ed}$  – proračunsko posmično naprezanje na promatranom kontrolnom opsegu

$v_{Rd,max}$  – maksimalna proračunska posmična nosivost na proboj ploče na promatranom kontrolnom opsegu

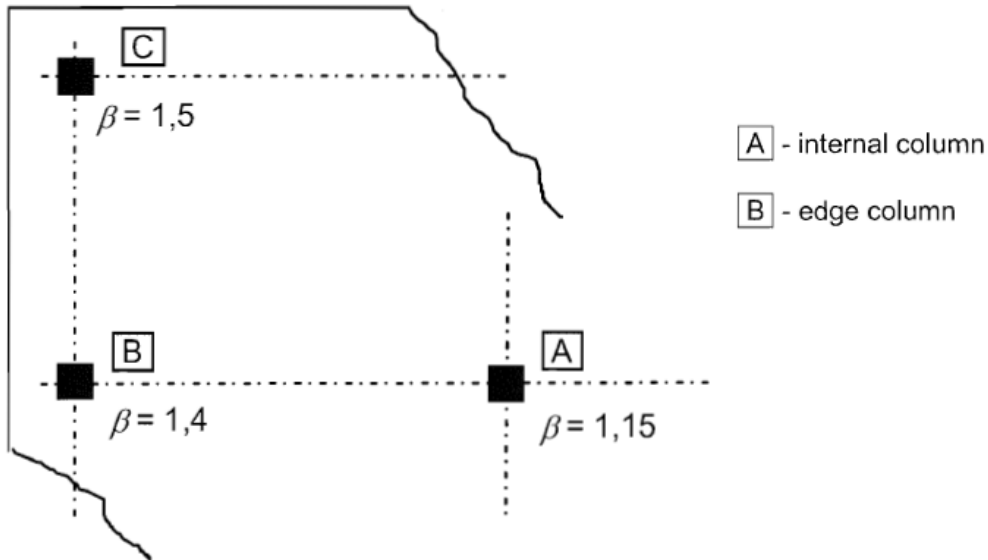
$$v_{Ed} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d} \quad (41)$$

gdje je:

$u_0$  – opseg promatranog stupa

$\beta_1$  – koeficijent kojim se uzima u obzir položaj stupa u konstrukciji

$d$  – statička visina ploče



Slika 38. Zavisnost koeficijenta  $\beta$  o položaju stupa u konstrukciji

$$u_0 = 2 \cdot b + 2 \cdot h = 2 \cdot 50,0 + 2 \cdot 50,0 = 200,0 \text{ cm}$$

$$\beta_1 = 1,15$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{19,50 + 18,50}{2} = 19,0 \text{ cm}$$

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{466,50}{200 \cdot 19} = 0,141 \text{ kN/cm}^2 = 1,41 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 0,40 \cdot v \cdot f_{cd} \quad (42)$$

$$v = 0,60 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,60 \cdot \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$v_{Rd,max} = 0,40 \cdot 0,528 \cdot 2,0 = 0,42 \text{ kN/cm}^2 = 4,20 \text{ MPa}$$

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

$$1,41 \text{ MPa} < 4,20 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

b) Provjera posmične nosivosti na kontrolnom opsegu  $u_1$

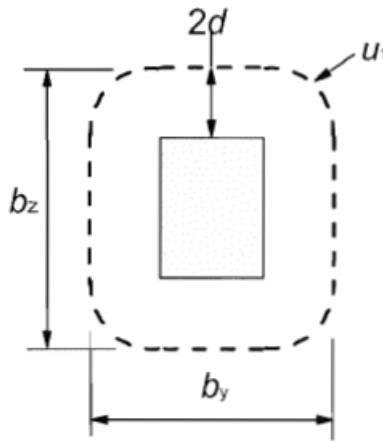
$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c} \quad (43)$$

gdje je:

$v_{Rd,c}$  – proračunska posmična nosivost ploče bez poprečne armature

$$v_{Ed} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d} \quad (44)$$

$u_1$  – osnovni kontrolni opseg promatranog stupa na udaljenosti  $2 \cdot d_h$  od površine stupa



Slika 39. Kontrolni opseg  $u_1$

$$u_1 = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot (2 \cdot d) \cdot \pi = 2 \cdot 50,0 + 2 \cdot 50,0 + 2 \cdot (2 \cdot 19,0) \cdot \pi = 438,76 \text{ cm}$$

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{466,50}{438,76 \cdot 19} = 0,0644 \text{ kN/cm}^2 = 0,644 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{2}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \\ &\geq v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \end{aligned} \quad (45)$$

$$c_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \quad (46)$$

$$c_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,50} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad (47)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{190}} = 2,03 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0,02 \quad (48)$$

$\rho_l$  – koeficijent armiranja koji se određuje kao srednja vrijednost armature u x i y smjeru na duljini koja je jednaka širini stupa zbrojeno sa  $3 \cdot d$  sa svake strane stupa

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sl,x}}{b_{w,x} \cdot d_x} \quad (49)$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sl,y}}{b_{w,y} \cdot d_y} \quad (50)$$

$$b_{w,x} = b_{w,y} = 50,0 + 2 \cdot 3 \cdot d = 50,0 + 2 \cdot 3 \cdot 19,0 = 164,0 \text{ cm}$$

$$\rho_{lx} = \frac{8,96 \cdot 1,64}{164,0 \cdot 19,50} = 0,00459$$

$$\rho_{ly} = \frac{8,08 \cdot 1,50 + 0,14 \cdot 7,54}{164,0 \cdot 18,50} = 0,00437$$

$$\rho_l = \sqrt{0,00459 \cdot 0,00437} = 0,00448 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$\sigma_{cp} = 0,0$  – neprednapeti beton

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \quad (51)$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,542$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00448 \cdot 30)^{\frac{1}{2}} + 0,15 \cdot 0,0 \geq 0,542 + 0,15 \cdot 0,0$$

$$v_{Rd,c} = 0,880 \text{ MPa} > 0,542 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,880 \text{ MPa}$$

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

$$0,880 \text{ MPa} < 1,16 \text{ MPa}$$

Nije potrebna armatura protiv proboja!



**Pozicija „B“**

$$m_{Ed,x} = \eta_x \cdot V_{Ed}$$

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

$$V_{Ed} = 3592,64 - 2994,58 = 598,06 \text{ kN}$$

$$m_{Ed,x} = -0,125 \cdot 598,06 < \frac{1,75 \cdot 94,01 + 0,35 \cdot 23,53}{2,10}$$

$$\rightarrow -74,76 \text{ kNm/m}' < 82,26 \text{ kNm/m}'$$

$$m_{Ed,y} = -0,125 \cdot 598,06 < \frac{1,50 \cdot 108,44 + 0,30 \cdot 36,93}{1,80} \rightarrow -74,76 \text{ kN} < 96,52 \text{ Kn}$$

$$\rightarrow -74,76 \text{ kNm/m}' < 96,52 \text{ kNm/m}'$$

Uvjeti su zadovoljeni!

a) Provjera posmične nosivosti na licu stupa opterećene površine

Dimenzije stupa: b/h → 50/50 cm

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

$$v_{Ed} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d}$$

$$u_0 = 2 \cdot 50,0 + 2 \cdot 50,0 = 200,0 \text{ cm}$$

$$\beta_1 = 1,15$$

$$d = \frac{19,50 + 18,50}{2} = 19,0 \text{ cm}$$

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{598,06}{200 \cdot 19} = 0,181 \text{ kN/cm}^2 = 1,81 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 0,40 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,60 \cdot \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$v_{Rd,max} = 0,40 \cdot 0,528 \cdot 2,0 = 0,42 \text{ kN/cm}^2 = 4,20 \text{ MPa}$$

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

$$1,81 \text{ MPa} \leq 4,20 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

b) Provjera posmične nosivosti na kontrolnom opsegu  $u_1$

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

$$v_{Ed} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d}$$

$u_1$  – osnovni kontrolni opseg promatranog stupa na udaljenosti  $2 \cdot d_h$  od površine stupa

$$u_1 = 2 \cdot 50,0 + 2 \cdot 50,0 + 2 \cdot (2 \cdot 19,0) \cdot \pi = 438,76 \text{ cm}$$

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{598,06}{438,76 \cdot 19} = 0,0825 \text{ kN/cm}^2 = 0,825 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{2}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$c_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,50} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{190}} = 2,03 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0,02$$

$\rho_l$  – koeficijent armiranja koji se određuje kao srednja vrijednost armature u x i y smjeru na duljini koja je jednaka širini stupa zbrojeno sa  $3 \cdot d$  sa svake strane stupa

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sl,x}}{b_{w,x} \cdot d_x}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sl,y}}{b_{w,y} \cdot d_y}$$

$$b_{w,x} = b_{w,y} = 50,0 + 2 \cdot 3 \cdot d = 50,0 + 2 \cdot 3 \cdot 19,0 = 164,0 \text{ cm}$$

$$\rho_{lx} = \frac{9,94 \cdot 1,64}{164,0 \cdot 19,50} = 0,0051$$

$$\rho_{ly} = \frac{13,11 \cdot 1,50 + 7,54 \cdot 0,14}{164,0 \cdot 18,50} = 0,00683$$

$$\rho_l = \sqrt{0,0051 \cdot 0,00683} = 0,0059 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0,0 - \text{neprednapeti beton}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,542$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,0059 \cdot 30)^{\frac{1}{2}} + 0,15 \cdot 0,0 \geq 0,542 + 0,15 \cdot 0,0$$

$$v_{Rd,c} = 1,01 \text{ MPa} > 0,542 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 1,01 \text{ MPa}$$

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

$$0,825 \text{ MPa} < 1,01 \text{ MPa}$$

Nije potrebna armatura protiv proboja!

**Pozicija „C“**

$$m_{Ed,x} = \eta_x \cdot V_{Ed}$$

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

$$V_{Ed} = 3339,26 - 2764,56 = 573,70 \text{ kN}$$

$$m_{Ed,x} = -0,125 \cdot 573,70 < \frac{1,75 \cdot 100,67 + 27,41 \cdot 0,35}{2,10} \rightarrow -71,71 \text{ kN} < 88,46 \text{ kN}$$

$$\rightarrow -71,71 \text{ kNm/m}' < 88,46 \text{ kNm/m}'$$

$$m_{Ed,y} = -0,125 \cdot 573,70 < \frac{1,50 \cdot 99,73 + 33,49 \cdot 0,30}{1,80} \rightarrow -71,71 \text{ kN} < 88,69 \text{ kN}$$

$$\rightarrow -71,71 \text{ kNm/m}' < 88,59 \text{ kNm/m}'$$

Uvjeti su zadovoljeni!

a) Provjera posmične nosivosti na licu stupa opterećene površine

Dimenzije stupa:  $b/h \rightarrow 50/50 \text{ cm}$

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

$$v_{Ed} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d}$$

$$u_0 = 2 \cdot b + 2 \cdot h = 2 \cdot 50,0 + 2 \cdot 50,0 = 200,0 \text{ cm}$$

$$\beta_1 = 1,15$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{19,50 + 18,50}{2} = 19,0 \text{ cm}$$

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{573,70}{200 \cdot 19} = 0,174 \text{ kN/cm}^2 = 1,74 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 0,40 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,60 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,60 \cdot \left[1 - \frac{30}{250}\right] = 0,528$$

$$v_{Rd,max} = 0,40 \cdot 0,528 \cdot 2,0 = 0,42 \text{ kN/cm}^2 = 4,20 \text{ MPa}$$

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

$$1,74 \text{ MPa} \leq 4,20 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

b) Provjera posmične nosivosti na kontrolnom opsegu  $u_1$

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

$$v_{Ed} = \beta_1 \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d}$$

$u_1$  – osnovni kontrolni opseg promatranog stupa na udaljenosti  $2 \cdot d_h$  od površine stupa

$$u_1 = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot (2 \cdot d) \cdot \pi = 2 \cdot 50,0 + 2 \cdot 50,0 + 2 \cdot (2 \cdot 19,0) \cdot \pi = 438,76 \text{ cm}$$

$$v_{Ed} = 1,15 \cdot \frac{573,70}{438,76 \cdot 19} = 0,0791 \text{ kN/cm}^2 = 0,791 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{2}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$c_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,50} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{190}} = 2,03 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0,02$$

$\rho_l$  – koeficijent armiranja koji se određuje kao srednja vrijednost armature u x i y smjeru na duljini koja je jednaka širini stupa zbrojeno sa  $3 \cdot d$  sa svake strane stupa

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sl,x}}{b_{w,x} \cdot d_x}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sl,y}}{b_{w,y} \cdot d_y}$$

$$b_{w,x} = b_{w,y} = 50,0 + 2 \cdot 3 \cdot d = 50,0 + 2 \cdot 3 \cdot 19,0 = 164,0 \text{ cm}$$

$$\rho_{lx} = \frac{9,94 \cdot 1,64}{164,0 \cdot 19,50} = 0,0051$$

$$\rho_{ly} = \frac{12,57 \cdot 1,50 + 6,44 \cdot 0,14}{164,0 \cdot 18,50} = 0,00651$$

$$\rho_l = \sqrt{0,0051 \cdot 0,00651} = 0,00576 < 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0,0 - \text{neprednapeti beton}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2,0^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,542$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00576 \cdot 30)^{\frac{1}{2}} + 0,15 \cdot 0,0 \geq 0,542 + 0,15 \cdot 0,0$$

$$v_{Rd,c} = 0,99 \text{ MPa} > 0,542 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,99 \text{ MPa}$$

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

$$0,791 \text{ MPa} < 0,99 \text{ MPa}$$

Nije potrebna armatura protiv proboja!

### 7.3.1. Proračun armature protiv progresivnog sloma (APPS)

Kako bi spriječili pojavu progresivnog sloma probojem ploče kroz stup potrebno je u donjoj zoni ploče ugraditi armaturu protiv progresivnog sloma. Ugradnjom takve dodatne armature u slučaju proboja spriječit će se pojava progresivnog sloma usred kojeg može doći do dodatnog urušavanja konstrukcije. Armatura se postavlja iznad srednjih stupova u dva okomita smjera dok se kod rubnih stupova postavlja paralelno sa vanjskim rubom. Prema HRN EN 1992-1-1 potrebno je postaviti barem po dvije šipke u donjoj zoni u području stupa. Izrazi u nastavku primjenjeni za proračun armature protiv progresivnog sloma dani su u normi DIN EN 1992-1-1/NA.

$$A_{s,req} = \frac{V_{Ek}}{f_{yk}} \quad (52)$$

$$V_{Ek} = \frac{V_{Ed}}{\gamma_f} \quad (53)$$

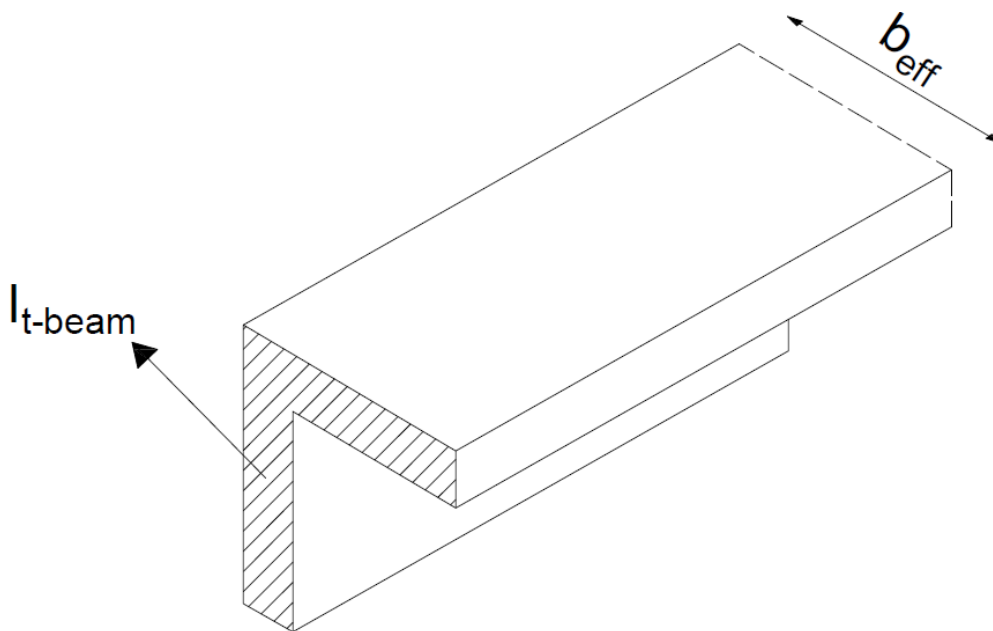
$$V_{Ek} = \frac{598,06}{1,40} = 427,19 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{427,19}{50,0} = 8,54 \text{ cm}^2$$

Odabire se: 2 x 4 $\phi$ 12mm (4,52 cm<sup>2</sup> · 2 = 9,04 cm<sup>2</sup>)

#### 7.4. Dimenzioniranje karakterističnih greda na savijanje

Dimenzioniranje greda na savijanje provodi se prema vrijednostima dobivenim u programskom modelu gdje se za karakteristične presjeke očita vrijednost momenta savijanja i prema ranije definiranim izrazima proračuna potrebna armatura u gredama. U ovom proračunskom primjeru grede su raspoređene duž obodnog/vanjskog ruba građevine te su dimenzionirane kao grede T-presjeka. Kod modeliranja konstrukcije grede su definirane kao grede T-presjeka stoga se pojas grede „preklapa“ sa pločom koja se oslanja na gredu. Iz tog razloga bilo je potrebno proračunati ekvivalentni moment tromosti grede na način da se od momenta tromosti grede T-presjeka oduzme moment tromosi dijela ploče koji se „preklapa“ sa pojasom grede. Tek nakon što je to učinjeno može se definirati proračunska vrijednost momenta savijanja. Proračunski moment savijanja dobiva se na način da se zbroji moment savijanja koji se javlja u gredi i moment savijanja u ploči. Moment savijanja u ploči jednak je umnošku momenta u ploči neposredno iznad karakterističnog presjeka grede za koji provodimo proračun i efektivne širine.



Slika 40. Shematski prikaz T-grede i ploče efektivne širine



$$I_{equivalent\ beam} = I_{t-beam} - I_{slab}$$

$$I_{slab} = \frac{b_{eff} \cdot h^3}{12}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,t-beam} + M_{slab}$$

$$M_{slab} = m_{xx} \cdot b_{eff}$$

gdje je:

$I_{equivalent\ beam}$  – ekvivalentni moment tromosti grede T-presjeka

$I_{t-beam}$  – moment tromosti grede T-presjeka

$I_{slab}$  – moment tromosti ploče

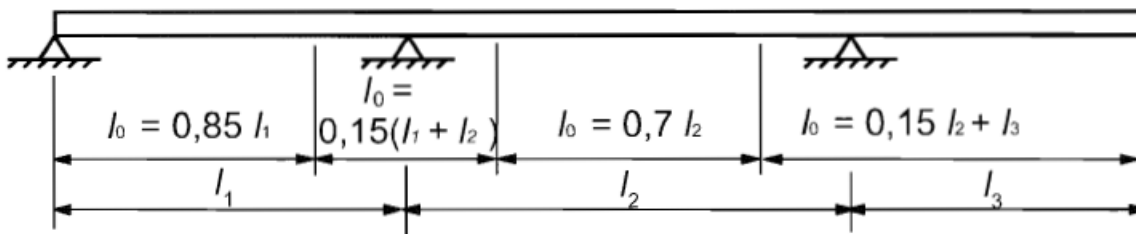
$b_{eff}$  – efektivna širina

$M_{Ed,t-beam}$  – moment savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka (iz programa StaadPro)

$M_{slab}$  – moment savijanja u ploči

$m_{xx}$  – moment savijanja u čvoru ploče (iz programa StaadPro)

Određivanje sudjelujuće širine T presjeka:



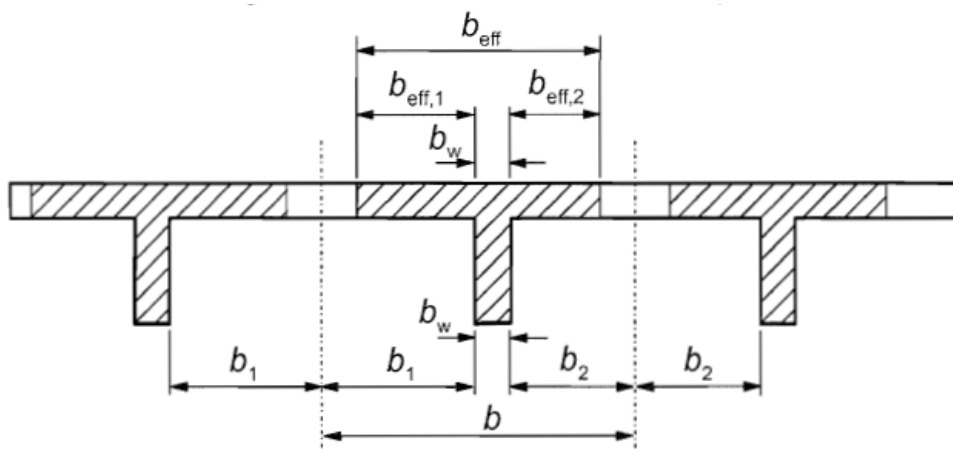
Slika 41. Vrijednost  $l_0$  ovisno o nul-točkama momentnog dijagrama

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

gdje je:

$b_{eff,i}$  – efektivna širina pojasa

$b_w$  – širina hrpta grede



Slika 42. Parametri za izračun efektivne širine

$$b_{eff,i} = 0,20 \cdot b_i + 0,10 \cdot l_0 \leq 0,20 \cdot l_0$$

$$b_{eff,i} \leq b_i$$

**Za grede u x smjeru:**

$$l_0 = 0,70 \cdot l = 0,70 \cdot 5,60 = 3,92 \text{ m}$$

$$b_1 = \frac{660}{2} = 330,0 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = 0,20 \cdot 3,30 + 0,10 \cdot 3,92 = 1,08 \text{ m} > 0,20 \cdot 3,92 = 0,78 \text{ m}$$

$$b_{eff,i} = 0,78 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 0,78 + 0,30 = 1,08 \text{ m}$$

**Za grede u y smjeru:**

$$l_0 = 0,70 \cdot l = 0,70 \cdot 6,60 = 4,62 \text{ m}$$

$$b_1 = \frac{580}{2} = 290,0 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = 0,20 \cdot 2,90 + 0,10 \cdot 4,62 = 1,04 \text{ m} > 0,20 \cdot 4,62 = 0,92 \text{ m}$$

$$b_{eff,i} = 0,92 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 0,92 + 0,30 = 1,22 \text{ m}$$

### 7.4.1. Proračun grede POZ 504-505-505-504

#### - polje POZ 505

Za proračun je mjerodavna trajna proračunska situacija. Proračunski moment savijanja dobiven je kao zbroj momenta savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka i momenta savijanja u ploči.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 52,69 + (7,50 \cdot 1,08) = 60,79 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{60,79 \cdot 100}{108 \cdot 40,50^2 \cdot 2,0} = 0,017$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,020 \rightarrow \xi = 0,025 \quad \zeta = 0,990$

Pretpostavka je da neutralna os prolazi kroz ploču stoga treba zadovoljiti uvjet da je  $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,025 \cdot 40,50 = 1,01 \text{ cm}$$

$$1,01 \text{ cm} \leq 22,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču stoga možemo računati sa pravokutnim presjekom dimenzija  $b_{eff} \times h$ .

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{60,79 \cdot 100}{0,990 \cdot 40,50 \cdot 43,48} = 3,49 \text{ cm}^2$$

Odabire se 4 $\phi$ 12 mm (4,52 cm<sup>2</sup>)

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d \leq 0,0013 \cdot b_w \cdot d$$

$$0,26 \cdot \frac{2,90}{500} \cdot 30,0 \cdot 40,50 \leq 0,0013 \cdot 30,0 \cdot 40,50$$

$$A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2 > 1,58 \text{ cm}^2 \quad \rightarrow \quad A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 4,52 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

### **- polje POZ 504**

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 62,61 + (10,86 \cdot 1,08) = 74,34 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{74,34 \cdot 100}{108 \cdot 40,50^2 \cdot 2,0} = 0,021$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,030 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,037 \quad \zeta = 0,985$

Pretpostavka je da neutralna os prolazi kroz ploču stoga treba zadovoljiti uvjet da je  $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,037 \cdot 40,50 = 1,50 \text{ cm}$$

$$1,50 \text{ cm} \leq 22,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču stoga možemo računati sa pravokutnim presjekom dimenzija  $b_{eff} \times h$ .

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{74,34 \cdot 100}{0,985 \cdot 40,50 \cdot 43,48} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Odabire se  $4\phi 12 \text{ mm}$  ( $4,52 \text{ cm}^2$ )

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 4,52 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

**- vanjski ležajevi**

Za proračun je mjerodavna potresna proračunska situacija. Proračunski moment savijanja dobiven je kao zbroj momenta savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka i momenta savijanja u ploči.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 89,77 + (8,01 \cdot 1,08) = 98,42 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{98,42 \cdot 100}{30,0 \cdot 40,50^2 \cdot 2,0} = 0,100$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,101 \rightarrow \xi = 0,132 \quad \zeta = 0,945$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{98,42 \cdot 100}{0,945 \cdot 40,50 \cdot 43,48} = 5,91 \text{ cm}^2$$

Odabire se 4 $\phi$ 14 mm (6,16 cm<sup>2</sup>)

Najmanja potrebna armatura:

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,50 \cdot \frac{2,90}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,0029 \cdot 30,0 \cdot 40,50 = 3,52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 6,16 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 3,52 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

Za potresnu proračunsku situaciju kako bi se osiguralo duktilno ponašanje konstrukcije potrebno je 50% vlačne armature predvidjeti i u tlačnoj zoni.

Odabire se 3 $\phi$ 12 mm (3,39 cm<sup>2</sup>)

**- unutarnji ležajevi POZ 504-505 i 505-505**

Razlika momenata unutarnjih ležajeva za POZ 504-505 i POZ 505-505 je unutar 5% stoga je armatura proračunata sa jednom usvojenom vrijednosti momenta savijanja.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 102,71 + (17,29 \cdot 1,08) = 121,38 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{121,38 \cdot 100}{30,0 \cdot 40,50^2 \cdot 2,0} = 0,123$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,123 \rightarrow \xi = 0,163 \quad \zeta = 0,932$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{121,38 \cdot 100}{0,932 \cdot 40,50 \cdot 43,48} = 7,40 \text{ cm}^2$$

Odabire se 5 $\phi$ 14 mm (7,70 cm<sup>2</sup>)

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 3,52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 9,96 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 3,52 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

Za potresnu proračunsku situaciju kako bi se osiguralo duktilno ponašanje konstrukcije potrebno je 50% vlačne armature predvidjeti i u tlačnoj zoni.

Odabire se 4 $\phi$ 12 mm (4,52 cm<sup>2</sup>)

### 7.4.2. Proračun grede POZ 507-508-507

#### - polje POZ 507

Za proračun je mjerodavna stalna proračunska situacija. Proračunski moment savijanja dobiven je kao zbroj momenta savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka i momenta savijanja u ploči.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 138,24 + (6,74 \cdot 1,22) = 146,46 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{146,46 \cdot 100}{122 \cdot 50,50^2 \cdot 2,0} = 0,024$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,030 \rightarrow \xi = 0,037 \quad \zeta = 0,985$

Pretpostavka je da neutralna os prolazi kroz ploču stoga treba zadovoljiti uvjet da je  $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,037 \cdot 50,50 = 1,87 \text{ cm}$$

$$1,87 \text{ cm} \leq 22,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču stoga možemo računati sa pravokutnim presjekom dimenzija  $b_{eff} \times h$ .

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{146,46 \cdot 100}{0,985 \cdot 50,50 \cdot 43,48} = 6,77 \text{ cm}^2$$

Odabire se 6 $\phi$ 12 mm (6,79 cm<sup>2</sup>)

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d \leq 0,0013 \cdot b_w \cdot d$$

$$0,26 \cdot \frac{2,90}{500} \cdot 30,0 \cdot 50,50 \leq 0,0013 \cdot 30,0 \cdot 50,50$$



$$A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2 > 1,97 \text{ cm}^2 \quad \rightarrow \quad A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 6,79 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

### **- polje POZ 508**

Za proračun je mjerodavna stalna proračunska situacija. Proračunski moment savijanja dobiven je kao zbroj momenta savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka i momenta savijanja u ploči.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 59,26 + (5,15 \cdot 1,22) = 65,54 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{65,54 \cdot 100}{122 \cdot 50,50^2 \cdot 2,0} = 0,011$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,020 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,025 \quad \zeta = 0,990$

Pretpostavka je da neutralna os prolazi kroz ploču stoga treba zadovoljiti uvjet da je  $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,025 \cdot 50,50 = 1,26 \text{ cm}$$

$$1,26 \text{ cm} \leq 22,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču stoga možemo računati sa pravokutnim presjekom dimenzija  $b_{eff} \times h$ .

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{65,54 \cdot 100}{0,990 \cdot 50,50 \cdot 43,48} = 3,02 \text{ cm}^2$$

Odabire se  $3\phi 12 \text{ mm}$  ( $3,39 \text{ cm}^2$ )

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 3,39 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

### - vanjski ležajevi

Za proračun je mjerodavna potresna proračunska situacija. Proračunski moment savijanja dobiven je kao zbroj momenta savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka i momenta savijanja u ploči.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 120,10 + (12,21 \cdot 1,22) = 135,00 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{135,00 \cdot 100}{30,0 \cdot 50,50^2 \cdot 2,0} = 0,088$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,092 \rightarrow \xi = 0,120 \quad \zeta = 0,950$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{135,00 \cdot 100}{0,950 \cdot 50,50 \cdot 43,48} = 6,47 \text{ cm}^2$$

Odabire se  $3\phi 14 \text{ mm} + 2\phi 12 \text{ mm}$  ( $4,62 + 2,26 = 6,88 \text{ cm}^2$ )

Najmanja potrebna armatura:

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,50 \cdot \frac{2,90}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,0029 \cdot 30,0 \cdot 50,50 = 4,39 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 6,88 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 4,39 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

Za potresnu proračunsku situaciju kako bi se osiguralo duktilno ponašanje konstrukcije potrebno je 50% vlačne armature predvidjeti i u tlačnoj zoni.

Odabire se 3φ12 mm (3,39 cm<sup>2</sup>)

### **- unutarnji ležaj POZ 507-508**

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 180,30 + (21,35 \cdot 1,22) = 206,35 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{206,35 \cdot 100}{30,0 \cdot 50,50^2 \cdot 2,0} = 0,135$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,138 \rightarrow \xi = 0,184 \quad \zeta = 0,923$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{206,35 \cdot 100}{0,923 \cdot 50,50 \cdot 43,48} = 9,93 \text{ cm}^2$$

Odabire se 5φ14 mm + 2φ12 mm (7,70 + 2,26 = 9,96 cm<sup>2</sup>)

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 4,39 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 9,96 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 4,39 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

Za potresnu proračunsku situaciju kako bi se osiguralo duktilno ponašanje konstrukcije potrebno je 50% vlačne armature predvidjeti i u tlačnoj zoni.

Odabire se 5φ12 mm (5,66 cm<sup>2</sup>)

### 7.4.3. Proračun grede POZ 404-405-405-404

#### - polje POZ 405

Za proračun je mjerodavna stalna proračunska situacija. Proračunski moment savijanja dobiven je kao zbroj momenta savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka i momenta savijanja u ploči.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 64,72 + (7,14 \cdot 1,08) = 72,43 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{72,43 \cdot 100}{108 \cdot 40,50^2 \cdot 2,0} = 0,020$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,020 \rightarrow \xi = 0,025 \quad \zeta = 0,990$

Pretpostavka je da neutralna os prolazi kroz ploču stoga treba zadovoljiti uvjet da je  $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,025 \cdot 40,50 = 1,01 \text{ cm}$$

$$1,01 \text{ cm} \leq 22,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču stoga možemo računati sa pravokutnim presjekom dimenzija  $b_{eff} \times h$ .

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{71,86 \cdot 100}{0,990 \cdot 40,50 \cdot 43,48} = 4,12 \text{ cm}^2$$

Odabire se 4 $\phi$ 12 mm (4,52 cm<sup>2</sup>)

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d \leq 0,0013 \cdot b_w \cdot d$$

$$0,26 \cdot \frac{2,90}{500} \cdot 30,0 \cdot 40,50 \leq 0,0013 \cdot 30,0 \cdot 40,50$$

$$A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2 > 1,58 \text{ cm}^2 \quad \rightarrow \quad A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 4,52 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

### **- polje POZ 404**

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 79,75 + (11,00 \cdot 1,08) = 91,63 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{91,63 \cdot 100}{108,0 \cdot 40,50^2 \cdot 2,0} = 0,026$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,030 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,037 \quad \zeta = 0,985$

Pretpostavka je da neutralna os prolazi kroz ploču stoga treba zadovoljiti uvjet da je  $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,037 \cdot 40,50 = 1,50 \text{ cm}$$

$$1,50 \text{ cm} \leq 22,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču stoga možemo računati sa pravokutnim presjekom dimenzija  $b_{eff} \times h$ .

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{91,63 \cdot 100}{0,985 \cdot 40,50 \cdot 43,48} = 5,28 \text{ cm}^2$$

Odabire se  $5\phi 12 \text{ mm}$  ( $5,66 \text{ cm}^2$ )

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 5,66 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 1,83 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

**- vanjski ležajevi**

Za proračun je mjerodavna potresna proračunska situacija. Proračunski moment savijanja dobiven je kao zbroj momenta savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka i momenta savijanja u ploči.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 144,59 + (15,91 \cdot 1,08) = 161,77 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{161,77 \cdot 100}{30,0 \cdot 40,50^2 \cdot 2,0} = 0,164$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,166 \rightarrow \xi = 0,226 \quad \zeta = 0,906$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{161,77 \cdot 100}{0,906 \cdot 40,50 \cdot 43,48} = 10,14 \text{ cm}^2$$

Odabire se 5 $\phi$ 14 mm + 3 $\phi$ 12 mm (7,70 + 3,39 = 11,09 cm<sup>2</sup>)

Najmanja potrebna armatura:

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,50 \cdot \frac{2,90}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,0029 \cdot 30,0 \cdot 40,50 = 3,52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 11,09 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 3,52 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

Za potresnu proračunsku situaciju kako bi se osiguralo duktilno ponašanje konstrukcije potrebno je 50% vlačne armature predvidjeti i u tlačnoj zoni.

Odabire se 4 $\phi$ 14 mm (6,16 cm<sup>2</sup>)

**- unutarnji ležajevi POZ 404-405 i 405-405**

Razlika momenata unutarnjih ležajeva za POZ 404-405 i POZ 405-405 je unutar 5% stoga je armatura proračunata sa jednom usvojenom vrijednosti momenta savijanja.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 182,53 + (21,60 \cdot 1,08) = 205,86 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{205,86 \cdot 100}{30,0 \cdot 40,50^2 \cdot 2,0} = 0,209$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,215 \rightarrow \xi = 0,304 \quad \zeta = 0,873$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{205,86 \cdot 100}{0,873 \cdot 40,50 \cdot 43,48} = 13,39 \text{ cm}^2$$

Odabire se 6 $\phi$ 14 mm + 4 $\phi$ 12 mm (9,24 + 4,52 = 13,76 cm<sup>2</sup>)

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s1} = 13,76 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 3,52 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

Za potresnu proračunsku situaciju kako bi se osiguralo duktilno ponašanje konstrukcije potrebno je 50% vlačne armature predvidjeti i u tlačnoj zoni.

Odabire se 6 $\phi$ 12 mm (6,79 cm<sup>2</sup>)

#### 7.4.4. Proračun grede POZ 407-408-407

##### - polje POZ 407

Za proračun je mjerodavna trajna proračunska situacija. Proračunski moment savijanja dobiven je kao zbroj momenta savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka i momenta savijanja u ploči.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 118,14 + (6,74 \cdot 1,22) = 126,36 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{126,36 \cdot 100}{122 \cdot 50,50^2 \cdot 2,0} = 0,020$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,020 \rightarrow \xi = 0,025 \quad \zeta = 0,990$

Pretpostavka je da neutralna os prolazi kroz ploču stoga treba zadovoljiti uvjet da je  $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,025 \cdot 50,50 = 1,26 \text{ cm}$$

$$1,26 \text{ cm} \leq 22,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču stoga možemo računati sa pravokutnim presjekom dimenzija  $b_{eff} \times h$ .

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{126,36 \cdot 100}{0,985 \cdot 50,50 \cdot 43,48} = 5,84 \text{ cm}^2$$

Odabire se  $3\phi 14 \text{ mm} + 2\phi 12 \text{ mm}$  ( $4,62 + 2,26 = 6,88 \text{ cm}^2$ )

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d \leq 0,0013 \cdot b_w \cdot d$$

$$0,26 \cdot \frac{2,90}{500} \cdot 30,0 \cdot 50,50 \leq 0,0013 \cdot 30,0 \cdot 50,50$$



$$A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2 > 1,97 \text{ cm}^2 \quad \rightarrow \quad A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 6,88 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura zadovoljava!

### **- polje POZ 408**

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 90,47 + (3,50 \cdot 1,22) = 94,74 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{94,74 \cdot 100}{122 \cdot 50,50^2 \cdot 2,0} = 0,015$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,020 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,025 \quad \zeta = 0,990$

Pretpostavka je da neutralna os prolazi kroz ploču stoga treba zadovoljiti uvjet da je  $x \leq h_f$

$$\xi = \frac{x}{d} \rightarrow x = \xi \cdot d = 0,025 \cdot 50,50 = 1,26 \text{ cm}$$

$$1,26 \text{ cm} \leq 22,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču stoga možemo računati sa pravokutnim presjekom dimenzija  $b_{eff} \times h$ .

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{94,74 \cdot 100}{0,990 \cdot 50,50 \cdot 43,48} = 4,36 \text{ cm}^2$$

Odabire se  $3\phi 14 \text{ mm}$  ( $4,62 \text{ cm}^2$ )

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 2,28 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

**- vanjski ležajevi**

Za proračun je mjerodavna potresna proračunska situacija. Proračunski moment savijanja dobiven je kao zbroj momenta savijanja u ekvivalentnoj gredi T-presjeka i momenta savijanja u ploči.

