

Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade

Nekić, Petra

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:157:485527>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Petra Nekić

Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske
poslovne zgrade

Diplomski rad

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo

Konstrukcije

Betonske i zidane konstrukcije 1

Petra Nekić

JMBAG: 0114031307

**Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske
poslovne zgrade**

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2023.

IZJAVA

Diplomski rad izradila 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.

Petra Nekić

U Rijeci, rujan 2023.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Paulu Šćulcu na utrošenom vremenu, strpljenju i pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na velikoj podršci tijekom studija.

Najveća hvala mojim roditeljima i braći na razumijevanju i podršci. Bez njih ovo dostignuće ne bi bilo moguće.

POPIS SLIKA

Slika 1. Tlocrt prizemlja

Slika 2. Strop iznad prizemlja POZ. 100

Slika 3. Presjek konstrukcije

Slika 4. Poprečni presjek kazetiranog stropa [3]

Slika 5. Shema kazetiranog stropa prema kojoj se vrši provjera

Slika 6. Prikaz položaja težišta presjeka kazetiranog stropa

Slika 7. Zamjenjujuća visina ploče

Slika 8. Prikaz slojeva konstrukcije ravnog krova

Slika 9. Prikaz slojeva međukatne konstrukcije

Slika 10. Shematski prikaz djelovanja vjetra na konstrukciju

Slika 11. Karta potresnih područja Republike Hrvatske za poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla a_{gR}

Slika 12. Presjek nosivog zida za koji računamo proračunsku ploštinu presjeka

Slika 13. Potresno djelovanje na konstrukciju

Slika 14. Raspodjela potresne sile na okvire

Slika 15. Potresne sile na „okvir 1”

Slika 16. Tlocrtni prikaz centra mase i centra krutosti konstrukcije

Slika 17. Prikaz jedne kazete kazetirane stropne ploče

Slika 18. STIGLAT-WIPPEL tablica za proračun ploče POZ. 101 [15]

Slika 19. Shema pozicija stropne ploče prizemlja

Slika 20. Shema ploče POZ. 101

Slika 21. Shema T-presjeka

Slika 22. Shema ploče POZ. 102

Slika 23. STIGLAT-WIPPEL tablica za proračun ploče POZ. 102 [15]

Slika 24. Shema ploče POZ. 101

Slika 25. Prikaz vertikalnih opterećenja na „okvir 1”

Slika 26. Nesimetrično uporabno opterećenje lijevo na „okvir 1”

Slika 27. Prikaz horizontalnog opterećenja vjetra na „okvir 1”

Slika 28. Pomaci konstrukcije

Slika 29. Shema presjeka rubne grede u polju pomoću kojeg se određuje sudjelujuća širina T-presjeka grede

Slika 30. Anvelopa momenata savijanja grede POZ. 411 iz STAAD.pro

Slika 31. Anvelopa momenata savijanja grede POZ. 111 iz STAAD.pro

Slika 32. Djelovanje na gredu za smjer 1

Slika 33. Poprečna armatura u kritičnom području grede [9]

Slika 34. Vrijednost momenta savijanja i uzdužne sile u stupu I/100 za osnovnu kombinaciju djelovanja

Slika 35. Vrijednost momenta savijanja, poprečne sile i uzdužne tlačne sile u stupu I/100 za potresnu kombinaciju djelovanja

Slika 36. Djelovanja na stup I/100

Slika 37 . Poprečni presjek i odabrana armatura stupa

Slika 38. a) Odziv povezanih zidova na bočno opterećenje; b) utjecaj krutosti vezne grede na momentne dijagrame zidova [23]

Slika 39. Shematski prikaz zidova, proširenja u obliku stupova i veznih greda

Slika 40. Prikaz normalnih naprezanja u zidovima za potresnu kombinaciju djelovanja

Slika 41. Prikaz posmičnih naprezanja u zidovima za potresnu kombinaciju djelovanja

Slika 42. Shema konačnih elemenata zida A/zida B

Slika 43. Udaljenost težišta zida do težišta konačnog elementa

Slika 44. Shema rezultanti uzdužnih i poprečnih sila koje djeluju na zid

Slika 45. Dimenzioniranje zida ZA na moment savijanja i uzdužnu silu

Slika 46. Zid ZA – prikaz metode Wuczkowsky

Slika 47. Proračunska ovojnica za zid ZA

Slika 48. Dimenzioniranje zida ZB na moment savijanja i uzdužnu silu

Slika 49. Zid ZB – prikaz metode Wuczkowsky

Slika 50. Proračunska ovojnica za zid ZB

Slika 51. Poprečni presjek zida

Slika 52. Naprezanje u zidu prilikom djelovanja momenta savijanja i uzdužne sile [9]

Slika 53. Poprečni presjek rubnog elementa

Slika 54. Poprečni presjek rubnog elementa

Slika 55. Statički sustav vezne grede

Slika 56. Pozicije veznih greda

Slika 57. Vezne grede sa armaturom u dijagonalnom smjeru [9]

Slika 58. Skica nagiba tlačnih štapova prema uzdužnoj osi elementa

POPIS TABLICA

Tablica 1: Preporučeni razred konstrukcije [HRN EN 1992-1-1]

Tablica 2: Najmanji zaštitni sloj betona [HRN EN 1992-1-1]

Tablica 3. Analiza opterećenja ravnog, neprohodnog krova

Tablica 4. Analiza opterećenja međukatne konstrukcije

Tablica 5. Iznos uporabnog opterećenja

Tablica 6. Koeficijenti vanjskog tlaka na vertikalne zidove [HRN EN 1994-1-4]

Tablica 7. Razred važnosti zgrade [10]

Tablica 8. Vrijednosti parametara koje opisuju elastični spektar odziva tipa 1 [10]

Tablica 9. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za sustave pravilne po visini [10]

Tablica 10. Približne vrijednosti faktora α/α_1 za zgrade pravile u tlocrtu [10]

Tablica 11. Vrijednosti faktora k_w [10]

Tablica 12. Preporučene vrijednosti faktora ψ za zgrade [HRN EN 1990]

Tablica 13. Vrijednosti φ za proračun ψ_{Ei} [10]

Tablica 14. Prikaz naprezanja u konačnim elementima zida ZA

Tablica 15. Prikaz naprezanja u konačnim elementima zida ZB

Tablica 16. Rezne sile u zidu ZA

Tablica 17. Rezne sile u stupu SA

Tablica 18. Rezne sile u zidu ZB

Tablica 19. Rezne sile u stupu SB

Tablica 20. Proračunski moment i uzdužna sila u zidu ZA i stupu SA

Tablica 21. Vrijednosti poprečne sile po visini zgrade zida ZA

Tablica 22. Proračunski moment i uzdužna sila u zidu ZB i stupu SB

Tablica 23. Vrijednosti poprečne sile po visini zgrade zida ZB

Tablica 24. Poprečne sile u veznim gredama za potresnu kombinaciju opterećenja 1

SAŽETAK

U radu je proveden statički proračun i dimenzioniranje armiranobetonske zgrade, poslovne namjene, katnosti P+3, smještene na području Zadarske županije. Zgrada je pravilnog tlocrtnog oblika dimenzija 24,74 m x 24,74 m i visine 13,85 m, te se sastoji od tri polja u svakom smjeru. U sredini zgrade nalazi se atrij u kojem je predviđena komunikacija (stubište i dizalo). Međukatna konstrukcija je kazetirani strop s obodnim gredama. Vertikalnu nosivu konstrukciju čine zidovi međusobno povezani veznim gredama i stupovi kružnog poprečnog presjeka. Povezani zidovi zbog velike krutosti preuzimaju većinu horizontalnog opterećenja, što je i pokazano izradom ravninskog modela u kojem su okviri poredani jedan do drugoga, povezani krutim gredama u razini stropne konstrukcije, te opterećeni horizontalnim opterećenjem. Proračun djelovanja i dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije provedeno je u skladu s važećim normama i nacionalnim dodacima (HRN EN 1990, 1991, 1992 i 1998). Za dimenzionirane elemente izrađeni su nacrti armature.

Ključne riječi: armiranobetonska konstrukcija, kazetirani strop, povezani zid, potresno djelovanje, ravninski model

ABSTRACT

This final year project deals with static analysis and design of a reinforced concrete office building, containing ground floor and three storeys, located in Zadar County. The building has a regular floor plan with dimensions 24.74 m x 24.74 m, height 13.85 m and consists of three spans in each direction. In the middle of the building there is an atrium where communication is provided (staircase and elevator). The floor structure is a waffle slab with perimeter beams. The vertical load-bearing structure consists of coupled walls and columns with a circular cross-section. Due to their high rigidity, the coupled walls collect most of the horizontal load, which was demonstrated by making a planar model in which the frames are lined up next to each other connected by rigid beams at the level of the floor structure, and loaded with horizontal loads. Load analysis and design of load-bearing members was carried out in accordance with valid standards and national annexes (HRN EN 1990, 1991, 1992 and 1998). Reinforcement drawings were made for the designed elements.

Keywords: reinforced concrete structure, waffle slab, coupled wall, seismic action, 2D model

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Tehnički popis | 1 |
| 2. SVOJSTVA MATERIJALA | 3 |
| 2.1. Beton | 3 |
| 2.2. Čelik za armiranje | 3 |
| 2.3. Razred izloženosti i zaštitni sloj beton | 4 |
| 3. ANALIZA OPTEREĆENJA | 6 |
| 3.1. Određivanje visine greda | 6 |
| 3.2. Analiza stalnog opterećenja | 7 |
| 3.3. Opterećenje snijegom | 11 |
| 3.4. Opterećenje vjetrom | 12 |
| 4. POTRESNO OPTEREĆENJE | 15 |
| 4.1. Određivanje potresnog djelovanja | 16 |
| 4.2. Određivanje bočnih sila od potresnog djelovanja | 20 |
| 4.3. Određivanje težine po katovima | 23 |
| 4.4. Potresna proračunska kombinacij | 28 |
| 5. DIMENZIONIRANJE KAZETIRANOG STROPA | 29 |
| 5.1. Dimenzioniranje kazetiranih stropova POZ 100..... | 29 |
| 5.1.1. Dimenzioniranje ploče | 29 |
| 5.1.2. Dimenzioniranje rebara | 31 |
| 5.1.3. Dimenzioniranje na poprečne sile..... | 38 |
| 5.1.4. Granično stanje deformiranja | 41 |
| 6. PRORAČUN OKVIRA..... | 43 |
| 6.1. Analiza opterećenja ravnog krova..... | 44 |
| 6.2. Analiza horizontalnih opterećenja na okvir..... | 46 |
| 7. PROVJERA MEĐUKATNIH POMAKA..... | 48 |
| 7.1. Proračun vitkih elemenata okvira | 49 |
| 8. PRORAČUN GREDA..... | 53 |
| 8.1. Dimenzioniranje greda na moment savijanja | 53 |
| 8.2. Dimenzioniranje greda okvira na poprečnu silu..... | 59 |
| 8.3. Kritično područje grede | 64 |
| 9. DIMENZIONIRANJE STUPOVA OKVIRA..... | 69 |
| 9.1. Dimenzioniranje stupova na ekscentrični tlak | 69 |
| 9.2. Dimenzioniranje na poprečne sile prema kapacitetu nosivosti..... | 72 |
| 9.3. Kritično područje stupa | 75 |
| 9.4. Provjera osiguranja lokalne duktilnost | 76 |

| | |
|---|-----|
| 10. DIMENZIONIRANJE ZIDOVA | 78 |
| 10.1. Zid s otvorima i veznim gredama | 78 |
| 10.2. Dimenzioniranje zida ZA..... | 85 |
| 10.2.1. Proračunska ovojnica momenta savijanja za zid ZA..... | 87 |
| 10.2.2. Dimenzioniranje na poprečne sile | 29 |
| 10.3. Dimenzioniranje zida ZB..... | 90 |
| 10.3.1. Proračunska ovojnica momenta savijanja za zid ZA..... | 92 |
| 10.3.2. Dimenzioniranje na poprečne sile | 93 |
| 10.4. Dimenzioniranje zida ZB..... | 95 |
| 11. VEZNA GREDA | 99 |
| 11.1. Dimenzioniranje greda na savijanje | 100 |
| 11.2. Dimenzioniranje vezne grede na poprečne sile..... | 102 |
| 12. ZAKLJUČAK | 104 |
| 13. LITERATURA | 106 |
| 14. NACRTNA DOKUMENTACIJA..... | 108 |

1. UVOD

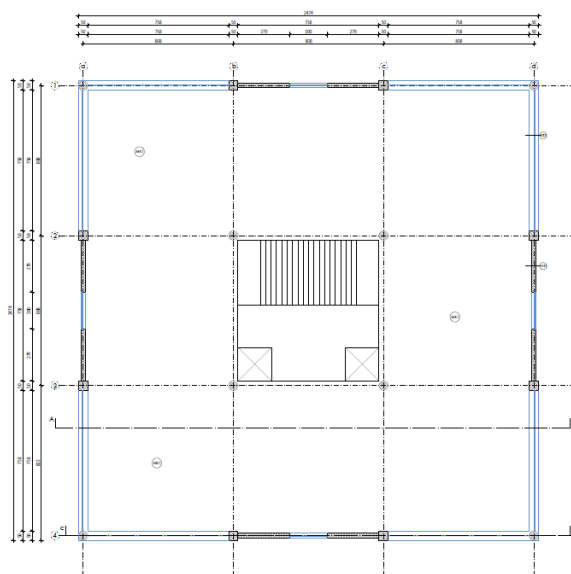
1.1. Tehnički opis

U ovom radu proveden je proračun armiranobetonske konstrukcije katnosti P+3. Etaže su povezane stubištem i liftom, koji su smješteni u atriju na sredini zgrade. Konstrukcija je poslovne namjene. Tlocrtni oblik je pravilan, tlocrtni gabariti su 24,74 m x 24,74 m, a visina je $h=13,85$ m do gornjeg ruba nosive konstrukcije.

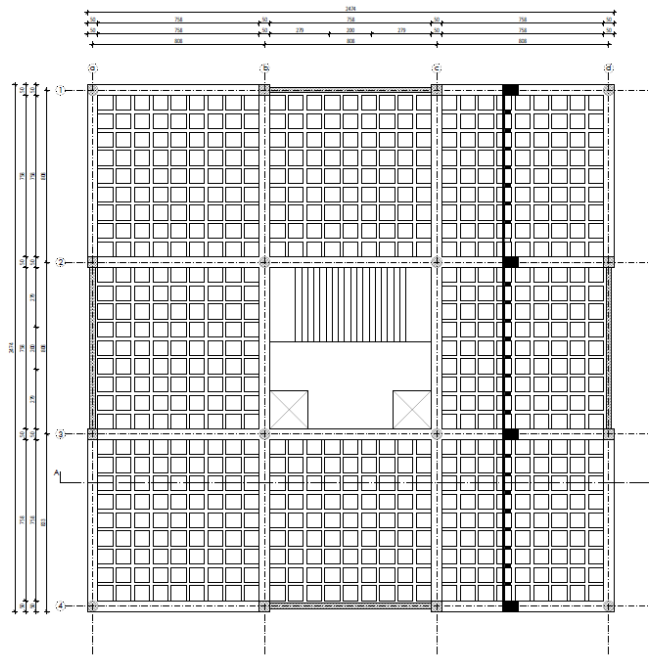
U horizontalnom smislu, međukatnu konstrukciju čini kazetirani strop s pločom debljine 8 cm. Širina rebara je 16 cm, a svjetla udaljenosti između rebara je 70 cm. Međukatna konstrukcija sastoji se od 8 polja, na kojima se nalazi po 81 „kazeta" (9x9 kazeta) i jednog praznog polja gdje se nalazi otvor za unutarnje stubište i lift (atrij). Između kazetiranih polja nalaze se grede širine 50 cm i visine 70 cm.

Vertikalnu nosivu konstrukciju čine armiranobetonski zidovi debljina 25 cm, koji se nalaze na sva 4 rubna dijela konstrukcije u duljini od 8,58 m te armiranobetonski stupovi promjera 50 cm.

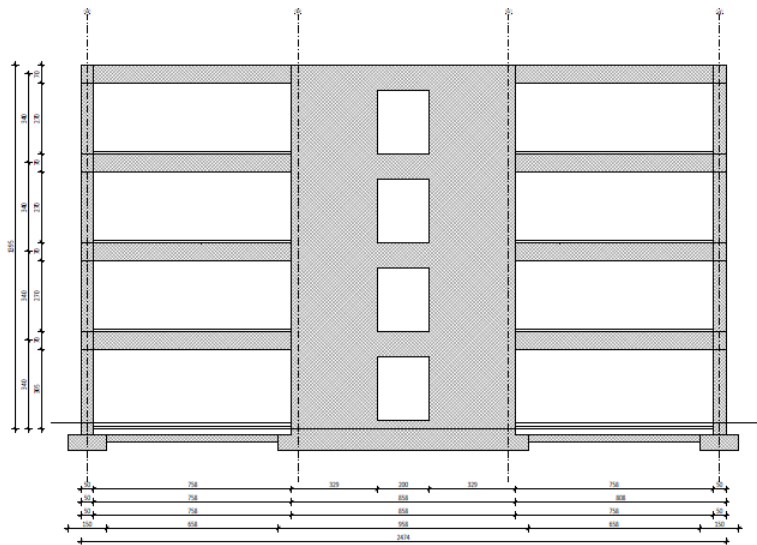
Krov je ravni i neprohodni.



Slika 1. Tlocrt prizemlja



Slika 2. Strop iznad prizemlja POZ. 100



Slika 3. Presjek konstrukcije

2. SVOJSTVA MATERIJALA

2.1. Beton

Razred betona koji se koristi za nosive elemente je C40/50.

Karakteristična tlačna čvrstoća odabranog betona je $f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$.

Proračunska tlačna čvrstoća određuje se prema izrazu:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} * f_{ck}}{\gamma_c}$$

gdje su:

γ_c – parcijalni koeficijent sigurnosti za beton ($\gamma_c = 1,5$)

α_{cc} – koeficijent kojim se u obzir uzima dugotrajno opterećenje i nepovoljni utjecaji na tlačnu čvrstoću betona ($\alpha_{cc} = 1,0$)

Proračunske vrijednosti tlačne čvrstoće i modula elastičnosti E_{cm} :

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1,0 * 40}{1,5} = 26,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 2,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$$

2.2. Čelik za armiranje

Za armiranje je odabran čelik B500B. Proračunsku granicu popuštanja čelika B500B, možemo dobiti iz izraza:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

f_{yk} – karakteristična granica popuštanja čelika, $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

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

Proračunska vrijednost granice popuštanja čelika:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

2.3. Razred izloženosti i zaštitni sloj betona

Razred izloženosti konstrukcije je XC3 koji ukazuje na to da su uvjeti u kojima se nalazi konstrukcija umjereno vlažni.

Proračunski vijek konstrukcije je 50 godina, a preporučeni razred konstrukcije je S4.

U tablici 1 se korigiranjem preporučenog razreda konstrukcije određenim kriterijima dolazi do optimalnog razreda konstrukcije, kojeg koristimo u daljnjem proračunu.

Tablica 1: Preporučeni razred konstrukcije [12]

| Kriterij | Razred izloženosti | | | | | | |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | X0 | XC1 | XC2/XC3 | XC4 | XD1 | XD2/XS1 | XD3/XS2/XS3 |
| Proračunski uporabni vijek 100 god | povećati razred za 2 | povećati razred za 2 | povećati razred za 2 | povećati razred za 2 | povećati razred za 2 | povećati razred za 2 | povećati razred za 2 |
| Razred čvrstoće | $\geq C30/37$ smanjiti razred za 1 | $\geq C30/37$ smanjiti razred za 1 | $\geq C35/45$ smanjiti razred za 1 | $\geq C40/50$ smanjiti razred za 1 | $\geq C40/50$ smanjiti razred za 1 | $\geq C40/50$ smanjiti razred za 1 | $\geq C45/55$ smanjiti razred za 1 |
| Element pločaste geometrije | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 |
| Osigurana posebna kontrola kvalitete proizvodnje betona | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 | smanjiti razred za 1 |

Određivanje razreda konstrukcije za ploču:

$$S4 - 1 - 1 = S2$$

Preporučeni razred konstrukcije umanjen je za dva jer ispunjava dva uvjeta u tablici, a to su uvjet da je razred čvrstoće $\geq C40/50$ i uvjet elementa pločaste geometrije.

U tablici 1 se pomoću razreda konstrukcije i razreda izloženosti određuje najmanji zaštitni sloj betona $c_{min,dur}$ prema kriteriju trajnosti.

Tablica 2: Najmanji zaštitni sloj betona [12]

| Razred konstrukcije | Razred izloženosti | | | | | | |
|---------------------|--------------------|-----|---------|-----|---------|---------|---------|
| | X0 | XC1 | XC2/XC3 | XC4 | XD1/XS1 | XD2/XS2 | XD3/XS3 |
| S1 | 10 | 10 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| S2 | 10 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| S3 | 10 | 10 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| S4 | 10 | 15 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| S5 | 15 | 20 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| S6 | 20 | 25 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |

Za razred izloženosti XC4 i razred konstrukcije S2 odabire se $c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$.

Nazivni zaštitni sloj c_{nom} određuje se prema izrazu:

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

c_{min} – najmanji zaštitni sloj

Δc_{dev} – proračunski dopušteno odstupanje debljine zaštitnog sloja ($\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$)

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm})$$

$$c_{min} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$$

$c_{min,b}$ – najmanji zaštitni sloj s obzirom na prionjivost između betona i armature

$$(c_{min,b} = \emptyset)$$

$c_{min,dur}$ – najmanji zaštitni sloj s obzirom na uvjete okoliša (trajnost)

$\Delta c_{dur,\gamma}$ – dodatni sloj sigurnosti, $\Delta c_{dur,\gamma} = 0$

$\Delta c_{dur,st}$ – smanjenje najmanjeg zaštitnog sloja u slučaju izvedbe dodatne zaštite,

$$\Delta c_{dur,st} = 0$$

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

3.1. Određivanje visine greda

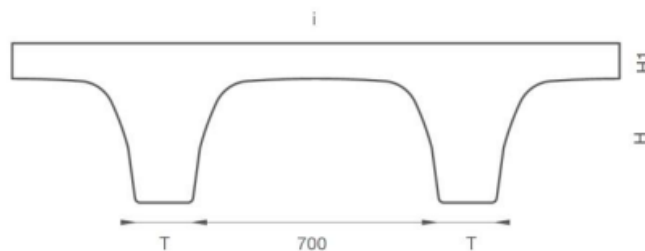
Provjera po Riki Rosmanu, prema kojoj se provjerava kolika visina grede je potrebna da bi greda bila kruti oslonac za ploču [2].

Uvjet koji treba biti ispunjen: $h \geq 3h_p$

h – visina grede

h_p – visina ploče

Kazetirani stropovi izvodit će se pomoću ustava oplata za izradu kazetiranih stropova s dvosmjernom konfiguracijom za velike raspone. Iz kataloga „Slab solutions“ tvrtke „Geoplast“ odabrana je oplata SKYDOME H250. [3]

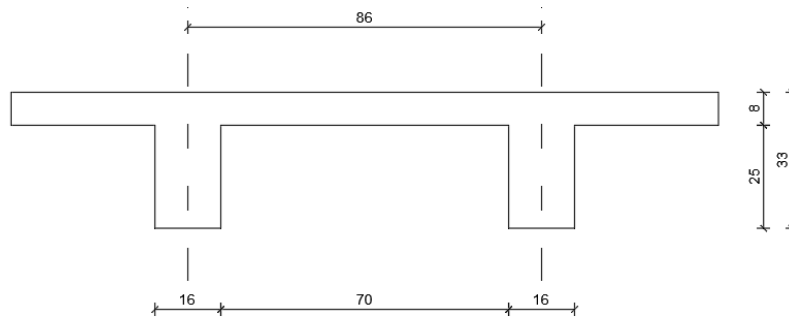


Slika 4. Poprečni presjek kazetiranog stropa [3]

Osni razmak rebara iznosi 70 cm, a širina rebara $T = 16$ cm. Visina rebra ispod ploče $H = 25$ cm, a debljina ploče $H1 = 8$ cm.

Ukupna visina stropa iznosi 33 cm.

Provjera može li se greda smatrati krutim osloncem za ploču.



Slika 5. Shema kazetiranog stropa prema kojoj se vrši provjera

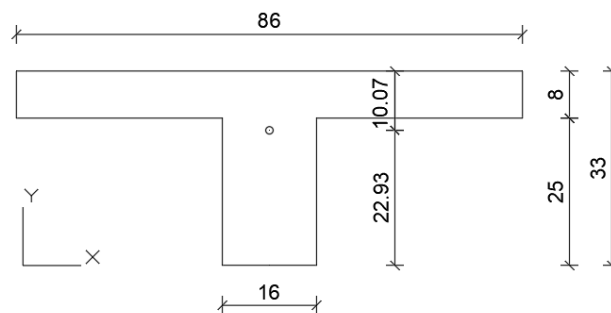
Težina stropa:

REBRO [3]: $0,113 \text{ m}^2$

PLOČA: $0,08 * 1 * 1 = 0,08 \text{ m}^2$

$$\sum 0,193 \text{ m}^2 * 25 \text{ kN/m}^2 = 4,83 \text{ kN/m}^2$$

Težina stropa iznosi $4,83 \text{ kN/m}^2$.



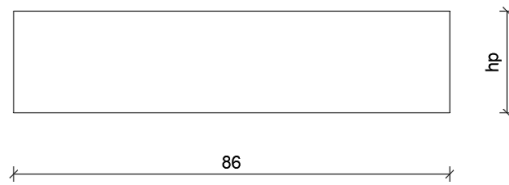
Slika 6. Prikaz položaja težišta presjeka kazetiranog stropa

$$\text{Težište: } X_T = \frac{16 \cdot 33 \cdot \frac{33}{2} + (86 - 16) \cdot 8 \cdot \frac{8}{2}}{16 \cdot 33 + (86 - 16) \cdot 8} = \frac{10952}{1088} = 10,07 \text{ cm}$$

Moment tromosti:

$$I = \frac{86 \cdot 8^3}{12} + (86 \cdot 8) \cdot 6,07^2 + \frac{16 \cdot 25^3}{12} + (16 \cdot 25) \cdot 10,43^2 = 93366 \text{ cm}^4$$

Zamjenjujuća visina pune ploče prikazana je na slici 7.:



Slika 7. Zamjenjujuća visina ploče

$$h_p = \sqrt[3]{\frac{I * 12}{86}} = 23,5 \text{ cm}$$

Potrebna visina grede da bi greda bila kruta u odnosu na ploču:

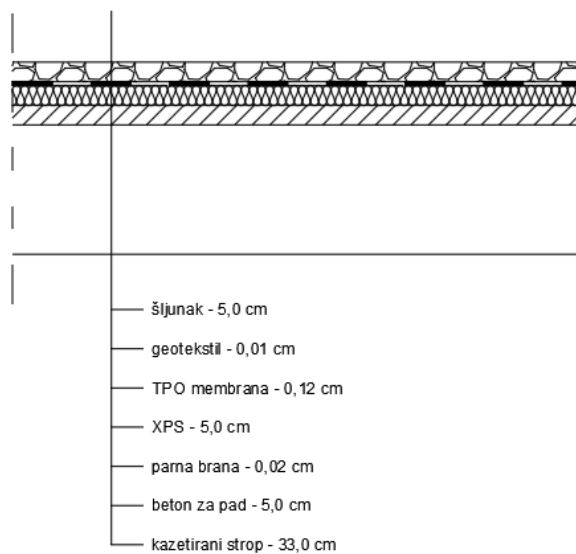
$$h \geq 3h_p = 3 * 23,5 = 70,5 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

Zadovoljit će greda širine $b = 50 \text{ cm}$ i visine $h = 70 \text{ cm}$.

3.2. Analiza stalnog opterećenja

Tablica 3. Analiza opterećenja ravnog, neprohodnog krova

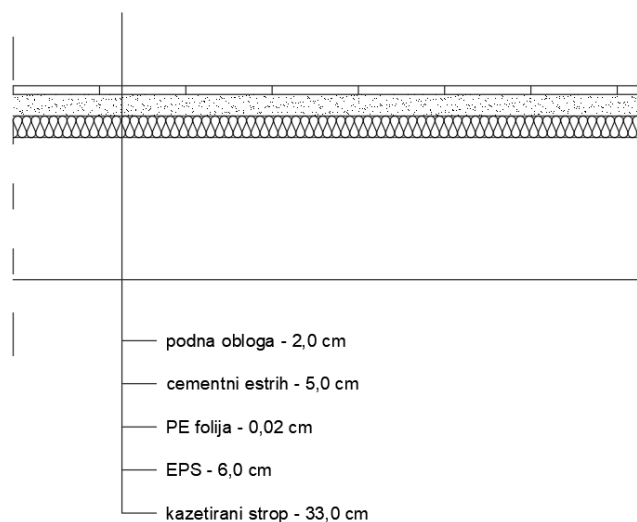
| Opis pozicije | | K - ravni krov (neprohodni) | | | |
|------------------------|------|---|---------------------|--|-------------|
| Stalno opterećenje (g) | Sloj | Zapreminska težina (kg/m ³) | Debljina sloja (cm) | Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²) | |
| | 1 | Šljunak | 2100 | 5,00 | 1,05 |
| | 2 | Geotekstil | 300 | 0,01 | 0,00 |
| | 3 | TPO membrana | 1000 | 0,12 | 0,01 |
| | 4 | XPS | 25 | 5,00 | 0,01 |
| | 5 | Parna brana | 2700 | 0,02 | 0,01 |
| | 6 | Beton za pad | 2200 | 5,00 | 1,10 |
| | 7 | Kazetirani strop | | | 4,83 |
| | | Ukupno | | | 7,01 |



Slika 8. Prikaz slojeva konstrukcije ravnog krova

Tablica 4. Analiza opterećenja međukatne konstrukcije

| Opis pozicije | | M - međukatna konstrukcija | | | |
|------------------------|------|---|---------------------|--|-------------|
| Stalno opterećenje (g) | Sloj | Zapreminska težina (kg/m ³) | Debljina sloja (cm) | Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²) | |
| | 1 | Podna obloga | 2300 | 2,00 | 0,46 |
| | 2 | Cementni estrih | 2000 | 5,00 | 1,00 |
| | 3 | PE folija | 1000 | 0,02 | 0,00 |
| | 4 | EPS | 15 | 6,00 | 0,01 |
| | 5 | Kazetirani strop | | | 4,83 |
| | 6 | Opterećenje od pregradnih zidova | | | 0,50 |
| | | Ukupno | | | 6,80 |



Slika 9. Prikaz slojeva međukatne konstrukcije

Tablica 5. Iznos uporabnog opterećenja

| Položaj | | Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²) |
|----------------------|---|--|
| Stropna konstrukcija | Poslovni prostor (korisno opterećenje) | 5,00 |
| Krovna konstrukcija | Neprohodni krov (kategorija H) (servisno opterećenje) | 0,6 |

U tablici 3. prikazana je analiza opterećenja ravnog, neprohodnog krova, a u tablici 4. prikazana je analiza opterećenja međukatnih konstrukcija s pripadajućim slojevima i opterećenjem pregradnih zidova kao razmazano opterećenje. U tablici 5. je prikazano uporabno opterećenje konstrukcije poslovne namjene.

3.3. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijega na konstrukciju djeluje vertikalno, a odnosi se na horizontalnu projekciju površine krova i snijeg koji je prirodno pao na ravno tlo. Karakteristično opterećenje snijega ovisi o obliku krova.

Područje: Benkovac, Zadarska županija

Najveća nadmorska visina: 9 m

Proračunsko opterećenje snijegom na krov [5]:

$$S = \mu_i * c_e * c_t * S_k$$

gdje je:

μ_i – koeficijent oblika opterećenja snijegom ovisan o nagibu krova α

c_e – koeficijent izloženosti, u obzir uzima uvjete djelovanja vjetra ($c_e = 1,0$)

c_t – toplinski koeficijent, u obzir uzima toplinsku izolaciju krova i uvjete zagrijavanja zgrade ($c_t = 1,0$)

s_k – karakteristično opterećenje snijegom [6]

Ravni krov: $\alpha = 0^\circ \rightarrow \mu_i = 0,8$

$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,75 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

3.4. Opterećenje vjetrom

Analiza opterećenja vjetrom povodi se prema [7] pojednostavljenim proračunom.

Osnovna brzina vjetra iznosi [8]

$$v_{b,0} = 40 \text{ m/s}$$

Tlak vjetra na vanjske površine konstrukcije

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

gdje je

$q_p(z_e)$ – vršni tlak vjetra

c_{pe} – koeficijent tlaka za vanjski pritisak

z_e – referentna visina za vanjski pritisak ($z_e = h$)

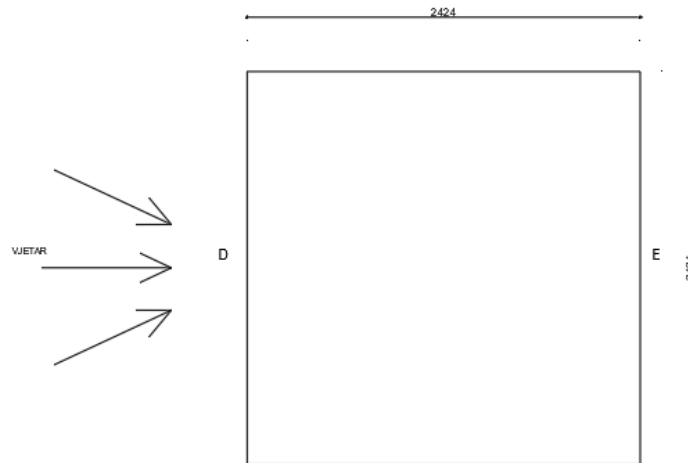
Koeficijent vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih konstrukcija iznosi:

$$\frac{h}{d} = \frac{13,85}{24,24} = 0,57 - \text{očitati za } 1,0$$

U tablici 6. je prikazana vrijednost koeficijenta vanjskog tlaka na vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada. [8]

Tablica 6. Koeficijenti vanjskog tlaka na vertikalne zidove [8]

| Područje | A | | B | | C | | D | | E | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| ≥ 5 | -1,4 | -1,7 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | -0,7 | +0,8 | +1,0 | -0,5 | -0,7 |
| 1 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,5 | |
| $\leq 0,25$ | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,7 | +1,0 | -0,3 | -0,5 |



Slika 10. Shematski prikaz djelovanja vjetra na konstrukciju

$$c_{pe}^D = 0,80(\text{tlak})$$

$$c_{pe}^E = -0,5(\text{usis})$$

$$\sum c_{pe} = c_{pe}^D + c_{pe}^E = 0,8 + 0,5 = 1,30$$

Zanemaruju se djelovanje vjetra na ravni krov zbog njegovog odižućeg djelovanja. Nije razmatran ni unutarnji tlak jer nema utjecaja na horizontalno opterećenje okvira.