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 202,49 + (14,28 \cdot 1,22) = 219,91 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{219,91 \cdot 100}{30,0 \cdot 50,50^2 \cdot 2,0} = 0,144$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,145 \rightarrow \xi = 0,194 \quad \zeta = 0,919$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{219,91 \cdot 100}{0,919 \cdot 50,50 \cdot 43,48} = 10,90 \text{ cm}^2$$

Odabire se 5 $\phi$ 14 mm + 3 $\phi$ 12 mm (7,70 + 3,39 = 11,09 cm<sup>2</sup>)

Najmanja potrebna armatura:

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,50 \cdot \frac{2,90}{500} = 0,0029$$

$$A_{s,min} = \rho_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,0029 \cdot 30,0 \cdot 50,50 = 4,39 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 11,09 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 4,39 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

Za potresnu proračunsku situaciju kako bi se osiguralo duktilno ponašanje konstrukcije potrebno je 50% vlačne armature predvidjeti i u tlačnoj zoni.

Odabire se 4 $\phi$ 14 mm (6,16 cm<sup>2</sup>)

**- unutarnji ležaj POZ 407-408**

$$M_{Ed} = M_{Ed,T-beam} + M_{Ed,slab}$$

$$M_{Ed} = 220,16 + (29,09 \cdot 1,22) = 255,65 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{255,65 \cdot 100}{30,0 \cdot 50,50^2 \cdot 2,0} = 0,167$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Ed} = 0,171 \rightarrow \xi = 0,233 \quad \zeta = 0,903$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{255,65 \cdot 100}{0,903 \cdot 50,50 \cdot 43,48} = 12,53 \text{ cm}^2$$

Odabire se  $6\phi 14 \text{ mm} + 3\phi 12 \text{ mm}$  ( $9,24 + 3,39 = 12,63 \text{ cm}^2$ )

Najmanja potrebna armatura:

$$A_{s1} = 12,63 \text{ cm}^2 > A_{s,min} = 4,39 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura zadovoljava!

Za potresnu proračunsku situaciju kako bi se osiguralo duktilno ponašanje konstrukcije potrebno je 50% vlačne armature predvidjeti i u tlačnoj zoni.

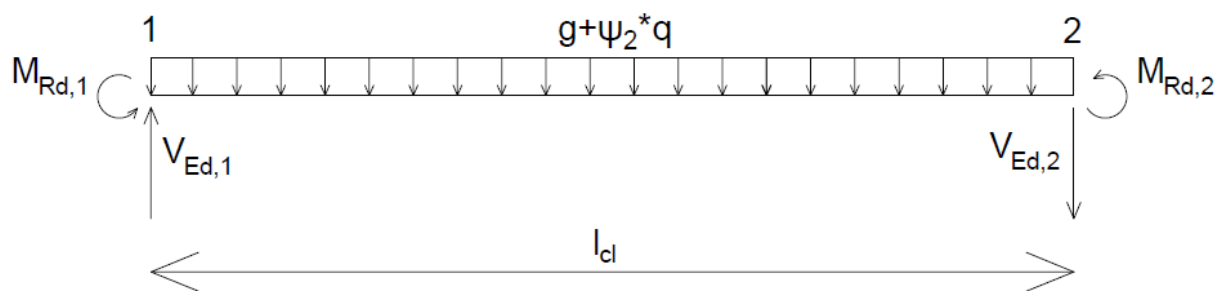
Odabire se  $4\phi 14 \text{ mm}$  ( $6,16 \text{ cm}^2$ )

## 7.5. Dimenzioniranje karakterističnih greda na poprečnu silu

U potresnim područjima poprečne sile treba odrediti prema kapacitetu nosivosti na način da se postigne uravnoteženje momenata savijanja i poprečnih sila na krajevima grede. Proračun se provodi za oba smjera djelovanja potresa a dobivene poprečne sile odgovaraju najvećim pozitivnim i negativnim momentima nosivosti na krajevima grede.

### 7.5.1. Proračun grede POZ 504-505-505-504

#### 1. slučaj



Slika 43. Djelovanja na gredu za smjer x

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,1}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (54)$$

gdje je:

$A_{s1}$  – armatura ležaja grede

$b_w$  – širina hrpta grede

$d$  – statička visina grede

$f_{yd}$  – proračunska granica popuštanja čelika za armiranje

$f_{cd}$  – proračunska tlačna čvrstoća betona

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{9,96}{30,0 \cdot 40,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,178$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,183 \rightarrow \zeta = 0,906$

-

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,906 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 9,96 = 15890,30 \text{ kNcm} = 158,90 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,2}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{5,66}{30,0 \cdot 40,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,101$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,101 \rightarrow \zeta = 0,948$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,948 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 5,66 = 9448,64 \text{ kNcm} = 94,49 \text{ kNm}$$

Djelovanja na gredu:

$$g_{pl} = g \cdot \frac{l}{2} = 9,40 \cdot \frac{7,0}{2,0} = 32,90 \text{ kN/m}$$

$$g_{gr} = (0,30 \cdot 0,23) \cdot 25,0 = 1,73 \text{ kN/m}$$

$$q = 0,40 \cdot \frac{7,0}{2,0} = 1,40 \text{ kN/m}$$

$$w = g_{pl} + g_{gr} = 32,90 + 1,73 = 34,63 \text{ kN/m}$$

gdje je:

$g_{pl}$  – stalno opterećenje od ploče

$g_{gr}$  – vlastita težina grede

$q$  – promjenjivo djelovanje

Poprečna sila  $V_{Ed,1,2}$ :

$$V_{Ed,1,2} = \frac{Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w \cdot l_{cl}}{2} \quad (55)$$

gdje je:

$Y_{Rd}$  – faktor kojim se u obzir uzima moguće ojačanje čelika, za razred duktilnosti DCM iznosi 1,0

$l_{cl}$  – svijetla duljina grede

$l_{cl}$  – svijetla duljina grede  $l_{cl} = 5,60 \text{ m}$  (očitano iz nacрта oplata)

$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 \cdot (158,90 + 94,49)}{5,60} + \frac{34,63 \cdot 5,60}{2} = 142,21 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad (56)$$

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(ctg\theta + tg\theta)} \quad (57)$$

gdje je:

$\alpha_{cw}$  – koeficijent kojim se u obzir uzima stanje naprezanja u tlačnom području nosača i iznosi 1,0

$b_w$  – najmanja širina presjeka u vlačnom području

$z$  – krak unutrašnjih sila

$v_1$  – faktor smanjenja tlačne čvrstoće betona raspucalog djelovanjem poprečnih sila

$\theta$  – nagib tlačnih štapova

$$v_1 = 0,60 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad (58)$$

$$v_1 = 0,60 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,60 \cdot \left[ 1 - \frac{30,0}{250} \right] = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(ctg\theta + tg\theta)} = \frac{1,0 \cdot 30,0 \cdot (0,90 \cdot 40,50) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{1,20 + \frac{1}{1,20}} = 570,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = 142,21 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 570,05 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura:

Najmanja poprečna armatura osigurava nosivost nakon pojave kosih pukotina.

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} \quad (59)$$

gdje je:

$A_{sw}^1$  – ploština presjeka jedne grane spone ( za  $\phi 8 \text{ mm} = 0,50 \text{ cm}^2$ )

$m$  – reznost ( $m = 2$ )

$\rho_{w,min}$  – koeficijent armiranja najmanjom poprečnom armaturom

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \quad (60)$$

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{2,90}{434,80} = 0,0010$$

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,50 \cdot 2}{30,0 \cdot 0,0010} = 33,33 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$V_{Ed} \leq 0,30 \cdot V_{Rd,max} \quad (61)$$

$$V_{Ed} \leq 0,30 \cdot V_{Rd,max}$$

$$142,21 \text{ kN} \leq 0,30 \cdot 570,05 = 171,02 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \begin{cases} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 40,50 = 30,38 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{cases}$$

$$s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8\text{mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2}{30,0} \cdot 0,90 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 1,20 = 63,40 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$142,21 \text{ kN} \geq 63,40 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 0,90 \cdot 40,50 \cdot 43,48}{142,21} \cdot 1,20 = 13,37 \text{ cm}$$



Odabire se razmak spona:  $s = 13,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura za unutarnji oslonac:  $\phi 8/13 \text{ cm}$

Proračun položaja maksimalnog mjesta momentnog dijagrama:

Udaljenost  $x$ :

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g_{pl} + \psi_2 \cdot q}{\frac{l}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$

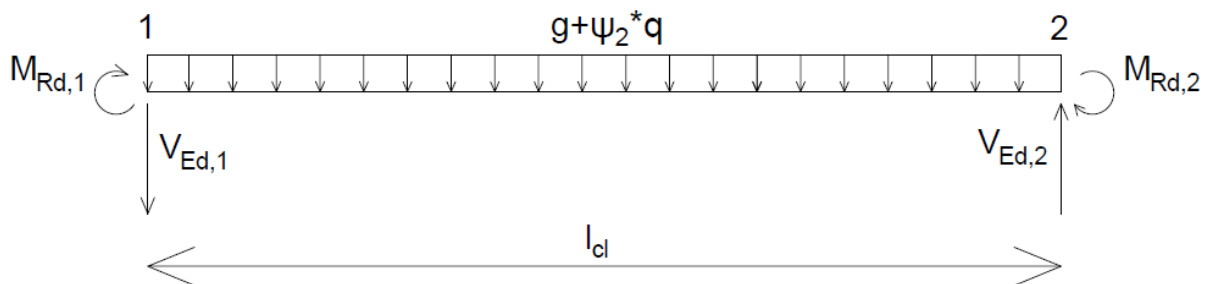
$$142,21 - 1,73 \cdot x - \frac{32,90 + 0,0 \cdot 1,40}{\frac{5,60}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 63,40$$

$$11,75x^2 + 1,73 \cdot x - 75,54 = 0$$

$$x = 2,46 \text{ m}$$

Na udaljenosti  $x$  mjereno od lica oslonca armiramo sa  $\phi 8/13 \text{ cm}$ .

## 2. slučaj



Slika 44. Djelovanja na gredu za smjer  $y$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,1}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{3,39}{30,0 \cdot 40,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,061$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,062 \rightarrow \zeta = 0,968$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,968 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 3,39 = 5778,56 \text{ kNcm} = 57,79 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,2}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{6,16}{30,0 \cdot 40,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,110$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,111 \rightarrow \zeta = 0,943$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,943 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 6,16 = 10229,09 \text{ kNcm} = 102,29 \text{ kNm}$$

Poprečna sila  $V_{Ed,2}$

$$V_{Ed,2} = \frac{Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w \cdot l_{cl}}{2}$$

$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 \cdot (57,79 + 102,29)}{5,60} + \frac{34,63 \cdot 5,60}{2} = 125,55 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = 570,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = 125,55 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 570,05 \text{ kN}$$

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,50 \cdot 2}{30,0 \cdot 0,0010} = 33,33 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$V_{Ed} \leq 0,30 \cdot V_{Rd,max}$$

$$125,55 \text{ kN} < 171,02 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \begin{cases} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 40,50 = 30,38 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{cases}$$

$$s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8 \text{ mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = 63,40 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$125,55 \text{ kN} \geq 63,40 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 0,90 \cdot 40,50 \cdot 43,48}{125,55} \cdot 1,20 = 15,15 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 15,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura za vanjski oslonac:  $\phi 8/15 \text{ cm}$

Proračun položaja maksimalnog mjesta momentnog dijagrama:

Udaljenost x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g + \psi_2 \cdot q}{\frac{l}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$

$$125,55 - 1,73 \cdot x - \frac{32,90 + 0,0 \cdot 1,40}{\frac{5,60}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 63,40$$

$$11,75x^2 + 1,73 \cdot x - 62,15 = 0$$

$$x = 2,23 \text{ m}$$

Na udaljenosti x od lica oslonca armiramo sa  $\phi 8/15 \text{ cm}$ .

### 7.5.2. Proračun grede POZ 507-508-507

#### 1. slučaj

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,1}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{9,96}{30,0 \cdot 50,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,143$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,145 \rightarrow \zeta = 0,925$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,925 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 9,96 = 20229,35 \text{ kNcm} = 202,29 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,2}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{5,66}{30,0 \cdot 50,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,081$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,085 \rightarrow \zeta = 0,957$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,957 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 5,66 = 11893,49 \text{ kNcm} = 118,93 \text{ kNm}$$

Djelovanja na gredu:

$$g_{pl} = g \cdot \frac{l}{2} = 9,40 \cdot \frac{6,0}{2,0} = 28,20 \text{ kN/m}$$

$$g_{gr} = (0,30 \cdot 0,33) \cdot 25,0 = 2,48 \text{ kN/m}$$

$$q = 0,40 \cdot \frac{6,0}{2,0} = 1,20 \text{ kN/m}$$

$$w = g_{pl} + g_{gr} = 28,20 + 2,48 = 30,68 \text{ kN/m}$$

Poprečna sila  $V_{Ed,1}$

$$V_{Ed,1} = \frac{Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w \cdot l_{cl}}{2}$$

$l_{cl}$  – svijetla duljina grede  $l_{cl} = 6,60 \text{ m}$  (očitano iz nacрта oplata)

$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 \cdot (202,29 + 118,93)}{6,60} + \frac{30,68 \cdot 6,60}{2} = 149,91 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{(ctg\theta + tg\theta)} = \frac{1,0 \cdot 30,0 \cdot (0,90 \cdot 50,50) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{1,20 + \frac{1}{1,20}} = 710,81 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = 149,91 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 710,81 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = 33,33 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$V_{Ed} \leq 0,30 \cdot V_{Rd,max}$$

$$149,91 \text{ kN} \leq 0,30 \cdot 710,81 = 213,24 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 50,50 = 37,88 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8 \text{ mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2}{30,0} \cdot 0,90 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 1,20 = 79,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$149,91 \text{ kN} \geq 79,05 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura za:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 0,90 \cdot 50,50 \cdot 43,48}{149,91} \cdot 1,20 = 15,81 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 15,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura za unutarnji oslonac:  $\phi 8/15 \text{ cm}$

Proračun položaja maksimalnog mjesta momentnog dijagrama:

Udaljenost  $x$ :

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g_{pl} + \psi_2 \cdot q}{l} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$

$$149,91 - 2,48 \cdot x - \frac{28,20 + 0,0 \cdot 1,20}{\frac{6,60}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 79,05$$

$$8,55x^2 + 2,48 \cdot x - 70,86 = 0$$

$$x = 2,74 \text{ m}$$

Na udaljenosti  $x$  od lica oslonca armiramo sa  $\phi 8/15 \text{ cm}$ .

## **2. slučaj**

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,1}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{3,39}{30,0 \cdot 50,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,049$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,051 \rightarrow \zeta = 0,974$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,974 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 3,39 = 7250,03 \text{ kNcm} = 72,50 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,2}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{6,88}{30,0 \cdot 50,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,099$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,101 \rightarrow \zeta = 0,948$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,948 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 6,88 = 14321,14 \text{ kNcm} = 143,21 \text{ kNm}$$

Poprečna sila  $V_{Ed,2}$

$$V_{Ed,2} = \frac{Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w \cdot l_{cl}}{2}$$

$l_{cl}$  – svijetla duljina grede  $l_{cl} = 6,60 \text{ m}$  (očitano iz nacрта oplata)

$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 \cdot (72,50 + 143,21)}{6,60} + \frac{30,68 \cdot 6,60}{2} = 133,93 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = 710,81 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = 133,93 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 710,81 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura:

$$s_{l,max} = 33,33 \text{ cm}$$

$$V_{Ed} \leq 0,30 \cdot V_{Rd,max}$$

$$133,93 \text{ kN} \leq 213,24 \text{ kN}$$

Zadovoljava!



$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 50,50 = 37,88 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8 \text{ mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2}{30,0} \cdot 0,90 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 1,20 = 79,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$133,93 \text{ kN} \geq 79,05 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 0,90 \cdot 50,50 \cdot 43,48}{133,93} \cdot 1,20 = 17,71 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 17,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura za vanjski oslonac:  $\phi 8/17 \text{ cm}$

Proračun položaja maksimalnog mjesta momentnog dijagrama:

Udaljenost  $x$ :

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g_{pl} + \psi_2 \cdot q}{l} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$

$$133,93 - 2,48 \cdot x - \frac{28,20 + 0,0 \cdot 1,20}{\frac{6,60}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 79,05$$

$$8,55x^2 + 2,48 \cdot x - 54,88 = 0$$

$$x = 2,39 \text{ m}$$

Na udaljenosti x od lica oslonca armiramo sa  $\phi 8/17 \text{ cm}$ .

### 7.5.3. Proračun grede POZ 404-405-405-404

#### 1. slučaj

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{13,76}{30,0 \cdot 40,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,246$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,246 \rightarrow \zeta = 0,873$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,873 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 13,76 = 21153,26 \text{ kNcm} = 211,53 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,2}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{6,79}{30,0 \cdot 40,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,121$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,121 \rightarrow \zeta = 0,938$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,938 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 6,79 = 11215,46 \text{ kNcm} = 112,15 \text{ kNm}$$

Djelovanja na gredu:

$$g_{pl} = g \cdot \frac{l}{2} = 8,12 \cdot \frac{7,0}{2,0} = 28,42 \text{ kN/m}$$

$$g_{gr} = (0,30 \cdot 0,23) \cdot 25,0 = 1,73 \text{ kN/m}$$

$$q = 2,0 \cdot \frac{7,0}{2,0} = 7,0 \text{ kN/m}$$

$$w = (g_{pl} + g_{gr}) + \psi_{2,i} \cdot q = (28,42 + 1,73) + 0,30 \cdot 7,0 = 32,25 \text{ kN/m}$$

Poprečna sila  $V_{Ed,1}$ :

$$V_{Ed,1} = \frac{Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w \cdot l_{cl}}{2}$$

$l_{cl}$  – svjetla duljina grede  $l_{cl} = 5,60 \text{ m}$  (očitano iz nacрта oplata)

$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 \cdot (211,53 + 112,15)}{5,60} + \frac{32,25 \cdot 5,60}{2} = 148,10 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

$$V_{Rd,max} = 570,05 \text{ kN}$$

$$148,10 \text{ kN} \leq 570,05 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = 33,33 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$V_{Ed} \leq 0,30 \cdot V_{Rd,max}$$

$$148,10 \text{ kN} \leq 171,02 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 40,50 = 30,38 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8 \text{ mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2}{30,0} \cdot 0,90 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 1,20 = 63,40 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$148,10 \text{ kN} \geq 63,40 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 0,90 \cdot 40,50 \cdot 43,48}{148,10} \cdot 1,20 = 12,84 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 12,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura za unutarnji oslonac:  $\phi 8/12 \text{ cm}$

Proračun položaja maksimalnog mjesta momentnog dijagrama:

Udaljenost  $x$ :

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g_{pl} + \psi_2 \cdot q}{l} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$

$$148,10 - 1,73 \cdot x - \frac{28,42 + 0,3 \cdot 7,0}{\frac{5,60}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 63,40$$

$$10,90x^2 + 1,73 \cdot x - 84,70 = 0$$

$$x = 2,71 \text{ m}$$

Na udaljenosti x mjereno od lica oslonca armiramo sa  $\phi 8/12$  cm.

## **2. slučaj**

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,1}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{6,16}{30,0 \cdot 40,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,110$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,111 \rightarrow \zeta = 0,943$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,943 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 6,16 = 10229,09 \text{ kNcm} = 102,29 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,2}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{11,09}{30,0 \cdot 40,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,198$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,202 \rightarrow \zeta = 0,896$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,896 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 11,09 = 17497,83 \text{ kNcm} = 174,98 \text{ kNm}$$

Poprečna sila  $V_{Ed,2}$

$$V_{Ed,2} = \frac{Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w \cdot l_{cl}}{2}$$

$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 \cdot (102,29 + 174,98)}{5,60} + \frac{32,25 \cdot 5,60}{2} = 140,51 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = 570,05 \text{ kN}$$

$$140,51 \text{ kN} < 570,05 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = 33,33 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$V_{Ed} \leq 0,30 \cdot V_{Rd,max}$$

$$140,51 \text{ kN} < 171,02 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 40,50 = 30,38 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8\text{mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2}{30,0} \cdot 0,90 \cdot 40,50 \cdot 43,48 \cdot 1,20 = 63,40 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$140,51 \text{ kN} \geq 63,40 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 0,90 \cdot 40,50 \cdot 43,48}{140,51} \cdot 1,20 = 13,54 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 13,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura za vanjski oslonac:  $\phi 8/13 \text{ cm}$

Proračun položaja maksimalnog mjesta momentnog dijagrama:

Udaljenost  $x$ :

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g_{pl} + \psi_2 \cdot q}{\frac{l}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$

$$140,51 - 1,73 \cdot x - \frac{28,42 + 0,3 \cdot 7,0}{\frac{5,60}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 63,40$$

$$10,90x^2 + 1,73 \cdot x - 77,11 = 0$$

$$x = 2,58 \text{ m}$$

Na udaljenosti  $x$  od lica oslonca armiramo sa  $\phi 8/13 \text{ cm}$ .

#### 7.5.4. Proračun grede POZ 407-408-407

##### **1. slučaj**

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,1}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{12,63}{30,0 \cdot 50,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,181$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,183 \rightarrow \zeta = 0,906$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,906 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 12,63 = 25125,37 \text{ kNcm} = 251,25 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,2}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{6,16}{30,0 \cdot 50,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,088$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,091 \rightarrow \zeta = 0,953$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,953 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 6,16 = 12890,05 \text{ kNcm} = 128,90 \text{ kNm}$$

Djelovanja na gredu:

$$g_{pl} = g \cdot \frac{l}{2} = 8,12 \cdot \frac{6,0}{2,0} = 24,36 \text{ kN/m}$$

$$g_{gr} = (0,30 \cdot 0,33) \cdot 25,0 = 2,48 \text{ kN/m}$$

$$q = 2,0 \cdot \frac{6,0}{2,0} = 6,00 \text{ kN/m}$$

$$w = (g_{pl} + g_{gr}) + \psi_{2,i} \cdot q = (24,36 + 2,48) + 0,30 \cdot 6,0 = 28,64 \text{ kN/m}$$

Poprečna sila  $V_{Ed,1}$

$$V_{Ed,1} = \frac{Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w \cdot l_{cl}}{2}$$

$l_{cl}$  – svijetla duljina grede  $l_{cl} = 6,60 \text{ m}$  (očitano iz nacрта oplata)



$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 \cdot (251,25 + 128,90)}{6,60} + \frac{28,64 \cdot 6,60}{2} = 152,11 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = 710,81 \text{ kN}$$

$$152,11 \text{ kN} < 710,81 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

$$s_{l,max} = 33,33 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$V_{Ed} \leq 0,30 \cdot V_{Rd,max}$$

$$152,11 \text{ kN} < 213,24 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 50,50 = 37,88 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8 \text{ mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2}{30,0} \cdot 0,90 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 1,20 = 79,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$152,11 \text{ kN} > 79,05 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura za:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 0,90 \cdot 50,50 \cdot 43,48}{152,11} \cdot 1,20 = 15,59 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 15,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura za unutarnji oslonac:  $\phi 8/15 \text{ cm}$

Proračun položaja maksimalnog mjesta momentnog dijagrama:

Udaljenost  $x$ :

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g_{pl} + \psi_2 \cdot q}{\frac{l}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$

$$152,11 - 2,48 \cdot x - \frac{24,36 + 0,3 \cdot 6,0}{\frac{6,60}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 79,05$$

$$7,93x^2 + 2,48 \cdot x - 73,06 = 0$$

$$x = 2,89 \text{ m}$$

Na udaljenosti  $x$  od lica oslonca armiramo sa  $\phi 8/15 \text{ cm}$ .

## 2. slučaj

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,1}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{6,16}{30,0 \cdot 50,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,088$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,091 \rightarrow \zeta = 0,953$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,953 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 6,16 = 12890,05 \text{ kNcm} = 128,90 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu  $M_{Rd,2}$

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{11,09}{30,0 \cdot 50,50} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,159$$

- očitano iz tablica za  $\omega_1 = 0,162 \rightarrow \zeta = 0,917$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,917 \cdot 50,50 \cdot 43,48 \cdot 11,09 = 22329,64 \text{ kNcm} = 223,30 \text{ kNm}$$

Poprečna sila  $V_{Ed,2}$

$$V_{Ed,2} = \frac{Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w \cdot l_{cl}}{2}$$

$l_{cl}$  – svijetla duljina grede  $l_{cl} = 6,60 \text{ m}$  (očitano iz nacрта oplata)

$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 \cdot (128,90 + 223,30)}{6,60} + \frac{28,64 \cdot 6,60}{2} = 147,88 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = 710,81 \text{ kN}$$

$$147,88 \text{ kN} < 710,81 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najmanja poprečna armatura:

$$s_{l,max} = 33,33 \text{ cm}$$

$$V_{Ed} \leq 0,30 \cdot V_{Rd,max}$$

$$147,88 \text{ kN} < 213,24 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

$$s_{l,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 50,50 = 37,88 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8 \text{ mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 30,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = 79,05 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$147,88 \text{ kN} > 79,05 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 0,90 \cdot 50,50 \cdot 43,48}{147,88} \cdot 1,20 = 16,04 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 16,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura za vanjski oslonac:  $\phi 8/16 \text{ cm}$

Proračun položaja maksimalnog mjesta momentnog dijagrama:

Udaljenost x:

$$V_{Ed} - g_{gr} \cdot x - \frac{g_{pl} + \psi_2 \cdot q}{\frac{l}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = V_{Rd,s}^{min}$$

$$147,88 - 2,48 \cdot x - \frac{24,36 + 0,3 \cdot 6,00}{\frac{6,60}{2}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 79,05$$

$$7,93x^2 + 2,48 \cdot x - 68,83 = 0$$

$$x = 2,79 \text{ m}$$

Na udaljenosti x od lica oslonca armiramo sa  $\phi 8/16$  cm.

Dimenzioniranje greda na poprečne sile treba provjeriti i za trajnu proračunsku situaciju. U nastavku je prikazana tablica pomoću koje je proveden proračun potrebne poprečne armature. Proračunska vrijednost poprečne sile očitana je iz rezultata proračuna u programskom modelu. Proračunska vrijednost najveće poprečne sile koju greda može preuzeti  $V_{Rd,max}$  definirana je ranije kao i proračunska vrijednost poprečne sile koju preuzima armatura u trenutku popuštanja  $V_{Rd,s,max}$ . Uz te poznate podatke proračunan je potreban razmak spona. Iz tablice je vidljivo da su prema trajnoj proračunskoj situaciji dobiveni veći razmaci spona stoga je mjerodavna potresna proračunska situacija.

Tablica 24. Proračun razmaka spona „s“ za trajnu proračunsku situaciju

		Proračunska poprečna sila $V_{Ed}$ (kN)	Provjera nosivosti tlačnih štapova $V_{Rd,max}$ (kN)	Proračun $V_{Rd,s,min}$ (kN)	Potreban razmak poprečne armature (cm)	Odabrana armatura
Greda POZ 504-505-505-504	unutarnji oslonac	98.02	570.05	63.40	19.40	$\phi 8/19$ cm
	vanjski oslonac	60.54	570.05	63.40	31.41	$\phi 8/30$ cm
Greda POZ 507-508-507	unutarnji oslonac	109.22	710.81	79.05	21.71	$\phi 8/21$ cm
	vanjski oslonac	100.31	710.81	79.05	23.64	$\phi 8/23$ cm
Greda POZ 404-405-405-404	unutarnji oslonac	88.57	570.05	63.40	21.47	$\phi 8/21$ cm
	vanjski oslonac	77.52	570.05	63.40	24.53	$\phi 8/24$ cm
Greda POZ 407-408-407	unutarnji oslonac	114.41	710.81	79.05	20.73	$\phi 8/20$ cm
	vanjski oslonac	111.04	710.81	79.05	21.36	$\phi 8/21$ cm

## 7.6. Kritično područje grede

Kritičnim područjem grede smatra se ono područje na udaljenosti  $l_{cr}$  mjereno od unutarnjeg lica stupa odnosno ono područje u kojem može doći do otvaranja plastičnog zgloba u slučaju pojave potresa.

Za razred duktilnosti DCM kritično područje iznosi  $l_{cr} = h_w = 45$  cm odnosno 55 cm ovisno o promatranom smjeru.

$l_{cr}$  – kritično područje grede

$h_w$  – visina grede

### Greda 504-505-505-504

#### - vanjski ležaj

Lokalna duktilnost biti će zadovoljena ukoliko se u unutar kritičnog područja grede usvoji zahtjev za postavljanjem polovine uzdužne vlačne armature u tlačno područje grede pri čemu treba zadovoljiti uvjet da koeficijent armiranja vlačnom armaturom na prelazi  $\rho_{max}$ .

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\Phi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (62)$$

gdje je:

$\rho'$  - koeficijent armiranja tlačnom armaturom

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \quad (63)$$

$\varepsilon_{sy,d}$  – proračunska deformacija čelika pri popuštanju

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (64)$$

$\mu_\phi$  – zakrivljenost koja se računa ovisno o uvjetu

$$T_1 \geq T_c \rightarrow 0,843 \text{ s} > 0,40 \text{ s}$$

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 \quad (65)$$

gdje je:

$q_0$  – osnovna vrijednost faktora ponašanja

$T_1$  – osnovni period oscilacije zgrade

$T_c$  – period na gornjoj granici konstantnog dijela spektra odziva

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{3,39}{30,0 \cdot 40,50} = 0,0028$$

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} = 0,00217$$

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,60 - 1 = 6,20$$

U kritičnim područjima gdje se koristi čelik razreda B treba vrijednost zakrivljenosti uvećati za 50%.

$$\mu_\phi = 1,50 \cdot (2 \cdot 3,60 - 1) = 9,30$$

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0028 + \frac{0,0018}{9,30 \cdot 0,00217} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0069$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom  $\rho$  mora biti uzduž cijele grede veći od vrijednosti

$\rho_{min}$ .

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,50 \cdot \left( \frac{2,90}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,16}{30,0 \cdot 40,50} = 0,0051$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0029 \leq 0,0051 \leq 0,0069$$

Uvjet je zadovoljen!

Udaljenost prve spone od rubnog presjeka grede nebi smjela biti manja od 50mm. Poprečna armatura u kritičnom području grede ne smije biti promjera manjeg od 6mm. Razmak spona definira se sljedećim izrazom:

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} \\ 24 \cdot d_{bw} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} \end{cases} \quad (66)$$

gdje je:

$d_{bw}$  – promjer spone u mm

$d_{bL}$  – promjer najmanje uzdužne šipke u mm

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{450}{4} = 112,50 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 8 = 192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 14 = 112 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja grede odabrana je poprečna armatura  $\phi 8/11$  cm, na preostalom dijelu grede  $\phi 8/15$  cm, i na sredini grede  $\phi 8/30$  cm.

- **unutarnji ležaj**

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{5,66}{30,0 \cdot 40,50} = 0,0047$$



Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} = 0,00217$$

Zakrivljenost proračunata prema uvjetu:

$$\mu_{\Phi} = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,60 - 1 = 6,20$$

$$\mu_{\Phi} = 1,50 \cdot (2 \cdot 3,60 - 1) = 9,30$$

Koeficijent armiranja  $\rho_{max}$ :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\Phi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0047 + \frac{0,0018}{9,30 \cdot 0,00217} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0088$$

Minimalna vrijednost koeficijenta armiranja  $\rho_{min}$ :

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,50 \cdot \left( \frac{2,90}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{9,96}{30,0 \cdot 40,50} = 0,0082$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0029 \leq 0,0082 \leq 0,0088$$

Uvjet je zadovoljen!

Razmak armature u kritičnom području s:

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{450}{4} = 112,50 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 8 = 192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja grede odabrana je poprečna armatura  $\phi 8/9,5$  cm, na preostalom dijelu grede  $\phi 8/13$  cm, i na sredini grede  $\phi 8/30$  cm.

**Greda 507-508-507**

- **vanjski ležaj**

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{3,39}{30,0 \cdot 50,50} = 0,0022$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštavanju:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} = 0,00217$$

Zakrivljenost proračunata prema uvjetu:

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,60 - 1 = 6,20$$

$$\mu_\phi = 1,50 \cdot (2 \cdot 3,60 - 1) = 9,30$$

Koeficijent armiranja  $\rho_{max}$ :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0022 + \frac{0,0018}{9,30 \cdot 0,00217} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0063$$

Minimalna vrijednost koeficijenta armiranja  $\rho_{min}$ :

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,50 \cdot \left( \frac{2,90}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,88}{30,0 \cdot 50,50} = 0,0045$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0029 \leq 0,0045 \leq 0,0063$$

Uvjet je zadovoljen!

Razmak armature u kritičnom području s:

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 137,50 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 8 = 192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja grede odabrana je poprečna armatura  $\phi 8/9,5$  cm, na preostalom dijelu grede  $\phi 8/17$  cm, i na sredini grede  $\phi 8/30$  cm.

- **unutarnji ležaj**

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{5,66}{30,0 \cdot 50,50} = 0,0037$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} = 0,00217$$

Zakrivljenost proračunata prema uvjetu:

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,60 - 1 = 6,20$$

$$\mu_\phi = 1,50 \cdot (2 \cdot 3,60 - 1) = 9,30$$

Koeficijent armiranja  $\rho_{max}$ :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0037 + \frac{0,0018}{9,30 \cdot 0,00217} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0078$$

Minimalna vrijednost koeficijenta armiranja  $\rho_{min}$ :

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,50 \cdot \left( \frac{2,90}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{9,96}{30,0 \cdot 50,50} = 0,0066$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0029 \leq 0,0066 \leq 0,0078$$

Uvjet je zadovoljen!

Razmak armature u kritičnom području s:

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 112,50 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 8 = 192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja grede odabrana je poprečna armatura  $\phi 8/9,5$  cm, na preostalom dijelu grede  $\phi 8/15$  cm, i na sredini grede  $\phi 8/30$  cm.

### **Greda 404-405-405-404**

#### **- vanjski ležaj**

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,16}{30,0 \cdot 40,50} = 0,0051$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} = 0,00217$$

Zakrivljenost proračunata prema uvjetu:

$$\mu_{\phi} = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,60 - 1 = 6,20$$

$$\mu_{\phi} = 1,50 \cdot (2 \cdot 3,60 - 1) = 9,30$$

Koeficijent armiranja  $\rho_{max}$ :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\phi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0051 + \frac{0,0018}{9,30 \cdot 0,00217} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0092$$

Minimalna vrijednost koeficijenta armiranja  $\rho_{min}$ :

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,50 \cdot \left( \frac{2,90}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{11,09}{30,0 \cdot 40,50} = 0,0091$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0029 \leq 0,0091 \leq 0,0092$$

Uvjet je zadovoljen!

Razmak armature u kritičnom području s:

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 137,50 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 8 = 192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja grede odabrana je poprečna armatura  $\phi 8/9,5$  cm, na preostalom dijelu grede  $\phi 8/13$  cm, i na sredini grede  $\phi 8/30$  cm.

- **unutarnji ležaj**

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,89}{30,0 \cdot 40,50} = 0,0057$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} = 0,00217$$

Zakrivljenost proračunata prema uvjetu:

$$\mu_{\phi} = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,60 - 1 = 6,20$$

$$\mu_{\phi} = 1,50 \cdot (2 \cdot 3,60 - 1) = 9,30$$

Koeficijent armiranja  $\rho_{max}$ :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\phi} \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0057 + \frac{0,0018}{9,30 \cdot 0,00217} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0098$$

Minimalna vrijednost koeficijenta armiranja  $\rho_{min}$ :

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,50 \cdot \left( \frac{2,90}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{13,76}{30,0 \cdot 40,50} = 0,0095$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0029 \leq 0,0095 \leq 0,0098$$

Uvjet je zadovoljen!

Razmak armature u kritičnom području s:

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 112,50 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 6 = 192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja grede odabrana je poprečna armatura  $\phi 8/9,5$  cm, na preostalom dijelu grede  $\phi 8/12$  cm, i na sredini grede  $\phi 8/30$  cm.

**Greda 407-408-407**

- **vanjski ležaj**

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,16}{30,0 \cdot 50,50} = 0,0041$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} = 0,00217$$

Zakrivljenost proračunata prema uvjetu:

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,60 - 1 = 6,20$$

$$\mu_\phi = 1,50 \cdot (2 \cdot 3,60 - 1) = 9,30$$

Koeficijent armiranja  $\rho_{max}$ :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0041 + \frac{0,0018}{9,30 \cdot 0,00217} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0082$$

Minimalna vrijednost koeficijenta armiranja  $\rho_{min}$ :

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,50 \cdot \left( \frac{2,90}{500} \right) = 0,0029$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{11,09}{30,0 \cdot 50,50} = 0,0073$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0029 \leq 0,0073 \leq 0,0082$$

Uvjet je zadovoljen!

Razmak armature u kritičnom području s:

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 137,50 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 6 = 192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ mm} \end{cases}$$

Na duljini kritičnog područja grede odabrana je poprečna armatura  $\phi 8/9,5$  cm, na preostalom dijelu grede  $\phi 8/16$  cm, i na sredini grede  $\phi 8/30$  cm.

- **unutarnji ležaj**

Koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{6,16}{30,0 \cdot 50,50} = 0,0041$$

Proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,8}{200000} = 0,00217$$

Zakrivljenost proračunata prema uvjetu:

$$\mu_\phi = 2 \cdot q_0 - 1 = 2 \cdot 3,60 - 1 = 6,20$$

$$\mu_\phi = 1,50 \cdot (2 \cdot 3,60 - 1) = 9,30$$

Koeficijent armiranja  $\rho_{max}$ :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\phi \cdot \varepsilon_{sy,d}} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,0041 + \frac{0,0018}{9,30 \cdot 0,00217} \cdot \frac{2,0}{43,48} = 0,0082$$

Minimalna vrijednost koeficijenta armiranja  $\rho_{min}$ :

$$\rho_{min} = 0,50 \cdot \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) = 0,50 \cdot \left( \frac{2,90}{500} \right) = 0,0029$$



Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{12,63}{30,0 \cdot 50,50} = 0,0081$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0029 \leq 0,0081 \leq 0,0082$$

Uvjet je zadovoljen!