Vršni tlak vjetra:

$$q_p(z_e) = c_e(z) * q_b$$

gdje je:

$c_e(z)$ – koeficijent izloženosti

c_0 – topografski koeficijent ($c_0 = 1,0$)

Kategorija zemljišta: IV

Iz dijagrama faktora izloženosti očitano: $c_e(13,85) = 1,35$

$z = h = 13,85$ m

Osnovni tlak vjetra:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$$

gdje je:

ρ – gustoća zraka ($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

v_b - osnovna brzina vjetra

Osnovnu brzinu vjetra računamo po izrazu:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0}$$

gdje je:

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

c_{season} - koeficijent godišnjeg doba ($c_{season} = 1,0$)

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 40,0 = 40 \text{ m/s}$$

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 * 40^2 = 1000 \text{ N/m}^2 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z_e) = 1,35 * 1 = 1,35 \text{ kN/m}^2$$

Ukupni vanjski tlak vjetra na zidove (tlak + usis):

$$\sum w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 1,35 * 1,30 = 1,76 \text{ kN/m}^2$$

4. POTRESNO DJELOVANJE

Potresno opterećenje određuje se pomoću proračunskog ubrzanja tla a_g za povratni period potresa od 475 godina prema karti potresnih područja Republike Hrvatske (slika 8).

Proračunsko ubrzanje za tlo tipa A dobiva se iz izraza:

$$a_g = \gamma_I * a_{gR}$$

gdje su:

γ_I – faktor važnosti (tablica 7)

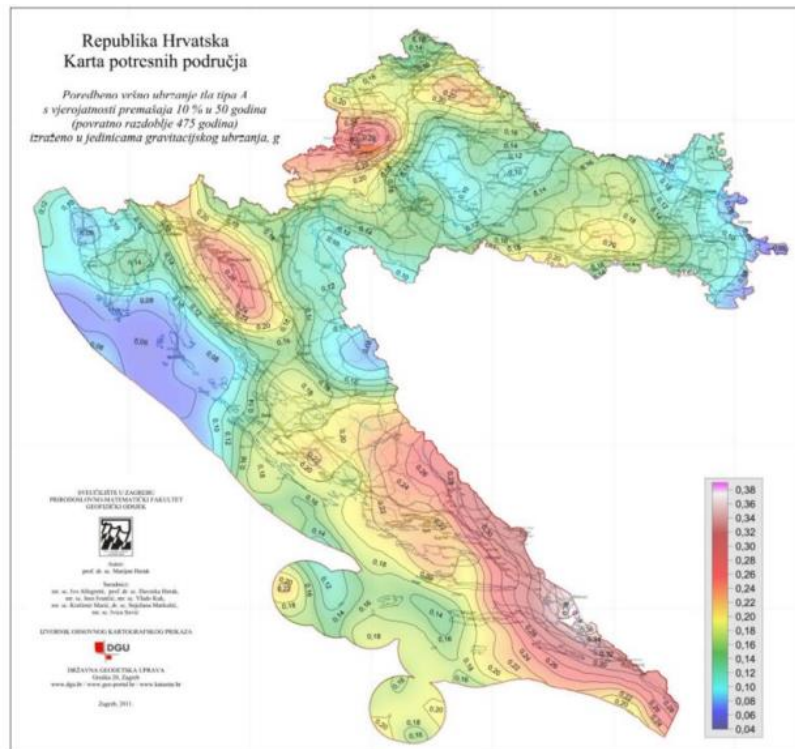
a_{gR} – vršno ubrzanje tla tipa A

Važnost zgrade (tablica 7) izražava se faktorom važnosti γ_I , kojim se određuje važnost konstrukcije ovisna o posljedicama rušenja za ljudske živote, ovisna o javnoj sigurnosti i zaštiti ljudi neposredno nakon potresa i ekonomskim i društvenim posljedicama potresa. [10]

Tablica 7. Razred važnosti zgrade [10]

| Razred važnosti | Zgrade | Faktor važnosti γ |
|-----------------|---|--------------------------|
| 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 |

Kategorija II (poslovni prostor): $\gamma_I = 1,0$



Slika 11. Karta potresnih područja Republike Hrvatske za poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla a_{gR} , za temeljno tlo tipa A, s vjerojatnošću premašaja 10% u 50 godina, za poredbeno povratno razdoblje potresa TNCR = 475 godina, u jedinicama gravitacijskog ubrzanja g [10]

$$a_{gR} = 0,2 g$$

$$a_g = 1,0 * 0,2 = 0,2 g$$

4.1. Određivanje potresnog djelovanja

Horizontalno potresno opterećenje djeluje u oba smjera, zbog čega se otpornost konstrukcije na potres mora postići u jednom i u drugom smjeru. Horizontalna gibanja tla na površini zemlje opisuju se pomoću elastičnog spektra ubrzanja podloge [9].

Horizontalna komponenta proračunskog spektra za elastični proračun

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

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

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

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

gdje je:

$S_d(T)$ – proračunski spektar odziva

T – period vibracija linearnog sustava s jednim stupnjem slobode

T_B – donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

T_C – gornja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

T_D – vrijednost koja definira početak konstantnog raspona odziva u spektru pomaka

S – faktor tla

q – faktor ponašanja

β – donja vrijednost faktora horizontalnog spektra odziva ($\beta = 0,2$)

Tablica 8. Vrijednosti parametara koje opisuju elastični spektar odziva tipa 1 [10]

| Tip temeljnog tla | S | T _B (s) | T _C (s) | T _D (s) |
|-------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|
| A | 1,0 | 0,15 | 0,4 | 2,0 |
| B | 1,2 | 0,15 | 0,5 | 2,0 |
| C | 1,15 | 0,20 | 0,6 | 2,0 |
| D | 1,35 | 0,20 | 0,8 | 2,0 |
| E | 1,4 | 0,15 | 0,5 | 2,0 |

Faktorom ponašanja za horizontalna potresna djelovanja u obzir uzimamo sposobnost konstrukcije da potresnu energiju troši pretežito duktilnim putem. Računamo ga po izrazu: [9]

$$q = q_0 * k_w \geq 1,5$$

q_0 – osnovna vrijednost faktora ponašanja ovisna o tipu konstrukcijskog sustava i njegovoj pravilnosti po visini

k_w – faktor kojim se u obzir uzima pripadajući oblik sloma konstrukcijskih sustava sa zidovima

U tablici 9 su prikazane osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za sustave pravilne po visini. Za zgrade koje nisu pravilne po visine, osnovna vrijednost faktora ponašanja treba se smanjiti za 20%.

Tablica 9. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za sustave pravilne po visini [10]

| 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 |

α_1 - vrijednost kojom se množi horizontalno potresno proračunsko djelovanje kako bi se prvo dostigla otpornost na savijanje u bilo kojem elementu konstrukcije dok sva druga proračunska djelovanja ostaju konstantna (pojava prvog plastičnog zgloba).

α_u - vrijednost kojom se množi horizontalno potresno proračunsko djelovanje kako bi u određenom broju presjeka, dovoljnom za razvoj ukupne nestabilnosti konstrukcije nastali plastični zglobovi (pojava dovoljnog broja plastičnih zglobova), pri čemu sva ostala proračunska djelovanja ostaju stalna. Faktor α_u može se dobiti iz nelinearnog statičkog proračuna (postupnim guranjem).

Odabire se:

Tip konstrukcije: sustav povezanih zidova

Razred duktilnosti: DCM

$$q_0 = 3 * \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

Tablica 10. Približne vrijednosti faktora α_u/α_1 za zgrade pravile u tlocrtu [10]

| |
|--|
| okviri i dvojni sustavi istovrijedni okvirnim |
| jednokatne zgrade: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$ |
| višekatni okviri s jednim poljem: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$ |
| višekatni okviri s više polja ili dvojni sustavi istovrijedni okvirnim: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$ |
| zidni sustavi ili dvojni sustavi istovrijedni zidnim |
| zidni sustavi sa samo dva nepovezana zida u svakom horizontalnom smjeru: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$ |
| drugi sustavi nepovezanih zidova: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$ |
| dvojni sustavi istovrijedni zidnim ili sustavi povezanih zidova: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$ |

Odabrano:

- dvojni sustavi istovrijedni zidnim ili sustavi povezanih zidova

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,2$$

Tablica 11. Vrijednosti faktora k_w [10]

| Vrsta konstrukcije | k_w |
|--|--------------------------------------|
| okvirni sustavi 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 | |

Za sustave povezanih zidova prema tablici vrijedi:

$$k_w: 0,5 \leq (1 + \alpha_0)/3 \leq 1,0$$

α_0 – prevladavajući geometrijski omjer zidova konstrukcijskog sustava

Omjer h_{wi}/l_{wi} svih zidova se ne razlikuje, pa se prevladavajući omjer α_0 može odrediti po izrazu:

$$\alpha_0 = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}}$$

gdje je h_{wi} – visina zida, a l_{wi} – duljina presjeka zida

$$\alpha_0 = \frac{13,85}{3,29} = 4,21$$

Faktor k_w

$$k_w = (1 + 4,21)/3 = 1,74 > 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

Faktor ponašanja:

$$q = 3,6 * 1,0 \geq 1,5$$

$$q = 3,6$$

Faktor ponašanja u uzdužnom i poprečnom smjeru iznosi 3,6 (u oba smjera jednak nosivi sustav). Konstrukcija je simetrična pa ju je dovoljno proračunati u jednom smjeru.

4.2. Određivanje bočnih sila od potresnog djelovanja

Za proračun bočnih, potresnih sila koristi se HRN EN 1998-1-1:2011. [10]

Odabiremo vrijednosti iz tablice za tip temeljnog tla B. Iz tablice 8. očitavamo vrijednosti parametara koje opisuju preporučeni elastični spektar odziva tipa 1:

$$S = 1,2$$

$$T_B = 0,15 \text{ s}$$

$$T_C = 0,5 \text{ s}$$

$$T_D = 2,0 \text{ s}$$

Za zgrade visine do 40 m T_1 se smije približno odrediti iz izraza:

$$T_1 = C_t * H^{3/4}$$

gdje su:

C_t – koeficijent ovisan o vrsti konstrukcijskog sustava

$C_t = 0,085$ za prostorne okvirne čelične konstrukcije

$C_t = 0,075$ za prostorne okvirne betonske konstrukcije i čelične okvirne konstrukcije s ekscentričnim ukрутama

$C_t = 0,050$ za sve druge konstrukcije

H – visina građevine u metrima mjereno od ruba temelja ili krutog podruma

Za konstrukcije s betonskim nosivim zidovima vrijedi:

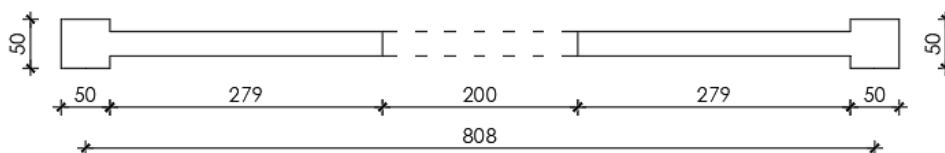
$$C_t = \frac{0,075}{\sqrt{A_c}}$$

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

gdje su:

A_i – proračunska ploština presjeka nosivog zida i u promatranom smjeru (x ili y) u prvom katu zgrade u m^2

l_{wi} – duljina nosivog zida i u prvom katu usporedna s djelujućom silom



Slika 12. Presjek nosivog zida za koji računamo proračunsku ploštinu presjeka

Smjer x:

$$A_c = (0,5 * 0,5) + (0,25 * 2,79) = 0,95m^2$$

$$A_c = 4 * 0,95 * \left(0,2 + \left(\frac{3,29}{13,85}\right)^2\right) = 0,974$$

$$C_t = \frac{0,075}{\sqrt{0,974}} = 0,076$$

$$T_1 = 0,076 * 13,85^{\frac{3}{4}} = 0,55 s < 2,0 s$$

Ukupna poprečna sila građevine F_b u razini gornjeg ruba temelja za svaki horizontalni pravac djelovanja potresa dobiva se pomoću izraza:

$$F_b = S_d(T_1) * m * \lambda$$

gdje su:

$S_d(T_1)$ – vrijednost proračunskog spektra za osnovni period vibracija konstrukcije T_1 za translacijska gibanja razmatranog pravca

λ – korekcijski faktor čija je vrijednost jednaka jedinici, osim ako je $T_1 \leq 2T_c$ i zgrada ima više od 2 kata, tada je vrijednost $\lambda = 0,85$

m – ukupna masa građevine u trenutku djelovanja potresa

Ukupna masa konstrukcije računa se u skladu s tim da se stalna djelovanja na konstrukciju kombiniraju s promjenjivim djelovanjima prema izrazu:

$$\sum G_{k,j} \text{ "++" } \sum \psi_{E,i} * Q_{k,i}$$

gdje su:

$G_{k,j}$ – karakteristična vrijednost stalnog djelovanja i

"+" – označava se „u kombinaciji s:“

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

$Q_{k,i}$ – karakteristična vrijednost promjenjivog djelovanja i

Koeficijent kombinacije određuje se po izrazu:

$$\psi_{E,i} = \varphi * \psi_{2,i}$$

gdje su:

φ – koeficijent ovisan o razredu konstrukcije i stupnju opterećenja pojedinog kata, čije su vrijednosti između 0,5 i 1,0

$\psi_{2,i}$ – koeficijenti koji uvode „prividno stalne vrijednosti“ promjenjivog djelovanja q_i u kombinaciji stalnih i promjenjivih djelovanja

Tablica 12. Preporučene vrijednosti faktora ψ za zgrade [18]

| Djelovanje | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|---|----------|----------|----------|
| Uporabna opterećenja u zgradama kategorije (vidjeti EN 1991-1-1): | | | |
| Kategorija A: kuće, stambene zgrade | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Kategorija B: uredi | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Kategorija C: područja za skupove | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Kategorija D: trgovine | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Kategorija E: skladišta | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| Kategorija F: prometna područja, težina vozila ≤ 30 kN | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Kategorija G: prometna područja, 30 kN \leq težina vozila ≤ 160 kN | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Kategorija H: krovovi | 0 | 0 | 0 |
| Opterećenja snijegom u zgradama (vidjeti EN 1991-1-3): | | | |
| - Finska, Island, Norveška, Švedska | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| - Ostale članice CEN-a za gradilišta na visini $H > 1000$ m n.m. | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| - Ostale članice CEN-a za gradilišta na visini $H \leq 1000$ m n.m. | 0,5 | 0,2 | 0 |
| Opterećenja vjetrom na zgrade (vidjeti EN 1991-1-4) | 0,6 | 0,2 | 0 |
| Temperatura (osim požara) u zgradama (vidjeti EN 1991-1-5) | 0,6 | 0,5 | 0 |

Tablica 13. Vrijednosti φ za proračun ψ_{Ei} [10]

| Tip promjenjivog djelovanja | Kat | φ |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------|
| Kategorije A – C* | Krov | 1,0 |
| | Katovi s povezanom zauzetošću | 0,8 |
| | Neovisno zauzeti katovi | 0,5 |
| Kategorije D – F* i arhivi | | 1,0 |

Za djelovanje u zgradi kategorije B – poslovni prostor, odabiremo:

$$\varphi = 1,0 - \text{krov}$$

$$\varphi = 0,8 - \text{katovi s povezanom zauzetošću}$$

$$\psi_2 = 0,3 - \text{poslovni prostor}$$

$$\psi_2 = 0 - \text{krov(kategorija H i snijeg)}$$

Koeficijent kombinacije:

$$\psi_{E,i} = 0,8 * 0,3 = 0,24 - \text{katovi}$$

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

Ordinata proračunskog spektra za period T_1 :

$$T_1 = 0,55 \text{ s}$$

$$T_C = 0,5 \text{ s} < T_1 = 0,55 \text{ s} < T_D = 2 \text{ s}$$

$$S_d(T = 0,55 \text{ s}) = 0,2 * g * 1,2 * \frac{2,5}{3,6} * \frac{0,5}{0,55} = 0,152 \text{ g}$$

4.3. Određivanje težine po katovima

a) Stalno opterećenje

- Težina kata

| | | |
|----------------------|--|------------|
| Ploča međukata | 24,24 m x 24,24 m x 6,80 kN/m ² | 3995,53 kN |
| Stupovi | (0,25 m x 0,25 m x π) x 3,4 m x 25 kN/m ³ x 8 | 133,45 kN |
| AB grede - vanjske | (0,5 m x 0,7 m) x 16,16 m x 25 kN/m ² x 4 | 565,5 kN |
| AB grede - unutarnje | (0,5 m x 0,7 m) x 24,24 m x 25 kN/m ² x 4 | 848,4 kN |
| Ab zidovi | 8,58 m x 3,4 m x 0,25 m x 25 kN/m ³ x 4 - (4 x 2,4 m x 2,0 m x 0,25 m x 25 kN/m ³) | 609,3 kN |

$$\Sigma G_{1-3} = 6152,18 \text{ kN}$$

- Težina krova

| | | |
|----------------------|---|------------|
| Krovna ploča | 24,24 m x 24,24 m x 7,01 kN/m ² | 4118,92 kN |
| Stupovi | (0,25 m x 0,25 m x π) x 1,7 m x 25 kN/m ³ x 8 | 66,73 kN |
| AB grede - vanjske | (0,5 m x 0,7 m) x 16,16 m x 25 kN/m ² x 4 | 565,6 kN |
| AB grede - unutarnje | (0,5 m x 0,7 m) x 24,24 m x 25 kN/m ² x 4 | 848,4 kN |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| Ab zidovi | 8,58 m x 1,7 m x 0,25 m x 25 kN/m ³ x 4 – (4 x 0,7 m x 2,0 m x 0,25 m x 25 kN/m ³) | 329,65 kN |
|-----------|--|-----------|

$$\sum G_{krov} = \sum G_4 = 5929,3 \text{ kN}$$

b) Uporabno opterećenje

| | | |
|--------------------------------|---|------------|
| Katovi (1-3): Q ₁₋₃ | 24,24 m x 24,24 m x 5,0 kN/m ² | 2937,89 kN |
| Krov (4): Q ₄ | 24,24 m x 24,24 m x 0,6 kN/m ² | 352,55 kN |

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

- Težina po katovima

$$\sum G_{1-3} + \sum \psi_{E,i} * Q_{1-3}$$

$$6152,18 + 0,24 * 2937,89 = 6857,27 \text{ kN}$$

- Težina na krovu

$$\sum G_4 + \sum \psi_{E,i} * Q_4$$

$$5929,3 + 0 * 352,55 = 5929,3 \text{ kN}$$

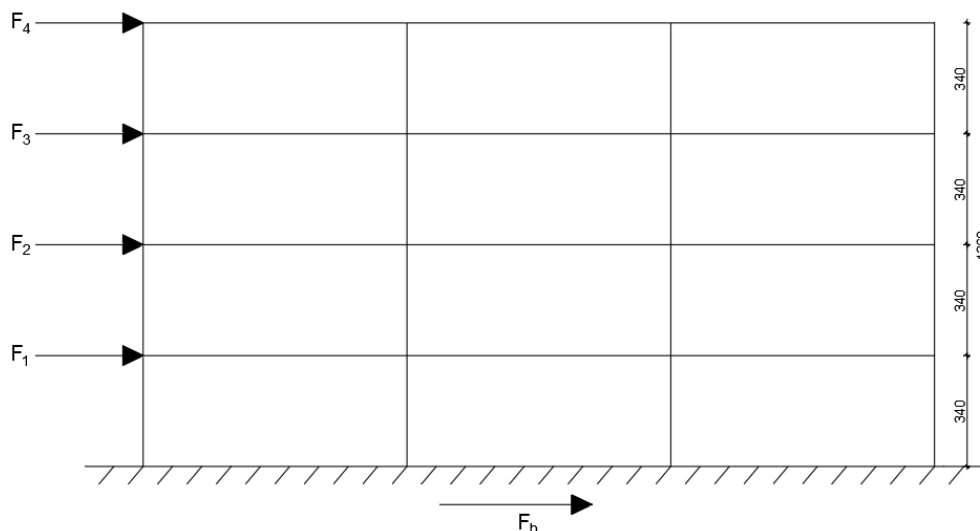
Težine za određivanje potresnih sila:

| Kat | G _{k,j} [kN] | Q _{k,j} [kN] | ψ _{E,i} | ΣG _{k,j} + ΣQ _{E,i} * Q _{k,i} |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--|
| Kat 1 | 6152,18 | 2937,89 | 0,24 | 6857,27 kN |
| Kat 2 | 6152,18 | 2937,89 | 0,24 | 6857,27 kN |
| Kat 3 | 6152,18 | 2937,89 | 0,24 | 6857,27 kN |
| Krov (4) | 5929,3 | 352,55 | 0 | 5929,3 kN |
| Σ težina zgrade | | | | 26501,12 kN |

Ukupna potresna sila u razini gornjeg ruba temelja:

$$F_b = S_d(T_1) * m * \lambda$$

$$F_b = 0,152 * g * \frac{26501,12}{g} * 0,85 = 3470 \text{ kN}$$



Slika 13. Potresno djelovanje na konstrukciju

Kada se osnovni oblik vibracija aproksimira s horizontalnim pomacima koji se linearno povećavaju po visini, ukupna horizontalna potresna sila raspodjeljuje se po visini zgrade prema izrazu:

$$F_i = F_b * \frac{z_i * w_i}{\sum z_j * w_j}$$

gdje je:

F_b – ukupna poprečna sila djelovanja potresa u razini gornjeg ruba temelja

w_i, w_j – težine masa m_i, m_j koncentriranih u stropnoj ravnini i, j

z_i, z_j – visinski položaji masa m_i i m_j mjereni od gornjeg ruba temelja

$$\sum z_j * w_j = 5929,3 * 13,60 + 6857,27 * (3,40 + 6,80 + 10,20) = 220527 \text{ kNm}$$

$$F_4 = 3470 * \frac{13,60 * 5929,3}{220527} = 1269 \text{ kN}$$

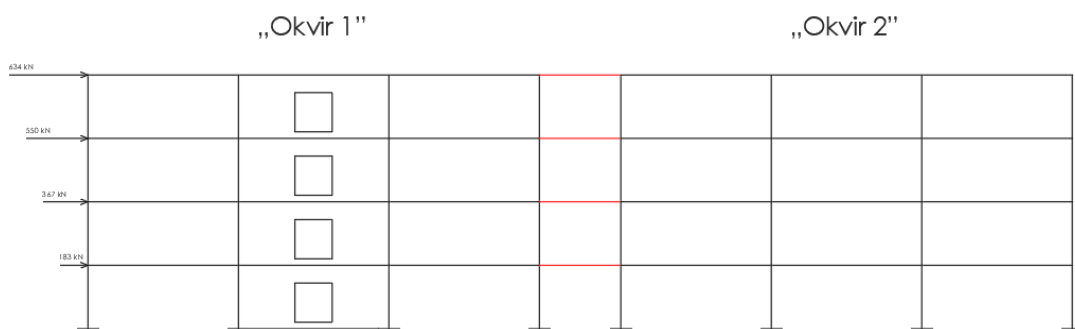
$$F_3 = 3470 * \frac{10,20 * 6857,27}{220527} = 1100 \text{ kN}$$

$$F_2 = 3470 * \frac{6,80 * 6857,27}{220527} = 734 \text{ kN}$$

$$F_1 = 3470 * \frac{3,40 * 6857,27}{220527} = 367 \text{ kN}$$

$$\sum F_i = F_b = 3470 \text{ kN}$$

Kako bi odredili raspodjelu potresne sile koja djeluje na pojedine okvire modela, u programskom paketu STAAD.Pro napravljen je model u kojem su dva okvira konstrukcije međusobno zglobno povezana krutim štapovima, koji prenose samo uzdužne sile ($E * I = \infty$). Vanjski i srednji okvir (u istom smjeru) opterećeni su polovinom proračunate poprečne sile u razini svake etaže kao što je prikazano na slici 14.



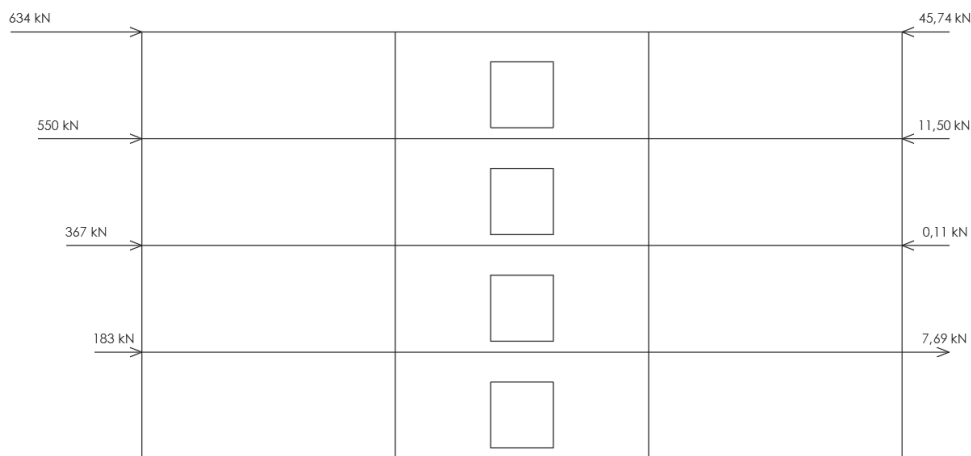
Slika 14. Raspodjela potresne sile na okvire

Crvenom bojom označeni su kruti štapovi koji prenose sile s jednog okvira na drugi. Većinski udio potresne sile na sebe je preuzeo okvir 1 kojem su se u trenutku djelovanja potresnih sila aktivirali zidovi i na sebe preuzeli horizontalna opterećenja u omjeru njihovih krutosti.

Ukupna potresna sila koja djeluje na dva okvira iznosi 1735 kN. Okvir 1 je na sebe preuzeo 1684,34 kN, odnosno 97% ukupne sile.

Zbog svoje krutosti, kao model daljnjeg proračuna koristit će se okvir 1 sa povezanim zidovima.

Prikaz potresnog opterećenja na okvir 1 iz programskog paketa STAAD.Pro nalazi se na slici 125.



Slika 15. Potresne sile na „okvir 1”

Potresne sile koje na sebe preuzima okvir 1:

$$F_4 = 634 - 45,74 = 588,26 \text{ kN}$$

$$F_3 = 550 - 11,50 = 538,5 \text{ kN}$$

$$F_2 = 367 - 0,11 = 366,89 \text{ kN}$$

$$F_1 = 183 + 7,69 = 190,69 \text{ kN}$$

Potresne sile, dobivene u programskom paketu STAAD.Pro povećat će se za vrijednost torzijskih učinaka.

$$\delta = 1 + 0,6 * \frac{x}{Le}$$

$$\delta = 1 + 0,6 * \frac{12,12}{24,24}$$

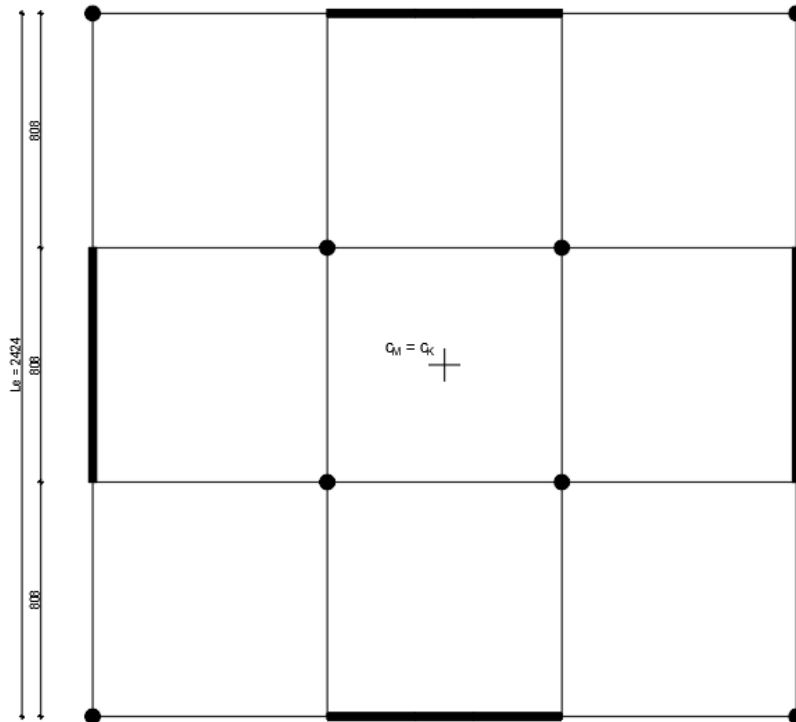
$$\delta = 1,3$$

gdje je:

x - udaljenost promatranog zida od središta masa

Le - razmak između dva najudaljenija ukružujuća elementa, mjereno okomito na smjer promatranog potresnog djelovanja

δ - faktor povećanja sila (slučajni torzijski učinci) [11]



Slika 16. Tlocrtni prikaz centra mase i centra krutosti konstrukcije

Konačne potresne sile na promatrani okvir 1:

$$F_4 = 588,26 * 1,3 = 764,74 \text{ kN}$$

$$F_3 = 538,5 * 1,3 = 700,05 \text{ kN}$$

$$F_2 = 366,89 * 1,3 = 476,96 \text{ kN}$$

$$F_1 = 190,69 * 1,3 = 247,90 \text{ kN}$$

4.4. Potresna proračunska kombinacija

Potresna proračunska kombinacija djelovanja temelji se na karakterističnim vrijednostima stalnih djelovanja, umanjenoj vrijednosti uporabnog djelovanja i proračunske vrijednosti potresnog djelovanja. [18]

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

gdje je:

$G_{k,j}$ – karakteristična vrijednost stalnih djelovanja j

A_{Ed} – proračunska vrijednost potresnog djelovanja

$\psi_{2,i}$ – faktor kombinacije za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja i

$Q_{k,i}$ – karakteristična vrijednost ostalih uporabnih djelovanja i

5. DIMENZIONIRANJE KAZETIRANOG STROPA

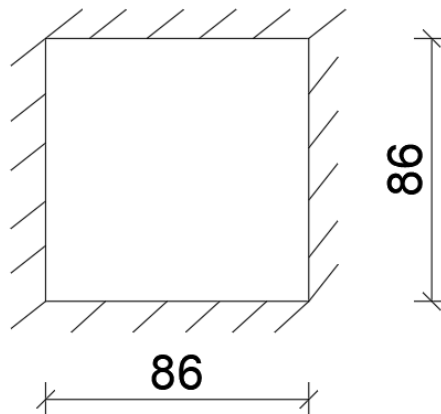
Kazetirane stropove moguće je proračunavati po teoriji ploča ukoliko ploča i rebra imaju zadovoljavajuću torzijsku krutost [12], što je zadovoljeno ukoliko:

- Očna udaljenost rebra ne prelazi 1,5 m
- Visina rebra ispod ploče manja je ili jednaka 4 širine rebra
- Debljina ploče je veća vrijednost između 1/10 svijetle udaljenosti rebara ili 50 mm

Najmanja debljina ploče od 50 mm može se smanjiti na 40 mm ukoliko se između rebara ugrađuju predgotovljeni blokovi (na mjestu "praznih" kazeta).

5.1. Dimenzioniranje kazetiranih stropova POZ 100

5.1.1. Dimenzioniranje ploče



Slika 17. Prikaz jedne kazete kazetirane stropne ploče

Ploče su proračunate po tablicama za proračun ploča nosivih u dva okomita smjera opterećenih ravnomjerno podijeljenim opterećenjem po cijeloj ploči. [14]

U daljnjem proračunu koristimo ranije izračunata opterećenja:

Stalno opterećenje: $g = 6,80 \text{ kN/m}^2$

Uporabno opterećenje: $q = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Proračunsko opterećenje:

$$q'_{Ed} = 1,35 * 6,80 + 1,5 * \frac{5}{2} = 12,93 \text{ kN/m}^2$$

$$q''_{Ed} = 1,5 * \frac{5}{2} = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{0,86}{0,86} = 1,0$$

$$\varphi_{6x} = 55,74 ; \varphi_{6y} = 55,74$$

$$\varphi_{1x} = 27,43 ; \varphi_{1y} = 27,43$$

$$M_{Ed,x} = M_{Ed,y} = \left(\frac{q'_{Ed}}{\varphi_{6x}} + \frac{q''_{Ed}}{\varphi_{1x}} \right) * l_x^2 = \left(\frac{12,93}{55,74} + \frac{3,75}{27,43} \right) * 0,86^2 = 0,27 \text{ kNm}$$

Na osloncu:

$$\kappa = 0,5$$

$$q_{Ed} = 0,5 * (12,93 + 3,75) = 8,34 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{Ed} = -\frac{1}{12} * q_{Ed} * l^2 = -\frac{1}{12} * 8,34 * 0,86^2 = -0,51 \text{ kNm/m'}$$

Zbog malih vrijednosti momenata savijanja ne vrši se proračun dimenzioniranja ploče na savijanje već se kao mjerodavna uzima minimalna armatura u polju i na osloncu:

$$A_{S1,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d_x \geq 0,0013 * b * d_x$$

$$A_{S1,min} = 0,26 * \frac{3,5}{500} * 100 * 5,2 \geq 0,0013 * 100 * 5,2$$

$$A_{S1,min} = 0,95 \text{ cm}^2/\text{m}' > 0,68 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrana armatura:

$$A_{S1,prov} = 1,57 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Za ploču na osloncu i u polju za smjer x i smjer y odabire se armatura $\emptyset 6/18 \text{ cm}$ (1,57 cm^2/m').