Razmak armature u kritičnom području s:

$$s = \min \begin{cases} \frac{h_w}{4} = \frac{550}{4} = 112,50 \text{ mm} \\ 24 \cdot d_{bw} = 24 \cdot 8 = 192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bL} = 8 \cdot 12 = 96 \text{ mm} \end{cases}$$

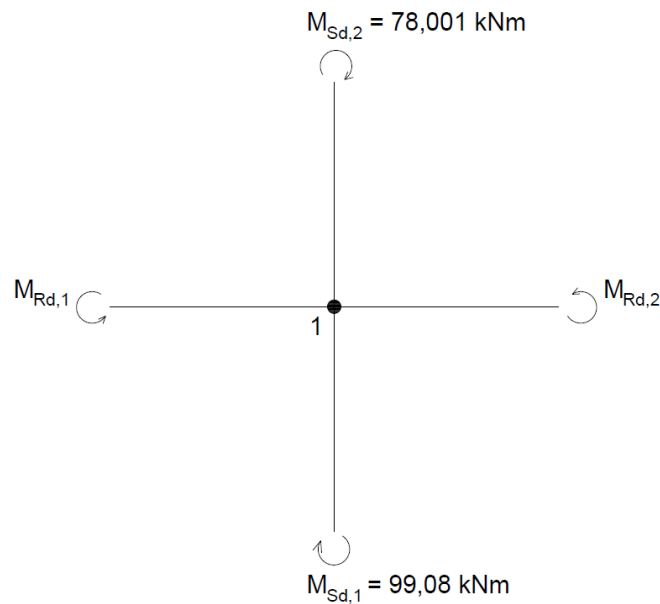
Na duljini kritičnog područja grede odabrana je poprečna armatura  $\phi 8/9,5$  cm, na preostalom dijelu grede  $\phi 8/15$  cm, i na sredini grede  $\phi 8/30$  cm.

## 7.7. Dimenzioniranje stupova na moment savijanja

Dimenzioniranje stupova prema kapacitetu nosivosti provodi se tako da je zbroj svih momenata nosivosti stupa priključenog u nekom čvoru veći za 30% u odnosu na zbroj svih momenata u istom čvoru, pri čemu se zasebno promatra svaki smjer potresnog djelovanja.

### Čvor 1

- smjer x



Slika 45. Djelovanja na stup u čvoru 1 za smjer x

Armatura grede u gornjoj (vlačnoj) zoni  $A_{s1} = 13,76 \text{ cm}^2$  iz čega slijedi:

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{13,76}{40 \cdot 35,5} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,211$$

$$\text{- za } \omega_1 = 0,218 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,888$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,888 \cdot 35,5 \cdot 43,48 \cdot 13,76 = 188,60 \text{ kNm}$$

Armatura grede u donjoj (tlačnoj) zoni  $A_{s1} = 6,79 \text{ cm}^2$  iz čega slijedi:

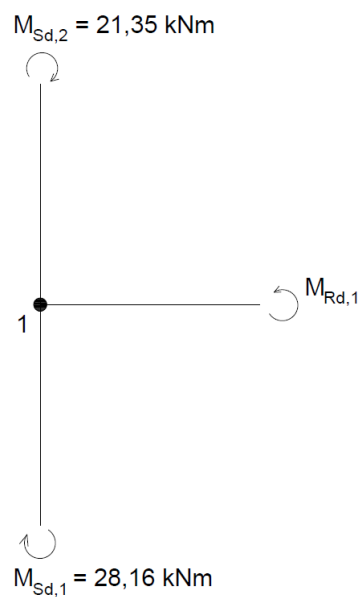
$$\omega_2 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{6,79}{40 \cdot 35,5} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,104$$

$$\text{- za } \omega_1 = 0,105 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,946$$

$$M_{Rd,2} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,946 \cdot 35,5 \cdot 43,48 \cdot 13,76 = 99,15 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{|M_{Sd,1} - M_{Sd,2}|} = 1,30 \cdot \frac{188,60 + 99,15}{|99,08 + 78,001|} = 2,11$$

- **smjer y**



Slika 46. Djelovanja na stup u čvoru 1 za smjer y

Armatura grede u gornjoj (vlačnoj) zoni  $A_{s1} = 11,09 \text{ cm}^2$  iz čega slijedi:

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{11,09}{40 \cdot 35,5} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,170$$

$$\text{- za } \omega_1 = 0,172 \quad \rightarrow \quad \zeta = 0,912$$

$$M_{Rd,1} = \zeta \cdot d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} = 0,912 \cdot 35,5 \cdot 43,48 \cdot 11,09 = 156,11 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rd,1}}{|M_{Sd,1} - M_{Sd,2}|} = 1,30 \cdot \frac{156,11}{|28,16 + 21,35|} = 4,10$$

$$M_{Sd,1}^x = 99,08 \cdot 2,11 = 209,06 \text{ kNm} \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

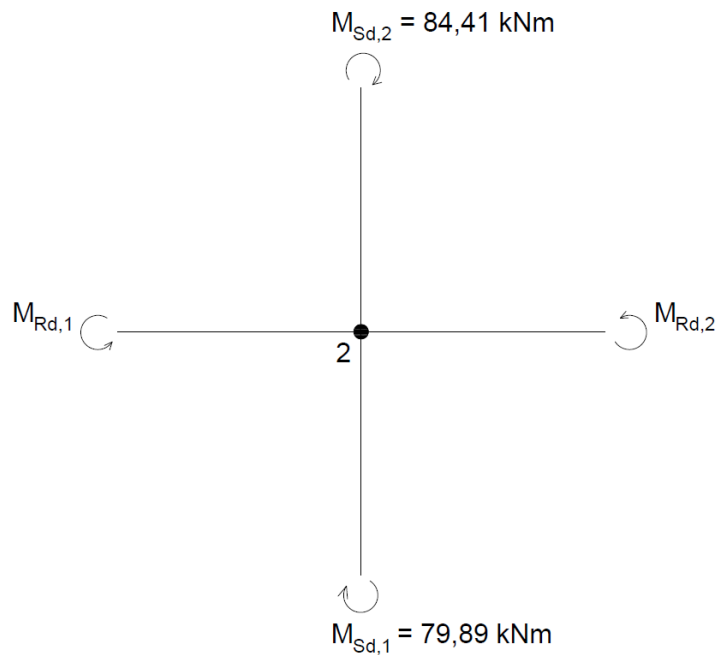
$$M_{Sd,2}^x = 78,001 \cdot 2,11 = 164,58 \text{ kNm} \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

$$M_{Sd,1}^y = 28,16 \cdot 4,10 = 115,46 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd,2}^y = 21,35 \cdot 4,10 = 87,54 \text{ kNm}$$

## Čvor 2

- smjer x



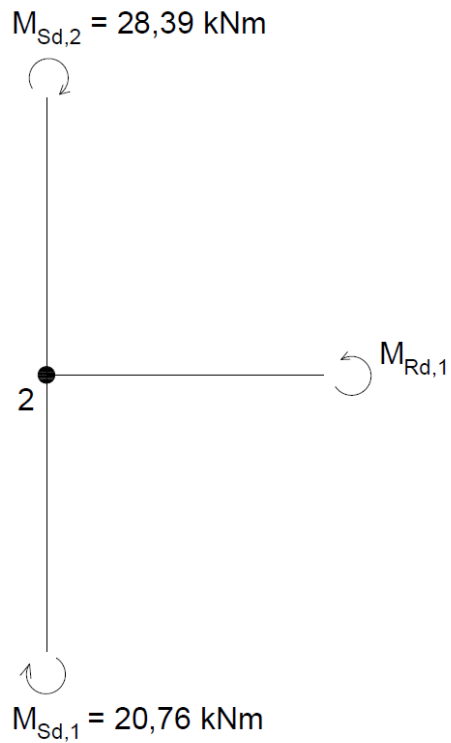
Slika 47. Djelovanja na stup u čvoru 2 za smjer x

$$M_{Rd,1} = 188,60 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2} = 99,15 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{|M_{Sd,1} - M_{Sd,2}|} = 1,30 \cdot \frac{188,60 + 99,15}{|79,89 + 84,41|} = 2,28$$

- smjer y



Slika 48. Djelovanja na stup u čvoru 2 za smjer y

$$M_{Rd,1} = 156,11 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rd,1}}{|M_{Sd,1} - M_{Sd,2}|} = 1,30 \cdot \frac{156,11}{|20,76 + 28,39|} = 4,13$$

$$M_{Sd,1}^x = 79,89 \cdot 2,28 = 182,15 \text{ kNm} \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

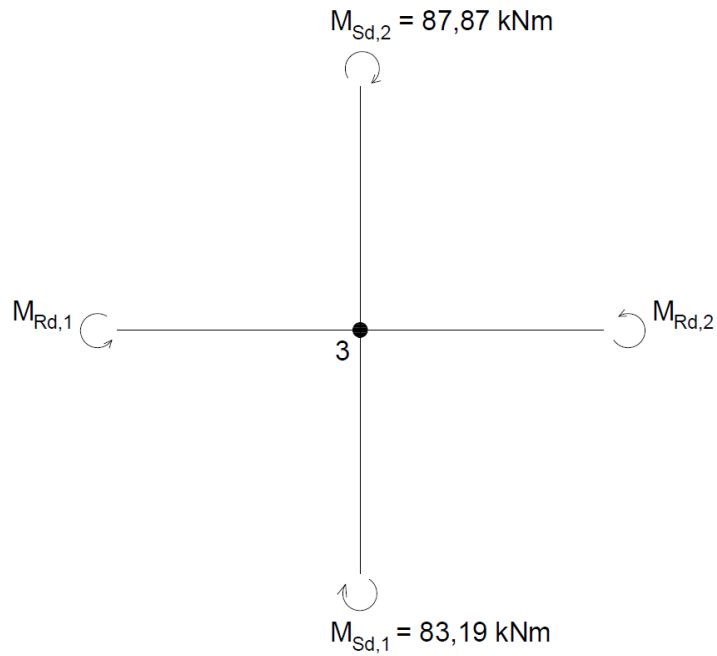
$$M_{Sd,2}^x = 84,41 \cdot 2,28 = 192,45 \text{ kNm} \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

$$M_{Sd,1}^y = 20,76 \cdot 4,13 = 85,74 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd,2}^y = 28,39 \cdot 4,13 = 117,25 \text{ kNm}$$

**Čvor 3**

- **smjer x**



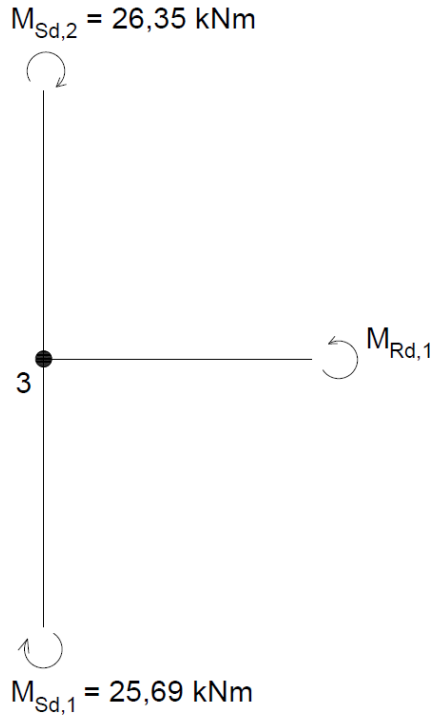
Slika 49. Djelovanja na stup u čvoru 3 za smjer x

$$M_{Rd,1} = 188,60 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2} = 99,15 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{|M_{Sd,1} - M_{Sd,2}|} = 1,30 \cdot \frac{188,60 + 99,15}{|83,19 + 87,87|} = 2,19$$

- smjer y



Slika 50. Djelovanja na stup u čvoru 3 za smjer y

$$M_{Rd,1} = 156,11 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rd,1}}{|M_{Sd,1} - M_{Sd,2}|} = 1,30 \cdot \frac{156,11}{|25,69 + 26,35|} = 3,90$$

$$M_{Sd,1}^x = 83,19 \cdot 2,19 = 182,19 \text{ kNm} \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

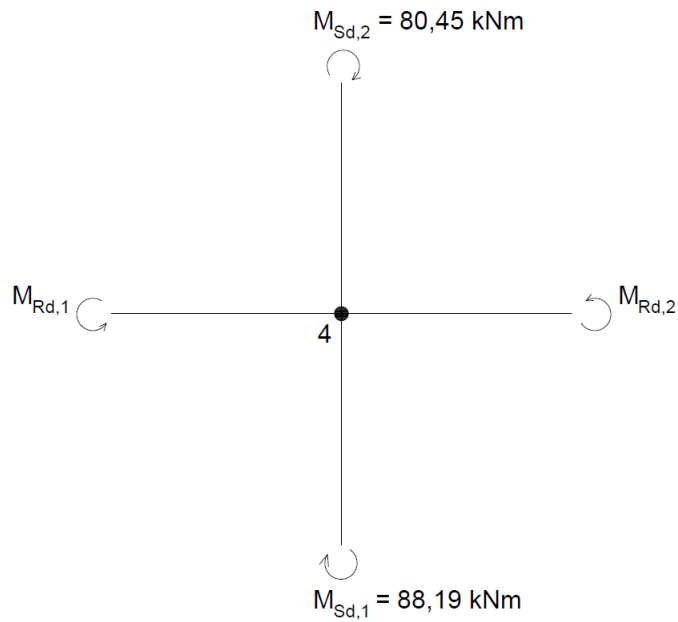
$$M_{Sd,2}^x = 87,87 \cdot 2,19 = 192,44 \text{ kNm} \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

$$M_{Sd,1}^y = 25,69 \cdot 3,90 = 100,19 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd,2}^y = 26,35 \cdot 3,90 = 102,78 \text{ kNm}$$

**Čvor 4**

- **smjer x**



Slika 51. Djelovanja na stup u čvoru 4 za smjer x

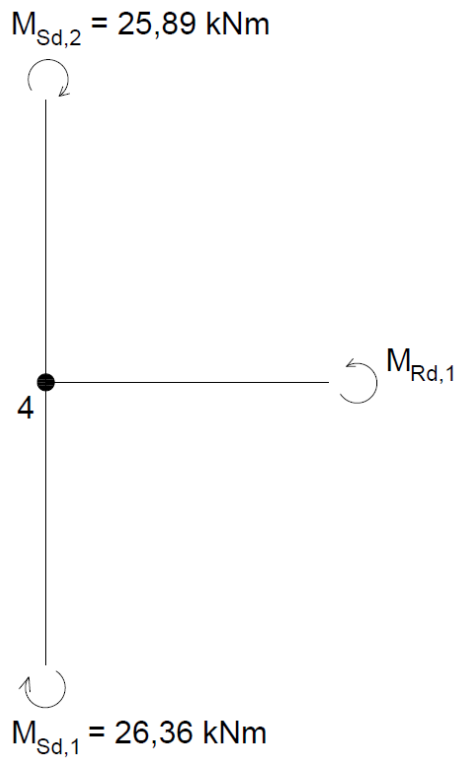
$$M_{Rd,1} = 188,60 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2} = 99,15 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{|M_{Sd,1} - M_{Sd,2}|} = 1,30 \cdot \frac{188,60 + 99,15}{|88,19 + 80,45|} = 2,22$$



- smjer y



Slika 52. Djelovanja na stup u čvoru 4 za smjer y

$$M_{Rd,1} = 156,11 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{cd} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rd,1}}{|M_{Sd,1} - M_{Sd,2}|} = 1,30 \cdot \frac{156,11}{|26,36 + 25,89|} = 3,88$$

$$M_{Sd,1}^x = 88,19 \cdot 2,22 = 195,78 \text{ kNm} \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

$$M_{Sd,2}^x = 80,45 \cdot 2,22 = 178,60 \text{ kNm} \rightarrow \text{Mjerodavno!}$$

$$M_{Sd,1}^y = 26,36 \cdot 3,88 = 102,28 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd,2}^y = 25,89 \cdot 3,88 = 100,45 \text{ kNm}$$

## 7.8. Dimenzioniranje stupova na ekscentrični tlak

### 7.8.1. Stup III/100

a) Trajna proračunska situacija

Maksimalna uzdužna sila + pripadajući moment savijanja

- Presjek gore

$$M_{Ed}^G = 12,66 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^G = -1833,36 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12,66 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,0099$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1833,36}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,573$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,00$$

- Presjek dolje

$$M_{Ed}^D = 27,86 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^D = -1850,64 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^D}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{27,86 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,022$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^D}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1850,64}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,579$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,00$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 1850,64}{43,48} = 6,38 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 4,80 \text{ cm}^2 \\ 4\Phi 12\text{mm} (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right.$$

$$A_{s,min} = 7,50 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

- Presjek gore

$$M_{Ed}^G = 209,06 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^G = -1285,76 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{209,06 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,163$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1285,76}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,402$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,075$$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,075 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 5,52 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 5,52 = 11,04 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 40,0 \cdot 40,0$$

$$A_{s,min} = 16,0 \text{ cm}^2$$

Za stup III/100 odabire se armatura 2x3 $\phi$ 20 mm (18,85 cm<sup>2</sup>).

### 7.8.2. Stup III/200

a) Trajna proračunska situacija

Maksimalna uzdužna sila + pripadajući moment savijanja

- Presjek gore

$$M_{Ed}^G = 8,22 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^G = -1453,91 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8,22 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,0064$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1453,91}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,454$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,00$$

- Presjek dolje

$$M_{Ed}^D = 6,54 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^D = -1471,19 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^D}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{6,54 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,0051$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^D}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1471,19}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,46$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,00$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 1471,19}{43,48} = 5,08 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 4,80 \text{ cm}^2 \\ 4\Phi 12\text{mm} (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right.$$

$$A_{s,min} = 5,08 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

- Presjek gore

$$M_{Ed}^G = 182,15 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^G = -1027,92 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{182,15 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,142$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1027,92}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,321$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,04$$

- Presjek dolje

$$M_{Ed}^D = 164,58 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^D = -1040,72 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^D}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{164,58 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,129$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^D}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1040,72}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,325$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,025$$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 2,94 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 2,94 = 5,89 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 40,0 \cdot 40,0$$

$$A_{s,min} = 16,0 \text{ cm}^2$$

Za stup III/200 odabire se armatura 2x3φ20 mm (18,85 cm<sup>2</sup>).

### 7.8.3. Stup III/300

a) Trajna proračunska situacija

Maksimalna uzdužna sila + pripadajući moment savijanja

- Presjek gore

$$M_{Ed}^G = 9,42 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^G = -1078,82 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9,42 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,0074$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1078,82}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,337$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,00$$

- Presjek dolje

$$M_{Ed}^D = 7,52 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^D = -1096,10 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^D}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7,52 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,0059$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^D}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1096,10}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,343$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,00$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 1096,10}{43,48} = 3,78 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 4,80 \text{ cm}^2 \\ 4\Phi 12\text{mm} (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right.$$

$$A_{s,min} = 4,80 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

- Presjek gore

$$M_{Ed}^G = 182,19 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^G = -772,16 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{182,19 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,142$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-772,16}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,241$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,06$$

- Presjek dolje

$$M_{Ed}^D = 192,45 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^D = -784,96 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^D}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{192,45 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,150$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^D}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-784,96}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,245$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,075$$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,075 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 5,52 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 5,52 = 11,04 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 40,0 \cdot 40,0$$

$$A_{s,min} = 16,0 \text{ cm}^2$$

Za stup III/300 odabire se armatura 2x3φ20 mm (18,85 cm<sup>2</sup>).

### 7.8.4. Stup III/400

a) Trajna proračunska situacija

Maksimalna uzdužna sila + pripadajući moment savijanja

- Presjek gore

$$M_{Ed}^G = 14,51 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^G = -704,48 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14,51 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,011$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-704,48}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,220$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,00$$

- Presjek dolje

$$M_{Ed}^D = 12,84 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^D = -721,76 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^D}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12,84 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,010$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^D}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-721,76}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,226$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,00$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 721,76}{43,48} = 2,49 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 4,80 \text{ cm}^2 \\ 4\Phi 12\text{mm} (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right.$$

$$A_{s,min} = 4,80 \text{ cm}^2$$



b) Potresna proračunska situacija

Maksimalna uzdužna sila + pripadajući moment savijanja

- Presjek gore

$$M_{Ed}^G = 195,78 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^G = -515,07 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{195,78 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,153$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-515,07}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,161$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,10$$

- Presjek dolje

$$M_{Ed}^D = 192,44 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^D = -527,87 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^D}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{192,44 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,150$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^D}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-527,87}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,164$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,10$$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,10 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 7,36 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 7,36 = 14,72 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 40,0 \cdot 40,0$$

$$A_{s,min} = 16,0 \text{ cm}^2$$

Za stup III/400 odabire se armatura 2x3 $\phi$ 20 mm (18,85 cm<sup>2</sup>).

### 7.8.5. Stup III/500

a) Trajna proračunska situacija

Maksimalna uzdužna sila + pripadajući moment savijanja

- Presjek dolje

$$M_{Ed}^D = 12,79 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^D = -348,81 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{12,79 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,099$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-348,81}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,110$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,00$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,15 \cdot 348,81}{43,48} = 1,20 \text{ cm}^2 \\ 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 4,80 \text{ cm}^2 \\ 4\Phi 12\text{mm} (4,52 \text{ cm}^2) \end{array} \right.$$

$$A_{s,min} = 4,80 \text{ cm}^2$$

b) Potresna proračunska situacija

Maksimalna uzdužna sila + pripadajući moment savijanja

- Presjek dolje

$$M_{Ed}^D = 178,60 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^D = -269,05 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}^G}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{178,60 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2,0} = 0,14$$

$$\vartheta_{Ed} = \frac{N_{Ed}^G}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-269,05}{40 \cdot 40 \cdot 2,0} = -0,084$$

$$\text{za } \mu_{Ed} \text{ i } \vartheta_{Ed} \rightarrow \omega = 0,01$$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0,10 \cdot \frac{2,0}{43,48} \cdot 40,0 \cdot 40,0 = 7,36 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2 \cdot 7,36 = 14,72 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je najmanja armatura:

$$A_{s,min} = 0,01 \cdot b \cdot h = 0,01 \cdot 40,0 \cdot 40,0$$

$$A_{s,min} = 16,0 \text{ cm}^2$$

Za stup III/400 odabire se armatura 2x3 $\phi$ 20 mm (18,85 cm<sup>2</sup>).

## 7.9. Dimenzioniranje stupova na poprečnu silu

### 7.9.1. Stup III/100

Poprečna sila  $V_{Ed,1}$ :

$$V_{Ed,1} = \frac{Y_{Rd} \cdot (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} \quad (67)$$

gdje je:

$M_{Rd,1}, M_{Rd,2}$  – momenti na gornjem i donjem kraju stupa

$l_{cl}$  – svjetla duljina stupa

$l_{cl}$  – svjetla duljina stupa  $l_{cl} = 2,98$  m (očitano iz nacрта poprečnog presjeka)

Odabrana armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 18,85 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed,1} = -1833,36 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,2} = -1850,64 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{18,85}{40,0 \cdot 40,0} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,256$$

$$v_{Ed,1} = \frac{N_{Ed,1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1833,36}{40 \cdot 35,5 \cdot 2,0} = -0,646$$

$$v_{Ed,2} = \frac{N_{Ed,2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1850,64}{40 \cdot 35,5 \cdot 2,0} = -0,652$$

$$\mu_{Ed,1} = f(\omega, v_{Ed,1}) = 0,275$$

$$\mu_{Ed,2} = f(\omega, v_{Ed,2}) = 0,275$$

$$M_{Rd,1} = M_{Rd,2} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,275 \cdot 40,0 \cdot 40,0^2 \cdot 2,0 = 35200 \text{ kNcm} = 352,00 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{1,10 \cdot (2 \cdot 352,0)}{2,98} = 259,87 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,max}$$

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(ctg\theta + tg\theta)} = \frac{1,0 \cdot 40,0 \cdot (0,90 \cdot 35,5) \cdot 0,53 \cdot 2,0}{1,20 + \frac{1}{1,20}} = 666,24 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = 259,87 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 666,24 \text{ kN}$$

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

reznost  $m = 4$  pretpostavljen promjer vilica  $\phi 8$  mm.

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,50 \cdot 4}{40,0 \cdot 0,0010} = 50,00 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$0,30 \cdot V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,60 \cdot V_{Rd,max}$$

$$199,87 \text{ kN} \leq 259,87 \text{ kN} < 399,74 \text{ kN}$$

$$s_{l,max} = \min \begin{cases} 0,55 \cdot d = 0,75 \cdot 35,5 = 19,53 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{cases}$$

$$s_{l,max} = 19,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8\text{mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 19,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 4}{19,0} \cdot 0,90 \cdot 35,5 \cdot 43,48 \cdot 1,20 = 175,48 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$259,87 \text{ kN} \geq 175,48 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 4 \cdot 0,90 \cdot 35,5 \cdot 43,48}{259,87} \cdot 1,20 = 12,83 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 12,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura:  $\phi 8/12,0 \text{ cm}$ .

### 7.9.2. Stup III/200

$$l_{cl} = 2,97 \text{ m (očitano iz nacрта poprečnog presjeka)}$$

Odabrana armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 18,85 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed,1} = -1453,91 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,2} = -1471,19 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{18,85}{40,0 \cdot 40,0} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,256$$

$$v_{Ed,1} = \frac{N_{Ed,1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1453,91}{40 \cdot 35,5 \cdot 2,0} = -0,512$$

$$v_{Ed,2} = \frac{N_{Ed,2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1471,19}{40 \cdot 35,5 \cdot 2,0} = -0,518$$

$$\mu_{Ed,1} = f(\omega, v_{Ed,1}) = 0,32$$

$$\mu_{Ed,2} = f(\omega, v_{Ed,2}) = 0,32$$

$$M_{Rd,1} = M_{Rd,2} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,32 \cdot 40,0 \cdot 40,0^2 \cdot 2,0 = 40960 \text{ kNcm} = 409,60 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{1,10 \cdot (2 \cdot 409,60)}{2,97} = 303,41 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,max}$$

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = 666,24 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = 303,41 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 666,24 \text{ kN}$$

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

reznost  $m = 4$  pretpostavljen promjer vilica  $\phi 8$  mm.

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{b \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,50 \cdot 4}{40,0 \cdot 0,0010} = 50,00 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$0,30 \cdot V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,60 \cdot V_{Rd,max}$$

$$199,87 \text{ kN} \leq 303,41 \text{ kN} < 399,74 \text{ kN}$$

$$s_{l,max} = \min \begin{cases} 0,55 \cdot d = 0,75 \cdot 35,5 = 19,53 \text{ cm} \\ 30,0 \text{ cm} \end{cases}$$

$$s_{l,max} = 19,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8\text{mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 19,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{s_{l,max}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 4}{19,0} \cdot 0,90 \cdot 35,5 \cdot 43,48 \cdot 1,20 = 175,48 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$303,41 \text{ kN} > 175,48 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 4 \cdot 0,90 \cdot 35,5 \cdot 43,48}{303,41} \cdot 1,20 = 10,99 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 10,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura:  $\phi 8/10 \text{ cm}$ .



### 7.9.3. Stup III/300

$$l_{cl} = 2,97 \text{ m (očitano iz nacрта poprečnog presjeka)}$$

Odabrana armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 8.21 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed,1} = -1078,82 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,2} = -1096,10 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{18,85}{40,0 \cdot 40,0} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,256$$

$$v_{Ed,1} = \frac{N_{Ed,1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1078,82}{40 \cdot 35,5 \cdot 2,0} = -0,380$$

$$v_{Ed,2} = \frac{N_{Ed,2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-1096,10}{40 \cdot 35,5 \cdot 2,0} = -0,386$$

$$\mu_{Ed,1} = f(\omega, v_{Ed,1}) = 0,31$$

$$\mu_{Ed,2} = f(\omega, v_{Ed,2}) = 0,31$$

$$M_{Rd,1} = M_{Rd,2} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,31 \cdot 40,0 \cdot 40,0^2 \cdot 2,0 = 39680 \text{ kNcm} = 396,80 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1,10 \cdot (2 \cdot 396,80)}{2,97} = 293,93 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = 666,24 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 293,93 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 666,24 \text{ kN}$$

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

reznost  $m = 4$  pretpostavljen promjer vilica  $\phi 8$  mm.

$$s_{l,max} = 50,00 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$0,30 \cdot V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,60 \cdot V_{Rd,max}$$

$$199,87 \text{ kN} \leq 293,93 \text{ kN} < 399,74 \text{ kN}$$

$$s_{l,max} = 19,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8 \text{ mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 19,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = 128,23 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$293,93 \text{ kN} > 175,48 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 4 \cdot 0,90 \cdot 35,5 \cdot 43,48}{293,93} \cdot 1,20 = 11,34 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 11,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura:  $\phi 8/11 \text{ cm}$ .

### 7.9.4. Stup III/400

$$l_{cl} = 2,97 \text{ m (očitano iz nacрта poprečnog presjeka)}$$

Odabrana armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 18,85 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed,1} = -704,48 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,2} = -721,76 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{18,85}{40,0 \cdot 40,0} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,256$$

$$v_{Ed,1} = \frac{N_{Ed,1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-704,48}{40 \cdot 35,5 \cdot 2,0} = -0,248$$

$$v_{Ed,2} = \frac{N_{Ed,2}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-721,76}{40 \cdot 35,5 \cdot 2,0} = -0,254$$

$$\mu_{Ed,1} = f(\omega, v_{Ed,1}) = 0,32$$

$$\mu_{Ed,2} = f(\omega, v_{Ed,2}) = 0,32$$

$$M_{Rd,1} = M_{Rd,2} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,32 \cdot 40,0 \cdot 40,0^2 \cdot 2,0 = 40960 \text{ kNcm} = 409,60 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{1,10 \cdot (2 \cdot 409,60)}{2,97} = 303,41 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = 666,24 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 303,41 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 666,24 \text{ kN}$$

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

reznost  $m = 4$  pretpostavljen promjer vilica  $\phi 8$  mm.

$$s_{l,max} = 50,00 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$0,30 \cdot V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,60 \cdot V_{Rd,max}$$

$$199,87 \text{ kN} \leq 303,41 \text{ kN} < 399,74 \text{ kN}$$

$$s_{l,max} = 19,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\phi 8 \text{ mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 19,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = 128,23 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$303,41 \text{ kN} > 175,48 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 4 \cdot 0,90 \cdot 35,5 \cdot 43,48}{303,41} \cdot 1,20 = 10,99 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 10,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura:  $\phi 8/10 \text{ cm}$ .

### 7.9.5. Stup III/500

$$l_{cl} = 2,97 \text{ m (očitano iz nacрта poprečnog presjeka)}$$

Odabrana armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = 18,85 \text{ cm}^2$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed,1} = -348,81 \text{ kN}$$

$$\omega = \frac{A_{s1}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{18,85}{40,0 \cdot 40,0} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,256$$

$$v_{Ed,1} = \frac{N_{Ed,1}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{-348,81}{40 \cdot 35,5 \cdot 2,0} = 0,123$$

$$\mu_{Ed,1} = f(\omega, v_{Ed,1}) = 0,27$$

$$M_{Rd,1} = \mu_{Ed} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,27 \cdot 40,0 \cdot 40,0^2 \cdot 2,0 = 34560 \text{ kNcm} = 345,6 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{1,10 \cdot (2 \cdot 345,60)}{2,97} = 256,0 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente sa vertikalnom poprečnom armaturom ( $\alpha = 90$ ):

$$V_{Rd,max} = 666,24 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 256,0 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 666,24 \text{ kN}$$

Najmanja poprečna armatura:

1. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  iz uvjeta najmanje poprečne armature:

reznost  $m = 4$  pretpostavljen promjer vilica  $\phi 8 \text{ mm}$ .

$$s_{l,max} = 50,00 \text{ cm}$$

2. Najveći uzdužni razmak poprečne armature  $s_{l,max}$  u ovisnost o proračunskoj poprečnoj sili  $V_{Ed}$ :

$$0,30 \cdot V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,60 \cdot V_{Rd,max}$$

$$199,87 \text{ kN} \leq 256,0 \text{ kN} < 399,74 \text{ kN}$$

$$s_{l,max} = 19,0 \text{ cm}$$

Najmanja poprečna armatura:

$$\Phi 8\text{mm} \quad A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2 \quad s_{l,max} = 26,0 \text{ cm}$$

Proračun  $V_{Rd,s}^{min}$  za  $s_{l,max}$ :

$$V_{Rd,s}^{min} = 128,23 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \geq V_{Rd,s}^{min}$$

$$256,0 \text{ kN} > 175,48 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura:

$$s = \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot ctg\theta = \frac{0,50 \cdot 4 \cdot 0,90 \cdot 35,5 \cdot 43,48}{256,0} \cdot 1,20 = 13,02 \text{ cm}$$

Odabire se razmak spona:  $s = 12,0 \text{ cm}$

Odabrana armatura:  $\phi 8/12 \text{ cm}$ .

## 7.10. Kritično područje stupa

Kritično područje stupa nalazi se na udaljenosti  $l_{cl}$  mjereno od oba kraja stupa.

Duljina kritičnog područja stupa za razred duktilnosti konstrukcije DCM definira se na sljedećim izrazom:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c \\ \frac{l_{cl}}{6} \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right. \quad (68)$$

gdje je:

$h_c$  - najveća izmjera presjeka stupa

$l_{cl}$  - svijetla duljina stupa

Ukoliko je  $\frac{l_{cl}}{h_c} < 3$  cijela visina stupa ulazi u duljinu kritičnog područja stupa i u skladu s tim se armira.

Ukupni koeficijent uzdužnog armiranja  $\rho_l$  iznosi:

$$0,01 < \rho_l < 0,04$$

U simetričnim poprečnim presjecima predviđa se i simetrična armatura međutim preporučljivo je u području čvora stup greda predvidjeti najmanje jednu međušipku između krajnjih šipki.

U kritičnom području stupa treba zadovoljiti sljedeće uvjete:

- a) spone minimalnog promjera 6mm na razmaku  $s$ , u cilju spriječavanja lokalnog izvijanja
- b) oblik spona treba biti takav da se svojstva presjeka poboljšaju zbog troosnog stanja naprezanja prouzročenog sponama

Najveći razmak između susjednih uzdužnih šipki pridrţanih sponama ne smije biti veći od 200mm (za razred duktilnosti DCM).

Razmak spona u kritičnom području  $s$  za razred DCM iznosi:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_0}{2} \\ 175 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bl} \end{array} \right. \quad (69)$$

gdje je:

$b_0$  - najmanja izmjera betonske jezgre (unutar teţišta linije vanjske spona)

$d_{bl}$  - najmanji promjer uzduţne armature

**Stup u podrumskom dijelu građevine:**

Duljina kritičnog područja za DCM:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,40 \text{ m} \\ \frac{l_{cl}}{6} = \frac{2,65}{6} = 0,442 \text{ m} \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$l_{cr} = 44,20 \text{ cm} \approx 45,0 \text{ cm}$$

Razmak spona u kritičnom području za DCM:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{44,5}{2} = 22,25 \text{ cm} \\ 175 \text{ mm} = 17,5 \text{ cm} \\ 8 \cdot 20 = 160 \text{ mm} = 16,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s = 16,0 \text{ cm}$$

Odabrana poprečna armatura za stup u podrumskoj etaţi  $\phi 8/16$  cm na duljini kritičnog područja  $l_{cr} = 45,0$  cm.

U području preklopa a izvan kritičnog područja stupa potrebno je smanjiti minimalni razmak spona.



$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{50,0}{4} = 12,5 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$s = 10,0 \text{ cm}$$

Na duljini prijeklopa a izvan kritičnog područja odabrane su spone  $\phi 8/10$  cm.

Preostalu duljinu stupa potrebno je osigurati sponama na razmaku  $s_{max}$ .

$$s_{max} = 12 \cdot d_{bl,min} = 12 \cdot 2,0 = 24,0 \text{ cm}$$

Odabiru se spone  $\phi 8/24,0$  cm.

### **Stupovi na preostalim etažama:**

Duljina kritičnog područja za DCM:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,40 \text{ m} \\ \frac{l_{cl}}{6} = \frac{2,97}{6} = 0,495 \text{ m} \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$l_{cr} = 49,50 \text{ cm} \approx 50,0 \text{ cm}$$

Razmak spona u kritičnom području za DCM:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{34,5}{2} = 17,25 \text{ cm} \\ 175 \text{ mm} = 17,5 \text{ cm} \\ 8 \cdot 20 = 160 \text{ mm} = 16,0 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s = 16,0 \text{ cm}$$

Odabrana poprečna armatura za stup u podrumskoj etaži  $\phi 8/16$  cm na duljini kritičnog područja  $l_{cr} = 50,0$  cm.

U području preklopa a izvan kritičnog područja stupa potrebno je smanjiti minimalni razmak spona.

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{40,0}{4} = 10,0 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$s = 10,0 \text{ cm}$$

Na duljini prijeklopa a izvan kritičnog područja odabrane su spone  $\phi 8/10$  cm.

Preostalu duljinu stupa potrebno je osigurati sponama na razmaku  $s_{max}$ .

$$s_{max} = 12 \cdot d_{bl,min} = 12 \cdot 2,0 = 24,0 \text{ cm}$$

Odabiru se spone  $\phi 8/24,0$  cm.

Formalni dokaz lokalne duktilnosti u kritičnim područjima nije proveden jer je armiranobetonski okvir pridržan zidovima.

### 7.11. Dimenzioniranje zidova jezgri u kritičnom području ispod i iznad stropne ploče podruma

Pri pojavi potresa u konstrukciji dolazi do pojave neelastičnih deformacija, stoga je nužno osigurati duktilno ponašanje konstrukcije. Osobito je važno izbjeći pojavu krčkog sloma konstrukcije ili nekog njenog dijela i upravo zbog toga konstrukcije proračunavamo prema kapacitetu nosivosti. U slučaju armiranobetonskih zidova potrebno je osigurati da slom usred momenta savijanja nastane prije sloma poprečnim silama, isto tako potrebno je adekvatno sidriti i nastavljati armaturu. Za dimenzioniranje zidova mjerodavni su momenti savijanja uzdužna i poprečna sila u podnožju zida. Poprečnu silu potrebno je povećati ovisno o razredu duktilnosti konstrukcije. Povećanjem poprečne sile uzima se u obzir povećanje nosivosti zida na moment savijanja te doprinos viših vlastitih vibracija konstrukcije. Za umjereni razred duktilnosti DCM, kakav je i zadan u ovom projektu potrebno je poprečnu silu povećati za 50%. Armiranobetonski zidovi proračunavaju se za dominantni smjer potresnog djelovanja za područje iznad i ispod stropne ploče podruma. Dimenzioniranje se provodi za trajnu i potresnu proračunsku situaciju.

Osnovne geometrijske karakteristike zida Z1 i Z2:

- visina zida  $\rightarrow h_w = 18,65 \text{ m}$
- duljina presjeka zida  $\rightarrow l_w = 6,0 \text{ m}$
- površina zida  $\rightarrow A_w = l_w \cdot b_w = 6,0 \cdot 0,30 = 1,80 \text{ m}^2$
- svijetla katna visina  $\rightarrow h_s = 2,98 \text{ m}$  (iznad stropne ploče podruma)

Debljina hrpta zida mora zadovoljiti sljedeći uvjet:

$$b_{wo} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \text{ m} \\ \frac{h_s}{20} = \frac{2,98}{20} = 0,149 \text{ m} \end{array} \right. \rightarrow b_{wo} = 0,15 \text{ m}$$

Debljina slobodnog ruba zida mora zadovoljiti sljedeći uvjet:

$$b_w \geq \left\{ \frac{h_s}{15} = \frac{2,98}{15} = 0,20 \text{ m} \rightarrow b_w = 0,20 \text{ m} \right.$$

Projektom predviđena debljina zida iznosi 30 cm stoga su gornji uvjeti zadovoljeni!

Zaštitni sloj betona iznosi:  $c = 2,50 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature:  $d_1 = c + \frac{\Phi}{2} + \frac{150}{2} = 2,50 + 0,50 + 75,0 = 78,0 \text{ cm}$

Statička visina presjeka:  $d = l_w - d_1 = 600,0 - 78,0 = 522,0 \text{ cm}$

Visina kritičnog područja zida:

$$h_{cr} \geq \max \left\{ \frac{l_w}{6} \rightarrow \max \left\{ \begin{array}{l} 6,0 \text{ m} \\ \frac{18,65}{6} = 3,11 \text{ m} \end{array} \right. \right.$$

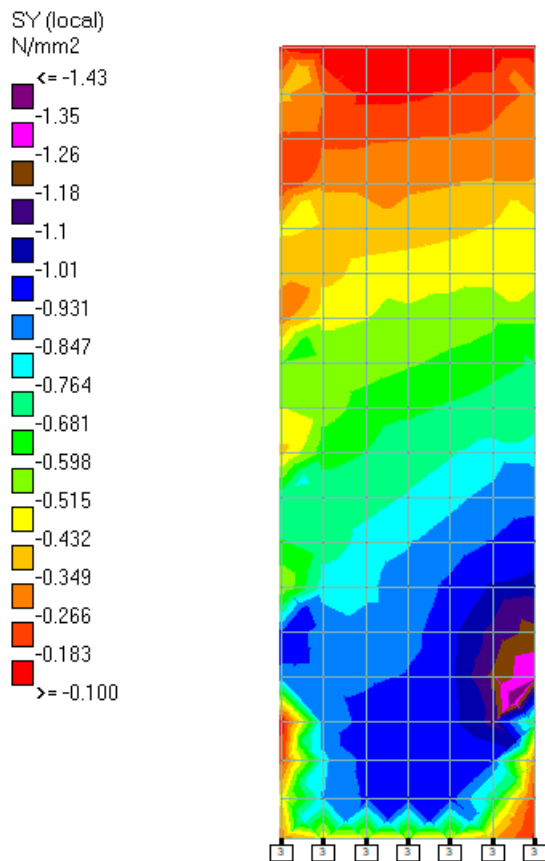
uz uvjet:

$$h_{cr} \leq \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot l_w \\ h_s, \text{ za } n \leq 6 \text{ katova} \\ 2 \cdot h_s, \text{ za } n \leq 7 \text{ katova} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot 6,0 \text{ m} = 12,0 \text{ m} \\ 2,98 \text{ m} \end{array} \right.$$

Mjerodavna visina kritičnog područja iznosi jednu katnu visinu:  $h_{cr} = 2,98 \text{ m}$ .

### 7.11.1. Zid POZ Z1, iznad stropne ploče podruma

Trajna proračunska situacija:



Slika 53. Vrijednost naprezanja  $S_y$  za određivanje momenta savijanja i uzdužne sile u zidu Z1 iznad stropne ploče podruma, trajna proračunska situacija

Površina presjeka zida:

$$A_w = 1800000,0 \text{ mm}^2$$

Moment otpora iznosi:

$$W_y = 1,80 \cdot 10^9 \text{ mm}^3$$

Moment savijanja u zidu:

$$M'_{Ed} = \sigma \cdot W_y = 0,475 \cdot 1,80 \cdot 10^9 = 8,55 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 855,0 \text{ kNm}$$

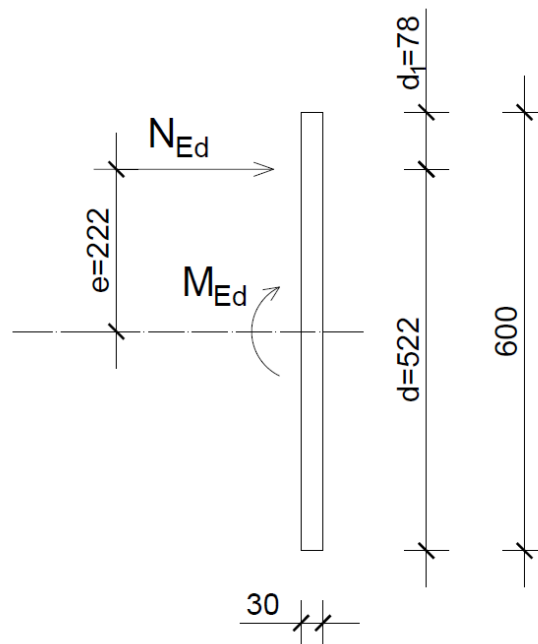
Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \sigma \cdot A_w = 1,10 \cdot 1800000,0 = 1980000 \text{ N} = 1980,0 \text{ kN}$$

Proračunski moment savijanja s obzirom na težište vlačne armature:

$$M_{Eds} = M'_{Ed} + N_{Ed} \cdot e = 855,0 + 1980,0 \cdot 2,22 = 5250,60 \text{ kNm}$$

Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu tlačnu silu:



$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5250,60 \cdot 100,0}{30,0 \cdot 522,0^2 \cdot 2,0} = 0,032$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Eds} = 0,039 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,049 \quad \zeta = 0,979$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{5250,60 \cdot 100,0}{0,979 \cdot 522,0 \cdot 43,48} - \frac{1980,0}{43,48} < 0$$

Najmanja vertikalna armatura u zidu:

$$A_{sv,min} = 0,001 \cdot A_c = 0,001 \cdot 100,0 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Maksimalni razmak vertikalne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot b_w \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot 30,0 = 90,0 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right.$$

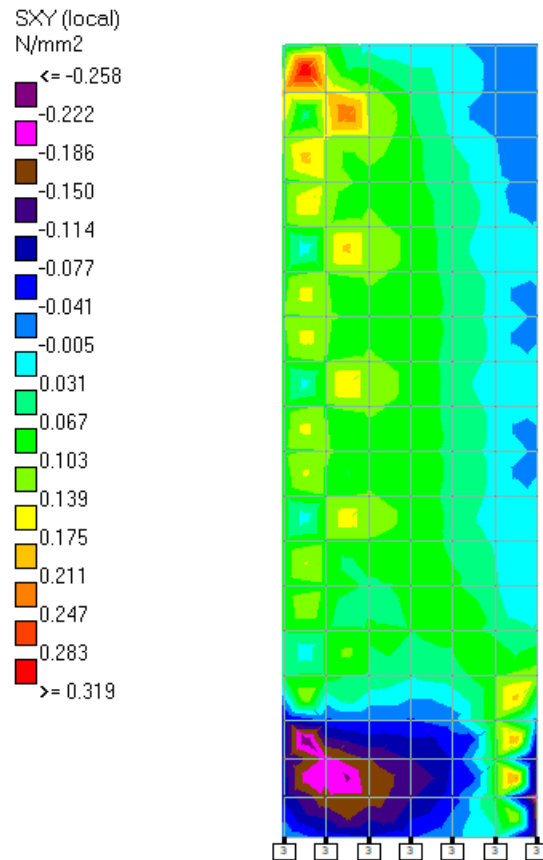
$$s = 40,0 \text{ cm}$$

Odabrana armatura:

$\phi 10/20\text{cm}$  ( $3,93 \text{ cm}^2/\text{m}'$ ) u svako lice zida

Dimenzioniranje na poprečnu silu:

Proračunska poprečna sila:



Slika 54. Vrijednost naprezanja  $S_{xy}$  za određivanje poprečne sile u zidu Z1 iznad stropne ploče podruma, trajna proračunska situacija

$$V_{Ed} = (0,12 + 0,048 + 0,001 + 0,006 + 0,038 + 0,18) \cdot 300,0 \cdot 1000,0 = 117,90 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti tlačnih štapova:

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

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

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$z = 0,90 \cdot d = 469,80 \text{ cm}$$



$$v_1 = 0,60 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 30,0 \cdot 469,80 \cdot 0,53 \cdot 2,0}{\left(1,20 + \frac{1}{1,20}\right)}$$

$$V_{Rd,max} = 7347,36 \text{ kN}$$

$$117,90 \text{ kN} \leq 7347,36 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura proračunava se iz uvjeta:

$$\phi 10\text{mm} \quad A_{sw} = 0,785 \text{ cm}^2 \quad \text{reznost } m = 2$$

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

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

$$s = \frac{0,785 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,90 \cdot 522,0) \cdot 1,20}{117,90}$$

$$s = 326,41 \text{ cm}$$

Odabire se:  $s = 20 \text{ cm}$

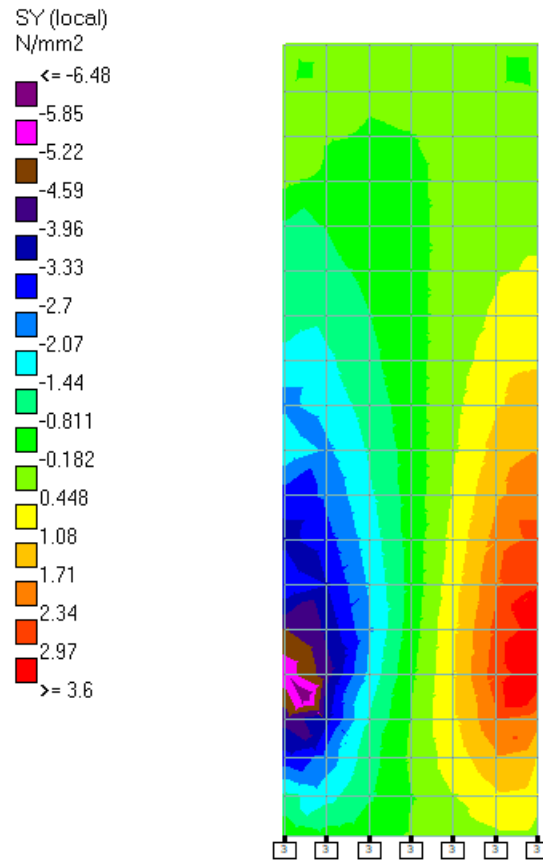
Odabrana horizontalna armatura u zidu:  $2 \times \phi 10/20 \text{ cm}$  ( $2 \times 3,93 \text{ cm}^2/\text{m}'$ )

Najmanja horizontalna armatura u zidu:

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot A_{sv} \\ 0,001 \cdot A_c \end{cases}$$

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot 3,93 = 0,98 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 \cdot 100,0 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{cases}$$

Potresna proračunska situacija:



Slika 55. Vrijednost naprezanja  $S_y$  za određivanje momenta savijanja i uzdužne sile u zidu Z1 iznad stropne ploče podruma, potresna proračunska situacija

Moment savijanja u zidu:

$$M'_{Ed} = \sigma \cdot W_y = \frac{(6,48 + 3,60)}{2} \cdot 1,80 \cdot 10^9 = 9,07 \cdot 10^9 \text{ Nmm} = 9072,0 \text{ kNm}$$

Moment savijanja koji proizlazi iz slučajnih torzijskih učinaka:

$$M''_{Ed} = 262,26 \cdot 3,20 + 217,04 \cdot 6,40 + 154,15 \cdot 9,60 + 94,79 \cdot 12,80 + 76,05 \cdot 16,0$$

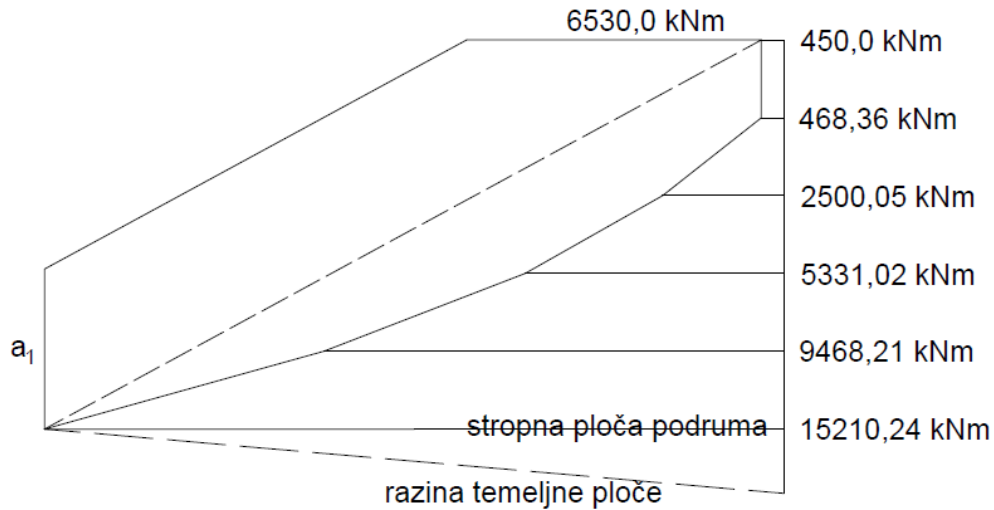
$$M''_{Ed} = 6138,24 \text{ kNm}$$

Vlačni pomak:

- udaljenost do težišta armature:  $d_1 = c + \frac{\Phi}{2} + \frac{90}{2} = 2,50 + 0,50 + 45,0 = 48,0 \text{ cm}$

- statička visina presjeka:  $d = l_w - d_1 = 600,0 - 48,0 = 552,0 \text{ cm}$

$$a_1 = d \cdot \text{ctg}(\theta) = 552,0 \cdot \text{ctg}(40) = 657,85 \text{ cm}$$



Slika 56. Proračunska ovojnica dijagrama momenata savijanja za zid Z1

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \sigma \cdot A_w = 1,44 \cdot 1800000,0 = 2592000 \text{ N} = 2592,0 \text{ kN}$$

Proračunski moment savijanja s obzirom na težište vlačne armature:

$$M_{Eds} = M'_{Ed} + M''_{Ed} + N_{Ed} \cdot e = 9072,0 + 6138,24 + 2592,0 \cdot 2,52 = 21742,08 \text{ kNm}$$

Provjera bezdimenzionalne uzdužne sile u zidu za razred DCM:

$$v_1 \leq 0,40$$

$$v_1 = \frac{N_{Ed}}{A_w \cdot f_{cd}} = \frac{2592,0}{30,0 \cdot 600,0 \cdot 2,0} = 0,072$$

$$0,072 < 0,40$$

Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu tlačnu silu:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{21742,08 \cdot 100}{30,0 \cdot 552,0^2 \cdot 2,0} = 0,119$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Eds} = 0,120$  →  $\xi = 0,159$   $\zeta = 0,934$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{21742,08 \cdot 100}{0,934 \cdot 552,0 \cdot 43,48} - \frac{2592,0}{43,48} = 37,38 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 13 $\phi$ 20 mm (40,84 cm<sup>2</sup>)

Najmanja vertikalna armatura hrpta zida:

$$A_{sv,min} = 0,001 \cdot A_c = 0,001 \cdot 100,0 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Maksimalni razmak vertikalne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot b_w \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot 30,0 = 90,0 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s = 40,0 \text{ cm}$$

Odabrana armatura:

$\phi$  10/20 cm (3,93 cm<sup>2</sup>/m') u svako lice zida

Dimenzioniranje na poprečnu silu:

$$V_{Ed} = \varepsilon \cdot V'_{Ed} \quad (70)$$

gdje je:

$V'_{Ed}$  – poprečna sila dobivena proračunom

$\varepsilon$  – koeficijent uvećanja poprečne sile

Koeficijent uvećanja poprečne sile može se dobiti sljedećim izrazom:

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,10 \cdot \left(\frac{S_e(T_c)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq q \quad (71)$$

gdje je:

$q$  – faktor ponašanja

$\gamma_{Rd}$  – faktor kojim se u obzir uzima ojačanje čelika

$M_{Rd}$  – proračunska otpornost na savijanje u podnožju zida

$S_e(T)$  – ordinata elastičnog spektra odziva;  $S_e(T) = 2,50 \cdot a_g \cdot \eta \cdot S \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

$a_g$  – proračunsko ubrzanje tla

$\eta$  – faktor korekcije prigušenja

$S$  – faktor tla

$T_C$  – gornja granica stalne vrijednosti spektralnog odziva

$T_1$  – osnovni period vibracije zgrade

Proračunska otpornost na savijanje:

$$M_{Rds} = M_{Rd} + N_{Ed} \cdot z_1$$

$$M_{Rd} = M_{Rds} - N_{Ed} \cdot z_1$$

Za određivanje omjera  $\omega_1$  primjenjeni su izrazi dobiveni prema metodi Wutzkowsky:

$$\omega_1 = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd} + N_{Ed}}{f_{cd} \cdot b \cdot d} = \frac{37,38 \cdot 43,48 + 2592,0}{2,0 \cdot 30,0 \cdot 552,0} = 0,127$$

- očitanjem iz tablica slijedi da je  $\mu_{Eds} = \mu_{Rds} = 0,120$      $\xi = 0,159$      $\zeta = 0,934$

$$M_{Rds} = \mu_{Rds} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,120 \cdot 30,0 \cdot 552,0^2 \cdot 2,0 = 21938,69 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = M_{Rds} - N_{Ed} \cdot z_1 = 21938,69 - 2592,0 \cdot 2,52 = 15406,85 \text{ kNm}$$

$$S_e(T_C) = 2,50 \cdot a_g \cdot \eta \cdot S \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right) = 2,50 \cdot 0,21 \cdot 9,81 \cdot 1,0 \cdot 1,20 \cdot \left(\frac{0,50}{0,50}\right) = 6,18$$

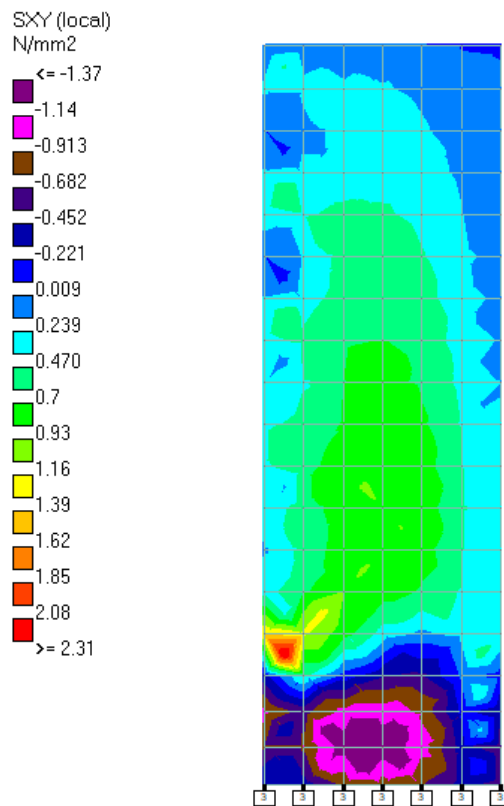
$$S_e(T_1) = 2,50 \cdot a_g \cdot \eta \cdot S \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right) = 2,50 \cdot 0,21 \cdot 9,81 \cdot 1,0 \cdot 1,20 \cdot \left(\frac{0,50}{0,78}\right) = 3,96$$

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,10 \cdot \left(\frac{S_e(T_C)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq q$$

$$\varepsilon = 3,60 \cdot \sqrt{\left(\frac{1,10}{3,60} \cdot \frac{15406,85}{15210,24}\right)^2 + 0,10 \cdot \left(\frac{6,18}{3,96}\right)^2} = 2,10 < 3,60$$

$$\varepsilon = 2,10$$

Proračunska poprečna sila:



Slika 57. Vrijednost naprezanja  $S_{xy}$  za određivanje poprečne sile u zidu Z1 iznad stropne ploče podruma, potresna proračunska situacija

$$V_{Ed}' = (2,31 + 0,83 + 0,28 + 0,29 + 0,18 + 0,53) \cdot 300,0 \cdot 1000,0 = 1326,0 \text{ kN}$$

Proračunska poprečna sila zbog utjecaja slučajnih torzijskih učinaka:

$$V_{Ed}'' = 804,29 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \varepsilon \cdot (V_{Ed}' + V_{Ed}'')$$

$$V_{Ed} = 2,10 \cdot (1326,0 + 804,29) = 4473,61 \text{ kN}$$

Proračunska poprečna sila prema kapacitetu nosivosti:

$$V_{Ed} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot M_{Rd}}{h_s} = \frac{1,10 \cdot 15406,85}{2,65} = 6395,30 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti tlačnih štapova:

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

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

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$z = 496,80 \text{ cm}$$

$$v_1 = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 7769,63 \text{ kN}$$

$$6395,30 \text{ kN} \leq 7769,63 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura proračunava se iz uvjeta:

$$\phi 12\text{mm} \quad A_{sw} = 1,13 \text{ cm}^2 \quad \text{reznost } m = 2$$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot m \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \text{ctg}\theta}{s}$$

$$s = \frac{1,13 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,90 \cdot 552,0) \cdot 1,20}{6395,30}$$

$$s = 9,16 \text{ cm}$$

Odabire se:  $s = 9 \text{ cm}$

Odabrana horizontalna armatura u zidu:  $2 \times \phi 12/9 \text{ cm}$  ( $2 \times 12,57 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Ograničenje razmaka spona:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_0}{2} = \frac{30,0 - 2,5 \cdot 2}{2} = 12,50 \text{ cm} \\ 175 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bl} = 8 \cdot 12 = 96,0 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$s = 9,6 \text{ cm}$$

Minimalna duljina ovijenog rubnog elementa:

$$l_c = l_{c,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \cdot l_w = 0,15 \cdot 600,0 = 90,0 \text{ cm} \\ 1,50 \cdot b_w = 1,50 \cdot 30,0 = 45,0 \text{ cm} \end{array} \right. \rightarrow l_{c,min} = 90,0 \text{ cm}$$

Vertikalna armatura hrpta:

$$s_w = \frac{A_w}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,785 \cdot 2}{30,0 \cdot 0,002} = 26,17 \text{ cm}$$

Odabire se:  $\phi 10/20 \text{ cm}$  ( $3,93 \text{ cm}^2$ ).

### Ovijeni rubni element

Duljina ovijenog rubnog elementa:

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

Bezimenzijska veličina osne sile:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_w \cdot f_{cd}} = \frac{2592,0}{30,0 \cdot 600,0 \cdot 2,0} = 0,072$$



Koeficijent armiranja hrpta vertikalnom armaturom:

$$\rho_v = \frac{A_v}{b_{wo} \cdot s_v} = \frac{2 \cdot 3,93}{30,0 \cdot 100,0} = 0,0026$$

Mehanički koeficijent armiranja hrpta:

$$\omega_v = \frac{\rho_v \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,0026 \cdot 43,48}{2,0} = 0,057$$

Visina tlačnog područja poprečnog presjeka zida:

$$x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_c}{b_0} = (0,072 + 0,057) \cdot \frac{6000,0 \cdot 300,0}{250,0} = 928,80 \text{ mm} = 92,88 \text{ cm}$$

Faktor učinkovitosti ovijanja presjeka:

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

$$\alpha_n = \left(1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{4 \cdot 18^2}{6 \cdot 25 \cdot 90}\right) = 0,904$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{12}{2 \cdot 25}\right) \cdot \left(1 - \frac{12}{2 \cdot 90}\right) = 0,709$$

$$\alpha = 0,904 \cdot 0,709 = 0,641$$

Mehanički obujamski omjer spona za ovijanje i betonske jezgre unutar kritičnog područja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam spona za ovijanje}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2 \cdot (25 + 90) \cdot 0,785}{25 \cdot 90 \cdot 12} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,145$$

Granična deformacija ovijenog betona:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,10 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,0035 + 0,10 \cdot 0,641 \cdot 0,145 = 0,0128$$

Potreban faktor duktilnosti:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1, \text{ za } T_1 > T_c$$

Prvi period vibracije:  $T_1 = 0,843$  s

Za razred tla B:  $T_c = 0,50$  s

$$\mu_\varphi = (2 \cdot 3,6 - 1) \cdot 1,50 = 9,30$$

Proračunska vrijednost deformacije vlačne armature na granici popuštanja:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,80}{210000,0} = 0,00207 = 0,207\%$$

Provjera potrebne zakrivljenosti presjeka u području plastičnog zgloba:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\varphi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

$$0,641 \cdot 0,145 \geq 30 \cdot 9,30 \cdot (0,072 + 0,057) \cdot 0,00207 \cdot \frac{30,0}{25,0} - 0,035$$

$$0,093 \geq 0,054 \rightarrow \text{zid zadovoljava uvjete lokalne duktilnosti za DCM}$$

Duljina ovijenog rubnog elementa:

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

$$l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 928,80 \cdot \left(1 - \frac{0,0035}{0,0128}\right) = 674,83 \text{ mm} = 67,48 \text{ cm} < 90,0 \text{ cm}$$

### 7.11.2. Zid POZ Z2, ispod stropne ploče podruma

Trajna proračunska situacija:

Površina presjeka zida:

$$A_w = 1800000,0 \text{ mm}^2$$

Moment otpora iznosi:

$$W_y = 1,80 \cdot 10^9 \text{ mm}^3$$

Moment savijanja u zidu:

$$M'_{Ed} = \sigma \cdot W_y = 0,67 \cdot 1,80 \cdot 10^9 = 1,21 \cdot 10^9 \text{ Nmm} = 1206,0 \text{ kNm}$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \sigma \cdot A_w = 3,55 \cdot 1800000,0 = 6390000 \text{ N} = 6390,0 \text{ kN}$$

Proračunski moment savijanja s obzirom na težište vlačne armature:

$$M_{Eds} = M'_{Ed} + N_{Ed} \cdot e = 1206,0 + 6390,0 \cdot 2,22 = 15391,80 \text{ kNm}$$

Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu tlačnu silu:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{15391,80 \cdot 100}{30,0 \cdot 522,0^2 \cdot 2,0} = 0,094$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Eds} = 0,096 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,125 \quad \zeta = 0,948$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{15391,80 \cdot 100}{0,948 \cdot 522,0 \cdot 43,48} - \frac{6390,0}{43,48} < 0$$

Najmanja vertikalna armatura u zidu:

$$A_{sv,min} = 0,001 \cdot A_c = 0,001 \cdot 30,0 \cdot 100,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Maksimalni razmak vertikalne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot b_w \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot 30,0 = 90,0 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s = 40,0 \text{ cm}$$

Odabrana armatura:

$\phi 10/20\text{cm}$  ( $3,93 \text{ cm}^2/\text{m}'$ ) u svako lice zida

Dimenzioniranje na poprečnu silu:

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = (0,22 + 0,11 + 0,03 + 0,38 + 0,45 + 0,17) \cdot 300,0 \cdot 1000,0 = 408,0 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti tlačnih štapova:

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

$$V_{Rd,max} = 7347,36 \text{ kN}$$

$$408,0 \text{ kN} < 7347,36 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura proračunava se iz uvjeta:

$$\phi 10\text{mm} \quad A_{sw} = 0,785 \text{ cm}^2 \quad \text{reznost } m = 2$$

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

$$s = \frac{0,785 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,90 \cdot 522,0) \cdot 1,20}{408,0}$$

$$s = 94,32 \text{ cm}$$

Odabire se:  $s = 20 \text{ cm}$

Odabrana horizontalna armatura u zidu:  $2 \times \phi 10/20 \text{ cm}$  ( $2 \times 3,93 \text{ cm}^2/\text{m}'$ )

Minimalna horizontalna armatura u zidu:

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot A_{sv} \\ 0,001 \cdot A_c \end{cases}$$

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot 3,93 = 0,98 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 \cdot 100,0 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{cases}$$

Potresna proračunska situacija:

Moment savijanja u zidu:

$$M'_{Ed} = \sigma \cdot W_y = \frac{(7,83 + 2,73)}{2} \cdot 1,80 \cdot 10^9 = 9,504 \cdot 10^9 \text{ Nmm} = 9504,0 \text{ kNm}$$

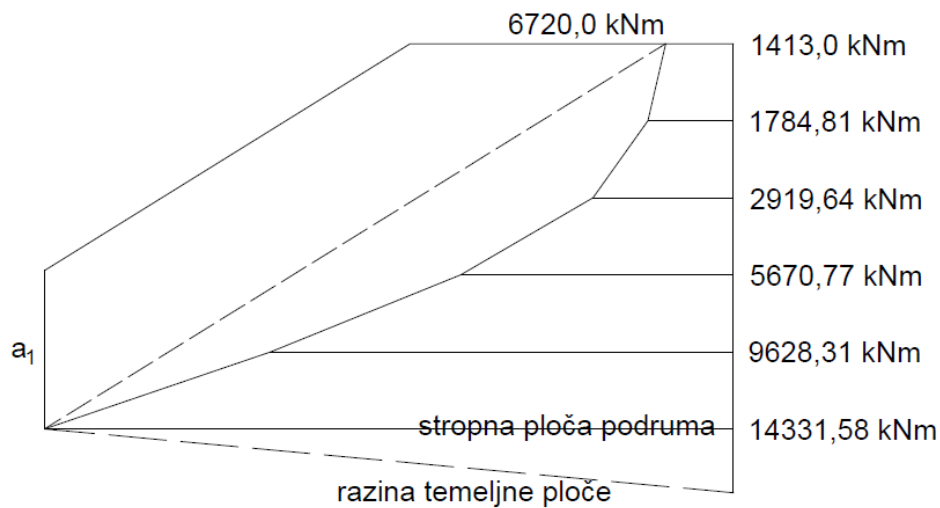
Moment savijanja koji proizlazi iz slučajnih torzijskih učinaka:

$$M''_{Ed} = 210,46 \cdot 3,20 + 169,20 \cdot 6,40 + 119,22 \cdot 9,60 + 75,60 \cdot 12,80 + 59,94 \cdot 16,0$$

$$M''_{Ed} = 4827,58 \text{ kN}$$

Vlačni pomak:

$$a_1 = 657,85 \text{ cm}$$



Slika 58. Proračunska ovojnica dijagrama momenata savijanja za zid Z2

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \sigma \cdot A_w = 2,55 \cdot 1800000,0 = 4590000 \text{ N} = 4590,0 \text{ kN}$$

Proračunski moment savijanja s obzirom na težište vlačne armature:

$$M_{Eds} = M'_{Ed} + M''_{Ed} + N_{Ed} \cdot e = 9504,0 + 4827,58 + 4590,0 \cdot 2,52 = 25898,38 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska osna sila za zidove razreda duktilnosti DCM mora zadovoljiti sljedeći uvjet:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_w \cdot f_{cd}} = \frac{4590,0}{30,0 \cdot 600,0 \cdot 2,0} = 0,13 < 0,40$$

Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu tlačnu silu:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{25898,38 \cdot 100}{30,0 \cdot 552,0^2 \cdot 2,0} = 0,142$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Eds} = 0,145 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,194 \quad \zeta = 0,919$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{25898,38 \cdot 100}{0,919 \cdot 552,0 \cdot 43,48} - \frac{4590,0}{43,48} = 11,85 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je najmanja armatura koja se proračunava prema izrazima danim u EC2:

$$A_{s,min} = 0,005 \cdot A_w = 0,005 \cdot 90,0 \cdot 30,0 = 13,50 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 7 $\phi$ 16 mm (14,07 cm<sup>2</sup>)

Najmanja vertikalna armatura zida:

$$A_{sw,min} = 0,001 \cdot A_w = 0,001 \cdot 100,0 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Maksimalni razmak vertikalne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot b_w \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot 30,0 = 90,0 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s = 40,0 \text{ cm}$$

Odabrana armatura:

$\phi$  10/20 cm (3,93 cm<sup>2</sup>/m') u svako lice zida

Dimenzioniranje na poprečnu silu:

$$V_{Ed} = \varepsilon \cdot V'_{Ed}$$

gdje je:

$V'_{Ed}$  – poprečna sila dobivena proračunom

$\varepsilon$  – koeficijent uvećanja poprečne sile

Koeficijent uvećanja poprečne sile:

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,10 \cdot \left(\frac{S_e(T_C)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq q$$

Proračunska otpornost na savijanje:

$$M_{Rds} = M_{Rd} + N_{Ed} \cdot z_1$$

$$M_{Rd} = M_{Rds} - N_{Ed} \cdot z_1$$

Za određivanje omjera  $\omega_1$  primjenjeni su izrazi dobiveni prema metodi Wutzkowsky:

$$\omega_1 = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd} + N_{Ed}}{f_{cd} \cdot b \cdot d} = \frac{13,50 \cdot 43,48 + 4590,0}{2,0 \cdot 30,0 \cdot 552,0} = 0,156$$

- očitanjem iz tablica slijedi da je  $\mu_{Eds} = \mu_{Rds} = 0,145$      $\xi = 0,194$      $\zeta = 0,919$

$$M_{Rds} = \mu_{Rds} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,145 \cdot 30,0 \cdot 552,0^2 \cdot 2,0 = 26509,25 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = M_{Rds} - N_{Ed} \cdot z_1 = 26509,25 - 4590,0 \cdot 2,52 = 14942,45 \text{ kNm}$$

$$S_e(T_C) = 6,18$$

$$S_e(T_1) = 3,96$$

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\left(\frac{Y_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,10 \cdot \left(\frac{S_e(T_c)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq q$$

$$\varepsilon = 3,60 \cdot \sqrt{\left(\frac{1,10}{3,60} \cdot \frac{14942,45}{14331,58}\right)^2 + 0,10 \cdot \left(\frac{6,18}{3,96}\right)^2} = 2,11 > 3,60$$

$$\varepsilon = 2,11$$

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed}' = (0,66 + 0,34 + 0,43 + 0,59 + 0,09 + 0,02) \cdot 300,0 \cdot 1000,0 = 639,0 \text{ kN}$$

Proračunska poprečna sila zbog slučajnih torzijskih učinaka:

$$V_{Ed}'' = 634,42 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \varepsilon \cdot (V_{Ed}' + V_{Ed}'')$$

$$V_{Ed} = 2,11 \cdot (639,0 + 643,42) = 2705,91 \text{ kN}$$

Proračunska poprečna sila prema kapacitetu nosivosti:

$$V_{Ed} = \frac{Y_{Rd} \cdot M_{Rd}}{h_s} = \frac{1,10 \cdot 14942,45}{2,65} = 6202,53 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti tlačnih štapova:

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

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

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$z = 496,80 \text{ cm}$$

$$v_1 = 0,53$$



$$V_{Rd,max} = 7769,63 \text{ kN}$$

$$6202,53 \text{ kN} < 7769,63 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura proračunava se iz uvjeta:

$$\phi 12 \text{ mm} \quad A_{sw} = 1,13 \text{ cm}^2 \quad \text{reznost } m = 2$$

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

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

$$s = \frac{1,13 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,90 \cdot 552,0) \cdot 1,20}{6202,53}$$

$$s = 9,44 \text{ cm}$$

Odabire se:  $s = 9 \text{ cm}$

Odabrana horizontalna armatura u zidu:  $2 \times \phi 12/9 \text{ cm}$  ( $2 \times 12,57 \text{ cm}^2/\text{m}'$ )

Minimalna horizontalna armatura u zidu:

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot A_{sv} \\ 0,001 \cdot A_c \end{cases}$$

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot 3,93 = 0,98 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 \cdot 100,0 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{cases}$$

Ograničenje razmaka spona:

$$s = \min \begin{cases} \frac{b_0}{2} = \frac{30,0 - 2,5 \cdot 2}{2} = 12,50 \text{ cm} \\ 175 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bl} = 8 \cdot 16 = 128,0 \text{ mm} \end{cases}$$

Odabire se  $s = 12,0 \text{ cm}$

Minimalna duljina ovijenog rubnog elementa:

$$l_{c,min} = 90,0 \text{ cm}$$

Vertikalna armatura hrpta:

$$s_w = \frac{A_w}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,785 \cdot 2}{30,0 \cdot 0,002} = 26,17 \text{ cm}$$

Odabire se:  $\phi 10/20 \text{ cm}$  ( $3,93 \text{ cm}^2$ ).