5.1.2. Dimenzioniranje rebara

Kazetirani strop će se proračunavati po metodi ploča nosivih u dva smjera jer je razmak rebara manji 1,25 m. Za proračun momenata savijanja u polju i na osloncima koristimo tablice Stiglat Wippel, koje vrijede u slučaju zanemarivo male torzijske krutosti. [14]

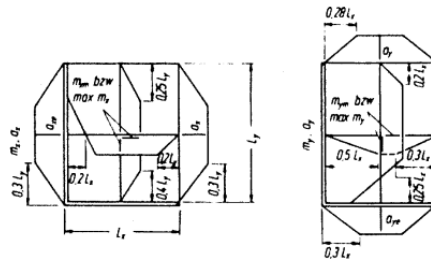
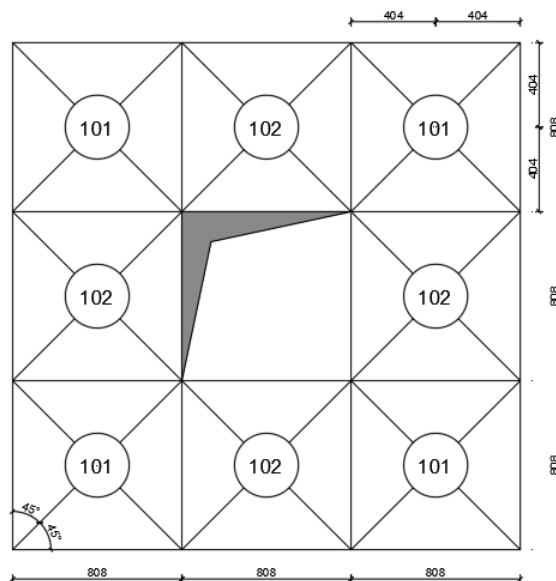


Tabelle 5.9: Zwei benachbarte Ränder starr eingespannt, die beiden anderen frei drehbar gelagert

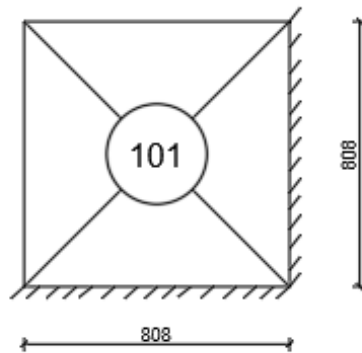
| $L_y:L_x$ | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $m_{xm} = \rho L_x^2$ | 26,6 | 22,1 | 19,3 | 17,6 | 16,4 | 15,6 | 15,2 | 14,8 | 14,6 | 14,5 | 14,5 |
| $\max m_x = \rho L_x^2$ | 23,4 | 19,4 | 17,0 | 15,5 | 14,5 | 13,8 | 13,4 | 13,1 | 13,0 | 12,9 | 12,9 |
| $m_{ym} = \rho L_x^2$ | 26,6 | 27,7 | 29,9 | 33,2 | 37,7 | 43,7 | 51,6 | 62,0 | 75,9 | 94,8 | 12,1 |
| $\max m_y = \rho L_x^2$ | 23,4 | 24,3 | 26,3 | 28,3 | 31,2 | 33,9 | 35,7 | 37,5 | 39,1 | 40,8 | 42,3 |
| $\min m_{xe} = -\rho L_x^2$ | 11,1 | 9,7 | 8,7 | 8,1 | 7,7 | 7,5 | 7,2 | 7,1 | 7,1 | 7,0 | 7,0 |
| $\min m_{ye} = -\rho L_x^2$ | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,0 | 11,1 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 |
| $A_{xe} = \rho L_x$ | 2,17 | 1,97 | 1,82 | 1,72 | 1,64 | 1,59 | 1,56 | 1,54 | 1,52 | 1,52 | 1,51 |
| $A_x = \rho L_x$ | 3,79 | 3,37 | 3,08 | 2,88 | 2,74 | 2,65 | 2,58 | 2,54 | 2,51 | 2,50 | 2,49 |
| $A_{ye} = \rho L_x$ | 2,17 | 2,22 | 2,28 | 2,34 | 2,39 | 2,44 | 2,48 | 2,51 | 2,53 | 2,55 | 2,57 |
| $A_y = \rho L_x$ | 3,79 | 3,93 | 4,10 | 4,27 | 4,42 | 4,53 | 4,61 | 4,65 | 4,67 | 4,67 | 4,67 |
| $\max f = \frac{\rho L_x^4}{N}$ | 0,0035 | 0,0042 | 0,0047 | 0,0052 | 0,0055 | 0,0056 | 0,0059 | 0,0060 | 0,0061 | 0,0061 | 0,0061 |

Slika 18. STIGLAT-WIPPEL tablica za proračun ploče POZ. 101 [15]



Slika 19. Shema pozicija stropne ploče prizemlja

POZ. 101



Slika 20. Shema ploče POZ. 101

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{8,08}{8,08} = 1,0$$

Proračunsko djelovanje

$$q_{Ed} = 1,35 * 6,80 + 15 * 5,0 = 16,68 \text{ kN/m}$$

Proračunski momenti savijanja:

$$M_{Ed}^{polje} = \frac{16,68 * 8,08^2}{23,4} = 46,54 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed}^{oslonac} = -\frac{16,68 * 8,08^2}{11,1} = -98,11 \text{ kNm/m'}$$

Proračunska poprečna sila

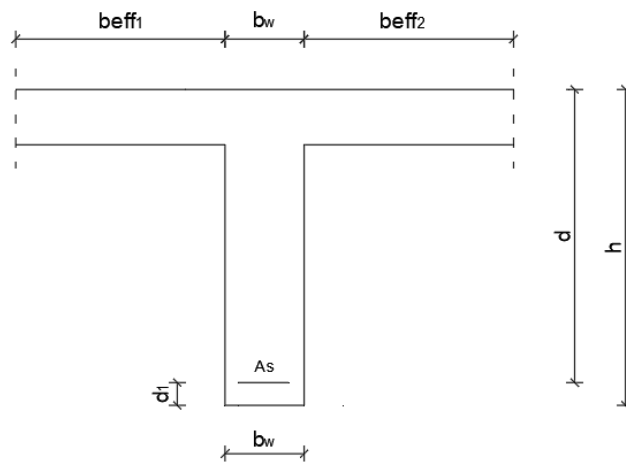
Slobodni rub:

$$V_{Ed} = \frac{16,68 * 8,08}{3,79} = 35,56 \text{ kN/m'}$$

Upeti rub:

$$V_{Ed} = \frac{16,68 * 8,08}{2,17} = 62,11 \text{ kN/m'}$$

Proračun sitnorebrastih stropova izvodi se kao proračun grednih nosača T presjeka u polju i pravokutnog presjeka na osloncu.



Slika 21. Shema T-presjeka

Kako bi se izbjeglo preklapanje armature na spojevima rebara iz x i y smjera, statičke visine u rebrima su različite.

$$d_{1,x} = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} + \emptyset_w = 2,5 + 0,8 + 1,2 + \frac{3}{2} = 6,0 \text{ cm}$$

$$d_{1,y} = d_{1,x} + \emptyset = 7,0 \text{ cm}$$

$$d_x = 33 - 6 = 27,0 \text{ cm}$$

$$d_y = 33 - 7 = 26,0 \text{ cm}$$

Određivanje sudjelujuće širine T presjeka:

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

$$l_0 = 0,85 * 808 = 687 \text{ cm}$$

$$b_i = \frac{b}{2} = \frac{86 - 16}{2} = \frac{70}{2} = 35,0 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = 0,2 * b_i + 0,1 * l_0 \leq 0,2 * l_0; b_i$$

$$b_{eff,i} = 0,2 * 35,0 + 0,1 * 687 \leq 0,2 * 687; 35$$

$$b_{eff,i} = 75,7 \text{ cm} \leq 134,4 \text{ cm}; 35 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = 35 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = 2 * 35 + 16 = 86,0 \text{ cm}$$

Greda u polju:

Proračunski moment savijanja u polju za 1 rebro ($b_{eff} = 86 \text{ cm}$):

$$M_{Ed}^{polje} = 46,54 * 0,86 = 40,02 \text{ kNm}$$

Potrebna armatura u polju (za x i y smjer) $d=26,0 \text{ cm}$:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Ed}^{polje}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}} = \frac{4002}{86 * 26^2 * 2,7} = 0,025$$

$$\xi = 0,037$$

$$\zeta = 0,985$$

Provjera prolazi li neutralna os kroz ploču ($x \leq h_f$):

$$x = \xi * d = 0,037 * 26 \leq h_f = 8,0 \text{ cm}$$

$$0,96 \text{ cm} < 8,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču.

Potrebna armatura za jedno rebro:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{polje}}{\zeta * d * f_{yd}} = \frac{4002}{0,985 * 26 * 43,48} = 3,59 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d_x \geq 0,0013 * b * d_x$$

$$A_{s1,min} = 0,26 * \frac{3,5}{500} * 16 * 26 \geq 0,0013 * 16 * 26$$

$$A_{s1,min} = 0,76 \text{ cm}^2 / \text{m}' > 0,54 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

Mjerodavna armatura za 1 rebro je: $A_{s1} = 3,59 \text{ cm}^2$.

Odabire se 4Ø12 ($4,52 \text{ cm}^2$).

Greda na osloncu:

Proračunski moment savijanja na osloncu za 1 rebro ($b_{eff} = 86 \text{ cm}$):

$$M_{Ed}^{oslonac} = -98,11 \text{ kNm/m}' * 0,86 \text{ m} = -84,37 \text{ kNm}$$

$$d_{1,x} = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} + \emptyset_w = 2,5 + 0,5 + 0,8 = 3,8 \text{ cm}$$

$$d_{1,x} = 4,0 \text{ cm}$$

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

$$d_x = 33 - 4 = 29,0 \text{ cm}$$

$$d_y = 33 - 5 = 28,0 \text{ cm}$$

Potrebna armatura za jedno rebro:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Ed}^{oslonac}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{8437}{16 * 28^2 * 2,7} = 0,25$$

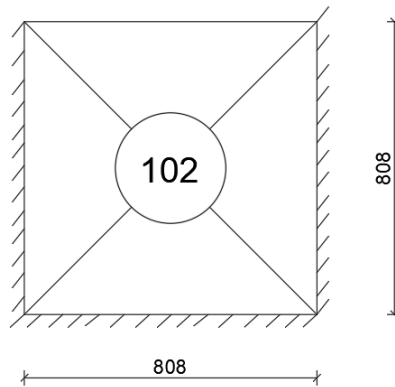
$$\xi = 0,368$$

$$\zeta = 0,847$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{oslonac}}{\zeta * d * f_{yd}} = \frac{8437}{0,847 * 28 * 43,48} = 8,18 \text{ cm}^2$$

Za gredu na osloncu za x i y smjer odabire se 8Ø12 (9,05 cm²).

POZ. 102



Slika 22. Shema ploče POZ. 102

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{8,08}{8,08} = 1,0$$

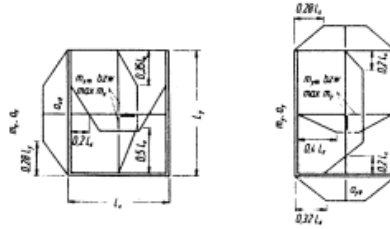


Tabelle 5.11: Drei Ränder starr eingespannt, ein Rand frei drehbar gelagert

| $L_y:L_x$ | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $m_{xx} = \rho L_x^2$ | 29,5 | 26,2 | 24,2 | 22,9 | 22,2 | 21,8 | 21,6 | 21,5 | 21,6 | 21,7 | 21,9 |
| $\max m_x = \rho L_x^2$ | 28,8 | 25,6 | 23,7 | 22,6 | 21,9 | 21,6 | 21,4 | 21,4 | 21,4 | 21,6 | 21,7 |
| $m_{yy} = \rho L_y^2$ | 39,8 | 45,2 | 52,9 | 63,6 | 78,5 | 99,5 | 130 | 175 | 247 | 371 | 610 |
| $\max m_y = \rho L_y^2$ | 36,3 | 40,0 | 46,1 | 49,0 | 51,9 | 54,7 | 57,4 | 59,9 | 59,1 | 58,2 | 57,5 |
| $\min m_{xx} = -\rho L_x^2$ | 12,9 | 11,8 | 11,1 | 10,7 | 10,5 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,3 |
| $m_{yy} = -\rho L_y^2$ | 15,3 | 15,5 | 15,9 | 16,2 | 16,6 | 16,9 | 17,1 | 17,4 | 17,6 | 17,9 | 18,1 |
| $A_{xx} = \rho L_x$ | 2,27 | 2,12 | 2,03 | 1,96 | 1,93 | 1,90 | 1,89 | 1,89 | 1,89 | 1,90 | 1,91 |
| $A_{yy} = \rho L_y$ | 2,66 | 2,75 | 2,83 | 2,89 | 2,93 | 2,97 | 2,99 | 3,01 | 3,03 | 3,05 | 3,07 |
| $A_x = \rho L_x$ | 4,78 | 5,00 | 5,23 | 5,37 | 5,46 | 5,49 | 5,51 | 5,48 | 5,43 | 5,39 | 5,35 |
| $\max f = \frac{\rho L_x^2}{N}$ | 0,0024 | 0,0026 | 0,0027 | 0,0029 | 0,0030 | 0,0031 | 0,0031 | 0,0031 | 0,0031 | 0,0031 | 0,0031 |

Slika 23. STIGLAT-WIPPEL tablica za proračun ploče POZ. 102 [15]

Proračunsko djelovanje:

$$q_{Ed} = 1,35 * 6,80 + 1,5 * 5,0 = 16,68 \text{ kN/m}$$

Proračunski momenti savijanja:

$$M_{Ed,x}^{polje} = \frac{16,68 * 8,08^2}{28,8} = 37,81 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed,x}^{oslonac} = -\frac{16,68 * 8,08^2}{12,9} = -84,42 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed,y}^{polje} = \frac{16,68 * 8,08^2}{36,3} = 30,0 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Ed,y}^{oslonac} = -\frac{16,68 * 8,08^2}{15,3} = -71,17 \text{ kNm/m'}$$

Proračunska poprečna sila

Upeti rub u y-smjeru:

$$V_{Ed}^y = \frac{16,68 * 8,08}{2,66} = 50,67 \text{ kN/m'}$$

Slobodni rub u y-smjeru:

$$V_{Ed}^y = \frac{16,68 * 8,08}{4,78} = 28,20 \text{ kN/m'}$$

Upeti rub u x-smjeru:

$$V_{Ed}^x = \frac{16,68 * 8,08}{2,27} = 59,37 \text{ kN/m'}$$

Greda u polju:

Proračunski moment savijanja u polju za 1 rebro ($b_{eff} = 86 \text{ cm}$):

$$M_{Ed}^{polje} = 37,81 * 0,86 = 32,52 \text{ kNm}$$

Potrebna armatura u polju (za x i y smjer) $d=26,0 \text{ cm}$:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Ed}^{polje}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}} = \frac{3252}{86 * 26^2 * 2,7} = 0,021$$

$$\xi = 0,037$$

$$\zeta = 0,985$$

Provjera prolazi li neutralna os kroz ploču ($x \leq h_f$):

$$x = \xi * d = 0,037 * 26 \leq h_f = 8,0 \text{ cm}$$

$$0,96 \text{ cm} < 8,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču.

Potrebna armatura za jedno rebro:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{polje}}{\zeta * d * f_{yd}} = \frac{3252}{0,985 * 26 * 43,48} = 2,92 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura za jedno rebro:

$$A_{s1,min} = 0,76 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna armatura za 1 rebro je:

$$A_{s1} = 2,92 \text{ cm}^2$$

Odabire se 4 \emptyset 10 (3,14 cm^2).

Greda na osloncu:

Proračunski moment savijanja na osloncu za 1 rebro ($b_{eff} = 86 \text{ cm}$):

$$M_{Ed}^{oslonac} = -84,42 \text{ kNm/m}' * 0,86 \text{ m} = -72,60 \text{ kNm}$$

Potrebna armatura za jedno rebro:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Ed}^{oslonac}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{7260}{16 * 28^2 * 2,7} = 0,214$$

$$\xi = 0,304$$

$$\zeta = 0,873$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}^{oslonac}}{\zeta * d * f_{yd}} = \frac{7260}{0,873 * 28 * 43,48} = 6,83 \text{ cm}^2$$

Za gredu na osloncu za x i y smjer odabire se 7Ø12 (7,92 cm²).

5.1.3. Dimenzioniranje na poprečne sile

Ploča POZ. 101

$$V_{Ed} = 62,11 * 0,86 = 53,41 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova

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

α_{cw} – koeficijent ovisan o stanju naprezanja u tlačnom pojasu;

$$\alpha_{cw} = 1,0 \text{ za } \sigma_{cp} = 0 \text{ (neprednapet konstrukcije)}$$

z – krak unutarnjih sila

$$z = 0,9 * d$$

v_1 – faktor smanjenja tlačne čvrstoće betona raspucalog od poprečnih sila

f_{ywd} – proračunska granica popuštanja poprečne armature

θ – kut nagiba tlačnih štapova ($\theta = 40^\circ$, $ctg\theta = 1,2$)

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$v_1 = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{40}{250}\right) = 0,504$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 28 = 25,2 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$V_{Rd,max} = 1 * 16 * 25,2 * 0,504 * 2,7 * \frac{1}{1,2 + \frac{1}{1,2}} = 269,84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 53,41 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 269,84 \text{ kN}$$

Najveći uzdužni razmak poprečne armature

1. Iz uvjeta najmanje poprečne armature

$\rho_{w_{min}}$ – koeficijent armiranja najmanjom poprečnom armaturom

Za beton C40/50 iznosi $\rho_{w_{min}} = 0,0012$

Spone: $\emptyset 8$ $A_{sw} = 0,5 \text{ cm}^2$

Reznost $m = 2$

Najveći uzdužni razmak raspona:

A_{sw} – ploština poprečnog presjeka poprečne armature na razmaku s

$$Sl_{max}^1 = \frac{A_{sw} * m}{\rho_{w_{min}} * bw} = \frac{0,5 * 2}{0,0012 * 16} = 52,08 \text{ cm}$$

2. Iz odnosa V_{Ed}/V_{Rdmax}

$$\frac{53,41}{269,84} \leq 0,30$$

$$0,20 \leq 0,30$$

$$Sl_{max}^2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 * d = 21 \text{ cm;} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$Sl_{max}^2 = 21 \text{ cm}$$

Minimalne spone $\emptyset 8/20 \text{ cm}$, $m = 2$.

3. Poprečna sila $V_{Rd,s}^{min}$ koju prenosi minimalna armatura:

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{Sl_{max}^2} * z * f_{ywd} * ctg\emptyset = \frac{0,5 * 2}{20} * 25,2 * 43,48 * 1,2 = 65,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s}^{min} < V_{Ed}$$

$$65,7 \text{ kN} > 53,41 \text{ kN}$$

Zadovoljavaju minimalne spone u cijeloj duljini grede $s=20 \text{ cm}$.

$$s \geq \frac{2 * A_{sw} * m * f_{ywd}}{bw * \alpha_{cw} * v_1 * f_{cd}}$$

$$s \geq \frac{2 * 0,5 * 2 * 43,48}{16 * 1 * 0,504 * 2,7}$$

$$s = 20,0 \text{ cm} > 4,0 \text{ cm}$$

Odabrane su dvorezne spone $\emptyset 8/20 \text{ cm}$.

Ploča POZ. 102

$$V_{Ed,max} = 59,37 * 0,86 = 51,06 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova

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

$$V_{Ed} = 51,06 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 269,84 \text{ kN}$$

Spone: $\emptyset 8$ $A_{sw} = 0,5 \text{ cm}^2$

Reznost $m = 2$

Najveći uzdužni razmak poprečne armature

1. Iz uvjeta najmanje poprečne armature

Najveći uzdužni razmak raspona:

$$Sl_{max}^1 = \frac{A_{sw} * m}{\rho_{wmin} * bw} = \frac{0,5 * 2}{0,0012 * 16} = 52,08 \text{ cm}$$

2. Iz odnosa V_{Ed}/V_{Rdmax}

$$\frac{51,06}{269,84} \leq 0,30$$

$$0,19 < 0,30$$

$$Sl_{max}^2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 * d = 21 \text{ cm;} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$Sl_{max}^2 = 21 \text{ cm}$$

Minimalne spone $\emptyset 8/20 \text{ cm}$, $m = 2$.

3. Poprečna sila $V_{Rd,s}^{min}$ koju prenosi minimalna armatura:

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{A_{sw}}{Sl_{max}^2} * z * f_{ywd} * ctg\emptyset = \frac{0,5 * 2}{20} * 25,2 * 43,48 * 1,2 = 65,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s}^{min} > V_{Ed}$$

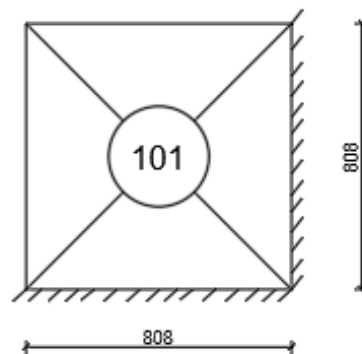
$$65,7 \text{ kN} > 51,06 \text{ kN}$$

Zadovoljavaju minimalne spone u cijeloj duljini grede $s=20 \text{ cm}$.

Odabiru se dvorezne spone $\emptyset 8/20 \text{ cm}$ po cijeloj duljini grede.

5.1.4. Granično stanje deformiranja

Ploča POZ. 101



Slika 24. Shema ploče POZ. 101

Ukoliko su armiranobetonske grede ili ploče dimenzionirane u skladu s graničnim omjerom raspona i visine, može se smatrati da njihovi progibi nisu premašili ograničenja. Ograničenja progiba su: [12]

- Izgled i uporaba konstrukcije mogli bi biti narušeni kada proračunski progib grede, ploče ili konzole za nazovistalno opterećenje premaši raspon/250
- Progib koji potencijalno oštećuje susjedne dijelove konstrukcije treba ograničiti. Za nazovistalna opterećenja ograničenje progiba nakon izvedbe iznosi raspon/500.

Granični omjer raspon/visina smije se proračunati izrazom prema HRN EN 1992-1-1, točka 7.4.2. formula 7.16.b, koji glasi:

$$\frac{l}{d} = K * [11 + 1,5 * \sqrt{f_{ck}} * \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 * \sqrt{f_{ck}} * \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{\frac{3}{2}}]$$

$\frac{l}{d}$ – granični omjer raspon/visina

K – faktor kojim se uzimaju u obzir različiti konstrukcijski sustavi

ρ_0 – referentni omjer (postotak) armature = $10^{-3} \sqrt{f_{ck}}$

ρ – zahtijevani omjer (postotak) vlačne armature u sredini raspona koja preuzima moment prouzročen proračunskim opterećenjima (na osloncu za konzole)

f_{ck} – u MPa

ρ' – zahtijevani omjer (postotak) tlačne armature u sredini raspona koja preuzima moment prouzročen proračunskim opterećenjima (na osloncu za konzole)

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{40} = 6,32 * 10^{-3}$$

$$\rho = \frac{A_{s1,req}}{A_c} = \frac{3,59}{(86 * 8) + (25 * 16)} = 3,3 * 10^{-3}$$

$$\rho' = 0$$

$K = 1,3$ – za krajnji raspon kontinuirane ploče nosive u dva smjera
ako je kontinuitet preko jedne duljine stranice

$$\frac{l}{d} = 1,3 * \left[11 + 1,5 * \sqrt{40} * \frac{6,32 * 10^{-3}}{3,33 * 10^{-3}} + 3,2 * \sqrt{40} * \left(\frac{6,32 * 10^{-3}}{3,33 * 10^{-3}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\frac{l}{d} = 60,96$$

Omjer raspona i visine za 1 rebro:

$$\frac{l}{d} = \frac{808}{26} = 31,08$$

Vrijednost $l/d = 31,08$ množimo sa vrijednošću dobivenu izrazom:

$$\frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s1,prov}}{A_{s1,req}} = \frac{500}{500} * \frac{3,83}{3,59} = 1,07$$

Za presjeke s pojasnicom gdje omjer širine pojasnice i širine rebra prelazi 3, vrijednost l/d treba pomnožiti sa 0,8.

$$\frac{b_{eff}}{b_w} = \frac{86 \text{ cm}}{16 \text{ cm}} = 5,4 > 5$$

Za ploče i grede kojima raspon prelazi 7 m, na koje se oslanjaju pregradni zidovi skloni oštećenju zbog prekomjernih progiba, vrijednost l/d treba pomnožiti sa $7/b_{eff}$.

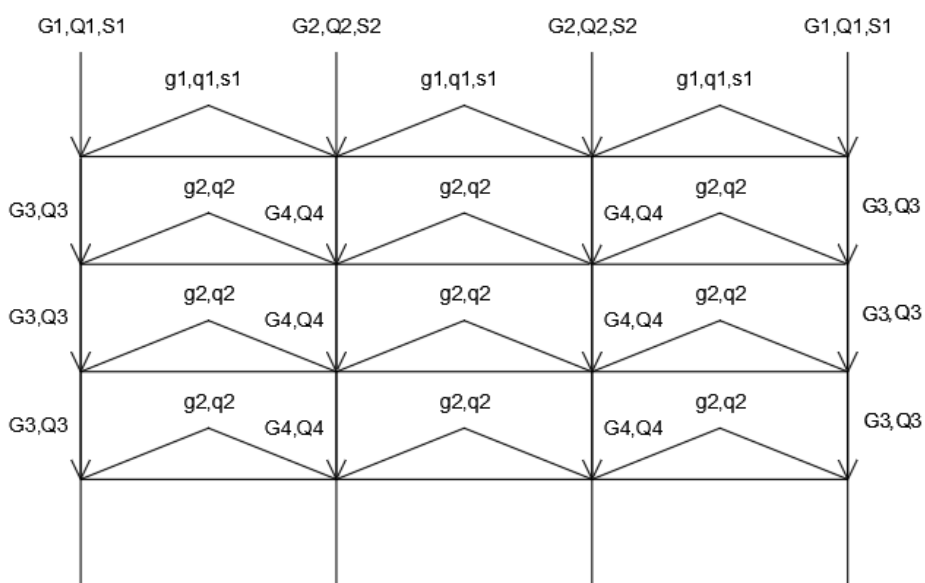
$$\frac{l}{d} = 60,96 * 1,07 * 0,8 * \frac{7}{8,08} = 45,2$$

$$\frac{l}{d} = \frac{808}{26} = 31,08 < 45,2$$

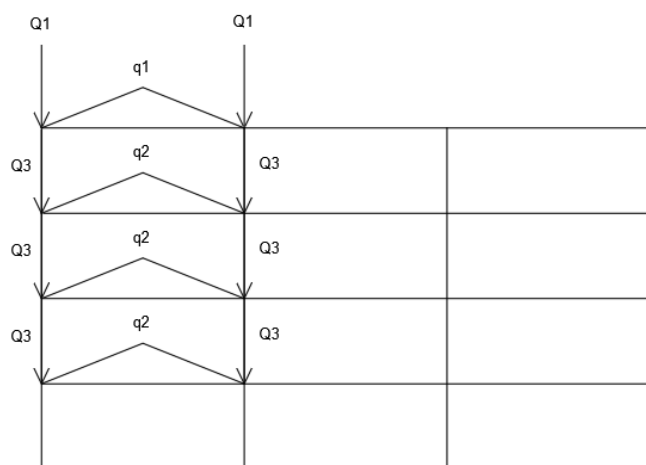
Nije potrebno provesti proračun progiba.

6. PRORAČUN OKVIRA

Na slici 25 prikazana su sva vertikalna opterećenja na okvir 1.



Slika 25. Prikaz vertikalnih opterećenja na „okvir 1”



Slika 26. Nesimetrično uporabno opterećenje lijevo na „okvir 1”

6.1. Analiza opterećenja ravnog krova

Opterećenje:

$$g = 7,01 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

Stalno opterećenje G1, G2 i g1

Stalno opterećenje od ravnog krova:

$$g_{pl} = g * \frac{l_1}{2} = 7,01 * \frac{8,08}{2} = 28,32 \text{ kN/m'}$$

$$k_{1g} = \frac{1}{2} * \left(28,32 * \frac{8,08}{2} \right) = 57,2 \text{ kN}$$

$$k_{2g} = 2 * k_{1g} = 2 * 57,2 = 114,4 \text{ kN}$$

Vlastita težina grede:

$$(0,7 * 0,5) * 25 = 8,75 \text{ kN/m}$$

$$G_1 = 8,75 * 4,04 + 57,2 = 92,55 \text{ kN}$$

$$G_2 = 8,75 * 4,04 + 114,4 = 149,75 \text{ kN}$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera g1:

$$g_1 = \frac{7,01 * 8,08}{2} * 2 = 28,32 \text{ kN/m'}$$

Uporabno opterećenje Q1, Q2 i q1

Uporabno opterećenje ravnog krova:

$$q_{pl} = g * \frac{l_1}{2} = 0,60 * \frac{8,08}{2} = 2,42 \text{ kN/m}$$

$$Q_1 = \frac{1}{2} * 2,42 * \frac{8,08}{2} = 4,89 \text{ kN}$$

$$Q_2 = 2 * Q_1 = 2 * 4,89 = 9,78 \text{ kN}$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera q1:

$$q_1 = \frac{0,60 * 8,08}{2} = 2,42 \text{ kN/m'}$$

Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom na ravnom krovu:

$$s_{pl} = s * \frac{l_1}{2} = 0,60 * \frac{8,08}{2} = 2,42 \text{ kN/m'}$$

$$S_1 = \frac{1}{2} * 2,42 * \frac{8,08}{2} = 4,89 \text{ kN}$$

$$S_2 = 2 * k_{1s} = 2 * 4,89 = 9,78 \text{ kN}$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera s:

$$s = \frac{0,60 * 8,08}{2} = 2,42 \text{ kN/m'}$$

Analiza opterećenja međukatne konstrukcije

Opterećenje:

$$g = 6,80 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Stalno opterećenje G3, G4 i g2

Stalno opterećenje od međukatne konstrukcije:

$$g_{pl} = g * \frac{l_1}{2} = 6,80 * \frac{8,08}{2} = 27,47 \text{ kN/m}$$

$$k_{3g} = \frac{1}{2} * 27,47 * \frac{8,08}{2} = 55,49 \text{ kN}$$

$$k_{4g} = 2 * k_{3g} = 2 * 55,49 = 110,98 \text{ kN}$$

Vlastita težina grede:

$$(0,7 * 0,5) * 25 = 8,75 \text{ kN/m}$$

$$G_3 = 8,75 * 4,04 + 55,49 = 90,84 \text{ kN}$$

$$G_4 = 8,75 * 4,04 + 110,98 = 146,33 \text{ kN}$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera g1:

$$g_2 = \frac{6,80 * 8,08}{2} = 27,47 \text{ kN/m'}$$

Uporabno opterećenje Q3, Q4 i q2

Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije:

$$q_{pl} = g * \frac{l_1}{2} = 5,0 * \frac{8,08}{2} = 20,2 \text{ kN/m}$$

$$Q_3 = \frac{1}{2} * 20,2 * \frac{8,08}{2} = 40,80 \text{ kN}$$

$$Q_4 = 2 * Q_3 = 2 * 40,80 = 81,60 \text{ kN}$$

Kontinuirano trokutno opterećenje od ploča nosivih u dva smjera q2:

$$q_2 = \frac{5,0 * 8,08}{2} = 20,2 \text{ kN/m'}$$

6.2. Analiza horizontalnih opterećenja na okvir

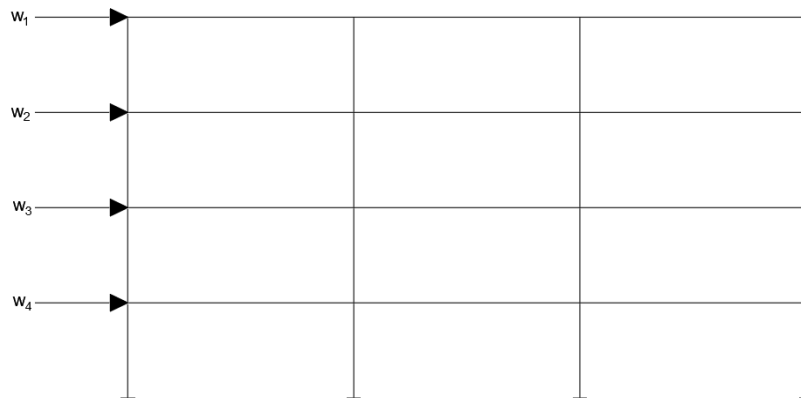
Horizontalne sile od vjetra koje djeluju na konstrukciju proračunavamo po izrazu:

$$w_i = \frac{1}{n} * A_i * \sum w_e$$

gdje je:

n – broj okvira

A_i – površine zidova okomite na smjer djelovanja vjetra (u proračun se uzima površina jedne strane zgrade jer je u analizi djelovanja vjetra usvojeno $c_{pe} = 1,30$)



Slika 27. Prikaz horizontalnog opterećenja vjetra na „okvir 1”

$$w_1 = \frac{1}{4} * \left(24,74 * \frac{3,4}{2} \right) * 1,76 = 18,51 \text{ kN}$$

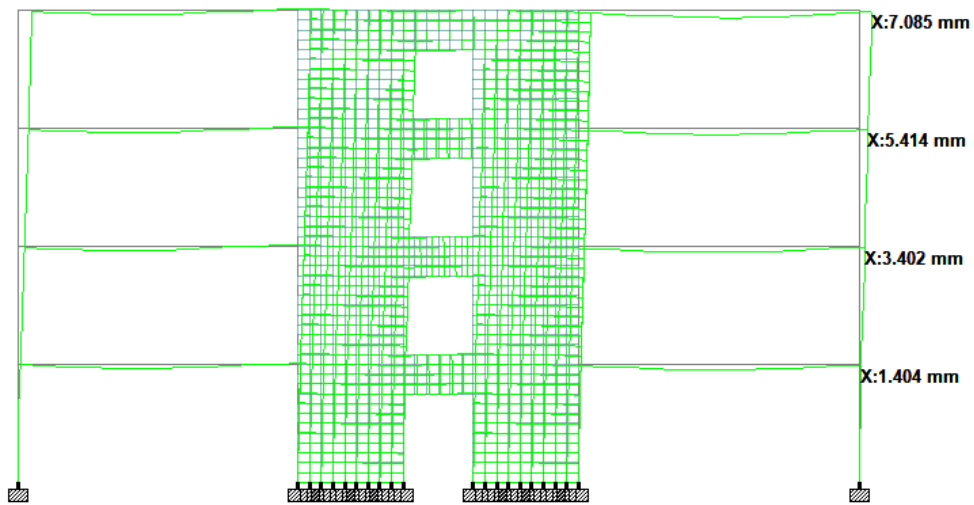
$$w_2 = \frac{1}{4} * \left(24,74 * \frac{3,4 + 3,4}{2} \right) * 1,76 = 37,01 \text{ kN}$$

$$w_3 = \frac{1}{4} * \left(24,74 * \frac{3,4 + 3,4}{2} \right) * 1,76 = 37,01 \text{ kN}$$

$$w_4 = \frac{1}{4} * \left(24,74 * \frac{3,4 + 3,4}{2} \right) * 1,76 = 37,01 \text{ kN}$$

7. PROVJERA MEĐUKATNIH POMAKA

Ograničenje međukatnih pomaka provodi se za potresnu kombinaciju opterećenja.



Slika 28. Pomaci konstrukcije

$$1.\text{kata} \rightarrow 1,404 \text{ mm} \rightarrow d_{e1} = 1,404 \text{ mm}$$

$$2.\text{kata} \rightarrow 3,402 - 1,404 = 1,998 \text{ mm} \rightarrow d_{e2} = 1,998 \text{ mm}$$

$$3.\text{kata} \rightarrow 5,414 - 3,402 = 2,012 \text{ mm} \rightarrow d_{e3} = 2,012 \text{ mm}$$

$$4.\text{kata} \rightarrow 7,085 - 5,414 = 1,671 \text{ mm} \rightarrow d_{e4} = 1,671 \text{ mm}$$

Ograničenje međukatnog pomaka:

$$d_r * v * v^* \leq 0,005 * h$$

$$d_r = q * d_e$$

$$q = 3,6$$

$$v = 1,0$$

$$v^* = \frac{a_{gR}T = 95 \text{ god}}{a_{gR}T = 475 \text{ god}} = \frac{0,101 \text{ g}}{0,200 \text{ g}} = 0.505$$

$$h = 3,4$$

Provjera za kat s najvećim pomakom (3. KAT):

$$d_{e3} = 2,012 \text{ mm}$$

$$d_{r3} = q * d_{e3} = 3,6 * 2,012 = 7,24 \text{ mm}$$

$$7,24 * 1,0 * 0,505 \leq 0,005 * 3400$$

$$3,7 \text{ mm} \leq 17 \text{ mm} \text{ ZADOVOLJAVA}$$

7.1. Proračun vitkih elemenata okvira

Proračun vitkih elemenata konstrukcije vrši se na deformiranom sustavu odnosno po teoriji drugog reda. Proračunati će se učinak drugog reda na konstrukciji po pojednostavljenom postupku na okviru. Postupak će se provesti za najdonji, lijevi stup okvira koji je naprezan najvećom udužnom tlačnom silom koja može uzrokovati izvijanje stupova.

Rotacijska krutost čvora

$$k = \frac{\theta}{M} * \frac{E * I_{col}}{I_{col}} = \frac{\sum(E * I_{col})/l_{cl}}{\sum M_R}$$
$$\sum M_R = 1 * \left(\frac{4 * E * I_b^{II}}{I_b} \right)$$

gdje su:

E – modul elastičnosti betona

I_{col} – moment tromosti stupa

$$I_{col} = \frac{\pi * D^4}{64} = \frac{\pi * 50^4}{64} = 306796,15 \text{ cm}^4$$

I_b^{II} - moment tromosti grede za raspucalo stanje (50% krutosti)

$$I_b^{II} = 0,5 * \frac{50 * 70^3}{12} = 714583,33 \text{ cm}^4$$

l_{cl} – duljina stupa

l_b – duljina grede

Rotacijska krutost čvora 1:

Ako je stup upet, krutost je jednaka nuli, no u praksi se rijetko javlja potpuna upetost stoga se predlaže minimalna vrijednost krutosti $k_1=0,1$.

Rotacijska krutost čvora 5:

$$k_5 = 2 * \frac{\frac{306796,15}{3,4}}{4 * \frac{714583,33}{8,08}} = 0,51$$

Efektivna duljina l_0 za pridržane elemente:

$$l_0 = 0,5 * l * \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) * \left(1 + \frac{k_5}{0,45 + k_5}\right)}$$

$$l_0 = 0,5 * 3,4 * \sqrt{\left(1 + \frac{0,1}{0,45 + 0,1}\right) * \left(1 + \frac{0,51}{0,45 + 0,51}\right)} = 2,29 \text{ m}$$

Vitkost:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{I_{col}}{A_c}}} = \frac{229}{\sqrt{\frac{306796,15}{25^2 * \pi}}} = 18,32$$

A_c – ploština betonskog presjeka

Prema normi EN 1992-1-1:2001 učinci teorije drugog reda su zanemarivi ako je vitkost konstrukcije manja od granične vitkosti λ_{lim} koja je definirana točkom 2.31 norme HRN EN 1992-1-1:2013 i to:

$$\lambda_{lim} = 20 * A * B * C * \frac{1}{\sqrt{n}}$$

A=0,7; B=1,1; C=0,7

Normalizirana uzdužna sila:

$$n = \frac{N_{ed}}{A_c * f_{cd}}$$

$$n = \frac{1406}{1963,5 * 2,7} = 0,265$$

$$\lambda_{lim} = 20 * A * B * C * \frac{1}{\sqrt{n}} = 20 * 0,7 * 1,1 * 0,7 * \frac{1}{\sqrt{0,265}} = 20,94$$

$$\lambda < \lambda_{lim}$$

$$18,32 < 20,94$$

Nije potrebno uzeti u obzir učinke drugog reda jer se ne radi o vitkim elementima.

Učinke teorije drugog reda za potresnu kombinaciju djelovanja nije potrebno uzimati u obzir ako je zadovoljen sljedeći uvjet:

Koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka

$$\theta = \frac{P_{tot} * d_r}{V_{tot} * h} \leq 0,1$$

P_{tot} - ukupno gravitacijsko opterećenje na promatranom katu i iznad njega u proračunskoj potresnoj situaciji

d_r - proračunski katni pomak određen kao razlika prosječnih bočnih pomaka d_s , na vrhu i pri podnožju promatranog kata

$$d_r = q * d_s$$

V_{tot} - ukupna katna potresna poprečna sila

h - međukatna visina

$$d_{r,400} = q * d_{s,400} = 3,6 * (7,085 - 5,414) = 6,02 \text{ mm}$$

$$d_{r,300} = q * d_{s,300} = 3,6 * (5,414 - 3,402) = 7,24 \text{ mm}$$

$$d_{r,200} = q * d_{s,200} = 3,6 * (3,402 - 1,404) = 7,19 \text{ mm}$$

$$d_{r,100} = q * d_{s,100} = 3,6 * 1,404 = 5,05 \text{ mm}$$

KROV (400):

$$P_{tot} = G_4 = 5929,3 \text{ kN}$$

$$V_{tot} = 1269 \text{ kN}$$

$$\theta = \frac{P_{tot} * d_r}{V_{tot} * h} = \frac{5929,3 * 0,6}{1269 * 340} = 0,0082 < 0,10$$

Učinke drugog reda nije potrebno uzimati u obzir za potresnu situaciju.

Međukatna konstrukcija (300):

$$P_{tot} = (6152,18 + 0,3 * 2937,89) + 5929,3 = 12962,85 \text{ kN}$$

$$V_{tot} = F_4 + F_3 = 1269 + 1100 = 2369 \text{ kN}$$

$$\theta = \frac{P_{tot} * d_r}{V_{tot} * h} = \frac{12962,85 * 0,724}{2369 * 340} = 0,012 < 0,10$$

Međukatna konstrukcija (200):

$$P_{tot} = (2 * (6152,18 + 0,3 * 2937,89)) + 5929,3 = 19996,39 \text{ kN}$$

$$V_{tot} = F_4 + F_3 + F_2 = 1269 + 1100 + 734 = 3103 \text{ kN}$$

$$\theta = \frac{P_{tot} * d_r}{V_{tot} * h} = \frac{19996,39 * 0,719}{3103 * 340} = 0,014 < 0,10$$

Međukatna konstrukcija (100):

$$P_{tot} = (3 * (6152,18 + 0,3 * 2937,89)) + 5929,3 = 27029,94 \text{ kN}$$

$$V_{tot} = F_4 + F_3 + F_2 + F_1 = 1269 + 1100 + 734 + 367 = 3470,0 \text{ kN}$$

$$\theta = \frac{P_{tot} * d_r}{V_{tot} * h} = \frac{27029,94 * 0,505}{3470 * 340} = 0,012 < 0,10$$

Učinke drugog reda nije potrebno uzimati u obzir za potresnu situaciju.

8. DIMENZIONIRANJE GREDA

8.1. Dimenzioniranje greda na moment savijanja

Zaštitni sloj betona

Udaljenost donjeg ruba presjeka grede od težišta armature:

$$d_1 = c_{nom} + \phi_w + \frac{\phi}{2}$$

ϕ_w – pretpostavljeni promjer poprečne armature ($\phi_w = 8 \text{ mm}$)

ϕ – pretpostavljeni promjer uzdužne armature ($\phi_w = 20 \text{ mm}$)

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

$$c_{min} = 20 \text{ mm}$$

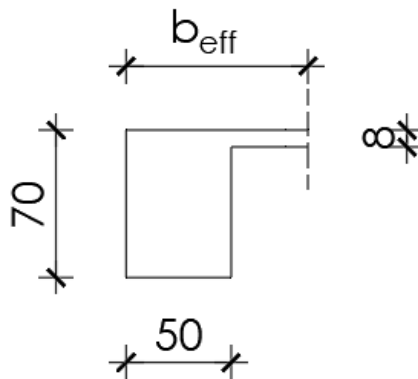
$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

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

Statička visina grede:

$$d = 70 - 4,5 = 65 \text{ cm}$$



Slika 29. Shema presjeka rubne grede u polju pomoću kojeg se određuje sudjelujuća širina T-presjeka grede

$$l_0 = 0,85 * 808 = 686,8 \text{ cm}$$

$$b_i = \frac{b}{2} = \frac{808 - 50}{2} = \frac{758}{2} = 379 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = 0,2 * 379,0 + 0,1 * 686,8 \leq 0,2 * 686,8 ; 379$$

$$b_{eff,i} = 144,48 \text{ cm} \leq 137,36 \text{ cm} ; 379 \text{ cm}$$

$$b_{eff,i} = 137,36 \text{ cm}$$

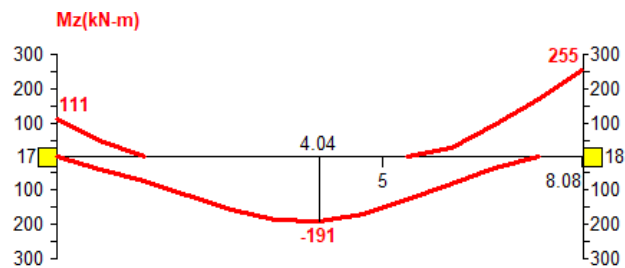
$$b_{eff} = 137,36 + 50 = 187,36 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = 188 \text{ cm}$$

GREDA POZ 411

POLJE

Iz anvelope momenata savijanja (slika 30) u polju grede 411-411, mjerodavna je stalna proračunska situacija:



Slika 30. Anvelopa momenata savijanja grede POZ. 411 iz STAAD.pro

Moment u polju jednak je

$$M_{Ed} = 191,0 \text{ kNm}$$

Pretpostavka: Neutralna os prolazi kroz ploču ili njezinim donjim rubom

$$x \leq h_f$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja

$$\mu_{Ed} = \frac{19100}{188 * 65^2 * 2,7} = 0,0089$$

$$\xi = 0,012$$

$$\zeta = 0,995$$

Uvjet:

$$x \leq h_f$$

$$\xi = \frac{x}{d}$$

$$x = \xi * d = 0,012 * 65 = 0,786 < 8,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču.

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{19100}{0,995 * 65 * 43,48} = 6,79 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{500} * b * d \geq 0,0013 * b * d_x$$

$$A_{s1,min} = 0,26 * \frac{3,5}{500} * 50 * 65 \geq 0,0013 * 50 * 65$$

$$A_{s1,min} = 5,96 \text{ cm}^2 > 4,26 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura prema HRN EN 1998-1:2011:

$$A_{s,min} = \rho_{min} * b_w * d$$

gdje je:

ρ_{min} - najmanji omjer armiranja vlačnom armaturom

$$\rho_{min} = 0,5 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,5 * \frac{3,5}{500} = 0,0035$$

$$A_{s,min} = 0,0035 * 50 * 65 = 11,46 \text{ cm}^2$$

Za glavnu armaturu u polju odabiremo: 8Ø14(12,32cm²)

VANJSKI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad vanjskim ležajevima greda moment je:

$$M_{Ed} = 122,0 \text{ kNm}$$

bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{12200}{50 * 65^2 * 2,7} = 0,021$$

$$\xi = 0,037$$

$$\zeta = 0,985$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} \frac{12200}{0,985 * 65 * 43,48} = 4,35 \text{ cm}^2 < A_{s1,min} = 11,46 \text{ cm}^2$$

Minimalna armatura

Za glavnu armaturu nad ležajem odabrano je: 8Ø14(12,32cm²).

Prema HRN EN 1998-1:2011, potrebno je 50% vlačne armature staviti u tlačno područje radi osiguranja lokalne duktilnosti.

Armatura za tlačno područje: 4Ø14(6,16cm²).

UNUTARNJI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad vanjskim ležajevima greda moment je:

$$M_{Ed} = 242,00 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{24200}{50 * 65^2 * 2,7} = 0,042$$

$$\xi = 0,053$$

$$\zeta = 0,978$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{24200}{0,978 * 65 * 43,48} = 6,69 \text{ cm}^2 < A_{s,min} = 11,46 \text{ cm}^2$$

Za glavnu armaturu nad unutarnjim ležajem odabiremo: 8Ø14(12,32cm²)

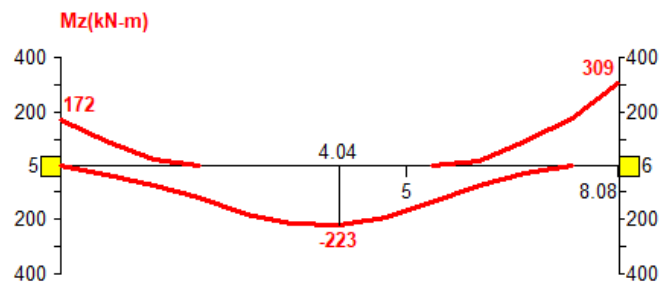
Prema HRN EN 1998-1:2011, potrebno je 50% vlačne armature staviti u tlačno područje radi osiguranja lokalne duktilnosti.

Armatura za tlačno područje: 4Ø14(6,16cm²).

GREDA POZ 111

POLJE

Iz anvelope momenata savijanja u polju grede 111-111 (slika 31), mjerodavna je stalna proračunska situacija:



Slika 31. Anvelopa momenata savijanja grede POZ. 111 iz STAAD.pro

Moment u polju jednak je

$$M_{Ed} = 223,0 \text{ kNm}$$

Pretpostavka: Neutralna os prolazi kroz ploču ili njezinim donjim rubom

$$x \leq h_f$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja

$$\mu_{Ed} = \frac{22300}{188 * 65^2 * 2,7} = 0,01$$

$$\xi = 0,012$$

$$\zeta = 0,995$$

Uvjet:

$$x \leq h_f$$

$$\xi = \frac{x}{d}$$

$$x = \xi * d = 0,012 * 65 = 0,786 < 8,0 \text{ cm}$$

Neutralna os prolazi kroz ploču.

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{22300}{0,995 * 65 * 43,48} = 7,87 \text{ cm}^2 < A_{s,min} = 11,46 \text{ cm}^2$$

Za glavnu armaturu u polju odabiremo: 8Ø14(12,32cm²)

VANJSKI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad vanjskim ležajevima gređa moment je:

$$M_{Ed} = 170,0 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{17000}{50 * 65^2 * 2,7} = 0,030$$

$$\xi = 0,037$$

$$\zeta = 0,985$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} \frac{17000}{0,985 * 65,5 * 43,48} = 6,11 \text{ cm}^2 < A_{s,min} = 11,46 \text{ cm}^2$$

Za glavnu armaturu u polju odabiremo: 8Ø14(12,32cm²)

Za glavnu armaturu nad ležajem odabrano je: 8Ø14(12,32cm²).

Prema HRN EN 1998-1:2011, potrebno je 50% vlačne armature staviti u tlačno područje radi osiguranja lokalne duktilnosti.

Armatura za tlačno područje: 4Ø14(6,16cm²).

UNUTARNJI LEŽAJEVI

Iz anvelope momenta savijanja nad vanjskim ležajevima greda moment je:

$$M_{Ed} = 309,00 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{30900}{50 * 65^2 * 2,7} = 0,053$$

$$\xi = 0,069$$

$$\zeta = 0,971$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1} = \frac{30900}{0,971 * 65 * 43,48} = 11,17 \text{ cm}^2 < A_{s,min} = 11,46 \text{ cm}^2$$

Za glavnu armaturu nad ležajem odabiremo: 8Ø14(12,32cm²)

Prema HRN EN 1998-1:2011, potrebno je 50% vlačne armature staviti u tlačno područje radi osiguranja lokalne duktilnosti.

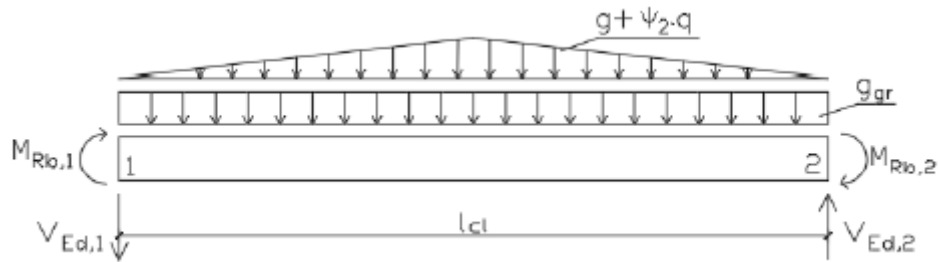
Armatura za tlačno područje: 4Ø14(6,16cm²).

8.2. Dimenzioniranje greda okvira na poprečnu silu

Poprečne sile u gredama određuju se u odnosu na sposobnost nosivosti na savijanje na krajevima greda. Na temelju ravnoteže grede (moment nosivosti na krajevima grede $M_{i,d}$ i poprečnog opterećenja na gredu) određuju se poprečne sile. Na krajevima presjeka greda određuju se dvije poprečne sile $V_{Ed,max,i}$ i $V_{Ed,min,i}$ koje odgovaraju najvećim pozitivnim i negativnim momentima $M_{i,d}$, tj. za dva smjera potresnog djelovanja.

Greda POZ 411

1. Slučaj



Slika 32. Djelovanje na gredu za smjer 1

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu, $M_{Rd,1}$:

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b * d} * \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\omega_1 = \frac{12,32}{50 * 65} * \frac{43,48}{2,7} = 0,061$$

$$\omega_1 = 0,065$$

$$\zeta = 0,967$$

$$M_{Rd,1} = \zeta * d * f_{yd} * A_{s1} = 0,967 * 65 * 43,48 * 0,1232 = 339,56 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu, $M_{Rd,2}$:

$$\omega_1 = \frac{6,16}{50 * 65} * \frac{43,48}{2,7} = 0,030$$

$$\omega_1 = 0,03$$

$$\zeta = 0,985$$

$$M_{Rd,2} = \zeta * d * f_{yd} * A_{s1} = 0,985 * 65 * 43,48 * 0,0616 = 172,80 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluju:

- Stalno opterećenje od ploče: $g_{pl}=28,32 \text{ kN/m'}$
- Vlastita težina grede: $g_{gr}=(0,5*0,7)*25=8,75 \text{ kN/m'}$
- Promjenjivo opterećenje: $q_{pl}=q=2,42 \text{ kN/m'}$

$$w = g + \psi_2 * q$$

$$w = 28,32 + 0 * 2,42 = 28,32 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,1}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} * (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w * l_{cl}}{4} + \frac{g_{gr} * l_{cl}}{2}$$

Gdje je:

γ_{Rd} – faktor kojim se uzima u obzir moguća povećana čvrstoća zbog ojačanja čelika
(za DCM $\gamma_{Rd} = 1,0$)

l_{cl} – svijetla duljina grede

$$l_{cl} = 8,08 - \frac{0,5 + 0,5}{2} = 7,58 \text{ m}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 * (339,56 + 172,80)}{7,58} + \frac{28,32 * 7,58}{4} + \frac{8,75 * 7,58}{2} = 154,42 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Za elemente s vertikalnom poprečnom armaturom ($\alpha = 90^\circ$):

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$v_1 = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{40}{250}\right) = 0,504$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 65,5 = 58,5 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,max} = 1 * 50 * 58,5 * 0,504 * 2,7 * \frac{1}{1,2 + \frac{1}{1,2}} = 1972,60 \text{ kN}$$

$$154,42 \text{ kN} \leq 1972,60 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Najveći uzdužni razmak poprečne armature

1. Iz uvjeta najmanje poprečne armature

Za beton C40/50 iznosi $\rho_{w,min} = 0,0012$

Spone: $\emptyset 8$ $A_{sw} = 0,5 \text{ cm}^2$

Reznost $m = 4$

Najveći uzdužni razmak raspona:

$$Sl_{max}^1 = \frac{Asw * m}{\rho w_{min} * bw} = \frac{0,5 * 4}{0,0012 * 50} = 33,33 \text{ cm}$$

2. Iz odnosa $V_{Ed}/V_{Rd,max}$

$$\frac{154,42}{1972,60} \leq 0,30$$

$$0,078 \leq 0,30$$

$$Sl_{max}^2 = \min \left\{ 0,75 * d = 49,13 \text{ cm}; \right. \\ \left. 30 \text{ cm} \right\}$$

$$Sl_{max}^2 = 30 \text{ cm}$$

Minimalne spone $\emptyset 8/30 \text{ cm}$, $m = 4$.

3. Poprečna sila $V_{Rd,s}^{min}$ koju prenosi minimalna armatura:

$$V_{Rd,s}^{min} = \frac{Asw}{Sl_{max}^2} * z * f_{ywd} * ctg\phi = \frac{0,5 * 4}{30} * 58,5 * 43,48 * 1,2 = 203,80 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s}^{min} > V_{Ed}$$

$$203,80 \text{ kN} > 154,42 \text{ kN}$$

Odabrane su četverorezne spone $\emptyset 8/30 \text{ cm}$.

2. Slučaj

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu, $M_{rd,1}$:

$$M_{Rd,1} = \zeta * d * f_{yd} * A_{s1} = 0,967 * 65 * 43,48 * 0,1232 = 339,56 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu, $M_{rd,2}$:

$$M_{Rd,2} = \zeta * d * f_{yd} * A_{s1} = 0,985 * 65 * 43,48 * 0,0616 = 172,80 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluju:

$$w = 28,32 + 0 * 2,42 = 28,32 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,2}$:

$$V_{Ed,2} = \frac{\gamma_{Rd} * (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w * l_{cl}}{4} + \frac{g_{gr} * l_{cl}}{2}$$

$$l_{cl} = 8,08 - \frac{0,5 + 0,5}{2} = 7,58 \text{ m}$$

$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 * (339,56 + 172,80)}{7,58} + \frac{28,32 * 7,58}{4} + \frac{8,75 * 7,58}{2} = 154,42 \text{ kN}$$

Odabrane su četverorezne spone $\emptyset 8/30 \text{ cm}$.

Greda POZ 111

1. Slučaj

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu, $M_{rd,1}$:

$$\omega_1 = \frac{A_{s1}}{b * d} * \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\omega_1 = \frac{12,32}{50 * 65} * \frac{43,48}{2,7} = 0,061$$

$$\omega_1 = 0,065$$

$$\zeta = 0,967$$

$$M_{Rd,1} = \zeta * d * f_{yd} * A_{s1} = 0,967 * 65 * 43,48 * 0,1232 = 339,29 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu, $M_{rd,2}$:

$$\omega_1 = \frac{6,16}{50 * 65} * \frac{43,48}{2,7} = 0,030$$

$$\omega_1 = 0,03$$

$$\zeta = 0,985$$

$$M_{Rd,2} = \zeta * d * f_{yd} * A_{s1} = 0,985 * 65 * 43,48 * 0,0616 = 172,80 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluju:

- Stalno opterećenje od ploče: $g_{pl}=27,47 \text{ kN/m'}$
- Vlastita težina grede: $g_{gr}=(0,5*0,7)*25=8,75 \text{ kN/m'}$
- Promjenjivo opterećenje: $q_{pl}=q=20,2 \text{ kN/m'}$

$$w = g + \psi_2 * q$$

$$w = 27,47 + 0,3 * 20,2 = 33,53 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,1}$:

$$V_{Ed,1} = \frac{\gamma_{Rd} * (M_{Rd,1} + M_{Rd,2})}{l_{cl}} + \frac{w * l_{cl}}{4} + \frac{g_{gr} * l_{cl}}{2}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{1,0 * (339,29 + 172,80)}{7,58} + \frac{33,53 * 7,58}{4} + \frac{8,75 * 7,58}{2} = 164,26 \text{ kN}$$

Odabrane su četverorezne spone $\emptyset 8/30 \text{ cm}$.

2. Slučaj

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu, $M_{rd,1}$:

$$M_{Rd,1} = \zeta * d * f_{yd} * A_{s1} = 0,967 * 65,5 * 43,48 * 0,1232 = 339,29 \text{ kNm}$$

Proračun momenta nosivosti za odabranu armaturu, $M_{rd,2}$:

$$M_{Rd,2} = \zeta * d * f_{yd} * A_{s1} = 0,985 * 65,5 * 43,48 * 0,0616 = 172,80 \text{ kNm}$$

U proračunskoj potresnoj situaciji na gredu djeluju:

$$w = 27,47 + 0,3 * 20,2 = 33,53 \text{ kNm}$$

Poprečna sila $V_{Ed,2}$:

$$V_{Ed,2} = \frac{1,0 * (339,29 + 172,80)}{7,58} + \frac{33,53 * 7,58}{4} + \frac{8,75 * 7,58}{2} = 164,26 \text{ kN}$$

Odabrane su četverorezne spone $\emptyset 8/30 \text{ cm}$.

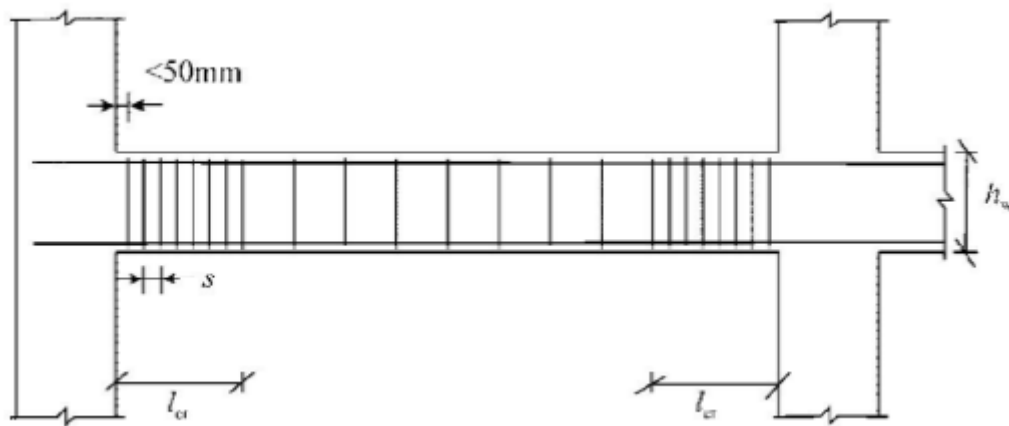
8.3. Kritično područje grede

Kritično područje grede je područje presjeka grede do duljine l_{cr} gdje se greda spaja sa stupom zbog otvaranja plastičnih zglobova prilikom potresa, odnosno zbog mogućnosti pojave plastičnih deformacija [17].

Za DCM: $l_{cr} = h_w = 70 \text{ cm}$

l_{cr} – kritična duljina grede

h_w – visina grede



Slika 33. Poprečna armatura u kritičnom području grede [9]

Greda POZ 411

U tlačno područje grede potrebno je uz proračunsku potrebnu tlačnu armaturu postaviti uzdužnu armaturu koja nije manja od polovice količine stvarne vlačne armature, kako bi se zadovoljio zahtjev lokalne duktilnosti unutar kritičnih područja grede. Koeficijent armiranja vlačnom armaturom ne smije premašiti ρ_{max} :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\phi} * \varepsilon_{sy,d}} * \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

ρ' - koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s2}}{b_w * d}$$

$$\rho' = \frac{6,16}{50 * 65} = 0,0019$$

$\varepsilon_{sy,d}$ - proračunska deformacija čelika pri popuštanju:

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

μ_{ϕ} - faktor duktilnosti s obzirom na zakrivljenost:

$$\mu_{\phi} = 2 * q_0 - 1$$

Ako je:

$$T_1 \geq T_c$$

$$0,55 s < 0,5 s$$

$$\mu_{\phi} = 2 * 3,6 - 1 = 6,2$$

U kritičnim područjima s uzdužnom armaturom (čelik razreda B), faktor duktilnosti s obzirom na zakrivljenost mora biti najmanje 1,5 puta veći:

$$\mu_{\phi} = 1,5 * 6,2 = 9,3$$

$$\rho_{max} = 0,0019 + \frac{0,0018}{9,3 * 0,002174} * \frac{2,7}{43,48} = 0,0074$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom uzduž cijele armature mora biti veći od najmanje vrijednosti po izrazu:

$$\rho_{min} = 0,5 * \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

$$\rho_{min} = 0,5 * \left(\frac{3,5}{500} \right) = 0,0035$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w * d} = \frac{12,32}{50 * 65} = 0,00376$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0035 \leq 0,0038 \leq 0,0074$$

Udaljenost prve spone rubnog presjeka grede ne smije biti manja od 50 mm. Poprečna armatura u kritičnom području grede mora zadovoljiti tako da promjer spona nije manji od 6 mm, a razmak spona dobiva se po izrazu:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_w}{4} \\ 24 * d_{bw} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 * d_{bL} \end{array} \right.$$

Gdje je:

d_{bw} – promjer spone (u mm)

d_{bL} – promjer najmanje uzdužne šipke (u mm)

$$s = \min \begin{cases} \frac{700}{4} = 175 \text{ mm} \\ 24 * 8 = 192 \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 * 14 = 112 \text{ cm} \end{cases}$$

$$s = 10 \text{ cm}$$

Na duljini kritičnog područja odabrana poprečna armatura je $\emptyset 8/10 \text{ cm}$, ostalo $m=4$, $s=30 \text{ cm}$.

Greda POZ 111

U tlačno područje grede potrebno je uz proračunsku potrebnu tlačnu armaturu postaviti uzdužnu armaturu koja nije manja od polovice količine stvarne vlačne armature, kako bi se zadovoljio zahtjev lokalne duktilnosti unutar kritičnih područja grede. Koeficijent armiranja vlačnom armaturom ne prelazi ρ_{max} :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\phi} * \varepsilon_{sy,d}} * \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

ρ' - koeficijent armiranja tlačnom armaturom:

$$\rho' = \frac{A_{s2}}{b_w * d}$$

$$\rho' = \frac{6,16}{50 * 65} = 0,0019$$

$$\rho_{max} = 0,0019 + \frac{0,0018}{9,3 * 0,002174} * \frac{2,7}{43,48} = 0,0074$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom uzduž cijele armature mora biti veći od najmanje vrijednosti po izrazu:

$$\rho_{min} = 0,5 * \left(\frac{3,5}{500} \right) = 0,0035$$

Koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b_w * d} = \frac{12,32}{50 * 65} = 0,0038$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$0,0035 \leq 0,0038 \leq 0,0074$$

Razmak spona:

$$s = 10 \text{ cm}$$

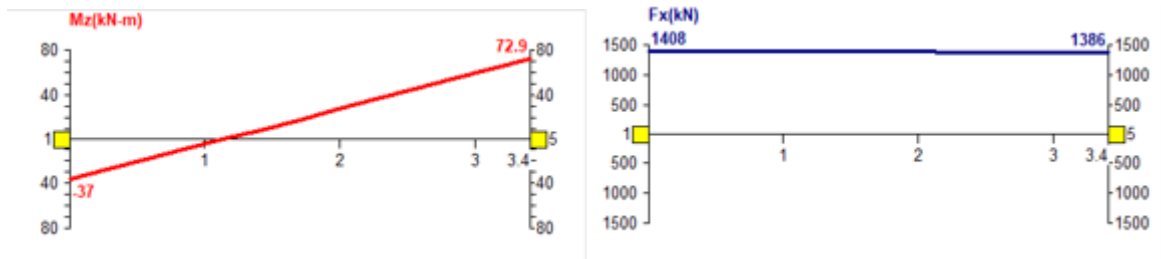
Na duljini kritičnog područja odabrana poprečna armatura je $\emptyset 8/10 \text{ cm}$, ostalo $m=4$,
 $s=30 \text{ cm}$.

9. DIMENZIONIRANJE STUPOVA OKVIRA

9.1. Dimenzioniranje stupova na ekscentrični tlak

a) Stalna proračunska situacija

Kombinacija djelovanja: stalno + snijeg + nesimetrično uporabno lijevo



Slika 34. Vrijednost momenta savijanja i uzdužne sile u stupu I/100 za osnovnu kombinaciju djelovanja

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 72,9 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1386 \text{ kN}$$

Bezdimenzionalna veličina momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{A_c * h * f_{cd}} = 0,0275$$

$$\mu_{Ed} = \frac{7290}{1963,5 * 50 * 2,7} = 0,0275$$

Proračunska površina poprečnog presjeka:

$$A_c = \frac{D^2 * \pi}{4} = \frac{50^2 * \pi}{4} = 1963,5 \text{ cm}^2$$

Bezdimenzionalna veličina uzdužne sile:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}}$$

$$v_{Ed} = \frac{-1386}{1963,5 * 2,7} = -0,261$$

Ograničenje bezdimenzionalne uzdužne sile za DCM:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} < 0,65$$

Zadovoljava!