### Ovijeni rubni element

Duljina ovijenog rubnog elementa:

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

Bezdimenzijska veličina osne sile:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_w \cdot f_{cd}} = \frac{4590,0}{30,0 \cdot 600,0 \cdot 2,0} = 0,128$$

Koeficijent armiranja hrpta vertikalnom armaturom:

$$\rho_v = \frac{A_v}{b_{wo} \cdot s_v} = \frac{2 \cdot 3,93}{30,0 \cdot 100,0} = 0,0026$$

Mehanički koeficijent armiranja hrpta:

$$\omega_v = \frac{\rho_v \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,0026 \cdot 43,48}{2,0} = 0,057$$

Visina tlačnog područja poprečnog presjeka zida:

$$x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_c}{b_0} = (0,128 + 0,057) \cdot \frac{6000,0 \cdot 300,0}{250,0} = 1332,00 \text{ mm} = 133,20 \text{ cm}$$

Faktor učinkovitosti ovijanja presjeka:

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

$$\alpha_n = \left(1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{3 \cdot 29,30^2}{6 \cdot 25 \cdot 90}\right) = 0,809$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{12}{2 \cdot 25}\right) \cdot \left(1 - \frac{12}{2 \cdot 90}\right) = 0,709$$

$$\alpha = 0,809 \cdot 0,709 = 0,574$$

Mehanički obujamski omjer spona za ovijanje i betonske jezgre unutar kritičnog područja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam spona za ovijanje}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2 \cdot (25 + 90) \cdot 0,785}{25 \cdot 90 \cdot 12} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,145$$

Granična deformacija ovijenog betona:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,10 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,0035 + 0,10 \cdot 0,574 \cdot 0,145 = 0,012$$

Potreban faktor duktilnosti:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1, \text{ za } T_1 > T_C$$

Prvi period vibracije:  $T_1 = 0,843$  s

Za razred tla B:  $T_C = 0,50$  s

$$\mu_\varphi = (2 \cdot 3,6 - 1) \cdot 1,50 = 9,30$$

Proračunska vrijednost deformacije vlačne armature na granici popuštanja:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,80}{210000,0} = 0,00207 = 0,207\%$$

Provjera potrebne zakrivljenosti presjeka u području plastičnog zgloba:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\varphi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

$$0,574 \cdot 0,145 \geq 30 \cdot 9,30 \cdot (0,128 + 0,057) \cdot 0,00207 \cdot \frac{30,0}{25,0} - 0,035$$

$0,083 \geq 0,075 \rightarrow$  zid zadovoljava uvjete lokalne duktilnosti za DCM

Duljina ovijenog rubnog elementa:

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

$$l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 1332,00 \cdot \left(1 - \frac{0,0035}{0,012}\right) = 943,50 \text{ mm} = 94,33 \text{ cm} > 90,0 \text{ cm}$$

### 7.11.3. Zid POZ Z2, iznad stropne ploče podruma

Trajna proračunska situacija:

Površina presjeka zida:

$$A_w = 1800000,0 \text{ mm}^2$$

Moment otpora iznosi:

$$W_y = 1,80 \cdot 10^9 \text{ mm}^3$$

Moment savijanja u zidu:

$$M'_{Ed} = \sigma \cdot W_y = 0,175 \cdot 1,80 \cdot 10^9 = 3,15 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 315,0 \text{ kNm}$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \sigma \cdot A_w = 2,823 \cdot 1800000,0 = 5081400 \text{ N} = 5081,40 \text{ kN}$$

Proračunski moment savijanja s obzirom na težište vlačne armature:

$$M_{Eds} = M'_{Ed} + N_{Ed} \cdot e = 315,0 + 5081,40 \cdot 2,22 = 11595,71 \text{ kNm}$$

Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu tlačnu silu:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{11595,71 \cdot 100,0}{30,0 \cdot 522,0^2 \cdot 2,0} = 0,071$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Eds} = 0,071 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,091 \quad \zeta = 0,962$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{11595,71 \cdot 100,0}{0,962 \cdot 522,0 \cdot 43,48} - \frac{5081,40}{43,48} < 0$$

Minimalna vertikalna armatura u zidu:

$$A_{sv,min} = 0,001 \cdot A_c = 0,001 \cdot 100,0 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Maksimalni razmak vertikalne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot b_w \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot 30,0 = 90,0 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s = 40,0 \text{ cm}$$

Odabrana armatura:

$\phi 10/20 \text{ cm}$  (3,93 cm<sup>2</sup>) u svako lice zida

Dimenzioniranje na poprečnu silu:

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed} = (0,12 + 0,01 + 0,08 + 0,21 + 0,17 + 0,02) \cdot 300,0 \cdot 1000,0 = 183,0 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti tlačnih štapova:

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

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

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$z = 469,80 \text{ cm}$$

$$v_1 = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 7347,36 \text{ kN}$$

$$183,0 \text{ kN} \leq 7347,36 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura proračunava se iz uvjeta:

$$\phi 10\text{mm} \quad A_{sw} = 0,785 \text{ cm}^2 \quad \text{reznost } m = 2$$

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

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

$$s = \frac{0,785 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,90 \cdot 522,0) \cdot 1,20}{183,0}$$

$$s = 210,30 \text{ cm}$$

Odabire se:  $s = 20 \text{ cm}$

Odabrana horizontalna armatura u zidu:  $2 \times \phi 10/20 \text{ cm}$  ( $2 \times 3,93 \text{ cm}^2/\text{m}'$ )

Minimalna horizontalna armatura u zidu:

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot A_{sv} \\ 0,001 \cdot A_c \end{cases}$$

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot 3,93 = 0,98 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 \cdot 100 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{cases}$$

Potresna proračunska situacija:

Moment savijanja u zidu:

$$M'_{Ed} = \sigma \cdot W_y = \frac{(7,08 + 3,04)}{2} \cdot 1,80 \cdot 10^9 = 9,11 \cdot 10^9 \text{ Nmm} = 9108,0 \text{ kNm}$$

Moment savijanja koji proizlazi iz slučajnih torzijskih učinaka:

$$M''_{Ed} = 4827,58 \text{ kNm}$$

Vlačni pomak:

$$a_1 = d \cdot ctg(\theta) = 552,0 \cdot ctg(40) = 657,85 \text{ cm}$$

Proračunska uzdužna sila:

$$N_{Ed} = \sigma \cdot A_w = 2,02 \cdot 1800000,0 = 3636000 \text{ N} = 3636,0 \text{ kN}$$

Proračunski moment savijanja s obzirom na težište vlačne armature:

$$M_{Eds} = M'_{Ed} + M''_{Ed} + N_{Ed} \cdot e = 9108,0 + 4827,58 + 3636,0 \cdot 2,52 = 23098,30 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska osna sila za zidove razreda duktilnosti DCM mora zadovoljiti sljedeći uvjet:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_w \cdot f_{cd}} = \frac{3636,0}{30,0 \cdot 600,0 \cdot 2,0} = 0,101 < 0,40$$

Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu tlačnu silu:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{23098,30 \cdot 100,0}{30,0 \cdot 552,0^2 \cdot 2,0} = 0,126$$

- očitano iz tablica za  $\mu_{Eds} = 0,126 \quad \rightarrow \quad \xi = 0,167 \quad \zeta = 0,931$

Potrebna armatura:

$$A_{s1} = \frac{M_{Eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{23098,30 \cdot 100,0}{0,931 \cdot 552,0 \cdot 43,48} - \frac{3636,0}{43,48} = 19,75 \text{ cm}^2$$

Najmanja armatura koja se proračunava prema izrazima danim u EC2:

$$A_{s,min} = 0,005 \cdot A_w = 0,005 \cdot 90,0 \cdot 30,0 = 13,50 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 10 $\phi$ 16 mm (20,11 cm<sup>2</sup>)

Najmanja vertikalna armatura zida:

$$A_{sw,min} = 0,001 \cdot A_w = 0,001 \cdot 100,0 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Maksimalni razmak vertikalne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot b_w \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3 \cdot 30,0 = 90,0 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$s = 40,0 \text{ cm}$$

Odabrana armatura:

$\phi$ 10/20 cm (3,93 cm<sup>2</sup>/m') u svako lice zida

Dimenzioniranje na poprečnu silu:

$$V_{Ed} = \varepsilon \cdot V'_{Ed}$$

gdje je:

$V'_{Ed}$  – poprečna sila dobivena proračunom

$\varepsilon$  – koeficijent uvećanja poprečne sile

Koeficijent uvećanja poprečne sile:

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,10 \cdot \left(\frac{S_e(T_c)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq q$$



Proračunska otpornost na savijanje:

$$M_{Rds} = M_{Rd} + N_{Ed} \cdot z_1$$

$$M_{Rd} = M_{Rds} - N_{Ed} \cdot z_1$$

Za određivanje omjera  $\omega_1$  primjenjeni su izrazi dobiveni prema metodi Wutzkowsky:

$$\omega_1 = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd} + N_{Ed}}{f_{cd} \cdot b \cdot d} = \frac{19,75 \cdot 43,48 + 3636,0}{2,0 \cdot 30,0 \cdot 552,0} = 0,136$$

- očitanjem iz tablica slijedi da je  $\mu_{Eds} = \mu_{Rds} = 0,128$      $\xi = 0,171$      $\zeta = 0,929$

$$M_{Rds} = \mu_{Rds} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,128 \cdot 30,0 \cdot 552,0^2 \cdot 2,0 = 23401,27 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = M_{Rds} - N_{Ed} \cdot z_1 = 23401,27 - 3636,0 \cdot 2,52 = 14238,55 \text{ kNm}$$

$$S_e(T_c) = 2,50 \cdot a_g \cdot \eta \cdot S \cdot \left(\frac{T_c}{T}\right) = 2,50 \cdot 0,21 \cdot 9,81 \cdot 1,0 \cdot 1,20 \cdot \left(\frac{0,50}{0,50}\right) = 6,18$$

$$S_e(T_1) = 2,50 \cdot a_g \cdot \eta \cdot S \cdot \left(\frac{T_c}{T}\right) = 2,50 \cdot 0,21 \cdot 9,81 \cdot 1,0 \cdot 1,20 \cdot \left(\frac{0,50}{0,78}\right) = 3,96$$

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{\left(\frac{Y_{Rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,10 \cdot \left(\frac{S_e(T_c)}{S_e(T_1)}\right)^2} \leq q$$

$$\varepsilon = 3,60 \cdot \sqrt{\left(\frac{1,10}{3,60} \cdot \frac{14238,55}{13935,58}\right)^2 + 0,10 \cdot \left(\frac{6,18}{3,96}\right)^2} = 2,10 > 3,60$$

$$\varepsilon = 2,10$$

Proračunska poprečna sila:

$$V_{Ed}' = (1,08 + 0,95 + 0,94 + 0,85 + 0,65 + 0,40) \cdot 300,0 \cdot 1000,0 = 1461,0 \text{ kN}$$

Proračunska poprečna sila zbog slučajnih torzijskih učinaka:

$$V_{Ed}'' = 634,42 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \varepsilon \cdot (V_{Ed}' + V_{Ed}'')$$

$$V_{Ed} = 2,10 \cdot (1461,0 + 634,42) = 4400,38 \text{ kN}$$

Proračunska poprečna sila prema kapacitetu nosivosti:

$$V_{Ed} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot M_{Rd}}{h_s} = \frac{1,10 \cdot 14238,55}{2,65} = 5910,34 \text{ kN}$$

Kontrola nosivosti tlačnih štapova:

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

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{(ctg\theta + tg\theta)}$$

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$z = 469,80 \text{ cm}$$

$$\nu_1 = 0,53$$

$$V_{Rd,max} = 7769,63 \text{ kN}$$

$$5910,34 \text{ kN} \leq 7769,63 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura proračunava se iz uvjeta:

$$\phi 12\text{mm} \quad A_{sw} = 1,13 \text{ cm}^2 \quad \text{reznost } m = 2$$

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

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

$$s = \frac{1,13 \cdot 2 \cdot 43,48 \cdot (0,90 \cdot 552,0) \cdot 1,20}{5910,34}$$

$$s = 9,91 \text{ cm}$$

Odabire se:  $s = 9 \text{ cm}$

Odabrana horizontalna armatura u zidu:  $2 \times \phi 12/9 \text{ cm}$  ( $2 \times 12,57 \text{ cm}^2/\text{m}'$ )

Minimalna horizontalna armatura u zidu:

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot A_{sv} \\ 0,001 \cdot A_c \end{cases}$$

$$A_{sh,min} = \max \begin{cases} 0,25 \cdot 6,54 = 1,64 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 \cdot 100 \cdot 30,0 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{cases}$$

Ograničenje razmaka spona:

$$s = \min \begin{cases} \frac{b_0}{2} = \frac{30,0 - 2,5 \cdot 2}{2} = 12,50 \text{ cm} \\ 175 \text{ mm} \\ 8 \cdot d_{bl} = 8 \cdot 16 = 128,0 \text{ mm} \end{cases}$$

Odabire se  $s = 12,0 \text{ cm}$

Minimalna duljina ovijenog rubnog elementa:

$$l_{c,min} = 90,0 \text{ cm}$$

Vertikalna armatura hrpta:

$$s_w = \frac{A_w}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{0,785 \cdot 2}{30,0 \cdot 0,002} = 26,17 \text{ cm}$$

Odabire se:  $\phi 10/20 \text{ cm}$  ( $3,93 \text{ cm}^2$ ).

### Ovijeni rubni element

Duljina ovijenog rubnog elementa:

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

Bezimenzijska veličina osne sile:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_w \cdot f_{cd}} = \frac{3636,0}{30,0 \cdot 600,0 \cdot 2,0} = 0,101$$

Koeficijent armiranja hrpta vertikalnom armaturom:

$$\rho_v = \frac{A_v}{b_{wo} \cdot s_v} = \frac{2 \cdot 3,93}{30,0 \cdot 100,0} = 0,0026$$

Mehanički koeficijent armiranja hrpta:

$$\omega_v = \frac{\rho_v \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,0026 \cdot 43,48}{2,0} = 0,057$$

Visina tlačnog područja poprečnog presjeka zida:

$$x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_c}{b_0} = (0,101 + 0,057) \cdot \frac{6000,0 \cdot 300,0}{250,0} = 1137,60 \text{ mm} = 113,76 \text{ cm}$$

Faktor učinkovitosti ovijanja presjeka:

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

$$\alpha_n = \left(1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{4 \cdot 22^2}{6 \cdot 25 \cdot 90}\right) = 0,857$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{12}{2 \cdot 25}\right) \cdot \left(1 - \frac{12}{2 \cdot 90}\right) = 0,709$$

$$\alpha = 0,857 \cdot 0,709 = 0,608$$

Mehanički obujamski omjer spona za ovijanje i betonske jezgre unutar kritičnog područja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam spona za ovijanje}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2 \cdot (25 + 90) \cdot 0,785}{25 \cdot 90 \cdot 12} \cdot \frac{43,48}{2,0} = 0,145$$

Granična deformacija ovijenog betona:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,10 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,0035 + 0,10 \cdot 0,608 \cdot 0,145 = 0,0123$$

Potreban faktor duktilnosti:

$$\mu_\varphi = 2 \cdot q_0 - 1, \text{ za } T_1 > T_c$$

Prvi period vibracije:  $T_1 = 0,843$  s

Za razred tla B:  $T_c = 0,50$  s

$$\mu_\varphi = (2 \cdot 3,6 - 1) \cdot 1,5 = 9,30$$

Proračunska vrijednost deformacije vlačne armature na granici popuštanja:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,80}{210000,0} = 0,00207 = 0,207\%$$

Provjera potrebne zakrivljenosti presjeka u području plastičnog zgloba:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\varphi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

$$0,608 \cdot 0,145 \geq 30 \cdot 9,30 \cdot (0,101 + 0,057) \cdot 0,00207 \cdot \frac{30,0}{25,0} - 0,035$$

$$0,088 \geq 0,074 \rightarrow \text{zid zadovoljava uvjete lokalne duktilnosti za DCM}$$

Duljina ovijenog rubnog elementa:

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

$$l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 1137,60 \cdot \left(1 - \frac{0,0035}{0,0123}\right) = 813,89 \text{ mm} = 81,39 \text{ cm} < 90,0 \text{ cm}$$

## 8. PRORAČUN DULJINE SIDRENJA I NASTAVLJANJA ARMATURE

Osnovna duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{\Phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} \quad (72)$$

gdje je:

$\Phi$  – promjer šipke armature

$\sigma_{sd}$  – proračunsko naprezanje šipke armature (za čelik B500B na strani sigurnosti,  $\sigma_{sd} = 434,8$  MPa)

$f_{bd}$  – proračunska čvrstoća prionjivosti

Proračunska čvrstoća prionjivosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad (73)$$

gdje je:

$\eta_1$  – koeficijent koji uzima u obzir prionjivost šipki i položaj šipki pri betoniranju

- za dobre uvjete prionjivosti  $\rightarrow \eta_1 = 1,0$
- za loše uvjete prionjivosti  $\rightarrow \eta_1 = 0,70$

$\eta_2$  – koeficijent koji uzima u obzir promjer armaturnih šipki

- za  $\Phi \leq 32$  mm  $\rightarrow \eta_2 = 1,0$

$f_{ctd}$  – proračunska vlačna čvrstoća betona

- za beton razreda tlačne čvrstoće C30/37  $\rightarrow f_{ctd} = 1,33$  MPa

$$\text{Gornja zona} \rightarrow f_{bd} = 2,25 \cdot 0,70 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 2,10 \text{ MPa}$$

$$\text{Donja zona} \rightarrow f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \quad (74)$$

- za ravne šipke  $\rightarrow \alpha_1 = 1,0$
- na strani sigurnosti  $\rightarrow \alpha_2 = 1,0; \alpha_3 = 1,0; \alpha_5 = 1,0$
- ovisno o postotku preklapljene armature  $\rightarrow \alpha_1 = 1,50$  (više od 50% preklapljene armature)

Minimalna duljina prijeklopa:

$$l_{0,min} \geq \max \begin{cases} 0,30 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15\Phi \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \quad (75)$$

Šipke  $\phi 8$  mm:

Potrebna duljina sidrenja u gornjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{0,80 \cdot 434,8}{4 \cdot 2,10} = 41,41 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 42,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 42,0 = 63,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 20,0 \text{ cm}$$

Potrebna duljina sidrenja u donjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{0,80 \cdot 434,8}{4 \cdot 3,0} = 28,99 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 30,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 30,0 = 45,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 20,0 \text{ cm}$$

Šipke  $\phi 10$  mm:

Potrebna duljina sidrenja u gornjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,0 \cdot 434,8}{4 \cdot 2,10} = 51,76 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 52,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 52,0 = 78,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 23,4 \text{ cm}$$

Potrebna duljina sidrenja u donjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,0 \cdot 434,8}{4 \cdot 3,0} = 36,23 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 37,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 37,0 = 56,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 20,0 \text{ cm}$$

Šipke  $\phi 12$  mm:

Potrebna duljina sidrenja u gornjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,2 \cdot 434,8}{4 \cdot 2,10} = 62,11 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 62,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 62,0 = 93,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 27,90 \text{ cm}$$

Potrebna duljina sidrenja u donjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,2 \cdot 434,8}{4 \cdot 3,0} = 43,48 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 44,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 44,0 = 66,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 20,0 \text{ cm}$$



Šipke  $\phi 14$  mm:

Potrebna duljina sidrenja u gornjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,4 \cdot 434,8}{4 \cdot 2,10} = 72,47 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 73,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 73,0 = 110,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 32,85 \text{ cm}$$

Potrebna duljina sidrenja u donjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,4 \cdot 434,8}{4 \cdot 3,0} = 50,73 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 51,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 51,0 = 77,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 22,95 \text{ cm}$$

Šipke  $\phi 16$  mm:

Potrebna duljina sidrenja u gornjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,6 \cdot 434,8}{4 \cdot 2,10} = 82,82 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 83,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 83,0 = 125,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 37,35 \text{ cm}$$

Potrebna duljina sidrenja u donjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,6 \cdot 434,8}{4 \cdot 3,0} = 57,97 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 58,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 58,0 = 87,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 26,10 \text{ cm}$$

Šipke  $\phi 20$  mm:

Potrebna duljina sidrenja u gornjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,0 \cdot 434,8}{4 \cdot 2,10} = 103,52 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 104,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 104,0 = 156,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 46,80 \text{ cm}$$

Potrebna duljina sidrenja u donjoj zoni:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,0 \cdot 434,8}{4 \cdot 3,0} = 72,47 \text{ cm} \rightarrow l_{b,rqd} = 73,0 \text{ cm}$$

Proračunska duljina prijeklopa nastavljanjem:

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,50 \cdot 73,0 = 110,0 \text{ cm} > l_{0,min} = 32,85 \text{ cm}$$

Šipke iznad ležajeva prepuštaju se u polje za  $\frac{1}{3}l_0$ .

gdje je:

$l_0$  – raspon polja

- za raspon  $l_0 = 600 \text{ cm} \rightarrow \frac{1}{3} \cdot 600 = 200,0 \text{ cm}$
- za raspon  $l_0 = 700 \text{ cm} \rightarrow \frac{1}{3} \cdot 700 = 233,3 \text{ cm} \approx 235,0 \text{ cm}$

## 9. ISKAZ ARMATURE

### 9.1. Iskaz armature karakteristične ploče

ISKAZ ARMATURE - KARAKTERISTIČNA PLOČA DONJA ZONA									
POZ	DULJINA(m)	φ (mm)	KOM	UKUPNA DULJINA (m)					
				φ8	φ10	φ12	φ14	φ16	φ20
1	1.37	10	454		621.98				
2	1.78	10	32		56.96				
3	1.40	12	48			67.20			
Ukupna duljina šipki (m)					678.94	67.20			
Masa (kg/m)				0.395	0.617	0.888	1.210	1.580	2.470
Ukupno po promjerima (kg)					418.906	59.674			
UKUPNA SUMA ŠIPKE (kg)								478.58	

ISKAZ ARMATURE - KARAKTERISTIČNA PLOČA DONJA ZONA						
POZ	DIMENZIJE(axb)	MREŽA	TEŽINA (kg/m <sup>2</sup> )	POVRŠINA MREŽE (m <sup>2</sup> )	BROJ KOMADA	UKUPNO PO POZICIJI
A1	6.0 x 2.15	Q-335	5.45	70.31	42	2952.81
A2	6.0 x 1.00	Q-335	5.45	32.70	2	65.40
A3	2.65 x 2.15	Q-335	5.45	31.05	6	186.31
A4	4.10 x 1.0	Q-335	5.45	22.35	10	223.45
UKUPNA SUMA MREŽE (kg)						3427.97

ISKAZ ARMATURE - KARAKTERISTIČNA PLOČA GORNJA ZONA									
POZ	DULJINA(m)	φ (mm)	KOM	UKUPNA DULJINA (m)					
				φ6	φ8	φ10	φ12	φ14	φ16
1	Količina obračunata u iskazu armature karakteristične ploče donja zona								
2									
3	5.25	10	18			94.50			
4	4.50	6	16	72.00					
5	4.50	10	20			90.00			
6	4.50	6	16	72.00					
7	4.50	10	24			108.00			
8	5.25	8	16		84.00				
9	5.25	12	24				126.00		
10	5.25	6	16	84.00					
11	5.25	12	22				115.50		
12	4.50	8	16		72.00				
13	4.50	10	24			108.00			
Ukupna duljina šipki (m)				228	156	400.5	241.5		
Masa (kg/m)				0.222	0.395	0.617	0.888	1.210	1.580
Ukupno po promjerima (kg)				50.616	61.62	247.109	214.452		
UKUPNA SUMA ŠIPKE (kg)								573.80	

ISKAZ ARMATURE - KARAKTERISTIČNA PLOČA GORNJA ZONA						
POZ	DIMENZIJE(axb)	MREŽA	TEŽINA (kg/m <sup>2</sup> )	POVRŠINA MREŽE (m <sup>2</sup> )	BROJ KOMADA	UKUPNO PO POZICIJI
B1	6.0 x 2.15	Q-503	8.03	103.59	42	4350.65
B2	6.0 x 1.00	Q-503	8.03	48.18	2	96.36
B3	2.65 x 2.15	Q-503	8.03	45.75	6	274.51
B4	4.10 x 1.0	Q-503	8.03	32.92	10	329.23
UKUPNA SUMA MREŽE (kg)						5050.75

## 9.2. Iskaz armature karakteristične grede

ISKAZ ARMATURE - GREDA 404-405-405-404									
POZ	DULJINA(m)	φ (mm)	KOM	UKUPNA DULJINA (m)					
				φ6	φ8	φ10	φ12	φ14	φ16
1	2.10	12	6				12.60		
2	3.46	14	4					13.84	
3	3.48	12	4				13.92		
4	4.25	14	2					8.50	
5	6.05	14	6					36.30	
6	8.10	14	6					48.60	
7	8.10	14	6					48.60	
8	3.02	14	2					6.04	
9	3.87	12	4				15.48		
10	6.05	14	2					12.10	
11	1.70	8	150		255.00				
12	7.41	14	2					14.82	
13	7.41	14	3					22.23	
Ukupna duljina šipki (m)					255.00		42.00	211.03	
Masa (kg/m)				0.222	0.395	0.617	0.888	1.210	1.580
Ukupno po promjerima (kg)					100.73		37.30	255.35	
UKUPNA SUMA ŠIPKE (kg)							393.37		

### 9.3. Iskaz armature karakterističnog stupa

ISKAZ ARMATURE - STUPA									
POZ	DULJINA(m)	φ (mm)	KOM	UKUPNA DULJINA (m)					
				φ8	φ10	φ12	φ14	φ16	φ20
1	3.57	20	6						21.42
2	2.26	20	6						13.56
3	6.90	20	6						41.40
4	4.18	20	6						25.08
5	8.40	20	6						50.40
6	2.00	8	18	36.00					
7	1.60	8	112	179.20					
8	3.57	16	2					7.14	
9	2.26	16	2					4.52	
10	6.90	16	2					13.80	
11	4.18	16	2					8.36	
12	8.40	16	2					16.80	
13	1.48	8	18	26.64					
14	1.20	8	112	134.40					
Ukupna duljina šipki (m)				376.24				50.62	151.86
Masa (kg/m)				0.395	0.617	0.888	1.210	1.580	2.350
Ukupno po promjerima (kg)				376.64				79.98	154.21
UKUPNA SUMA ŠIPKE (kg)								610.82	

### 9.4. Iskaz armature karakterističnog zida

ISKAZ ARMATURE - ZIDA									
POZ	DULJINA(m)	φ (mm)	KOM	UKUPNA DULJINA (m)					
				φ8	φ10	φ12	φ14	φ16	φ20
1	6.74	16	20					134.80	
2	4.50	10	40		180.00				
3	2.50	12	140			350.00			
4	6.15	12	140			861.00			
5	0.45	12	587			264.15			
Ukupna duljina šipki (m)					180.00	1475.15		134.80	
Masa (kg/m)				0.395	0.617	0.888	1.210	1.580	2.350
Ukupno po promjerima (kg)					111.06	1309.93		212.98	
UKUPNA SUMA ŠIPKE (kg)								1633.98	

## 10. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu izrađen je dio projekta armiranobetonske poslovne zgrade. Konstrukcija je modelirana u programskom paketu StaadPRO. Proračun konstruktivnih elemenata proveden je u skladu sa normom EN 1992-1 i EN 1998-1. Mjerodavno horizontalno opterećenje na konstrukciju je potresno djelovanje pa su nosivi elementi proračunani u skladu sa takvim djelovanjem. Proračun potresnog djelovanja proveden je lineranom analizom koja se temelji na poznavanju proračunskog spektra odziva ubrzanja podloge. Armiranobetonska puna ploča proračunana je na savijanje dok je ležajna armatura određena metodom zamjenjujućih trakova. Grede su proračunane na moment savijanja a nosivost na poprečne sile provedena je prema sposobnosti nosivosti kako je definirano u normi HRN EN 1998-1:2011. Stupovi su proračunani na moment savijanja uzdužnu te poprečnu silu. Nosivost stupova na poprečne sile proračunana je također prema sposobnosti nosivosti. Također definirana su kritična područja kod greda, stupova i zidova kako bi se postiglo poželjno trošenje potresne energije prilikom djelovanja potresa za na to predviđenim mjestima. Globalna i lokalna stabilnost konstrukcije je zadovoljena i nije bilo potrebe uzimati u obzir učinke teorije drugog reda.

## 11. LITERATURA

- [1] HRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012. Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukciju – Dio 1-1: Opća djelovanja
- [2] HRN EN 1991-1-3:2012/NA. Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukciju – Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenje snijegom
- [3] HRN EN 1991-1-4:2012/NA. Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukciju – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra
- [4] HRN EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade
- [5] HRN EN 1998-1:2004. Eurokod 8 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. Dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade
- [6] Grandić D., Šćulac P., Proračun potresno otpornih konstrukcija prema sposobnosti nosivosti, Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Opatija 2017.
- [7] Grandić D., Predavanja iz kolegija Potresno inženjerstvo; Posebna pravila za projektiranje betonskih konstrukcija, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet u Rijeci, 2018.
- [8] Grandić D., Predavanja iz kolegija Betonske i zidane konstrukcije 1; Vitki elementi, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet u Rijeci, 2021.
- [9] Tomičić I., Betonske konstrukciju, DHGK, Zagreb 1996.

## 12. NACRTNA DOKUMENTACIJA

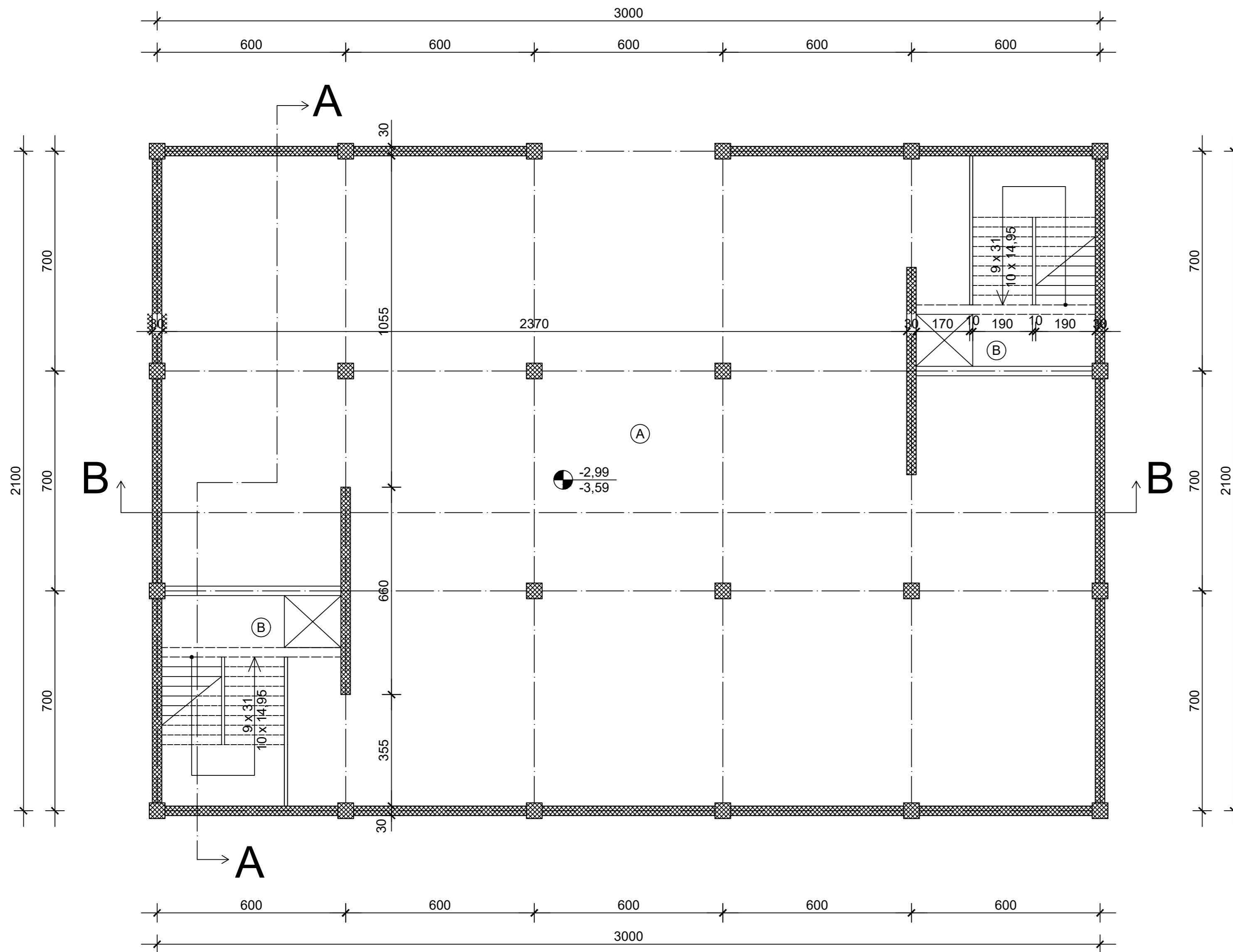
1. Tlocrt podruma MJ 1:100
2. Tlocrt karakterističnog kata MJ 1:100
3. Presjek A-A MJ 1:100
4. Presjek B-B MJ 1:100
5. Sjeverno pročelje MJ 1:100
6. Istočno pročelje MJ 1:100
7. Zapadno pročelje MJ 1:100
8. Južno pročelje MJ 1:100
9. Plan oplata POZ 100 MJ 1:100
10. Plan oplata POZ 200 MJ 1:100
11. Plan oplata POZ 300 MJ 1:100
12. Plan oplata POZ 400 MJ 1:100
13. Plan oplata POZ 500 MJ 1:100
14. Nacrt armature karakteristične ploče – Donja zona MJ 1:100
15. Nacrt armature karakteristične ploče – Gonja zona MJ 1:100
16. Nacrt armature karakteristične grede POZ 404-405-405-404 MJ 1:50
17. Nacrt armature karakteristične grede POZ 407-408-407 MJ 1:50
18. Nacrt armature karakterističnog stupa POZ III MJ 1:50
19. Nacrt armature zida Z2 MJ 1:50



# TLOCRT PODRUMA MJ 1:100

SADRŽAJ:

A - Garažni prostor  
B - Stubišni prostor

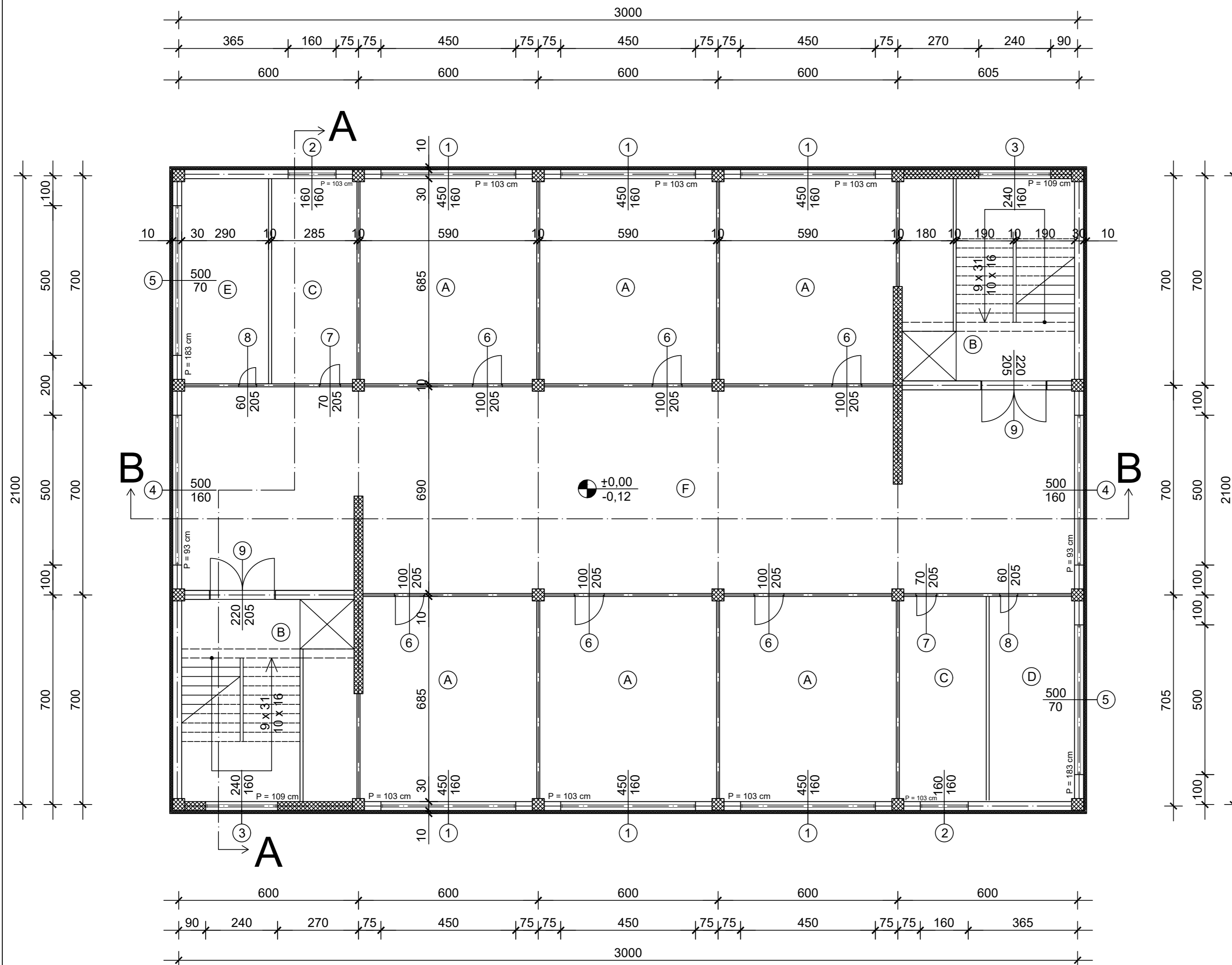


GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Tlocrt podruma	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 1.