Mehanički koeficijent armiranja prema dijagramu interakcije za kružni poprečni presjek prema [20]:

$$\omega = 0,0$$

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = -37 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1408 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{3700}{1963,5 * 50 * 2,7} = 0,014$$

$$v_{Ed} = \frac{1408}{1963,5 * 2,7} = 0,266$$

$$\omega = 0,0$$

Minimalna armatura

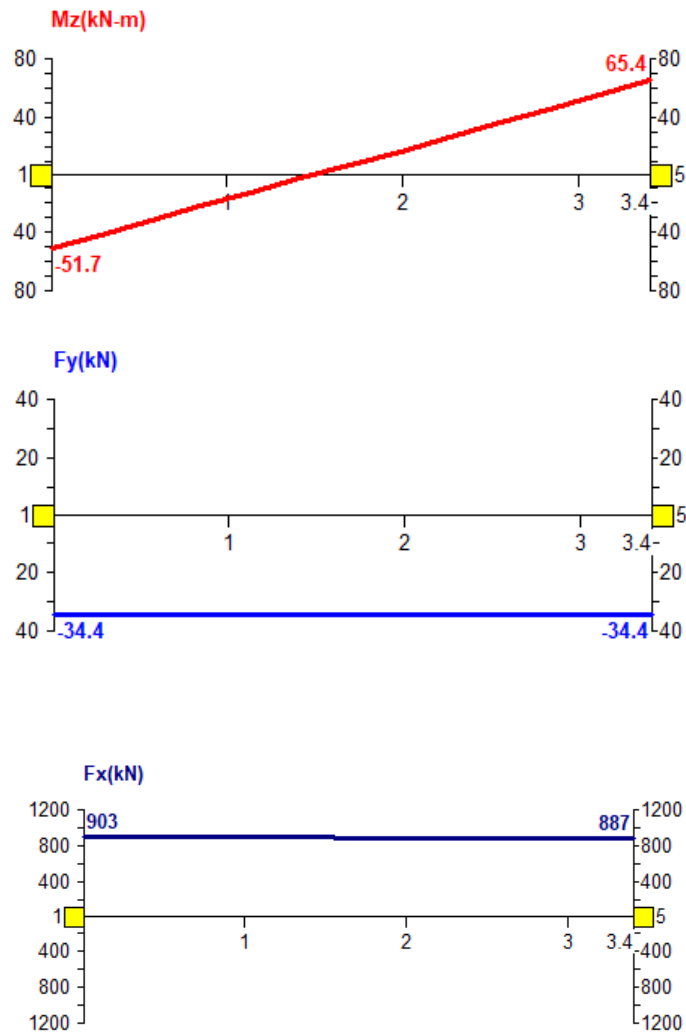
$$A_{s1,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 * N_{Ed}}{f_{yd}} \\ 0,003 * A_c \\ 6\emptyset 12 - \text{za okrugle presjeke} \end{array} \right\}$$

$$A_{s1,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 * 1408}{43,48} \\ 0,003 * 1963,5 \\ 6\emptyset 12 \end{array} \right\}$$

$$A_{s1,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 4,86 \\ 5,89 \\ 6,79 \end{array} \right\} = 6,79 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je minimalna armatura 6 \emptyset 12 (6,79 cm²)

b) Potresna proračunska situacija



Slika 35. Vrijednost momenta savijanja, poprečne sile i uzdužne tlačne sile u stupu I/100 za potresnu kombinaciju djelovanja

Presjek gore:

$$M_{Ed} = 65,4 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 887 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{6540}{1963,5 * 50 * 2,7} = 0,025$$

$$A_c = \frac{D^2 * \pi}{4} = \frac{50^2 * \pi}{4} = 1963,5 \text{ cm}^2$$

$$v_{Ed} = \frac{887}{1963,5 * 2,7} = 0,167$$

Mehanički koeficijent armiranja prema dijagramu interakcije za kružni poprečni presjek prema [20]:

$$\omega = 0,0$$

Presjek dolje:

$$M_{Ed} = -51,7 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 903 \text{ kN}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{5170}{1963,5 * 50 * 2,7} = 0,0195$$

$$v_{Ed} = \frac{-903}{1963,5 * 2,7} = -0,170$$

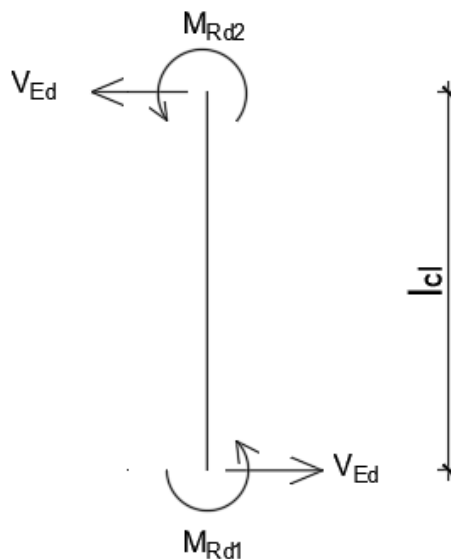
$$\omega = 0,0$$

Prema HRN EN 1998-1 $A_{s,min}$ iznosi 1% površine betonskog presjeka A_c .

$$A_{s,min} = 0,01 * 1963,5 = 19,64 \text{ cm}^2$$

Odabire se: 10 \emptyset 16(20,11 cm^2)

9.2. Dimenzioniranje na poprečne sile prema kapacitetu nosivosti



Slika 36. Djelovanja na stup I/100

$$V_{Ed,1,2} = \frac{(M_{1,d} + M_{2,d})}{l_{cl}} * \gamma_{Rd}$$

$M_{1,d}, M_{2,d}$ - momenti na gornjem i donjem kraju stupa

$\gamma_{Rd} = 1,1$ za DCM

l_{cl} - svijetla visina stupa

$$l_{cl} = 3,40 \text{ m}$$

Odabrana armatura u stupu: $10\emptyset 16 (20,11 \text{ cm}^2)$

$$v_{D,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{-887}{1963,5 * 2,7} = -0,167$$

$$\omega = \frac{A_{s1} * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{20,11 * 43,48}{1963,5 * 2,7} = 0,165$$

$$\mu_{Ed} = 0,11$$

$$M_{Rd} = \mu_{Rd} * A_c * h * f_{cd} = 0,11 * 1963,5 * 50 * 2,7 = 29157,98 \text{ kNcm}$$
$$= 291,58 \text{ kNm}$$

$$M_{1,d} = M_{2,d} = M_{Rd}$$

$$V_{Ed,1,2} = \frac{291,58 + 291,58}{3,40} * 1,1 = 188,67 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova:

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

Budući da u HRN EN 1992-1-1:2013 [13] nisu dane izravne vrijednosti za dimenzioniranje kružnih poprečnih presjeka za poprečne sile, ovdje su uvedeni popravni koeficijenti prema [21,22]:

$$bw \approx 0,6 * D$$

$$d = 0,8 * D$$

$$z \approx 0,8 * d$$

$$V_{Rd,max} = 1 * (0,6 * 50) * 0,8 * (0,8 * 50) * 0,54 * 2,7 * \frac{1}{1,2 + \frac{1}{1,2}} = 688 \text{ kN}$$

$$188,67 \text{ kN} \leq 688 \text{ kN}$$

Najveći uzdužni razmak poprečne armature:

1. Iz uvjeta najmanje poprečne armature

Za beton C40/50 iznosi $\rho_{w_{min}} = 0,0012$

Spone: $\emptyset 12$ $A_{sw} = 1,13 \text{ cm}^2$

Reznost $m = 2$

Najveći uzdužni razmak raspona:

$$Sl_{max}^1 = \frac{A_{sw} * m}{\rho_{w_{min}} * bw} = \frac{1,13 * 2}{0,0012 * (0,6 * 50)} = 62,78 \text{ cm}$$

2. Iz odnosa $V_{Ed}/V_{Rd,max}$

$$\frac{188,67}{688} \leq 0,30$$

$$0,27 < 0,30$$

$$Sl_{max}^2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,75 * 0,8 * 50 = 30 \text{ cm;} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$Sl_{max}^2 = 30 \text{ cm}$$

Minimalne spone $\emptyset 12/30 \text{ cm}$, $m = 2$.

3. Poprečna sila $V_{Rd,s}^{min}$ koju prenosi minimalna armatura:

$$\begin{aligned} V_{Rd,s}^{min} &= \frac{A_{sw}}{Sl_{max}^2} * z * f_{ywd} * ctg\phi * \lambda = \frac{1,13 * 2}{30} * (0,8 * 0,8 * 50) * 43,48 * 1,2 * 0,85 \\ &= 107 \text{ kN} \end{aligned}$$

λ – korekcijski faktor zbog kružnog poprečnog presjeka i korištenja spiralne armature

$$\lambda = 0,85$$

$$V_{Rd,s}^{min} < V_{Ed}$$

$$107 \text{ kN} < 188,67 \text{ kN}$$

Potrebna poprečna armatura

$$s = \frac{1,13 * 2 * 0,8 * (0,8 * 50) * 43,48}{188,67} * 1,2 * 0,85 = 17 \text{ cm}$$

$$s = 15,0 \text{ cm} > 4,0 \text{ cm}$$

Odabrane su dvorezne spone $\emptyset 12/15 \text{ cm}$.

9.3. Kritično područje stupa

Kritično područje stupa je područje do udaljenosti l_{cr} od oba kraja stupa.

Duljina kritičnog područja za DCM:

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c \\ \frac{l_{cl}}{6} \\ 45 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} 50 \text{ cm} \\ \frac{340}{6} = 56,67 \\ 45 \text{ cm} \end{array} \right\} = 57 \text{ cm}$$

h_c – najveća izmjera presjeka stupa

l_{cl} – svijetla visina stupa

$$\frac{l_{cl}}{h_c} < 3 - \text{kratki stup}$$

$$\frac{340}{50} = 6,8 - \text{nije kratki stup}$$

Odabrano $l_{cr} = 60 \text{ cm}$.

U kritičnim područjima spona trebaju zadovoljiti uvjete:

1. Promjer ugrađenih spona treba biti veći od 6 mm ili $\frac{1}{4}$ presjeka promjera uzdužne armature na razmacima s , u cilju osiguranja najmanje duktilnosti i sprječavanja lokalnog izvijanja

Najveći razmak između susjednih šipki pridržanih sponama za DCM:

$$s_{max} = 200 \text{ mm}$$

Razmak spona u kritičnom području (DCM):

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_o}{2} \\ 175 \text{ mm} \\ 8 * d_{bL} \end{array} \right\}$$

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{430}{2} \\ 175 \text{ mm} \\ 8 * 16 \end{array} \right\}$$

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 215 \text{ mm} \\ 175 \text{ mm} \\ 128 \text{ mm} \end{array} \right\} = 128, \text{ mm} = 12,8 \text{ cm}$$

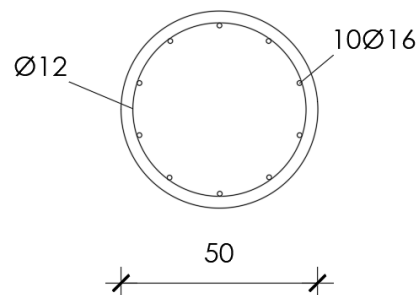
Na duljini $l_{cr} = 60 \text{ cm}$, odabrana armatura je $\emptyset 12/10 \text{ cm}$.

Izvan kritičnog područja, ali u području prijeklopa minimalni razmak spona je:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{4} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{50}{4} = 125 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 10 \text{ cm}$$

Na duljini prijeklopa odabrane su spona: $\emptyset 12/10 \text{ cm}$.



Slika 37 . Poprečni presjek i odabrana armatura stupa

9.4. Provjera osiguranja lokalne duktilnosti:

Vrijednost faktora duktilnosti s obzirom na zakrivljenost u kritičnom području

$$\alpha * w_{wd} \geq 30 * \mu_{\emptyset} * v_d * \varepsilon_{sy,d} * \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

α - globalna djelotvornost ovijanja

$$w_{wd} = \frac{\text{volumen spona za ovijanje}}{\text{volumen betonske jezgre}} * \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \geq w_{wd,min}$$

$$\alpha = \alpha_n * \alpha_s$$

Za kružni presjek:

$$\alpha_n = 1$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 * D_0}\right) = 1 - \frac{10}{2 * 43,0} = 0,886$$

$$D_0 = D - 2c_v - \phi_{sw}$$

$$D_0 = 50 - 6 - 1 = 43 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,886 * 1 = 0,886$$

$$w_{wd} = \frac{1,2 * \sqrt{(43 * \pi)^2 + 10^2}}{(43^2 * \pi/4) * 10} * \frac{43,48}{2,7} \geq w_{wd,lim}$$

$$w_{wd} = 0,176 > w_{wd,lim} = 0,08$$

$$\mu_\phi = 9,3$$

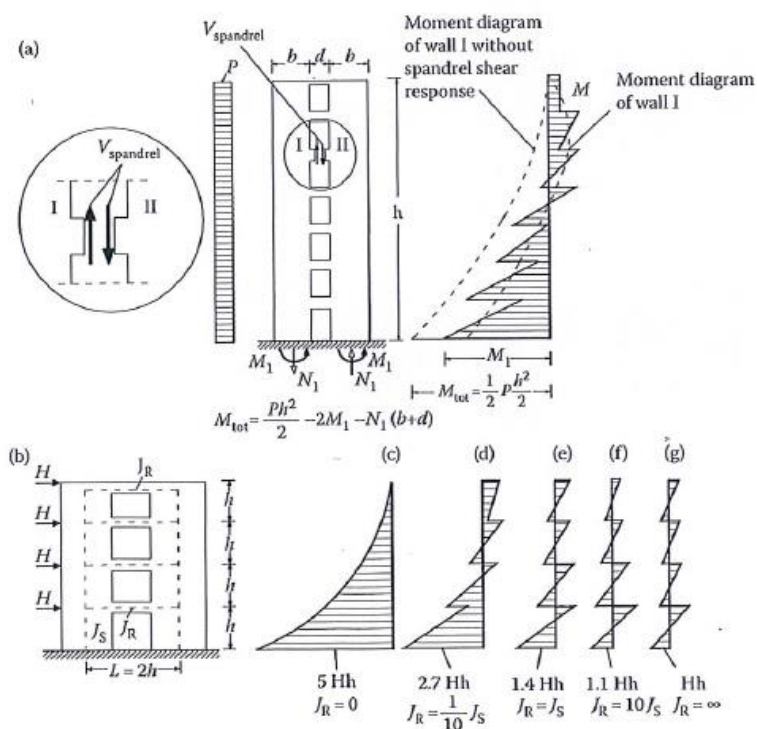
$$v_d = \frac{903}{1963,5 * 2,7} = 0,17$$

$$0,886 * 0,176 \geq 30 * 9,3 * 0,17 * 0,002174 * \frac{50}{43} - 0,035$$

$$0,156 \geq 0,085$$

10. DIMENZIONIRANJE ZIDOVA

Zidovi su međusobno spojeni veznim gredama iznad otvora na pročelju zgrade. Na slici 38.a) prikazani su momentni dijagrama zidova opterećeni horizontalnim opterećenjem. Krajnji moment na dnu svakog od dva zida manji je od polovice krajnjeg momenta koji bi se razvio u slučaju da je krutost veznih greda jednaka nuli. Za smanjenje momenta u podnožju zidova zaslužna je vezna greda. Kako se povećava krutost vezne grede, tako se krajnji moment zidova smanjuje. [23]

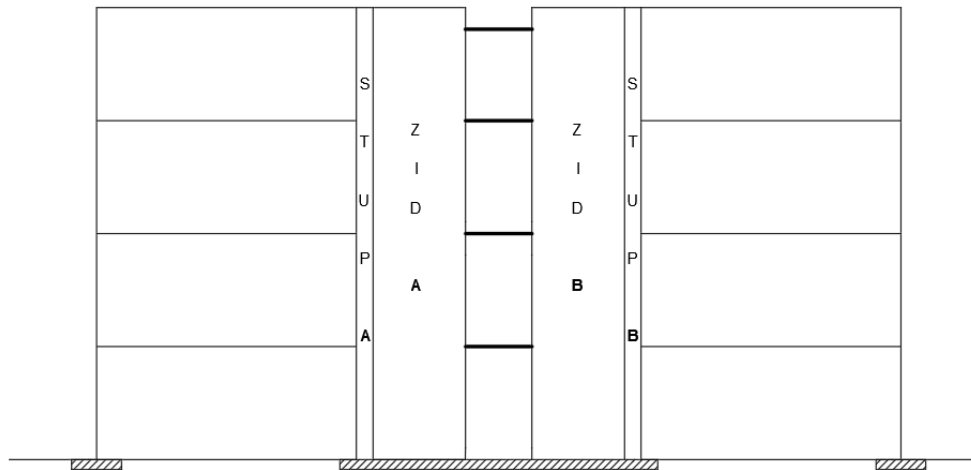


Slika 38. a) Odziv povezanih zidova na bočno opterećenje; b) utjecaj krutosti vezne grede na momentne dijagrame zidova [23]

10.1. Zid s otvorima i veznim gredama

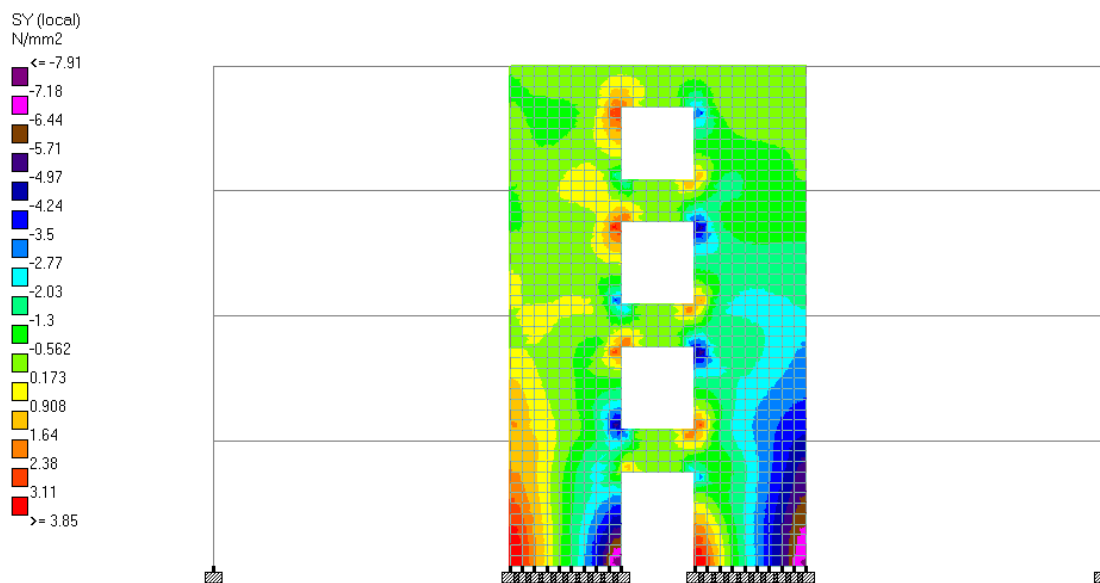
Zid se sastoji od zida A i zid B koji na rubovima imaju proširenja u obliku stupa 50x50 cm.

Rezne sile koje djeluju na zid i veznu grede proračunate su pomoću programskog paketa STAAD.Pro.

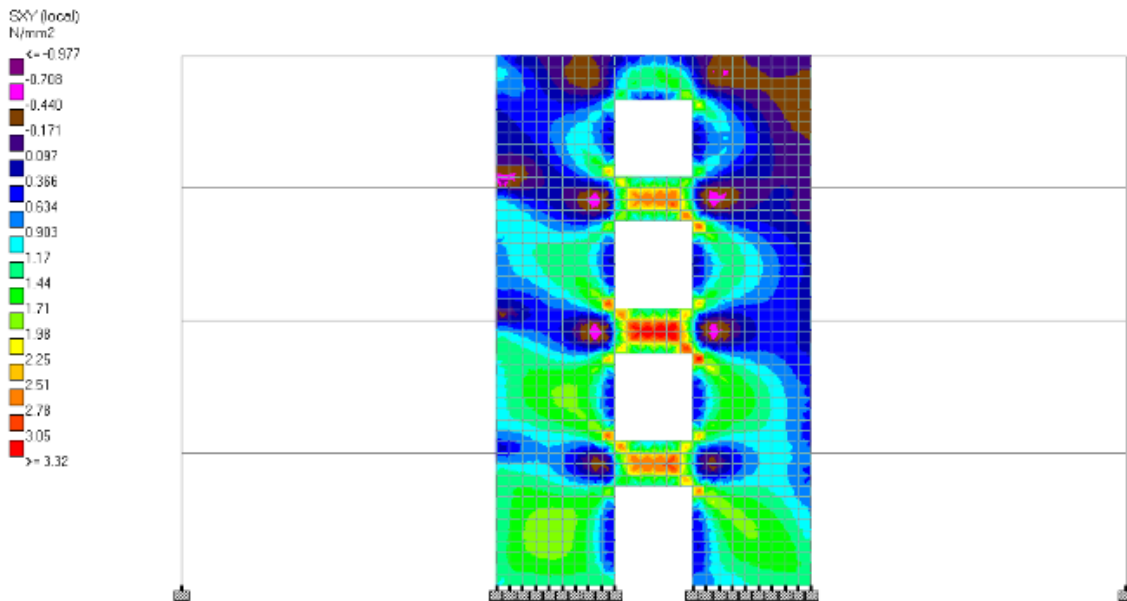


Slika 39. Shematski prikaz zidova, proširenja u obliku stupova i veznih greda

Naprezanja u zidovima

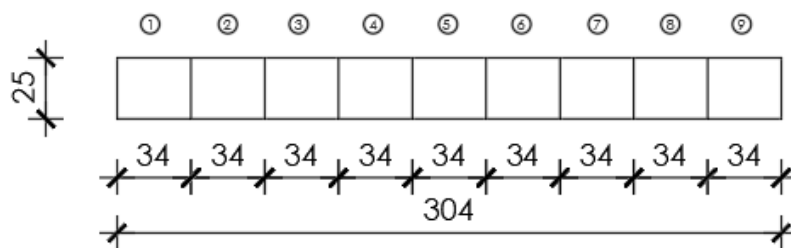


Slika 40. Prikaz normalnih naprezanja u zidovima za potresnu kombinaciju djelovanja



Slika 41. Prikaz posmičnih napreznja u zidovima za potresnu kombinaciju djelovanja

ZID A/ ZID B



Slika 42. Shema konačnih elemenata zida A/zida B

Napreznja u zidu ZA

Tablica 14. Prikaz napreznja u konačnim elementima zida ZA

| ZID A | | |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Konačni element | Sy [N/mm ²] | Sxy [N/mm ²] |
| 1 | 3,84 | 1,15 |
| 2 | 2,37 | 1,26 |
| 3 | 1,18 | 1,33 |
| 4 | 0,11 | 1,36 |

| | | |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 5 | -0,95 | 1,37 |
| 6 | -2,06 | 1,36 |
| 7 | -3,35 | 1,34 |
| 8 | -5,02 | 1,32 |
| 9 | -7,91 | 1,27 |
| Ukupno | -11,79 | 11,76 |
| Srednja vrijednost | -1,31 | 1,31 |
| | <u>Uzdužna sila</u> -1002 kN | <u>Poprečna sila</u> 1002 kN |

Uzdužna sila:

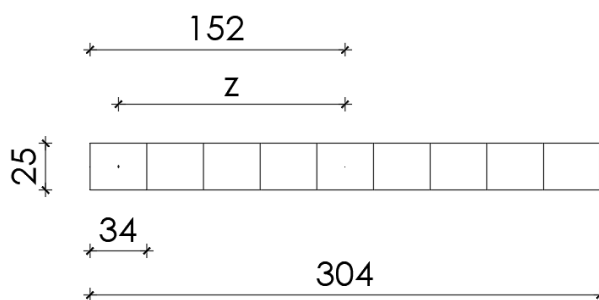
$$N = -1,31 * 340 * 250 * 9 = -1002 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

$$T = 1,31 * 340 * 250 * 9 = 1002 \text{ kN}$$

$$I = \frac{25 * 304^3}{12} = 58,53 * 10^6 \text{ cm}^4$$

$$z = 152 - \frac{34}{2} = 135 \text{ cm}$$



Slika 43. Udaljenost težišta zida do težišta konačnog elementa

Moment savijanja u zidu:

$$M_A = \frac{I}{z} * \left(\sigma_y - \frac{N}{A} \right)$$

$$M_A = \frac{58,5310^6}{135} * \left(0,384 - \frac{-1002}{25 * 304}\right) = 2230 \text{ kNm}$$

Naprezanja u zidu ZB

Tablica 15. Prikaz naprezanja u konačnim elementima zida ZB

| ZID B | | |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Konačni element | Sy [N/mm ²] | Sxy [N/mm ²] |
| 1 | 3,85 | 0,75 |
| 2 | 1,44 | 0,88 |
| 3 | -0,12 | 0,99 |
| 4 | -1,36 | 1,1 |
| 5 | -2,46 | 1,19 |
| 6 | -3,49 | 1,26 |
| 7 | -4,55 | 1,3 |
| 8 | -5,71 | 1,33 |
| 9 | -7,23 | 1,31 |
| Ukupno | -19,63 | 10,11 |
| Srednja vrijednost | -2,18 | 1,12 |
| | <u>Uzdužna sila</u> -1667,7 kN | <u>Poprečna sila</u> 857 kN |

Uzdužna sila:

$$N = -2,18 * 340 * 250 * 9 = -1667,7 \text{ kN}$$

Poprečna sila:

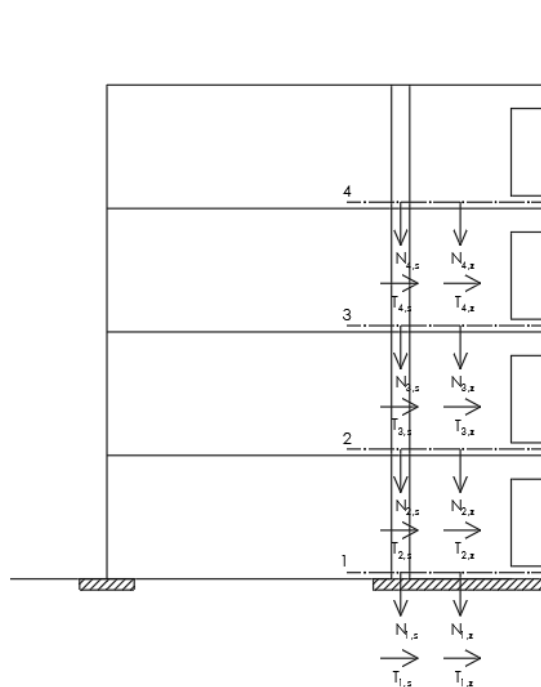
$$T = 1,12 * 340 * 250 * 9 = 857 \text{ kN}$$

$$I = \frac{25 * 304^3}{12} = 58,53 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

Moment savijanja:

$$M_B = \frac{I}{z} * \left(\sigma_y - \frac{N}{A}\right)$$

$$M_B = \frac{58,5310^6}{135} * \left(0,385 - \frac{-1002}{25 * 304}\right) = 2241 \text{ kNm}$$



Slika 44. Shema rezultanti uzdužnih i poprečnih sila koje djeluju na zid

U nastavku su prikazane vrijednosti dobivene putem funkcije „Results along line“.

Tablica 16. Rezne sile u zidu Z_A

| | Uzdužne sile u zidu | Poprečne sile u zidu | Momenti u zidu |
|-----------|---------------------|----------------------|----------------|
| | N_z [kN] | T_z [kN] | M [kNm] |
| Prizemlje | -992,51 | 989,16 | 2331,9 |
| 1.kat | -391,82 | 987,85 | 1012,48 |
| 2.kat | -248,17 | 712,29 | 486,63 |
| 3.kat | -144,51 | 377,5 | 96,9 |

Tablica 17. Rezne sile u stupu S_A

| | Uzdužne sile | Poprečne sile |
|-----------|--------------|---------------|
| | N_s [kN] | T_s [kN] |
| Prizemlje | 1161,34 | 133,61 |

| | | |
|-------|--------|--------|
| 1.kat | 586,09 | 163,15 |
| 2.kat | 182,93 | 110,55 |
| 3.kat | -14,56 | 54,18 |

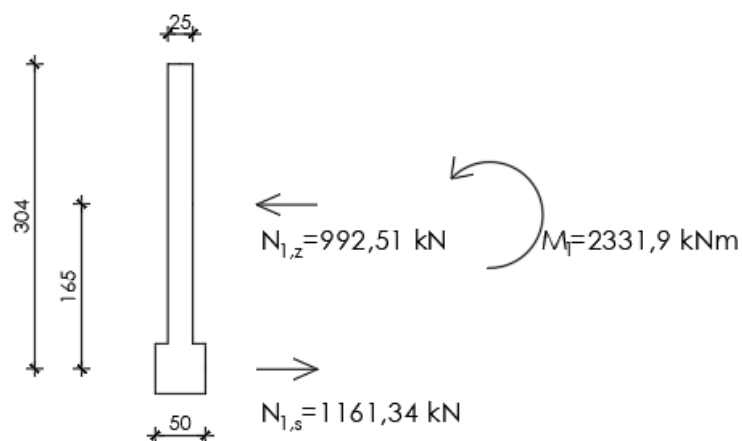
Tablica 18. Rezne sile u zidu Z_B

| | Uzdužne sile u zidu | Poprečne sile u zidu | Momenti u zidu |
|-----------|---------------------|----------------------|----------------|
| | N,z [kN] | T,z [kN] | M [kNm] |
| Prizemlje | -1651,74 | 851,22 | 2241,08 |
| 1.kat | -1698,02 | 857,65 | 931,8 |
| 2.kat | -1192,11 | 635,09 | 459,66 |
| 3.kat | -601,98 | 297,92 | 139,69 |

Tablica 19. Rezne sile u stupu S_B

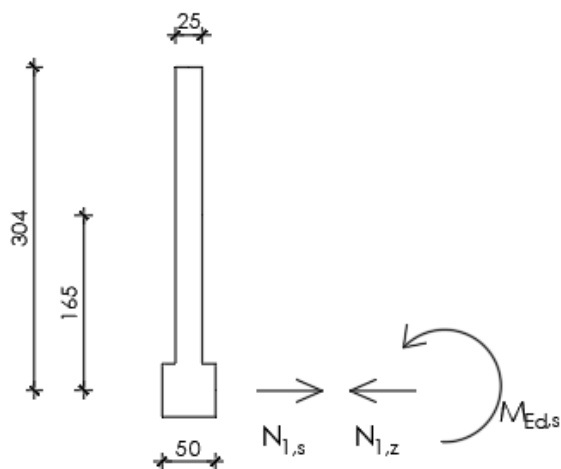
| | Uzdužne sile | Poprečne sile |
|-----------|--------------|---------------|
| | N,s [kN] | T,s [kN] |
| Prizemlje | -2005,17 | 172,82 |
| 1.kat | -1036,66 | -76,03 |
| 2.kat | -443,78 | -57,69 |
| 3.kat | -61,64 | -67,77 |

10.2. Dimenzioniranje zida Z_A



Slika 45. Dimenzioniranje zida Z_A na moment savijanja i uzdužnu silu

Uzdužna sila se svodi u težište vlačne armature – u težište stupa, kao što je prikazano na slici 45.



Slika 46. Zid Z_A – prikaz metode Wuczkowsky

$$M_{Eds} = 2331,9 + 992,51 \cdot 1,65 = 3969,54 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{396954}{25 \cdot 304^2 \cdot 2,7} = 0,064$$

$$\xi = 0,085$$

$$\zeta = 0,964$$

$$A_{s1} = \frac{396954}{0,964 * 304 * 43,48} + \frac{1161,34 - 992,51}{43,48} = 35,04 \text{ cm}^2$$

Najmanja debljina zida prema HRN EN 1998-1 [9]:

Hrpat:

$$b_{w0} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \text{ m} \\ \frac{h_s}{20} = \frac{3,4}{20} = 0,17 \text{ m} \end{array} \right.$$

Zadovoljava debljina hrpta od 25 cm.

Rubni element:

$$b_{w0} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,20 \text{ m} \\ \frac{h_s}{15} = \frac{3,4}{15} = 0,23 \text{ m} \end{array} \right.$$

Zadovoljava stup b/d = 50/50 cm, odnosno s druge strane zid od 25 cm.

Minimalna armatura u rubnom elementu:

$$A_{sv,min} = 0,005 * 50 * 75 = 18,75 \text{ cm}^2$$

Maksimalna vertikalna armatura:

$$A_{sv,max} = 0,04 * 50 * 75 = 150,0 \text{ cm}^2$$

Odabire se **12Ø20** (37,70 cm²).

Minimalna vertikalna armatura u hrptu zida za jedno lice zida:

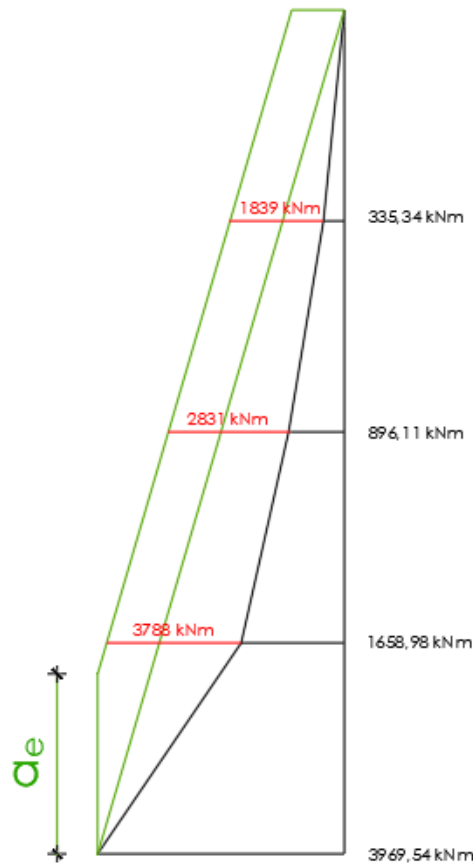
$$A_{sv,min} = 0,001 * 25 * 100 = 2,5 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabire se **Ø8/20 cm** (2,51 cm²) uz svako lice zida.

Maksimalni razmak vertikalne armature prema izrazu je zadovoljen.

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 3 * b_w = 40 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{array} \right.$$

10.2.1. Proračunska ovojnica momenta savijanja za zid ZA



Slika 47. Proračunska ovojnica za zid ZA

$$a_l = 0,95 * d = 0,95 * 304 = 290 \text{ cm}$$

Tablica 20. Proračunski moment i uzdužna sila u zidu ZA i stupu SA

| | PRIZEMLJE | 1. KAT | 2. KAT | 3. KAT |
|----------------|-----------|---------|---------|---------|
| MEd [kNm] | 2331,9 | 1012,48 | 486,63 | 96,9 |
| NEd,zid [kN] | -992,51 | -391,82 | -248,17 | -144,51 |
| MEds [kNm] | 3969,54 | 1658,98 | 896,11 | 335,34 |
| MEds* [kNm] | 3970 | 3788 | 2831 | 1839 |
| NEd, stup [kN] | 1161,34 | 586,09 | 182,93 | -14,56 |

Potrebna armatura

$$A_s = \frac{M_{Eds}^*}{0,95 * d * f_{yd}} + \frac{N_{Ed,stup} - N_{Ed,zid}}{f_{yd}}$$

1.kat :

$$A_s = \frac{378800}{0,95 * 304 * 43,48} + \frac{586,09 - 391,82}{43,48} = 34,63 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 12Ø20 (37,70 cm²)

2.kat :

$$A_s = \frac{283100}{0,95 * 304 * 43,48} + \frac{182,93 - 248,17}{43,48} = 21,04 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 12Ø16 (24,13 cm²)

3. kat :

$$A_s = \frac{183900}{0,95 * 304 * 43,48} + \frac{-14,56 + 144,51}{43,48} = 17,63 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 12Ø14 (18,47 cm²)

Ograničenje uzdužne sile u razred duktilnosti DCM u AB zidovima:

$$v_d = \frac{N_{1,z}}{A_c * f_{cd}} = \frac{992,51}{25 * 304 * 2,7} = 0,048 < 0,4$$

10.2.2. Dimenzioniranje na poprečne sile

Prema HRN EN 1998-1 kod nosivih zidova razreda duktilnosti DCM poprečnu silu iz proračuna potrebno je povećati za 50%.

Poprečna sila u prizemlju:

$$V'_{Ed} = 1,5 * (989,16 + 133,61) = 1684,16 \text{ kN}$$

1) Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = \frac{1 * 25 * 273,6 * 0,53 * 2,7}{1,0 + \frac{1}{1}} = 4894,02 \text{ kN}$$

$$z = 0,9 * 304 = 273,6 \text{ cm}$$

$$1684,16 \text{ kN} < 4894,02 \text{ kN}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$\text{ctg}\theta = 1$$

Potrebna poprečna armatura (Ø10, m = 2)

$$s = \frac{(A_{sw}^1 * m) * f_{ywmd} * z}{V_{Ed}} * \text{ctg}\theta = \frac{0,79 * 2 * 43,48 * 0,9 * 304}{1684,16} * 1,0 = 11,16 \text{ cm}$$

Minimalna horizontalna armatura

$$A_{sh,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 * A_{sv} \\ 0,001A_c \end{array} \right.$$

$$A_{sh,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 * 2,51 = 0,63 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 * 25 * 100 = 2,5 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{array} \right. = 2,5 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Najveći razmak horizontalne armature:

1. Preko koeficijenta armiranja najmanjom poprečnom armaturom:

$$\rho_{w,min} = 0,0012$$

$$s_{max} = \frac{0,79 * 2}{0,001 * 25} = 63,2 \text{ cm}$$

2. Iz omjera $V'_{Ed}/V_{Rd,max}$

$$\frac{V'_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{1684,16}{4894,02} = 0,34$$

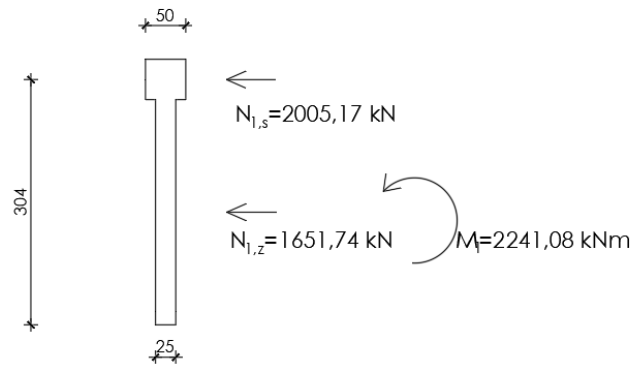
$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,55 * 304 = 167,2 \text{ cm;} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\} = 30 \text{ cm}$$

Odabire se: \emptyset **10/10 cm, m = 2.**

Tablica 21. Vrijednosti poprečne sile po visini zgrade zida ZA

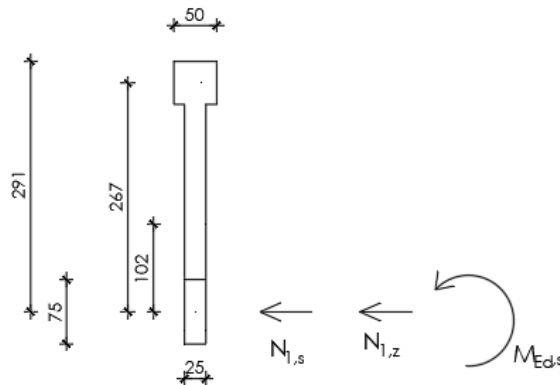
| | VEd [kN] | VEd'= VEd*1,5 [kN] | s [cm] | sodabrani [cm] |
|-----------|----------|--------------------------|--------|----------------|
| Prizemlje | 1122,8 | 1684,16 | 11,2 | 10 |
| 1.kat | 1151 | 1726,5 | 10,9 | 10 |
| 2.kat | 822,84 | 1234,26 | 15,2 | 15 |
| 3.kat | 431,68 | 647,52 | 29 | 25 |

10.3. Dimenzioniranje zida Z_B



Slika 48. Dimenzioniranje zida Z_B na moment savijanja i uzdužnu silu

Uzdužne sile se svode u težište vlačne armature – u težište rubnog elementa zida, kao što je prikazano na slici 45.



Slika 49. Zid Z_B – prikaz metode Wuczkowsky

$$M_{Eds} = 2241,08 + 2005,17 * 2,67 + 1651,74 * 1,02 = 9279,66 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{927966}{50 * 291^2 * 2,7} = 0,081$$

$$\xi = 0,104$$

$$\zeta = 0,957$$

$$d = (297 + 50) - \frac{75}{2} = 291,5 \text{ cm}$$

$$x = \xi * d = 0,104 * 291 = 30,3 \text{ cm} < 50 \text{ cm}$$

N. os prolazi kroz stup.

$$A_{s1} = \frac{927966}{0,957 * 291 * 43,48} - \frac{2005,17 + 1651,74}{43,48} = -7,47 \text{ cm}^2$$

Mjerodavna je minimalna armatura.

Minimalna armatura u rubnom elementu:

$$A_{sv,min} = 0,005 * 25 * 75 = 9,4 \text{ cm}^2$$

Maksimalna vertikalna armatura:

$$A_{sv,max} = 0,04 * 25 * 75 = 75,0 \text{ cm}^2$$

Odabire se 10Ø16 (20,11 cm²) u oba lica rubnog elementa (5Ø16 sa svake strane).

Minimalna vertikalna armatura u hrptu zida za jedno lice zida:

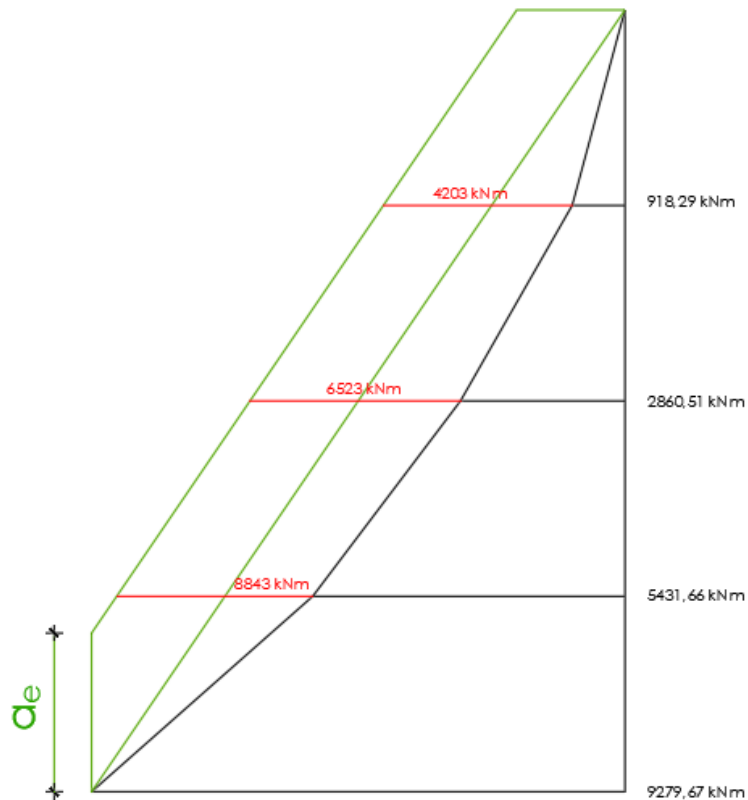
$$A_{sv,min} = 0,001 * 25 * 100 = 2,5 \text{ cm}^2 / \text{m}'$$

Odabire se **Ø8/20 cm** (2,51 cm²) uz svako lice zida.

Maksimalni razmak vertikalne armature prema izrazu je zadovoljen.

$$s = \min \begin{cases} 3 * b_w \\ 40 \text{ cm} \end{cases} = 40 \text{ cm}$$

10.3.1 Proračunska ovojnica momenta savijanja za zid ZB



Slika 50. Proračunska ovojnica za zid ZB

$$a_l = 0,95 * d = 0,95 * 291 = 276 \text{ cm}$$

Tablica 22. Proračunski moment i uzdužna sila u zidu ZB i stupu SB

| | PRIZEMLJE | 1. KAT | 2. KAT | 3. KAT |
|----------------|-----------|----------|----------|---------|
| MEd [kNm] | 2241,08 | 931,8 | 459,66 | 139,69 |
| NEd,zid [kN] | -1651,74 | -1698,02 | -1192,11 | -601,98 |
| MEd,s [kNm] | 9279,67 | 5431,66 | 2860,51 | 918,29 |
| MEd,s* [kNm] | 9279,67 | 8843 | 6523 | 4203 |
| NEd, stup [kN] | -2005,17 | -1036,66 | -443,78 | -61,64 |

Potrebna armatura

$$A_s = \frac{M_{Eds}^*}{0,95 * d * f_{yd}} - \frac{N_{Ed,stup} + N_{Ed,zid}}{f_{yd}}$$

1.kat :

$$A_s = \frac{884300}{0,95 * 291 * 43,48} - \frac{1036,66 + 1698,02}{43,48} = 10,67 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 10Ø16 (20,11 cm²)

2.kat :

$$A_s = \frac{652300}{0,95 * 291 * 43,48} - \frac{443,78 + 1192,11}{43,48} = 16,64 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 10Ø16 (20,11 cm²)

3. kat :

$$A_s = \frac{420300}{0,95 * 291 * 43,48} - \frac{61,64 + 601,98}{43,48} = 19,70 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura: 10Ø16 (20,11 cm²)

Ograničenje uzdužne sile u razred duktilnosti DCM u AB zidovima:

$$v_d = \frac{N_{1,z}}{A_c * f_{cd}} = \frac{3656,91}{25 * 304 * 2,7} = 0,018 < 0,4$$

10.3.2. Dimenzioniranje na poprečne sile

Prema HRN EN 1998-1 kod nosivih zidova razreda duktilnosti DCM poprečnu silu iz proračuna potrebno je povećati za 50%.

Poprečna sila u prizemlju:

$$V'_{Ed} = 1,5 * (851,22 + 172,82) = 1536,06 \text{ kN}$$

2) Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = \frac{1 * 25 * 262 * 0,53 * 2,7}{1,0 + \frac{1}{1}} = 4686 \text{ kN}$$

$$z = 0,9 * 291 = 262 \text{ cm}$$

$$1536,06 \text{ kN} < 4686 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

Potrebna poprečna armatura ($\emptyset 10, m = 2$)

$$s = \frac{(A_{sw}^1 * m) * f_{ywmd} * z}{V_{Ed}} * ctg\theta = \frac{0,79 * 2 * 43,48 * 0,9 * 291}{1536,06} * 1,0 = 11,7 \text{ cm}$$

Minimalna horizontalna armatura

$$A_{sh,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 * A_{sv} \\ 0,001 A_c \end{array} \right.$$

$$A_{sh,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 * 3,35 = 0,84 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 * 25 * 100 = 2,5 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{array} \right. = 2,5 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Najveći razmak horizontalne armature:

3. Preko koeficijenta armiranja najmanjom poprečnom armaturom:

$$\rho_{w,min} = 0,0012$$

$$s_{max} = \frac{0,79 * 2}{0,001 * 25} = 63,2 \text{ cm}$$

4. Iz omjera $V'_{Ed}/V_{Rd,max}$

$$\frac{V'_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{1536,06}{4686} = 0,33$$

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,55 * 291 = 160 \text{ cm;} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\} = 30 \text{ cm}$$

Odabire se: $\emptyset 10/10 \text{ cm}, m = 2$.

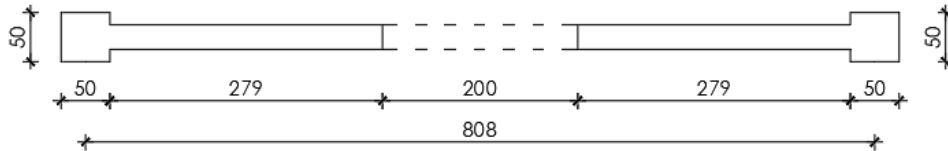
Tablica 23. Vrijednosti poprečne sile po visini zgrade zida ZB

| | VEd [kN] | VEd'= VEd*1,5 [kN] | s [cm] | sodabrani [cm] |
|-----------|----------|-----------------------|--------|----------------|
| Prizemlje | 1024,04 | 1536,06 | 11,7 | 10 |
| 1.kat | 933,67 | 1400,5 | 12,8 | 10 |
| 2.kat | 692,78 | 1039,17 | 17,3 | 15 |
| 3.kat | 365,67 | 548,5 | 32,8 | 25 |

10.4. Lokalna duktilnost zidova

Lokalna duktilnost zida ZA

Rubni element zida je slobodni rub zida u kojem je potrebno ovijanje betonske jezgre. Duljina ovijenog rubnog elementa mjeri se od točke presjeka u kojem je najveće tlačno naprezanje do točke gdje je moguće odvajanje zaštitnog sloja betona zbog velike tlačne deformacije.



Slika 51. Poprečni presjek zida

Visina kritičnog područja

$$h_{cr} = \max \left\{ h_w = 4,29 \text{ m}, \frac{13,60}{6} = 2,27 \text{ m} \right\} = 4,29 \text{ m}$$

Ali da vrijedi i:

$$h_{cr} \leq \left\{ \begin{array}{l} 2 * l_w = 2 * 4,29 = 8,58 \text{ m} \\ \left\{ \begin{array}{l} h_s (\text{za } n \leq 6 \text{ katova}) \\ 2 * h_s (\text{za } n \geq 7 \text{ katova}) \end{array} \right\} \end{array} \right\} = 3,40 \text{ m (visina kata)}$$

Usvaja se $h_{cr} = 3,40 \text{ m}$.

Najmanja duljina rubnog elementa:

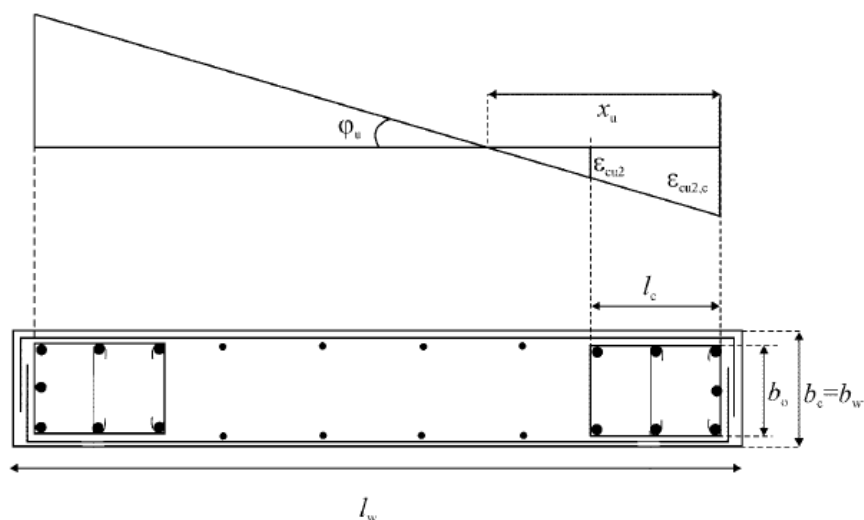
$$l_{c,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,15 * l_w = 0,15 * 329 = 50 \text{ cm} \\ 1,5 * b_w = 1,5 * 50 = 75 \text{ cm} \end{array} \right\} = 75 \text{ cm}$$

Kritično područje obuhvaća stup i dio hrpta zida u duljini 75 cm.

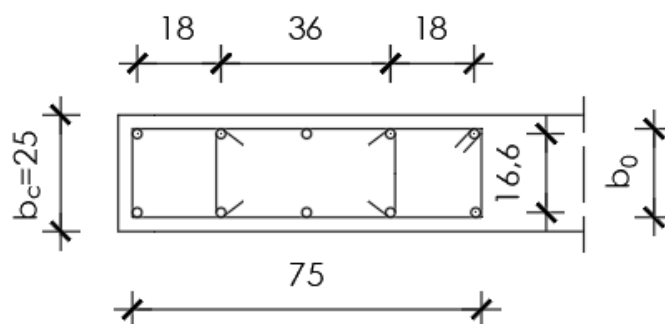
Ovijanje rubnog elementa proteže se horizontalno uzduž duljine l_c mjerene od rubnog tlačnog vlakna zida do točke gdje se neovijeni beton može odlomiti zbog velikih tlačnih deformacija. [9]

Tlačna deformacija pri odlamanju je $\varepsilon_{cu2} = 0,0035$.

Duljina rubnog elementa treba bit veća od duljine na kojoj je $\varepsilon_c > 0,0035$.



Slika 52. Naprezanje u zidu prilikom djelovanja momenta savijanja i uzdužne sile [9]



Slika 53. Poprečni presjek rubnog elementa

$$b_0 = 25 - \left(2,5 + \frac{1,0}{2}\right) * 2 = 19 \text{ cm}$$

Potrebna duljina rubnog elementa:

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

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

$$\epsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 * \alpha * \omega_{wd}$$

Visina neutralne osi x_u pri najvećoj zakrivljenosti nakon odlamanja betona izvan ovijene jezgre rubnih elemenata može se izračunati:

$$x_u = (v_d + \omega_{vd}) * \frac{l_w * b_c}{b_0}$$

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{b_w * b_c * f_{cd}} = \frac{992,51}{329 * 25 * 2,7} = 0,045$$

Mehanički omjer vertikalne armature hrpta:

$$\omega_v = \rho_v \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,002 * \frac{43,48}{2,7} = 0,032$$

$$x_u = (0,045 + 0,032) * \frac{329 * 25}{19} = 33,3$$

Minimalni razmak spona u rubnom elementu za hrpat:

$$s = \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_0}{2} = \frac{19}{2} = 9,5 \text{ cm} \\ 17,5 \text{ cm} \\ (8 * d_{bl} = 8 * 1,4 = 11,2 \text{ cm}) \end{array} \right\} = 9,5 \text{ cm}$$

Minimalni razmak spona u rubnom elementu za stup:

$$s = \left\{ \begin{array}{l} \frac{44}{2} = 22 \text{ cm} \\ 17,5 \text{ cm} \\ (8 * 2,0 = 16 \text{ cm}) \end{array} \right\} = 16 \text{ cm}$$

Odabire se $\emptyset 10/9 \text{ cm}$.

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} * \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\omega_{wd} = \frac{0,79 * (2 * 7,5 + 4 * 19) * 43,48}{75 * 19 * 9 * 2,7} = 0,22 > 0,08$$

$$\alpha = \alpha_n * \alpha_s$$

$$\alpha_n = 1 - \frac{\sum b_i^2}{6 * b_0 * h_0} = 1 - \frac{16,6^2 * 2 + 4 * 18^2 + 2 * 36^2}{6 * 75 * 19} = 0,48$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 * b_0}\right) * \left(1 - \frac{s}{2 * h_0}\right) = \left(1 - \frac{9}{2 * 19}\right) * \left(1 - \frac{9}{2 * 75}\right) = 0,72$$

$$\alpha = 0,48 * 0,72 = 0,35$$

$$\alpha * \omega_{wd} \geq 30 * \mu_\varphi (v_d + \omega_v) * \varepsilon_{sy,d} * \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

$$\varepsilon_{sy,d} = 1,15 * \frac{434,8}{200000} = 0,217\%$$

$$0,35 * 0,22 \geq 30 * 9,3 * (0,045 + 0,032) * 0,00217 * \frac{25}{19} - 0,035$$

$$0,077 \geq 0,026$$

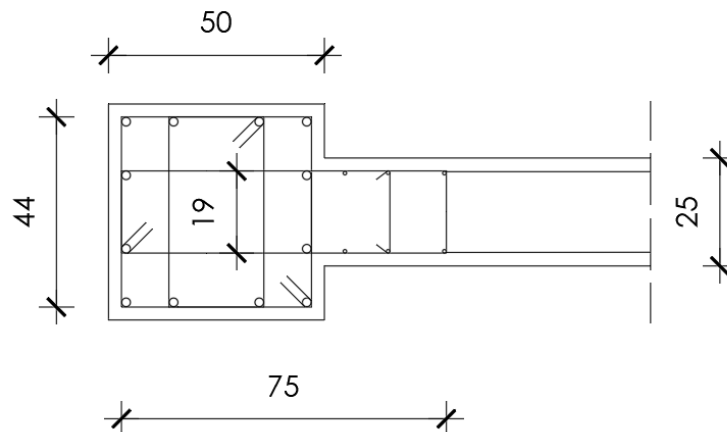
Zadovoljavaju odabrane spona $\emptyset 10/9$ cm.

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 * 0,077 = 0,0112$$

$$l_c = 33,3 * \left(1 - \frac{0,0035}{0,0112}\right) = 23 \text{ cm}$$

Mjerodavna je minimalna duljina kritičnog područja $l_c = 75$ cm.

Lokalna duktilnost zida Z_B



Slika 54. Poprečni presjek rubnog elementa

$$v_d = \frac{3656,91}{50 * 329 * 2,7} = 0,082 < 0,4$$

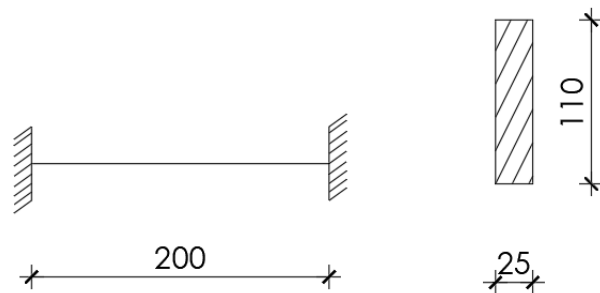
Razmak spona $s=9$ cm.

$$\omega_v = \frac{5 \text{ cm}^2/\text{m}'}{50 * 100} * \frac{43,48}{2,7} = 0,016$$

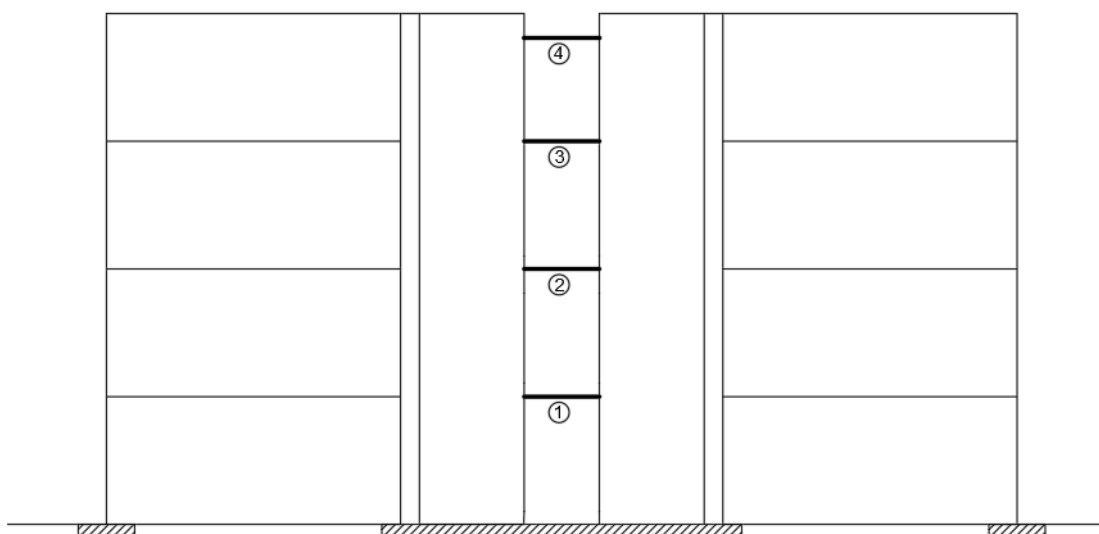
$$x_u = (0,082 + 0,016) * \frac{329 * 50}{19} = 36,6 \text{ cm} < 50 \text{ cm}$$

Mjerodavna je minimalna duljina kritičnog područja $l_c = 75$ cm.

11. VEZNA GREDA



Slika 55. Statički sustav vezne grede



Slika 56. Pozicije veznih greda

Tablica 24. Poprečne sile u veznim gredama za potresnu kombinaciju opterećenja

| Poprečne sile u veznim gredama | | |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| Vezna greda | Poprečna sila | |
| | Lijevi ležaj | Desni ležaj |
| 1 | -518,50 kN | -581,01 kN |
| 2 | -601,48 kN | -663,98 kN |
| 3 | -496,54 kN | -559,05 kN |
| 4 | -262,46 kN | -318,19 kN |

11.1. Dimenzioniranje vezne grede na savijanje

Dimenzioniranje greda na savijanje u skladu s normom HRN EN 1992-1-1 može se provesti ako je ispunjen barem jedan od sljedećih uvjeta:

- 1) Nije vjerojatno da će doći do raspucavanja u oba dijagonalna smjera:

$$V_{Ed} < f_{ctd} * b_w * d = 0,167 * 25 * 105,5 = 440,46 \text{ kN}$$

$$f_{ctd} = 1,0 * \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = 663,98 \text{ kN} > 440,46 \text{ kN}$$

Uvjet nije zadovoljen.

- 2) Osiguran je prevladavajući slom savijanjem

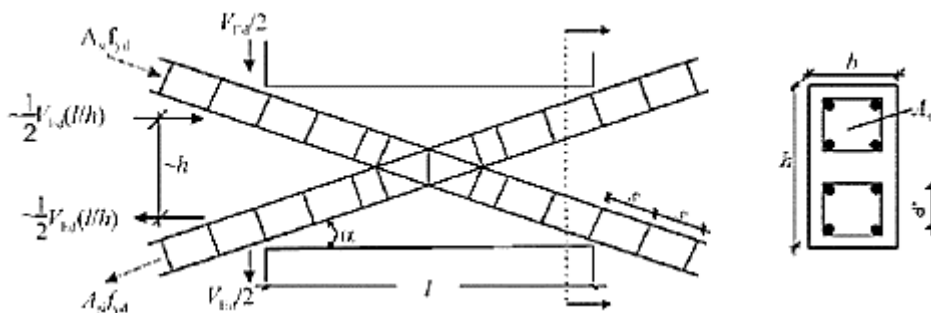
$$\frac{l}{h} \geq 3,0$$

$$\frac{l}{h} = \frac{200}{110} = 1,82 < 3,0$$

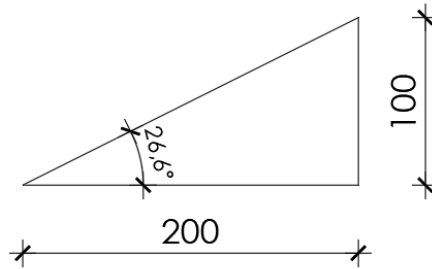
Uvjet nije zadovoljen.

Dimenzioniranje nije moguće provesti u skladu s normom HRN EN 1992-1-1 već u skladu s HRN EN 1998-1-1:2008.

Određivanje potrebne dijagonalne armature:



Slika 57. Vezne grede sa armaturom u dijagonalnom smjeru [9]



Slika 58. Skica nagiba tlačnih štapova prema uzdužnoj osi elementa

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{100}{200} = 0,5$$

$$\alpha = 26,6^\circ$$

$$V_{Ed} \leq 2 * A_{si} * f_{yd} * \sin \alpha$$

Gdje je:

A_{si} – ukupna ploština čeličnih šipki u svakom dijagonalnom smjeru

α - kut između dijagonalnih šipki i osi grede

$$V_{Ed} \leq 2 * A_{si} * f_{yd} * \sin \alpha$$

$$663,98 \leq 2 * A_{si} * 43,48 * \sin 26,6^\circ$$

$$A_{si} \geq \frac{663,98}{2 * 43,48 * 0,5}$$

$$A_{si} \geq 15,27 \text{ cm}^2$$

Odabire se: $2 \times 5 \text{Ø}16 (2 \times 10,05 = 20,11 \text{ cm}^2)$

Minimalna uzdužna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{3,5}{500} * 25 * 105,5 \geq 0,0013 * 25 * 105,5$$

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{3,5}{500} * 25 * 105,5 \geq 0,0013 * 25 * 105,5$$

$$A_{s,min} = 4,8 \text{ cm}^2 > 3,43 \text{ cm}^2$$

Maksimalni razmak spona koje obavijaju dijagonalnu armaturu:

$$s = \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_0}{3} = \frac{19}{3} = 6,2 \text{ cm} \\ 12,5 \text{ cm} \\ 6 * d_{bl} = 6 * 1,6 = 9,6 \text{ cm} \end{array} \right\} = 6 \text{ cm}$$

Odabrane spone $\emptyset 8/6 \text{ cm}$.

Dimenzioniranje na savijanje:

$$M_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} * l = \frac{663,98}{2} * 2,0 = 663,98 \text{ kNm}$$

Nosivost dijagonalne armature:

$$M_{Rd} = (h - d^*) * A_{si} * f_{yd} * \cos \alpha$$

$$M_{Rd} = (110 - 25) * 20,11 * 43,48 * \cos 26,6^\circ$$

$$M_{Rd} = 664,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} < M_{Rd}$$

Uzdužna armatura na oba bočna lica grede: $\emptyset 10/15 \text{ cm}$.

11.2. Dimenzioniranje vezne grede na poprečne sile

$$V_{Ed} = 663,98 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} * \frac{1}{\text{ctg}\theta + \text{tg}\theta}$$

$$v_1 = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{40}{250}\right) = 0,504$$

$$z = 0,9 * d = 0,9 * \left(110 - 2,5 - 0,8 - \frac{1,2}{2}\right) = 95,5 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,max} = 1 * 25 * 95,5 * 0,504 * 2,7 * \frac{1}{0,6 + 1,67} = 1431,24 \text{ kN}$$

$$663,98 \text{ kN} \leq 1431,24 \text{ kN}$$

Spone: $\emptyset 10 \quad A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$

Reznost $m = 2$

Najveći uzdužni razmak raspona:

A_{sw} – ploština poprečnog presjeka poprečne armature na razmaku s

$$Sl_{max}^1 = \frac{Asw * m}{\rho w_{min} * bw} = \frac{0,79 * 2}{0,0012 * 25} = 52,7 \text{ cm}$$

1. Iz odnosa V_{Ed}/V_{Rdmax}

$$\frac{663,98}{1431,24} \leq 0,46$$

$$0,30 < 0,40 < 0,60$$

$$Sl_{max}^2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,55 * d = 60 \text{ cm;} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\} = 30 \text{ cm}$$

Minimalne spone $\emptyset 10/30 \text{ cm}$, $m = 2$.

Polovicu poprečne sile preuzima dijagonalna armatura, dok drugu polovicu treba preuzeti sponama:

$$s = \frac{Asw^1 * m * z * f_{ywd} * ctg\theta}{V_{Ed}} = \frac{0,79 * 2 * 43,48 * 95,5 * 1}{322} = 19,8 \text{ cm}$$

Odabiru se spone $\emptyset 10/15 \text{ cm}$ uzduž cijele grede.

12. ZAKLJUČAK

Proveden je proračun i dimenzioniranje armiranobetonske zgrade, poslovne namjene, katnosti P+3. Zgrada je pravilnog tlocrtnog oblika dimenzija 24,74 m x 24,74 m, visine 13,85 m do gornjeg ruba nosive konstrukcije.

Nosivost u horizontalnom smislu čine međukatne konstrukcije od kazetiranog stropa s gredama.

Kazetirani strop proračunat je po teoriji ploča. Ploče su dimenzionirane na savijanje prema proračunu ploča nosivih u dva okomita smjera, s opterećenjem podijeljenim ravnomjerno po cijeloj ploči. Momenti savijanja u polju i na osloncima rebara proračunati su prema Stiglat Wippel tablicama.

U programskom paketu STAAD.Pro provodi se proračun okvira na vertikalna i horizontalna opterećenja, provjereni su međukatni pomaci konstrukcije i učinak teorije drugog reda na okvir. U ovome radu, vitkost konstrukcije je manja od granične vitkosti određene prema EN 1992-1-1:2001, zbog čega nije bilo potrebno uzimati u obzir učinke drugog reda na konstrukciju. Zbog simetrije, analiza je provedena na ravninskom modelu kako bi se odredio udio potresnih sila koji preuzimaju rubni i srednji okvir. Napravljen je model u kojem su okviri povezani krutim gredama u razini zidova.

Grede su dimenzionirane na momente savijanja i poprečne sile prema anvelopi momenata savijanja i mjerodavnoj proračunskoj situaciji, dobivenoj u STAAD.Pro. Zatim je provedeno dimenzioniranje greda na poprečne sile prema sposobnosti nosivosti.

Poprečna sila u gredama određuje se u odnosu na sposobnost nosivosti na savijanje na krajevima greda, kako bi se spriječio krhki slom.

Stupovi se dimenzioniraju na ekscentrični tlak, te na poprečne sile prema kapacitetu nosivosti. Prema HRN EN 1998-1:2011 potrebno je osigurati lokalnu duktilnost elementa. U stupovima i gredama se određuje duljina kritičnog područja, odnosno na kritičnoj duljini se proglašuju spone kako bi se osiguralo ovijanje betona.

Zid se sastoji od zida A i zida B koji na rubovima imaju proširenja u obliku stupa, a međusobno su povezani veznim gredama. Rezne sile koje djeluju na zidove proračunate su u programskom paketu STAAD.Pro. Zidovi su dimenzionirani na moment savijanja i uzdužnu silu pomoću metode Wuczkowsky. Zidove je potrebno dimenzionirati i na

povećane poprečne sile da ne dođe do neočekivanog krhkog sloma. Rubni element zida je slobodni rub u kojem je potrebno ovijanje betonske jezgre.

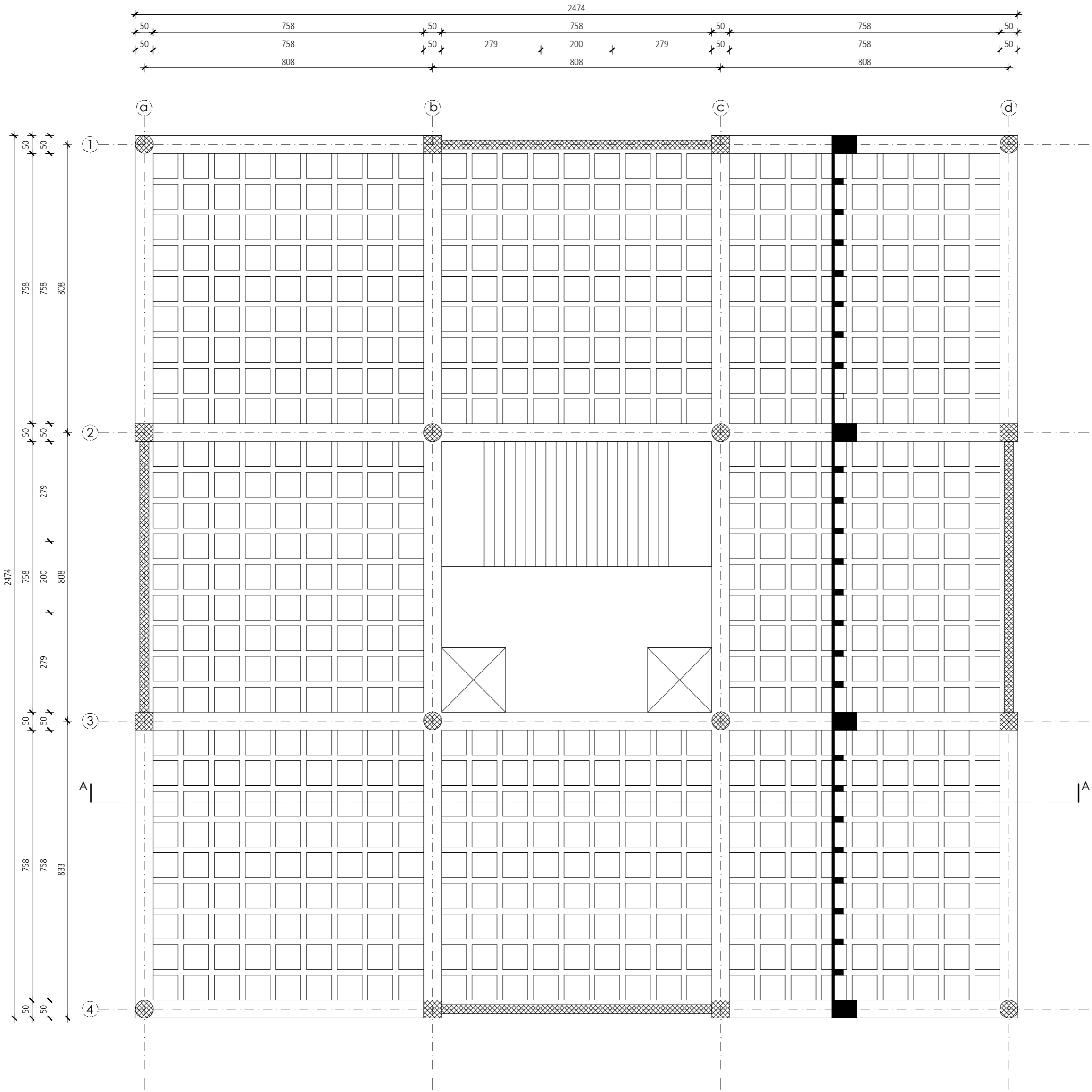
13. LITERATURA

- [1] Kišiček T., Sorić Z., Galić J., Tablice za dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka, Građevinar, 2010.
- [2] Rosman Riko, Stropne konstrukcije, Zagreb, 1990.
- [3] Geoplast, brošura Slabs solutions, 2019.
- [4] HRN EN 1991-1-1:2012: Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-1: Opća djelovanja – Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada (EN 1991-1-1:2002+AC:2009)
- [5] HRN EN 1991-1-3:2012: Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenje snijegom (EN 1991-1-3:2003+AC:2009)
- [6] HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2016: Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenje snijegom – Nacionalni dodatak
- [7] HRN EN 1991-1-4:2012: Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanje vjetra (EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010)
- [8] HRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012: Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanje vjetra – Nacionalni dodatak
- [9] HRN EN 1998-1:2011. Eurokod 8 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. Dio: Opća pravila, potresna djelovanja pravila za zgrade (EN 1998-1-1:2004+AC:2009)
- [10] HRN EN 1998-1:2011/NA. Eurokod 8 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. Dio: Opća pravila, potresna djelovanja pravila za zgrade – Nacionalni dodatak
- [11] Šćulac P., vježbe iz kolegija Potresno inženjerstvo, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka 2021./2022.
- [12] HRN EN 1992-1-1:2013: Eurokod 2, Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004+AC:2010)
- [13] HRN EN 1992-1-1:2013/NA:2015: Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak

- [14] I. TOMIČIĆ: Betonske konstrukcije, Zagreb, 1996.
- [15] Rosler M., Tablice za proračun ploče s malom torzijskom krutošću
- [16] Grandić, D., Predavanja iz predmeta Potresno inženjerstvo; Posebna pravila za projektiranje betonskih konstrukcija, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka 2018.
- [17] Grandić, D. , Šćulac P., Proračun potresno otpornih konstrukcija prema sposobnosti nosivosti, Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Opatija, 2017.
- [18] HRN EN 1990:2011: Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija (EN1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010)
- [19] HRN EN 1990:2011/NA:2011: Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija – Nacionalni dodatak
- [20] Smolčić, Ž., Grandić, D., Dijagrami interakcije za AB kružni poprečni presjek, GRAĐEVINAR, 64 (2012)
- [21] M. Bender, P. Mark, F. Stangenberg: Querkraftbemessung von bügel-oder wendelbewehrten Bauteilen mit Kreisquerschnitt, Beton-und Stahlbetonbau 105 (2010)
- [22] J.Orr: Shear capacity of circular concrete sections, Final year dissertation, University of Bath, 2009.
- [23] G. Penelis, G. Penelis: Concrete Buildings in Seismic Regions, CRC Press, 2014.