# TLOCRT PRIZEMLJA - KATA MJ 1:100

## SADRŽAJ:

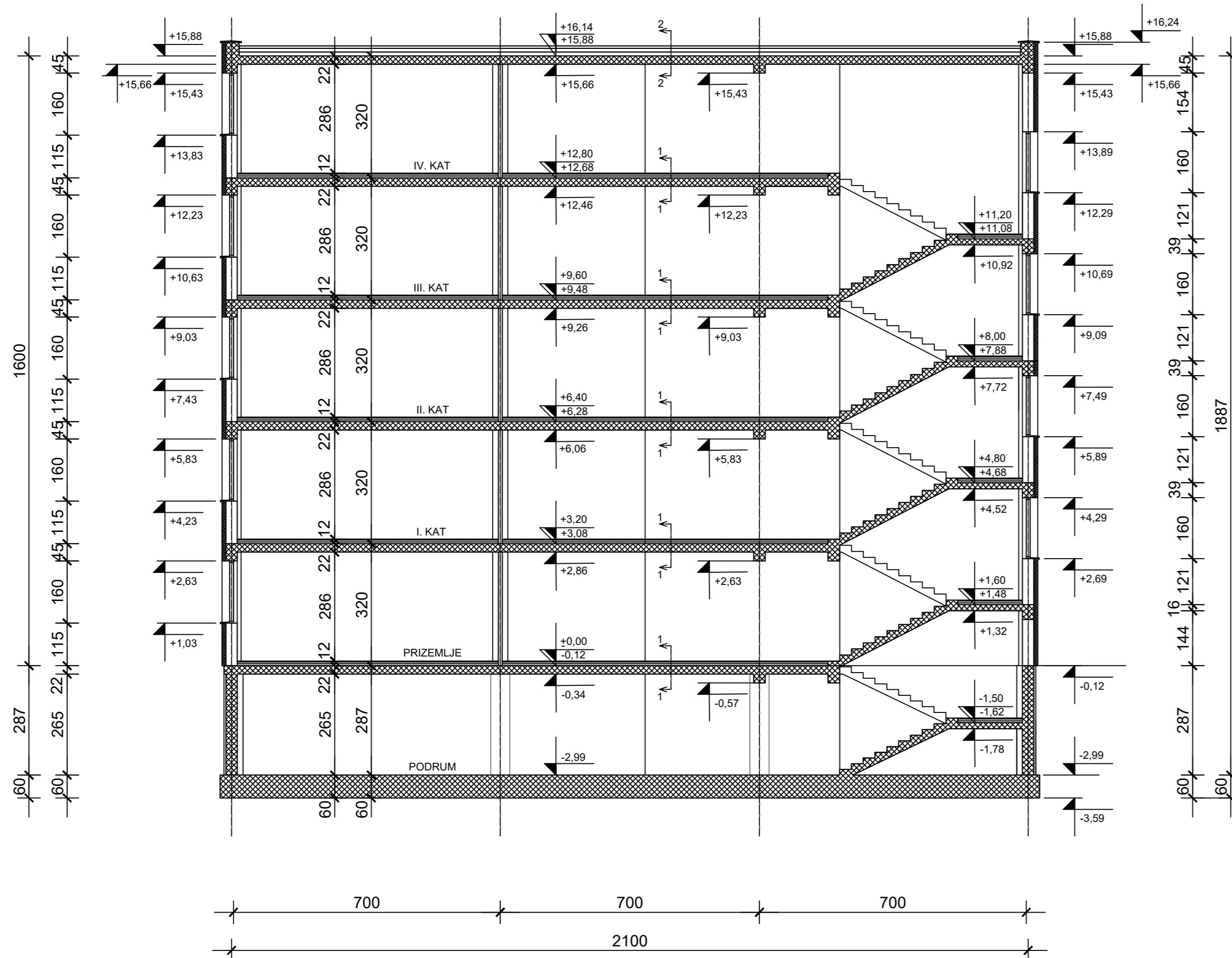
- A - Uredski prostor
- B - Stubišni prostor
- C - Kuhinja
- D - Muški WC
- E - Ženski WC
- F - Središnji prostor



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Tlocrt prizemlja - kata	
Student: Antonio Jerbić		Kolegiji: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 2.

# Presjek A-A

## MJ 1:100



### PRESJEK 1-1

1. Podna obloga.....2 cm
2. Cementni estrih.....5 cm
3. PE folija
4. Ekspandirani polistiren..5 cm
5. AB ploča.....22 cm
6. Podgled (žbuka).....2 cm

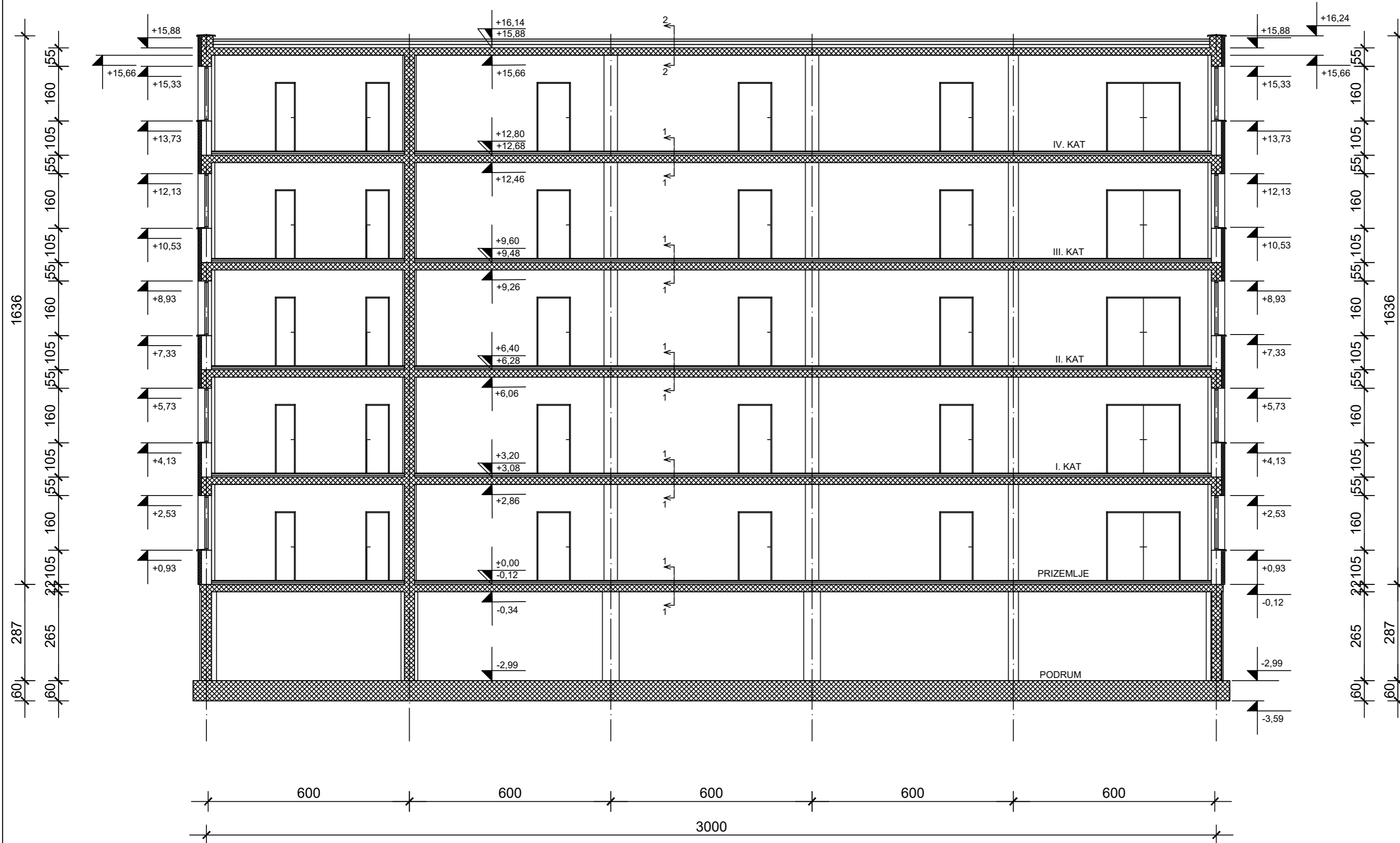
### PRESJEK 2-2

1. Šljunčani nasip.....6 cm
2. Hidroizolacija.....0,5 cm
3. Lagani beton u padu.....10 cm
4. Ekspandirani polistiren..10 cm
5. Parna brana
6. AB ploča.....22 cm
7. Podgled (žbuka).....2 cm

GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Presjek A-A	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 3.

# Presjek B-B

## MJ 1:100



### PRESJEK 1-1

1. Podna obloga.....2 cm
2. Cementni estrih.....5 cm
3. PE folija
4. Ekspandirani polistiren..5 cm
5. AB ploča.....22 cm
6. Podgled (žbuka).....2 cm

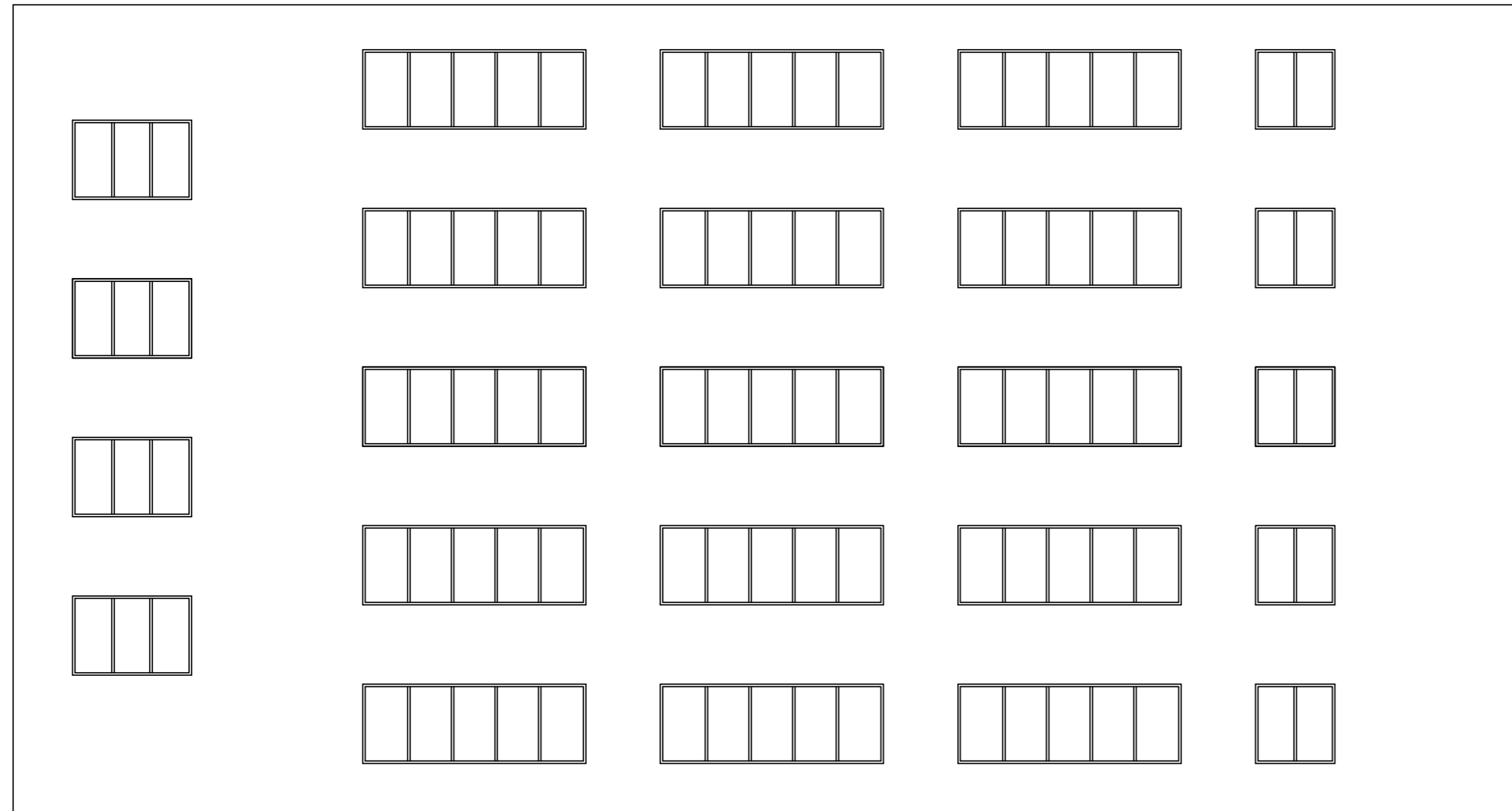
### PRESJEK 2-2

1. Šljunčani nasip.....6 cm
2. Hidroizolacija.....0,5 cm
3. Lagani beton u padu....10 cm
4. Ekspandirani polistiren..10 cm
5. Parna brana
6. AB ploča.....22 cm
7. Podgled (žbuka).....2 cm

GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacrt: Presjek B-B	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc.Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 4.

# SJEVERNO PROČELJE

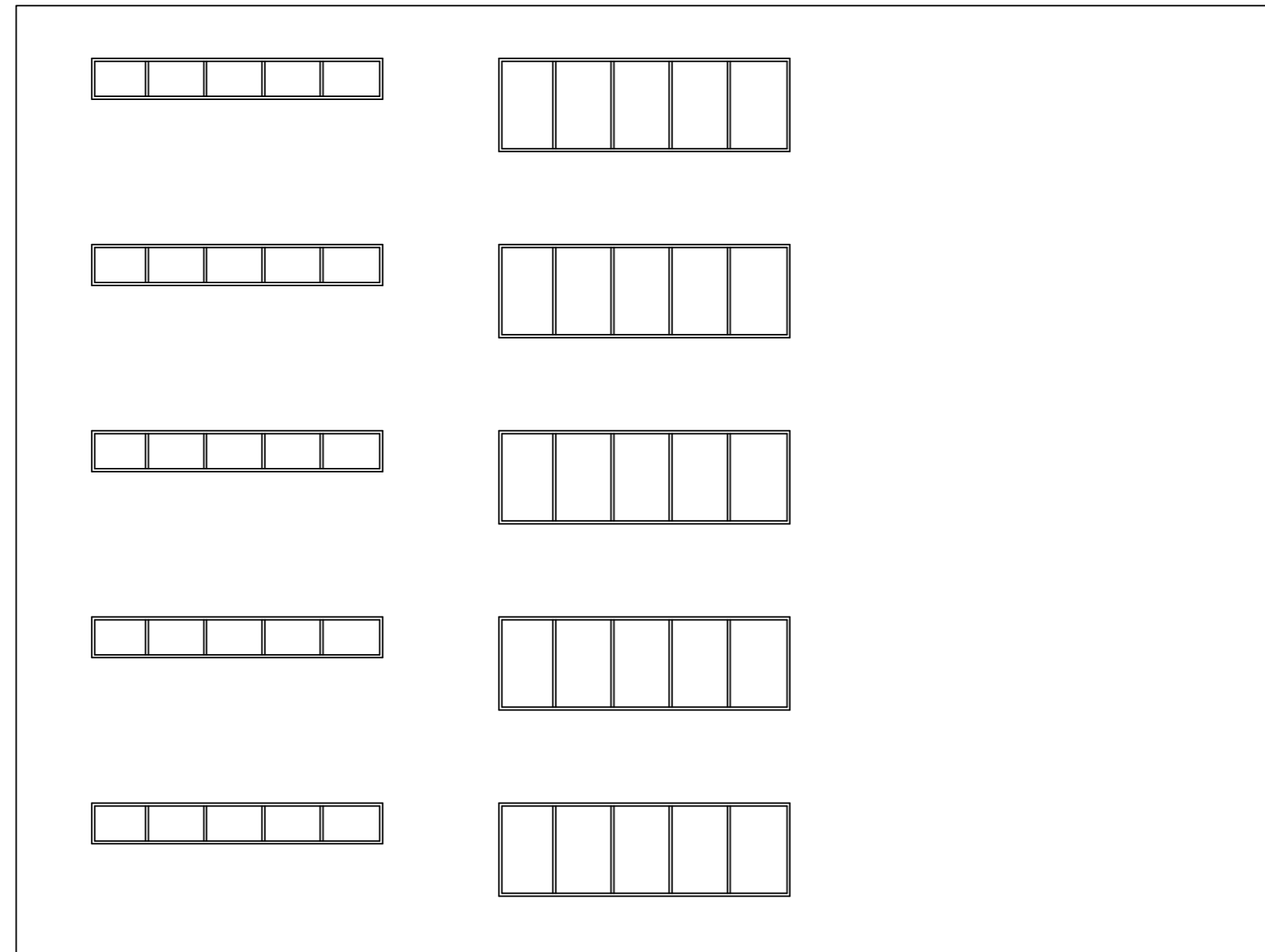
## MJ 1:100



<b>GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</b>			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacrt: Sjeverno pročelje	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 5.

# ISTOČNO PROČELJE

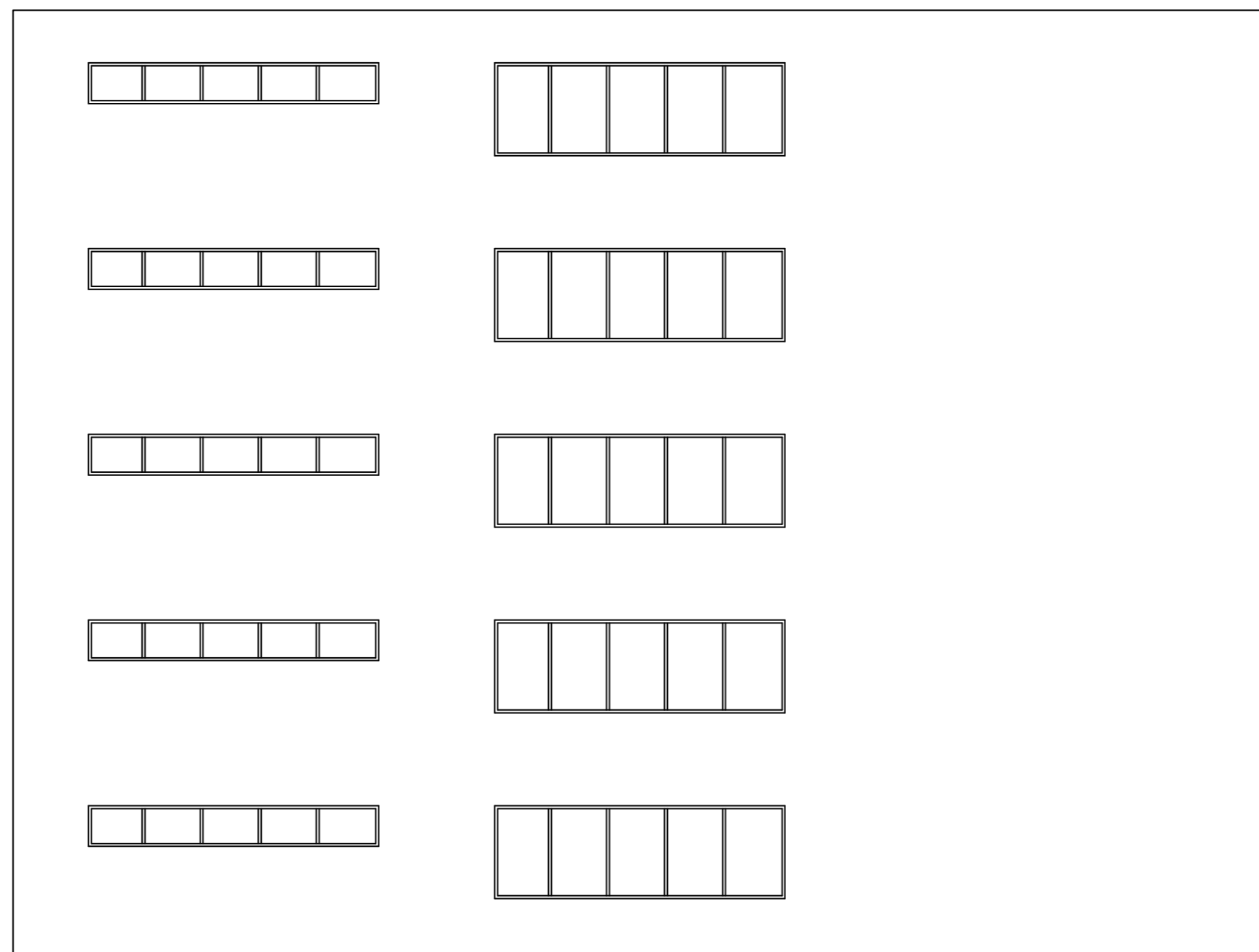
## MJ 1:100



<b>GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</b>			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Istočno pročelje	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 6.

# ZAPADNO PROČELJE

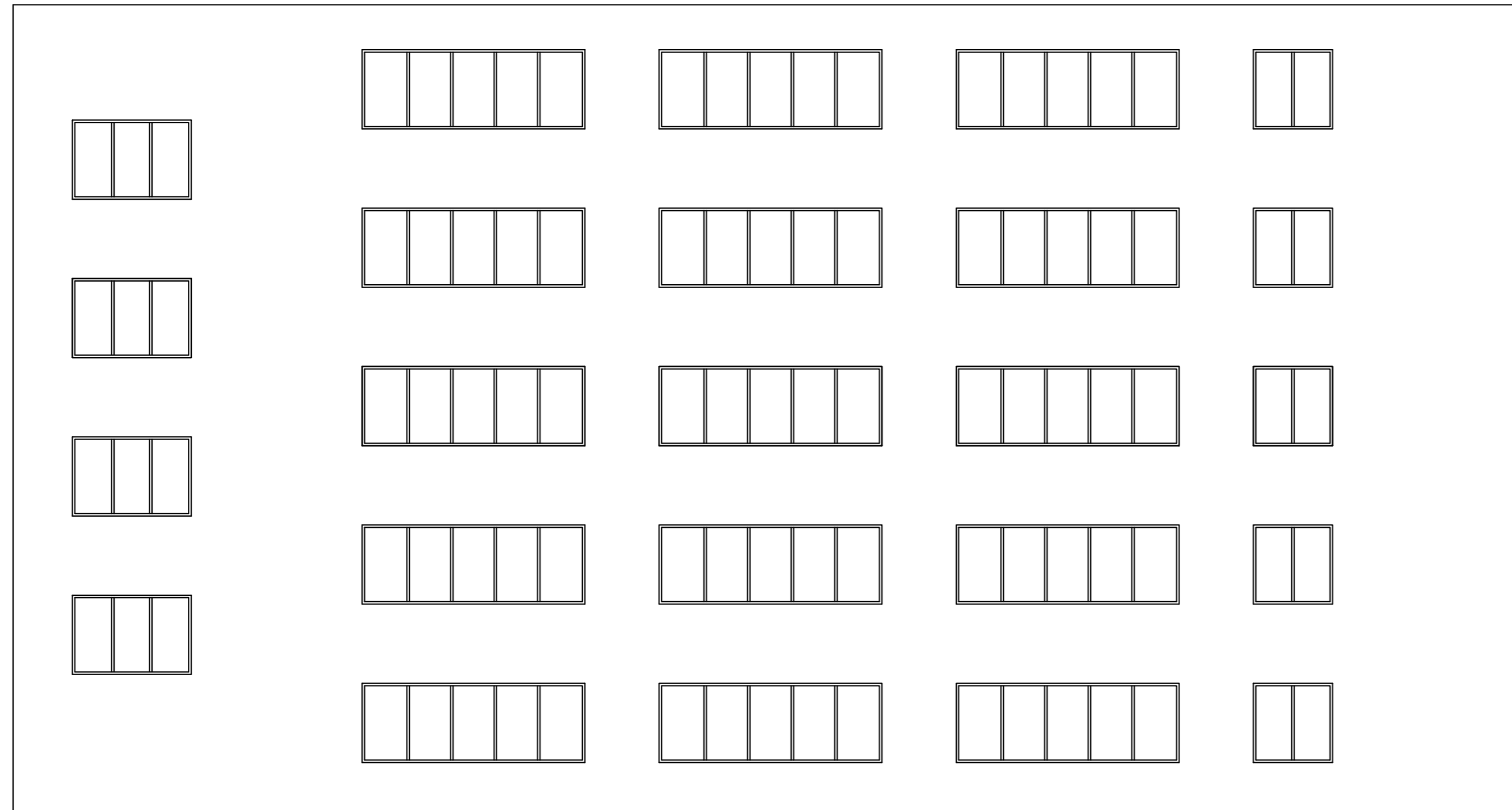
## MJ 1:100



<b>GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</b>			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacrt: Zapadno pročelje	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 7.

# JUŽNO PROČELJE

## MJ 1:100

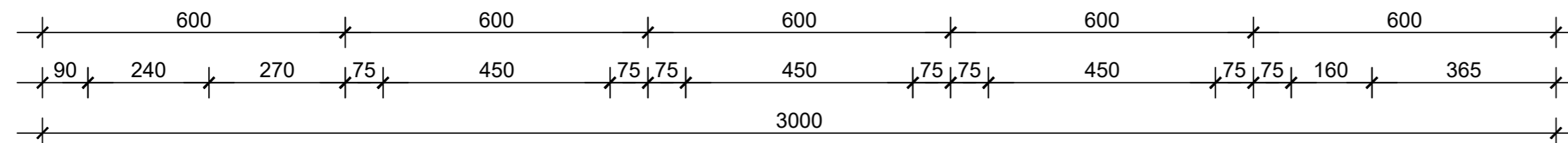
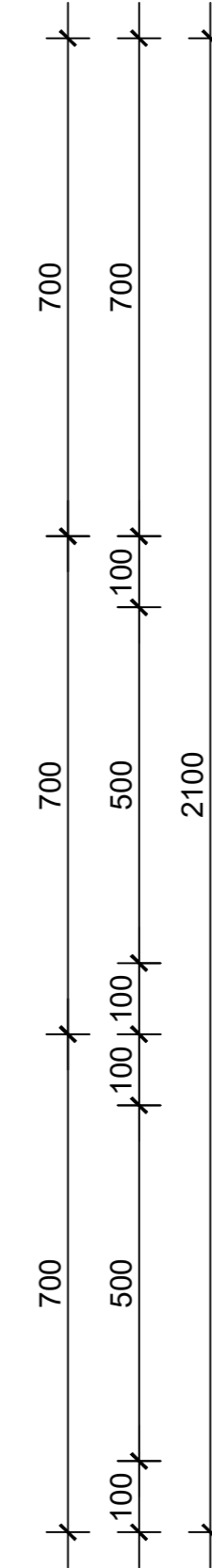
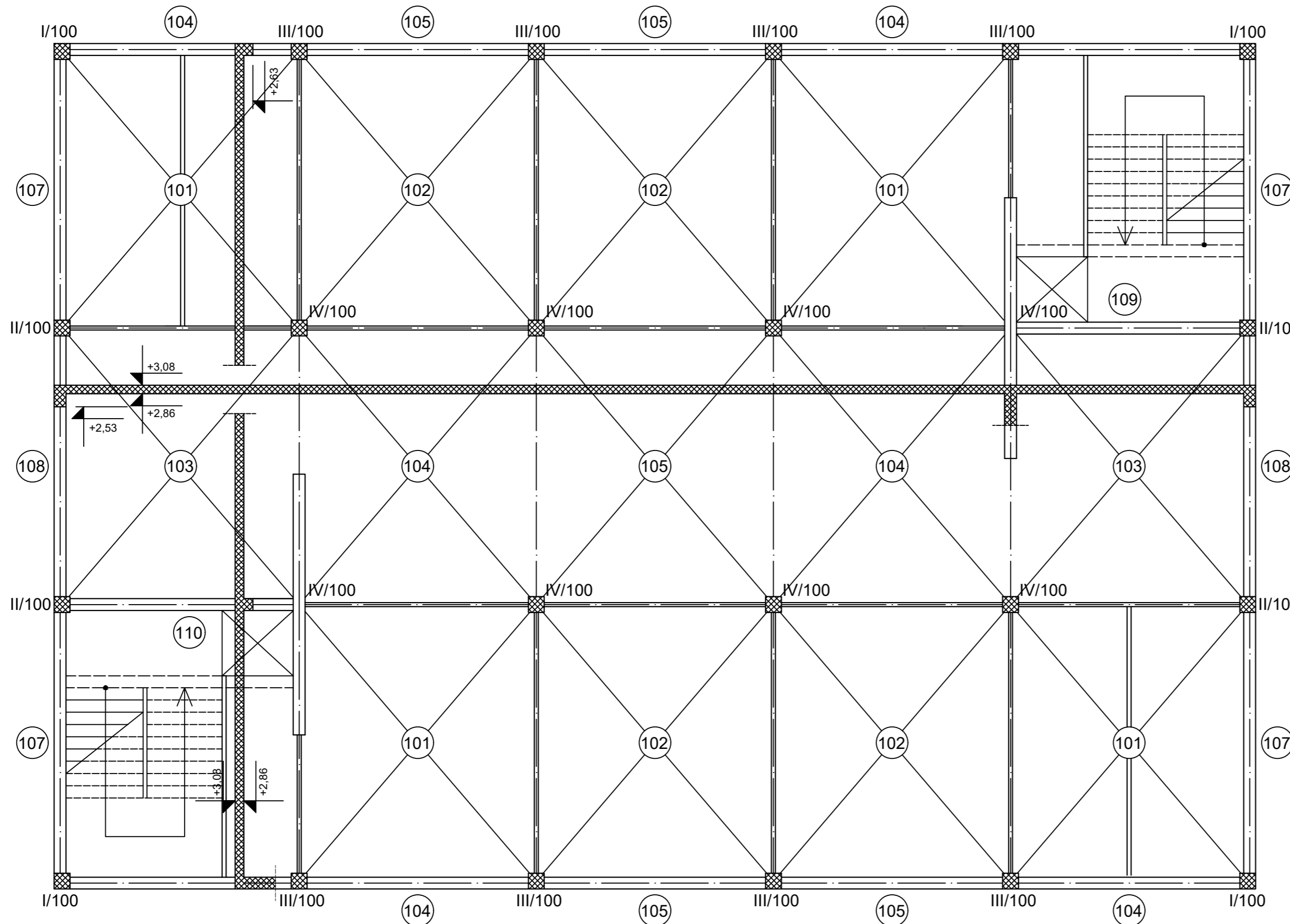
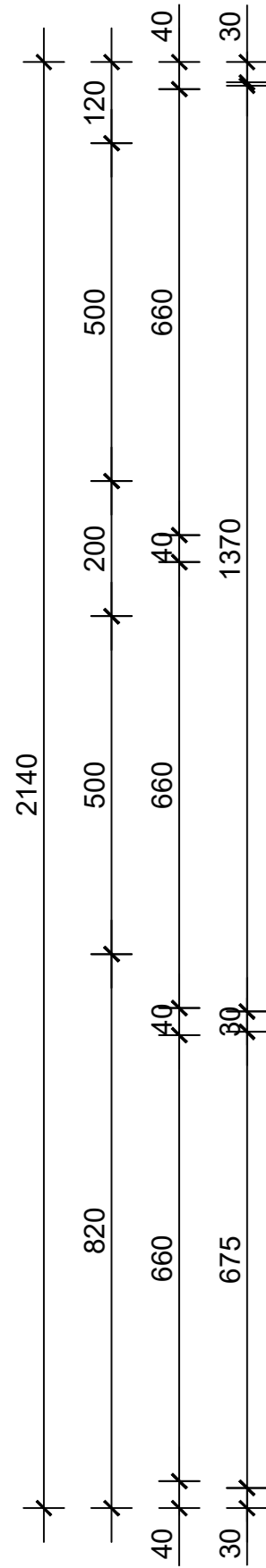
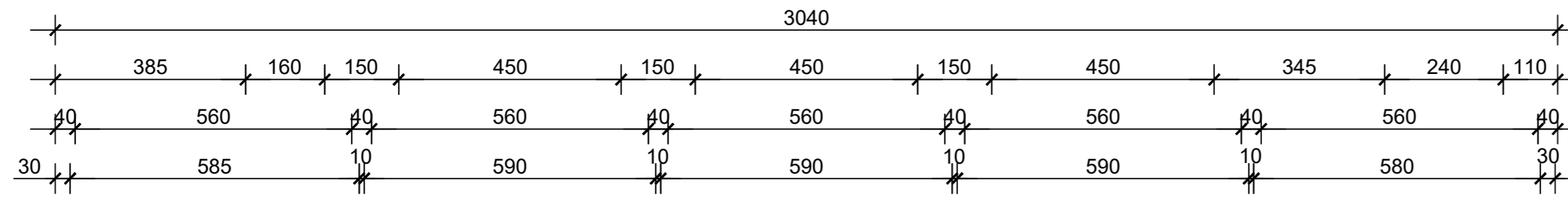


<b>GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</b>			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Južno pročelje	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 8.



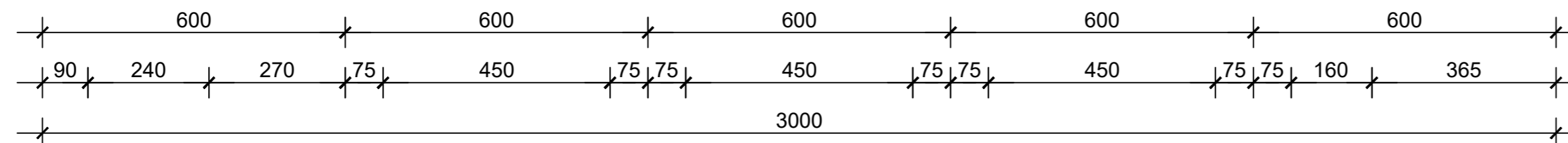
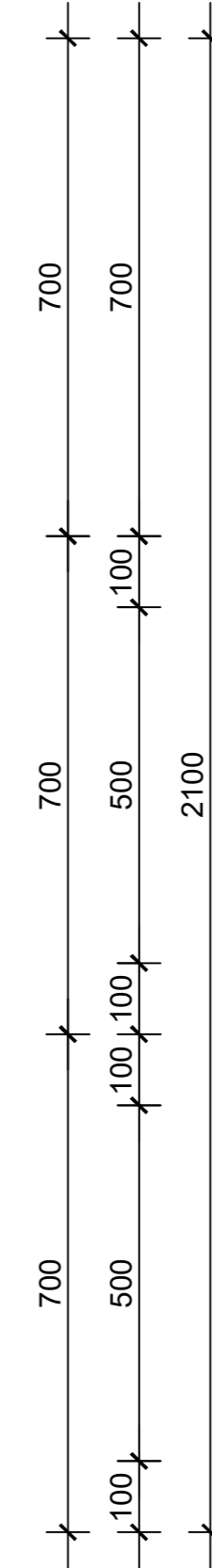
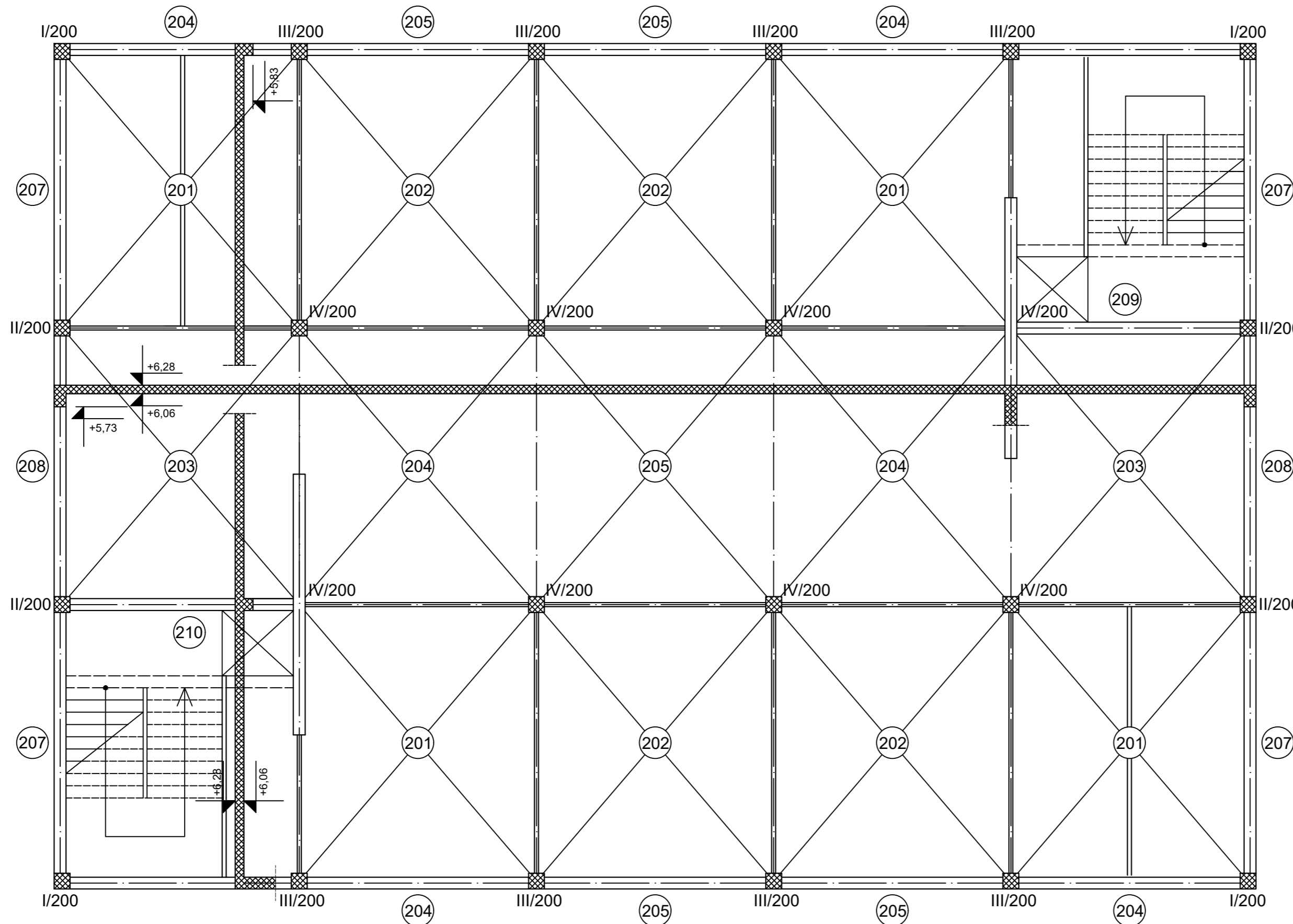
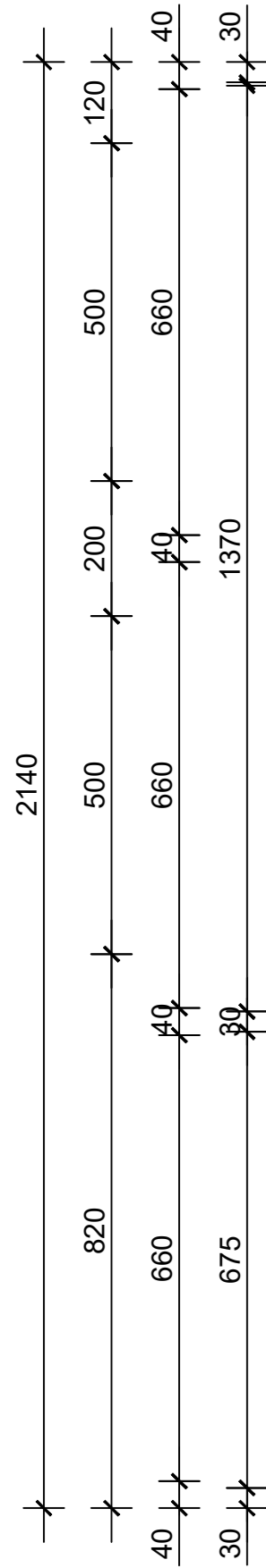
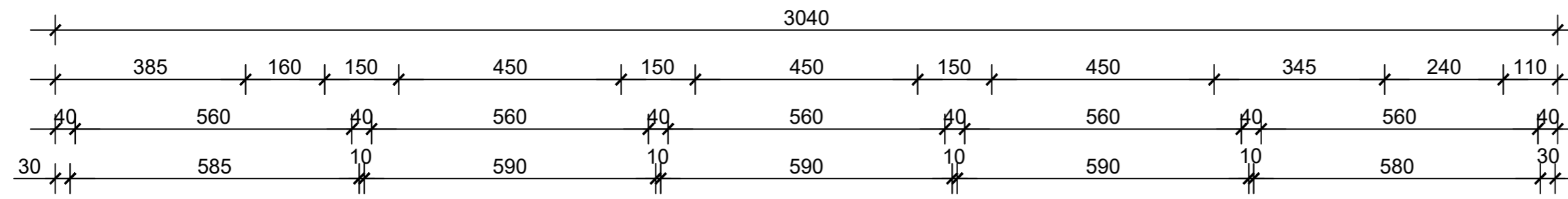
# PLAN OPLATE POZ 100

## MJ 1:100



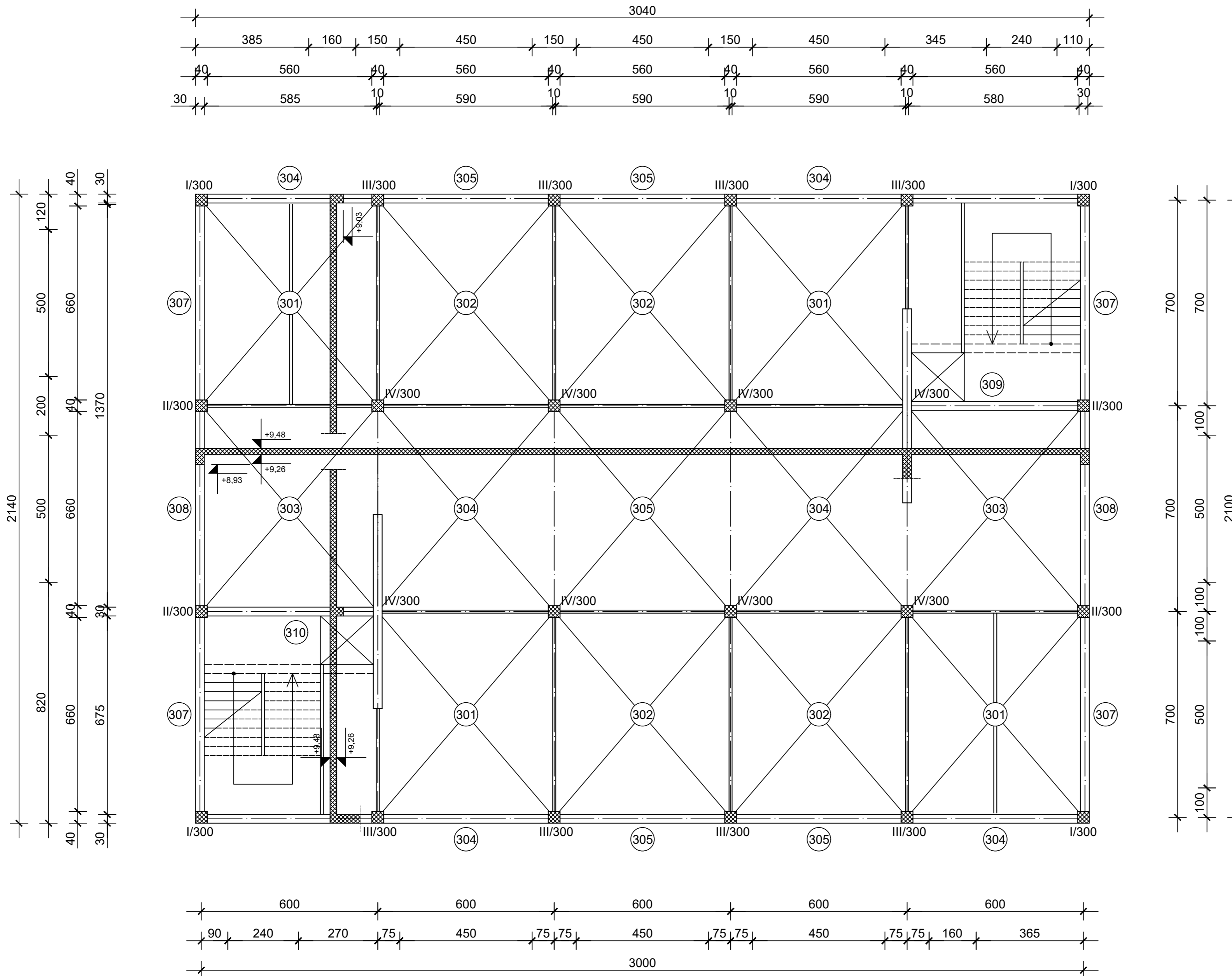
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Plan oplate POZ 100	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 9.