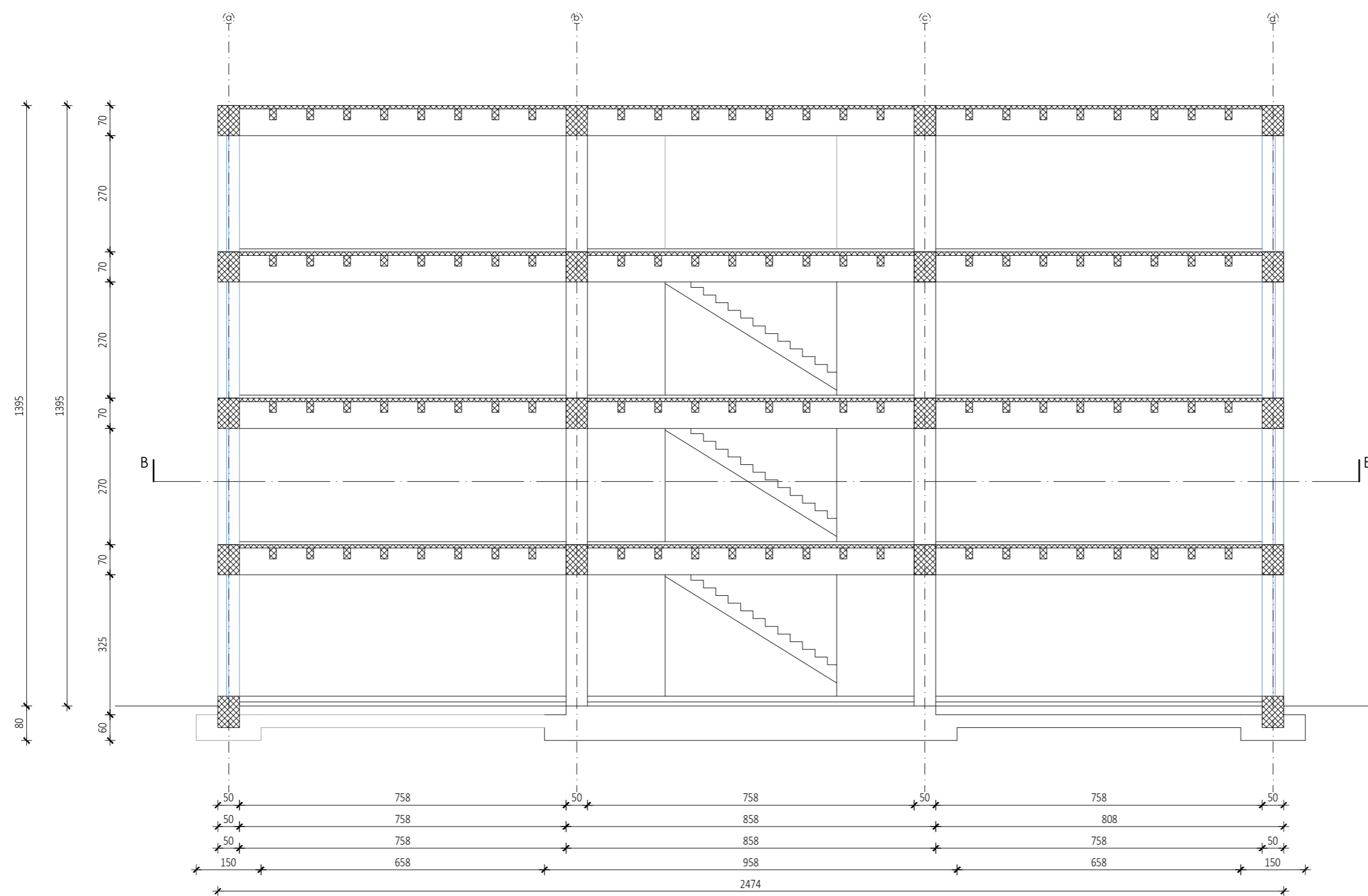
14. NACRTNA DOKUMENTACIJA

Strop iznad prizemlja - POZ.100
MJ. 1:100



| GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI | | | |
|--|------------------------|--|----------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | | Sadržaj nacrt: Strop iznad prizemlja POZ. 100 | |
| Student: Petra Nekić | | Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije 1 | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Ščulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:100 | List: 109 1 |

Presjek A-A MJ. 1:100



- P - POD PRIZEMLJA (pod na tlu)**
- keramičke pločice 2,0 cm
- cementni estrih 5,0 cm
- PE folija 0,02 cm
- ekspandirani polistiren - EPS 6,0 cm
- AB ploča 10,0 cm
- ekstrudirani polistiren (XPS) 5,0 cm
- bitumenska ljepjenka (traka) 1,0 cm
- podložni beton 5,0 cm
- nabijeni šljunak 15,0 cm

- MK1 - međukatna konstrukcija**
- podna obloga 2,0 cm
- cementni estrih 5 cm
- PE folija 0,02 cm
- ekspandirani polistiren - EPS 6,0 cm
- Kazetirani strop

- K - ravni krov**
- šljunak 2,0 cm
- geotekstil 0,01 cm
- TPO membrana 0,12 cm
- ekstrudirani polistiren - XPS 5,0 cm
- parna brana 0,02 cm
- beton za pad 5,0 cm
- kazetirani strop

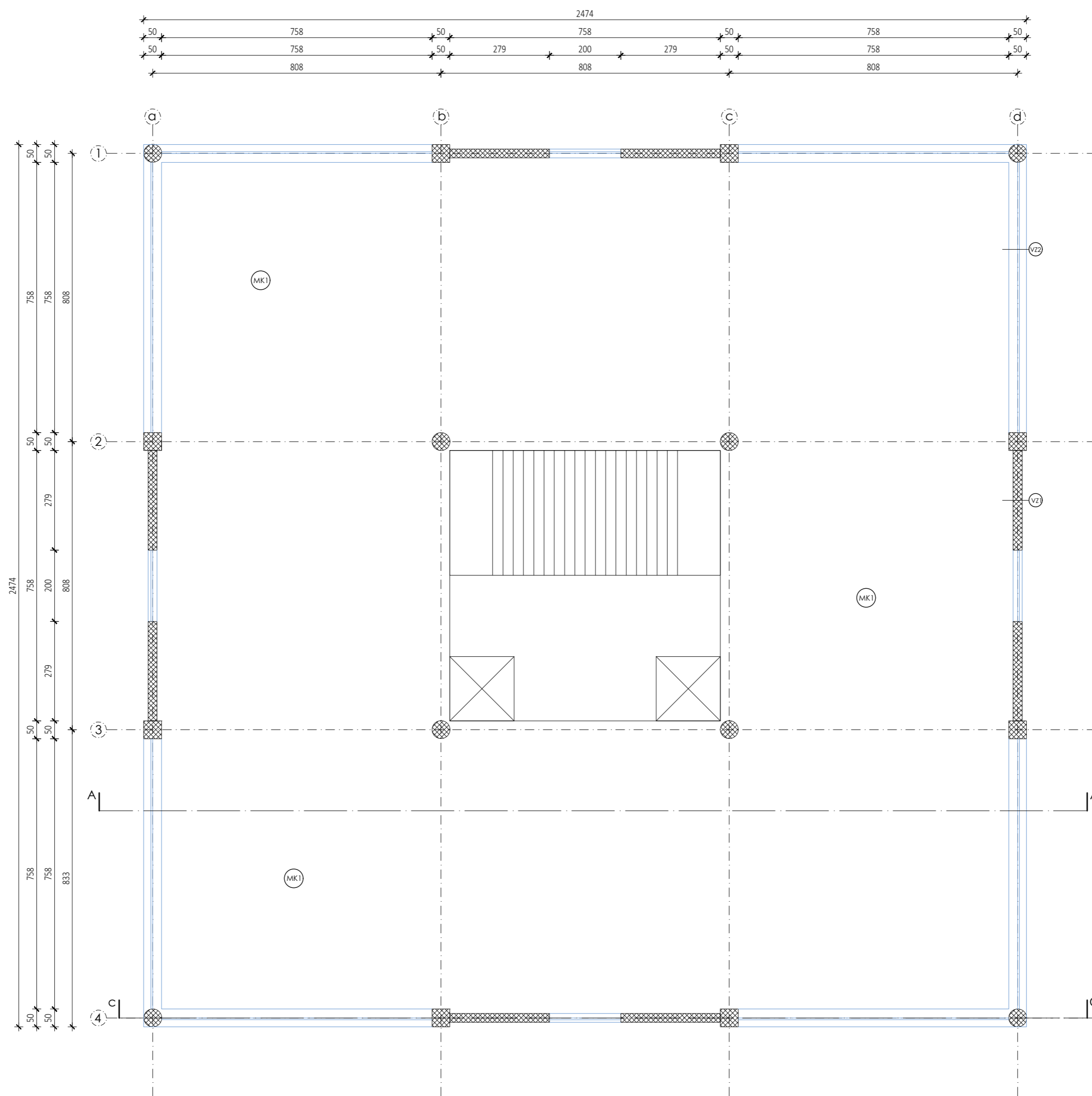
- VZ1 - VANJSKI ZID**
- ekspandirani polistiren - EPS 10 cm
- armirani beton 20 cm
- građ. ljepilo + mrežica 0,5 cm
- unutarnja žbuka 0,2 cm

- VZ2 - VANJSKI ZID**
- staklena fasada

- PZ - PREGRADNI ZID**
- gipskartonski zid

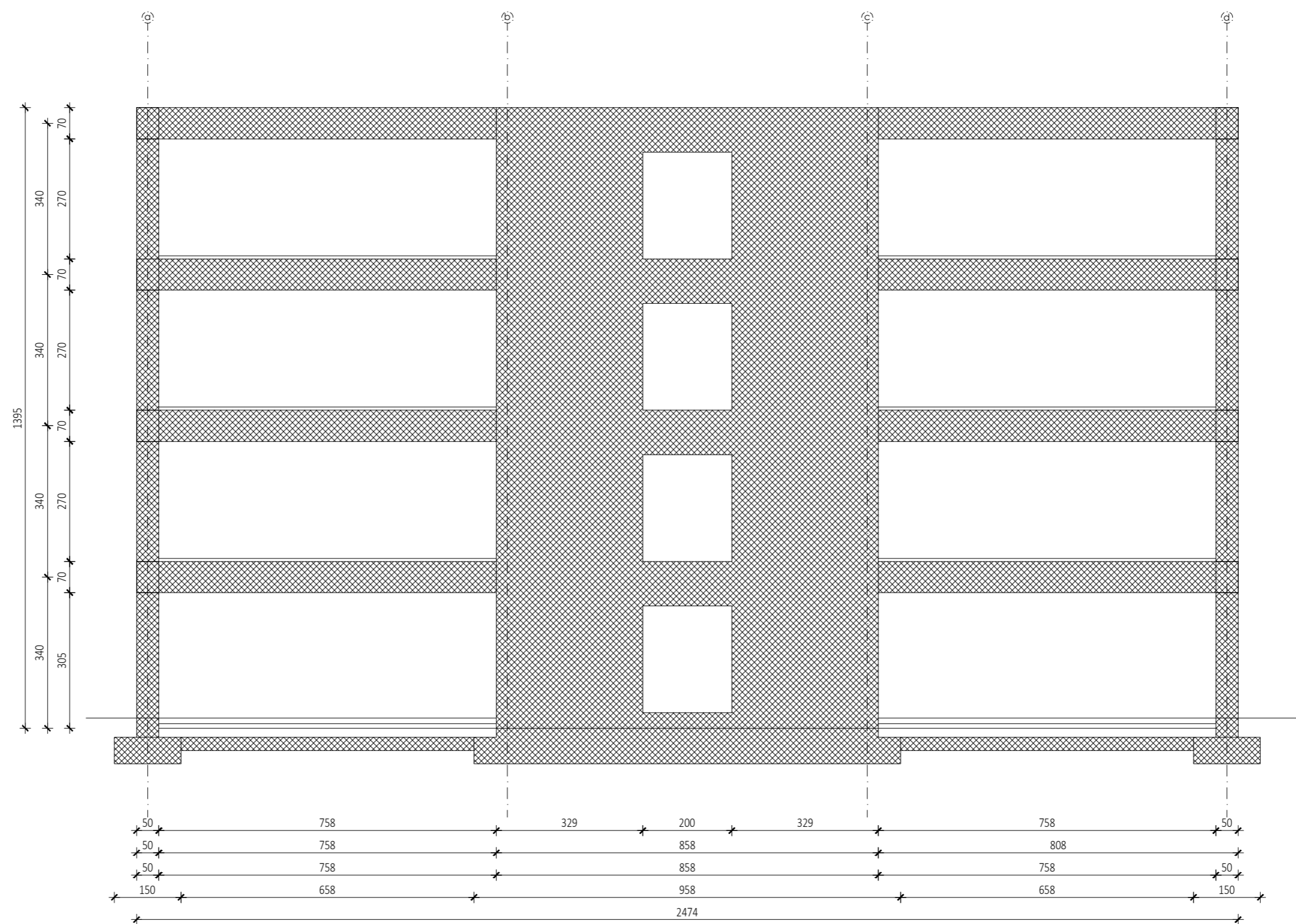
| GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI | | | |
|--|--|-------------------|----------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | Sadržaj nacrt: Presjek A-A | | |
| Student: Petra Nekić | Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije 1 | | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Ščulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:100 | List: 110 2 |

Presjek B-B
MJ. 1:100



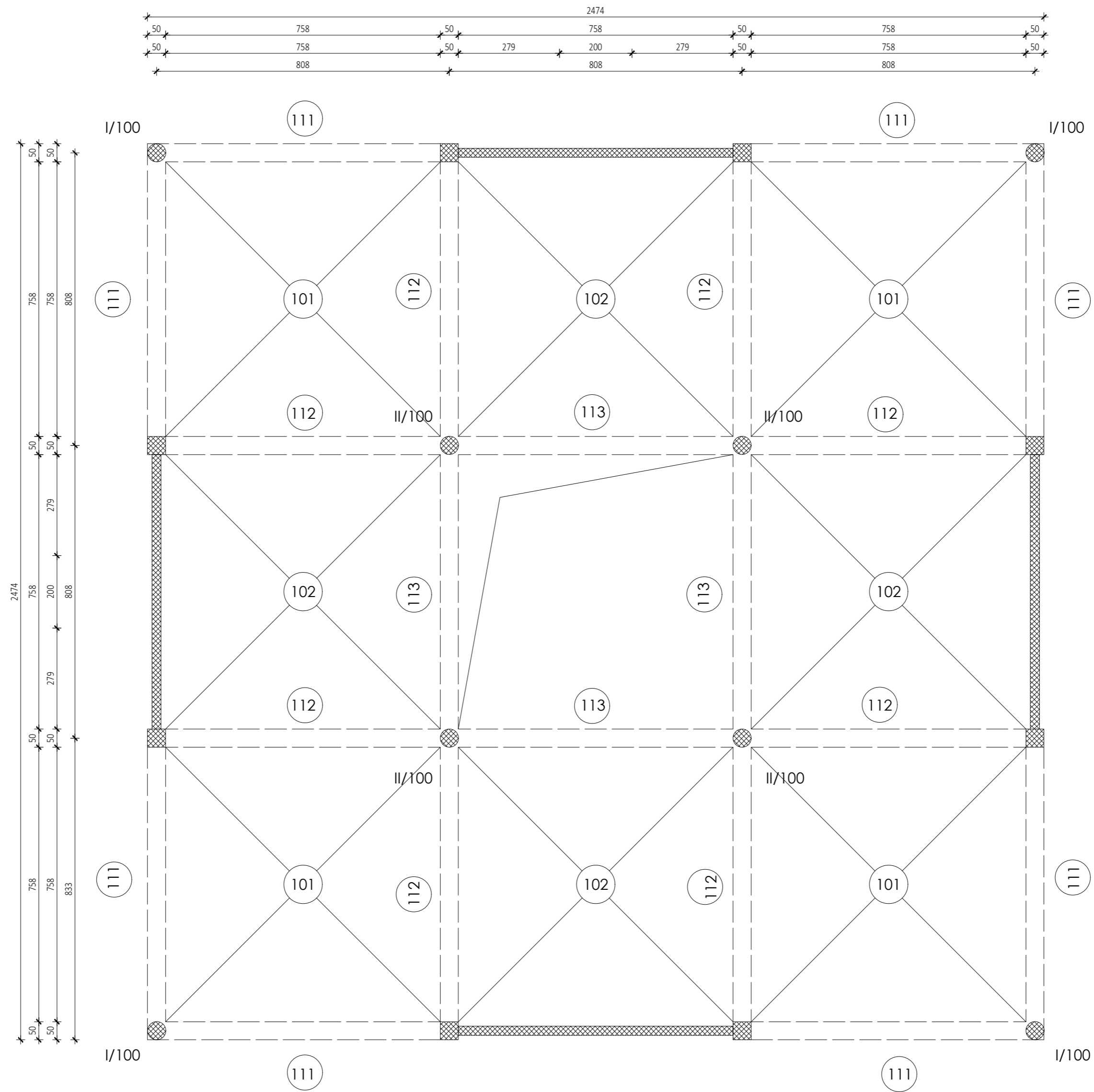
| GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI | | | |
|--|------------------------|--|----------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | | Sadržaj nacрта: Presjek B-B | |
| Student: Petra Nekić | | Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije 1 | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Ščulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:100 | List: 111 3 |

Presjek C-C
MJ. 1:100



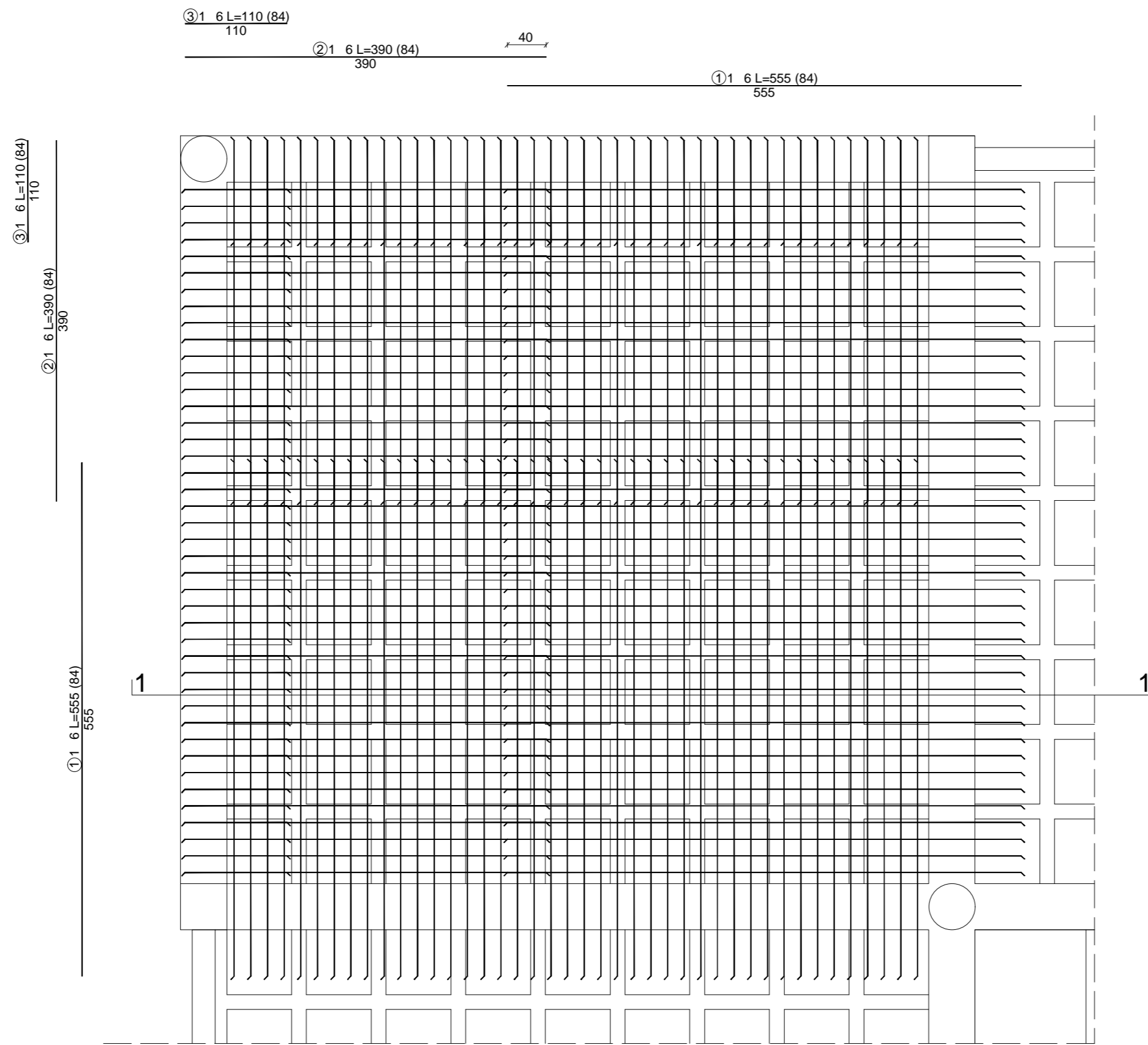
| GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI | | | |
|--|------------------------|--|------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | | Sadržaj nacрта: Presjek C-C | |
| Student: Petra Nekić | | Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije 1 | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Ščulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:100 | List: 4 |

Plan pozicija stropne ploče prizemlja - POZ.100 MJ. 1:100

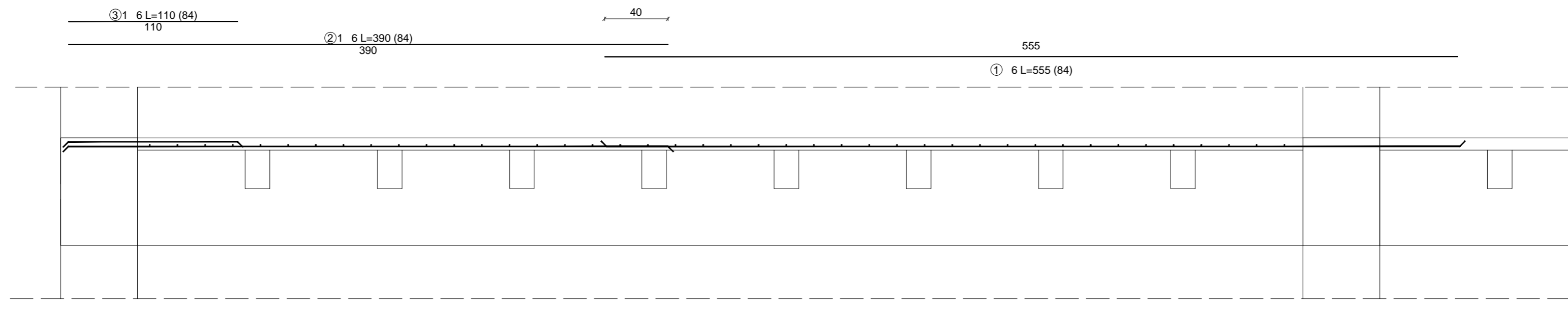


| GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI | | | |
|--|------------------------|---|------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | | Sadržaj nacrt: Plan pozicija stropne ploče prizemlja | |
| Student: Petra Nekić | | Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije 1 | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Ščulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:100 | List: 5 |

Ploča kazetiranog stropa - POZ.101
MJ. 1:50



Presjek 1-1
MJ. 1:25

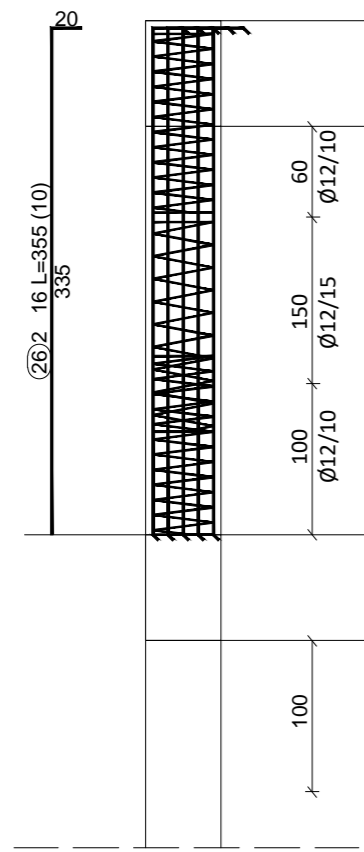


| ETAŽA / KONSTRUKTIVNI ELEMENT | ZAŠTITNI SLOJ | RAZRED ČVRSTOĆE BETONA | ARMATURA |
|----------------------------------|------------------|------------------------------|----------|
| Minimalni zaštitni sloj | Cv=25mm | C40/45 | B500B |
| Grede | Cv=50mm | C40/45 | B500B |
| Ploče, zidovi i stupovi | Cv=25mm | C40/45 | B500B |

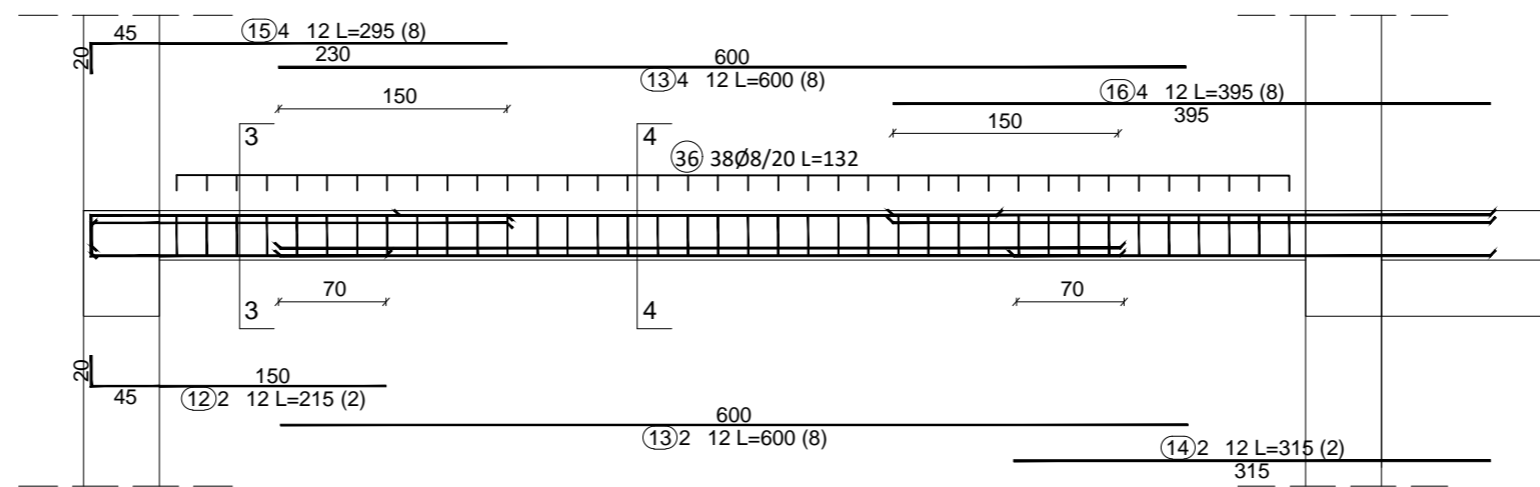
| GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI | | | |
|--|------------------------|--|------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | | Sadržaj nacrt: Nacrt armature ploče kazetiranog stropa | |
| Student: Petra Nekić | | Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije 1 | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Ščulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:50 | List: 6 |

Armatura rebra kazetiranog stropa, stupa i grede MJ. 1:50

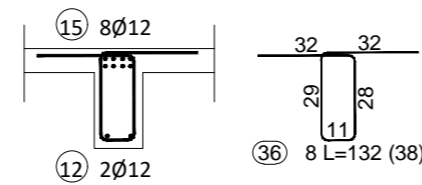
Stup I/400



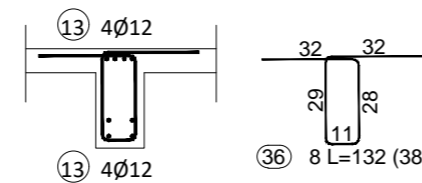
Rebro kazetiranog stropa POZ. 101



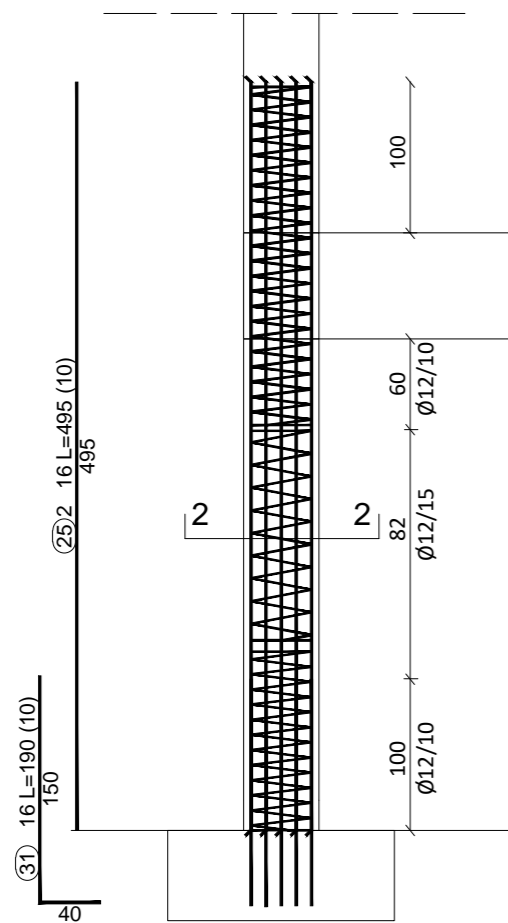
Presjek 3-3
MJ. 1:25



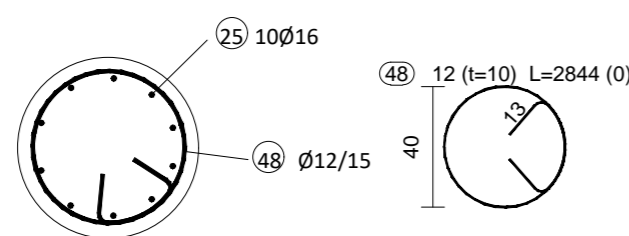
Presjek 4-4
MJ. 1:25



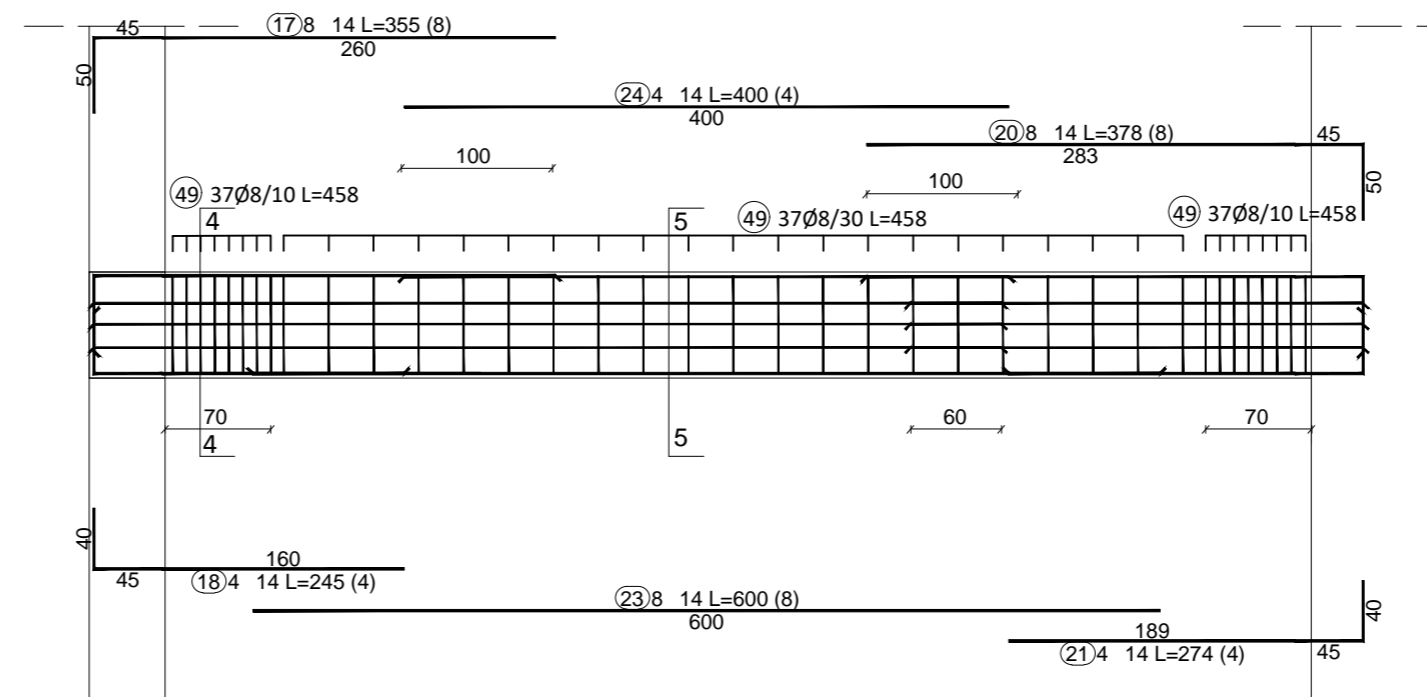
Stup I/100



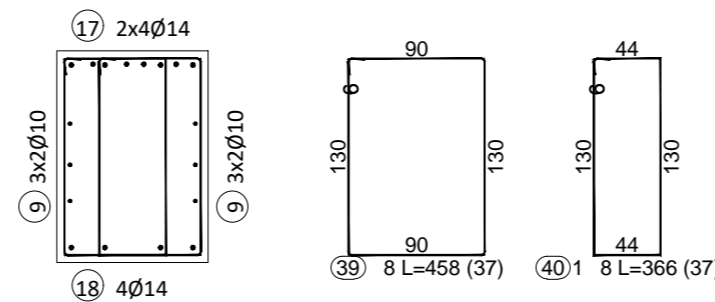
Presjek 2-2
MJ. 1:25



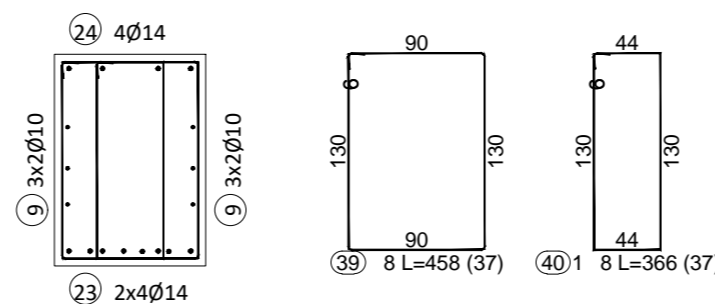
Greda POZ. 111



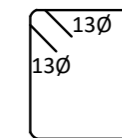
Presjek 4-4
MJ. 1:25



Presjek 5-5
MJ. 1:25



NAPOMENA:
Kuke vilica moraju biti usidrene pod 135° i
duge 13Ø.