# PLAN OPLATE POZ 200 MJ 1:100



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Plan oplate POZ 200	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 10.

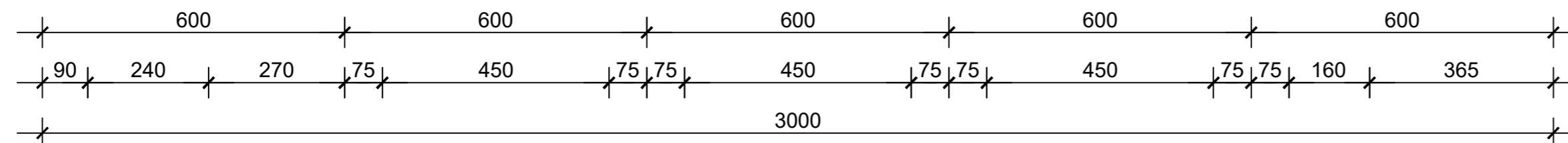
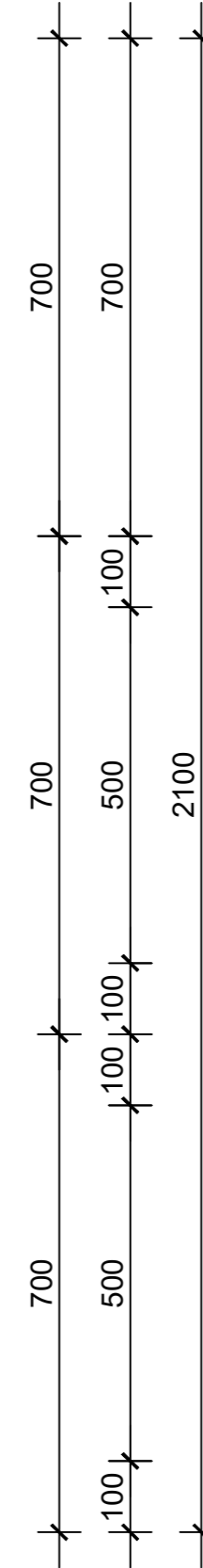
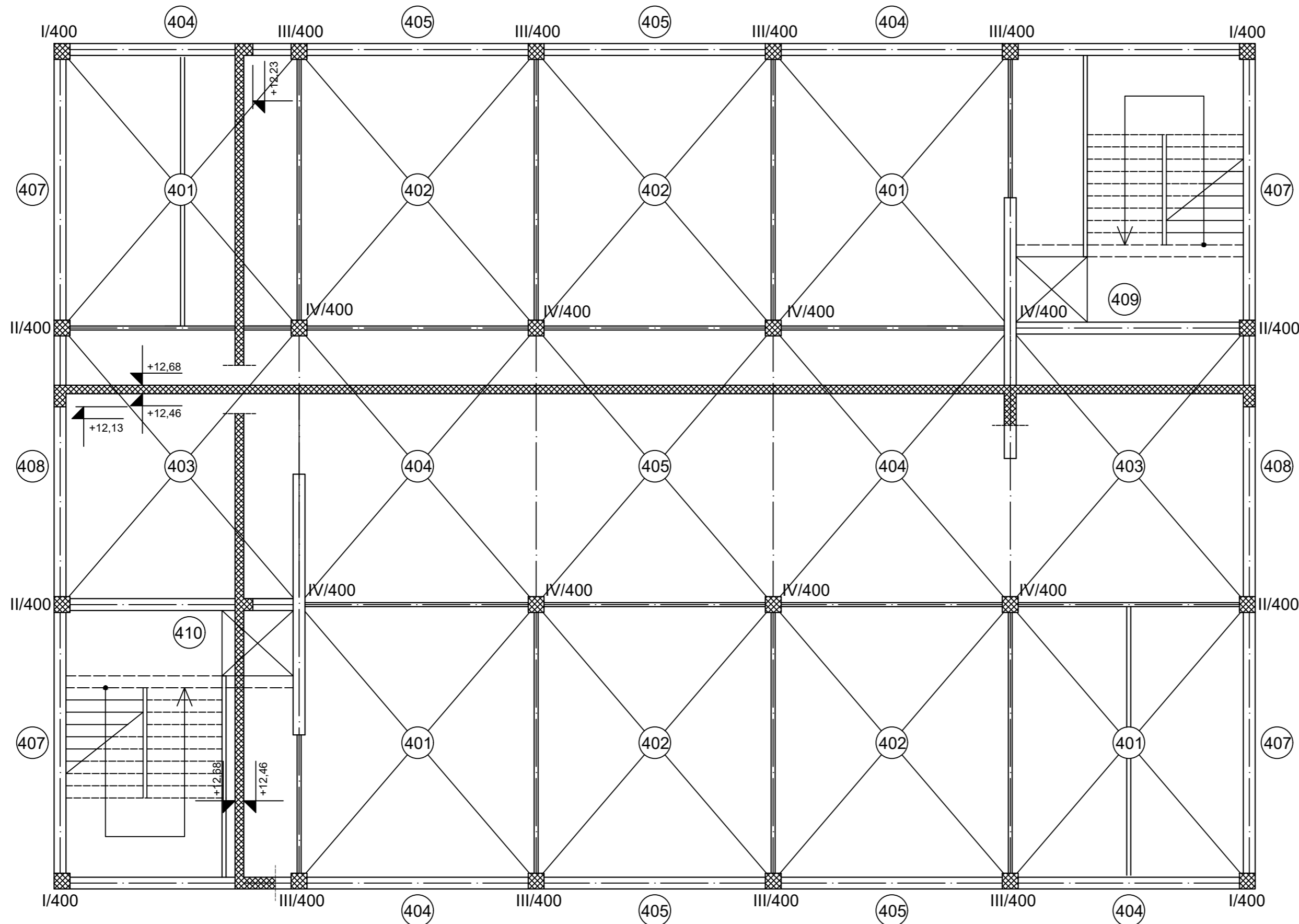
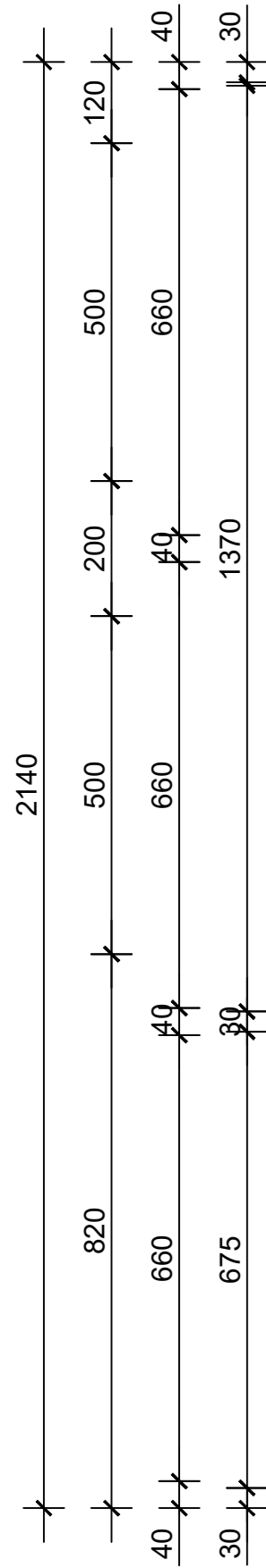
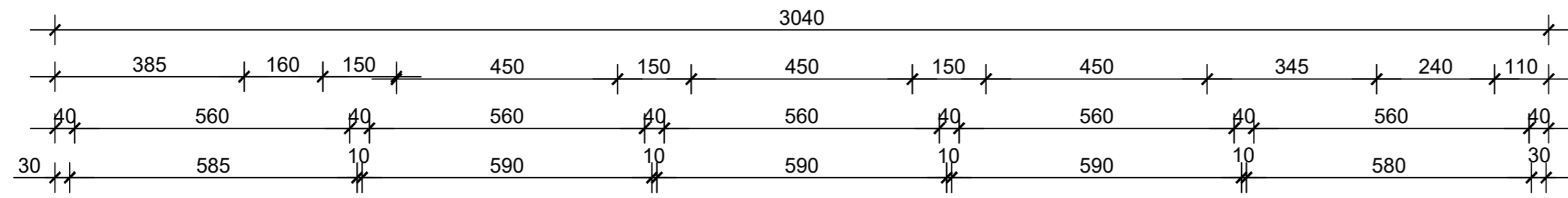
# PLAN OPLATE POZ 300 MJ 1:100



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Plan oplate POZ 300	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 11.

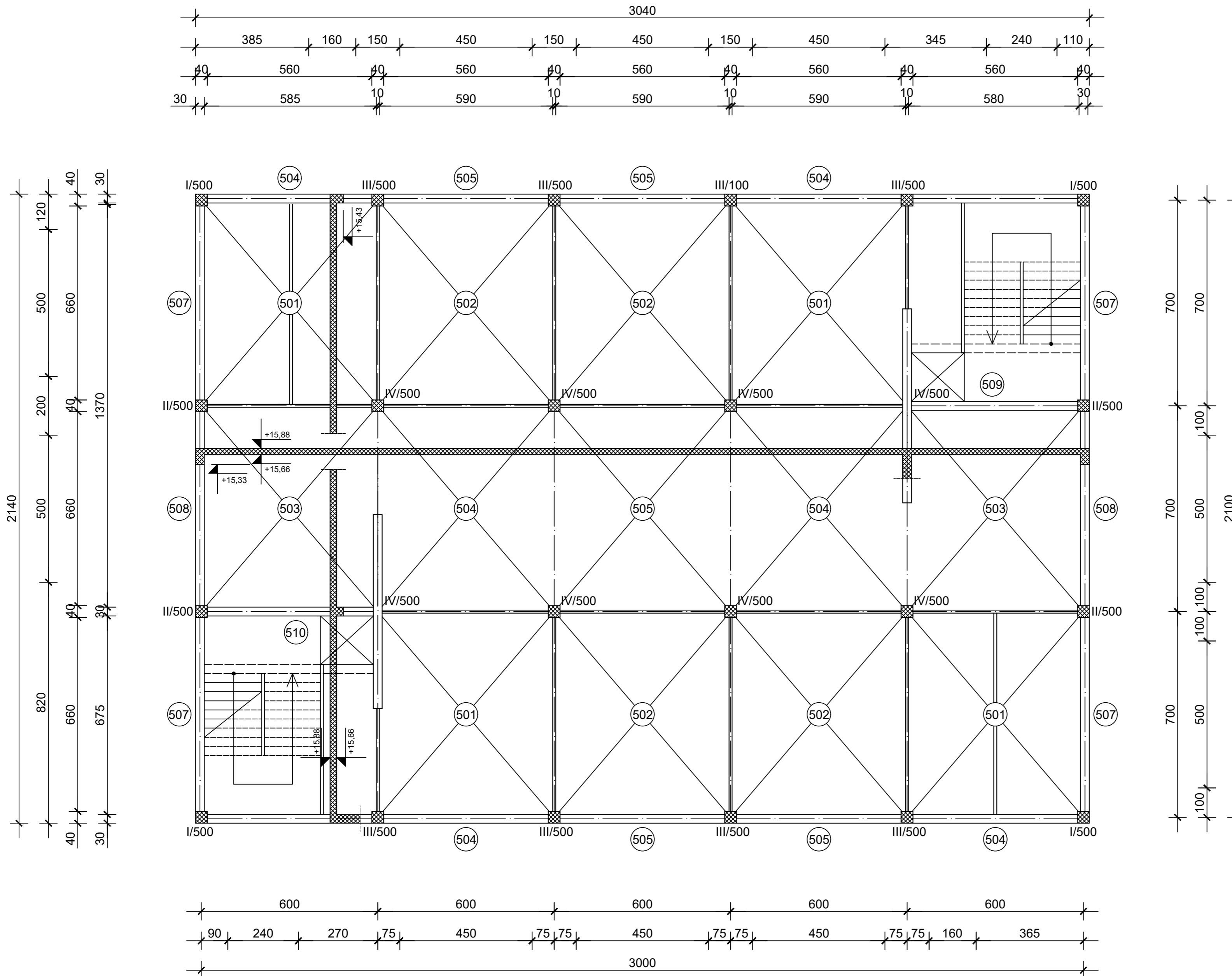
# PLAN OPLATE POZ 400

## MJ 1:100



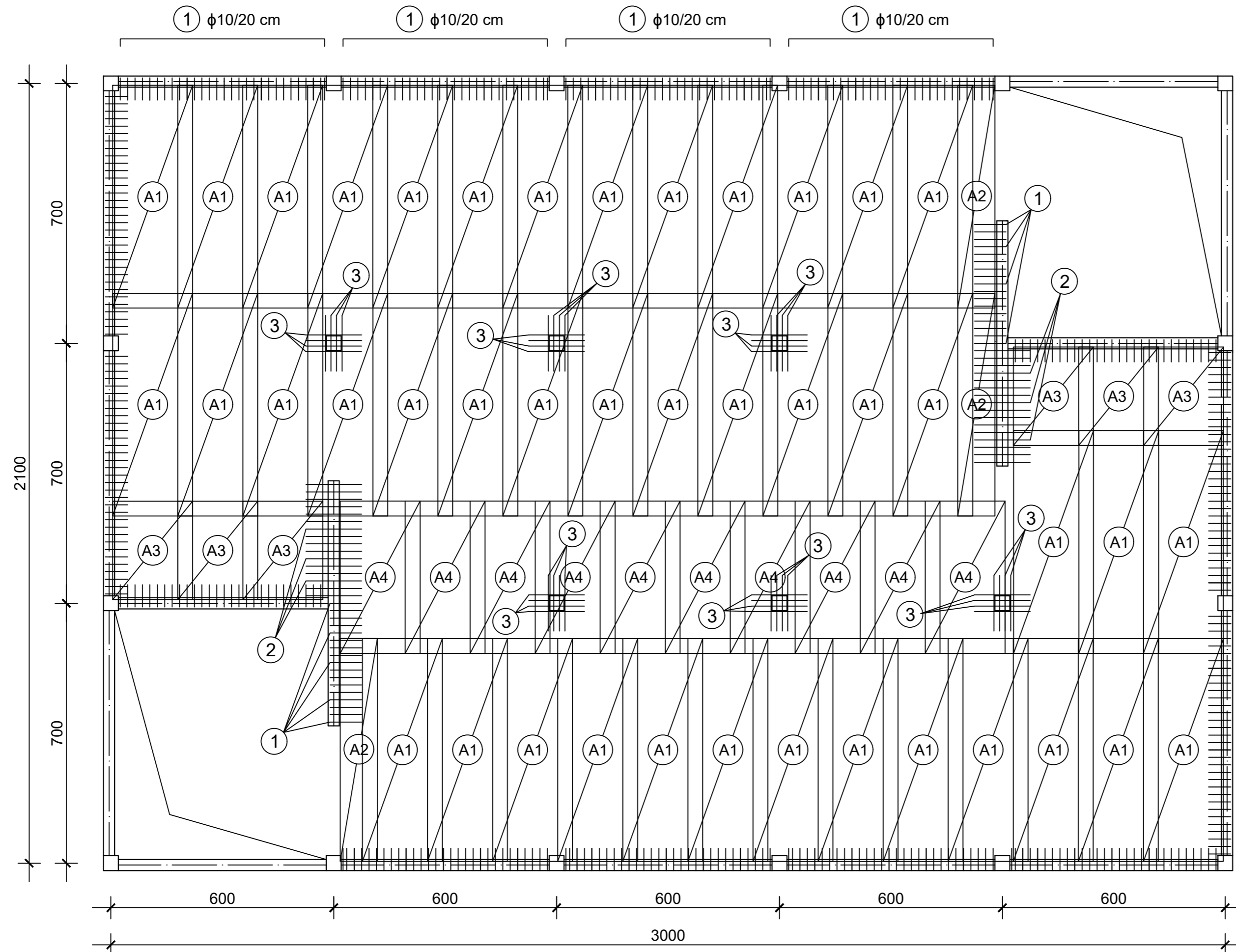
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Plan oplate POZ 400	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 12.

# PLAN OPLATE POZ 500 MJ 1:100

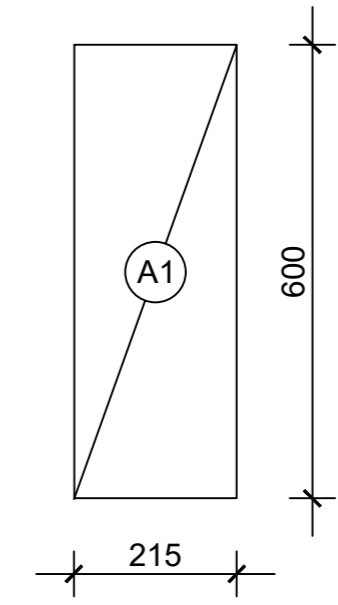


GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Plan oplate POZ 500	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 13.

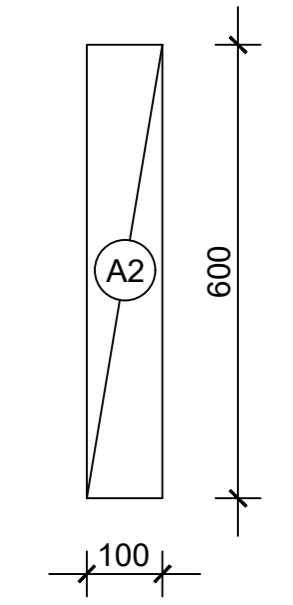
# NACRT ARMATURE KARAKTERISTIČNE PLOČE - DONJA ZONA MJ 1:100



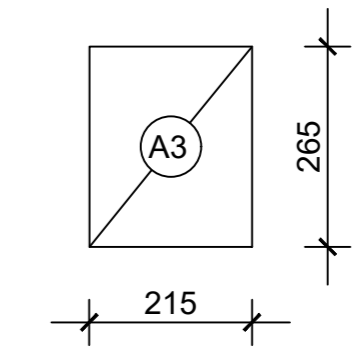
Ⓐ1 Q335  
dim. = 600x215 cm  
kom = 42



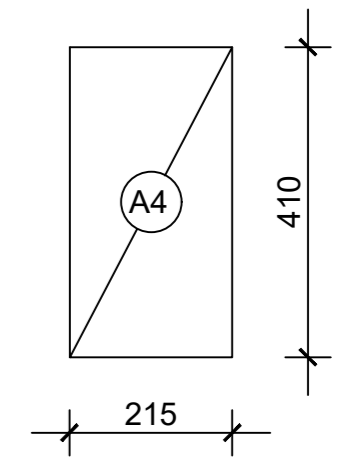
Ⓐ2 Q335  
dim. = 600x100 cm  
kom = 2



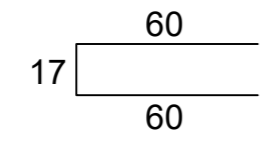
Ⓐ3 Q335  
dim. = 265x215 cm  
kom = 6



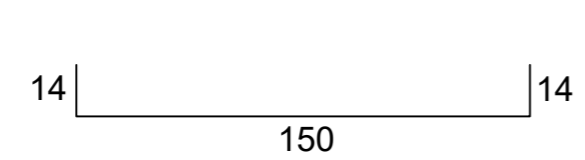
Ⓐ4 Q335  
dim. = 410x100 cm  
kom = 10



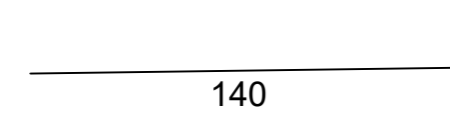
①  $\phi 10/20$  cm  
l = 137 cm  
kom = 454



②  $\phi 10/20$  cm  
l = 178 cm  
kom = 32



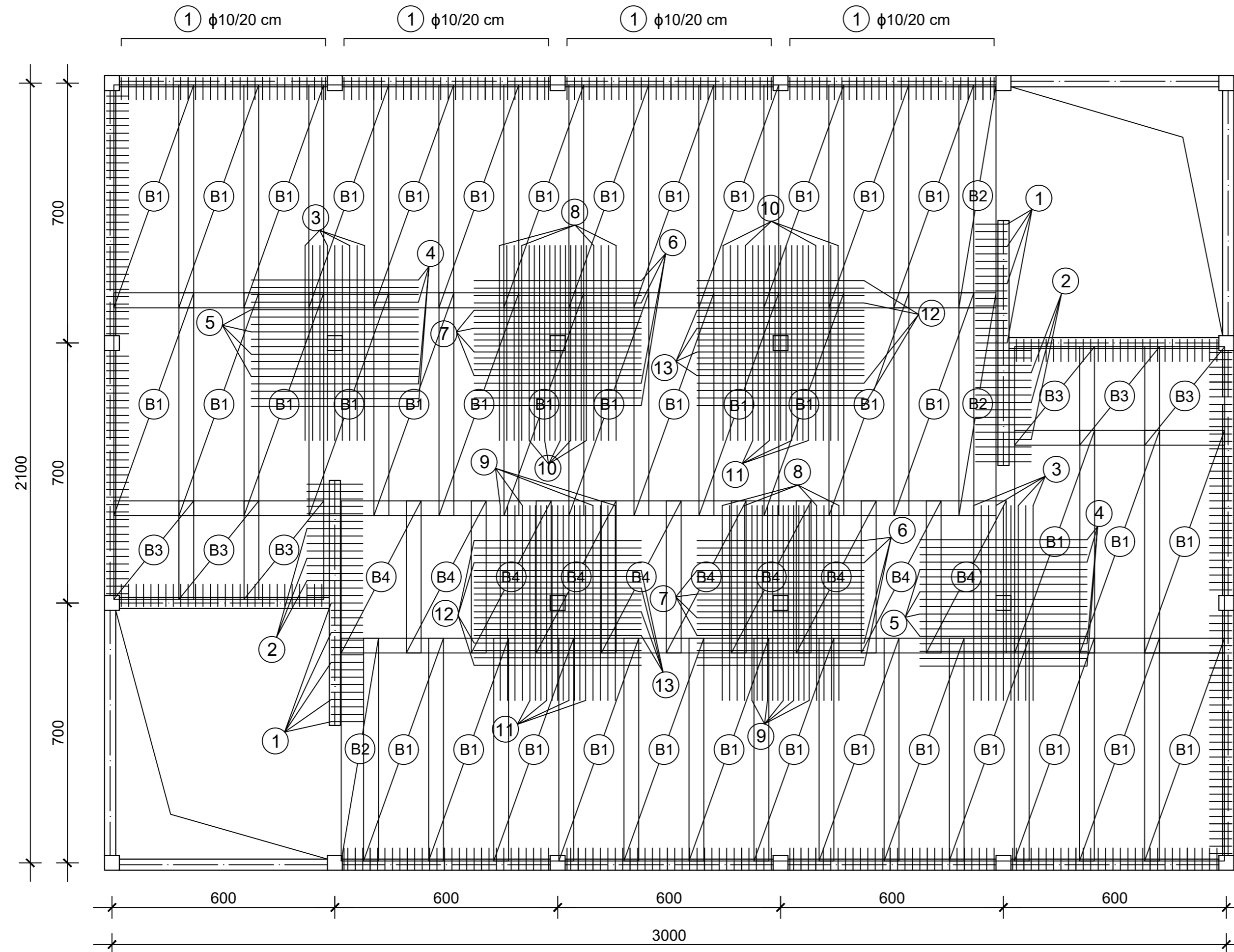
③ 2x4 $\phi 12$   
l = 140 cm  
kom = 48



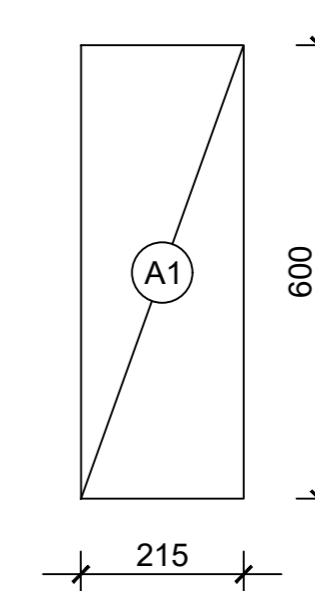
MARKA BETONA:	C30/37
RAZRED IZLOŽENOSTI:	XC1
ARMATURA:	B500B
ZAŠTITNI SLOJ:	2,50 cm

<b>GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</b>			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Nacrt armature karakteristične ploče - donja zona	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 14.

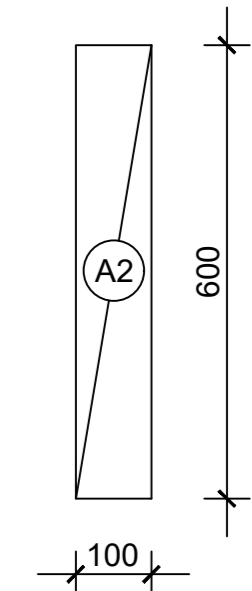
# NACRT ARMATURE KARAKTERISTIČNE PLOČE - GORNJA ZONA MJ 1:100



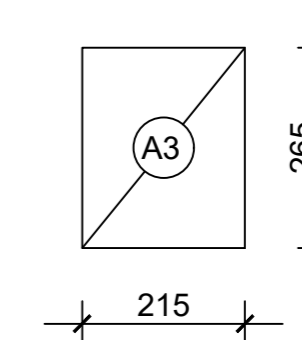
ⓑ1 Q503  
dim. = 600x215 cm  
kom = 42



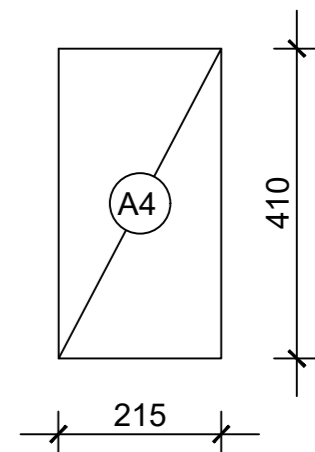
ⓑ2 Q503  
dim. = 600x100 cm  
kom = 2



ⓑ3 Q503  
dim. = 265x215 cm  
kom = 6

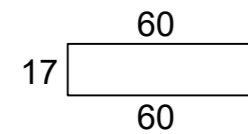


ⓑ4 Q503  
dim. = 410x100 cm  
kom = 10

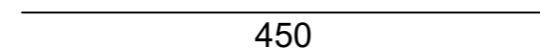


MARKA BETONA:	C30/37
RAZRED IZLOŽENOSTI:	XC1
ARMATURA:	B500B
ZAŠTITNI SLOJ:	2,50 cm

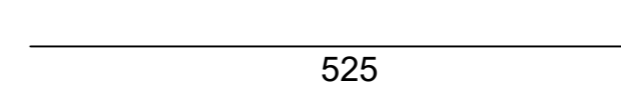
①  $\phi 10/20$  cm  
l = 137 cm  
kom = 454



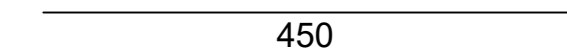
⑤  $\phi 10/20$  cm  
l = 450 cm  
kom = 20



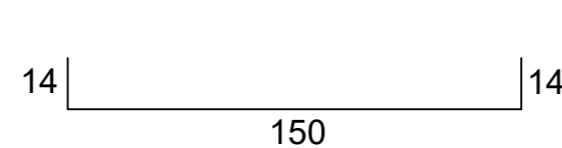
⑨  $\phi 12/14$  cm  
l = 525 cm  
kom = 24



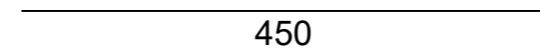
⑬  $\phi 10/16$  cm  
l = 450 cm  
kom = 24



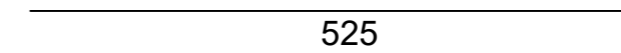
②  $\phi 10/20$  cm  
l = 178 cm  
kom = 32



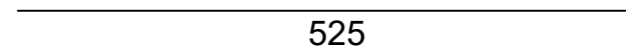
⑥  $\phi 6/20$  cm  
l = 450 cm  
kom = 16



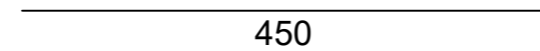
⑩  $\phi 6/20$  cm  
l = 525 cm  
kom = 16



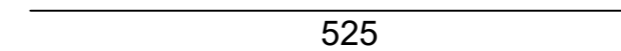
③  $\phi 10/20$  cm  
l = 525 cm  
kom = 18



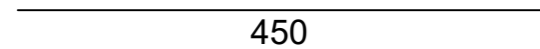
⑦  $\phi 10/16$  cm  
l = 450 cm  
kom = 24



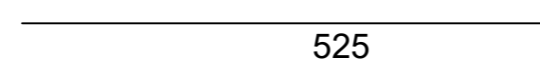
⑪  $\phi 12/15$  cm  
l = 525 cm  
kom = 22



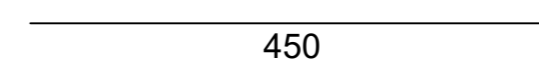
④  $\phi 6/20$  cm  
l = 450 cm  
kom = 16



⑧  $\phi 8/20$  cm  
l = 525 cm  
kom = 16



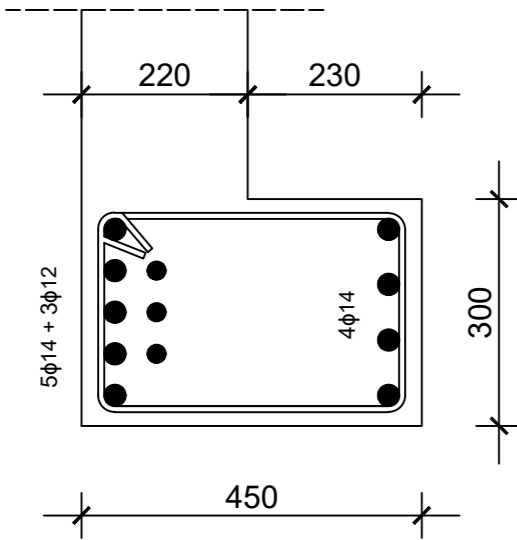
⑫  $\phi 8/20$  cm  
l = 450 cm  
kom = 16



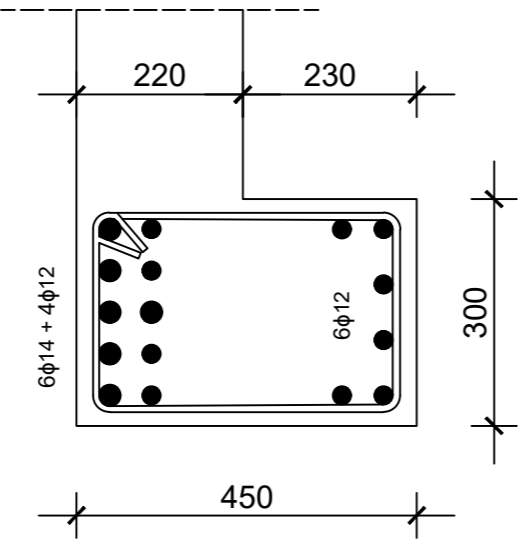
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Nacrt armature karakteristične ploče - gornja zona	
Student: Antonio Jerbić		Kolegiji: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:100	List: 15.