| ETAŽA / KONSTRUKTIVNI ELEMENT | ZAŠTITNI SLOJ | RAZRED R BETONA | ARMATURA |
|----------------------------------|------------------|-----------------------|----------|
| Minimalni zaštitni sloj | Cv=25mm | C40/45 | B500B |
| Grede | Cv=50mm | C40/45 | B500B |
| Ploče, zidovi i stupovi | Cv=25mm | C40/45 | B500B |

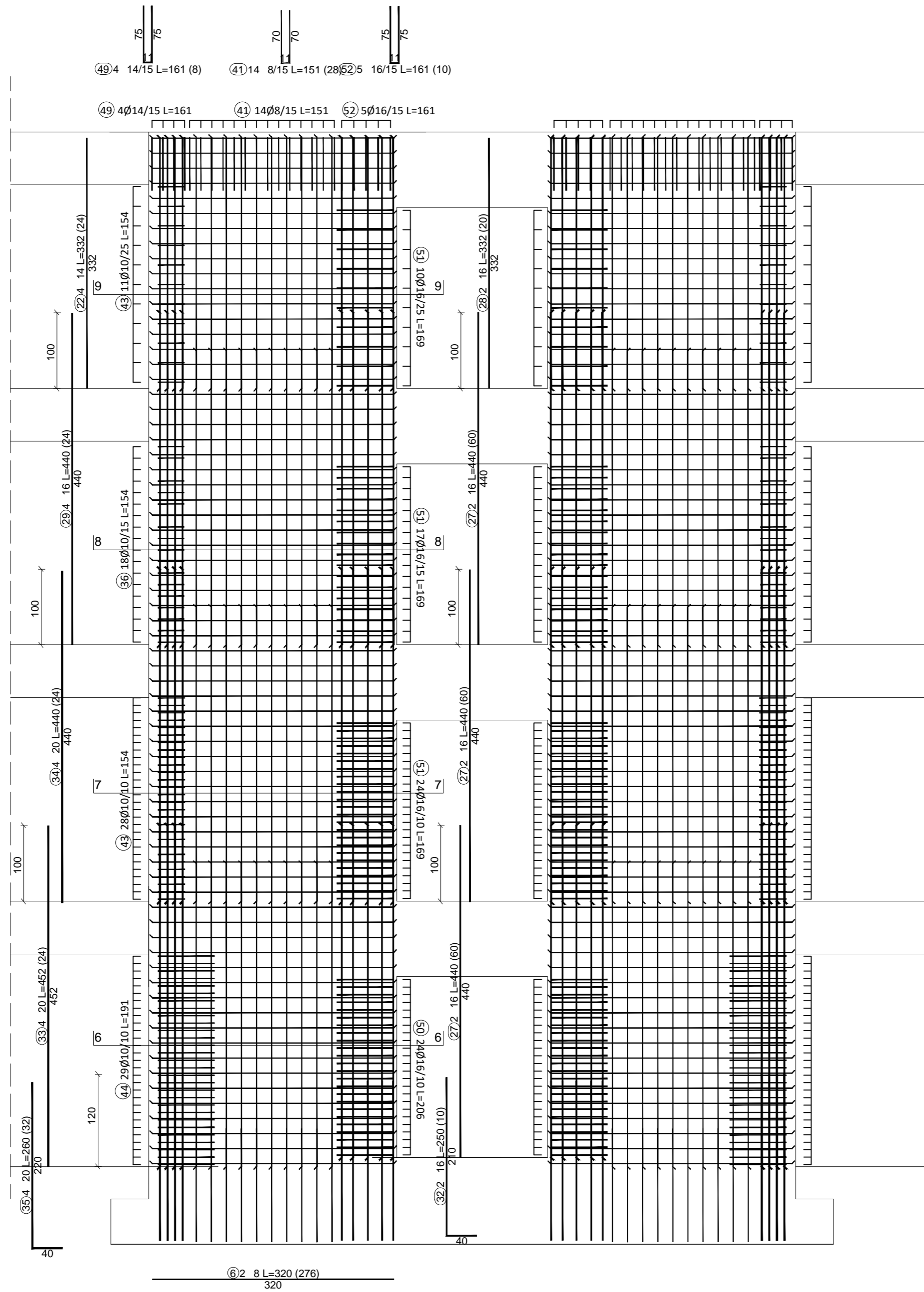
GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI

| | | | |
|--|--|------------------|------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | Sadržaj nacrta: Nacrt armature rebra, grede i stupa | | |
| Student: Petra Nekić | Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije 1 | | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Ščulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:50 | List: 7 |

Zid A

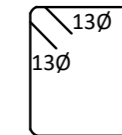
Zid B

Armatura zidova A i B MJ. 1:50



Radi simetričnosti zidova A i B armatura zidova je simetrična.

NAPOMENA:
Kuke vilica moraju biti usidrene pod 135° i duge 13Ø.

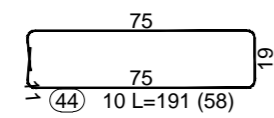
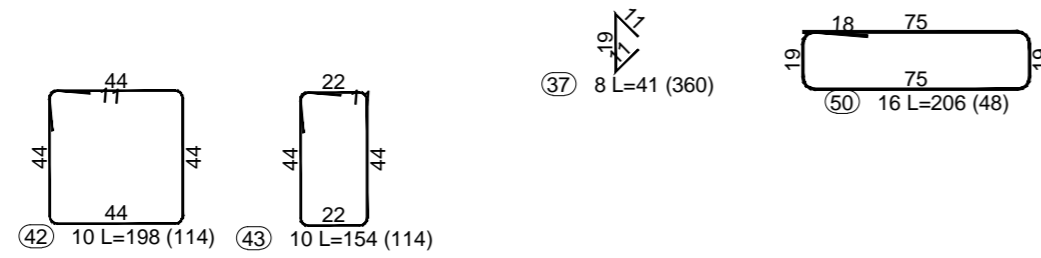
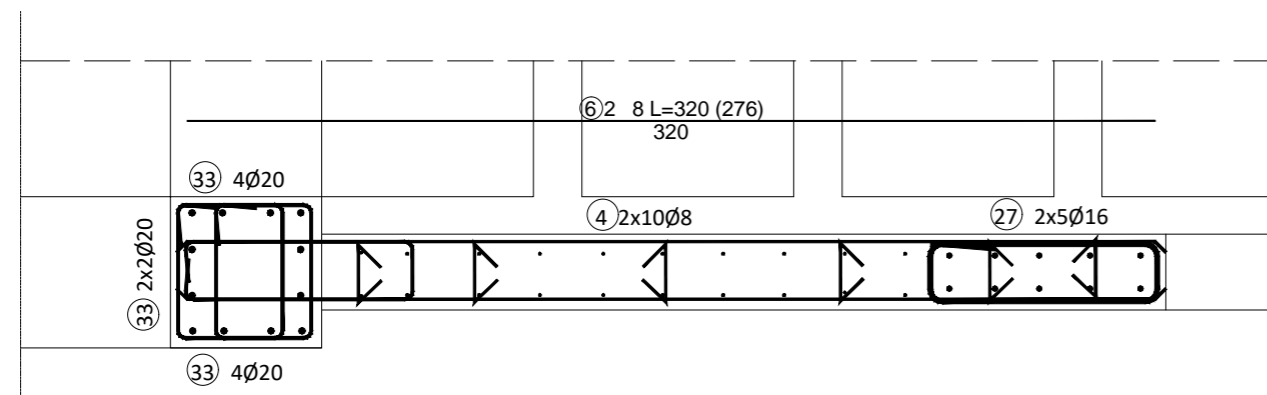


| ETAŽA / KONSTRUKTIVNI ELEMENT | ZAŠTITNI SLOJ | RAZRED ČVRSTOĆE BETONA | ARMATURA |
|-------------------------------|---------------|------------------------|----------|
| Minimalni zaštitni sloj | Cv=25mm | C40/45 | B500B |
| Grede | Cv=50mm | C40/45 | B500B |
| Ploče, zidovi i stupovi | Cv=25mm | C40/45 | B500B |

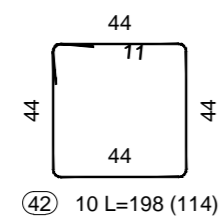
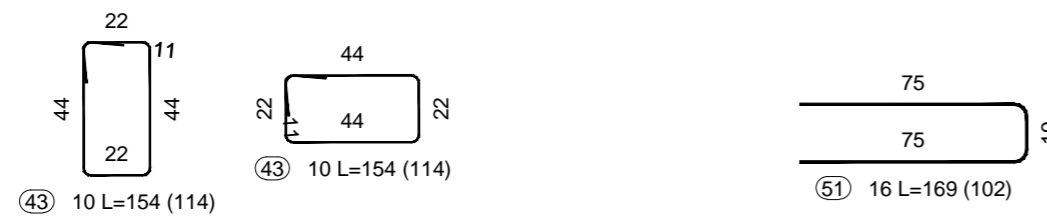
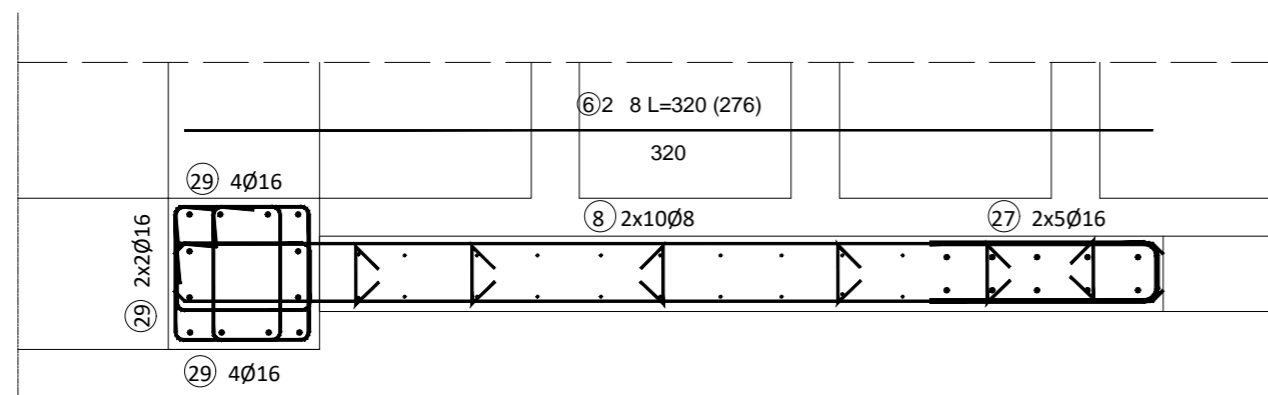
GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI

| | | | |
|--|---|------------------|------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | Sadržaj nacrt: Nacrt armature zidova A i B | | |
| Student: Petra Nekić | Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije 1 | | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Ščulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:50 | List: 8 |

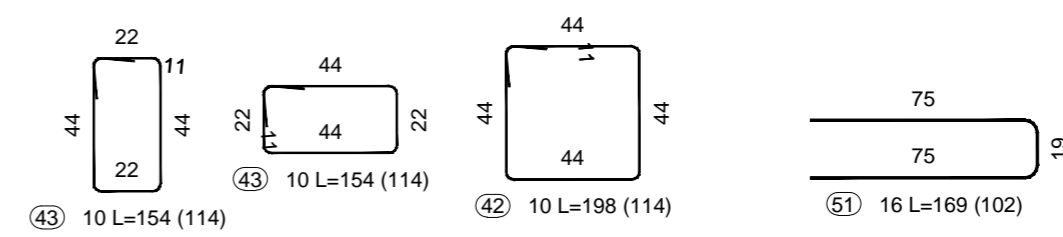
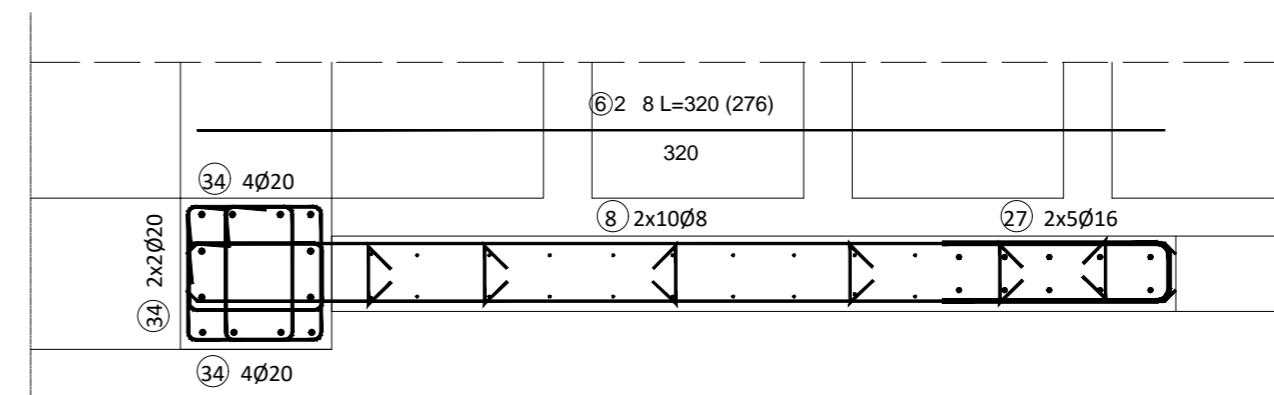
Presjek 6-6
MJ. 1:25



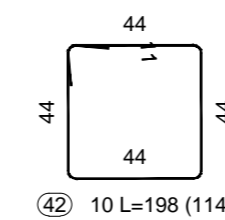
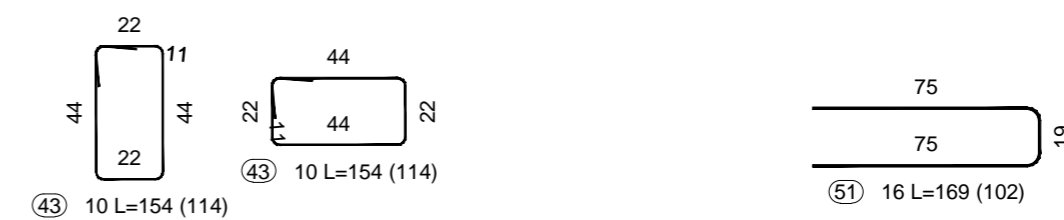
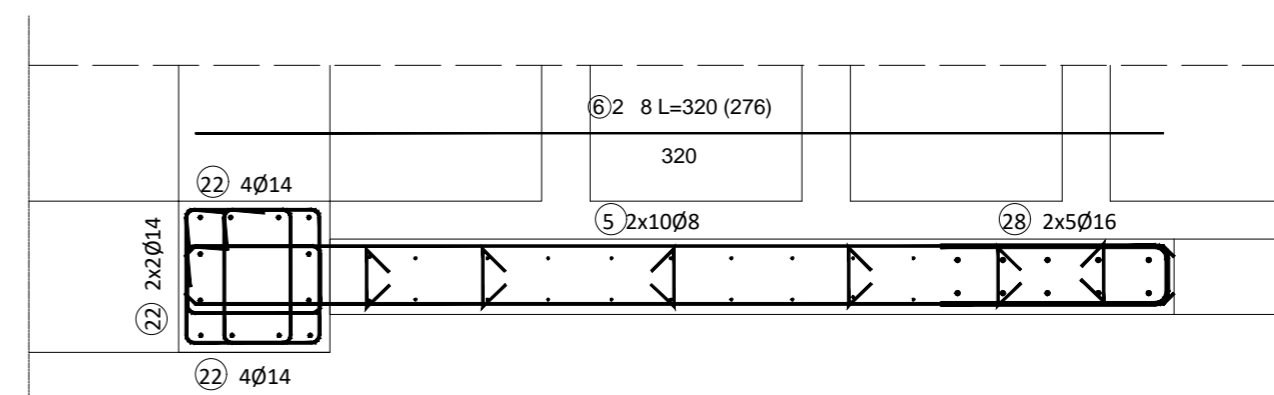
Presjek 8-8
MJ. 1:25



Presjek 7-7
MJ. 1:25

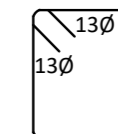


Presjek 9-9
MJ. 1:25



Armatura zidova A, B i vezne grede MJ. 1:50

NAPOMENA:
Kuke vilica moraju biti usidrene pod 135° i duge 13Ø.

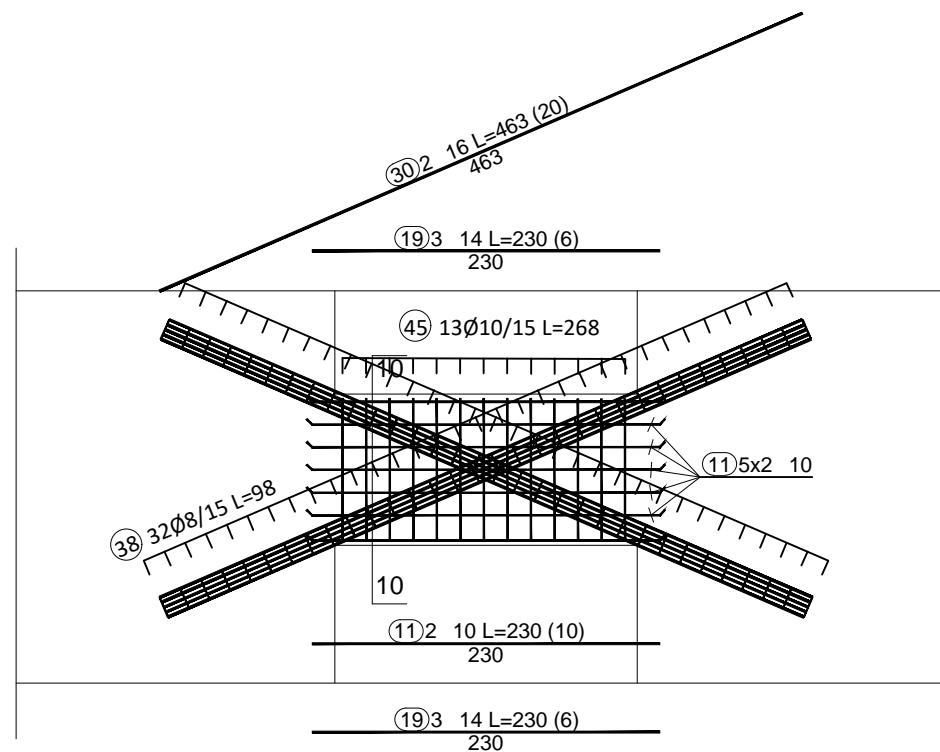


| ETAŽA / KONSTRUKTIVNI ELEMENT | ZAŠTITNI SLOJ | RAZRED ČVRSTOĆE BETONA | ARMATURA |
|-------------------------------|---------------|------------------------|----------|
| Minimalni zaštitni sloj | Cv=25mm | C40/45 | B500B |
| Grede | Cv=50mm | C40/45 | B500B |
| Ploče, zidovi i stupovi | Cv=25mm | C40/45 | B500B |

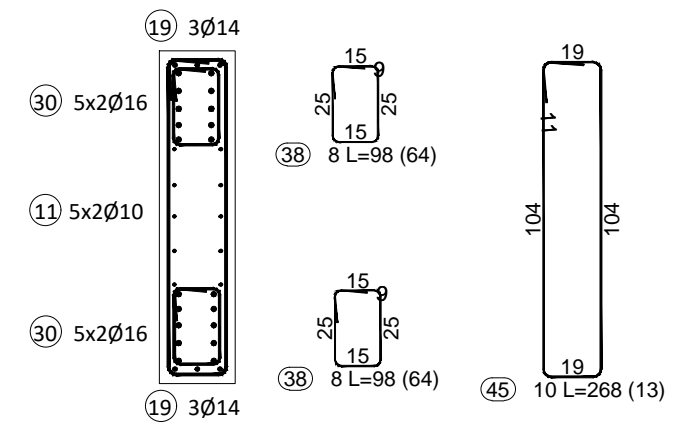
GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI

| | | | |
|--|---|------------------|------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | Sadržaj nacrt: Nacrt armature zidova A i B | | |
| Student: Petra Nekić | Kolegij: Betonski i zidane konstrukcije 1 | | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Ščulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:50 | List: 9 |

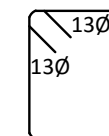
Armatura vezne grede



Presjek 10-10
MJ. 1:25



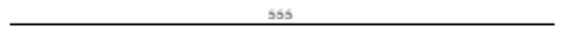
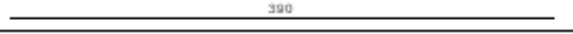
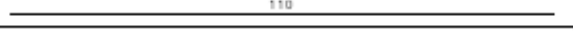
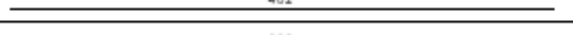


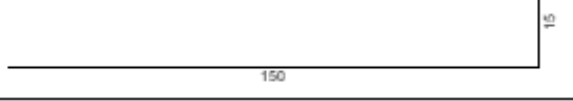
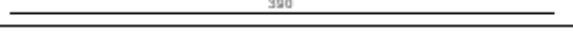
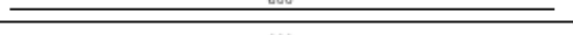


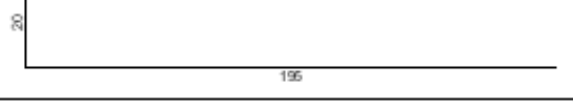
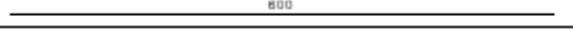
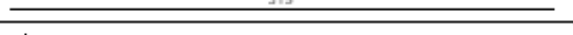
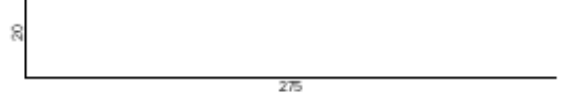

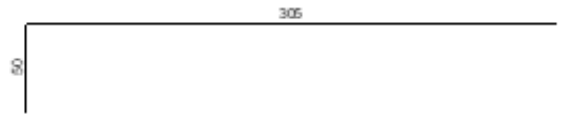
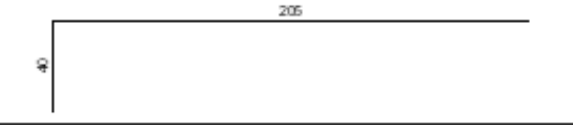
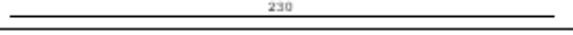
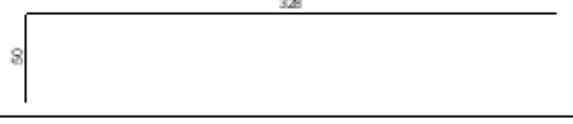
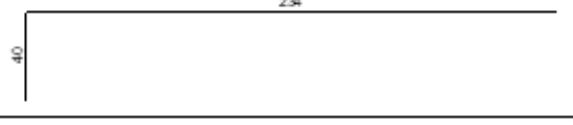
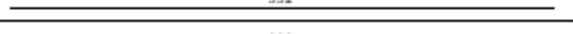



NAPOMENA:
Kuke vilica moraju biti usidrene pod 135° i duge 13Ø.


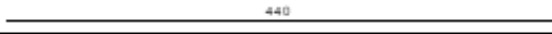
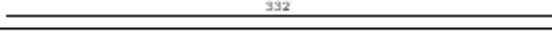
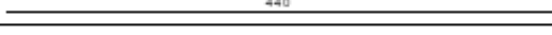
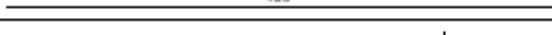

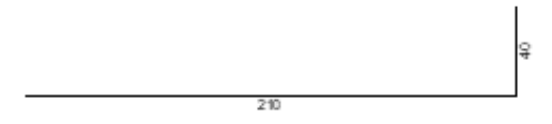
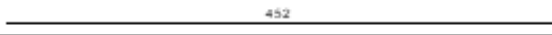
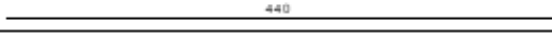

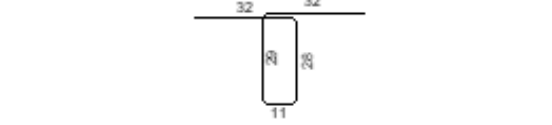
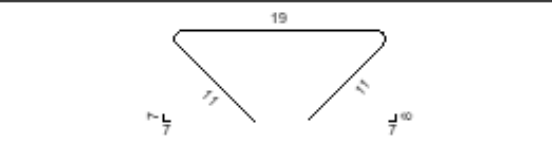
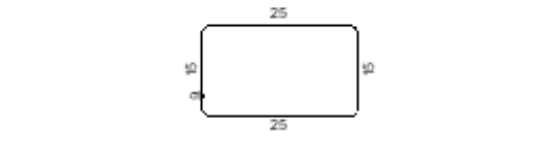
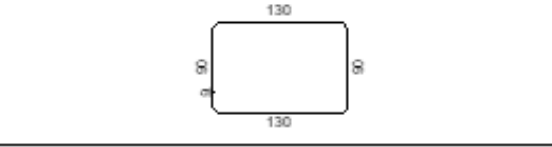
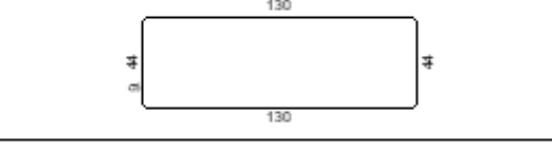
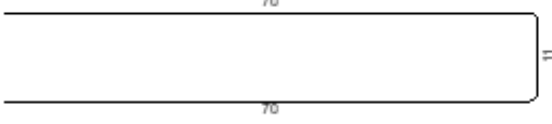


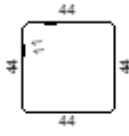
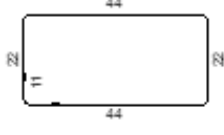
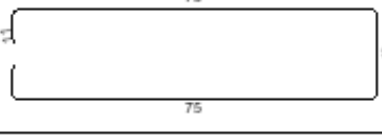
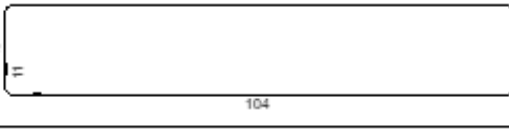
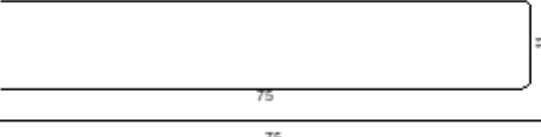
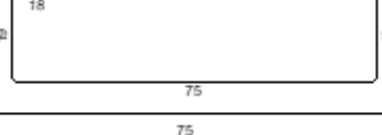
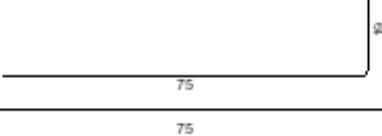

| ETAŽA / KONSTRUKTIVNI ELEMENT | ZAŠTITNI SLOJ | RAZRED ČVRSTOĆE BETONA | ARMATURA |
|-------------------------------|---------------|------------------------|----------|
| Minimalni zaštitni sloj | Cv=25mm | C40/45 | B500B |
| Grede | Cv=50mm | C40/45 | B500B |
| Ploče, zidovi i stupovi | Cv=25mm | C40/45 | B500B |

GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI

| | | | |
|--|---|------------------|-------------|
| Diplomski rad: Proračun i dimenzioniranje armiranobetonske poslovne zgrade | Sadržaj nacрта: Nacrt armature vezne grede | | |
| Student: Petra Nekić | Kolegij: Betonske i zidane konstrukcije 1 | | |
| Mentor: doc.dr.sc. Paulo Šćulac, dipl.ing.građ. | Datum: Rujan, 2023. | Mjerilo: 1:50 | List: 10 |

| Šipke - specifikacija | | | | | |
|-----------------------|---|----|--------|---------|---------|
| ozn | oblik i mjere [cm] | Ø | lg [m] | n [kom] | lgn [m] |
| Diplomski rad (1 kom) | | | | | |
| 1 |  | 6 | 5.55 | 84 | 466.20 |
| 2 |  | 6 | 3.90 | 84 | 327.60 |
| 3 |  | 6 | 1.10 | 84 | 92.40 |
| 4 |  | 8 | 4.02 | 40 | 160.80 |
| 5 |  | 8 | 3.33 | 40 | 133.20 |
| 6 |  | 8 | 3.20 | 276 | 883.20 |
| 7 |  | 8 | 1.65 | 20 | 33.00 |
| 8 |  | 8 | 3.90 | 80 | 312.00 |
| 9 |  | 10 | 6.00 | 6 | 36.00 |
| 10 |  | 10 | 2.99 | 6 | 17.94 |
| 11 |  | 10 | 2.30 | 10 | 23.00 |
| 12 |  | 12 | 2.15 | 2 | 4.30 |
| 13 |  | 12 | 6.00 | 8 | 48.00 |
| 14 |  | 12 | 3.15 | 2 | 6.30 |
| 15 |  | 12 | 2.95 | 8 | 23.60 |
| 16 |  | 12 | 3.95 | 8 | 31.60 |
| 17 |  | 14 | 3.55 | 8 | 28.40 |
| 18 |  | 14 | 2.45 | 4 | 9.80 |
| 19 |  | 14 | 2.30 | 6 | 13.80 |
| 20 |  | 14 | 3.78 | 8 | 30.24 |
| 21 |  | 14 | 2.74 | 4 | 10.96 |
| 22 |  | 14 | 3.32 | 24 | 79.68 |
| 23 |  | 14 | 6.00 | 8 | 48.00 |
| 24 |  | 14 | 4.00 | 4 | 16.00 |
| 25 |  | 16 | 4.95 | 10 | 49.50 |

| Šipke - specifikacija | | | | | |
|-----------------------|---|----|--------|---------|---------|
| ozn | oblik i mjere [cm] | Ø | lg [m] | n [kom] | lgn [m] |
| 26 |  | 16 | 3.55 | 10 | 35.50 |
| 27 |  | 16 | 4.40 | 60 | 264.00 |
| 28 |  | 16 | 3.32 | 20 | 66.40 |
| 29 |  | 16 | 4.40 | 24 | 105.60 |
| 30 |  | 16 | 4.63 | 20 | 92.60 |
| 31 |  | 16 | 1.90 | 10 | 19.00 |
| 32 |  | 16 | 2.50 | 10 | 25.00 |
| 33 |  | 20 | 4.52 | 24 | 108.48 |
| 34 |  | 20 | 4.40 | 24 | 105.60 |
| 35 |  | 20 | 2.60 | 32 | 83.20 |
| 36 |  | 8 | 1.32 | 38 | 50.16 |
| 37 |  | 8 | 0.41 | 360 | 147.60 |
| 38 |  | 8 | 0.98 | 64 | 62.72 |
| 39 |  | 8 | 4.58 | 37 | 169.46 |
| 40 |  | 8 | 3.66 | 37 | 135.42 |
| 41 |  | 8 | 1.51 | 28 | 42.28 |

| Šipke - specifikacija | | | | | |
|-----------------------|---|----|--------|---------|---------|
| ozn | oblik i mjere [cm] | Ø | lg [m] | n [kom] | lgn [m] |
| 42 |  | 10 | 1.98 | 114 | 225.72 |
| 43 |  | 10 | 1.54 | 114 | 175.56 |
| 44 |  | 10 | 1.91 | 58 | 110.78 |
| 45 |  | 10 | 2.68 | 13 | 34.84 |
| 49 |  | 14 | 1.61 | 8 | 12.88 |
| 50 |  | 16 | 2.06 | 48 | 98.88 |
| 51 |  | 16 | 1.69 | 102 | 172.38 |
| 52 |  | 16 | 1.61 | 10 | 16.10 |

| Šipke - rekapitulacija | | | |
|------------------------|-----------|----------------------------|----------------|
| Ø [mm] | lg [m] | Jedinična težina [kg/m] | Težina [kg] |
| S400 | | | |
| 6 | 886.20 | 0.23 | 203.83 |
| 8 | 2087.56 | 0.41 | 853.81 |
| 10 | 623.84 | 0.65 | 404.87 |
| 12 | 113.80 | 0.92 | 104.70 |
| 14 | 172.88 | 1.25 | 216.45 |
| 16 | 928.86 | 1.62 | 1505.68 |
| 20 | 297.28 | 2.48 | 735.77 |
| Ukupno | | | 4025.10 |
| B500B | | | |
| 8 | 42.28 | 0.40 | 16.70 |
| 14 | 76.88 | 1.21 | 93.02 |
| 16 | 16.10 | 1.58 | 25.44 |
| Ukupno | | | 135.16 |