# NACRT ARMATURE KARAKTERISTIČNE GREDE POZ 404-405-405-404 MJ 1:50

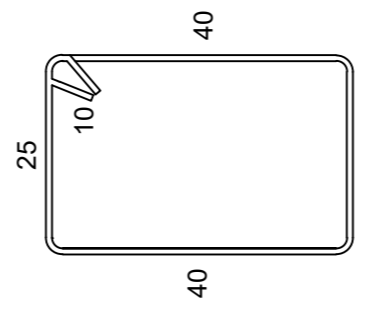
PRESJEK A-A  
MJ 1:10



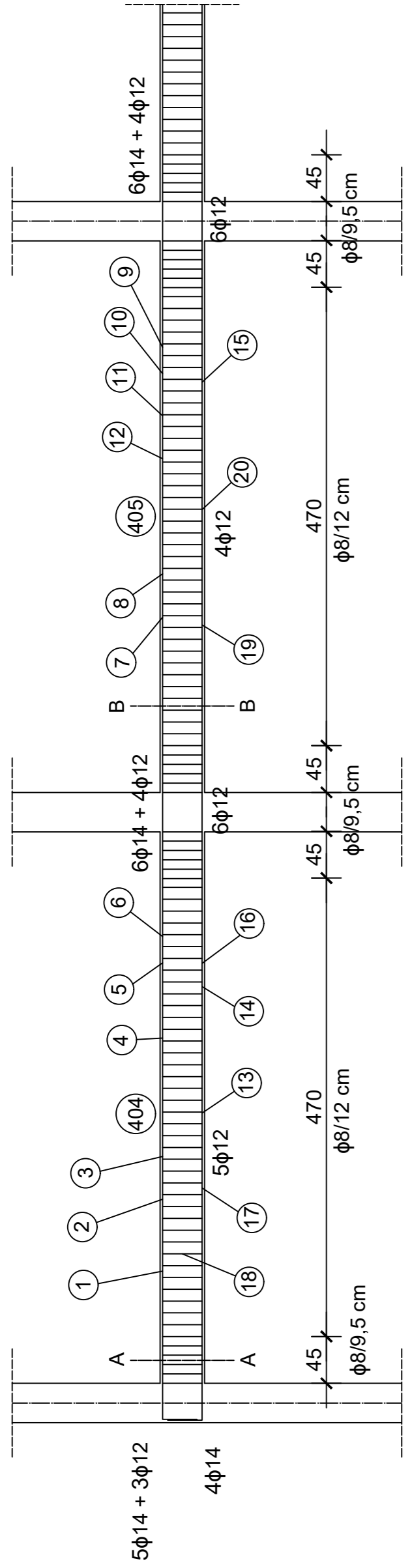
PRESJEK B-B  
MJ 1:10



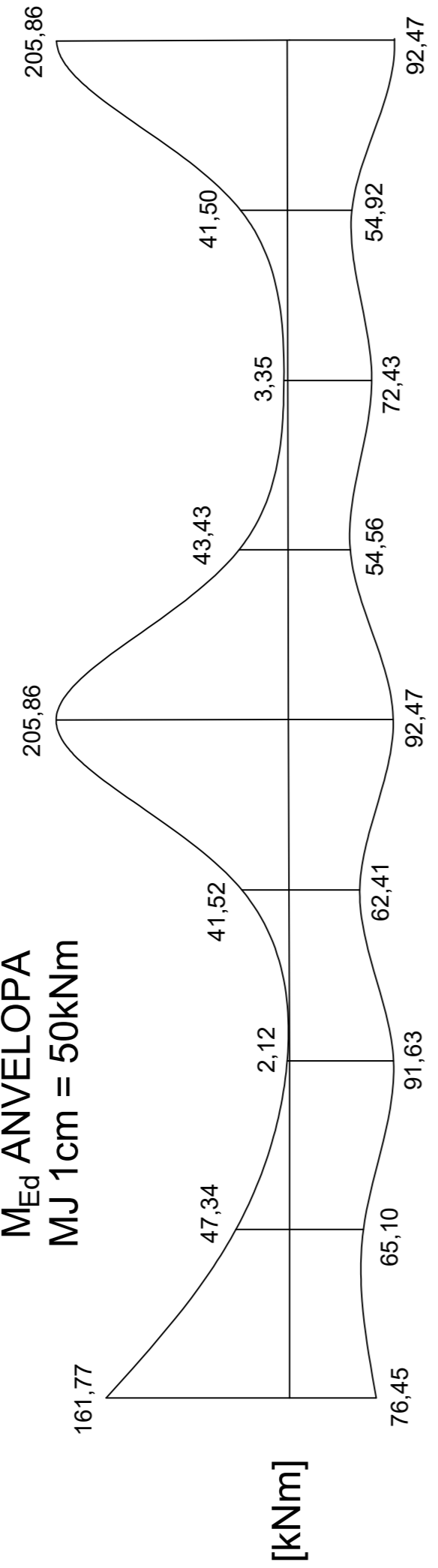
18 φ8, l = 150 cm, kom = 196



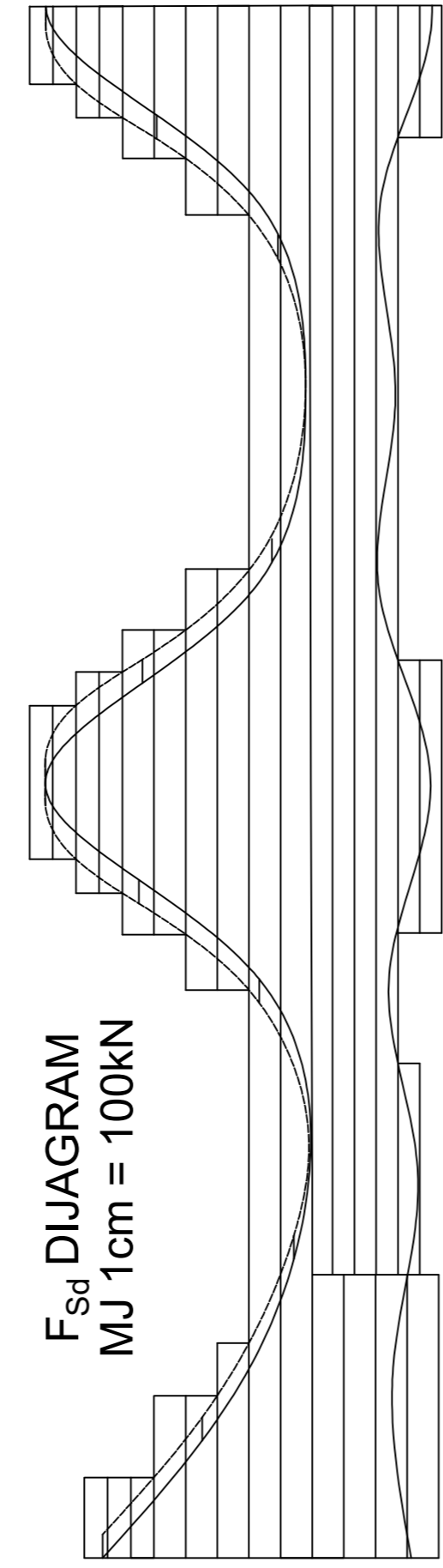
MARKA BETONA:	C30/37
RAZRED IZLOŽENOSTI:	XC1
ARMATURA:	B500B
ZAŠTITNI SLOJ:	2,50 cm



**M<sub>Ed</sub> ANVELOPA**  
MJ 1cm = 50kNm



**F<sub>Sd</sub> DIJAGRAM**  
MJ 1cm = 100kN

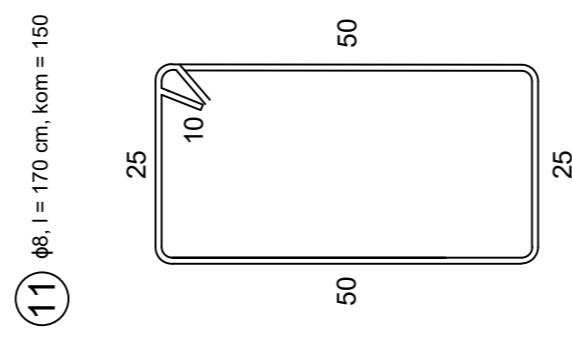
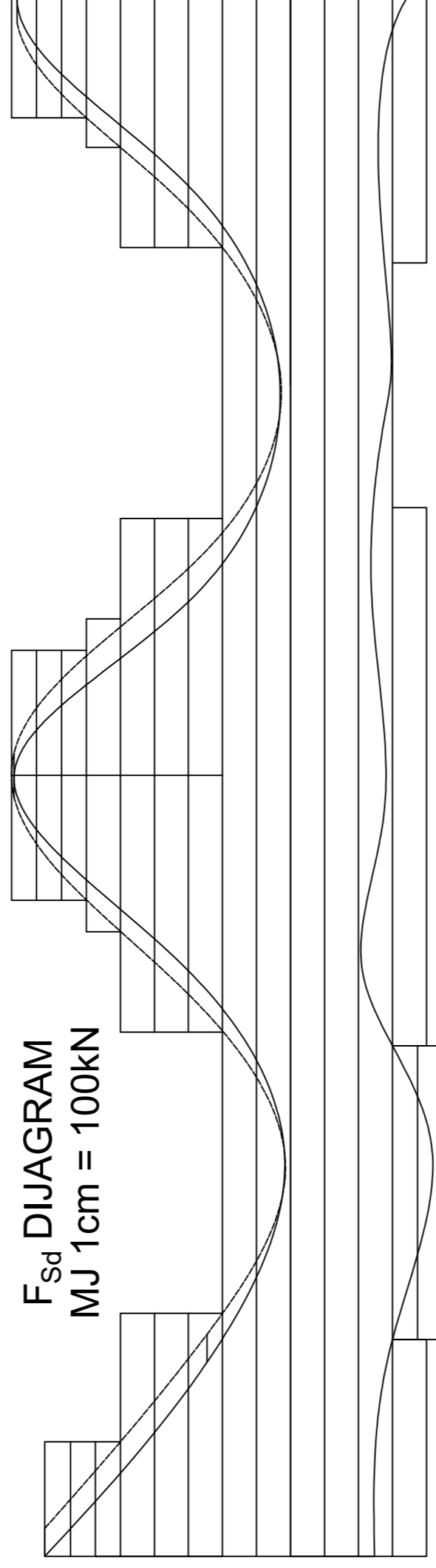
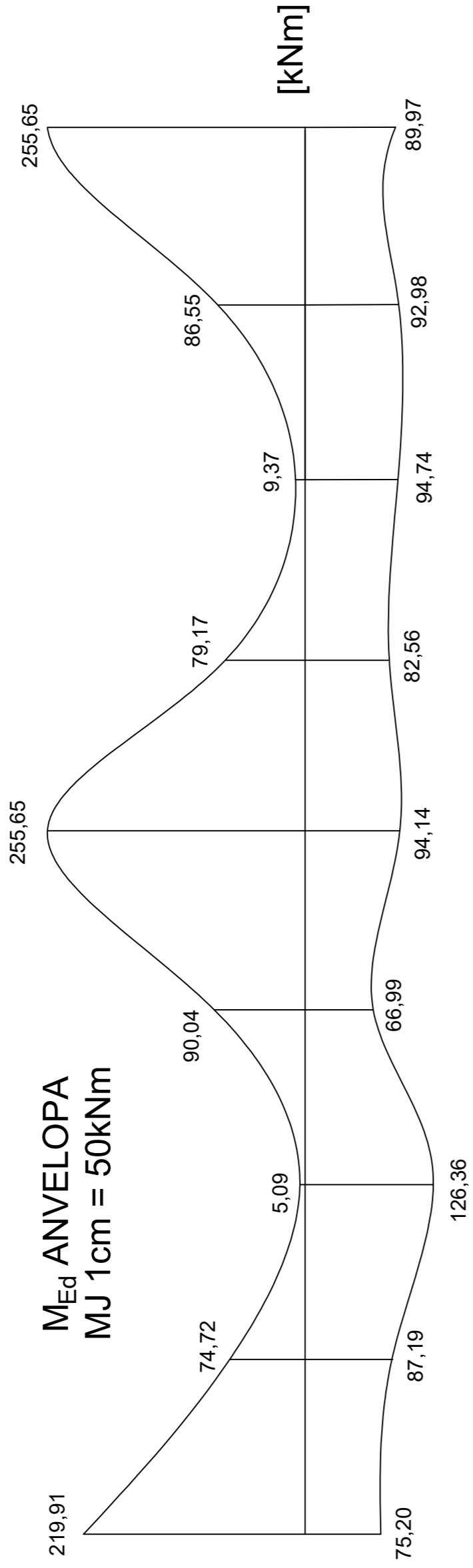
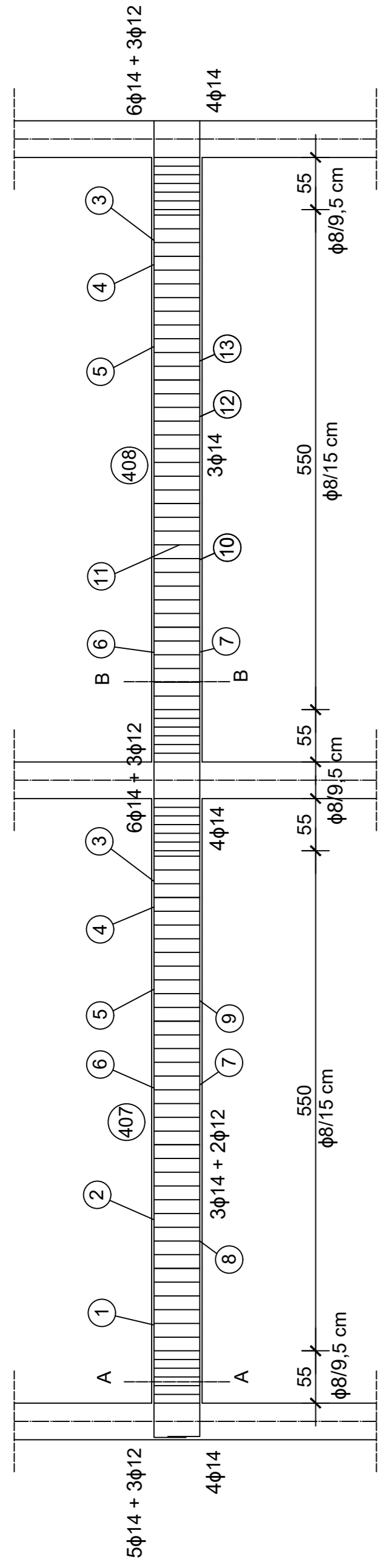


- 1 3φ12, l = 169 cm, kom = 6      25 | 144
- 2 2φ14, l = 254 cm, kom = 4      35 | 219
- 3 1φ14, l = 294 cm, kom = 2      35 | 259
- 4 2φ14, l = 953 cm, kom = 2      35 | 918
- 5 2φ12, l = 243 cm, kom = 4      25 | 243
- 6 2φ12, l = 295 cm, kom = 4      35 | 295
- 7 2φ14, l = 381 cm, kom = 4      35 | 381
- 8 2φ14, l = 466 cm, kom = 4      35 | 466
- 9 2φ12, l = 245 cm, kom = 2      25 | 245
- 10 2φ12, l = 297 cm, kom = 2      35 | 297
- 11 2φ14, l = 382 cm, kom = 2      35 | 382
- 12 2φ14, l = 469 cm, kom = 2      35 | 469
- 13 4φ14, l = 325 cm, kom = 8      35 | 918
- 14 2φ12, l = 299 cm, kom = 4      35 | 299
- 15 2φ12, l = 291 cm, kom = 2      35 | 291
- 16 1φ12, l = 251 cm, kom = 2      35 | 251
- 17 4φ12, l = 767 cm, kom = 8      35 | 767
- 18 φ8, l = 150 cm, kom = 196      35 | 586
- 19 2φ14, l = 820 cm, kom = 2      35 | 820
- 20 4φ12, l = 586 cm, kom = 4      35 | 586

<b>GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</b>			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacрта: Nacrt armature karakteristične grede POZ 404-405-405-404	
Student: Antonio Jerbić		Kolegiji: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:50	List: 16.



# NACRT ARMATURE KARAKTERISTIČNE GREDE POZ 407-408-407 MJ 1:50



① 3φ12, l = 210 cm, kom = 6  
25 | 185

③ 2φ12, l = 348 cm, kom = 4  
348

② 3φ14, l = 346 cm, kom = 4  
35 | 311

④ 1φ14, l = 425 cm, kom = 2  
425

⑤ 3φ14, l = 605 cm, kom = 6  
605

⑥ 2φ14, l = 810 cm, kom = 6  
35 | 810

⑫ 2φ14, l = 741 cm, kom = 2  
741

⑦ 3φ14, l = 810 cm, kom = 6  
35 | 810

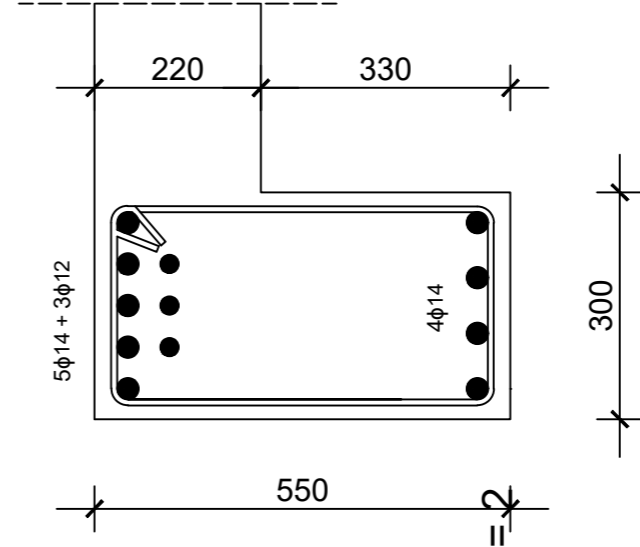
⑬ 3φ14, l = 741 cm, kom = 3  
741

⑧ 1φ14, l = 302 cm, kom = 2  
35 | 267

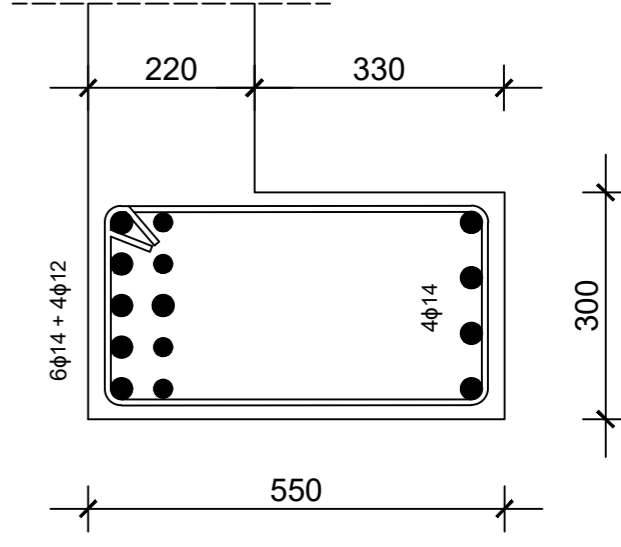
⑨ 2φ12, l = 387 cm, kom = 4  
387

⑩ 1φ14, l = 605 cm, kom = 2  
605

PRESJEK A-A  
MJ 1:10



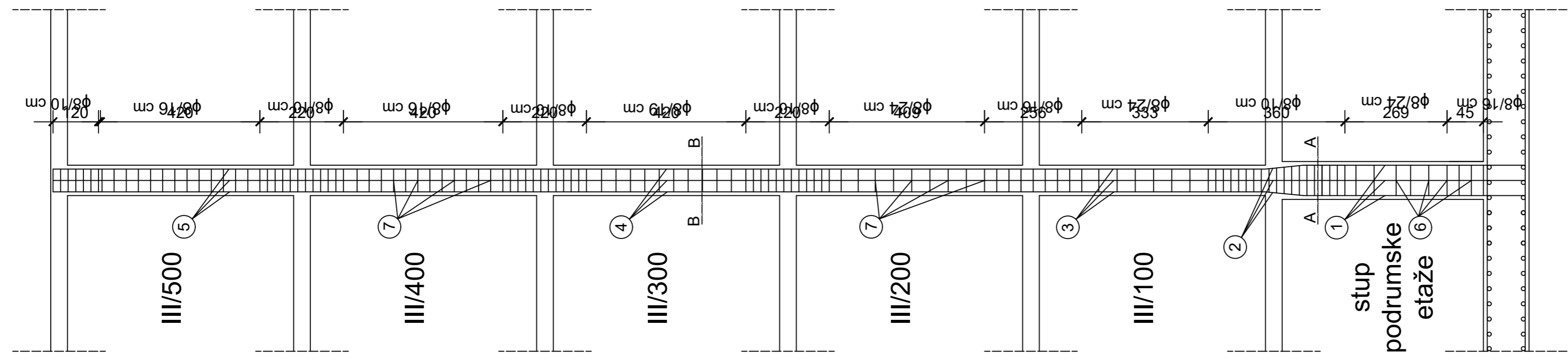
PRESJEK B-B  
MJ 1:10



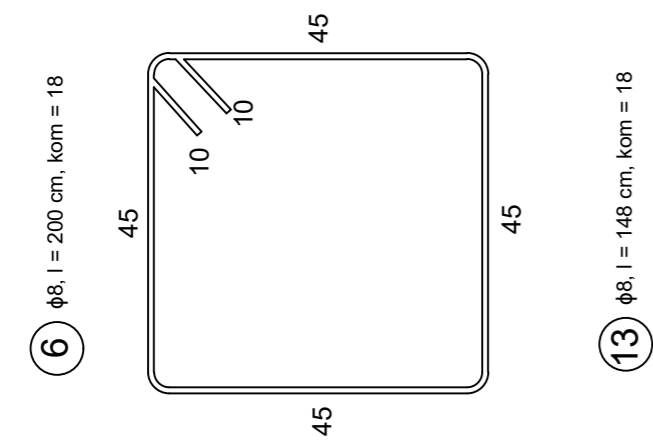
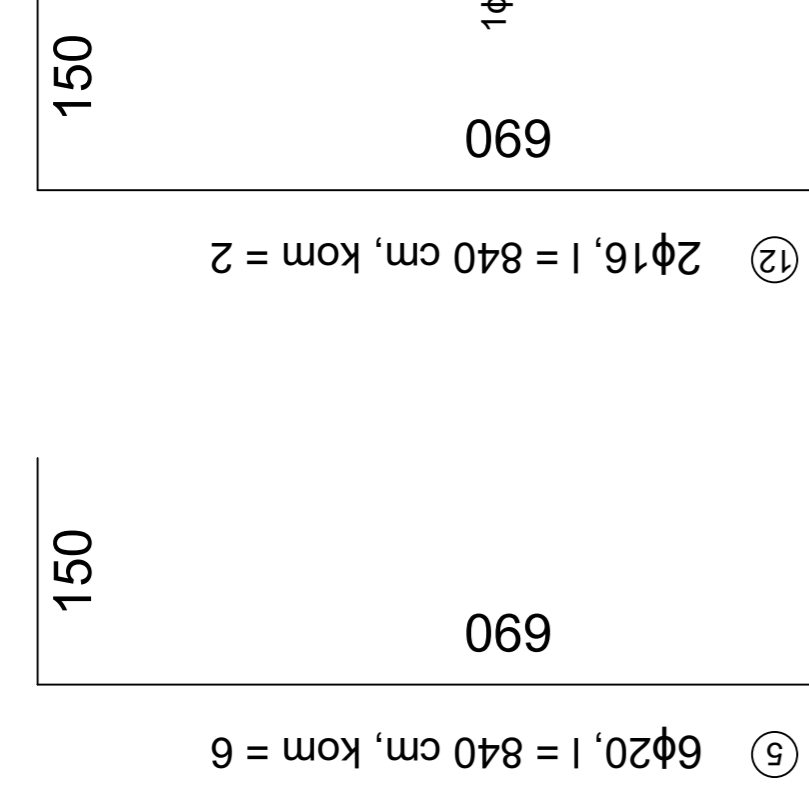
<b>GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</b>			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacrt: Nacrt armature karakteristične grede POZ 407-408-407	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc.Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:50	List: 17.

NACRT ARMATURE  
 KARAKTERISTIČNOG STUPA POZ III  
 MJ 1:50

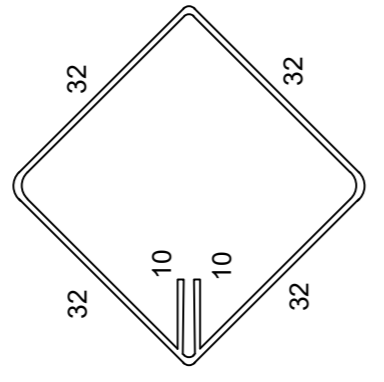
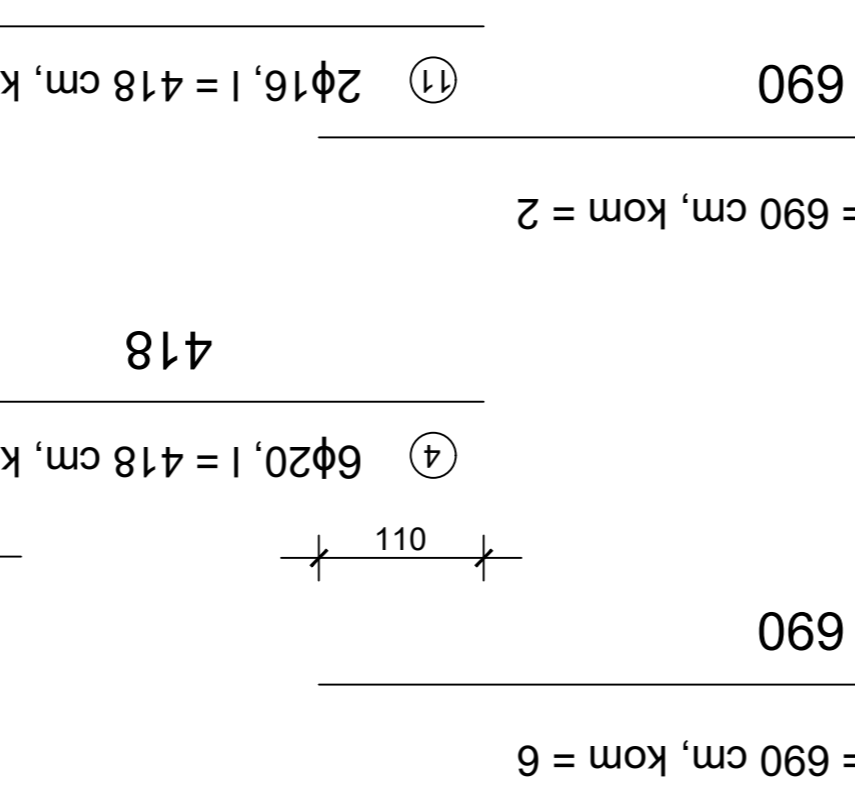
MARKA BETONA:	C30/37
RAZRED IZLOŽENOSTI:	XC1
ARMATURA:	B500B
ZAŠTITNI SLOJ:	2,50 cm



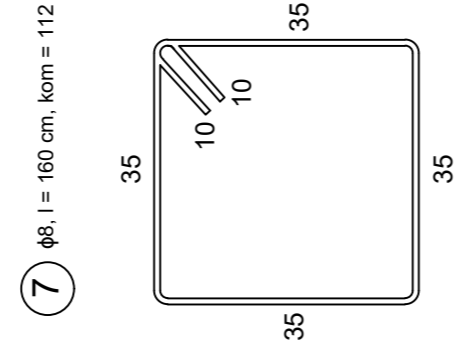
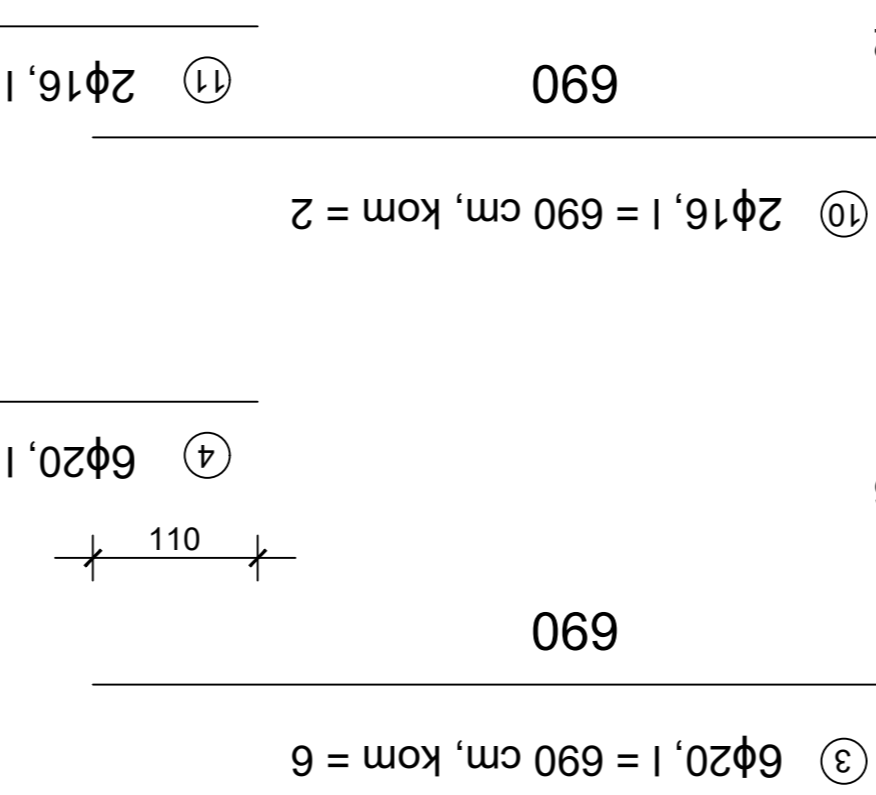
PRESJEK A-A  
 MJ 1:10



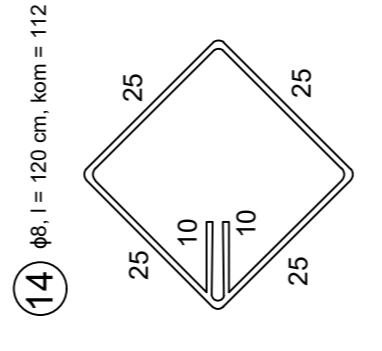
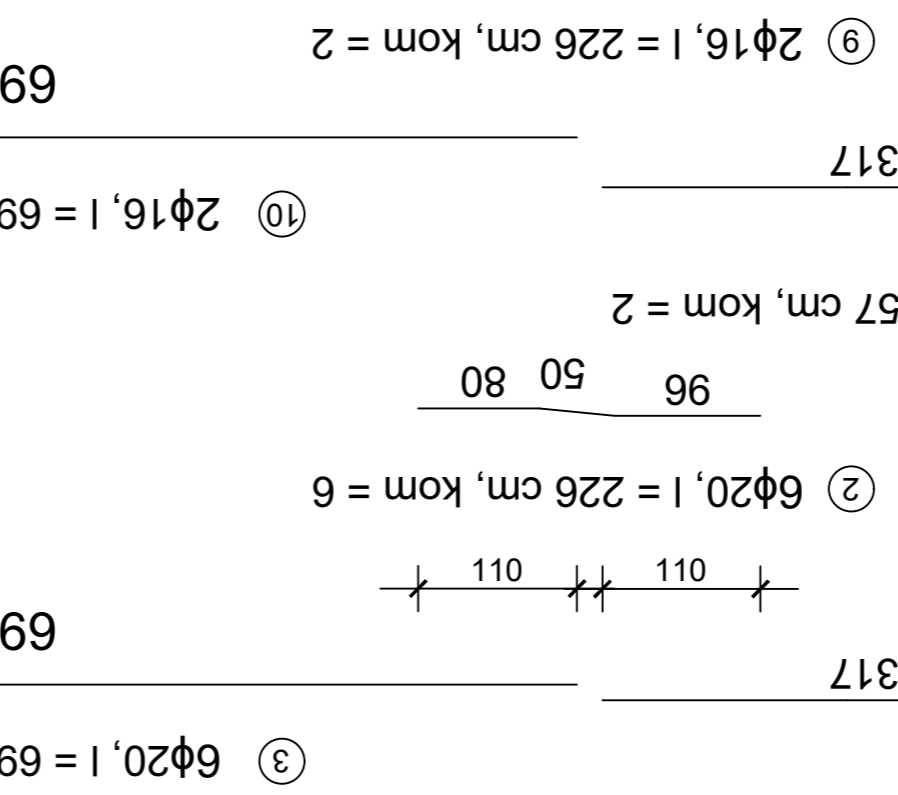
PRESJEK B-B  
 MJ 1:10



PRESJEK A-A  
 MJ 1:10



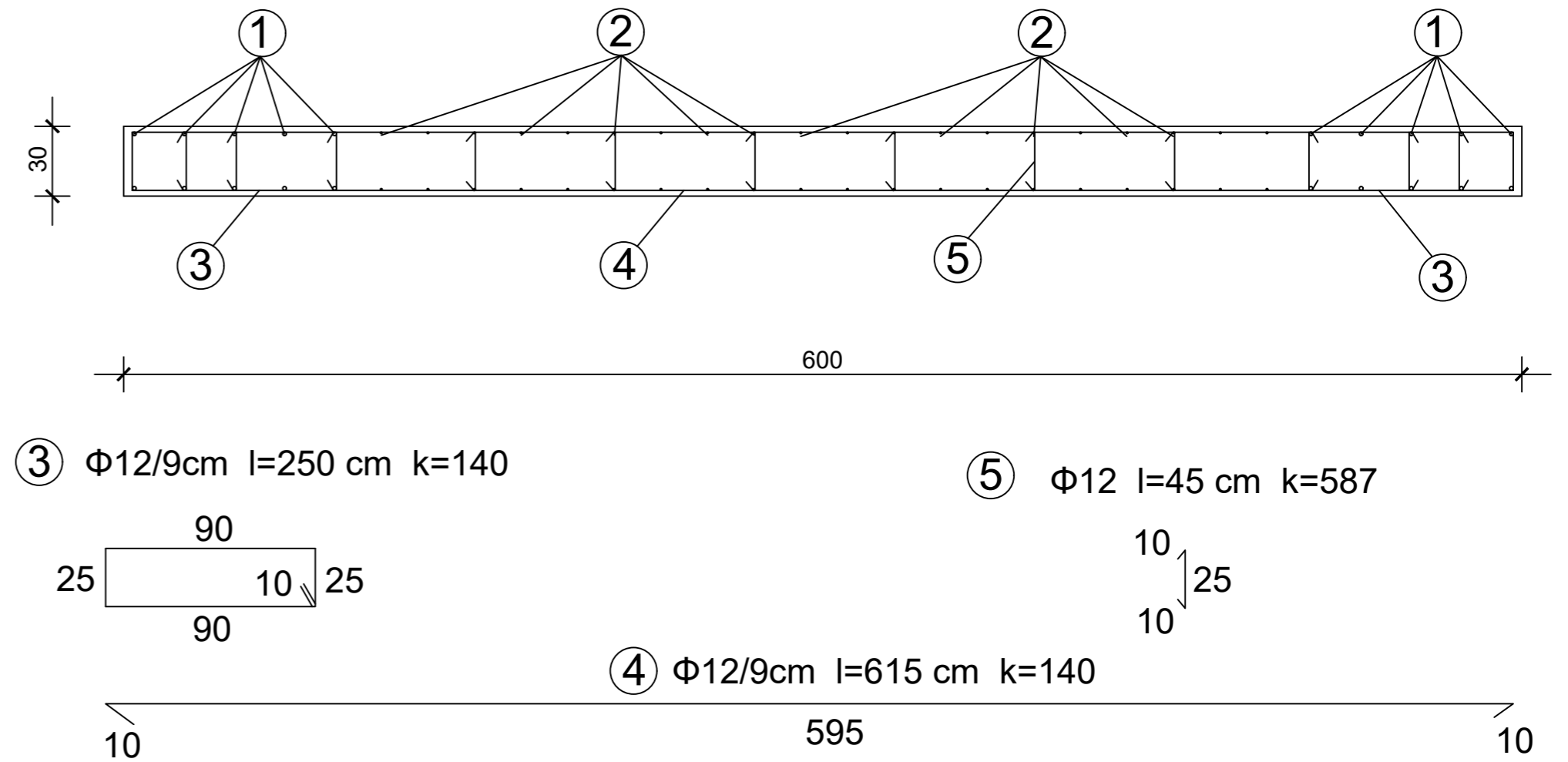
PRESJEK B-B  
 MJ 1:10



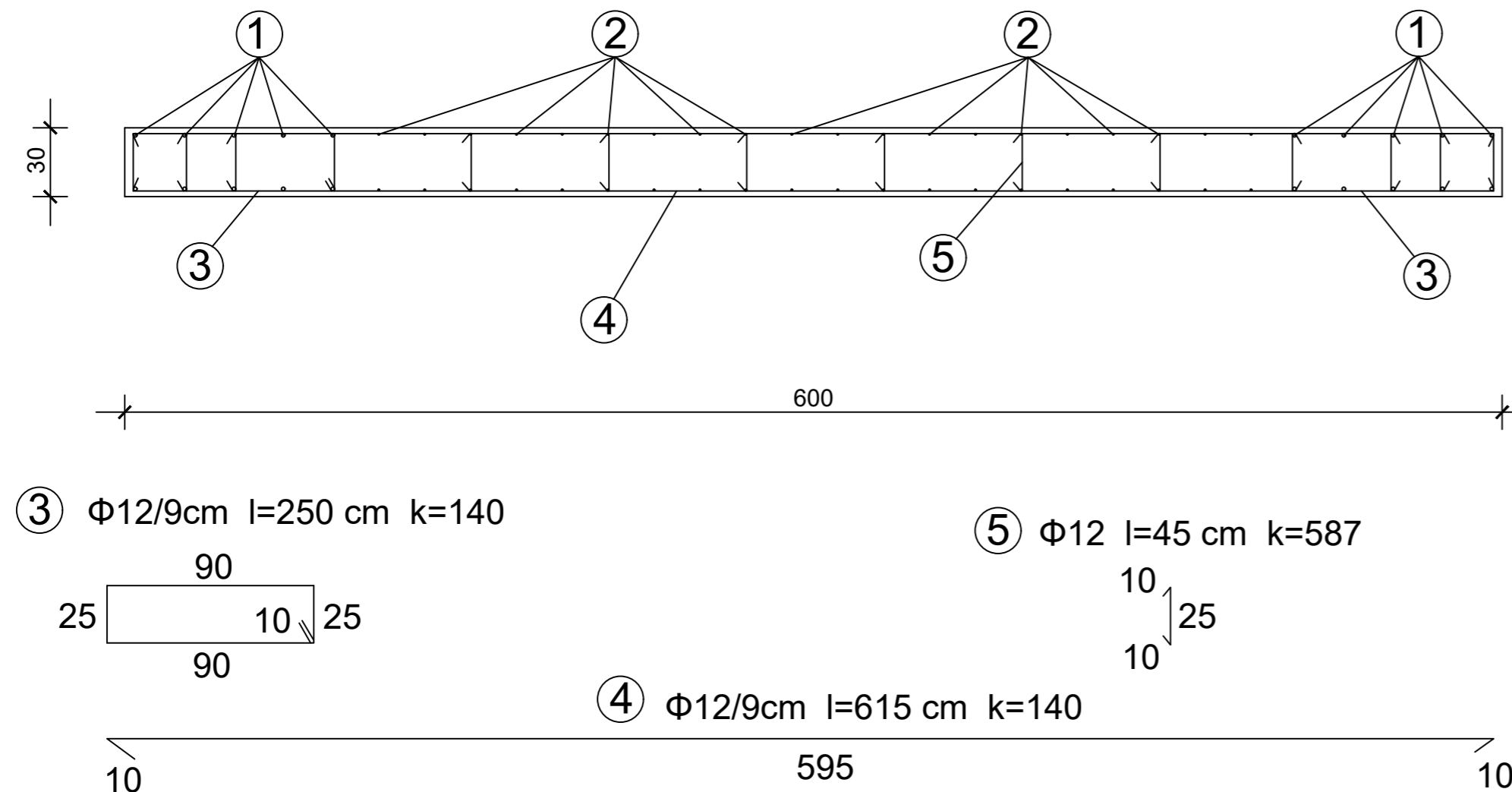
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacrta: Nacrt armature karakterističnog stupa POZ III	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc.Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:50	List: 18.

# NACRT ARMATURE ZIDA Z2 U KRITIČNOM PODRUČJU MJ 1:50

PRESJEK B-B - IZNAD STROPNE PLOČE PODRUMA MJ 1:25



PRESJEK A-A - ISPOD STROPNE PLOČE PODRUMA MJ 1:25



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: Projekt armiranobetonske konstrukcije poslovne zgrade		Sadržaj nacrt: Nacrt armature zida Z2 u kritičnom području	
Student: Antonio Jerbić		Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije	
Mentor: prof. dr. sc. Davor Grandić, dipl.ing.grad.	Datum: 18.09.2023.	Mjerilo: MJ 1:50	List: 19.